



**Universidade Federal de Campina Grande**

**Centro de Engenharia Elétrica e Informática**

Curso de Graduação em Engenharia Elétrica

FÁBIO DIEGO DA SILVA BRITO

**AVALIAÇÃO E IMPLEMENTAÇÃO DE SPDA NO  
CANTEIRO DE OBRAS DA PROENGE**

Campina Grande, Paraíba  
Fevereiro de 2012

FÁBIO DIEGO DA SILVA BRITO

AVALIAÇÃO E IMPLEMENTAÇÃO DE SPDA NO  
CANTEIRO DE OBRAS DA PROENGE

*Trabalho de Conclusão de Curso submetido à  
Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica da  
Universidade Federal de Campina Grande  
como parte dos requisitos necessários para a  
obtenção do grau de Engenheiro Eletricista*

Área de Concentração: Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas (SPDA)

Orientador:

Professor Tarso Vilela Ferreira, D. Sc.

Campina Grande, Paraíba  
Fevereiro de 2012

FÁBIO DIEGO DA SILVA BRITO

## AVALIAÇÃO E IMPLEMENTAÇÃO DE SPDA NO CANTEIRO DE OBRAS DA PROENGE

*Trabalho de Conclusão de Curso submetido à  
Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica da  
Universidade Federal de Campina Grande  
como parte dos requisitos necessários para a  
obtenção do grau de Engenheiro Eletricista*

Área de Concentração: Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas (SPDA)

Aprovado em        /        /

**Professor Avaliador**  
Universidade Federal de Campina Grande  
Avaliador

**Professor Tarso Vilela Ferreira, D. Sc.**  
Universidade Federal de Campina Grande  
Orientador, UFCG

Dedico este trabalho à Negrita, batalhadora e vencedora que me foi exemplo de luta pela vida com coragem e dedicação.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, em primeiro lugar, pela minha vida e pelo dom da perseverança, que me permitiu concluir este trabalho, superando todas as adversidades ao longo desta caminhada.

Agradeço também à minha mãe, Maria Edilma, e meu Pai, Manoel Flávio, por terem se esforçado tanto para me proporcionar uma boa educação, por terem me alimentado com saúde, força e coragem, as quais que foram essenciais para superação de todas as adversidades.

A secretária Adail e o secretário Tchaikowsky, pelos incentivos e apoios constantes.

A PROENGE, por todo o conhecimento e espaço proporcionado durante o tempo de estudo no desenvolvimento desse trabalho.

Ao professor Tarso Vilela pela paciência na orientação, o apoio e a inspiração no amadurecimento dos meus conhecimentos e conceitos que me levaram a execução e conclusão desse relatório.

Ao amigo Daniell Alysson por ter compartilhado comigo cada vitória durante a graduação.

Agradeço também a toda minha família, em especial a Negrita e Flávia, que com todo carinho e apoio, não mediu esforços para eu chegar a esta etapa da minha vida.

Enfim, agradeço a todos que de alguma forma, passaram pela minha vida e contribuíram para a construção de quem sou hoje.

*“Onde há vontade, há um meio.”*

Napoleão Bonaparte

## RESUMO

Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) – Norma Brasileira (NBR) – 5419, um Sistema de Proteção Contra Descargas Atmosféricas (SPDA) é um sistema completo destinado a proteger uma estrutura contra os efeitos das descargas atmosféricas. É nesse contexto que se insere essa pesquisa por meio de um desenvolvimento de um Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas (SPDA) para proteção das edificações do canteiro de obras da PROENGE, localizado em Mossoró-RN. Ressalta-se no decorrer deste trabalho de conclusão de curso as edificações objetos de estudo, a simulação dos SPDA instalados de acordo com a necessidade devidamente calculadas seguindo a Norma. Ademais, foi empregado a utilização do software Microstation para apresentação dos sistemas de proteção, como será visto no decorrer deste relatório.

**Palavras-chave:** Descargas Atmosféricas, Sistema de Proteção, SPDA.

## ABSTRACT

According to Brazilian Association of Technical Standards (ABNT) – Brazilian Standard (NBR) – 5419, an Protection System Against Lighting (SPDA) is composed by a complete system designed to protect a structure from the effects of lightning. Based on this context, this research goes through the development of a Lightning Protection System, to protect the buildings from the construction site of the company PROENGE, located in Mossoró-RN. It should be emphasized in this final paper, the buildings used on the development of the study, the simulation of the systems installed in accordance with the needing, properly calculated according to the standard. In addition, the software Microstation was used for the presentation of the protection systems, as will be shown throughout the report.

**Keywords:** Lighting, SPDA, ABNT.



## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 Demonstração do método Franklin de proteção (CREDER, 2006) .....	5
FIGURA 2 Demonstração do Método Gaiola de Faraday de proteção (CREDER, 2006) .....	5
FIGURA 3 Demonstração do método da esfera rolante de proteção (MAMEDE, 2006). .....	6
FIGURA 4 Mapa de Curvas Isocerânicas – Brasil (NBR-5419, 2005) .....	10
FIGURA 5 Delimitação da área de exposição equivalente (Ae) – Estrutura vista de planta.....	11
FIGURA 6 Detalhe dos Para-Raios no Canteiro da Proenge .....	15
FIGURA 7 Desenvolvimento do projeto utilizando a ferramenta MicroStation .....	16
FIGURA 8 Para-Raios instalado na área administrativa da PROENGE .....	16
FIGURA 9 Para-Raios Instalado no Setor Administrativo.....	17
FIGURA 10 Detalhes: Cabo de Aterramento, Braçadeira, Abraçadeiras Tipo-D e Poço de Aterramento. 17	
FIGURA 11 Para-Raios instalado na Caixa D'água da PROENGE.....	17
FIGURA 12 Para-Raios Instalado na Caixa D'água .....	18
FIGURA 13 Para-Raios instalado no Almoxarifado da PROENGE. ....	18
FIGURA 14 Para-Raios instalado no Almoxarifado da PROENGE. ....	19
FIGURA 15 Para-Raios instalado no Apoio para Encarregados da PROENGE.. .....	19
FIGURA 16 Para-Raios instalado no Apoio para Encarregados da PROENGE. ....	20
FIGURA 17 Método utilizado para medição de resistência da malha de aterramento. ....	22
FIGURA 18 Detalhe dos poços de inspeção dos Para-Raios da PROENGE.. .....	23
FIGURA 19 Detalhe dos poços de inspeção dos Para-Raios da PROENGE. ....	23
FIGURA 20 Poço de inspeção do aterramento do SPDA. ....	24
FIGURA 21 Detalhe do poço de inspeção do aterramento do SPDA. ....	24

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 Método de seleção do nível de proteção .....	9
TABELA 2 Resultado das avaliações da necessidade de SPDA .....	12
TABELA 3 Seleção do nível de proteção (NBR-5419, 2005).....	13

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
SPDA	Sistema de Proteção Contra Descargas Atmosféricas
PROENGE	Projetos e Engenharia LTDA
NBR	Norma Brasileira

# SUMÁRIO

1	Introdução.....	1
1.1	Objetivos.....	2
1.1.1	Objetivo Geral.....	2
2	Fundamentação Teórica.....	3
2.1	Definições.....	3
2.2	Tipos e Características dos SPDA.....	4
2.2.1	Método Franklin.....	4
2.2.2	Método gaiola de faraday ou malha.....	5
2.2.3	Método da esfera rolante, eletrogeométrico ou esfera fictícia.....	6
3	Desenvolvimento.....	7
3.1	Projeto.....	7
3.2	Avaliação das Necessidades de SPDA Levando em Consideração o Anexo B da NBR-5419.....	9
3.3	Avaliação dos Resultados.....	12
3.4	Escolhendo o SPDA.....	13
3.5	Implantação dos SPDA.....	14
3.5.1	Detalhes Construtivos:.....	14
3.6	Subsistema de Aterramento.....	20
3.6.1	Procedimento de Medição da Resistência de Aterramento.....	21
3.6.1.1	Objetivos.....	21
3.6.1.1	Método Utilizado.....	21
3.6.2	Detalhes Construtivos.....	23
4	Conclusão.....	25
	Bibliografia.....	26
	ANEXO A – Método da Seleção dos Níveis de Proteção.....	27
	ANEXO B – Projeto Arquitetônico - Planta Baixa do Canteiro da PROENGE.....	27
	ANEXO C – Detalhe dos Para-Raios no Canteiro da PROENGE.....	27

# 1 INTRODUÇÃO

Uma descarga atmosférica é um fenômeno natural que desde o início da civilização causa temor e danos. A ação de uma descarga atmosférica é fulminante e num curtíssimo espaço de tempo, injeta correntes da ordem de centenas de quiloampères (kA) numa instalação, que caso não possam ser controladas, podem provocar uma série de prejuízos e acidentes.

É importante ressaltar que a respeito do grande número de pesquisas e estudos realizados durante este século, muito ainda precisa ser esclarecido e nada ainda se conseguiu no sentido de impedir a ocorrência das descargas atmosféricas. Portanto, até o momento atual tem restado apenas estudar sistemas de proteção, que impeçam ou mesmo reduzam as possibilidades de prejuízos, acidentes e danos. Os Sistemas de Proteção Contra Descargas Atmosféricas (SPDA) vêm evoluindo continuamente, contudo deve ser destacado que ainda não se conseguiu uma proteção completa ou totalmente efetiva para as descargas atmosféricas (CREDER, 2006).

A Norma Brasileira 5419 (NBR-5419) fixa as condições exigíveis em projeto, instalação e manutenção de SPDA de estruturas, bem como de pessoas e instalações no seu aspecto físico dentro do volume protegido. Por sua vez, esta Norma não contempla a proteção de equipamentos elétricos e eletrônicos contra interferências eletromagnéticas causadas pelas descargas atmosféricas. Esta Norma apresenta um método para determinar se um SPDA é ou não exigido, e qual o nível de proteção aplicável. Para avaliar objetivamente a necessidade de proteger uma dada estrutura devem ser avaliados os seguintes fatores:

- i. O tipo de ocupação da estrutura (presença de pessoas);
- ii. A natureza de sua construção (metálica, concreto armado, madeira, alvenaria);
- iii. O conteúdo, ou os efeitos indiretos ( inflamável, explosivo, incêndio, perda de vidas ou bens materiais, danos aos prédios vizinhos,etc.);
- iv. A altura da estrutura (presença de prédios mais altos na vizinhança já protegidos);

- v. A topografia da região (plana, morros, encostas, vales, etc.);
- vi. A densidade de raios da região (número de raios por km<sup>2</sup> e por ano).

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 OBJETIVO GERAL

Este projeto tem como finalidade, avaliar a necessidade de SPDA no canteiro da PROENGE - PROJETOS E ENGENHARIA LTDA. em Mossoró, tomando com base a norma ABNT-NBR-5419.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 DEFINIÇÕES

Segue algumas terminologias de acordo com a NBR-5419/2005 que são de grande valia para entendimento do projeto:

- **Descargas Atmosféricas:** Descarga elétrica de origem atmosférica entre uma nuvem e a terra, consistindo de um ou mais impulsos de vários kA.
- **Raio:** Um dos impulsos elétricos de uma descarga atmosférica para a terra.
- **Ponto de Impacto:** Ponto onde uma descarga atmosférica atinge a terra, uma estrutura ou SPDA. Nota: uma descarga atmosférica pode ter vários pontos de impacto.
- **Volume a proteger:** Volume de uma estrutura ou região que se quer proteção contra os efeitos das descargas atmosféricas conforme a presente Norma.
- **Sistema de Proteção Contra Descargas Atmosféricas (SPDA):** Sistema completo destinado a proteger uma estrutura contra os efeitos das descargas atmosféricas. É composto de um sistema externo e de um sistema interno de proteção. Nota: em casos particulares, o SPDA pode compreender unicamente um Sistema externo ou interno.
- **Sistema externo de proteção Contra Descargas Atmosféricas:** Sistema que consiste de captores, condutores de descida e de sistema de aterramento.
- **Sistema Interno de proteção contra Descargas Atmosféricas:** Conjunto de dispositivos que reduzem os efeitos elétricos e magnéticos da corrente de descarga atmosférica dentro do volume a proteger.
- **Captore:** Parte do SPDA externo destinado a interceptar as descargas atmosféricas.
- **Condutor de Descida:** Parte do SPDA externo e interno destinado a conduzir a corrente de descarga atmosférica desde o captor até o sistema de aterramento. Estes elementos podem também estar embutidos na estrutura.

- **Sistema de aterramento:** Parte do SPDA destinada a conduzir, e a dispersar a corrente de descarga atmosférica na terra. Nota: Em solos de alta resistividade, as instalações de aterramento podem interceptar correntes pelo solo, provenientes de descargas atmosféricas ocorridas nas profundidades

## 2.2 TIPOS E CARACTERÍSTICAS DOS SPDA

Os métodos de concepção e construção de SPDA normalizados no Brasil, são:

- Método Franklin;
- Método Gaiola de Faraday;
- Método Eletrogeométrico.

A seguir, cada um destes métodos será detalhado.

### 2.2.1 MÉTODO FRANKLIN

O sistema Franklin consiste na colocação de hastes verticais sobre a edificação (ou próximos desta), de modo que a edificação fique dentro do cone de proteção projetado pela ponta do para-raios. Devido às limitações impostas pela norma, a abertura do cone foi substancialmente reduzida e por esse motivo passa a ser cada vez menos usado em grandes edifícios, contudo indicado para edificações de pequeno porte ou para proteger estruturas específicas no alto de prédios, tais como antenas de TV ou parabólicas, placas de aquecimento solar, luminosos etc. A proteção baseia-se na rotação da tangente de um triângulo em torno de um eixo (geratriz), variando em função do nível de proteção e da altura da edificação (CREDER, 2006). Um diagrama esquemático do Método Franklin pode ser visto na Fig. 1.



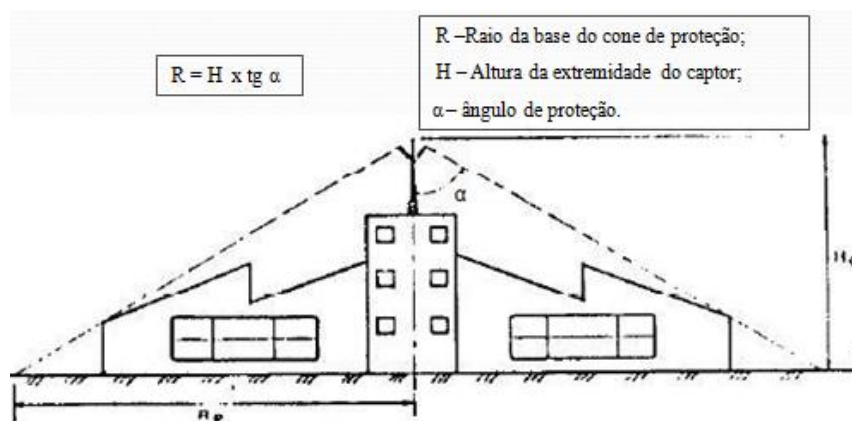


Figura 1. Demonstração do método Franklin de proteção (CREDER, 2006).

### 2.2.2 MÉTODO GAIOLA DE FARADAY OU MALHA

O sistema da gaiola de Faraday consiste no lançamento de cabos sobre a cobertura da edificação de acordo com o nível de proteção exigido para a edificação. Esse sistema funciona como uma blindagem eletrostática, uma tentativa de reduzir os campos elétricos dentro da edificação. As suas vantagens são maior eficiência e proteção, e menor impacto estético. Um diagrama esquemático do Método Gaiola de Faraday pode ser visto na Fig. 2.

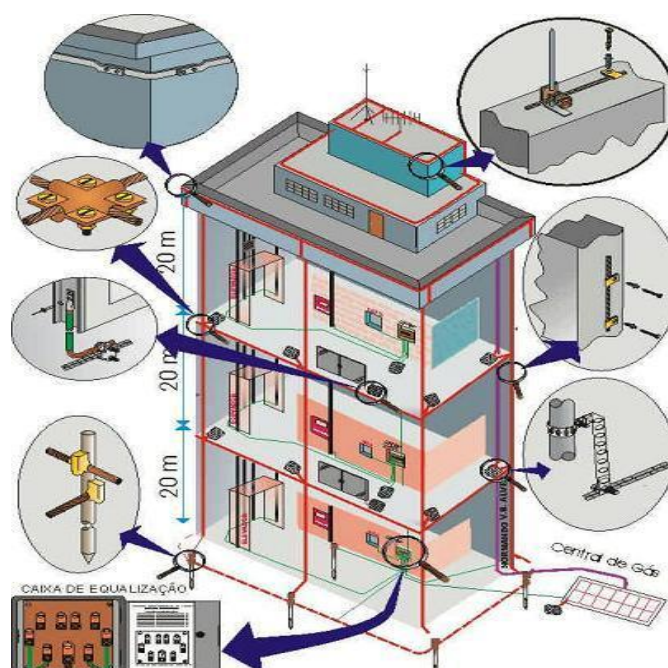


Figura 2 Demonstração do Método Gaiola de Faraday de proteção (CREDER, 2006).

### 2.2.3 MÉTODO DA ESFERA ROLANTE, ELETROGEOMÉTRICO OU ESFERA FICTÍCIA

Como vimos anteriormente, os métodos Franklin e Gaiola de Faraday são sistemas compostos de materiais (mastros e cabos) instalados nas fachadas das edificações. Para saber se esses materiais estão corretamente posicionados e dimensionados, confirmando assim a eficiência do sistema projetado, pode-se adotar um modelo de cálculo chamado "método da esfera rolante", que consiste em fazer rolar uma esfera fictícia em todos os sentidos e direções sobre o topo e fachadas da edificação. O objetivo é fazer com que os mastros (Franklin) ou cabos (Gaiola) impeçam que a esfera toque a edificação. A esfera, neste caso, simula a ação do raio.

Este é somente um método de cálculo e dimensionamento que, ao contrário do Franklin e da Gaiola de Faraday, não existe fisicamente. O método da esfera rolante data da década de 80 e constituiu uma evolução do método Franklin. Muito usado para proteção das linhas de transmissão de energia, o método foi simplificado para ser aplicado em edificações, servindo tanto para dimensionar o SPDA quanto para checar a proteção com relação a edificações vizinhas, desníveis e estruturas específicas, tais como antenas, placas e painéis, normalmente colocados nos topo das edificações. O raio da esfera é adotado em função do nível de proteção selecionado (MAMEDE, 2006). Um diagrama esquemático do Método da esfera rolante pode ser visto na Fig. 3.

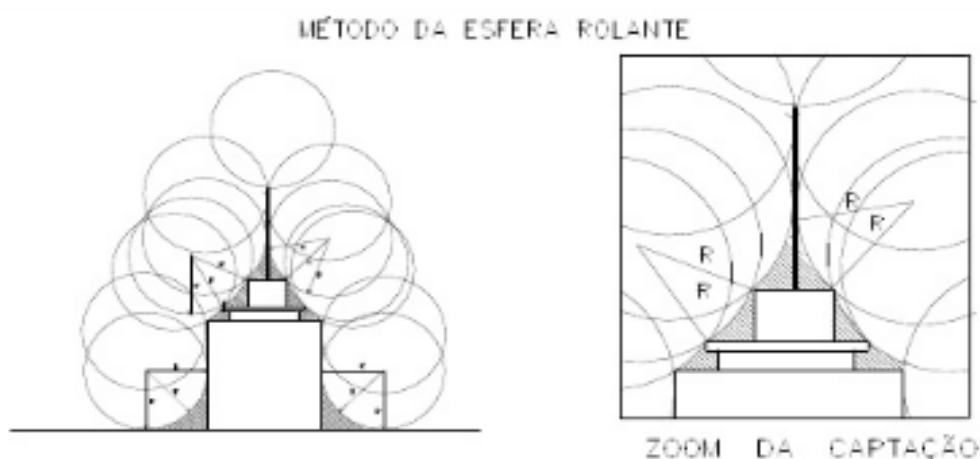


Figura 3 Demonstração do método da esfera rolante de proteção (MAMEDE, 2006).

## 3 DESENVOLVIMENTO

### 3.1 PROJETO

O estudo foi realizado baseando-se no projeto Arquitetônico (Planta Baixa), mostrado no anexo B. Entre os pontos de caráter geral definido na NBR 5419/2005 para a definição de um SPDA para proteção de uma estrutura destacam-se:

1. A necessidade do cálculo da avaliação do risco da edificação ser atingida por uma descarga atmosférica.
2. O estabelecimento de quatro níveis de proteção, conforme o risco e o topo de estrutura.
3. O cálculo dos captores pode ser efetuado pelo método Faraday (gaiola), pelo método eletrogeométrico (esfera fictícia), ou ainda pelo método Franklin (hastes).
4. As edificações com altura superior a 10 metros deverão possuir no subsistema de captação, um condutor periférico em forma de anel, contornando toda a cobertura e afastado no máximo a 0,5m da borda.
5. A possibilidade da utilização de calhas como captores naturais.
6. A permissão para a fixação dos captores e condutores de descida, diretamente no teto e nas paredes.
7. Em paredes de material inflamável, o afastamento dos condutores passa a ser de no mínimo 10 cm. Nos demais tipos de parede, os condutores podem ser fixados diretamente sobre as mesmas, ou embutidos dentro do reboco.

8. Caso sejam utilizados cabos como condutores de descida, estes não poderão ter emendas (exceto a emenda no ponto de medição), nem mesmo com solda exotérmica. Para condutores de perfis metálicos, as emendas continuam permitidas.
9. O valor da resistência de aterramento de 10 ohms continua sendo recomendado, porém, em locais onde o solo apresente alta resistividade, poderão ser aceitos valores maiores, desde que sejam feitos arranjos que minimizem os potenciais de passo, e que os procedimentos sejam tecnicamente justificados.
10. Ela reforça a exigência de se documentar toda a instalação, através de projetos e relatórios técnicos, e de se fazer as vistorias periodicamente.
11. As descidas do SPDA deverão distar das tubulações de gás no mínimo 2 metros.
12. Todas as peças e acessórios de origem ferrosa, usados no SPDA, deverão ser galvanizados a fogo ou banhados com 254 micrômetros de cobre. Fica assim proibida a zincagem eletrolítica.
13. Passa a ser permitida a utilização das ferragens de estruturas de concreto protendido como parte integrante do SPDA. Os cabos de aço da estrutura protendida NÃO poderão ser utilizados como parte do SPDA.
14. Em caso de não ser necessário um SPDA para uma edificação, deverá ser emitido um atestado a partir da aplicação do método descrito no Anexo B da NBR5419/2005.

### 3.2 AVALIAÇÃO DAS NECESSIDADES DE SPDA LEVANDO EM CONSIDERAÇÃO O ANEXO B, DA NBR-5419

Levando em consideração o anexo B, tabela B.6 (Exemplo de Classificação das Estruturas) em anexo, da NBR-5419, (Método de seleção de nível de proteção), foi realizado o estudo, considerando áreas do devido canteiro, com o intuito de proporcionar segurança para as pessoas que trafegam nesse ambiente.

Para cada uma das estruturas foram relacionadas o nível de proteção analisando os possíveis danos causados por uma descarga elétrica. Na Tabela 1 estão mostradas as estruturas e os seus respectivos níveis de proteções.

Tabela 1. Método de seleção do nível de proteção.

<b>Edificação</b>	<b>Estrutura/Cobertura</b>	<b>Observação</b>
Canteiro Mossoró	Guarita	Nível de Proteção II
Canteiro Mossoró	Área Administrativa	Nível de Proteção II
Canteiro Mossoró	Oficina Mecânica	Nível de Proteção II
Canteiro Mossoró	Caixa D'água	Nível de Proteção II
Canteiro Mossoró	Almoxarifado	Nível de Proteção II
Canteiro Mossoró	Apoio para Encarregados	Nível de Proteção II
Canteiro Mossoró	Bicicletários	Nível de Proteção II

As estruturas a se avaliar são:

- Guarita (Sala para abrigo dos porteiros);
- Área administrativa: (Sala de recursos humanos, sala de reuniões, sala do setor financeiro, recepção, sala da gerência, sala da diretoria, setor médico, hall e banheiro);
- Oficina mecânica (Oficina subdividida em dois ambientes para abrigo dos carros);
- Caixa d'água;
- Almoxarifado (Sala do almoxarifado Petrobrás e sala do almoxarifado PROENGE);
- Apoio para encarregados (Cinco salas para Encarregados);
- Bicicletário (Sala do controle de ponto e abrigo das bicicletas).

Nenhuma das estruturas citadas se enquadra nos itens B1.1 e B1.2 da NBR-5419 que relacionam estruturas com necessidade iminente do uso de SPDA. Para essas áreas foi considerado o item B2 da norma para identificação da possível necessidade do uso do mesmo.

Foi feita uma estimativa para a densidade de descargas atmosféricas da região ( $N_g$ ), onde esta é o número de raios para a terra por quilômetros quadrados por ano. O valor de ( $N_g$ ) para a região de Mossoró-RN pode ser estimado pela equação:

$$N_g = 0,04 \cdot Td^{1,25} = 0,04 \cdot 20^{1,25} = 1,69 \quad (1)$$

em que:  $Td$  é o número de dias de trovoada por ano, obtido de mapas isocerânicos, conforme a Fig. 4, assumindo o valor 20 para a região estudada:

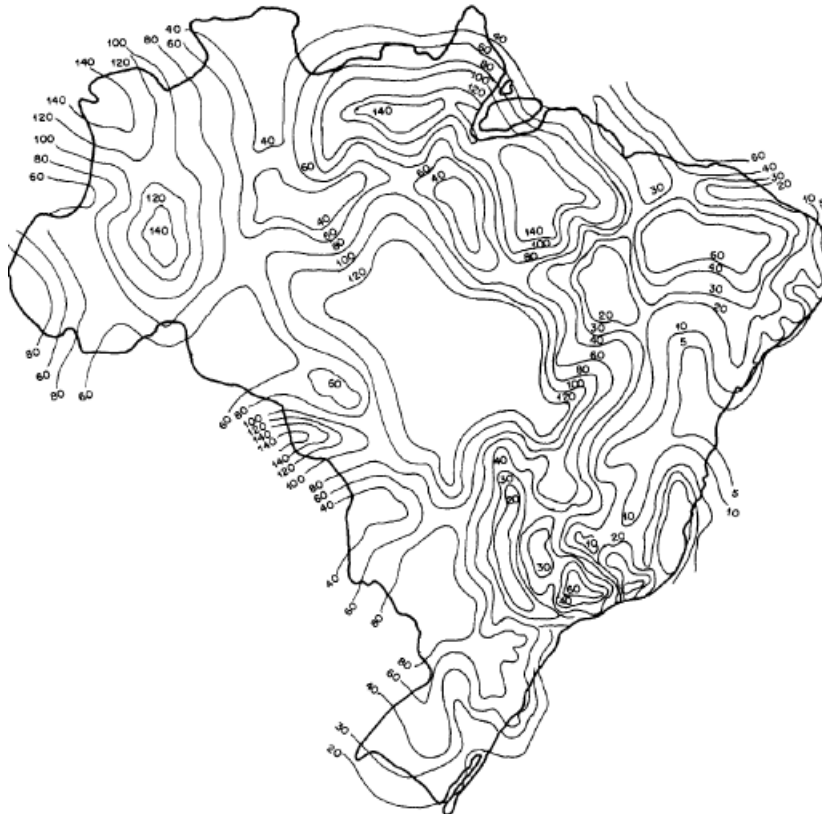


Figura 4 Mapa de Curvas Isocerânicas – Brasil (NBR-5419, 2005).

Com base no algoritmo descrito na norma e na curvas isocerânicas, foi realizada a avaliação para a primeira estrutura, a guarita.

A área de exposição equivalente ( $A_e$ ) é a área, em metros quadrados, do plano da estrutura prolongada em todas as direções, de modo a levar em conta sua altura. Os

limites da área de exposição equivalente estão afastados do perímetro da estrutura por uma distância correspondente à altura da estrutura no ponto considerado.

Assim, para uma estrutura retangular simples de comprimento  $L$ , largura  $W$  e altura  $H$ , a área de exposição equivalente tem um comprimento  $L + 2H$  e uma largura  $W + 2H$ , com quatro cantos arredondados formados por segmentos de círculo de raio  $H$ , em metros. Então, conforme a figura abaixo, temos:

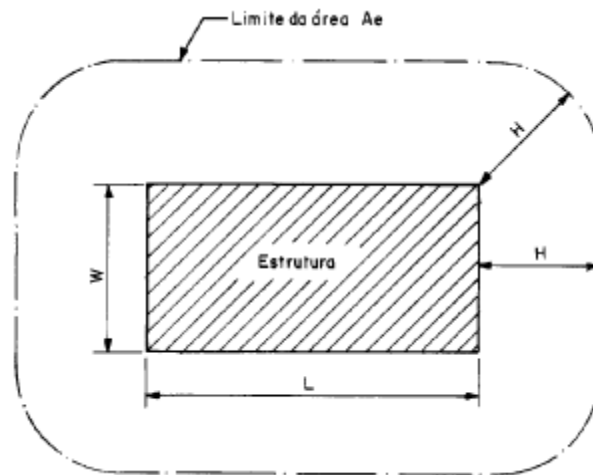


Figura 5 Delimitação da área de exposição equivalente ( $A_e$ )  
Estrutura vista de planta (NBR-5419, 2005).

Área de exposição equivalente da estrutura:

$$A_e = LW + 2LH + 2WH + \pi H^2 = 3,05 \cdot 4,3 + 2 \cdot 3,05 \cdot 3,1 + 2 \cdot 4,3 \cdot 3,1 + \pi \cdot 3,1^2 = 88,86. \quad (2)$$

em que:  $L = 3,05\text{m}$  ;  $W = 4,3\text{m}$  e  $H = 3,1\text{m}$ .

Para a frequência média anual admissível de danos  $N_c$ , valem os seguintes limites, reconhecidos internacionalmente:

- Riscos maiores que  $10^{-3}$  (isto é, 1 em 1 000) por ano são considerados inaceitáveis;
- Riscos menores que  $10^{-5}$  (isto é, 1 em 100 000) por ano são, em geral, considerados aceitáveis.

Frequência média anual previsível de descargas atmosféricas sobre a estrutura é:

$$N_d = N_g \cdot A_e \cdot 10^{-6} = 1,69 \cdot 88,86 \cdot 10^{-6} = 1,501 \cdot 10^{-4} \quad (3)$$

Depois de determinado o valor de  $N_d$ , que é o número provável de raios que anualmente atingem uma estrutura, o passo seguinte é a aplicação dos fatores de ponderação indicados nas tabelas B.1 a B.5 (anexo A).

Multiplica-se o valor de  $N_d$  pelos fatores pertinentes, obtendo-se  $N_{dc}$ . Compara-se  $N_{dc}$  com a frequência admissível de danos  $N_c$ , conforme o seguinte critério:

- Se  $N_{dc} \geq 10^{-3}$ , a estrutura requer um SPDA;
- Se  $10^{-5} < N_{dc} < 10^{-3}$ , a conveniência de um SPDA deve ser tecnicamente justificada e decidida por acordo entre projetista e usuário;
- Se  $N_{dc} \leq 10^{-5}$ , a estrutura dispensa um SPDA.

Considerando o item B.4 – Avaliação geral de riscos, tem-se os fatores multiplicativos para determinação do risco:

$$N_{dc} = 1,501 \cdot 10^{-4} \cdot A \cdot B \cdot C \cdot D \cdot E = 1,501 \cdot 10^{-4} \cdot 1,7 \cdot 1,0 \cdot 1,7 \cdot 1,0 \cdot 0,3 = 1,301 \cdot 10^{-4}. \quad (4)$$

Como  $10^{-5} < 1,301 \cdot 10^{-4} < 10^{-3}$ , a conveniência de um SPDA deve ser tecnicamente justificada e decidida por acordo entre projetista e usuário.

### 3.3 AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS

Para as outras edificações foi considerando o mesmo algoritmo utilizado na estrutura Guarita. Os resultados e a conclusão da necessidade de SPDA encontram-se na Tabela 2.

Tabela 2 Resultado das avaliações da necessidade de SPDA

Estrutura	Dimensões (m)			$A_e$	$N_g$	$N_d$	R	Conclusão
	L	W	H					
Guarita	3,05	4,3	3,1	88,86	1,69	$1,501 \cdot 10^{-4}$	$1,301 \cdot 10^{-4}$	3
Área Administrativa	6,0	30,75	4,3	558,63	1,69	$9,44 \cdot 10^{-4}$	$8,184 \cdot 10^{-4}$	3
Oficina Mecânica	12,0	8,3	4,5	345,91	1,69	$5,846 \cdot 10^{-4}$	$5,068 \cdot 10^{-4}$	3
Caixa D'água	2,1	4,1	6,0	196,1	1,69	$3,314 \cdot 10^{-4}$	$2,873 \cdot 10^{-4}$	3
Almoxarifado	28,0	9,3	5,8	798,76	1,69	$1,350 \cdot 10^{-4}$	$1,170 \cdot 10^{-4}$	3
Apoio Encarregados	9,6	3,3	2,9	133,19	1,69	$2,251 \cdot 10^{-4}$	$1,952 \cdot 10^{-4}$	3
Bicicletário	16,6	3,1	4,3	278,97	1,69	$4,714 \cdot 10^{-4}$	$4,087 \cdot 10^{-4}$	3

<sup>1</sup> Necessidade de SPDA a ser instalado;

<sup>2</sup> Não há necessidade de SPDA a ser instalado;

<sup>3</sup> Conveniência de SPDA a ser tecnicamente justificada e decidida por acordo entre projetista e usuário;



Analisando os resultados obtidos, percebe-se que a necessidade de instalação dos SPDA no canteiro de obras da PROENGE segundo a Norma NBR-5419 é de caráter optativo. Todavia, considerando-se os riscos envolvidos, por menos prováveis que sejam, foi realizada a instalação de quatro SPDA distribuídos nas áreas de maior volume de colaboradores transitando nas redondezas do local utilizando um critério de seleção do nível de proteção de acordo com a Tabela 3. Assim, garante-se uma maior segurança entre os colaboradores da empresa.

### 3.4 ESCOLHENDO O SPDA

Os para-raios são escolhidos de acordo com suas tensões nominais, em função do tipo de aterramento do sistema no qual esses dispositivos serão instalados. Além deste aspecto de tensão, outras características devem ser levadas em conta, tais como a máxima tensão da descarga e máxima tensão de impulso, valores esses também fornecidos por todos os fabricantes. Os para-raios, de acordo com suas diferentes características nominais, são classificados pelas normas brasileiras em (MAMEDE, 2006):

- a. **Série A - Tipo pesado:** São aqueles adequados a proteção dos equipamentos mais pesados, tais como transformadores de força, dispositivos de comandos de alta tensão, etc;
- b. **Série B:** São aqueles que se destinam à proteção de equipamentos, transformadores de distribuição e respectivos dispositivos de comando. Atualmente existem basicamente três métodos de dimensionamento.

Tabela 3 Seleção do nível de proteção (NBR-5419, 2005)

<b>Tipo de edificação</b>	<b>Nível de Proteção</b>
Edificações de explosivos, Inflamáveis, Indústrias Químicas, Nucleares, Laboratórios bioquímicos, Fábricas de munição e fogos de artifício, Estações de telecomunicações, Usinas Elétricas, Indústrias com risco de incêndio, Refinarias, etc.	Nível I
Edifícios Comerciais, Bancos, Teatros, Museus, Locais arqueológicos, Hospitais, Prisões, Casas de Repouso, Escolas, Igrejas, Áreas Esportivas.	Nível II
Edifícios Residenciais, Industriais, Casas residenciais, Estabelecimentos agropecuários e Fazendas com estrutura em madeira.	Nível III
Galpões com sucata ou de conteúdo desprezível, Fazendas e Estabelecimentos Agropecuários com estruturas em madeira.	Nível IV
Obs.: No caso de edificações muito perigosas (inflamáveis, produtos tóxicos, explosivos, etc) deverá ser consultado um especialista para análise do grau de periculosidade, perigo para a vizinhança, determinar a área de inalação de gases e até onde a ignição poderá ser iniciada, etc.	

### 3.5 IMPLANTAÇÃO DOS SPDA:

Conforme a teoria e a tabela 3 percebe-se que o tipo de SPDA mais indicado para as edificações da PROENGE é o método Franklin com Nível de Proteção II. Deste modo, optou-se por fazer a instalação dos mesmos nos seguintes locais:

- Área Administrativa;
- Caixa D'água;
- Almojarifados;
- Apoio para encarregados.

No Anexo C são mostrados os diagramas dos SPDA implantados.

#### 3.5.1 DETALHES CONSTRUTIVOS:

Utilizando a ferramenta MicroStation, que por sua vez, é uma poderosa plataforma de software para projetos multidisciplinares de arquitetura, engenharia, construção e operação, desenvolveu-se o layout das instalações dos SPDA em conjunto com os desenhistas da PROENGE.

Na Fig. 6 tem-se uma visão geral da estrutura dos Para-Raios instalados, uma vez que foi instalado o mesmo tipo para todas as edificações, bem como a tela inicial do Software na Fig. 7.

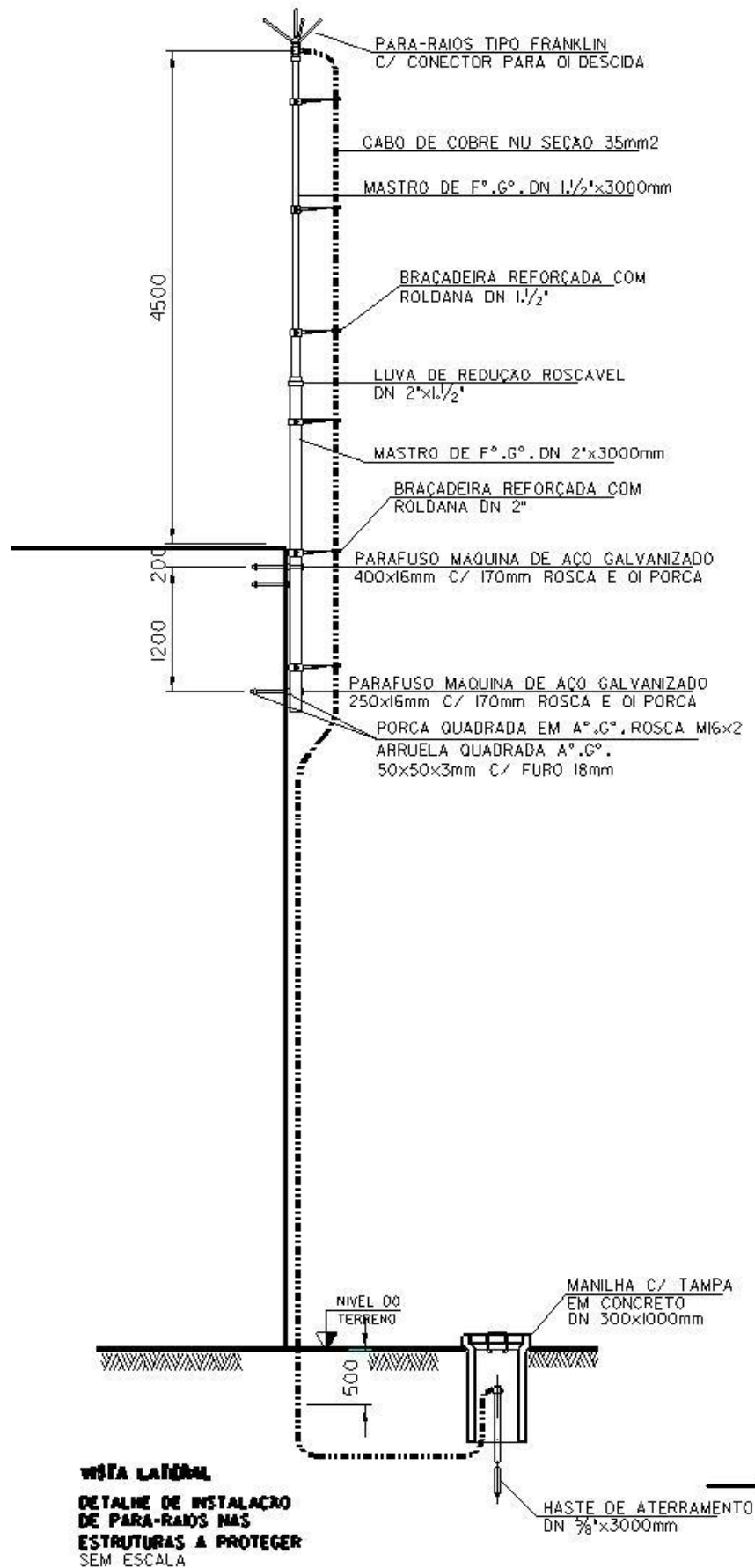


Figura 6 Estrutura dos Para-Raios instalados no Canteiro da PROENGE.

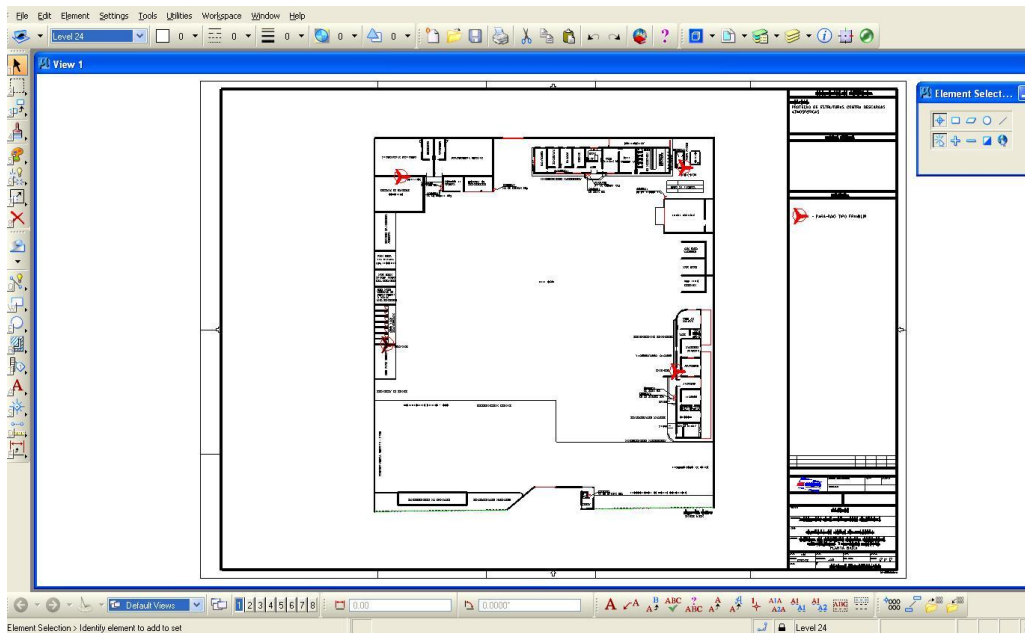


Figura 7 Desenvolvimento do projeto utilizando a ferramenta MicroStation.

- Área Administrativa:

Optou-se pela instalação de um SPDA nessa estrutura devido ao grande volume de colaboradores transitando nas redondezas do local.

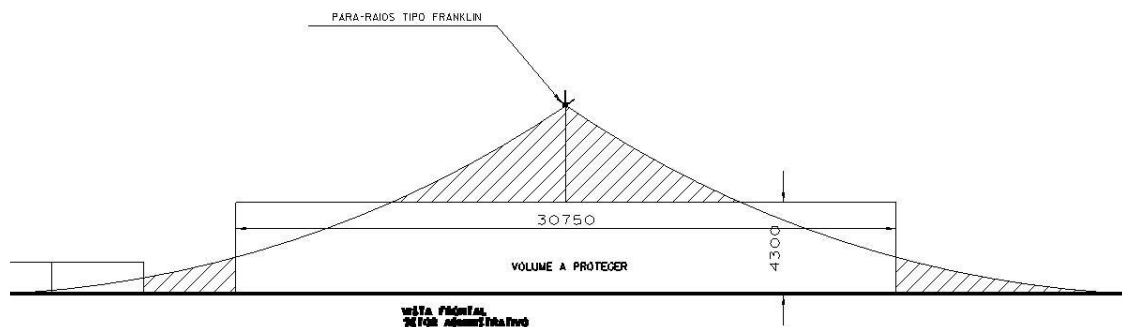


Figura 8 Para-Raios instalado na Área Administrativa da PROENGE.

Nas Fig. 9 e Fig. 10 destaca-se o SPDA instalado no local:



Figura 9 Para-Raios Instalado no Setor Administrativo.



Figura 10 Detalhes: Cabo de Aterramento, Braçadeira, Abraçadeiras Tipo-D e Poço de Aterramento.

- Caixa D'água:

Optou-se pela instalação de um SPDA nessa estrutura devido a edificação ser a mais alta da PROENGE.

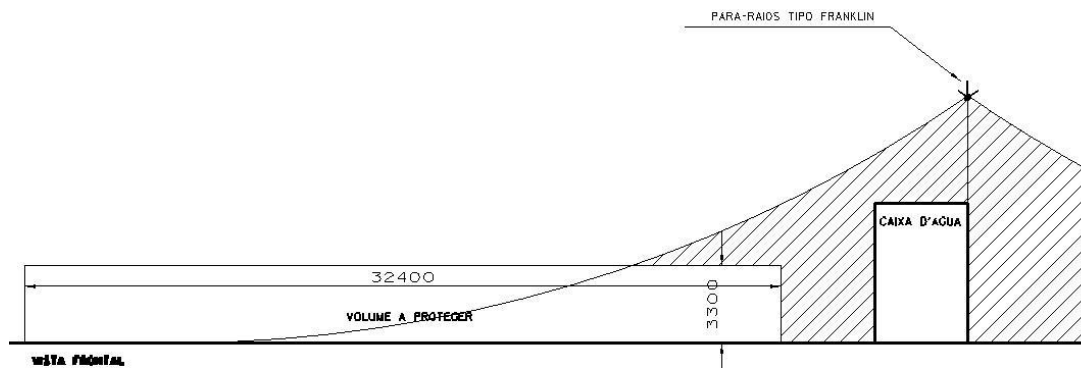


Figura 11 Para-Raios instalado na Caixa D'água da PROENGE

Nas Fig. 12 destaca-se o SPDA instalado no local:



Figura 12 Para-Raios Instalado na Caixa D'água

- Almojarifado:

Foi optado a instalação de um SPDA nessa estrutura devido ao grande volume de colaboradores transitando nas redondezas do local.

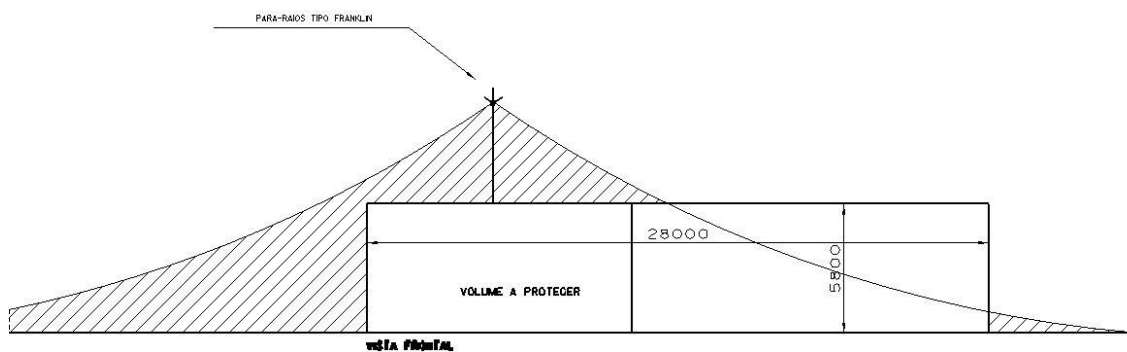


Figura 13 Para-Raios instalado no Almojarifado da PROENGE.

Na Fig. 14 destaca-se o SPDA instalado no local:



Figura 14 Para-Raios Instalado no Almoxarifado.

- Apoio para encarregados.

Optou-se pela instalação de um SPDA nessa estrutura devido ao grande volume de colaboradores transitando nas redondezas do local.

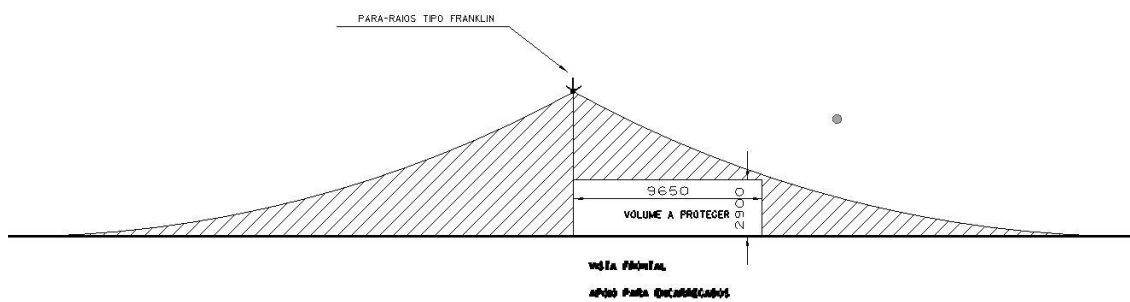


Figura 15 Para-Raios instalado no Apoio para Encarregados da PROENGE.

Na Fig. 16 destaca-se o SPDA instalado no local:



Figura 16 Para-Raios Instalado no Apoio para Encarregados

### 3.6 SUBSISTEMA DE ATERRAMENTO

Um dos grandes problemas nos sistemas de proteção é referente ao aterramento. Em geral, recomenda-se uma baixa resistência, o que não quer dizer necessariamente que o aterramento seja bom. As malhas de aterramento têm a função de escoar cargas elétricas advindas de surtos (descargas atmosféricas). Porém, por questões de engenharia, devemos associar as malhas da melhor maneira possível conforme as condições do local.

Um aterramento para correntes de surto é de qualidade quando possibilita o escoamento num grande plano, de forma a diminuir as tensões de passo, bem como diminuir até eliminar a circulação de correntes por outros meios, tais como blindagens ou cabos. Do ponto de vista ideal, as malhas para diferentes sistemas deveriam ser totalmente independentes, porém isto é impossível na realidade da engenharia, pois os diferentes sistemas (elétrico, telefônico, dados, vídeo, carcaças) compartilham o mesmo espaço físico e sempre as malhas de aterramento, mesmo que independentes, são suficientemente próximas para gerarem diversos acoplamentos (MAMEDE, 2006).



### 3.6.1 PROCEDIMENTO DE MEDIÇÃO DA RESISTÊNCIA DE ATERRAMENTO

#### 3.6.1.1 OBJETIVOS

A medição da resistência de terra do Canteiro de Obras tem como objetivo verificar se a mesma atende satisfatoriamente a suas finalidades. Isto implica em dizer que as resistências de terra onde os mesmos estão construídos devem estar dentro dos valores recomendados por normas, sendo baseado nos valores máximos da corrente de curto-circuito que poderá escoar através do sistema de aterramento e na distribuição dos níveis de tensão de passo e de toque limitando a valores seguros para o ser humano.

#### 3.6.1.2 MÉTODO UTILIZADO

Para medição de resistência de aterramento, foram seguidos os princípios e recomendações do Anexo J, item J.1.1 da NBR-5410. A medição foi efetuada no dia 24/02/2012 utilizando um terrômetro digital modelo MTD20 kWe da Megabras.

Para verificação da resistência de terra foi utilizado o método da queda de tensão, ou seja, a verificação da distribuição das tensões ao longo de um caminho predeterminado no interior da unidade, com a finalidade de encontrar valores aproximadamente constantes nas tensões e daí encontrar um valor para a “resistência de terra”, conforme figura 17.

Uma corrente alternada de valor constante liberada pelo equipamento de medição (terrômetro) circula entre o eletrodo de aterramento sob ensaio T e o eletrodo auxiliar T1.

Um segundo eletrodo auxiliar, T2, que é uma pequena haste metálica cravada no solo, foi inserido a meio caminho entre T e T1. A queda de tensão entre T e T2 é medida pelo equipamento.

A resistência de aterramento do eletrodo T é igual à tensão entre T e T2 dividida pela corrente que circula entre T e T1, presumindo-se que não haja influência mútua entre os eletrodos.

Para verificar a coerência no valor de resistência, duas novas medições foram realizadas, deslocando-se T2 cerca de 6 m na direção de T e, depois, 6 m na direção de T1. Como os três resultados na maioria das medições foram substancialmente semelhantes, a média das três leituras foi tomada como sendo a resistência de aterramento do eletrodo T.

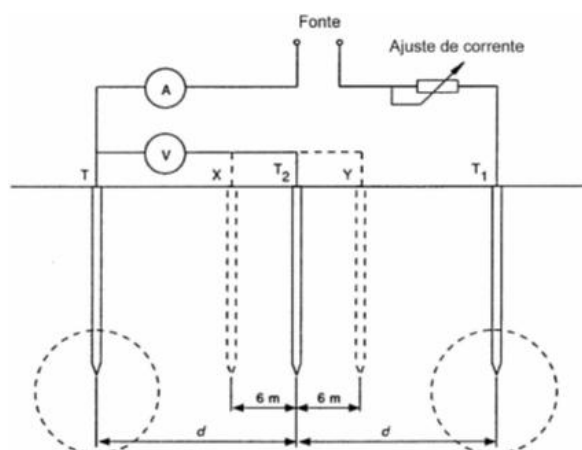


Figura 17. Método utilizado para medição de resistência da malha de aterramento

A tabela 4 mostra a coleta dos resultados obtidos da medição de resistência elétrica de aterramento.

Tabela 4 Coleta dos resultados obtidos na medição de resistência elétrica de aterramento.

Medição de Resistência de Terra no Canteiro da PROENGE	Distância em Metros		Resistência Rx ( $\Omega$ )
	T1	T2	
Guarita	15,0	30,0	3,14
Área Administrativa	15,0	30,0	3,22
Oficina Mecânica	15,0	30,0	3,18
Caixa D'água	15,0	30,0	3,17
Almoxarifado	15,0	30,0	3,17

(T) Local das medições: Origem das medições;

(T1): Distância do eletrodo de tensão ao eletrodo de teste.

(T2): Distância do eletrodo de corrente ao eletrodo de teste;

### 3.6.1.3 CONSIDERAÇÕES TÉCNICAS

Não existem normas definindo um valor para a resistência de terra de cada instalação. O que existe é uma indicação de ordem de grandeza dos valores que são aceitos ou não para aquele tipo de instalação. Porém, o que se sabe é que quanto menor for a resistência de aterramento maior será a sua contribuição para um bom aterramento. Dentro deste princípio alguns autores classificam os aterramento nas seguintes categorias.

- Excelentes, os aterramentos com resistências inferiores a 5 Ohms;
- Bons, os aterramentos com resistências entre 5 e 15 Ohms;
- Razoáveis, os aterramentos com resistências entre 15 e 30 Ohms;
- Condenáveis, os aterramentos com resistências superiores a 30 Ohms;

### 3.6.2 DETALHES CONSTRUTIVOS

Pode-se ver no detalhe da Fig. 18 e Fig.19 os poços de inspeção com todas as suas medidas e detalhes construtivos para a edificação do setor Administrativo. O mesmo modelo foi utilizado para todas as outras estruturas.

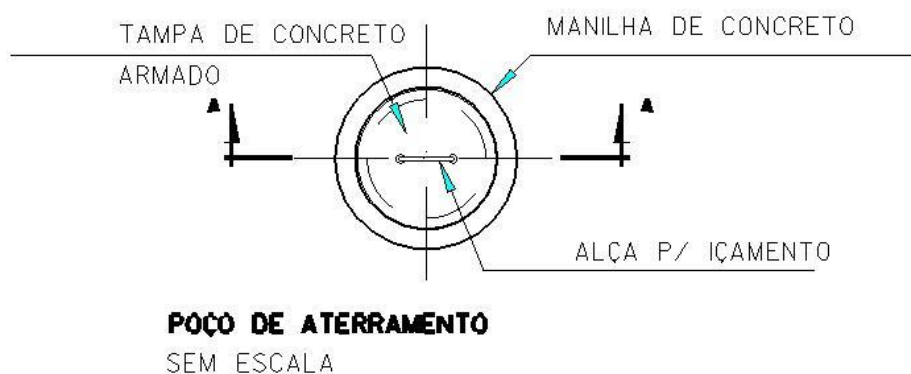


Figura 18 Detalhe dos poços de inspeção dos Para-Raios da PROENGE.

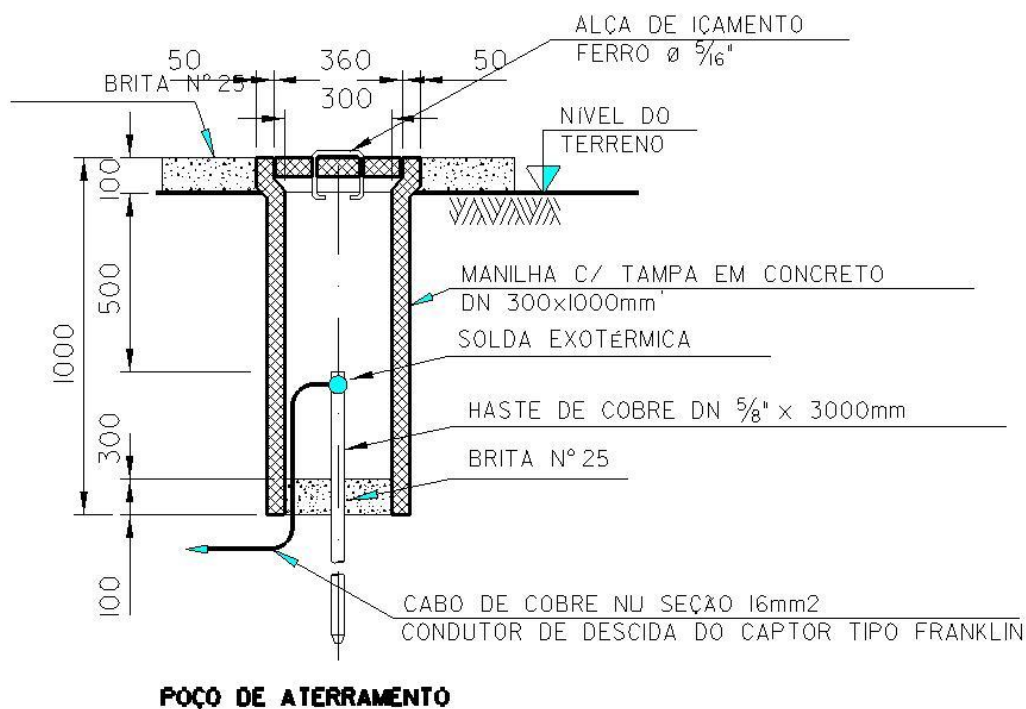


Figura 19 Detalhe dos poços de inspeção dos Para-Raios da PROENGE.

Como pode-se ver no detalhe das Fig.20 e Fig. 21, o aterramento é constituído de apenas uma haste, onde essa foi interligada a terra através de um cabo de cobre nu de 35mm<sup>2</sup>, conectado através de solda exotérmica. Para todas as edificações onde os para-raios foram projetados não houve interligação do sistema de aterramento de telecomunicações e o do SPDA. Nenhum dos para-raios foi interligado as ferragens estruturais das edificações, uma vez que foi implantado para cada SPDA os poços de inspeção apresentados.



Figura 20 Poço de inspeção do aterramento do SPDA



Figura 21 Detalhe do poço de inspeção do aterramento do SPDA.

## 4 CONCLUSÃO

É importante lembrar que os métodos mostrados aqui visam a proteção do patrimônio da empresa PROENGE e a segurança das pessoas que estão dentro das edificações, salientando que os sistemas de proteção não impedem a ocorrência das descargas atmosféricas.

Ao final da instalação, o corpo de bombeiros emitiu o habite-se aprovando o projeto e a implementação, alcançando assim o objetivo do projeto de avaliar e implementar a necessidade do uso dos para-raios nas edificações da PROENGE.

Um SPDA projetado e instalado, conforme a NBR 5419, não pode assegurar a proteção absoluta de uma estrutura, de pessoas e objetos. Apesar disso, o SPDA irá fornecer infraestrutura necessária para posterior proteção dos equipamentos de acordo com a NBR 5410 da ABNT. A sua aplicação reduz de forma significativa os riscos de danos devidos às descargas atmosféricas.

Para evitar trabalhos desnecessários, é primordial que haja entendimentos regulares entre os projetistas do SPDA, os arquitetos e os construtores da estrutura. O projeto, supervisão da instalação e inspeção de SPDA é função, atividade, habilitação e competência de um engenheiro eletricista devidamente registrado no CREA.

A presença de uma disciplina que contemple o *software* AutoCad e MicroStation seria de grande valia para a formação generalista do Engenheiro Eletricista, amplamente utilizado no desenvolvimento dos layout de projetos técnicos comerciais.

As atividades desenvolvidas durante o projeto contribuíram de forma concisa para o aumento do aprendizado. Possibilitou-se integrar grande parte dos conhecimentos da ênfase de Eletrotécnica. Além dos conhecimentos teóricos, outros ganhos também foram inegáveis, no campo pessoal, proporcionando um aprendizado único e excepcional no que diz respeito à construção de um SPDA.

## BIBLIOGRAFIA

[1] J. Mamede Filho. Instalações Elétricas Industriais – 7º Edição, ano 2006

[2] ABNT. **NBR 5410 - Instalações Elétricas de Baixa Tensão** - Associação Brasileira de Normas Técnicas. [S.l.]: ABNT. 2004. p. 26.

[3] ABNT. **NBR 5419 - Proteção de Estruturas Contra Descargas Atmosféricas** - Associação Brasileira de Normas Técnicas. [S.l.]: ABNT. 2005. p. 48.

[4] H. Creder. Instalações Elétricas – 14º Edição, ano 2006.

[5] Empresa PRYSMIAM. Manual de Instalações Elétricas – 1º Edição, ano 2005.

# ANEXO A – MÉTODO DA SELEÇÃO DOS NÍVEIS DE PROTEÇÃO

**Tabela B.1 — Fator A: Tipo de ocupação da estrutura**

Tipo de ocupação	Fator A
Casas e outras estruturas de porte equivalente	0,3
Casas e outras estruturas de porte equivalente com antena externa <sup>1)</sup>	0,7
Fábricas, oficinas e laboratórios	1,0
Edifícios de escritórios, hotéis e apartamentos, e outros edifícios residenciais não incluídos abaixo	1,2
Locais de afluência de público (por exemplo: igrejas, pavilhões, teatros, museus, exposições, lojas de departamento, correios, estações e aeroportos, estádios de esportes)	1,3
Escolas, hospitais, creches e outras instituições, estruturas de múltiplas atividades	1,7

<sup>1)</sup> Para requisitos para instalação de antenas, ver anexo A.

**Tabela B.2 — Fator B: Tipo de construção da estrutura**

Tipo de construção	Fator B
Estrutura de aço revestida, com cobertura não-metálica <sup>1)</sup>	0,2
Estrutura de concreto armado, com cobertura não-metálica	0,4
Estrutura de aço revestida, ou de concreto armado, com cobertura metálica	0,8
Estrutura de alvenaria ou concreto simples, com qualquer cobertura, exceto metálica ou de palha	1,0
Estrutura de madeira, ou revestida de madeira, com qualquer cobertura, exceto metálica ou de palha	1,4
Estrutura de madeira, alvenaria ou concreto simples, com cobertura metálica	1,7
Qualquer estrutura com teto de palha	2,0

<sup>1)</sup> Estruturas de metal aparente que sejam contínuas até o nível do solo estão excluídas desta tabela, porque requerem apenas um subsistema de aterramento.

**Tabela B.3 — Fator C: Conteúdo da estrutura e efeitos indiretos das descargas atmosféricas**

Conteúdo da estrutura ou efeitos indiretos	Fator C
Residências comuns, edifícios de escritórios, fábricas e oficinas que não contenham objetos de valor ou particularmente suscetíveis a danos	0,3
Estruturas industriais e agrícolas contendo objetos particularmente suscetíveis a danos <sup>1)</sup>	0,8
Subestações de energia elétrica, usinas de gás, centrais telefônicas, estações de rádio	1,0
Indústrias estratégicas, monumentos antigos e prédios históricos, museus, galerias de arte e outras estruturas com objetos de valor especial	1,3
Escolas, hospitais, creches e outras instituições, locais de afluência de público	1,7

<sup>1)</sup> Instalação de alto valor ou materiais vulneráveis a incêndios e às suas conseqüências.

Tabela B.4 — Fator D: Localização da estrutura

Localização	Fator D
Estrutura localizada em uma grande área contendo estruturas ou árvores da mesma altura ou mais altas (por exemplo: em grandes cidades ou em florestas)	0,4
Estrutura localizada em uma área contendo poucas estruturas ou árvores de altura similar	1,0
Estrutura completamente isolada, ou que ultrapassa, no mínimo, duas vezes a altura de estruturas ou árvores próximas	2,0

Tabela B.5 — Fator E: Topografia da região

Topografia	Fator E
Planície	0,3
Elevações moderadas, colinas	1,0
Montanhas entre 300 m e 900 m	1,3
Montanhas acima de 900 m	1,7

Tabela B.6 — Exemplos de classificação de estruturas

Classificação da estrutura	Tipo da estrutura	Efeitos das descargas atmosféricas	Nível de proteção
Estruturas comuns <sup>1)</sup>	Residências	Perfuração da isolamento de instalações elétricas, incêndio, e danos materiais Danos normalmente limitados a objetos no ponto de impacto ou no caminho do raio	III
	Fazendas, estabelecimentos agropecuários	Risco direto de incêndio e tensões de passo perigosas Risco indireto devido à interrupção de energia e risco de vida para animais devido à perda de controles eletrônicos, ventilação, suprimento de alimentação e outros	III ou IV <sup>2)</sup>
	Teatros, escolas, lojas de departamentos, áreas esportivas e igrejas	Danos às instalações elétricas (por exemplo: iluminação) e possibilidade de pânico Falha do sistema de alarme contra incêndio, causando atraso no socorro	II
	Bancos, companhias de seguro, companhias comerciais, e outros	Como acima, além de efeitos indiretos com a perda de comunicações, falhas dos computadores e perda de dados	II
	Hospitais, casa de repouso e prisões	Como para escolas, além de efeitos indiretos para pessoas em tratamento intensivo e dificuldade de resgate de pessoas imobilizadas	II
	Indústrias	Efeitos indiretos conforme o conteúdo das estruturas, variando de danos pequenos a prejuízos inaceitáveis e perda de produção	III
	Museus, locais arqueológicos	Perda de patrimônio cultural insubstituível	II
Estruturas com risco confinado	Estações de telecomunicação usinas elétricas Indústrias	Interrupção inaceitável de serviços públicos por breve ou longo período de tempo Risco indireto para as imediações devido a incêndios, e outros com risco de incêndio	I
Estruturas com risco para os arredores	Refinarias, postos de combustível, fábricas de fogos, fábricas de munição	Risco de incêndio e explosão para a instalação e seus arredores	I
Estruturas com risco para o meio ambiente	Indústrias químicas, usinas nucleares, laboratórios bioquímicos	Risco de incêndio e falhas de operação, com consequências perigosas para o local e para o meio ambiente	I

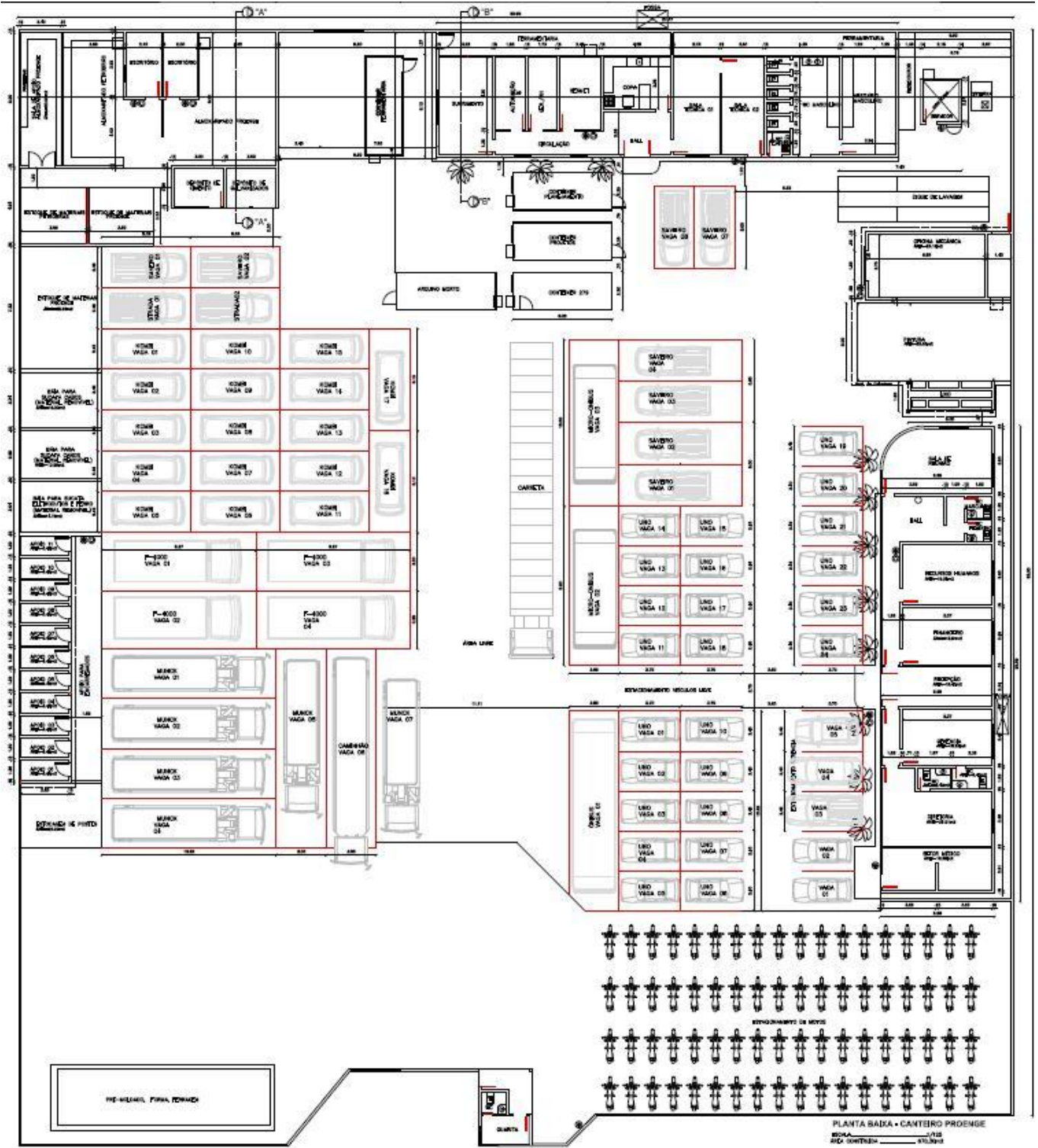
<sup>1)</sup> ETI (equipamentos de tecnologia da informação) podem ser instalados em todos os tipos de estruturas, inclusive estruturas comuns. É impraticável a proteção total contra danos causados pelos raios dentro destas estruturas; não obstante, devem ser tomadas medidas (conforme a ABNT NBR 5410) de modo a limitar os prejuízos a níveis aceitáveis.

<sup>2)</sup> Estruturas de madeira: nível III; estruturas nível IV. Estruturas contendo produtos agrícolas potencialmente combustíveis (pós de grãos) sujeitos a explosão são considerados com risco para arredores.



## ANEXO B – PROJETO ARQUITETÔNICO - PLANTA

### BAIXA DO CANTEIRO DA PROENGE



ANEXO C – DETALHE DOS PARA-RAIOS NO  
CANTEIRO DA PROENGE

