

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA

ANA LAURA ARAÚJO COSTA

Implementação de um Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas utilizando a
metodologia BIM.

Uberlândia

2023

ANA LAURA ARAÚJO COSTA

Implementação de um Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas utilizando a metodologia BIM.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Uberlândia como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Elétrica.

Área de concentração: Instalações Elétricas

Orientador: Prof. Dr. Paulo Henrique Oliveira Rezende

Uberlândia

2023

Ficha Catalográfica Online do Sistema de Bibliotecas da UFU
com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

C837 2023	<p>Costa, Ana Laura Araujo, 2000- Implementação de um Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas utilizando a metodologia BIM. [recurso eletrônico] : vantagem em comparação com o AutoCad / Ana Laura Araujo Costa. - 2023.</p> <p>Orientador: Paulo Henrique Oliveira Rezende. Coorientador: Isaque Nogueira Gondim . Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Uberlândia, Graduação em Engenharia Elétrica. Modo de acesso: Internet. Inclui bibliografia. Inclui ilustrações.</p> <p>1. Engenharia elétrica. I. Rezende, Paulo Henrique Oliveira, 1987-, (Orient.). II. , Isaque Nogueira Gondim, 1983-, (Coorient.). III. Universidade Federal de Uberlândia. Graduação em Engenharia Elétrica. IV. Título.</p> <p style="text-align: right;">CDU: 621.3</p>
--------------	--

Bibliotecários responsáveis pela estrutura de acordo com o AACR2:
Gizele Cristine Nunes do Couto - CRB6/2091
Nelson Marcos Ferreira - CRB6/3074

ANA LAURA ARAÚJO COSTA

Implementação de um Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas utilizando a metodologia BIM.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Uberlândia como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Elétrica.

Área de concentração: Instalações Elétricas.

Uberlândia, 22 de março de 2023.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Isaque Nogueira Gondim (UFU)

Prof. Dr. Carlos Eduardo Tavares (UFU)

Prof. Dr. Paulo Henrique Oliveira Rezende (UFU)

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, à Deus que sempre me sustentou e orientou em toda minha vida.

Agradeço ao meu marido, por todo amor, companheirismo e suporte durante esses cinco anos.

Agradeço ao meus pais, por todo amor, apoio e colo durante toda minha vida que foram essenciais pro meu crescimento.

Agradeço, também, aos meus amigos e colegas da Turma 95, pelo companheirismo e união que deram forças para não desistir.

Agradeço ao meu orientador Paulo por toda ajuda e suporte.

“Assim, ao Rei eterno, imortal,
invisível, Deus único, honra e glória
pelos séculos dos séculos. Amém!

1 Timóteo 1: 17”

RESUMO

A metodologia BIM é um tema muito necessário na área da construção, com foco nas disciplinas de arquitetura, elétrica, hidráulica e no sistema de combate a incêndio. Neste trabalho, foi desenvolvida a aplicação do BIM em um projeto feito em um supermercado com o objetivo de otimizar o tempo gasto no projeto, além do custo e sua maior qualidade. O software utilizado foi o Revit que permite fazer a modelagem em 3D, além das listas de materiais, ou seja, o quantitativo na mesma ferramenta. Ademais, para implantar o SPDA deve-se avaliar a área de risco, necessidade de proteção, tipo de proteção, para isso é necessário seguir o as normas da ABNT a NBR 5419 de 2015 a fim de ter segurança para construir esse empreendimento. O projeto feito se trata de um supermercado que tem somente o térreo e com isso contou com projetistas de diversas disciplinas, além do auxílio da construtora responsável pela obra. Conclui-se, portanto, que o avanço do BIM na área dos projetos de SPDA é de extrema importância pois traz um resultado eficiente, econômico e seguro ao cliente.

Palavras-chave: BIM; SPDA; projeto; aterramento, descargas atmosféricas.

ABSTRACT

The BIM methodology is a much needed topic in the field of construction, with a focus on the disciplines of architecture, electrical, plumbing and fire. In this work, the application of BIM was developed in a project made in a supermarket with the objective of optimizing the time spent on the project, in addition to the cost and its higher quality. The software used was Revit, which allows modeling in 3D, in addition to the lists of materials, that is, the quantity in the same tool. In addition, to implement the SPDA, the risk area, need for protection, type of protection must be evaluated, for this it is necessary to follow the ABNT standards NBR 5419 of 2015 in order to have security to build this enterprise. The project made is a supermarket that has only the ground floor and with that it had designers from different disciplines, in addition to the help of the construction company responsible for the work. It is concluded, therefore, that the advancement of BIM in the area of SPDA projects is extremely important as it brings an efficient, economical and safe result to the client.

Keywords: BIM; SPDA; project; grounding, lightning strikes.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 -	Família do conduíte de cabo de cobre utilizado no projeto....	19
Figura 2 -	Família do acessório utilizado para aterrar as câmeras.....	20
Figura 3 -	Família da caixa de inspeção de aterramento.....	21
Figura 4 -	Método de proteção - ângulo de proteção.....	35
Figura 5 -	Método de proteção – ilustração.....	36
Figura 6 -	Método da esfera rolante – ilustração.....	36
Figura 7 -	Método das malhas – ilustração.....	37
Figura 8 -	Comprimento mínimo l1 do eletrodo de aterramento.....	38
Figura 9 -	Projeto arquitetônico do empreendimento 1.....	42
Figura 10 -	Projeto arquitetônico do empreendimento 2	42
Figura 11 -	Projeto estrutural do empreendimento.....	43
Figura 12 -	Projeto de SPDA do empreendimento.....	44
Figura 13 -	Captor Franklin no lugar mais alto da construção.....	45
Figura 14 -	Materiais utilizados no projeto de SPDA.....	45
Figura 15 -	Projeto de SPDA em planta baixa com a malha.....	46
Figura 16 -	Aterramento do bicicletário.....	47
Figura 17 -	Conflito entre SPDA e esgoto.....	47
Figura 18 -	Conflito entre SPDA e calha.....	48
Figura 19 -	Solução do conflito entre SPDA e calha da figura M.....	49
Figura 20 -	Aba navegador do projeto.....	50
Figura 21 -	Selecionar quais folhas irão ser exportadas.....	51
Figura 22 -	Formatos possíveis para exportar o projeto.....	52
Figura 23 -	Criação das folhas.....	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Efeitos das descargas atmosféricas.....	24
Tabela 2 -	Fonte, tipo de dano e tipo de perda.....	27
Tabela 3 -	Resumo das componentes de risco	29
Tabela 4 -	Fatores que influenciam os componentes de risco.....	30
Tabela 5 -	Tipos de perda em relação com o risco tolerável.....	31
Tabela 6 -	Relação entre os níveis de proteção e a classe de SPDA.....	33
Tabela 7 -	Relação dos métodos de proteção com a classe do SPDA.....	34
Tabela 8 -	Classe do SPDA em relação com a esfera rolante e as malhas.....	37
Tabela 9 -	Materiais, utilização e corrosão para SPDA.....	39
Tabela 10 -	Material utilizado no SPDA e suas especificações.....	40
Tabela 11 -	Material utilizado no aterramento e suas especificações.....	40
Tabela 12 -	Lista de materiais automática do Revit.....	50

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
SPDA	Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas
BIM	Building Information Model
UFU	Universidade Federal de Uberlândia
NBR	Norma Brasileira
RM	Componente de risco (falha dos sistemas internos -descarga atmosférica perto da estrutura)
RS	Resistência da blindagem por unidade de comprimento de um cabo
RT	Risco tolerável
RU	Componente de risco (ferimentos a seres vivos - descarga atmosférica na linha conectada)
RV	Componente de risco (danos físicos na estrutura - descarga atmosférica na linha conectada)
RW	Componente de risco (falha dos sistemas internos -descarga atmosférica na linha conectada)
RX	Componente de risco para uma estrutura
RZ	Componente de risco (falha dos sistemas internos - descarga atmosférica perto da linha)
R1	Risco de perda de vida humana em uma estrutura
R2	Risco de perda de serviço ao público em uma estrutura
R3	Risco de perda de património cultural em uma estrutura
R4	Risco de perda de valor económico em uma estrutura

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	14
1.1 Introdução a metodologia BIM.....	14
1.2 Introdução ao SPDA.....	15
2. DESENVOLVIMENTO.....	16
2.1 BIM (Building Information Modelling)	16
2.1.1 Softwares que utilizam a metodologia BIM.....	16
2.1.2 Diferenças entre BIM e CAD.....	16
2.1.3 Dimensão do BIM.....	17
2.1.4 Família em BIM.....	18
2.2 Descargas elétricas.....	21
2.2.1 Descargas atmosféricas no Brasil.....	23
2.2.2 Consequência das descargas atmosféricas.....	23
2.2.3 Fontes de danos.....	25
2.2.4 Tipos de danos.....	25
2.2.5 Tipos de perdas.....	26
2.3 Procedimento de cálculo de riscos.....	27
2.3.1 Componente de riscos.....	27
2.4 Gerenciamento de risco.....	30
2.4.1 Risco tolerável.....	31
2.5 Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas.....	31
2.5.1 Classe do SPDA.....	32
2.6 Subsistema de captação.....	34
2.7 Subsistema de aterramento.....	36

2.8 Materiais.....	38
3 ESTUDO DE CASO: PROJETO.....	40
3.1. Pacote REVIT.....	40
3.1.1 Projeto arquitetônico.....	40
3.1.2 Projeto estrutural.....	41
3.1.3 Projeto SPDA.....	42
3.2 Materiais.....	44
3.3 Malha de aterramento.....	44
3.4 Conflito nos projetos.....	46
3.5 Lista de materiais.....	48
3.6 Folha no REVIT.....	49
3.7 Exportação.....	50
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	52
5 REFERÊNCIAS	53

1 INTRODUÇÃO

1.1 Introdução a metodologia BIM

A metodologia Building Information Modeling (BIM) é uma abordagem inovadora para projetar, construir e gerenciar edificações e infraestruturas. Ela revolucionou a indústria da construção civil ao possibilitar que arquitetos, engenheiros, construtores e gerentes de projetos unam seus trabalhos em um único arquivo de projeto, sendo esse virtual e colaborativo.

A partir do BIM, é possível criar modelos digitais tridimensionais que incluem informações detalhadas sobre a geometria, materiais, sistemas e como executar o projeto. Assim, esses modelos são atualizados em tempo real durante todo do projeto, sendo ele desde o seu estudo de anteprojeto, projeto executivo, futuras revisões e posterior a isso, operação.

O uso dessa metodologia tem muitas vantagens ao comparar com às metodologias tradicionais de construção sendo esses: a redução de erros e retrabalhos, o aumento da eficiência e produtividade, a melhoria na comunicação e colaboração entre as equipes, a redução de desperdícios de materiais e energia, e a possibilidade de realizar simulações e análises antes da construção.

Além disso, o uso do BIM está se tornando cada vez mais importante no mercado, em vista que os governos e as empresas estão exigindo tal uso no momento de projetar os empreendimentos. Ao contrário das técnicas tradicionais de modelagem de projetos, que se baseiam em desenhos bidimensionais e em múltiplas planilhas, o BIM possibilita a criação de um modelo virtual do projeto em todas as suas dimensões, desde a planta baixa até a estruturação detalhada dos componentes e sistemas.

Dessa maneira, facilita o trabalho na hora da execução pois todas as informações relacionadas ao projeto, incluindo quantidades, custos, prazos, especificações técnicas e outras, podem ser armazenadas e acessadas em um único local, o que facilita a organização e não há perda de informações desde o começo da obra.

E também, a comunicação entre os membros da equipe é facilitada, em vista que todos trabalham com o mesmo modelo digital, podendo ser dividido em vários arquivos conforme a disciplina. Ademais, é possível realizar simulações e testes anterior a execução da obra, com isso, muitos erros de execução são evitados.

Essa abordagem também permite a identificação precoce de possíveis conflitos entre as diversas disciplinas envolvidas, como elétrica, hidráulica, estrutura, arquitetura, SPDA. Dessa forma, nesse trabalho será relatado na disciplina de SPDA.

Em resumo, a metodologia BIM representa uma mudança significativa na forma como os projetos de construção são gerenciados e executados. O que traz, portanto, muitos benefícios para as equipes envolvidas, como consequência, maior eficiência, precisão e colaboração, resulta, assim, em projetos de maior qualidade, menor tempo de execução, além do menor custo global. A partir disso, o objetivo desse projeto é mostrar a facilidade e as vantagens de projetar em BIM, em comparação com outras tecnologias mais antigas.

1.2 Introdução ao SPDA

O SPDA (Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas), é um sistema que tem a função de proteger edifícios, pessoas e instalações contra os efeitos danosos das descargas atmosféricas. Assim, seu objetivo é de conduzir a corrente elétrica gerada por um raio para o sistema de aterramento, posterior a terra, de forma que não haja estragos.

Dessa maneira, o sistema é composto por captores, condutores de descida se for necessário, cabos de cobre, dispositivos de proteção, entre outros. O captor Franklin é instalado na parte mais alta do empreendimento e tem o objetivo de atrair e capturar os raios. Já os eletrodos de aterramento, neste projeto foi utilizado o cabo de cobre nu, que oferece um caminho de baixa resistência para a corrente ser dissipada para a terra. Ademais, os dispositivos de proteção têm a função de proteger equipamentos do prédio contra as sobretensões.

É necessário preocupar com a instalação do SPDA, pois é preciso levar em conta uma série de fatores como: altura da estrutura, área instalada, se as pessoas vão no local, tipo da estrutura, onde há metais que precisam ser aterrados, área de proteção necessária, entre outros. Ademais, têm-se três métodos de implantação desse sistema que é: captor Franklin, esfera rolante e das malhas, com isso faz um estudo detalhado sobre as necessidades de cada empreendimento e a melhor forma de atendê-lo. Logo, segue-se as normas técnicas específicas, como a NBR 5419 e a NBR 5410 que possibilitam as diretrizes necessárias para seguir um projeto de forma correta e segura.

Logo, a implementação desse sistema é fundamental para garantir a segurança de pessoas, animais e bens materiais em uma estrutura. Por isso, nesse trabalho é possível perceber a importância de um sistema de SPDA feito em BIM.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 BIM (Building Information Modelling)

A fim de determinar a abordagem de análise a ser utilizada neste projeto, é imprescindível estudar algumas características da metodologia BIM e também dos projetos. Dessa forma, a seguir, será explicado o conceito de BIM, além disso, os diferentes tipos de projetos que compõem um empreendimento, em conjunto com as normas que os projetistas utilizam no momento de realizar os projetos.

2.1.1 Softwares que utilizam a metodologia BIM

A metodologia BIM (Building Information Modeling) é utilizada em diversos softwares para o projeto, construção e também gerar tabelas de quantitativos e gerenciar a obra. Portanto, esses são os principais softwares mais comuns que utilizam essa metodologia: Autodesk Revit, ArchiCad, Vectorworks, SketchUp, Bentley AECOSim Building Designer, Trimble Tekla Structures, Graphisoft EcoDesigner, Allplan, Nemetschek Scia Engineer, Navisworks.

Existem outros programas que também podem ser utilizados com a mesma finalidade. Nesse projeto será utilizado o software Autodesk Revit.

2.1.2 Diferenças entre BIM e CAD.

BIM (Building Information Modeling) e CAD (Computer-Aided Design) são duas metodologias mais utilizadas por projetistas no momento de construir um projeto, seja na indústria da construção civil, arquitetura ou elétrica. Dessa forma, existem várias diferenças entre eles listadas abaixo.

O CAD é utilizado, em sua maior parte, para criar desenhos 2D e 3D detalhados de um projeto, já o BIM é usado a fim de criar um modelo 3D completo de um empreendimento, no qual estão inclusas informações sobre a construção, manutenção, quantitativo, detalhes e também gerenciamento do projeto.

Outro aspecto, é que o CAD se concentra mais na geometria, enquanto o BIM se concentra em todas as informações associadas a um projeto de construção, como materiais, fluxos de trabalho e quantitativos.

Ademais, com o BIM, é possível fazer um projeto na qual todas as disciplinas estão interligadas e os projetistas de diversas disciplinas podem fazer um trabalho colaborativo, sendo eles feito ao mesmo tempo e no mesmo modelo. Todavia, o CAD é frequentemente usado de maneira isolada.

O CAD, por sua vez, é focado em somente uma disciplina, enquanto o BIM proporciona uma visão completa do projeto, pois é possível vincular todas as disciplinas em um único arquivo, o que possibilita a visualização total do empreendimento em 3D.

Assim, pode-se concluir que o BIM é uma metodologia mais nova e eficaz que permite um número reduzido de erros durante a execução de obra devido aos fatos relacionados acima, contudo o CAD é mais adequado para o design detalhado em 2D e 3D de um projeto em que o projetista deseja trabalhar de forma isolada.

2.1.3 Dimensão do BIM

Por volta de 1980, a Parametric Technologies Corporation® (PTC) expandiu o uso do CSG (Constructive Solid Geometry ou Geometria Sólida Construtiva) e B-rep (Boundary Representation ou Representação de Fronteiras), logo o BIM é uma maneira de representar as informações de um edifício ou infraestrutura em toda as fases do projeto. Anteriormente, eram usados exclusivamente com a finalidade de criar modelos tridimensionais (3D) das construções, mas com o tempo, o software evoluiu e possibilita ao projetista e ao cliente incluir dados como: lista de materiais, custos, cronogramas, entre outros.

Assim, possibilitou a ideia de modelagem paramétrica, na qual facilita a inserção de parâmetros na quais podem ser definidos pelo usuário ou pelo programa. Dessa maneira, pode-se criar uma família de modelos que se relacionam entre si, portanto caso necessite de fazer alterações, não terá retrabalho de desenho, em vista que as alterações ocorrem de forma automática.

Com isso, temos as dimensões do BIM em que variam dependendo da definição, mas são estão listadas abaixo:

3D: a dimensão espacial que representa o modelo tridimensional do edifício ou projeto, incluindo geometria, elementos construtivos e outros objetos que compõem a estrutura.

4D: a dimensão temporal que adiciona informações de programação e cronograma ao modelo 3D, permitindo que os usuários visualizem e gerenciem o tempo de construção do projeto.

5D: a dimensão de custo que adiciona informações de custos ao modelo 3D, possibilita que os usuários estimem os custos de construção com base nos elementos do modelo.

6D: a dimensão de sustentabilidade que adiciona informações relacionadas à energia, uso de recursos e impacto ambiental referente ao projeto.

7D: a dimensão de gerenciamento de facilidades que soma informações relacionadas à principalmente, manutenção, operação e gerenciamento do projeto.

Logo, tais dimensões são fundamentais a fim de compreender mais sobre a metodologia BIM no qual permitem que os usuários tenham informações em tempo real sobre um projeto de construção desde seu início, até a execução e término da obra.

2.1.4. Família em BIM

O conceito de família para a metodologia BIM é um objeto paramétrico ou componente digital, pois existem dois tipos de família, no qual representa um componente ou um conjunto que compõe um projeto. Essa tem o objetivo de criar aos elementos virtuais com todos os detalhes, como: comprimento, altura, localização, nome, etc.

Uma família é um grupo de elementos com um conjunto comum de propriedades chamado de parâmetros e uma representação gráfica relacionada. Os diferentes elementos pertencentes a uma família podem ter diferentes valores para alguns ou todos os parâmetros, mas o conjunto de parâmetros (seus nomes e significados) é o mesmo. Essas variações dentro da família são denominadas de tipos de família ou tipos. MANUAL DE AJUDA DO REVIT.

Os dois tipos de famílias são:

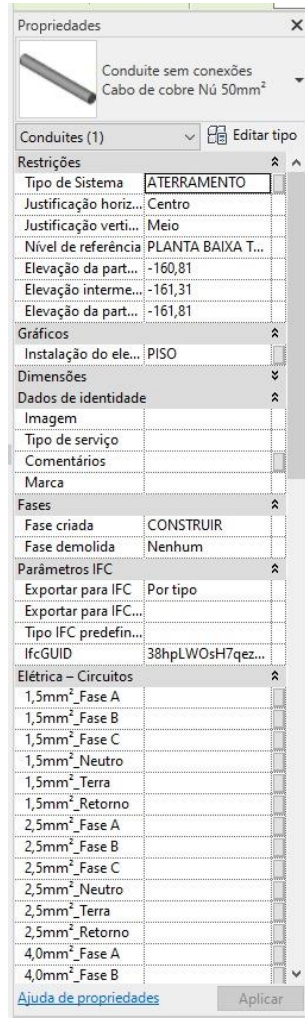
Famílias paramétricas: os parâmetros são definidos pelo projetistas conforme a necessidade da obra, sendo essas as características do objeto. Ademais, os parâmetros, caso necessário, são alterados no decorrer da modelagem.

Famílias de catálogo: os parâmetros estão predefinidos e não podem ser alterados, esses podem ser: torneiras, pisos, luminárias, tomadas, entre outros.

Essas famílias podem ser compradas com alguns fornecedores, além de ser possível criá-las e com isso inseri-las no software. Nas propriedades, mostram a maior parte da descrição da família em que está inclusa o tipo de sistema, sendo esse, aterramento. Ademais, a sua instalação, seja essa no piso, parede ou laje. Caso o projeto fosse da disciplina de elétrica, é

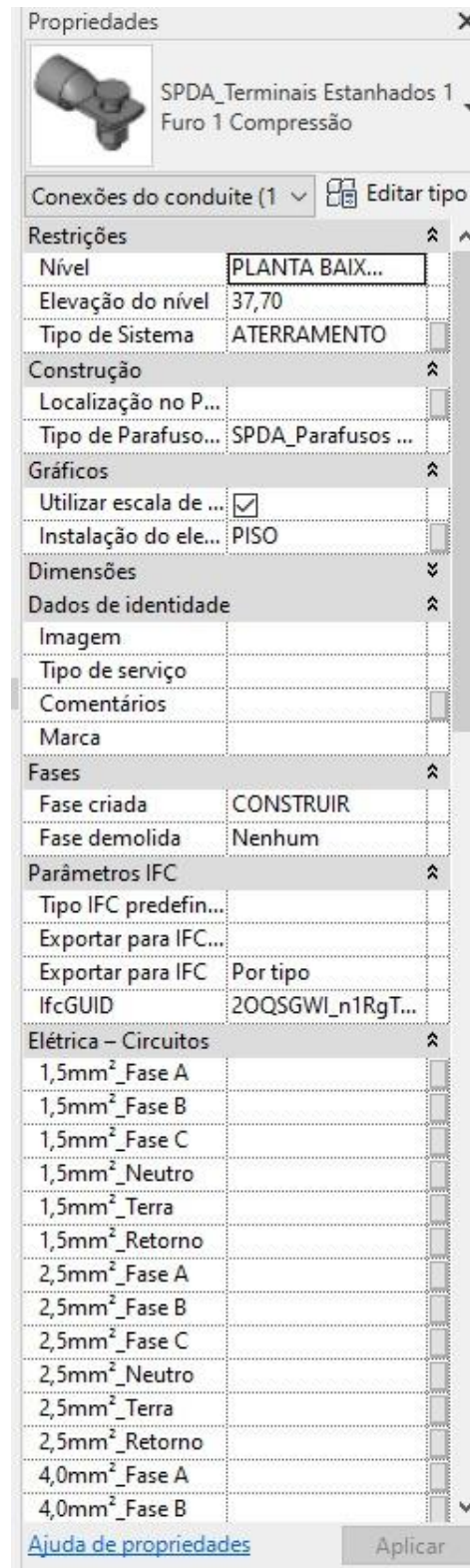
possível colocar quantos retornos, fases e terra estão em cada eletroduto. As figuras 1, 2 e 3 ilustram as famílias utilizadas nesse projeto de SPDA.

Figura 1 – Família do conduíte de cabo de cobre utilizado no projeto.



Fonte: Autora.

Figura 2 – Família do acessório utilizado para aterrar as câmeras e demais elementos.



Fonte: Autora.

Figura 3 – Família da caixa de inspeção de aterramento.

Propriedades

SPDA_Caixa de Inspeção Redonda Aterramento
Caixa de Inspeção Ø300mm com Haste Ø3/4"x2,40m (TEL-5822)

Conexões do conduite (1) Editar tipo

Restrições

Nível	PLANTA BAIXA TERREO
Elevação do nível	-138,00
Tipo de Sistema	

Construção

Ligar Solda Exotérmica	<input checked="" type="checkbox"/>
Localização no Projeto	
Tampa Aberta	<input checked="" type="checkbox"/>

Gráficos

Utilizar escala de anotação	<input type="checkbox"/>
Instalação do eletroduto	PISO

Engenharia elétrica

Cálculo da Resistência de 1 Haste (Ω)	44,111259
Cálculo da Resistência do Conjunto ...	44,111259
Resistividade do Solo ($\Omega \times m$)	100,000000
Quantidade de Hastes	1
Fator k	1,000000

Dimensões

DN	5,00
RN	2,50
Tamanho	Ø100-Ø50-Ø50-Ø50-Ø50

Dados de identidade

Imagem	
Tipo de serviço	
Comentários	
Marca	

Fases

Fase criada	CONSTRUIR
Fase demolida	Nenhum

Parâmetros IFC

Tipo IFC predefinido	
Exportar para IFC como	
Exportar para IFC	Por tipo
IfcGUID	1M06tSzT15\$9qKYV14LqRF

Elétrica – Circuitos

1,5mm ² _Fase A	
1,5mm ² _Fase B	
1,5mm ² _Fase C	
1,5mm ² _Neutro	

[Ajuda de propriedades](#) Aplicar

Fonte: Autora.

2.2 DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

As descargas atmosféricas são fenômenos naturais que ocorrem com maior frequência em países tropicais. Para a formação dessas: as nuvens são compostas por partículas eletrificadas e com concentração de cargas em diferentes partes, o que as torna dipolos elétricos. Assim, essa disposição de cargas é imprescindível para o processo de formação das descargas atmosféricas, mesmo que não ocorra sempre.

Os relâmpagos, descargas atmosféricas, ou ainda os raios são formados dentro de uma nuvem denominada cumulonimbo, que possui características diferenciadas em relação a outras, por ser verticalmente mais extensas. Essas nuvens se formam a uma altura de 2000 metros do solo e se estendem até 18000 metros acima. (CAVALIN, 2010, p.373)

Nas tempestades quando bolsões de ar úmido são aquecidos pelo sol, eles se elevam, e no decorrer do tempo ganham altitude, dessa forma, o ar ao seu redor cai a temperatura, além da diminuição da pressão atmosférica. A partir disso, têm-se a presença da umidade no ar, na qual se esfria e se condensa, ocasionando na formação de nuvens. Com isso, este fenômeno é conhecido por resfriamento adiabático.

Após a formação das nuvens, essas são transportadas pelo vento no sentido ascendente ou descendente. No ascendente, é forçada a se elevar e, por causa da temperatura baixa, as gotículas de água estão propícias a serem congeladas. No descendente, a nuvem se dissipa a partir da evaporação das gotículas de água. Dessa maneira, a formação da nuvem depende principalmente da sua temperatura e altura.

De acordo com a formação da nuvem, resultará em sua evolução ou também dissipação. Todavia, caso as gotas de água nas nuvens se tornarem pesadas a fim de serem sustentadas pela corrente de ar, ocasionam na formação das chuvas. Já as correntes convectivas aumentam as gotículas de água pequenas sempre mais alto na parte mais fria da nuvem. A partir disso, essas se congelam, o que forma então em pequenos cristais de gelo. Tais cristais se distribuem de forma horizontal, deixando-a com o formato tradicional de nuvens de tempestades.

A formação do granizo se dá, principalmente em nuvens de tempestade, com uma intensa corrente ascendente. Isso se dá ao levantarem as gotas de água para a parte mais alta da nuvem, no qual é a parte mais fria, sendo elas menos de zero graus. Dessa maneira, as gotas entram em contato com cristais de gelo na nuvem, a partir disso tem-se a formação de fragmentos de gelo. No decorrer do tempo, os fragmentos se locomovem para cima e para baixo na nuvem devido as correntes ascendentes e descendentes, assim elas se chocam com as gotículas de água resfriadas. Isso faz com que as mesmas congelem rapidamente e então, forma uma camada de gelo em sua volta. Dá-se o nome desse processo de acreção.

Assim, após a formação do granizo, esse cai por meio do crescimento da corrente de partículas pequenas, o que gera várias colisões. Logo, tal colisão tomba os elétrons dos granizos que estão acendendo, o que dá uma carga elétrica positiva ao mesmo tempo que as partículas

cristalizadas estão descendo, sendo eles com carga elétrica negativa. Então, tem-se o nome de líder escalonado, a primeira etapa de um relâmpago nuvem-solo, em que os raios são formados no início de pequenas faíscas, logo, conforme sua descida, se propaga por todo o percurso.

Em resumo, as descargas atmosféricas acontecem por causa da separação de cargas elétricas nas nuvens de tempestade, isso provoca uma diferença de potencial elétrico entre a nuvem e a superfície da Terra. Essa diferença ocasiona em uma descarga elétrica na forma de um raio, além do seu som, denominado por trovão.

2.2.1 Descargas atmosféricas no Brasil

O Brasil é o país com maior incidência de raios, especialmente durante a estação chuvosa, sendo de maior intensidade entre os meses de outubro e abril. Conforme o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), o país é atingido por cerca de 70 milhões de raios por ano, logo representa uma média de 200 mil descargas por dia.

Conforme a professora do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas (IAG) da Universidade de São Paulo, Raquel Albrecht, explica que conforme o clima, principalmente o verão, colabora para uma maior incidência de raios por causa da atmosfera, em que retém mais água e a partir disso, ocorre mais a incidência de tempestades.

De acordo com o Grupo de Eletricidade Atmosférica (ELAT) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), o ranking de estados brasileiros que mais caem raios no decorrer do ano são:

1° Amazonas: 24.788.445 (2021) e 31.002.563 (2022)

2° Pará: 21.599.617 (2021) e 24.411.576 (2022)

3° Mato Grosso: 16.256.316 (2021) e 19.514.539 (2022)

4° Minas Gerais: 13.178.656 (2021) e 16.733.199 (2022)

2.2.2 Consequência das descargas atmosféricas

As descargas atmosféricas tem muitas consequências, principalmente morte de pessoas, mas desafios também para o meio ambiente. Uma das principais consequências é o risco de incêndios em áreas florestais, em vista que as descargas podem causar faíscas e ignições em locais secos ou com materiais inflamáveis. Além disso, também podem causar danos em equipamentos, como computadores, geladeiras, micro-ondas, televisão, telefones, entre outros.

Em vista das consequências na saúde dos seres humanos, as descargas atmosféricas podem causar lesões gravíssimas, em que leva a morte dos seres humanos e nos animais também, nos quais aqueles que estiverem em contato direto com a descarga ou com objetos que estejam conduzindo a eletricidade. Além disso, essas podem causar distúrbios cardíacos, queimaduras em pessoas que foram atingidas. Para esse projeto, o principal foco será nos danos causados às estruturas.

As descargas atmosféricas são responsáveis por parcela significativa dos distúrbios nas redes elétricas, podendo ocasionar desligamentos ou queima de equipamentos tanto das concessionárias quanto dos consumidores. Os distúrbios nas redes de distribuição causados por descargas atmosféricas podem ser causados tanto por descargas diretas como indiretas (próximas à rede). As descargas diretas na rede de baixa tensão são raras pelo fato de os condutores estarem posicionados em alturas inferiores à dos condutores da rede primária e pelo fato desta última normalmente estar presente, blindando a rede secundária. (NETO A.S.; PIANTINI, 2007, p.1).

Abaixo está a tabela que mostra as consequências das descargas atmosféricas em diferentes estruturas.

Tabela 1: Efeitos das descargas atmosféricas.

Tipo de estrutura de acordo com sua finalidade e/ou conteúdo	Efeitos das descargas atmosféricas
Casa de moradia	Perfuração da isolamento das instalações elétricas, incêndio e danos materiais. Danos normalmente limitados a objetos expostos ao ponto de impacto ou no caminho da corrente da descarga atmosférica. Falha de equipamentos e sistemas elétricos e eletrônicos instalados (exemplos: aparelhos de TV, computadores, <i>modems</i> , telefones etc.).
Edificação em zona rural	Risco maior de incêndio e tensões de passo perigosas, assim como danos materiais. Risco secundário devido à perda de energia elétrica e risco de vida dos animais de criação devido à falha de sistemas de controle eletrônicos de ventilação e suprimento de alimentos etc.
Teatro ou cinema Hotel Escola <i>Shopping centers</i> Áreas de esportes	Danos em instalações elétricas que tendem a causar pânico (por exemplo, iluminação elétrica) Falhas em sistemas de alarme de incêndio, resultando em atrasos nas ações de combate a incêndio.
Banco Empresa de seguros Estabelecimento comercial etc.	Conforme acima, adicionando-se problemas resultantes da perda de comunicação, falha de computadores e perda de dados.

Tipo de estrutura de acordo com sua finalidade e/ou conteúdo	Efeitos das descargas atmosféricas
Hospital Casa de tratamento médico Casa para idosos Creche Prisão	Conforme acima, adicionando-se os problemas relacionados a pessoas em tratamento médico intensivo e a dificuldade de resgatar pessoas incapazes de se mover.
Indústria	Efeitos adicionais dependendo do conteúdo das fábricas, que vão desde os menos graves até danos inaceitáveis e perda de produção.
Museu e sítio arqueológico Igreja	Perda de patrimônio cultural insubstituível.
Estação de telecomunicações Estação de geração e transmissão de energia elétrica	Interrupções inaceitáveis de serviços ao público.
Fábrica de fogos de artifícios Trabalhos com munição	Incêndio e explosão com consequências à planta e arredores.
Indústria química Refinaria Usina nuclear Indústria e laboratório de bioquímica	Incêndio e mau funcionamento da planta com consequências prejudiciais ao meio ambiente local e global.

Fonte: NBR 5419-2:2015

2.2.3 Fontes de danos

Conforme a norma NBR 5419-2:2015, será relatado a respeito das fontes de danos na estrutura, seja próxima dela ou também em linhas elétricas. Dessa forma, abaixo é possível compreender tais fontes.

a) S1 - descargas atmosféricas na estrutura: tem-se uma corrente elevada, logo pode trazer estragos aos equipamentos, além disso causar ferimentos graves as pessoas, seja por choque ou fogo.

b) S2 - descargas atmosféricas próximas à estrutura: em relação ao S1, esse junta menos energia à instalação em decorrência do local da descarga atmosférica.

c) S3: descargas atmosféricas sobre as linhas elétricas e tubulações metálicas que entram na estrutura: Envia a corrente da descarga para a linha, em que transfere uma grande quantidade de energia para o sistema.

d) S4: descargas atmosféricas próximas às linhas elétricas e tubulações metálicas que entram na estrutura: em relação ao S3, esse junta menos energia devido ao seu local.

2.2.4 Tipos de danos

A partir das fontes de danos, é possível perceber o danos causados em decorrência disso, logo, têm-se:

- a) D1: danos às pessoas devido a choque elétrico;
- b) D2: danos físicos (fogo, explosão, destruição mecânica, liberação de produtos químicos) devido aos efeitos das correntes das descargas atmosféricas, inclusive centelhamento;
- c) D3: falhas de sistemas internos devido a LEMP (impulsos eletromagnéticos).

2.2.5 Tipos de perdas

Ademais, em consequência dos itens acima, é notório os tipos de perda, sendo que a L1, L2 e L3 são perdas sociais:

- a) L1: perda de vida humana (incluindo-se danos permanentes);
- b) L2: perda de serviço ao público¹;
- c) L3: perda de patrimônio cultural;
- d) L4: perda de valor econômico ²

Tabela 2: Fonte, tipo de dano e tipo de perda.

Ponto de impacto	Fonte de dano	Tipo de dano	Tipo de perda
Estrutura	S1	D1	L1, L4 ¹
		D2	L1, L2, L3, L4
		D3	L1 ² , L2, L4
Nas proximidades de uma estrutura	S2	D3	L1 ² , L2, L4
Linhas elétricas ou tubulações metálicas conectados á estrutura	S3	D1	L1, L4 ¹
		D2	L1, L2, L3, L4
		D3	L1 ² , L2, L4
Proximidades de uma linha elétrica ou tubulações metálicas conectadas à estrutura	S4	D3	L1 ² , L2, L4
¹ somente propriedades com perda de animais			
² somente para estruturas com risco de explosão			

Fonte: NBR 5419-2:2015

2.3 PROCEDIMENTO DE CÁLCULO DE RISCOS

De acordo com a ABNT NBR 5419/2015^a, a fim de minimizar os prejuízos causados pelas descargas atmosféricas, seja ele risco de vida ou de queima de equipamentos, é recomendado realizar uma avaliação do risco de acordo com cada projeto do empreendimento. Com isso, para calcular esses riscos, também chamado de gerenciamento de risco, é preciso levar em conta diversos componentes como: a quantidade de descargas atmosféricas registradas de acordo com a região, qual é o tipo da estrutura do prédio, a capacidade de ocupação, a capacidade do local em pegar fogo, entre outros aspectos relevantes. Então, abaixo serão listados os tipos de riscos

2.3.1 Componente de riscos

Um componente de risco é um fator que auxilia para a incidência ou aumento de um risco. Nesse contexto existem vários tipos de R's, que é um componente diferente de risco para a estrutura, sendo assim, a NBR 5419-2:2015 esclarece:

“• Componentes de risco para uma estrutura devido às descargas atmosféricas na estrutura

a) RA: componente relativo a ferimentos aos seres vivos causados por choque elétrico devido às tensões de toque e passo dentro da estrutura e fora nas zonas até 3 m ao redor dos condutores de descidas. Perda de tipo L1 e, no caso de estruturas contendo animais vivos, as perdas do tipo L4 com possíveis perdas de animais podem também aumentar;

b) RB: componente relativo a danos físicos causados por centelhamentos perigosos dentro da estrutura iniciando incêndio ou explosão, os quais podem também colocar em perigo o meio ambiente. Todos os tipos de perdas (L1, L2, L3 e L4) podem aumentar;

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

- Componentes de risco para uma estrutura devido às descargas atmosféricas perto da estrutura

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

- Componentes de risco para uma estrutura devido às descargas atmosféricas a uma linha conectada à estrutura

a) RU: componente relativo a ferimentos aos seres vivos causados por choque elétrico devido às tensões de toque e passo dentro da estrutura. Perda do tipo L1 e, no caso de propriedades agrícolas, perdas do tipo L4 com possíveis perdas de animais podem também ocorrer;

b) RV: componente relativo 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. Todos os tipos de perdas (L1, L2, L3 e L4) podem ocorrer;

c) RW: componente relativo a falhas de sistemas internos causados por sobretensões induzidas nas linhas que entram na estrutura e transmitidas a esta. Perdas do tipo L2 e L4 podem

ocorrer em todos os casos, junto com o tipo L1, nos casos de estruturas com risco de explosão, e hospitais ou outras estruturas.

- Componentes de risco para uma estrutura devido às descargas atmosféricas perto de uma linha conectada à estrutura

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

Além disso, têm-se

R1: risco de perda de vida humana;

$$R_1 = R_{A1} + R_{B1} + R_{C1}^1 + R_{M1}^1 + R_{U1} + R_{V1} + R_{W1}^1 + R_{Z1}^1$$

R2: risco de perda de serviço ao público;

$$R_2 = R_{B2} + R_{C2} + R_{M2} + R_{V2} + R_{W2} + R_{Z2}$$

R3: risco de perda de patrimônio cultural;

$$R_3 = R_{B3} + R_{V3}$$

R4: risco de perda de valores econômicos

$$R_4 = R_{A4}^2 + R_{B4} + R_{C4} + R_{M4} + R_{U4}^2 + R_{V4} + R_{W4} + R_{Z4}$$

Tabela 3: Resumo das componentes de risco.

Fonte de Danos	Descarga atmosférica na estrutura S1			Descarga atmosférica Perto da Estrutura S2	Descarga atmosférica em Uma Linha conectada à Estrutura S3			Descarga atmosférica Perto de Uma Linha conectada à Estrutura S4
	RA	RB	RC	RM	RU	RV	RW	RZ
Risco para cada tipo de perda								
R1	*	*	*a	*a	*	*	*a	*a
R2		*	*	*		*	*	*
R3		*	*			*		
R4	*b	*	*	*	*b	*	*	*

a - Somente para estruturas com risco de explosão e para hospitais ou outras estruturas quando a falha dos sistemas internos imediatamente possam colocar em perigo a vida humana.

b - Somente para propriedades onde animais possam ser perdidos.

Fonte: NBR 5419-2:2015

Tabela 4 – Fatores que influenciam os componentes de risco.

Características da estrutura ou dos sistemas internos (medidas de proteção)	R_A	R_B	R_C	R_M	R_U	R_V	R_W	R_Z
Área de exposição equivalente	X	X	X	X	X	X	X	X
Resistividade da superfície do solo	X							
Resistividade do piso	X				X			
Restrições físicas, isolamento, avisos visíveis, equipotencialização do solo	X				X			
SPDA	X	X	X	X ^a	X ^b	X ^b		
Ligação ao DPS	X	X			X	X		
Interfaces isolantes			X ^c	X ^c	X	X	X	X
Sistema coordenado de DPS			X	X			X	X
Blindagem espacial			X	X				
Blindagem de linhas externas					X	X	X	X
Blindagem de linhas internas			X	X				
Precauções de roteamento			X	X				
Sistema de equipotencialização			X					
Precauções contra incêndios		X				X		
Sensores de fogo		X				X		
Perigos especiais		X				X		
Tensão suportável de impulso			X	X	X	X	X	X
^a Somente para SPDA tipo malha externa. ^b Devido a ligações equipotenciais. ^c Somente se eles pertencem ao equipamento.								

Fonte: NBR 5419-2:2015

2.4 GERENCIAMENTO DE RISCOS

Para fazer o gerenciamento e riscos, é necessário seguir os tópicos:

- 1º- Determinar todos os Rx citados.
- 2º- Calcular as componentes de risco Rx.

3°- Calcular de risco total R.

4°- Identificar os RT, também chamados de riscos toleráveis

5°- Comparar R com o RT

$R \leq RT$: dessa forma, não é preciso um sistema contra a descarga atmosférica

$R > RT$: assim, é preciso de um sistema contra descarga atmosférica a fim de diminuir $R \leq RT$.

2.4.1 Risco tolerável

Risco tolerável é o nível de risco que é julgado como aceitável dentro de um padrão específico. Logo, de acordo com a NBR 5419 é de responsabilidade dos projetistas verificar o valor do risco tolerável, conhecido como RT. Nessa tabela contém os tipos de perda L1, L2 e L3, nas quais se referem a perdas humanas, de serviço ao público e patrimônio cultural, mostrado abaixo:

Tabela 5: Tipos de perda em relação com o risco tolerável.

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

Fonte: NBR 5419-2:2015

2.5 SISTEMA DE PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

Sistemas de Proteção contra Descargas Atmosféricas (SPDA) são elementos fundamentais a fim de garantir a segurança de pessoas e bens, principalmente em locais com alto índice de raios, sendo ele edificações de maior altura. Eles têm como funcionalidade proteger pessoas e edificações contra descargas elétricas atmosféricas, nos quais as conduz para a terra, com isso, evita mortes de animais e pessoas, além de evitar os danos à estrutura e aos equipamentos elétricos dos moradores do empreendimento.

Os raios são fenômenos naturais que são perigosos, por causar incêndios, danificar equipamentos elétricos ou mecânicos, além de causar à perda de vidas humanas. Para minimizar tais riscos, criou-se o SPDA, nos quais são instalados em áreas onde têm uma maior incidência de raios, como por exemplo: prédios altos, torres, entre outros.

A partir disso, a instalação de um SPDA está ligada a criação de um sistema na qual é possível conduzir a corrente elétrica gerada por uma descarga atmosférica até o solo, de maneira segura para todas as pessoas e equipamentos. Este é formado por, a haste captadora, no caso desse projeto é o captor Franklin, em que tem a responsabilidade de atrair a descarga elétrica, além disso, a malha é responsável por distribuir a corrente elétrica por vários caminhos e levá-las as descidas, que têm a função de conduzir a corrente elétrica até o solo.

Ademais, os dispositivos de proteção contra sobretensões são importantíssimos, pois evitem que os equipamentos elétricos sejam danificados em decorrência da corrente elétrica gerada pela descarga atmosférica.

É fundamental que a implementação desse sistema seja executada por especialistas habilitados e com conhecimento técnico apropriado, em que utilizem as diretrizes e as normas imprescindíveis. Tais normas, são encontradas na NBR 5419, que foi elaborada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), responsável por estipular as diretrizes para o desenvolvimento, implementação e manutenção de Sistemas de Proteção contra Descargas Atmosféricas (SPDA) no Brasil.

Outro aspecto relevante a se destacar é a necessidade da manutenção regular do SPDA, que é essencial para assegurar sua adequada operação e desempenho. A ausência de manutenção tem como consequência prejudicar a capacidade de proteção do sistema, dessa forma, representa um risco potencial à segurança das pessoas e também a integridade dos equipamentos elétricos presentes no edifício, por exemplo.

2.5.1 Classe do SPDA

As classes do SPDA são definidas pelo seu potencial de proteção contra as descargas atmosféricas, ademais são definidas pela norma técnica brasileira NBR 5419, pois tal norma dita os requisitos para fazer um projeto, além da instalação e manutenção dos sistemas de proteção contra descargas atmosféricas.

Tabela 6: Relação entre os níveis de proteção e a classe de SPDA.

Nível de proteção	Classe de SPDA
I	I
II	II
III	III
IV	IV

Fonte: NBR 5419-2:2015

Os valores máximos dos parâmetros das correntes das descargas atmosféricas para os diferentes níveis de proteção são usados para projetar componentes de proteção contra descargas atmosféricas (por exemplo, seção transversal dos condutores, espessuras das chapas metálicas, capacidade de condução de corrente dos DPS, distância de segurança contra centelhamentos perigosos) e para definir parâmetros de ensaios que simulam os efeitos das descargas atmosféricas sob tais componentes. ABNT NBR 5419-1, 2015

As classes de SPDA são caracterizadas, de acordo com a ABNT NBR 5419-2:2015 por:

“Dados dependentes da classe de SPDA

- Parâmetros de descarga atmosférica;
- Raio da esfera rolante, tamanho da malha e ângulo de proteção;
- Distância típicas entre condutores de decida e dos condutores em anel;
- Distância de segurança contra centelhamento perigoso;
- Comprimento mínimo dos eletrodos de terra.

Fatores não dependentes da classe do SPDA

- Equipotencialização para descargas atmosféricas;
- Espessura mínima de placas ou tubulações metálicas nos sistemas de captação;
- Matérias do SPDA e condições de uso;
- Matérias, configuração e dimensões mínimas para captores, descidas e eletrodos de aterramento;
- Dimensões mínimas dos condutores de conexão.”

A fim de determinar a categoria do Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas (SPDA), há vários elementos que podem ser ajustados de acordo com o que for preciso. Esses elementos são definidos por: parâmetros relacionados à descarga atmosférica, o diâmetro da esfera rolante, a dimensão da malha de proteção, o ângulo de cobertura, a distância necessária para evitar faíscas e o comprimento determinado por norma dos eletrodos aterrados, entre outros.

2.6 SUBSISTEMA DE CAPTAÇÃO

O subsistema de captação do Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas é de grande importância pois é responsável por capturar e desviar as descargas atmosféricas para a terra de maneira que as pessoas, as estruturas e os equipamentos estejam seguros. O objetivo disso é a corrente elétrica gerada por uma descarga atmosférica, tenha um caminho a fim de distribuir essa alta corrente e leva-la ao solo.

Para isso acontecer, é por meio de captadores, denominado para-raios, nos quais são instalados nos pontos mais altos das edificações, a fim de atrair as descargas elétricas e conduzi-las para um sistema de aterramento adequado. Conforme a NBR 5419, o posicionamento ideal dos captadores e do subsistema de captação é o que define o volume de proteção. Assim, esse captação tem três formas de cálculo, que são:

- Método do ângulo de proteção (captor Franklin);
- Método da esfera rolante;
- Método das malhas (gaiola de Faraday).

Tabela 7: Relação dos métodos de proteção com a classe do SPDA.

-	Método de proteção		
	Raio da esfera rolante - R m	Máximo afastamento dos condutores da malha m	Ângulo de proteção a
I	20	5 x 5	ver figura abaixo
II	30	10 x 10	
III	45	15 x 15	
IV	60	20 x 20	

Fonte: NBR 5419-2:2015.

- Método do ângulo de proteção (captor Franklin)

O Método do Ângulo de Proteção, utiliza um elemento chamado de captor Franklin, este método foi desenvolvido por Benjamin Franklin e é muito utilizado na proteção de estruturas contra raios.

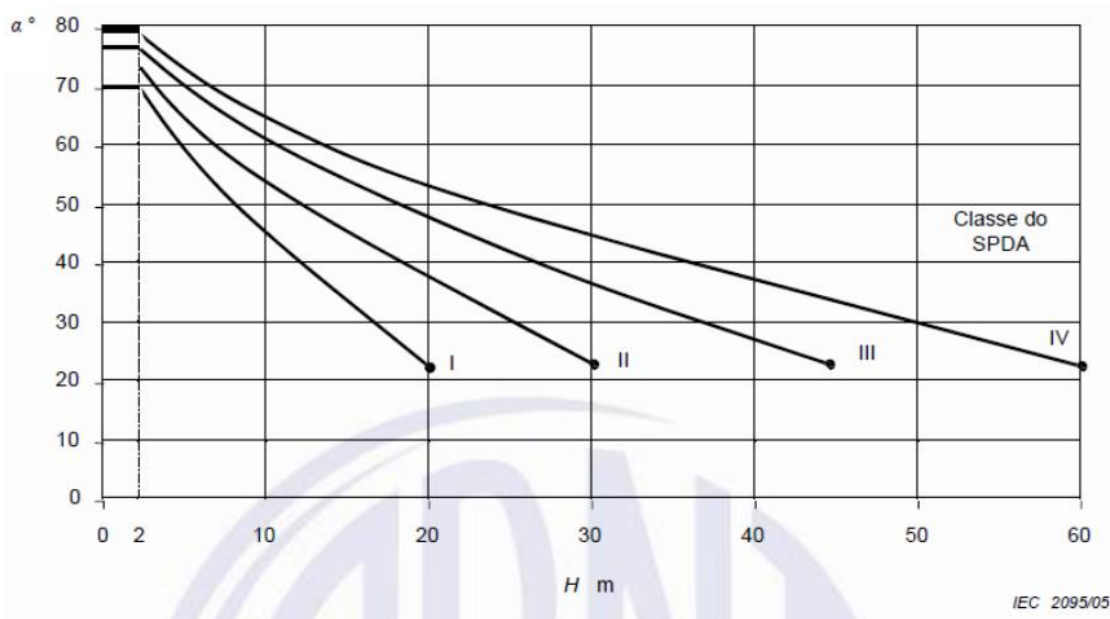
O captor Franklin é um instrumento de captação de descargas elétricas atmosféricas que tem um ou mais captadores pontiagudos instalados no ponto mais alto do empreendimento com a finalidade de proteger. Tais captadores têm a forma de hastes metálicas afiladas em que cria, portanto, um caminho a fim de distribuir a corrente elétrica que veio do raio.

O princípio do Método do Ângulo de Proteção é baseado na geometria do captor Franklin. O ângulo de proteção é determinado pela relação entre a altura do captor e sua distância horizontal até o ponto a ser protegido. Dessa maneira, para o ângulo de proteção ser menor vai depender da altura do captor em relação à estrutura, logo quanto mais alto e mais próximo ele estiver, menor será.

A escolha correta da altura e posicionamento dos captadores é de extrema importância para garantir a eficácia do método. Dessa forma, podemos considerar, de acordo com a NBR 5419-2:2015:

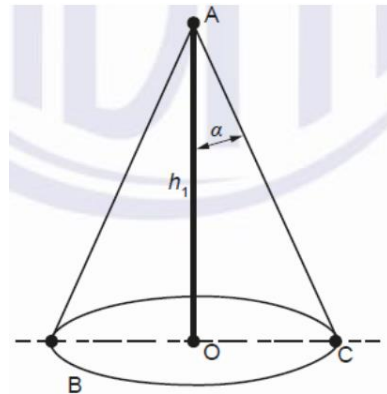
- Para H superior ao valor do fim de cada curva se aplica apenas malha ou esfera rolante.
- H é a altura do captor acima do plano de referência da área a ser protegida.
- Para $H < 2\text{m}$ o ângulo de proteção não se altera.

Figura 4: Método de proteção - ângulo de proteção.



Fonte: NBR 5419-2:2015

Figura 5: Método de proteção - ilustração

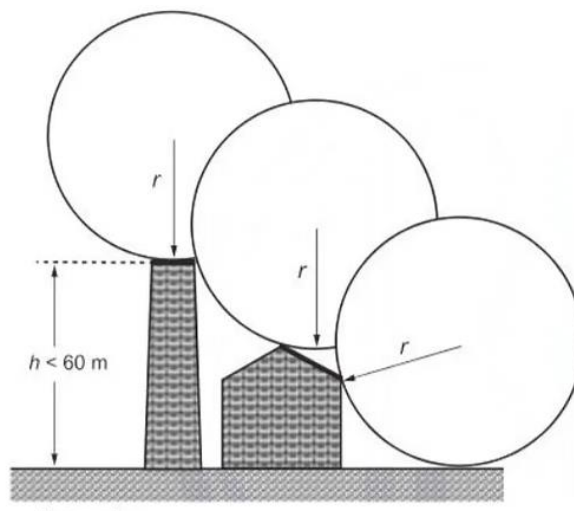


Fonte: NBR 5419-2:2015

- Método da esfera rolante

O método da esfera rolante é necessário utilizar uma esfera fictícia com o raio definido a partir da classe do SPDA. Ademais, de acordo com a NBR 5419:2015, “se nenhum ponto da estrutura, com exceção do subsistema de captação, tocar na esfera fictícia, a área está protegida.”

Figura 6: Método da esfera rolante - ilustração



Fonte: NBR 5419-2:2015

Tabela 8: Classe do SPDA em relação com a esfera rolante e as malhas.

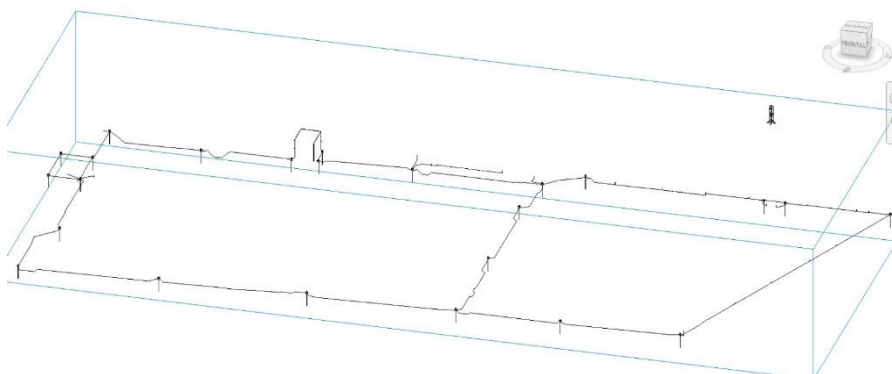
Classe do SPDA	Raio da Esfera Rolante – R (m)	Máx. afastamento dos condutores da malha (m)
I	20	5x5
II	30	10x10
III	45	15x15
IV	60	20x20

Fonte: NBR 5419-2:2015.

Método das malhas (gaiola de Faraday).

Para utilizar o método das malhas, é comum ser em estruturas com a maior parte de área horizontal, e também é apropriado para proteger superfícies planas laterais. Este é definido por uma malha captora de condutores espaçados entre si conforme indicado na tabela 8. Ademais, esse método pode ser usado em conjunto com o da esfera rolante e o de proteção, tornando a área ainda mais protegida.

Figura 7: Método das malhas - ilustração



Fonte: NBR 5419-2:2015.

2.7 SUBSISTEMA DE ATERRAMENTO

Quando a fundação não dá para ser utilizada, é necessário o uso de um condutor em anel na parte externa da estrutura no qual esteja, pelo menos, em 80% em contato com a terra, a fim que o projeto esteja em sua máxima eficiência de proteção. Outra solução é ter um elemento condutor que ligue as armaduras que estão em falta de continuidade da fundação. Por meio da

figura 5, pode-se notar que é essencial que o raio médio da área abrangida pelos cabos seja o l_1 maior ou igual a l_1 .

Figura 8: Comprimento mínimo l_1 do eletrodo de aterramento.



Fonte: NBR 5419-1:2015.

Com isso, percebe-se que as classes III e IV são independentes da resistividade do solo. Ademais, para solos com resistividade superior a $3000 \Omega.m$, é preciso seguir as equações abaixo, de acordo ABNT NBR 5419/3:2015:

$$l_1 = 0,03\rho - 10 \text{ (classe I) (1)}$$

$$l_1 = 0,02\rho - 10 \text{ (classe II) (2)}$$

O raio médio da área deve ser maior ou igual ao comprimento l_1 , caso isso não aconteça, é preciso adicionar eletrodos a partir das equações 3 e 4:

$$l_r = l_1 - r_e \text{ (componente horizontal) (3)}$$

$$l_v = (l_1 - r_e) / 2 \text{ (componente vertical) (4)}$$

Pela norma, a forma correta de instalar o eletroduto de aterramento em anel tem que estar a no máximo 1 metro de distância do lado externo da estrutura do empreendimento, além de ter uma profundidade de pelo menos 0,5 metro.

2.8 MATERIAIS

Um Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas (SPDA) é composto por diversos materiais que desempenham funções específicas na proteção contra raios. Os materiais comumente utilizados em um SPDA conforme a norma são:

Tabela 9: Materiais, utilização e corrosão para SPDA.

Material	Utilização				Corrosão		
	Ao ar livre	Na terra	No concreto ou reboco	No concreto armado	Resistência	Aumentado por	Podem ser destruídos por acoplamento galvânico
Cobre	Maciço Encordoado Como cobertura	Maciço Encordoado Como cobertura	Maciço Encordoado Como cobertura	Não permitido	Boas em muitos ambientes	Compostos sulfurados Materias orgânicos Altos conteúdos de cloretos	-
Aço galvanizado a quente	Maciço Encordoado	Maciço Encordoado	Maciço Encordoado	Maciço Encordoado	Aceitável no ar, em concreto e em solos salubres	Altos conteúdos de cloretos	Cobre
Aço inoxidável	Maciço Encordoado	Maciço Encordoado	Maciço Encordoado	Maciço Encordoado	Bom em muitos ambientes	Altos conteúdos de cloretos	-
Aço revestido por cobre	Maciço Encordoado	Maciço Encordoado	Maciço Encordoado	Não permitido	Bom em muitos ambientes	Compostos sulfurados	-
Alumínio	Maciço Encordoado	Não permitido	Não permitido	Não permitido	bom em atmosferas contendo baixas concentrações de sulfurados e cloreto	Soluções alcalinas	Cobre

NOTA 1 Esta tabela fornece somente um guia geral. Em circunstâncias especiais, considerações de imunização de corrosão mais cuidadosas são requeridas.
 NOTA 2 Condutores encordoados são mais vulneráveis à corrosão do que condutores sólidos. Condutores encordoados são também vulneráveis quando eles entram ou saem nas posições concreto/terra.
 NOTA 3 Aço galvanizado a quente pode ser oxidado em solo argiloso, úmido ou com solo salgado.

Fonte: NBR 5419-1:2015.

Tabela 10: Material utilizado no SPDA e suas especificações.

Material	Configuração	Área da seção mínima mm ²	Comentários ^d
Cobre	Fita maciça	35	Espessura 1,75 mm
	Arredondado maciço ^d	35	Diâmetro 6 mm
	Encordoado	35	Diâmetro de cada fio da cordoalha 2,5 mm
	Arredondado maciço ^b	200	Diâmetro 16 mm
Alumínio	Fita maciça	70	Espessura 3 mm
	Arredondado maciço	70	Diâmetro 9,5 mm
	Encordoado	70	Diâmetro de cada fio da cordoalha 3,5 mm
	Arredondado maciço ^b	200	Diâmetro 16 mm
Aço cobreado IACS 30 % ^e	Arredondado maciço	50	Diâmetro 8 mm
	Encordoado	50	Diâmetro de cada fio da cordoalha 3 mm
Alumínio cobreado IACS 64 %	Arredondado maciço	50	Diâmetro 8 mm
	Encordoado	70	Diâmetro de cada fio da cordoalha 3,6 mm
Aço galvanizado a quente ^a	Fita maciça	50	Espessura mínima 2,5 mm
	Arredondado maciço	50	Diâmetro 8 mm
	Encordoado	50	Diâmetro de cada fio cordoalha 1,7 mm
	Arredondado maciço ^b	200	Diâmetro 16 mm
Aço inoxidável ^c	Fita maciça	50	Espessura 2 mm
	Arredondado maciço	50	Diâmetro 8 mm
	Encordoado	70	Diâmetro de cada fio cordoalha 1,7 mm
	Arredondado maciço ^b	200	Diâmetro 16 mm

Fonte: NBR 5419-1:2015.

Tabela 11: Material utilizado no aterramento e suas especificações.

Material	Configuração	Dimensões mínimas ^f		Comentários ^f
		Eletrodo cravado (Diâmetro)	Eletrodo não cravado	
Cobre	Encordoado ^c	–	50 mm ²	Diâmetro de cada fio cordoalha 3 mm
	Arredondado maciço ^c	–	50 mm ²	Diâmetro 8 mm
	Fita maciça ^c	–	50 mm ²	Espessura 2 mm
	Arredondado maciço	15 mm	–	
	Tubo	20 mm	–	Espessura da parede 2 mm
Aço galvanizado à quente	Arredondado maciço ^{a, b}	16 mm	Diâmetro 10 mm	–
	Tubo ^{a b}	25 mm	–	Espessura da parede 2 mm
	Fita maciça ^a	–	90 mm ²	Espessura 3 mm
	Encordoado	–	70 mm ²	–
Aço cobreado	Arredondado Maciço ^d Encordoado ^g	12,7 mm	70 mm ²	Diâmetro de cada fio da cordoalha 3,45 mm
Aço inoxidável ^e	Arredondado maciço	15 mm	Diâmetro 10 mm	Espessura mínima 2 mm
	Fita maciça	–	100 mm ²	

Fonte: NBR 5419-1:2015.

3 ESTUDO DE CASO: PROJETO

Neste projeto será apresentado o projeto de SPDA do empreendimento, em questão de contrato, não poderá ser divulgado sua localização. Todavia, o terreno tem 6.340,64m², de área construída no térreo: 4.198,62m², de área construída no mezanino 281,62m² e área total construída: 4.480,24m².

3.1. PACOTE REVIT

O pacote Revit, atualmente, é dividido em três áreas de trabalho:

- Revit Arquitetura, sendo este responsável pelo projeto arquitetônico;
- Revit Estrutural, sendo este responsável pelo projeto estrutural;
- Revit MEP, sendo este o software da Autodesk responsável pela construção de projetos de instalações. Dessa maneira, MEP é a sigla que demonstra os recursos nos quais são as outras necessidades de projeto, sendo esses:

M – Mechanical (utilizado em instalações mecânicas);

E – Eletrical (utilizado para o projeto de instalação elétrica, comunicação, CFRT e SPDA);

P – Pumbing e Piping (utilizado nos projetos de tubulações hidráulicas, esgoto e incêndio)

Com isso, nesse projeto serão mostrados às disciplinas de arquitetura e estrutural mais especificamente, pois estas que impactam diretamente no SPDA.

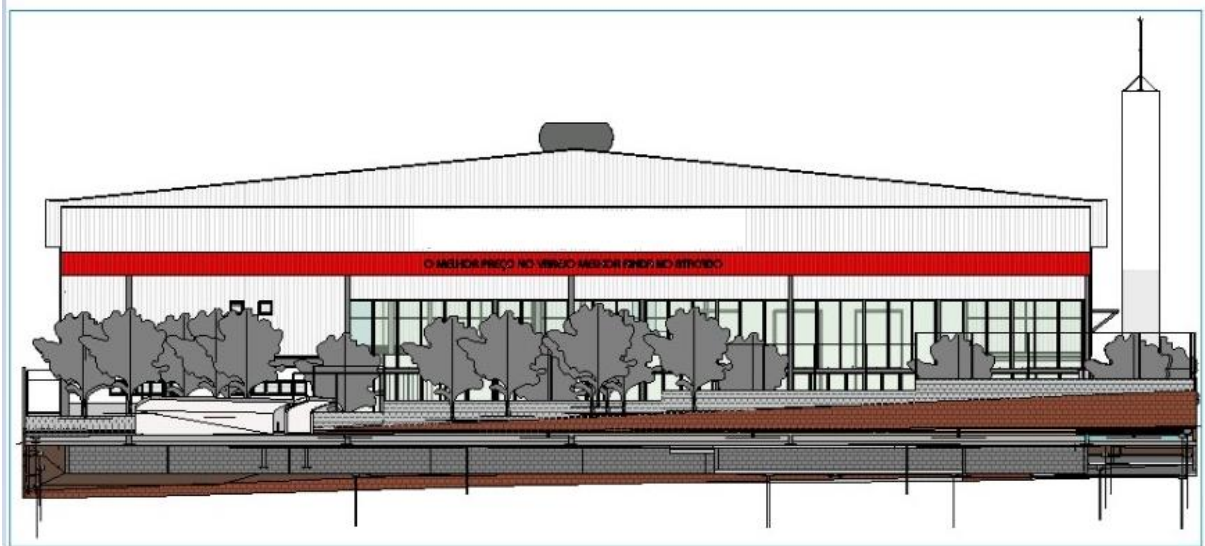
3.1.1 Projeto arquitetônico

No software, essa área é focada ao desenho arquitetônico do projeto. Tais projetistas são responsáveis em construir paredes, portas, fachada do estabelecimento, janelas, portas, jardins, escadas. Ademais, podem colocar cores nas paredes e pisos conforme a solicitação do cliente.

Esse modelo é, inicialmente, projetado no AUTOCAD, posterior a isso, o projeto feito em 2D é modelado no REVIT, no qual faz todas as partes de maneira que qualquer envolvido no projeto consegue visualizar o mesmo em forma 5D. Este projeto foi modelado por 4 arquitetos.

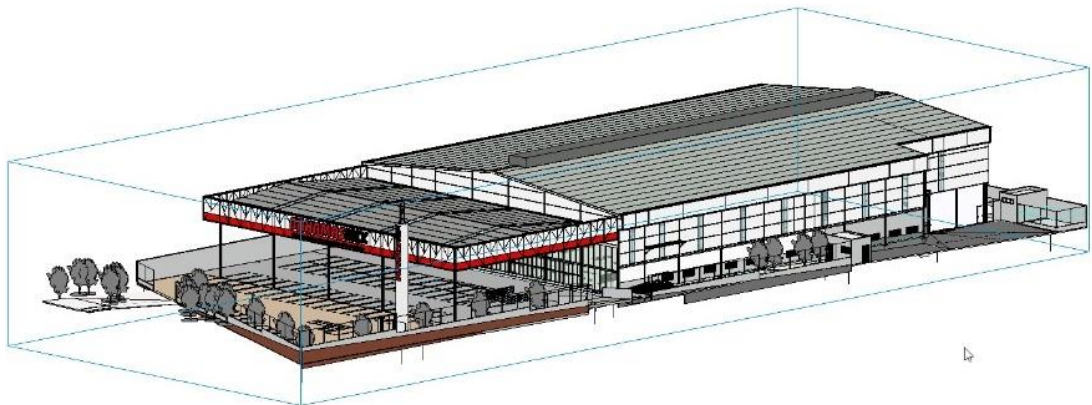
Na figura 6, tem-se a fachada do empreendimento e todo o seu projeto arquitetônico por fora do supermercado.

Figura 9- Projeto arquitetônico do empreendimento 1.



Fonte: Autora.

Figura 10 – Projeto arquitetônico do empreendimento 2.



Fonte: Autora.

3.1.2 Projeto estrutural

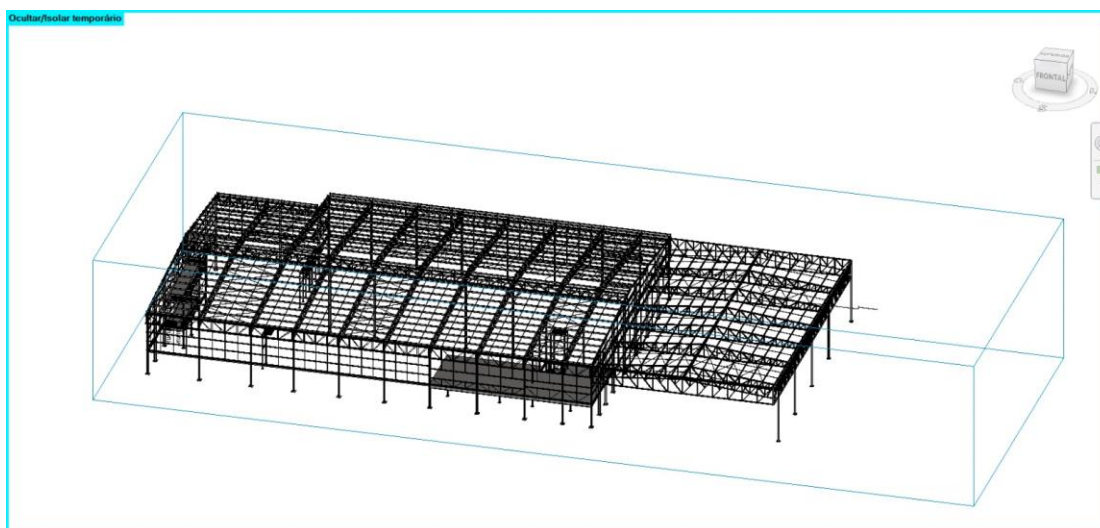
O projeto estrutural em BIM (Building Information Modeling) é interessante devido à forma como as estruturas são projetadas, pois as tornam visuais, o que melhora a qualidade do projeto. Este é aplicado em fundações, concreto armado, alvenaria estrutural, metálica, assim,

nesse empreendimento a forma aplicada é de estrutura metálica, o que contribui com o projeto de SPDA.

Tais estruturas têm a responsabilidade de sustentar o supermercado, em que dissipam as suas cargas ao terreno, dessa forma, é necessário examinar o desempenho de estruturas sujeitas a diferentes forças. Pois, é preciso considerar para fazer os cálculos a análise da resistência adequada dos componentes estruturais e suas interferências externas, sendo eles: peso de pessoas e objetos, sobrecargas, ação de ventos, chuvas, além de variações de temperatura

Ademais, é preciso estudar e projetar a melhor forma de evitar as deformações desses fatores externos. A partir disso, na figura 8, pode-se ver o projeto estrutural do empreendimento.

Figura 11 – Projeto estrutural do empreendimento.



Fonte: Autora.

3.1.3 Projeto SPDA

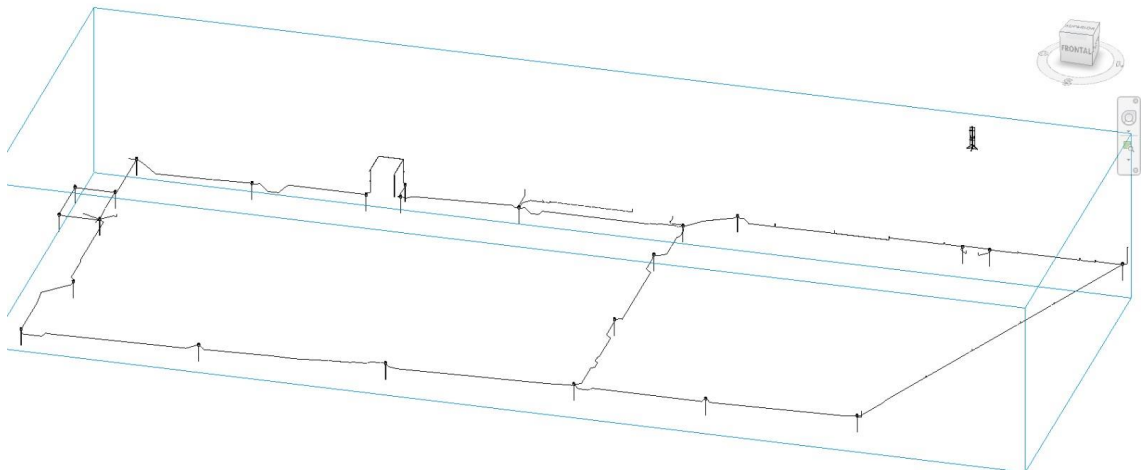
A partir do que foi visto na parte teórica, pode-se concluir que este projeto de SPDA é de classe IV e foi utilizado o método da esfera rolante e das malhas. Ademais, por causa da estrutura do empreendimento ser metálica, podemos utilizar a própria como condutor de descida natural. Logo, conforme a NBR 5419:2005:

Os pilares metálicos da estrutura podem ser utilizados como condutores de descida naturais. Os elementos da fachada (perfis e suportes metálicos) poderão ser utilizados como condutores de descidas naturais, desde que suas seções sejam no mínimo iguais às especificadas para os

condutores de descida conforme tabela 3 e com a sua continuidade elétrica no sentido vertical no mínimo equivalente. Em alternativa admite-se um afastamento não superior a 1 mm entre as superfícies sobrepostas de condutores consecutivos, desde que com área não inferior a 100 cm². ABNT NBR 5419-1, 2015.

Dessa maneira, abaixo está o projeto feito no REVIT, no qual mostra a malha fechada, além dos postes aterrados e câmeras também. Pode-se perceber o captor Franklin, em que aparenta estar flutuando pois foram desligados os vínculos estruturais e arquitetônicos, deixando somente o de SPDA ativado.

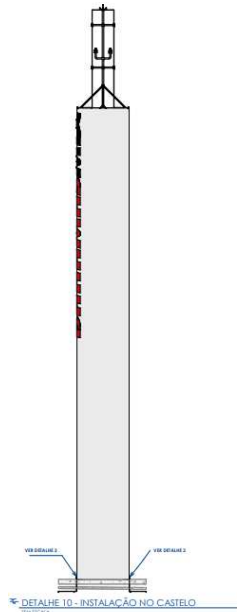
Figura 12 – Projeto de SPDA do empreendimento.



Fonte: Autora.

Como mencionado na figura 9, os métodos utilizados nesse projeto são do captor Franklin, que foi colocado no ponto mais alto do empreendimento, e das malhas, como mostrado na figura 10:

Figura 13 – Captor Franklin no lugar mais alto da construção.




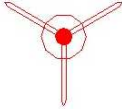
Fonte: Autora

3.2 MATERIAIS

Os materiais utilizados nesse projeto foram:

- Os cabos de cobre nu, com área de seção de 50mm²;
- Caixa de inspeção com haste de aterramento;
- Para raio Tipo Franklin com mastro de 3m².

Figura 14– Materiais utilizados no projeto de SPDA.

LEGENDA	
- - - - -	Cabo de Cobre Nu 50mm ² – 7 Fios x Ø 3,00 mm (NBR6524) - (TEL 5750)
	Caixa de inspeção com haste de aterramento
	Para-Raio Tipo Franklin, fornecido completo com mastro de 3mx2", sem descida, com captor, com sinaleiro, com abraçadeira para fixação tipo porta bandeira

Fonte: Autora

3.3 MALHA DE ATERRAMENTO

A malha de aterramento é uma estrutura com o objetivo de levar as cargas elétricas recebidas na edificação e leva-las para a terra. É utilizada principalmente em projetos elétricos e eletrônicos a fim de garantir a segurança das pessoas e o funcionamento dos equipamentos.

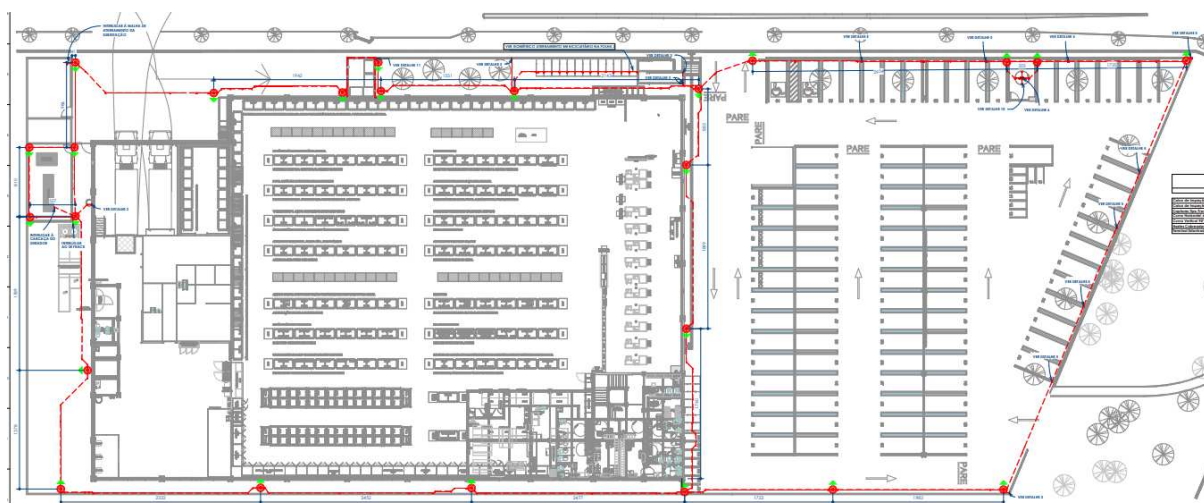
Essas cargas podem ser causadas principalmente por descargas atmosféricas e também por falhas no sistema e interferências eletromagnéticas. Dessa forma, na ausência da malha de aterramento, essas correntes podem se acumular e provocar danos aos equipamentos, e também representar riscos para as pessoas que os operam.

Uma malha de aterramento é formada por uma malha de condutores metálicos, assim foi utilizado, nesse projeto, cabos de cobre enterrados que são conectados a pontos metálicos nos quais precisam ser aterrados. Esses pontos podem incluir postes, geradores, bicicletário, ou seja, todas as estruturas metálicas que possam propagar a descarga elétrica.

Ao conectar todos esses componentes em uma malha de aterramento, tem-se um caminho de baixa resistência na qual possibilita a dissipação rápida e segura das correntes indesejadas para o solo. Sendo assim, essa resistência precisa ser preservada baixa, para assim obter a maior eficiência do sistema.

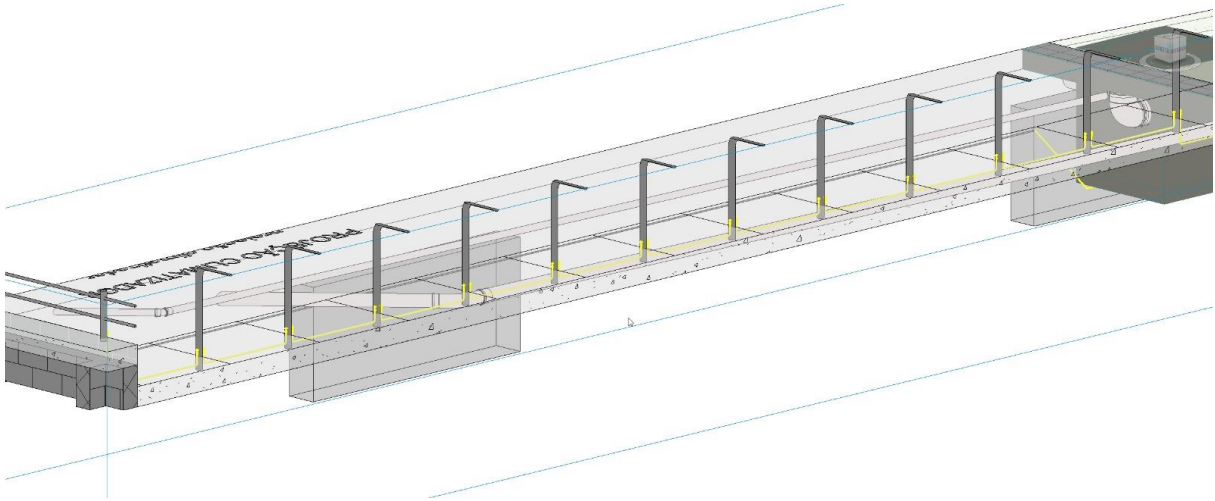
Ademais, a malha de aterramento também desempenha na proteção contra descargas atmosféricas, pois estruturas como para-raios são conectadas à essa malha, isso faz com o que a energia das descargas seja conduzida para a terra.

Figura 15 – Projeto de SPDA em planta baixa com a malha de aterramento.



Fonte: Autora

Figura 16 – Aterramento do bicicletário.



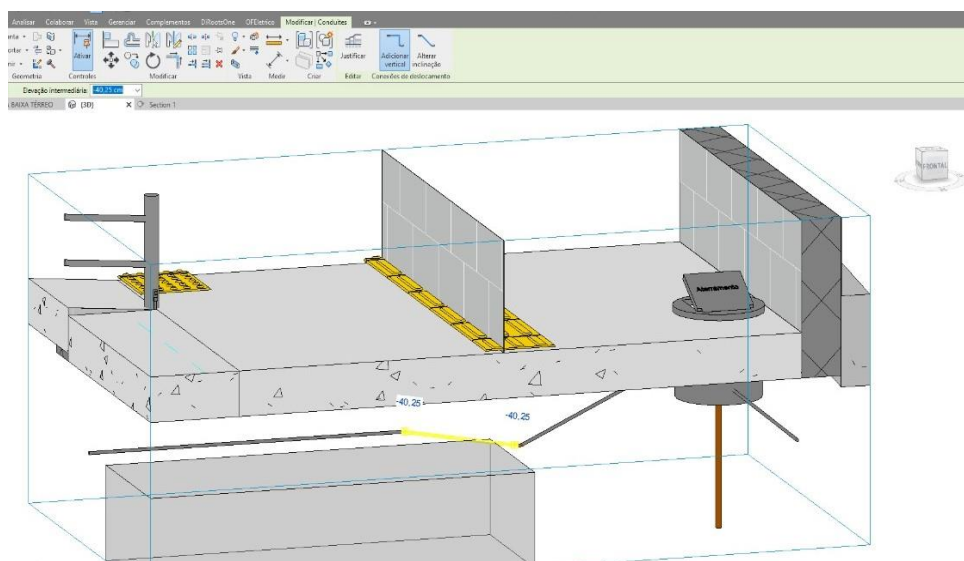
Fonte: Autora

3. 4 CONFLITOS NOS PROJETOS

Com o uso do software Revit, é possível de trabalhar com os projetos multidisciplinares, fazendo com que as equipes de diferentes disciplinas (arquitetura, estrutural, elétrica, incêndio, spda) projetem em um único modelo integrado. Dessa maneira, pode surgir conflitos com as disciplinas, que são:

Conflito espaciais: As diferentes disciplinas podem ter elementos que ocupam o mesmo lugar, o que gera colisões. Por exemplo, um eletroduto de SPDA furando uma caixa de esgoto.

Figura 17 – Conflito entre SPDA e esgoto.



Fonte: Autora.

Inconsistências de projeto: As disciplinas podem ter informações incoerentes. Por exemplo, um projeto estrutural pode ter colocado uma escada em um local onde o projeto arquitetônico prevê uma viga.

Figura 18 – Conflito entre SPDA e calha.



Fonte: Autora.

Logo, para ter um projeto de boa qualidade, é imprescindível a resolução desses conflitos, por isso implementar processos de coordenação e colaboração entre as diferentes disciplinas dentro do escritório é de grande contribuição. Assim, há práticas comuns para diminuir tais conflitos:

Reuniões entre as disciplinas: Realizar reuniões periódicas entre as equipes a fim de discutir os conflitos encontrados.

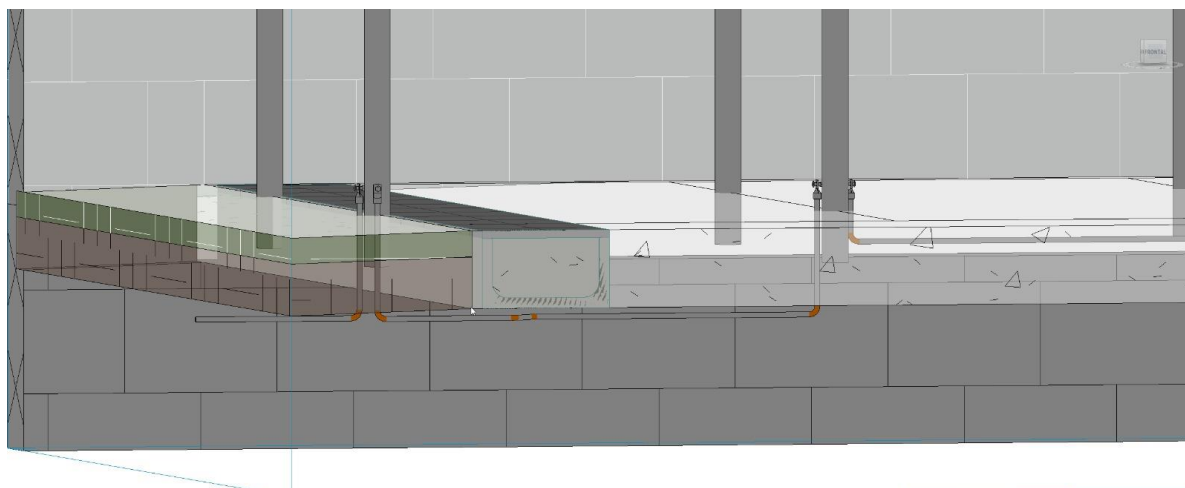
Modelagem colaborativa: Fazer vários arquivos com todas as disciplinas, em que serão vínculos nos projetos, logo em seu arquivo será possível vincular arquitetura, elétrica, hidráulica, etc, assim as equipes irão trabalhar no mesmo modelo Revit, permitindo que elas identifiquem e resolvam problemas de conflito em tempo real. Este foi o método utilizado nesse projeto e a partir do projeto de hidráulica, por exemplo, a modelagem do SPDA foi feita desviando dos tubos para assim entregar o projeto correto.

Uso de softwares na detecção de conflitos: Utilizar softwares ou plugins específicos que identificam automaticamente as interferências entre os elementos do projeto.

Ter equipe de compatibilização: No escritório, ter alguns projetistas responsáveis por conferir e resolver esses conflitos no final de cada revisão do projeto.

Dessa maneira, após verificar onde há conflito, é necessário a resolução do mesmo. Neste caso é mais simples trocar o condutor de aterramento de lugar do que a calha, por isso na figura 16, a resolução do conflito foi feito dessa forma.

Figura 19 – Solução do conflito entre SPDA e calha da figura 15.



Fonte: Autora.

3.5 LISTA DE MATERIAIS

No Revit, tem se a grande vantagem de criar a lista de material e conforme vai modelando, o próprio software contabiliza o quantitativo. Assim, para criarmos uma tabela de quantidades, é necessário ir na aba de “vista” e no painel “criar” tem o botão “tabelas”. Assim, nesse caso de tabela de quantitativo, escolhe a opção “tabela/quantidades”. A partir disso, terá a janela “nova tabela”, em que é possível escolher os dados conforme a necessidade do projetista.

As dimensões dos materiais são editáveis, porém a contagem vem a partir da modelagem, ou seja, se estiver um eletroduto perdido no projeto, o mesmo será contabilizado.

Tabela 12 – Lista de materiais automática do Revit.

LISTA DE MATERIAIS - COMPONENTES		
DESCRIÇÃO DO MATERIAL	DIMENSÕES	CONTAGEM
Caixa de Inspeção em Polipropileno com Tampa em Ferro Fundido	Ø300mm	24
Caixa de Inspeção Suspensa em Polipropileno	123 x 158 x 87 mm	2
Captores Tipo Franklin Duas Descidas em mastro 3 metros		1
Curva Horizontal de Barra Chata em Alumínio	7/8" x 1/8" x 300mm	2
Curva Vertical 90° Barra Chata em Alumínio (70mm ²)	7/8" x 1/8" x 300 mm	3
Hastes Cobreadas Alta Camada	Ø5/8" x 2,40m	24
Terminal Estanhado 1 Furo 1 Compressão	50mm ²	62

LISTA DE MATERIAIS - CABOS		
DESCRIÇÃO DO MATERIAL	COMPRIMENTO (m)	DIÂMETRO (mm)
Cabo de cobre nú Ø 50mm ² , conforme NBR6524	479,4	50
Eletroduto de PVC Rígido Roscável, anti chama, na cor preta, conforme NBR 15465	2,9	32

Fonte: Autora.

3. 6 FOLHA NO REVIT

No REVIT, uma folha é uma representação virtual de uma página de desenho ou documento que contém informações e gráficos relacionados ao projeto. Essas têm utilidade para criar e organizar a documentação do projeto, como plantas baixa, cortes, elevações, quantitativos, descritivos, detalhes, entre outros.

Para criar uma folha, pode-se usar o mesmo arquivo de modelagem, porém será em outra aba. Então, é preciso acessar a guia "configurar" na faixa de opções e clicar em nova folha. A partir disso, abrirá uma janela na qual é definido o tamanho da folha, a escala e a orientação. No Revit, é plausível navegar entre as folhas abrindo a aba do navegador de projeto, pois isso possibilita visualizar e acessar todas as folhas, as modelagens e os detalhes presentes no projeto.

Figura 20 – Aba navegador do projeto



Fonte: Autora.

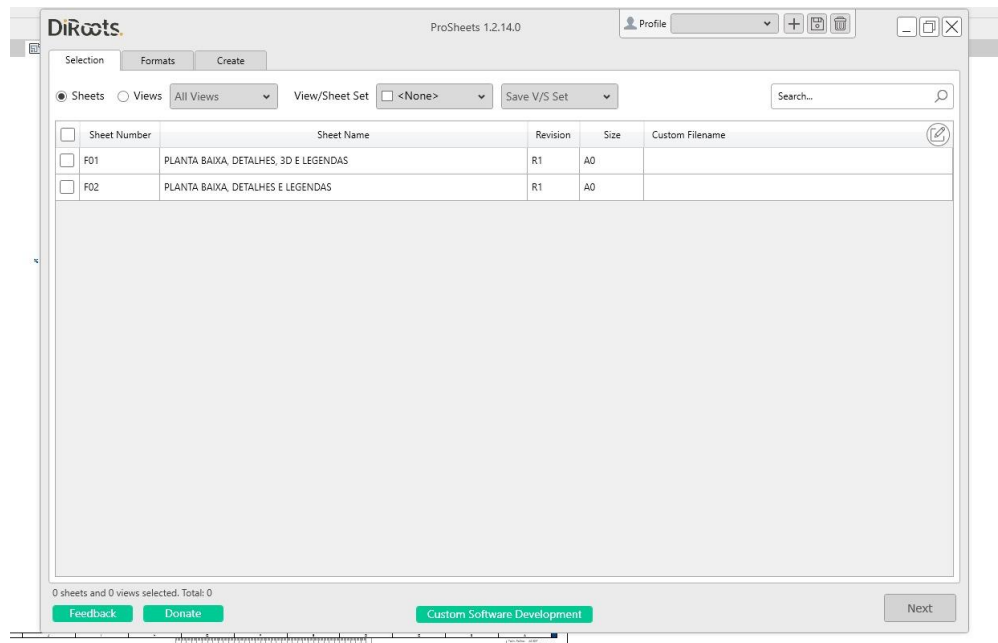
Ademais, cada folha tem um título em que têm informações, como o número da folha, o nome do projeto, a fase de construção, qual é a revisão, quantitativo, notas. Já as vistas do projeto, como planta baixa e cortes são posicionadas nas folhas em que basta apenas arrastar e soltar a vista desejada na área de layout da folha. E também cada folha tem uma área em que pode-se organizar e posicionar as vistas, anotações conforme o projetista quer ou de acordo com o gosto do cliente.

3.7 EXPORTAÇÃO

A DiRoots é um software personalizado no qual desenvolve plugins para Autodesk Revit, no qual é responsável por exportar o projeto para diversos formatos, como: AUTOCAD, PDF, entre outros. Sendo este de fácil e rápido acesso, sendo um grande contribuinte para os projetistas em 5D.

Assim, primeiro você deve selecionar todas as folhas que serão exportadas. Nessas mostra também qual é a revisão do projeto.

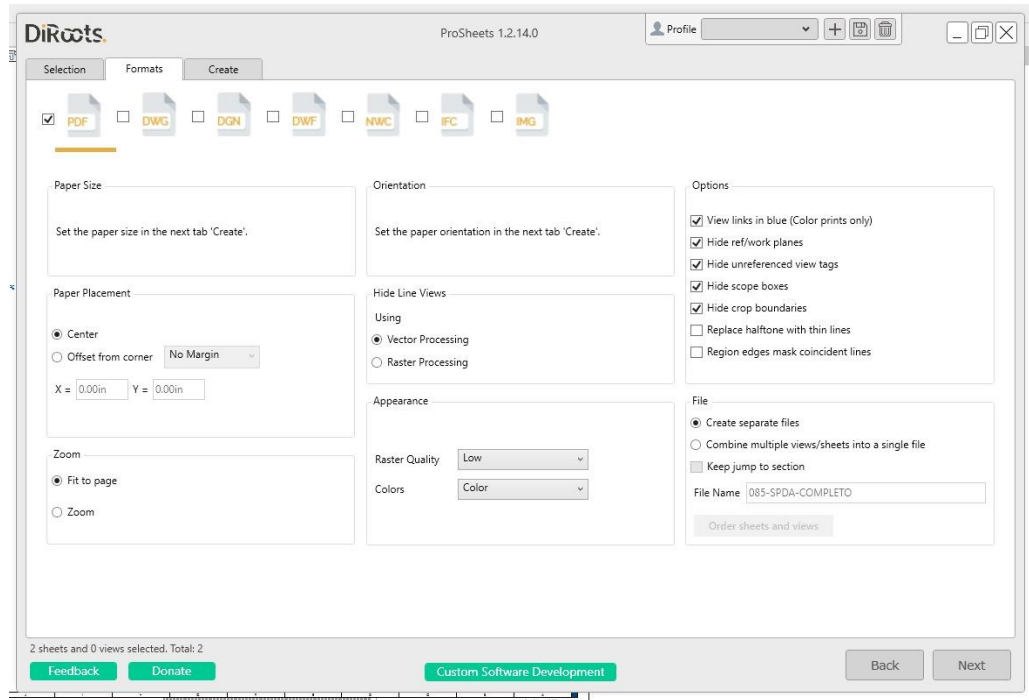
Figura 21 – Selecionar quais folhas irão ser exportadas.



Fonte: Autora.

Posterior a isso, é necessário escolher quais formatos do arquivo serão exportados.

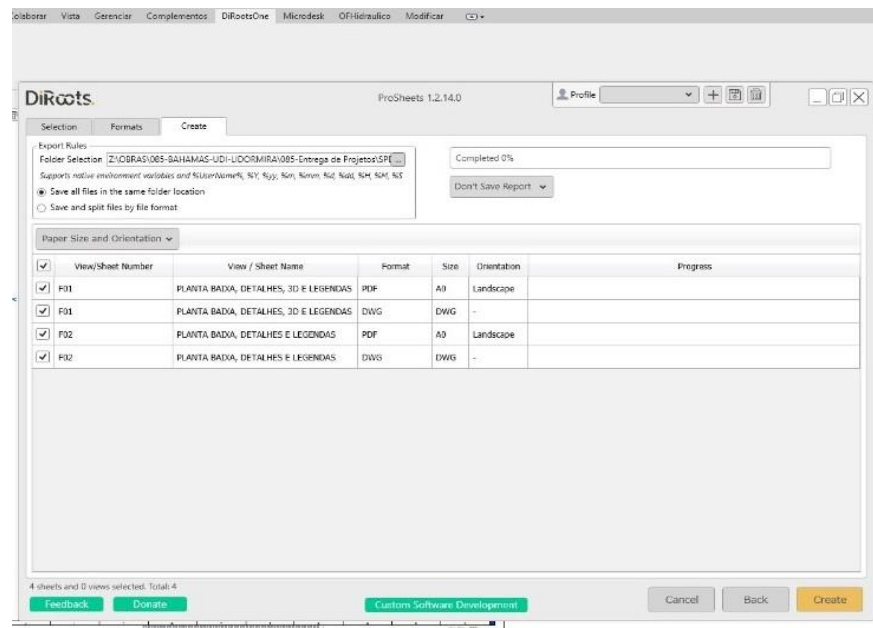
Figura 22 – Formatos possíveis para exportar o projeto.



Fonte: Autora.

Por fim, criar as folhas nos formatos selecionados e fazer download na pasta já selecionada.

Figura 23 – Criação das folhas.



Fonte: Autora.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir do que foi visto neste trabalho, pode-se concluir que a implementação de um Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas (SPDA) com o uso da metodologia BIM proporciona vantagens e benefícios para o projetista, cliente e também referente a construção e ao gerenciamento da obra. Logo, com o uso da ferramenta BIM nesse contexto, tem-se uma visão do projeto como um todo com todas as disciplinas vinculadas, no que resulta em um projeto mais eficiente, assertivo e de maior qualidade.

Com isso, usando o BIM, é possível perceber as vantagens na implementação de um SPDA, pois cria-se um modelo tridimensional detalhado e preciso da estrutura, no que incorpora todos os componentes do sistema de proteção. Com isso, essa representação virtual permite vincular as disciplinas inseridas no projeto e a partir disso, mostrar todos os conflitos e sua solução, portanto evita erros e retrabalho no decorrer do projeto.

Ademais, o sistema BIM possibilita a simulação e análise do desempenho do SPDA em múltiplos cenários de descargas atmosféricas isso faz com o que seja possível avaliar a eficácia do sistema de proteção, assim identificar as falhas e modelar os ajustes precisos antes da construção, pois como o modelo e as atualizações acontecem em tempo real, todas as informações referentes ao projeto estarão nele.

Outra grande vantagem é a troca de informações entre os diversos projetistas envolvidos no projeto, dessa maneira a construção do SPDA é aprimorada por meio do uso do BIM. A colaboração entre engenheiros civis, eletricitas, arquitetos é mais fácil, o que possibilita a integração de seus respectivos projetos e a solução de problemas juntos.

Além disso, a implementação de um SPDA segue normas, envolvendo questões de segurança e seguir os regulamentos necessários, assim o BIM auxilia em uma melhor visualização e controle das informações de acordo com a norma, como distâncias mínimas entre dois componentes, entre outros. Logo, permite que os profissionais responsáveis na verificação e no cumprimento dos requisitos de segurança, sigam tudo conforme indicado.

Por fim, o BIM também traz benefícios para a fase de operação e manutenção do SPDA, porque no decorrer do projeto, o modelo do sistema pode ser atualizado de acordo com as novas informações e modelagens feitas, além das revisões solicitadas pelos clientes, isso facilita a gestão pois garante uma grande qualidade da entrega do projeto.

Em resumo, a implementação de um Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas com o uso da metodologia BIM proporciona ao projetista e ao cliente, um projeto

integrado, colaborativo e eficaz. Dessa forma, melhora a segurança dos objetos e pessoas além de reduzir os custos.

5 REFERÊNCIAS

- [1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 5419-1:2015. **Proteção de Estruturas contra Descargas Atmosféricas. Parte 1: Princípios gerais** . 1.ed .Rio de Janeiro, 2015.
- [2] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 5419-2:2015. **Proteção de Estruturas contra Descargas Atmosféricas. Parte 2: Gerenciamento de Riscos** . 1.ed .Rio de Janeiro, 2015.
- [3] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 5419-3:2015. **Proteção de Estruturas contra Descargas Atmosféricas. Parte 3: Danos físicos a estruturas e perigos à vida**. 1.ed .Rio de Janeiro, 2015.
- [4] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 5419-4:2015. **Proteção de Estruturas contra Descargas Atmosféricas. Parte 4: Sistemas elétricos e eletrônicos internos na estrutura**. 1.ed .Rio de Janeiro, 2015.
- [5] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT NBR5410:2004 . Versão corrigida 2008: **Instalações elétricas de baixa tensão**. Rio de Janeiro, 2008.
- [6] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT NBR 15749. Versão corrigida 2008: **Medição de resistência de aterramento e de potenciais na superfície do solo em sistemas de aterramento**. Rio de Janeiro, 2009.
- [7] CAVALIN, Geraldo; CERVELIN, Severino. **Instalações Elétricas Prediais Conforme Norma NBR 5410:2004.20.ed**. São Paulo: Érica, 2010.
- [8] CREDER, Hélio. **Instalações Elétricas**. 15.ed Rio de Janeiro: LTC, 2007.
- [9] KINDERMANN, G. **Descargas Atmosféricas**. Rio Grande do Sul, 1992.
- [10] RAGGI, Livia M. R. **Projeto de malhas de aterramento: contribuição ao cômputo da estratificação do solo**, Belo Horizonte, p.10, agosto. 2009. Disponível em: Acessado dia 10/05/23
- [11] FECAM. Memorial SPDA. Disponível em:
<https://static.fecam.net.br/uploads/834/arquivos/854315_Memorial_SPDA_.pdf>
(Acessado dia 07/09/23)
- [12] AYRES Filho, Cervantes, SCHEER, Sergio. **Diferentes abordagens do uso do CAD no processo de projeto arquitetônico**. In: Anais do VII Workshop Nacional de Gestão do Processo de Projeto na Construção de Edifícios, Curitiba, 2007.

- [13] BORGES, Ana Verônica Gonçalves et al. **Estado de adoção do building information modeling (BIM) em empresas de arquitetura, engenharia e construção de Fortaleza/CE.** Blucher Engineering Proceedings, v. 2, p. 669-681, 2015.
- [14] CZMOCH, Ireneusz; PEKALA, Adam. **Traditional design versus BIM based design.** Procedia Engineering, v. 91, p. 210-215, 2014.
- [15] GOES, R. H. T. B. **Compatibilização de projetos com a utilização de ferramentas BIM.** Dissertação (Mestrado) – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, São Paulo, 2011.
- [16] MANZIONE, L. **Proposição de uma estrutura conceitual de gestão do processo de projeto colaborativo com o uso do BIM.** Tese (Doutorado) – Departamento de Engenharia de Construção Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013
- [17] FERREIRA, B.M.L. **Desenvolvimento de metodologias BIM de apoio aos trabalhos construtivos de medição e orçamentação.** Dissertação de mestrado, Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, 2015.
- [18] MULLER, Leandro Sander. **Utilização da tecnologia BIM (Building Information Modeling) integrado a planejamento 4D na construção civil.** 100 f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.
- [19] TAVARES JUNIOR, W. **Desenvolvimento de um modelo para compatibilização das interfaces do projeto de edificações em empresas construtoras de pequeno porte.** Florianópolis, 2001. Tese (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina.
- [20] SMITH, P. **BIM & the 5D project cost manager.** Procedia-Social and Behavioral Sciences, 2014, 119: 475-484
- [21] VOLK, R.; Stengel, J.; Schultmann, F. **Building Information Modeling (BIM) for existing buildings – literature review and futures needs.** In: Automation in Construction, Elsevier, 2013.

[22] MOREIRA, Thomas P. F. **A Influência da Parametrização dos Softwares CAD Arquiteturais no Processo de Projeção Arquitetônica**. 241 f. Dissertação apresentada como requisito para Obtenção do grau de Mestre em Arquitetura, do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura, Universidade Federal de Brasília, Brasília, 2008.

[23] BRITO, D. M. **Modelagem 4D Aplicada ao Planejamento e Controle de Obras**. 2014. 84f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) - Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal da Bahia, Salvador. 2014.

[24] RIBEIRO, A. G.; CARDOSO M. C. **Sistemas de Proteção Contra Descargas Atmosféricas: a Avaliação de Risco Segundo a Versão da Norma ABNT NBR 5419** de maio de 2015, Itajubá, p.2, out.2016.

[25] NETO A.S.; PIANTINI, Alexandre. **Sobretensões Induzidas por Descargas Atmosféricas em Redes Secundárias**, São Paulo, p.1, 2007