



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE ENGENHARIA ELÉTRICA E INFORMÁTICA  
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

## **TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**Aluno: Adriano Ananias Ferreira  
Orientador: George Rossany Soares de Lira**

**Campina Grande - PB  
Julho de 2010**

**Adriano Ananias Ferreira**

**Avaliação do Sistema de Proteção Contra Descargas Atmosféricas da  
Empresa Acumuladores Moura S.A. (Un.01)**

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 Bacharel em Engenharia  
Elétrica.

**Campina Grande - PB**

**Julho de 2010**

**Adriano Ananias Ferreira**

**Avaliação do Sistema de Proteção Contra Descargas Atmosféricas da  
Empresa Acumuladores Moura S.A. (Un.01)**

**Banca Examinadora:**

---

George Rossany Soares de Lira  
Universidade Federal de Campina Grande  
**Professor Orientador**

---

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

**Campina Grande - PB  
Julho de 2010**

## **Agradecimentos**

Gostaria de agradecer a DEUS por toda graça, misericórdia e amor.

À minha mãe Maria, com toda a sua força e perseverança em nos dá uma excelente educação.

Aos meus irmãos Adílio e Aylton, por toda a amizade e companheirismo.

E a todos os meus amigos que contribuíram durante minha jornada no curso, com um agradecimento especial para José Alexandre Soares, Eduardo Amorim, Lilian Guimarães, Sonaldo Vital, João Robson e entre outros.

Ao professor George Rossany, pela orientação e pelo apoio no desenvolvimento deste trabalho.

## Resumo

A formação de cargas nas nuvens, e a sua conseqüente descarga (raio) a terra, é um fenômeno natural e normal que assola a terra e aflige a humanidade, causando prejuízos e mortes.

Quando as descargas elétricas entram em contato direto com qualquer tipo de construção, tais como edificações, galpões metálico, partes estruturais ou não das subestações, são registrados grandes danos materiais que poderiam ser evitado caso essas construções estivessem protegidas adequadamente por Sistemas de Proteção contra Descargas Atmosféricas (SPDA).

Apesar de todos os esforços, não se consegue evitar que uma descarga elétrica caia sobre determinado prédio. No entanto, todos os cuidados são no sentido de discipliná-lo na sua queda, obrigando-o a seguir um caminho pré-determinado para a terra através do uso de pára-raios e alguns outros equipamentos de proteção.

Este trabalho tem como objetivo estudar e avaliar o Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas na empresa Acumuladores Moura S.A., na unidade 01, localizada da cidade de Belo Jardim - PE. Com este estudo sugerir melhorias para o aperfeiçoamento do Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas implantado na fábrica.

## Sumário

	Pág.
<b>CAPÍTULO 1 - Introdução</b> .....	09
1.1 Apresentação.....	09
<b>CAPÍTULO 2 - Descargas Atmosféricas</b> .....	10
2.1 Origem dos Raios.....	10
2.2 Formação de Cargas nas Nuvens.....	10
2.2 Formação dos Raios.....	12
2.4 Incidência de Raios e Índice Ceráunico.....	14
2.5 Forma do Raio.....	15
<b>CAPÍTULO 3 - Efeitos dos Raios em Estruturas e Seleção do Nível de Proteção</b> .....	18
3.1 Normas.....	18
3.2 Pára-raios: Principais Funções.....	18
3.3 Nível de Proteção contra Descargas Atmosféricas.....	19
3.4 Avaliação do Risco de Exposição.....	22
3.5 Área de Captação do Raio em Estrutura.....	22
3.6 Avaliação Geral do Risco.....	23
<b>CAPÍTULO 4 - Métodos de Proteção contra Descargas Atmosféricas</b> .....	26
4.1 Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas.....	26
4.2 Método Franklin.....	26
4.3 Método Gaiola de Faraday.....	31
4.4 Método Eletrogeométrico.....	34
4.5 Sistema de Proteção Específico.....	36
<b>CAPÍTULO 5 - Análise das Edificações – Estudo de Caso</b> .....	40
5.1 Método de Seleção do Nível de Proteção.....	40
5.2 Modelo Implementado.....	44
<b>Considerações Finais</b> .....	46
<b>Referências Bibliográficas</b> .....	48
<b>Anexos</b> .....	49

# LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 2.2.1 – Processo de Formação das Cargas nas Nuvens.....	11
Figura 2.3.1 – Túneis Ionizados.....	13
Figura 2.3.2 – Formação de uma Descarga Atmosférica.....	13
Figura 2.4.1 – Mapa Isoceráunico do Brasil.....	15
Figura 2.5.1 – Forma de Onda do Raio.....	16
Figura 3.2.1 – Neutralização pelo Poder das Pontas.....	19
Figura 3.5.1 – Área Equivalente de Atração das Descargas Atmosféricas.....	23
Figura 4.2.1 – Haste Franklin.....	27
Figura 4.2.2 – Proteção com Haste Franklin.....	28
Figura 4.2.3 – Prédio Protegido pelo Pára-raio Franklin.....	29
Figura 4.3.1 – Condução do Raio para o Cabo de Descida a Terra.....	32
Figura 4.3.2 – Aplicação da Gaiola de Faraday.....	34
Figura 4.4.1 – Distância de Atração (hs).....	35
Figura 4.4.2 – Esfera Rolante sendo rolada e Zona de Proteção sendo Formada.....	36
Figura 4.5.1 – Aplicações dos Supressores de Surtos.....	37
Figura 4.5.2 – Protetor contra Surto CLAMPER.....	38
Figura 4.5.3 – Supressores de Surtos sendo Utilizados em Circuitos de Energia.....	39
Figura 5.5.1 – Acumuladores Moura S.A., Unidade 01.....	40
Figura 4.5.2 – Curvas Isoceráunicas de Pernambuco.....	41

## Lista de Tabelas

	<b>Pág.</b>
Tabela 2.51 – Valores dos Raios.....	17
Tabela 3.3.1 – Classificação das Estruturas.....	20
Tabela 3.6.1 – Fatores de Ponderação.....	25
Tabela 3.6.2 – Eficiência da Proteção.....	25
Tabela 4.2.1 – Ângulo de Proteção e Altura da Construção.....	29
Tabela 4.2.2 – Espaçamento Médio dos Condutores de descidas.....	31
Tabela 4.2.3 – Bitola Mínima do Cabo de descidas.....	31
Tabela 4.3.1 – Largura do Módulo de Proteção.....	33
Tabela 4.3.2 – Retângulo da Gaiola de Faraday.....	33
Tabela 4.4.1 – Raio da Esfera Rolante (Re).....	35
Tabela 5.1.1 – Classificação das Estruturas Quanto ao Nível de Proteção.....	44
Tabela 5.2.1 – Estruturas, Método de Proteção e Nível de Proteção.....	44

# CAPÍTULO 1

## INTRODUÇÃO

### 1.1 – Apresentação

Há milhares de anos que os raios são observados e estudados, mas apesar de todo avanço tecnológico pouco progresso foi obtido no conhecimento do fenômeno, pois ainda hoje persiste algumas dúvidas, entre elas o mecanismo de carregamento de cargas positivas e negativas nas nuvens[3].

A ação do raio é fulminante, ocorrendo em curtíssimo tempo, daí a grande dificuldade de observação, e além do mais o raio ocorre aleatoriamente na superfície da terra.

Apesar de todos os esforços, não se consegue evitar que um raio caia sobre determinado prédio, no entanto todos os cuidados são no sentido de discipliná-lo na sua queda, obrigando a seguir um caminho pré-determinado para a terra, minimizando, ou mesmo evitando, seus efeitos danosos à estrutura, pessoas, equipamentos, etc. Sendo assim, há uma necessidade de elaborar um sistema para a proteção, tanto do patrimônio, quanto das vidas envolvidas.

A decisão de proteger uma estrutura contra raios pode ser uma exigência legal ou uma precaução do proprietário em evitar prejuízos, já que os raios são causas de incêndios e danos físicos.

A NBR 5419/2001 conceitua o SPDA como sendo um “Sistema completo destinado a proteger uma estrutura contra os efeitos das descargas atmosféricas. Ele é composto de um sistema externo e de um sistema interno de proteção. O sistema externo de proteção consiste em subsistema de captadores, subsistema de condutores de descida e subsistema de aterramento. O sistema interno de proteção é um conjunto de dispositivos que reduzem os efeitos elétricos e magnéticos da corrente de descarga atmosférica dentro do volume a proteger (DPS – dispositivo de proteção contra surtos).”

O presente relatório tem por objetivo estudar e avaliar o Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas na empresa Acumuladores Moura S.A., na unidade 01, localizada da cidade de Belo Jardim - PE. Com este estudo pretende-se sugerir melhorias no Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas implantado na fábrica.

# CAPÍTULO 2

## DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

### 2.1 – Origem dos Raios

No início, há milhões de anos, no processo de resfriamento do planeta, tempestades violentas existiam em abundância, e com o resfriamento da Terra, as tempestades se estabilizaram, mantendo-se num equilíbrio natural.

A ação do raio é seguida pela luminosidade e trovoadas, sua presença foi observada, tendo-se encontrada em registros em 2000a.C., na Mesopotâmia. Na antiguidade o raio estava sempre associado a deuses e divindades, sendo apresentados na literatura grega de 700a.C., onde nesses registros mostram Zeus como sendo o deus do raio[3].

Os efeitos destrutivos dos raios eram associados às pedras incandescentes que violentamente caíam do céu na ponta do raio. No século XVIII começaram os pesquisadores a associar o raio aos fenômenos da descarga elétrica das cargas acumuladas nas nuvens.

Em 1752, as experiências de Benjamin Franklin, mostraram através de uma pipa a existência de cargas elétricas nas nuvens, essa experiência foi feita durante uma tempestade e naquele momento ele sentiu pequenas descargas elétricas pelo seu corpo. O pesquisador russo G.W. Richman morreu fulminado pelo raio que caiu em sua pipa ao tentar repetir a mesma experiência.

### 2.2 – Formação de Cargas nas Nuvens

Inicialmente considera-se que a Terra possui cargas negativas em excesso, e ela será um potencial negativo. A incidência da luz do Sol na superfície da terra aquece o solo, e por sua vez o solo aquecido transfere calor para a camada de ar mais próxima ao solo.

A camada de ar recebe, também, grande quantidade de umidade devido à evaporação da água da superfície da terra, e essa camada de ar aquecida dilata-se diminuindo sua densidade, ficando mais leve que as camadas de ar frio. Essas camadas de ar frio deslocam-se empurrando para cima as de ar quente, desta forma têm-se as correntes de ar ascendentes.

Grande quantidade de umidade é carregada pelas correntes de ar ascendente, quando chegada em regiões mais altas onde a temperatura é mais baixa, se condensa formando várias gotículas de água, que ficam suspensas no ar. Ao caírem encontram outras gotículas aumentando assim seu tamanho, são induzidas na gota de água cargas positivas na parte inferior e na parte superior as cargas negativas, já que o solo da Terra considera-se negativo. Há a fragmentação dessas gotas e nesse momento formam os íons positivos na parte inferior e os íons negativos na superior.

Os íons positivos encontram grande quantidade de gotículas d'água arrastada pelo ar ascendente, já a gota ascendente neutra durante o choque, entrega elétrons aos íons positivos descendentes, com isso a gota ascendente se torna positiva e o íon fica neutralizado. Essas gotas ascendentes estão dotadas de grande energia cinética, conseguem subir até a parte superior da nuvem e os íons negativos têm menor energia cinética e se aglomeram na parte inferior da nuvem. Ver Figura 2.2.1.

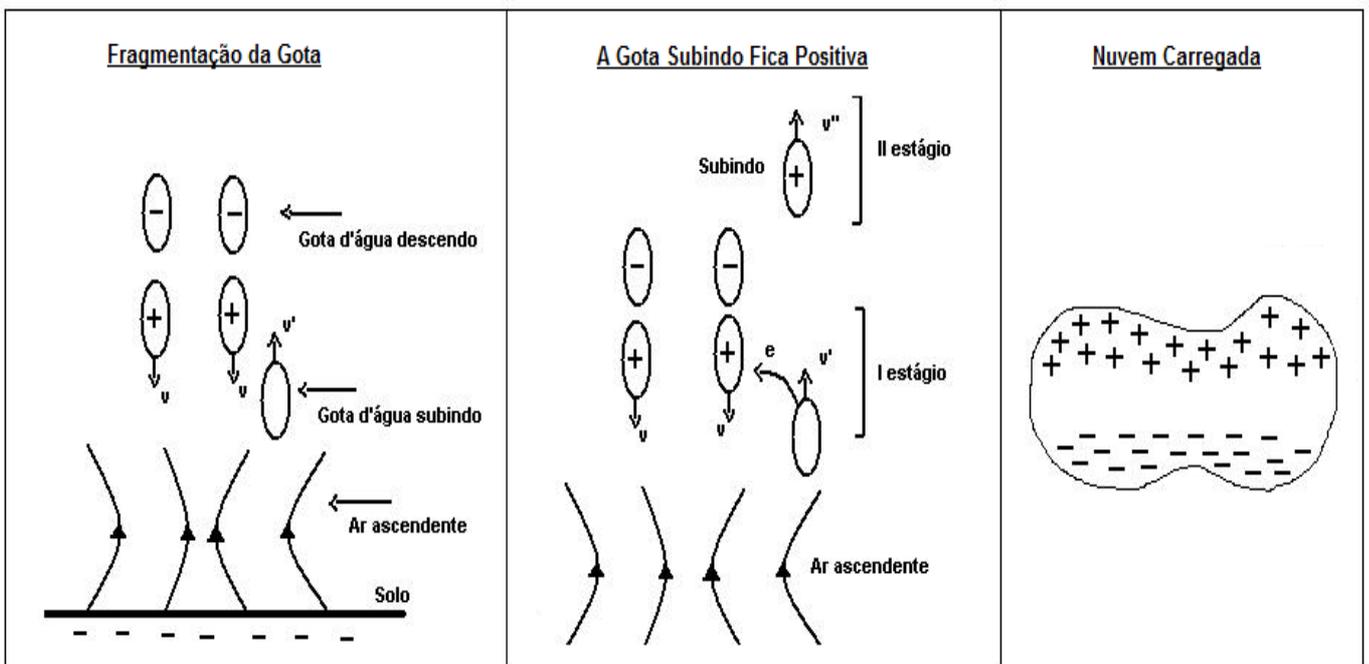


Figura 2.2.1 – Processo de Formação de Cargas nas Nuvens

## 2.3 – Formação dos Raios

A nuvem carregada induz no solo cargas positivas que ocupam uma área correspondente ao tamanho da nuvem, e como o vento arrasta a nuvem e desta forma as cargas positivas no solo acompanha o deslocamento da mesma, formando praticamente uma sombra de cargas positivas que segue a nuvem.

A concentração de cargas elétricas positivas e negativas numa determinada região faz surgir uma diferença de potencial entre a terra e a nuvem, essa diferença de potencial entre a terra e a nuvem varia de 10 a 1.000.000 kV, sendo a altura média da nuvem varia de 300 a 5.000 m de altura.

Note-se que para a descarga se efetuar não é necessário que o gradiente de tensão (campo elétrico) seja superior à rigidez dielétrica de toda a camada de ar entre a nuvem e o solo, basta apenas um campo elétrico bem menor. Isso é resultado do fato que o ar entre a nuvem e o solo não ser homogêneo, pois contém grande quantidade de impurezas, umidade e ar ionizado, que estão em constante agitação.

Essas impurezas deixam o ar muito “enfraquecido”, necessitando de um campo elétrico menor para que o raio consiga perfurar o ar e descarregar sua carga elétrica na terra.

Na descida de um raio, primeiramente pequenos túneis de ar ionizado ficam, pelo poder das pontas, com alta concentração de cargas que vão, aos poucos furando a camada de ar a procura de menor resistividade, ou seja, os túneis ionizados tentando se aproximar das cargas positivas do solo. Esses túneis ionizados seguem um caminho tortuoso e cheio de ramificações, com origem na terra e na nuvem, esse fenômeno é conhecido como descarga piloto ou raio líder. Ver a Figura 2.3.1.

A ionização do caminho seguido pela descarga piloto propicia condições favoráveis de condutibilidade do ar ambiente, mantendo-se elevado o gradiente de tensão na região entre a nuvem e a terra, surge, em função da aproximação do solo de uma das ramificações da descarga piloto, uma descarga ascendente, constituída de cargas elétricas positivas, denominadas descargas ascendente de retorno da terra para nuvem.

Em seguida originando-se a descarga principal no sentido nuvem para terra, de grande intensidade, responsável pelo fenômeno conhecido como trovão, que o deslocamento da massa de ar circundante ao caminhamento do raio, em função da elevação de temperatura e, conseqüentemente do aumento de volume.

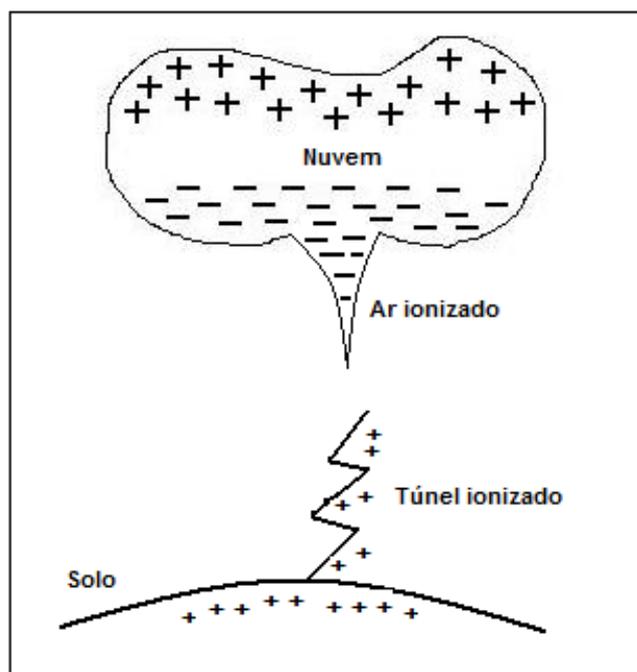


Figura 2.3.1 – Túneis Ionizados

A Figura 2.3.2 ilustra graficamente a formação das descargas atmosféricas, passando pelo processo da descarga piloto, em seguida a descarga ascendente com a descarga de retorno e por fim a formação da descarga principal.

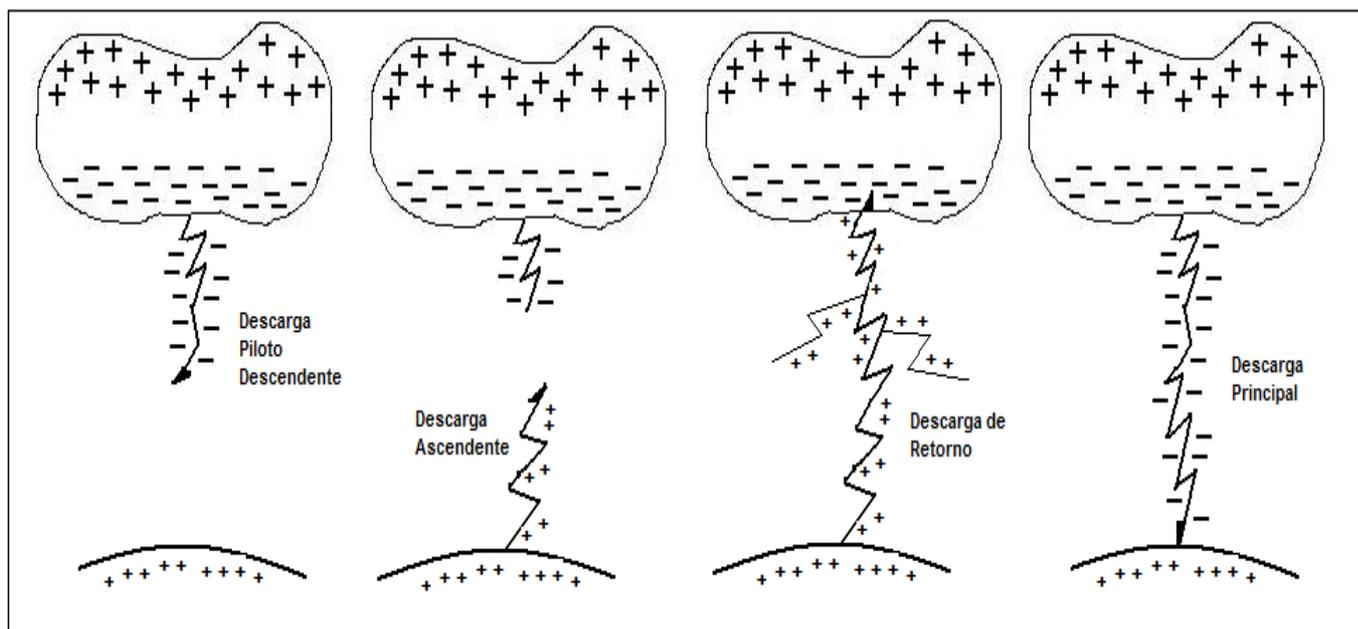


Figura 2.3.2 – Formação de uma Descarga Atmosférica

## 2.4 – Incidência de Raios e Índice Ceráunico

Um número maior de raios ocorre principalmente em locais mais altos, como árvores mais isoladas, prédios, torres, chaminés.

Um fato interessante que se observa na natureza é que o raio prefere terrenos maus condutores, como os granitos ou xistosos, ao invés de terrenos bons condutores como os calcáreos. Isto é devido o terreno mau condutor e a nuvem formam um grande capacitor, onde eles formam dois eletrodos que armazenam cargas opostas e são separadas por um dielétrico para este caso o ar, devido a enorme diferença de potencial entre a nuvem e o solo é provocada a ionização do ar.

A ionização do ar diminui a distância de isolamento entre a nuvem e o solo, havendo, portanto maior probabilidade do raio piloto rompe esta camada de ar, fazendo com que o raio caia neste terreno isolante. Como o terreno é isolante, não há condições de escoamento do raio, e este ao cair se espalha procurando os caminhos de mais baixa resistência.

Um parâmetro que indica o número de dias de trovoadas por ano em uma determinada localidade é chamado de Índice Ceráunico ( $N_i$ ). Este dado é mais realista quando se tem registro de muitos anos, onde o observador deve registrar as trovoadas dentro de sua localidade, no qual a distância estimada da ação do observador é de um círculo com raio de 20 km.

Registrando todos os índices ceráunicos em um mapa, e ligando os pontos de igual intensidade, obtêm-se as linhas de mesmo índice, isto é, índice isoceráunicos. A Figura a seguir mostra o mapa isoceráunico do Brasil.

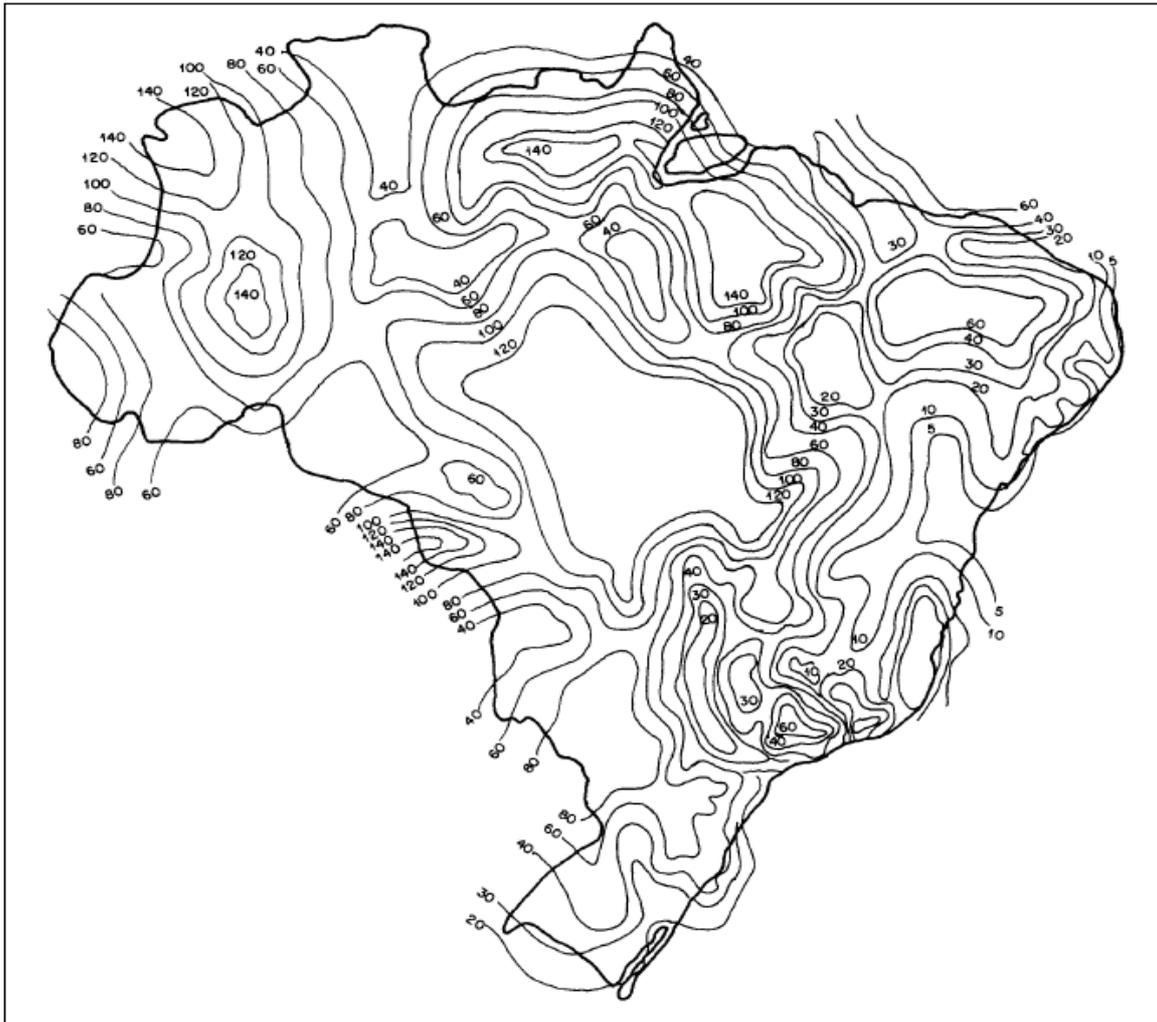


Figura 2.4.1 – Mapa Isoceráunico do Brasil[1]

## 2.5 – Forma do Raio

Vários estudos foram feitos com propósito de saber a forma do impulso da corrente de descarga do raio que escoar entre nuvem e terra ou entre nuvens. Após exaustiva análise através de fotografias e registros dos oscilógrafos, obteve-se a forma da onda média do impulso da descarga, bem como sua duração.

A Figura 2.5.1 mostra a forma do impulso da corrente de descarga do raio em função do tempo. A onda atinge o seu valor máximo de tensão  $V_2$  num tempo  $T_2$  compreendido entre 1 e 10  $\mu\text{s}$ , já o valor médio  $V_1$  corresponde ao valor médio da cauda da onda, é atingido num intervalo de tempo  $T_1$  de 20 a 50  $\mu\text{s}$ , caindo para  $V \approx 0$  ao final de  $T_0$  no intervalo de 100 a 200  $\mu\text{s}$ . A onda de tensão característica foi normalizada para valores de  $T_1 = 50 \mu\text{s}$  e  $T_2 = 1,2 \mu\text{s}$ , normalmente conhecida como

onda de  $1,2 \times 50 \mu\text{s}$ . Já a onda característica da corrente de descarga foi normalizada para  $T_1 = 20 \mu\text{s}$  e  $T_2 = 8 \mu\text{s}$ , também conhecida normalmente como onda de  $8 \times 20 \mu\text{s}$ .

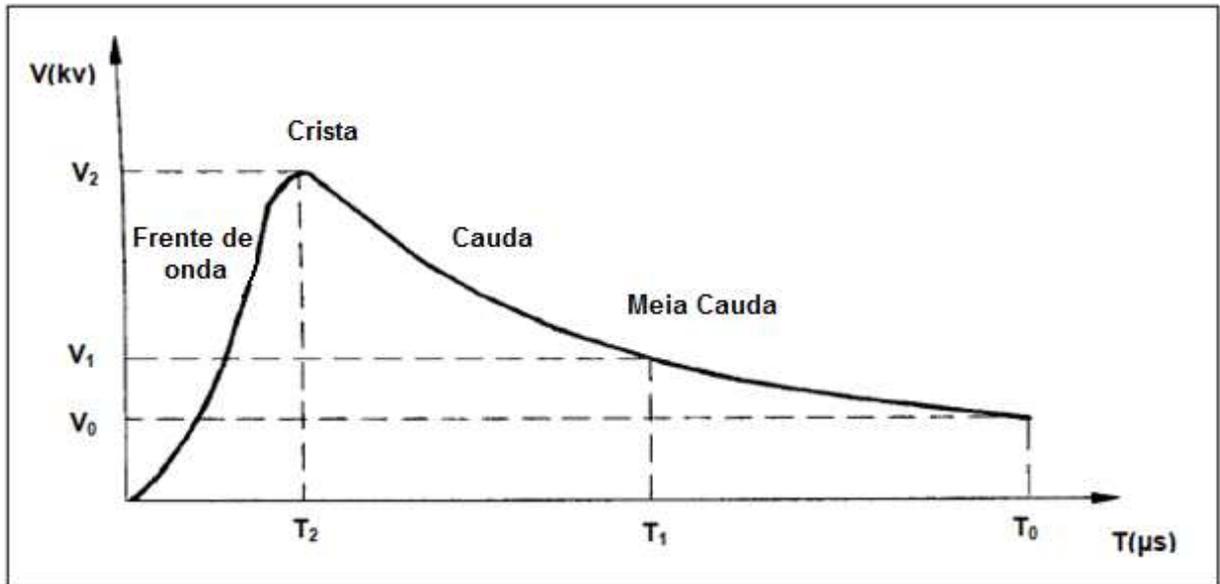


Figura 2.5.1 – Forma de Onda do Raio

Pela Figura 2.5.1, pode se definir alguns termos importantes da descarga do raio[4]:

- *Frente da Onda* – corresponde ao período da subida da tensão do raio. Esta duração é ínfima, esta frente de onda corresponde à ação fulminante do raio, é responsável pelos danos diretos e indiretos nos circuitos elétricos.
- *Valor da Crista* – é valor máximo alcançado pela corrente ou tensão do raio.
- *Cauda do Raio* – corresponde à forma descendente do raio, vai desde o valor de crista até o final do raio, esse período é longo e suave comparado com a frente de onda.
- *Período de Meia Cauda* – é o tempo em que a cauda atinge o valor de meia crista.

Em termo de efeito e danos, caso o equipamento a ser protegido sobreviva ao raio até o período de meia cauda ( $T_1$ ), o restante do período até o final da cauda é suave e mais tranqüilo.

A gama de variação dos valores dos raios é uma questão preocupante, exigindo maiores estudos. Valores medidos e registrados estão indicados na Tabela 2.5.1.

**Tabela 2.5.1 – Valores dos Raios**

<b>Corrente</b>	2.000 a 200.000 A
<b>Tensão</b>	100 a 1.000.000 kV
<b>Duração</b>	70 a 200 $\mu$ s
<b>Carga elétrica da nuvem</b>	20 a 50 C
<b>Potência liberada</b>	1.000 a 8.000 milhões de kW
<b>Energia</b>	4 a 10 kWh
<b>Tempo de crista</b>	1,2 $\mu$ s
<b>Tempo de meia cauda</b>	50 $\mu$ s
<b><i>di / dt</i></b>	5,5 kA / $\mu$ s

# CAPÍTULO 3

## EFEITOS DOS RAIOS EM ESTRUTURAS E SELEÇÃO DO NÍVEL DE PROTEÇÃO

### 3.1 – Normas

De um modo geral, é grande ainda o desconhecimento e a incerteza do efeito da ação e da proteção contra descarga atmosférica[3]. Por esse motivo as normas e recomendações existentes são indefinidas em alguns pontos e imprecisas em outros, sendo necessários muitos estudos e uma grande evolução no conhecimento do assunto para que se disponha de uma melhor orientação quanto ao tratamento a ser dado na proteção contra descargas atmosféricas.

No Brasil tem-se a norma NBR-5419 – “Proteção de Estruturas Contra Descargas Atmosféricas” da ABNT. A norma Regulamentadora Nº 10 (NR 10), estabelecida pelo artigo 7º, inciso XXII, da Constituição Federal de 1988; artigos 179, 180 e 181 da CLT e portaria SSMT/MTb Nº 012/1983, prescreve que toda edificação de empresa, deve ser protegida contra descargas atmosféricas observando as normas técnicas oficiais e, em especial quanto a localização, condições de ligação à terra e zona de atuação dos pára-raios.

Dentre algumas normas internacionais tem-se a norma inglesa é a BS6651 de 1985 denominada de “Protection of Structures Against Lightning”. A suíça é a ASE4022 de 1987 – “Installations de Protection Contre laFoudre”. A norte-americana é a NFPA78 de 1986 – “Lightning Protection Code”. A internacional é a IEC 61024-1-2 – “Protection of Structures Against Lightning” de 1998.

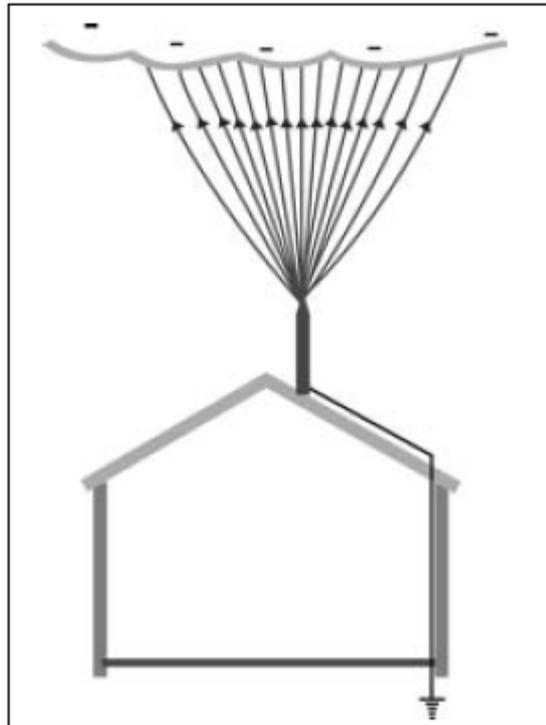
### 3.2 – Pára-raios: Principais Funções

Como não se pode evitar que o raio caia sobre uma estrutura, é necessário garantir o escoamento de forma mais rápida possível ou até mesmo evitando seus efeitos danosos à estrutura, pessoas, equipamentos, etc.

Pelo principio do poder das pontas os pára-raios farão este escoamento do raio para a terra. Para poder explicar o poder das pontas, tem-se um condutor elétrico eletrizado (pára-raios), onde as cargas elétricas tendem a se concentrar nas suas pontas, em virtude disso o campo elétrico próximo a essa região é muito mais intenso do que nas outras regiões. Desta forma tem-se em um aumento na força de repulsão

elétrica entre as cargas. Por esse motivo as cargas elétricas podem com maior facilidade escoar para fora de um condutor e, se deslocam livremente pelo ar[5].

As nuvens atraem todas as cargas de sinal contrário que estiverem soltas no ar que aos poucos vão neutralizando a própria nuvem como ilustrado na figura abaixo. Este processo é lento, gradual e contínuo, as nuvens não concentram uma quantidade suficiente de carga e assim não sendo capazes de provocar os raios.



**Figura 3.2.1 – Neutralização pelo poder das pontas**

Os raios sempre procuram o caminho mais fácil ou de menor resistência para se chegar ao solo, devido ao grande número de íons na ponta do pára-raios, o líder desce pelo pára-raios, no qual é um metal que conduz melhor a eletricidade, e sendo dispersa pelo solo através do aterramento.

### **3.3 – Nível de Proteção Contra Descargas Atmosféricas**

Como mostrado anteriormente, as descargas atmosféricas podem danificar seriamente o patrimônio e vitimar as pessoas e animais, quando estes se encontram

dentro do campo elétrico formado entre a nuvem e o solo e sejam diretamente atingidos.

Mesmo com a instalação de um sistema de pára-raios, há sempre a possibilidade de falha desse sistema, podendo a construção protegida, neste caso, ser atingida por uma descarga atmosférica. A partir dessa premissa a NBR 5419/01 determina quatro níveis de proteção com base nos quais devem ser tomadas decisões de projeto mais ou menos severas. Os níveis de proteção estão assim definidos:

- **Nível I:** é o nível mais severo quanto à perda de patrimônio. Referem-se às construções protegidas, cuja falha no sistema de pára-raios pode provocar danos às estruturas adjacentes, tais como as indústrias de modo geral, de materiais explosivos, usinas elétricas e etc.
- **Nível II:** refere-se às construções protegidas, cuja falha no sistema de pára-raios pode ocasionar a perda de bens de estimável valor ou provocar pânico aos presentes, porém sem nenhuma consequência para as construções adjacentes. Enquadram-se neste nível os museus, teatros, hospitais e etc.
- **Nível III:** refere-se às construções de uso comum, tais como prédios residenciais, lojas e indústrias de manufaturados simples.
- **Nível IV:** refere-se às construções onde não é rotineira a presença de pessoas. São feitas de material não-inflamável, sendo o produto armazenado nelas de material não-combustível, tais como armazéns de concreto para produtos de construção.

A norma NBR 5419/01 fornece vários tipos de estruturas, os equivalentes níveis de proteção e os efeitos dos raios nas estruturas. Ver Tabela 3.3.1.

**Tabela 3.3.1 – Classificação das estruturas**

Classificação da Estrutura	Tipo da Estrutura	Efeitos das Descargas Atmosféricas	Nível de Proteção
	Residências	Perfuração da isolamento de instalações elétricas, incêndio e danos materiais. Danos normalmente limitados a objetos no ponto de impacto ou no	III

Estruturas Comuns <sup>1</sup>		caminho do raio.	
	Fazendas, Estabelecimentos agropecuários	Risco direto de incêndio e tensões de passo perigosas. Risco indireto devido à interrupção de energia e risco de morte para animais devido à perda de controles eletrônicos, ventilação, suprimento de alimentação e outros.	III ou IV <sup>2</sup>
	Teatros, Escolas, Lojas de Departamento, Áreas Esportivas e Igrejas	Danos às instalações elétricas e possibilidade de pânico. Falha no 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 comunicação, falhas dos computadores e perda de dados.	II
	Hospitais, Casas 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 Telecomunicações, Usinas Elétricas, Indústrias	Interrupção de serviços públicos por breve ou longo período de tempo. Risco indireto para as imediações devido a incêndios e outros com risco de incêndios.	I
Estruturas com risco para os arredores	Refinarias, Posto de Combustível, Fábricas de Fogos, Fábricas de Munição	Risco de incêndios e exploração para a instalação e seus arredores.	I
Estruturas com risco para o meio ambiente	Indústrias Químicas, Usinas Nucleares, Laboratórios Químicos	Risco de incêndio e falhas de operação, com conseqüências 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 proteção total contra danos causados pelos raios dentro destas estruturas; não obstante, devem ser tomadas medidas (conforme a 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 (pó de grãos) sujeitos à explosão são considerados com risco para arredores.

### 3.4 – Avaliação do Risco de Exposição

A densidade de descargas atmosféricas que atingem a terra  $N_{da}$  é o número de raios por  $\text{Km}^2$  por ano que atinge o solo. A NBR 5419/01 utiliza a expressão 3.4.1 para estimar a densidade de descargas atmosféricas no local, o seu valor é de:

$$N_{da} = 0,04 \times N_t^{1,25} \quad (\text{km}^2/\text{ano}) \quad (3.4.1)$$

$N_t$  – Índice Ceráunico.

O valor de  $N_t$  pode ser conhecido através de instituições oficiais ou não que operam na área do projeto, tais como instalações aeronáuticas, serviço de meteorologia, institutos de pesquisa relacionados. Na falta de informações dessas organizações, pode-se utilizar o mapa das curvas isoceráunicas mostradas na Figura 2.4.1.

### 3.5 – Área de Captação do Raio em uma Estrutura

Define-se como área de captação do raio em uma edificação normal, sem sistema de proteção, como sendo a área (equivalente no solo) em que se ocorre a incidência do raio mesmo será atraído pela estrutura.

Para uma edificação com geometria simétrica, a área de captação é calculada pela soma da área de ocupação da própria estrutura mais a área correspondente à uma faixa contígua à primeira, de largura constante e igual à altura da estrutura, ao longo do seu perímetro. Essa área é obtida pela expressão 3.5.1.

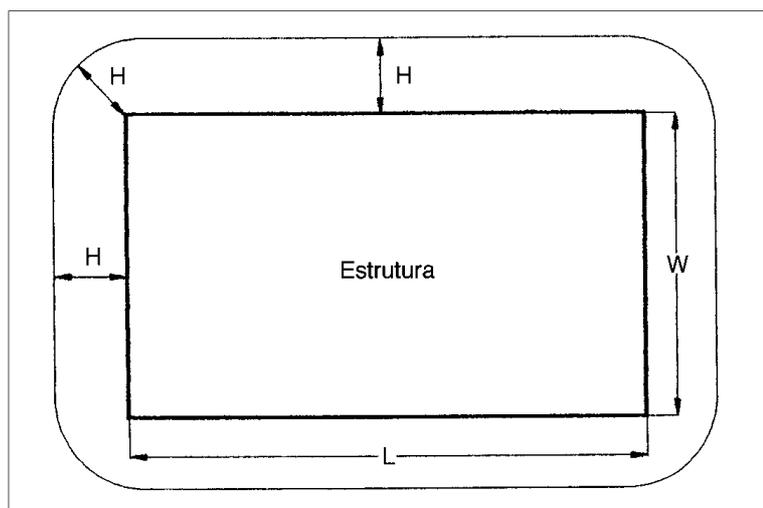
$$A_e = (L \times W) + (2 \times L \times H) + (2 \times W \times H) + (\pi \times H^2) \quad (\text{m}^2) \quad (3.5.1)$$

$L$  – comprimento da estrutura, em m;

$W$  – largura da estrutura, em m;

$H$  – altura da estrutura, em m.

A Figura 3.5.1 mostra a área de exposição equivalente de uma estrutura com as definições geométricas necessárias.



**Figura 3.5.1 – Área equivalente de atração das descargas atmosféricas**

A frequência média anual previsível de descargas atmosféricas sobre uma estrutura é definida pela NBR 5419/01 como sendo a equação 3.5.2:

$$N_{pr} = N_{da} \times A_e \times 10^{-6} \quad (\text{por ano}) \quad (3.5.2)$$

$N_{da}$  – número de raios por Km<sup>2</sup> por ano;

$A_e$  – área de captação do raio em m<sup>2</sup>.

A comunidade técnica reconhece os limites a seguir como a frequência admissível de danos:

- riscos maiores que  $10^{-3}$ , ou seja, um dano ocorrido na estrutura para 1.000 descargas por ano: *valor inaceitável*;
- riscos menores que  $10^{-5}$ , ou seja, um dano ocorrido na estrutura para 100.000 descargas por ano: *valor aceitável*.

### 3.6 – Avaliação Geral do Risco

Antes de tomar uma decisão aleatória sobre a necessidade de dotar determinada construção de uma proteção contra incidência de raios, é prudente que se calcule a probabilidade ponderada (frequência média anual) que permitirá uma decisão sobre a importância técnica do empreendimento dado na equação 3.6.1:

$$P_0 = A \times B \times C \times D \times E \times N_{pr} \quad (3.6.1)$$

**A** – o fator de ponderação de risco A é um índice relativo ao tipo de ocupação da estrutura;

**B** – o fator de ponderação de risco B é um índice que denota o tipo de construção da estrutura;

**C** – o fator de ponderação de risco C é um índice que relaciona o conteúdo da estrutura e os efeitos indiretos causados pela descarga atmosférica na estrutura;

**D** – o fator de ponderação de risco D é um índice que relaciona a localização da estrutura em relação a estruturas vizinhas, tais como outras construções ou árvores;

**E** – o fator de ponderação de risco E é um índice do risco da localização da estrutura em relação à topografia do terreno.

Esses valores dos fatores de ponderação estão exibidos na Tabela 3.6.1.

Com o valor de  $P_0$  calculado, pode-se ter uma estimativa se a estrutura requer um Sistema de Proteção Contra Descargas Atmosféricas – SPDA, através do critério a seguir:

- se  $P_0 \geq 1 \times 10^{-3}$ , a estrutura requer um SPDA;
- se  $1 \times 10^{-5} < P_0 < 1 \times 10^{-3}$ , o emprego do SPDA fica a critério do usuário;
- se  $P_0 \leq 1 \times 10^{-5}$ , a estrutura não requer um SPDA.

Especialistas internacionais após anos de análises produziram uma estimativa estatística da eficiência do sistema de proteção contra descargas atmosféricas, de acordo com o nível de proteção desejado. O grau de eficiência está registrado na Tabela 3.6.2.

**Tabela 3.6.1 – Fatores de Ponderação**

<b>Tipo de Ocupação</b>	<b>A</b>	<b>Material de Construção</b>	<b>B</b>	<b>Conteúdo</b>	<b>C</b>	<b>Localização</b>	<b>D</b>	<b>Tipografia</b>	<b>E</b>
Habitação	<b>0,3</b>	Construções de coberturas não-metálicas	<b>0,2</b>	Sem valor patrimonial ou histórico	<b>0,3</b>	Áreas circundadas por árvores ou estruturas de qualquer natureza	<b>0,4</b>	Planícies	<b>0,3</b>
Habitação com antena externa	<b>0,7</b>	Construções de concreto e cobertura não-metálica	<b>0,4</b>	Sensível a danos	<b>0,8</b>	Áreas semi-isoladas	<b>1,0</b>	Colinas	<b>1,0</b>
Construções industriais	<b>1,0</b>	Construções de metal ou concreto e cobertura metálica	<b>0,8</b>	Subestações, centrais telefônicas, instalações de gás, estações de radio e TV	<b>1,0</b>	Áreas isoladas	<b>2,0</b>	Montanhas com altura entre 300 a 900m	<b>1,3</b>
Construções destinadas a hotéis, motéis, salas comerciais	<b>1,2</b>	Construções de alvenaria	<b>1,0</b>	Museus e monumentos e construções de mesma natureza	<b>1,3</b>			Montanhas com altura acima de 900m	<b>1,7</b>
Construções destinadas a shopping centers, museu, centro esportivos	<b>1,3</b>	Construções de madeira	<b>1,4</b>	Escolas, hospitais e similares	<b>1,7</b>				
Escolas, hospitais e similares	<b>1,7</b>	Construções de alvenaria ou madeira com cobertura metálica	<b>1,7</b>						
		Construções com cobertura de palha e similares	<b>2,0</b>						

**Tabela 3.6.2 – Eficiência da Proteção**

<b>Nível de Proteção</b>	<b>Eficiência da Proteção</b>
I	98 %
II	95 %
III	90 %
IV	80 %

# CAPÍTULO 4

## MÉTODOS DE PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

### 4.1 – Sistema de Proteção Contra Descargas Atmosféricas

As técnicas de proteção utilizadas para escoamento das descargas atmosféricas possuem a mesma filosofia que é produzir uma blindagem na estrutura protegida, de modo a evitar que o raio cause danos diretos.

A diferença fundamental entre os métodos de proteção contra descargas atmosféricas está na definição da área protegida. Com base nesse fato os métodos apresentados para proteção contra descargas atmosféricas são:

- *Método de Franklin* ou da Haste Vertical;
- *Método da Gaiola de Faraday* ou da Malha;
- *Método Eletrogeométrico* ou da Esfera Rolante.

Com as diversas técnicas empregadas têm como objetivo facilitar o escoamento da descarga atmosférica da melhor maneira possível. Com esse objetivo os sistemas de proteção são constituídos de 3 componentes básicos, que são:

- Captor de raio;
- Cabos de descidas;
- Sistema de aterramento.

Estes três devem ser adequadamente combinados de modo a cumprir suas finalidades, ou seja, proteger estruturas, seres humanos, equipamentos, instalações e outros.

### 4.2 – Método de Franklin

O método proposto por Franklin tem por base uma haste elevada. Esta haste, em forma de ponta, produz, sob a nuvem carregada, uma alta concentração de cargas elétricas, juntamente com um campo elétrico intenso. Isto produz a ionização do ar diminuindo a altura efetiva de nuvem carregada, o que propicia o escoamento dos

elétrons através do “rompimento” da rigidez dielétrica da camada de ar. Ver Figura 4.2.1.

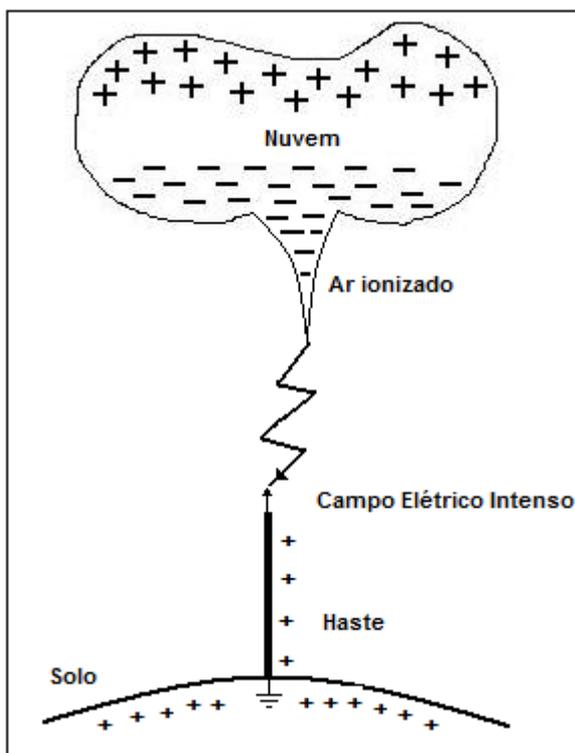


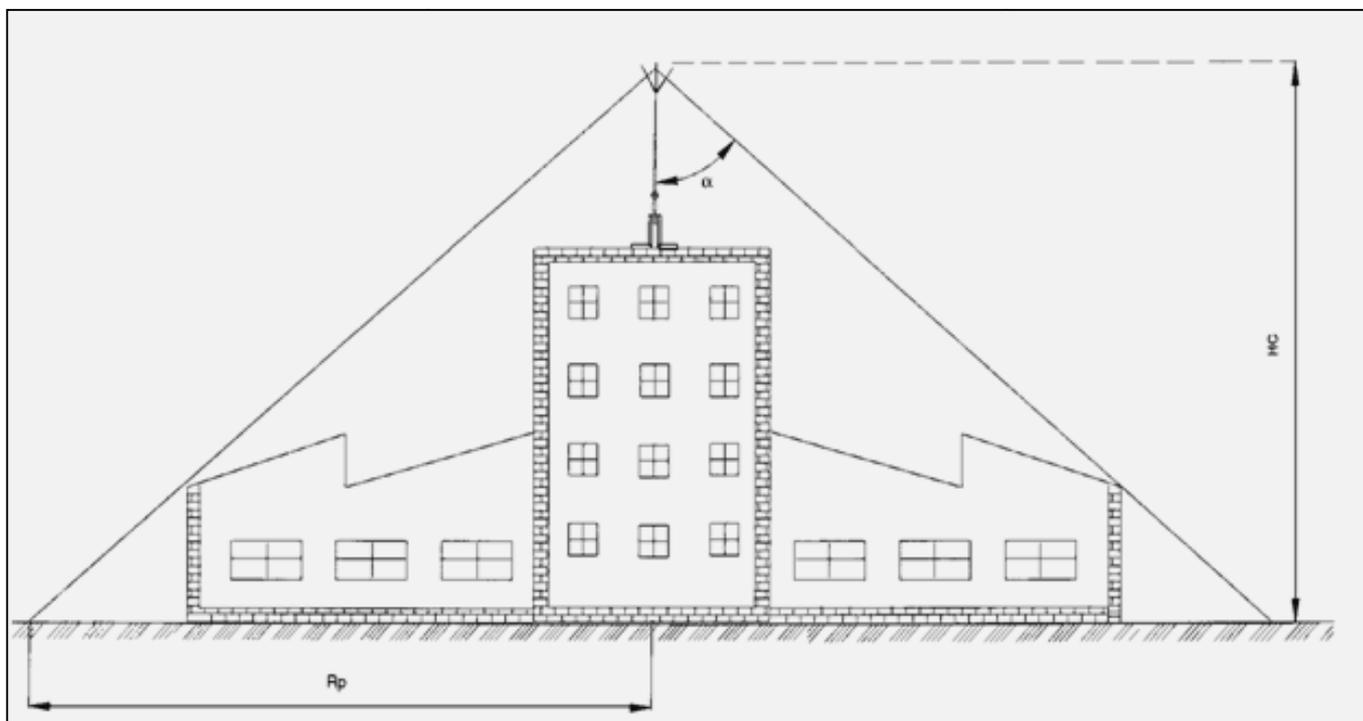
Figura 4.2.1 – Haste Franklin

Já o captor tipo Franklin utiliza a propriedade das pontas metálicas de propiciar o escoamento das cargas elétricas para a atmosfera, chamado de poder das pontas. O captor é formado por um mastro galvanizado, suportes isoladores para o mastro, base de fixação e um condutor de descida que leva a descarga elétrica até a malha de aterramento.

Se o diâmetro do cabo de descida, conexões e aterramento não forem adequados, a tensão ao longo do sistema que constitui o pára-raios serão elevadas e a segurança estará comprometida. O projeto de um SPDA deve ser feito de forma bem dimensionado, pois o mal dimensionamento dos componentes de um SPDA faz com que o sistema de proteção contra descargas atmosféricas não atue de forma correta, danificando o patrimônio protegido. Por isso, é preferível não ter pára-raios a ter um mal dimensionado ou mal instalado.

A região espacial de proteção é a zona protegida pelo pára-raios, isto é, se o raio cair nessa zona, ele preferirá o caminho através do pára-raios. A sua abrangência

de proteção é formado pelo cone formado em torno do eixo vertical de um triângulo retângulo com a hipotenusa, mostrado na Figura 4.2.2.



**Figura 4.2.2 – Proteção com Haste Franklin**

O método de Franklin é recomendado para aplicações em estruturas muito elevadas e de pouca área horizontal, onde se possa utilizar pequena quantidade de captores, tornando o projeto economicamente interessante.

O ângulo de proteção ( $\alpha$ ) depende da altura ( $H_c$ ) e do grau de proteção pretendido. A Tabela 4.2.1 mostra o ângulo de proteção em função da altura da haste e do grau de proteção. O pára-raio deve oferecer uma proteção dada por um cone cujo vértice corresponde à extremidade superior do captor e cuja geratriz faz um ângulo ( $\alpha$ ) com a vertical, propiciando um raio de base do cone de valor dado pela equação, conforme a Figura 4.2.2.

$$R_p = H_c \times \tan \alpha \quad (4.2.1)$$

$R_p$  – raio da base do cone de proteção, em m;

$H_c$  – altura da extremidade do captor, em m;

$\alpha$  – ângulo de proteção vertical dado na Tabela 4.2.1. Se houver mais de um captor pode acrescentar  $10^\circ$  ao ângulo  $\alpha$ .

Tabela 4.2.1 – Ângulo de Proteção e Altura da Construção

Nível de Proteção	Altura Máxima da ponta da Haste ao solo ( $HC$ )				
	$HC \leq 20$	$20 < HC \leq 30$	$30 < HC \leq 45$	$45 < HC \leq 60$	$HC > 60$
	Ângulo de Proteção ( $\alpha$ )				
I	25°	*	*	*	**
II	35°	25°	*	*	**
III	45°	35°	25°	*	**
IV	55°	45°	35°	25°	**

\* Aplica-se somente os métodos Eletrogeométrico, ou Gaiola de Faraday.  
 \*\* Aplica-se somente o método Gaiola de Faraday.

A proteção por pára-raios tipo Franklin consiste em posicionar uma ou mais hastes de modo que a estrutura protegida fique dentro da zona espacial de proteção. Esta proteção consiste da interconexão dos elementos apresentados na Figura 4.2.3.

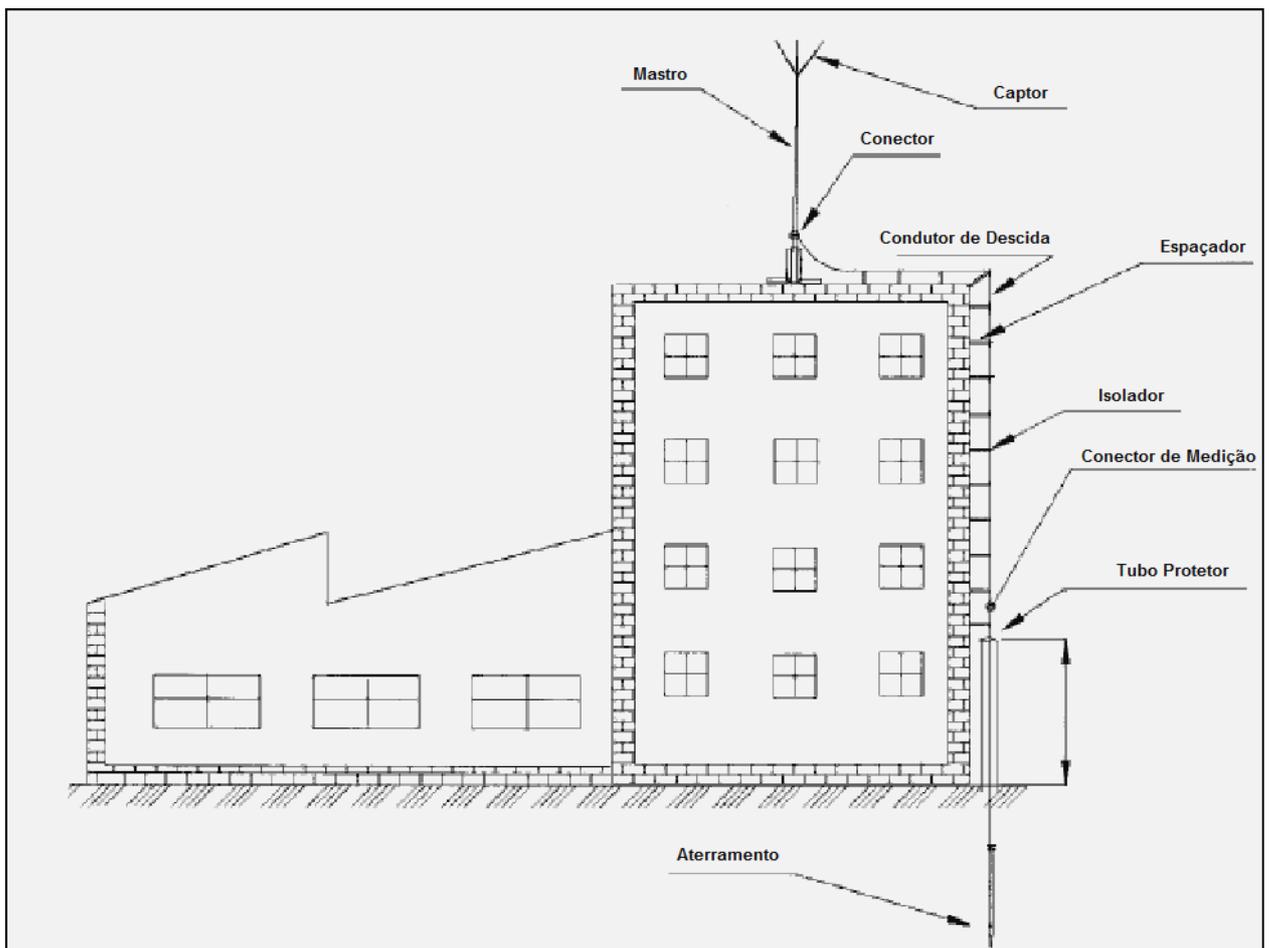


Figura 4.2.3 – Prédio Protegido pelo Pára-raio Franklin

Os principais elementos utilizados na proteção pelo Método Franklin estão listados a seguir:

- Captor – que pode ser de uma só ponta ou em forma de *bouquet*;
- Conector – para prender o cabo de descida ao captor;
- Mastro – para elevar o captor na altura desejada;
- Condutor de Descida – para interligar o captor ao sistema de aterramento;
- Espaçador – para manter o cabo de descida afastado da estrutura ou da haste de sustentação;
- Isolador – pode ser de dois tipos: modelo industrial com classe de tensão de 10 kV ou do tipo roldana usado na estrutura do espaçador;
- Conector de Medição – conexão desmontável destinada à medição da resistência de aterramento;
- Tubo Protetor – de material não condutor, para evitar atos de vandalismo e evitar tensão de toque direto com cabo de descida;
- Aterramento – para produzir conexão com a terra.

O cabo de descida tem a função de conduzir o raio desde o captor até o sistema de aterramento, e essa condução deverá ser feita de modo a não causar dano na estrutura protegida, manter os potenciais abaixo do nível de segurança e não produzir centelhas laterais com as estruturas metálicas vizinhas. O cabo de descida deve ser preferencialmente contínuo e se não for possível usar emendas metalizadas por proporcionar uma boa condutibilidade elétrica.

A distribuição dos condutores de descidas divide os efeitos térmicos e também proporciona uma redução nos campos magnéticos internos à estrutura. O número de condutores de descida deve ser função do nível de proteção desejado e do afastamento entre os condutores de descidas, ou seja:

$$N_{cd} = \frac{P_{co}}{D_{cd}} \quad (4.2.2)$$

$N_{cd}$  – número dos condutores de descida;

$P_{co}$  – perímetro da construção, em m;

$D_{cd}$  – distância entre os condutores de descidas dada na Tabela 4.2.2.

**Tabela 4.2.2 – Espaçamento Médio dos Condutores de Descidas**

Nível de Proteção	Espaçamento (m)
I	10
II	15
III	20
IV	25

As estruturas metálicas de torres, postes ou mastros, assim com as ferragens das armações internas de postes de concreto, constituem descidas naturais para o raio, dispensando a colocação de cabos de descidas. O cabo de descidas deve ser instalado no mínimo de 0,5 m das aberturas, tais como portas, janelas e varandas, e estar bem fixado na parede.

Como o raio (descarga elétrica) produz aquecimento no cabo de descida, os limites térmicos do cabo devem ser garantidos pelo dimensionamento adequado da sua bitola, a NBR 5419 utiliza a Tabela 4.2.3.

**Tabela 4.2.3 – Bitola Mínima do Cabo de Descida**

Bitola Mínima do Cabo de Descidas		
Material	Altura	Bitola
Cobre	$h \leq 20$ m	16 mm <sup>2</sup>
	$h > 20$ m	35 mm <sup>2</sup>
Alumínio	$h \leq 20$ m	25 mm <sup>2</sup>
	$h > 20$ m	70 mm <sup>2</sup>
Aço galvanizado a quente ou embutido no concreto	Qualquer altura	50 mm <sup>2</sup>

A resistência de malha de terra não deve ser superior a 10  $\Omega$  em qualquer época do ano. Quando a construção for destinada a materiais explosivos ou inflamáveis, a resistência da malha de terra não deve ser superior a 1  $\Omega$ .

### 4.3 – Método Gaiola de Faraday

O princípio básico da proteção proposta por Michael Faraday (1791 - 1867) é usar os condutores de captura em forma de anel, onde estes condutores em anel

formam malhas ou gaiolas, advindo daí o nome da Gaiola de Faraday. Para melhorar a sua eficiência, pode ser usada consorciada com proteção tipo Franklin.

Um condutor, quando carregado, tende a espalhar suas cargas uniformemente por toda a sua superfície. Se esse condutor for uma esfera oca, por exemplo, as cargas irão se espalhar pela superfície externa, pois a repulsão entre as cargas fazem com que elas se mantenham o mais longe possível umas das outras. Os efeitos de campo elétrico criados no interior do condutor acabam se anulando, obtendo assim um campo elétrico nulo.

O mesmo acontece quando o condutor não está carregado, mas está em uma região que possui um campo elétrico causado por um agente externo. Seu interior fica livre da ação desse campo externo, fica blindado. A proteção pela Gaiola de Faraday surgiu de um experimento de Michael Faraday, no qual foi utilizada uma gaiola metálica, que era eletrificada e um corpo dentro da gaiola poderia permanecer lá, isolado e sem levar nenhuma descarga elétrica. Ver Figura 4.3.1.

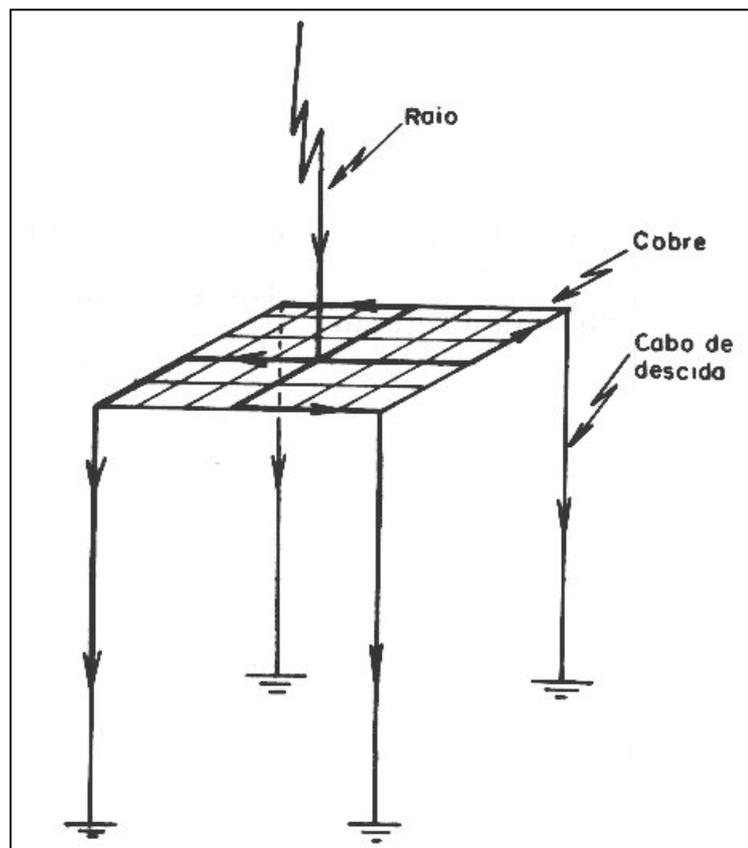


Figura 4.3.1 – Condução do Raio para o Cabo de Descida a Terra

O método de Faraday, ao contrário do método de Franklin, é indicado, na prática em edificações com altura relativamente baixa, porém com uma grande área horizontal, nas quais seria necessária uma grande quantidade de captores, tornando o projeto oneroso. A NBR 5419/01, torna obrigatório o emprego de método de Faraday em edificações com altura superior a 60 m.

As distâncias máximas dos espaçamentos dos condutores da malha, em relação ao grau de proteção pretendido, estão na Tabela 4.3.1.

**Tabela 4.3.1 – Largura do Módulo de Proteção**

<b>Quadrículas da Gaiola de Faraday</b>	
<b>Grau de Proteção</b>	<b>Largura do Módulo de Proteção</b>
<b>I</b>	<b>5 m</b>
<b>II e III</b>	<b>10 m</b>
<b>IV</b>	<b>20 m</b>

Pela tabela acima, as quadrículas da Gaiola de Faraday devem ser quadrada mas hoje aceita-se formar quadrículas retangulares, sendo menor lado dado pela Tabela 4.3.2 e o outro lado com no máximo o dobro.

**Tabela 4.3.2 – Retângulos da Gaiola de Faraday**

<b>Módulo da Malha da Gaiola de Faraday</b>	
<b>Grau de Proteção</b>	<b>Retângulo da Gaiola de Faraday (mxm)</b>
<b>I</b>	<b>5 x 10</b>
<b>II e III</b>	<b>10 x 20</b>
<b>IV</b>	<b>20 x 40</b>

As bitolas dos condutores da Gaiola de Faraday são dimensionadas usando a mesma tabela dos cabos de descidas da proteção pelo método de Franklin (Tabela 4.2.3).

Recomenda-se usar em cada extremidade do prédio um cabo de descida, e nas laterais emprega-se o mesmo critério do espaçamento do cabo de descida pelo método de Franklin (Tabela 4.2.2). Na malha superior de estruturas extensas deverão ser complementados com pequenos captores de 30 a 50 cm, distanciados 1 ou 2 m, ver Figura 4.3.2.

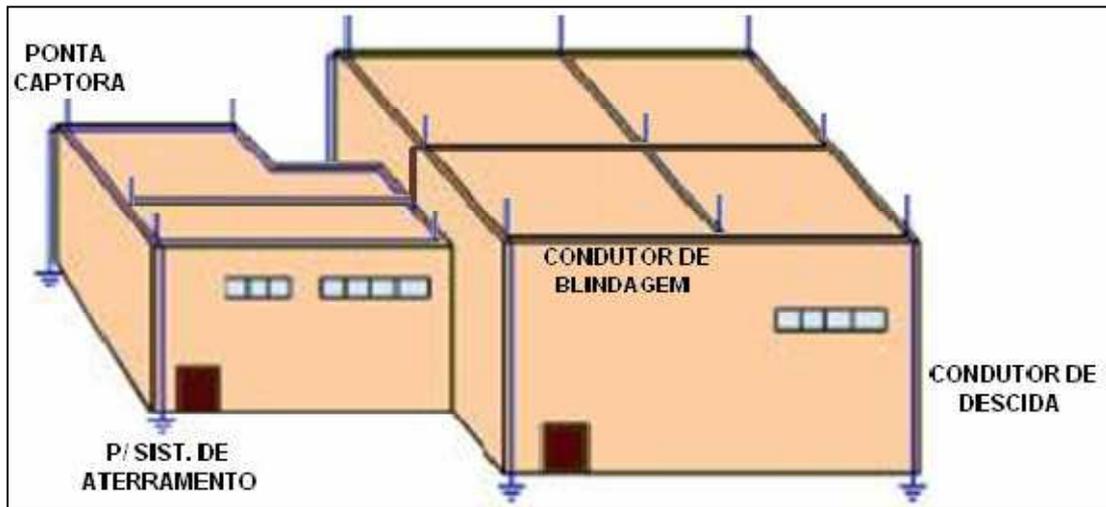


Figura 4.3.2 – Aplicação da Gaiola de Faraday

#### 4.4 – Método Eletrogeométrico

Método Eletrogeométrico também é conhecido como Método da Esfera Rolante ou Esfera Fictícia, é um método mais apurado para obtenção da zona de proteção do sistema de proteção adotado. Técnica usada na coordenação da isolação de linha de transmissão, que agora está sendo implementada e aplicada em edificações.

A teoria da esfera rolante foi iniciada concebida pelo Prof. Anton Schwaiger, da Universidade de Munique em 1923. Edwin R. Whitehead em 1966, usou esta teoria em linhas de transmissão; Ralph H. Lee em 1973, usou a teoria no cálculo da zona de proteção em edifícios.

Atualmente com estudos feitos a partir dos registros fotográficos, das medições e do valor da corrente dos raios, dos ensaios em laboratórios, verificou-se que a zona de proteção é dependente da corrente do raio.

A distância de atração (**hs**), para uma descarga atmosférica com uma determinada corrente de crista, é definida como maior distância em que os raios serão atraídos pelo captor ou pela terra, como mostrado na Figura 4.4.1. Para o cálculo da distância de atração (**hs**), que é o raio da esfera rolante ou fictícia, recomenda-se usar a expressão 4.4.1.

$$hs = 10 \times I^{0,65} \quad (4.4.1)$$

**hs** – distância de atração e raio da esfera rolante, em m;

**I** – corrente de crista do raio, em kA.

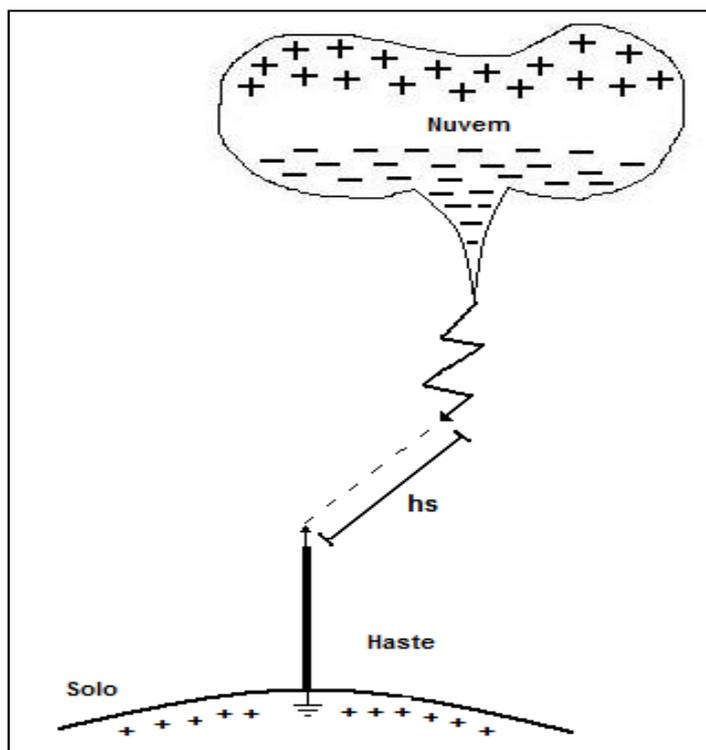


Figura 4.4.1 – Distância de Atração ( $h_s$ )

O raio da esfera ( $R_e$ ) é obtido com a distância de atração ( $h_s$ ), estes valores de raios das esferas rolantes são limitados em função do nível de proteção desejado, expresso na Tabela 4.4.1, e da corrente de descarga atmosférica ( $I$ ) em seu valor de crista.

Tabela 4.4.1 – Raio da Esfera Rolante ( $R_e$ )

Nível de Proteção	Comprimento do Raio ( $R_e = h_s$ )	Corrente de Descarga
I	20 m	3,7 kA
II	30 m	6,1 kA
III	45 m	10,6 kA
IV	60 m	16,5 kA

A zona protegida é a região em que a esfera rolante não consegue tocar, ao rolar a esfera fictícia sobre o sistema de proteção se delimita a região em que ela não toque, formando assim a zona protegida, conforme é mostrado na Figura 4.4.2.

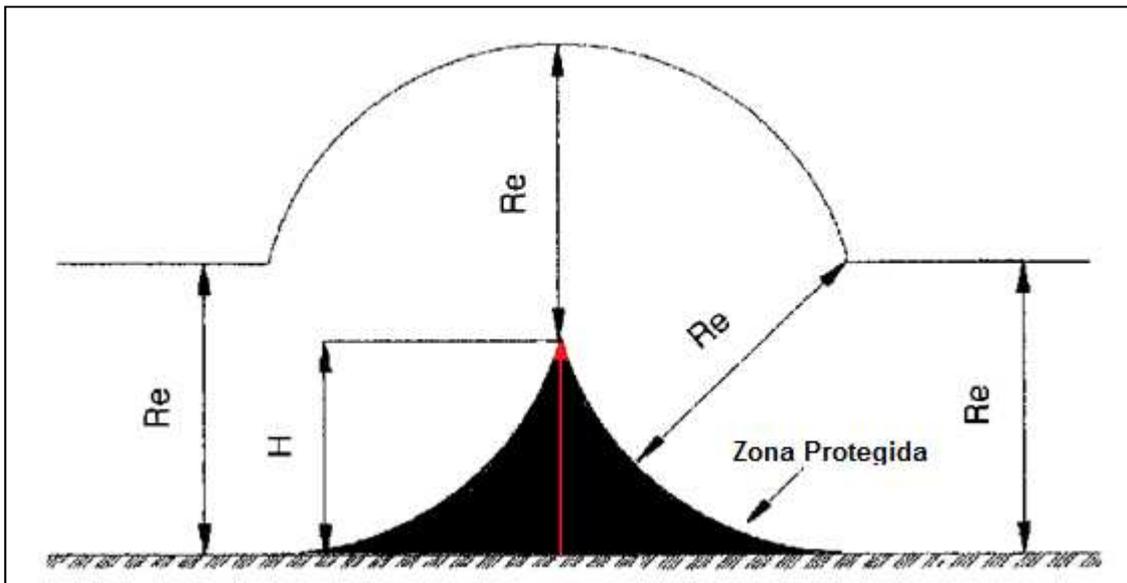


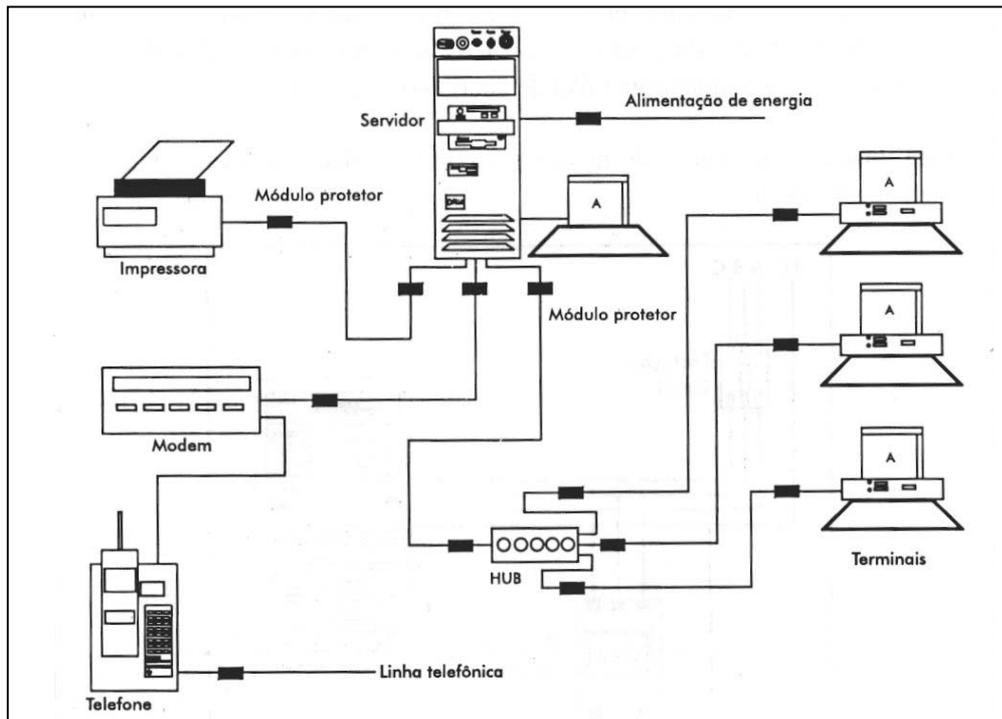
Figura 4.4.2 – Esfera Rolante sendo rolada e Zona de Proteção sendo formada

#### 4.5 – Sistema de Proteção Específico

Um sistema de proteção contra relâmpagos pode também incluir componentes para prevenir danos causados por efeitos indiretos dos relâmpagos, tais como supressores de surtos. A atividade de relâmpagos próximos a um local, incluindo relâmpagos dentro das nuvens e entre nuvens, pode causar surtos de tensão, conhecidos como sobretensões ou transientes, que podem afetar linhas de tensão, cabos telefônicos ou de dados, e instrumentação em geral.

Os surtos de tensão são aumentos momentâneos na tensão normal de um sistema, causados pelos efeitos eletromagnéticos associados aos relâmpagos. Os supressores de surtos podem ser adicionados a um sistema de proteção contra relâmpagos para proteger os equipamentos eletrônicos contra sobretensões[2].

Existem diversos tipos de supressores, entre eles centelhadores a ar, centelhadores a gás, varistores e diodos zener. Em várias aplicações é necessário o uso combinado de mais de um tipo de supressor, formando um circuito de proteção, a figura abaixo mostra um tipo de aplicação dos supressores de surtos.



**Figura 4.5.1 – Aplicação dos Supressores de Surto**

São encontrados módulos supressores de surto para circuitos monofásicos, bifásicos e trifásicos. Devem ser observadas as seguintes recomendações:

- Os módulos protetores devem ser instalados nas proximidades dos equipamentos eletrônicos, em paralelo com seu circuito de alimentação, sempre após o disjuntor de proteção de sobrecorrente.
- Se houver falha do módulo protetor, ou quando este atingir seu tempo de vida útil pode ocorrer um curto-circuito monopolar a terra cujo sistema deverá ser interrompido pela ação do disjuntor de proteção de sobrecorrente. A vida útil dos módulos protetores depende do fabricante, do tipo e intensidade dos surtos que o atingem.
- Selecionar os módulos protetores em função do valor máximo da energia transitória dissipada com onda 8x20  $\mu$ s, ou ainda, em função do nível de proteção desejada, selecionar um protetor que suporte um elevado valor de corrente para uma onda 8x20  $\mu$ s quando for desejada uma proteção duradoura e mais eficaz.

A Figura 4.5.2 mostra um Protetor contra Surto da CLAMPER.



Figura 4.5.2 – Protetor contra Surto da CLAMPER

Suas principais características são as seguintes:

- Grande capacidade energética. Suporta correntes de surto de até 40.000 A em elevados valores de sobretensão transitória;
- Tempo de atuação da ordem de nanossegundos (bilionésimos de segundo), compatível com os mais modernos equipamentos eletrônicos;
- De fácil instalação no quadro de distribuição de energia (junto aos disjuntores) nas residências, escritórios e indústrias, oferecendo proteção para os aparelhos conectados aos circuitos oriundos daquele quadro;
- Possui dispositivo de proteção interna contra eventuais acidentes na rede elétrica, atuando tanto por sobrecorrentes quanto por sobretemperatura;
- Indicador de operação através de sinalização luminosa local bicolor;
- Pode atuar centenas ou milhares de vezes sem necessidade de ser substituído ou religado.

As sobretensões transitórias e instantâneas de elevada amplitude são conduzidas através da rede de alimentação para as instalações elétricas industriais e domésticas. A supressão destas sobretensões evita a sua propagação na rede elétrica interna e conseqüentemente evita os eventuais danos que podem ser causados aos

equipamentos eletro-eletrônicos conectados a ela. Conforme prevê a NBR 5410/04 esta supressão deve ser proporcionada por dispositivos apropriados de proteção contra sobretensões.

O supressor de surto pode ser utilizado em circuitos monofásicos, bifásicos e trifásicos, conforme diagrama esquemático abaixo:

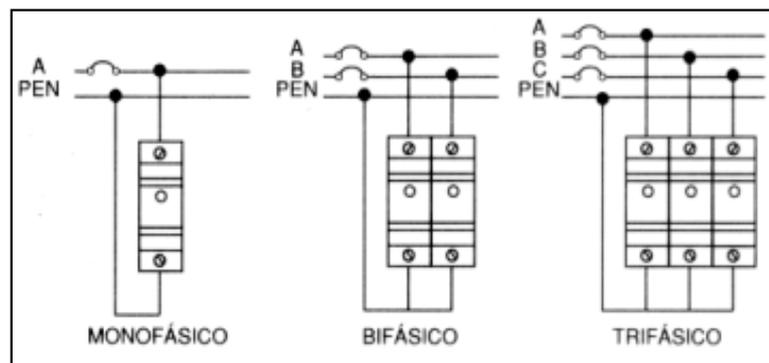


Figura 4.5.3 – Supressores de Surto sendo utilizados em Circuitos de Energia

# CAPÍTULO 5

## ANÁLISE DE EDIFICAÇÕES – ESTUDO DE CASO

### 5.1 – Método de Seleção do Nível de Proteção

Foram avaliados os Sistemas de Proteção contra Descargas Atmosféricas, na empresa Acumuladores Moura S.A., na unidade 01, localizada na cidade de Belo Jardim – PE, de acordo com a norma NBR 5419 de 2005 e a norma do Corpo de Bombeiros de Pernambuco, fixando as condições exigíveis ao projeto, bem como de pessoas e instalações no seu aspecto físico dentro dos volumes protegidos.

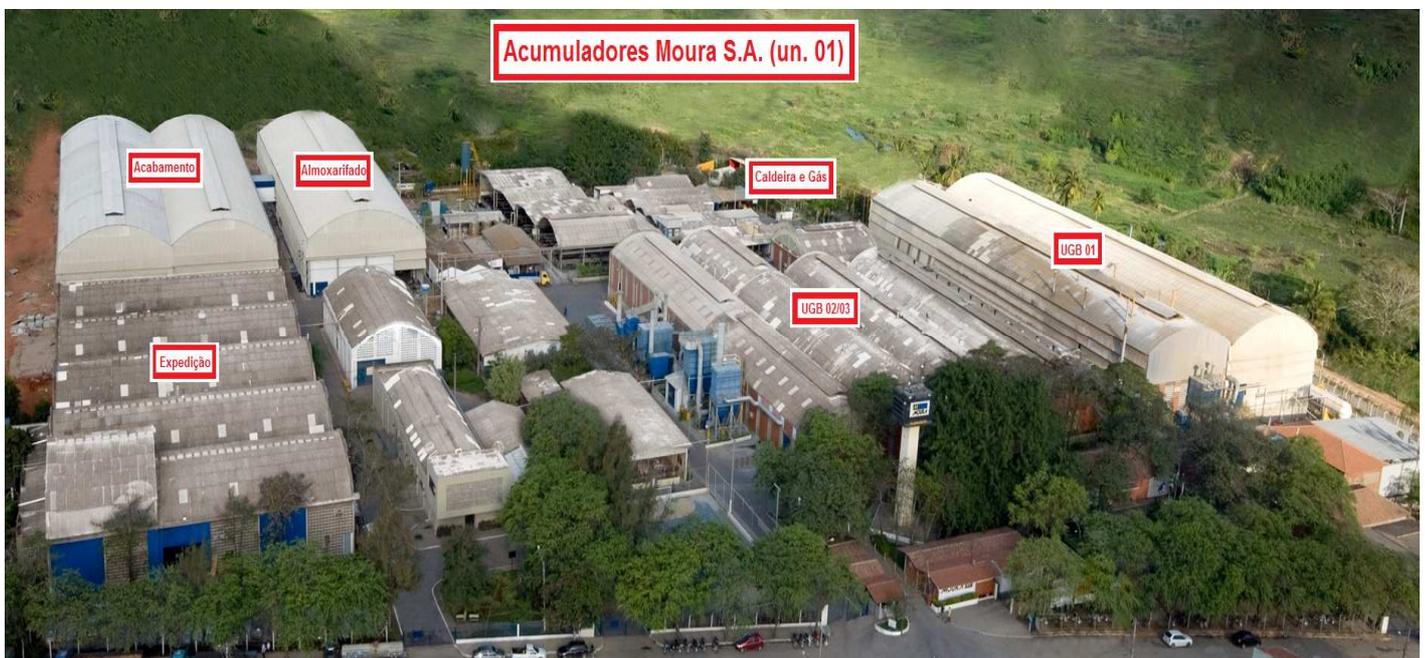


Figura 5.1.1 – Acumuladores Moura S.A., Unidade 01.

- **Densidade de Descargas** – Tem-se para Belo Jardim, de acordo com mapa isocerânico na Figura 6.1.2, adotou-se o índice cerânico igual a 30, utilizando a equação 3.4.1, temos:

$$N_{da} = 0,04 \times N_t^{1,25}$$

$$N_t = 30$$

$$N_{da} = 0,04 \times 30^{1,25}$$

$$N_{da} = \mathbf{2,81 \text{ raios por ano}}$$

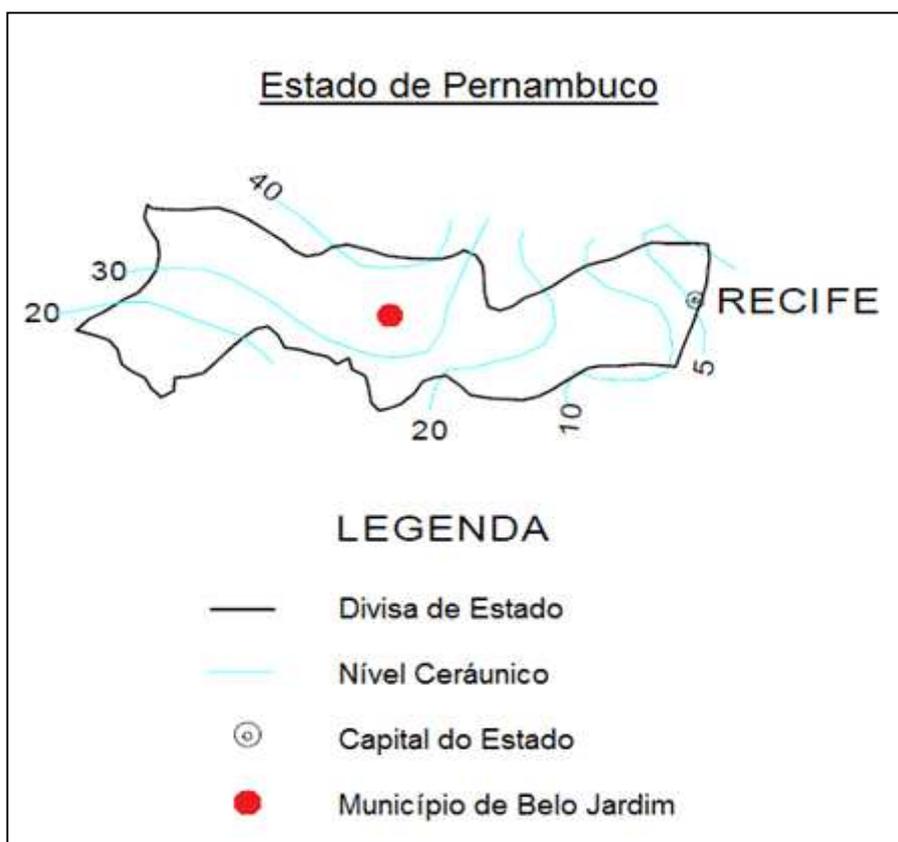


Figura 5.1.2 – Curvas Isocerânicas de Pernambuco

- **Área de Captação do Raio em uma Estrutura** – As estruturas as quais foram protegidas são: *galpão UGB 01*, *galpão UGB 02/03*, *galpão almoxarifado*, *caldeiras e gás*, *galpão acabamento*, *galpão formação* e *galpão expedição*. Para cada estrutura foi necessário calcular a área de captação do raio, onde foi utilizada a equação 3.5.1.

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

Galpão UGB 01: ( $H = 20$ ;  $W = 44$ ;  $L = 90$ )

$$A_e = 10576 \text{ m}^2$$

Galpão UGB 02/03: ( $H_1 = 10$ ;  $W_1 = 44$ ;  $L_1 = 84$ ) e ( $H_2 = 10$ ;  $W_2 = 20$ ;  $L_2 = 90$ )

$$A_{e1} = 6570 \text{ m}^2 \text{ e } A_{e2} = 4314 \text{ m}^2$$

Galpão Almoxarifado: ( $H = 14$ ;  $W = 24$ ;  $L = 80$ )

$$A_e = 5447,4 \text{ m}^2$$

Caldeira e Gás: ( $H = 4$ ;  $W = 5$ ;  $L = 10$ )

$$A_e = 220,2 \text{ m}^2$$

Galpão Acabamento: ( $H = 14$ ;  $W = 40$ ;  $L = 80$ )

$$A_e = 7175,4 \text{ m}^2$$

Galpão Expedição: ( $H_1 = 12$ ;  $W_1 = 16$ ;  $L_1 = 40$ ) e ( $H_2 = 9$ ;  $W_2 = 40$ ;  $L_2 = 64$ )

$$A_{e1} = 2436,2 \text{ m}^2 \text{ e } A_{e2} = 4686,3 \text{ m}^2$$

Com esses valores da área de captação de raios de cada estrutura e com o valor da densidade de descargas, é possível encontrar a frequência média anual previsível de descargas atmosféricas sobre cada estrutura, utilizando a equação 3.5.2, temos:

$$N_{pr} = N_{da} \times A_e \times 10^6$$

Galpão UGB 01:  $N_{pr} = 29,71 \times 10^{-3}$  por ano

Galpão UGB 02/03:  $N_{pr1} = 18,46 \times 10^{-3}$  por ano e  $N_{pr2} = 12,12 \times 10^{-3}$  por ano

Galpão Almojarifado:  $N_{pr} = 15,31 \times 10^{-3}$  por ano

Caldeira e Gás:  $N_{pr} = 0,62 \times 10^{-3}$  por ano

Galpão Acabamento:  $N_{pr} = 20,16 \times 10^{-3}$  por ano

Galpão Expedição:  $N_{pr1} = 6,84 \times 10^{-3}$  por ano e  $N_{pr2} = 13,16 \times 10^{-3}$  por ano

- **Avaliação Geral do Risco** – Com o valor da frequência média anual previsível de descargas atmosféricas de cada estrutura e os fatores de ponderação exibidos na Tabela 3.6.1, consegue-se chegar ao valor da probabilidade ponderada (frequência média anual) que permitirá uma decisão sobre a importância técnica de instalar ou não o SPDA, utilizando a equação 3.6.1:

$$P_0 = A \times B \times C \times D \times E \times N_{pr}$$

Galpão UGB 01: (A=1; B=1,7; C=0,8; D=0,4; E=0,3)

$$P_0 = 4,84 \times 10^{-3}$$

Galpão UGB 02/03: (A<sub>1</sub>=1; B<sub>1</sub>=1,7; C<sub>1</sub>=0,8; D<sub>1</sub>=0,4; E<sub>1</sub>=0,3) e (A<sub>1</sub>=1; B<sub>1</sub>=1,7; C<sub>1</sub>=0,8; D<sub>1</sub>=0,4; E<sub>1</sub>=0,3)

$$P_{01} = 3,01 \times 10^{-3} \text{ e } P_{02} = 1,98 \times 10^{-3}$$

Galpão Almojarifado: (A=1; B=1,7; C=0,8; D=0,4; E=0,3)

$$P_0 = 2,49 \times 10^{-3}$$

Caldeira e Gás: (A=1; B=1,7; C=0,8; D=0,4; E=0,3)

$$P_0 = 0,1 \times 10^{-3}$$

Galpão Acabamento: (A=1; B=1,7; C=0,8; D=0,4; E=0,3)

$$P_0 = 3,29 \times 10^{-3}$$

Galpão Expedição: (A<sub>1</sub>=1; B<sub>1</sub>=1,7; C<sub>1</sub>=0,8; D<sub>1</sub>=0,4; E<sub>1</sub>=0,3) e (A<sub>1</sub>=1; B<sub>1</sub>=1,7; C<sub>1</sub>=0,8; D<sub>1</sub>=0,4; E<sub>1</sub>=0,3)

$$P_{01} = 1,12 \times 10^{-3} \text{ e } P_{02} = 2,15 \times 10^{-3}$$

Com os valores da probabilidade ponderada de cada uma das estruturas verificamos que o SPDA se faz obrigatório em todas as estruturas, pois  $P_0 > 1 \times 10^{-3}$ .

- **Classificação das Estruturas quanto ao Nível de Proteção** – Para as estruturas que irão ser protegidas será necessário selecionar o nível de proteção contra descargas atmosféricas de acordo com as características de cada uma. Com a Tabela 3.3.1, selecionam-se os níveis de proteção como é mostrado a seguir:

**Tabela 5.1.1 – Classificação das Estruturas quanto ao Nível de Proteção**

<b>Estrutura</b>	<b>Nível de Proteção</b>
<i>Galpão UGB 01</i>	<i>III</i>
<i>Galpão UGB 02/03</i>	<i>III</i>
<i>Galpão Almojarifado</i>	<i>III</i>
<i>Caldeira e Gás</i>	<i>I</i>
<i>Galpão Acabamento</i>	<i>III</i>
<i>Galpão Expedição</i>	<i>III</i>

## **5.2 – Modelo Implementado**

Definido o nível de proteção para cada estrutura, define-se o método a ser utilizado para proteção contra descargas atmosféricas. Foram utilizados dois métodos: Captor Franklin e a Gaiola de Faraday. Ver Tabela 5.2.1.

**Tabela 5.2.1 – Estruturas, Métodos de Proteção e Nível de Proteção**

<b>Estrutura</b>	<b>Métodos de Proteção</b>	<b>Nível de Proteção</b>
<i>Galpão UGB 01</i>	<i>Gaiola de Faraday e Captor Franklin</i>	<i>III</i>
<i>Galpão UGB 02/03</i>	<i>Gaiola de Faraday</i>	<i>III</i>
<i>Galpão Almojarifado</i>	<i>Gaiola de Faraday e Captor Franklin</i>	<i>III</i>
<i>Caldeira e Gás</i>	<i>Gaiola de Faraday</i>	<i>I</i>
<i>Galpão Acabamento</i>	<i>Gaiola de Faraday e Captor Franklin</i>	<i>III</i>
<i>Galpão Expedição</i>	<i>Gaiola de Faraday e Captor Franklin</i>	<i>III</i>

Os galpões os quais estão com dois métodos associados, são galpões de estruturas de aço e a própria estrutura funciona como Gaiola de Faraday, apenas foram instalados Captosres Franklin. Em anexo encontram-se as plantas das estruturas protegidas.

Os componentes do SPDA estão descritos a seguir:

- *Captação* – Os elementos metálicos de sustentação da cobertura dos galpões atuarão no sistema de captação. No topo das estruturas as quais foram utilizados apenas o método Gaiola de Faraday, instalou-se cabos de cobre nú de bitola de 16 mm<sup>2</sup> na forma de anel ao longo de todo o perímetro, será necessária para complementar a proteção a instalação de

captores do tipo terminal aéreo. Nas demais se instalou Captores Franklin com base em latão, pontas e parafusos de inox, e mastros de 5 m x 2”.

- *Condutores de Descidas* – Nas estruturas onde foram utilizados apenas o método Gaiola de Faraday, os condutores de descidas de cabos de cobre nu de 16 mm<sup>2</sup> e de acordo com a Tabela 4.2.2 utilizando esses valores para critério no espaçamento máximo entre os condutores de descidas. Para as demais estruturas utilizaram-se as estruturas de aço como descidas. Cada condutor de descida deverá possuir uma conexão para medição, instalada próxima do ponto de ligação ao eletrodo de aterramento e devem ser protegidos por eletrodos de PVC 1” de 3 m.
- *Condutores de Aterramento* – Os eletrodos de aterramento serão haste de aço cobreado de 5/8” x 2,40 m, e devem ser instalados a 1 m de distância das fundações da estrutura. Deverão ter caixa de inspeção tipo solo em PVC com tampa de ferro fundido reforçada.

## Considerações Finais

Sabendo a tamanha importância da proteção de edificações contra descargas atmosféricas, conclui-se que o SPDA é um elemento fundamental na segurança da edificação, pois através da mesma uma descarga é captada e conduzida a terra com segurança. É indispensável sua correta implementação e que após a instalação haja uma manutenção periódica a fim de se garantir a confiabilidade do sistema.

O que foi visto no Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas da empresa Acumuladores Moura S.A., na unidade 01, é que será necessária ser feita algumas modificações para a melhoria da proteção contra descargas atmosféricas:

- Conexão do cabo de descida com o sistema de aterramento mal feito, com algumas conexões soltas ou oxidadas, produzindo assim um ponto de alta resistência elétrica. Estes pontos limitam a passagem da corrente elétrica para a terra, produzindo aquecimentos, centelhamento e descargas laterais, ver em Anexos Figuras A6, A7 e A8;
- Caixas de inspeção tipo solo em PVC sem tampa, onde o sistema de aterramento está em contato com água e sais minerais próprios do solo, causando assim oxidação e corrosão, ver em Anexos Figuras A7 e A8;
- Cabos de descidas instalados muito próximos de portas (Anexos Figura A9), onde há um grande fluxo de pessoas;
- As estruturas protegidas do Galpão UBG 02/03, e Caldeiras e Gás, para complementar sua proteção deverá ter instalado junto com a Gaiola de Faraday pequenos captadores de 30 a 50 cm, de distância de 1 ou 2 m;
- Sugere-se a instalação de dispositivos de proteção contra surtos (DPS de 15 kA), nos quadros elétricos gerais de cada edificação, como forma de aumentar a proteção das instalações e dos equipamentos elétricos contra os efeitos das descargas atmosféricas;
- Os eletrodos de aterramentos estão instalados externos ao volume de proteção, onde estão muito próximo das fundações das estruturas, será necessário instalar esses eletrodos no mínimo 1 m afastado das fundações, ver em Anexos Figura A10;

- Tubulações de gás estão muito próximos aos cabos de descidas na estrutura Caldeira e Gás (Anexos Figura A11), deverá ser feito um novo estudo para que estas tubulações estejam no mínimo 2 m de distância dos cabos de descidas;
- Será necessária a retirada de componentes antigos de um sistema de proteção contra descargas atmosféricas que ainda existe na empresa, como exemplo um mastro antigo sem captor (Anexos Figura A12);
- Interligação dos eletrodos de aterramento da estrutura Caldeira e Gás, para que haja equalização na malha de aterramento e melhorar a sua eficiência.
- Necessidade de ter haver uma regularidade nas inspeções com intuito de: verificar se o SPDA está conforme o projeto, se todos os componentes do SPDA estão em bom estado, verificar o valor da resistência de aterramento está compatível com o arranjo e com as dimensões do subsistema de aterramento, e se todas as construções acrescentadas posterior à instalação original estão integradas ao volume a proteger.

Importante ressaltar que esses pontos negativos que foram observados neste trabalho de conclusão de curso existem em anexo fotos que ajuda na avaliação e comprovação de todo o estudo feito nas edificações da Acumuladores Moura S.A.

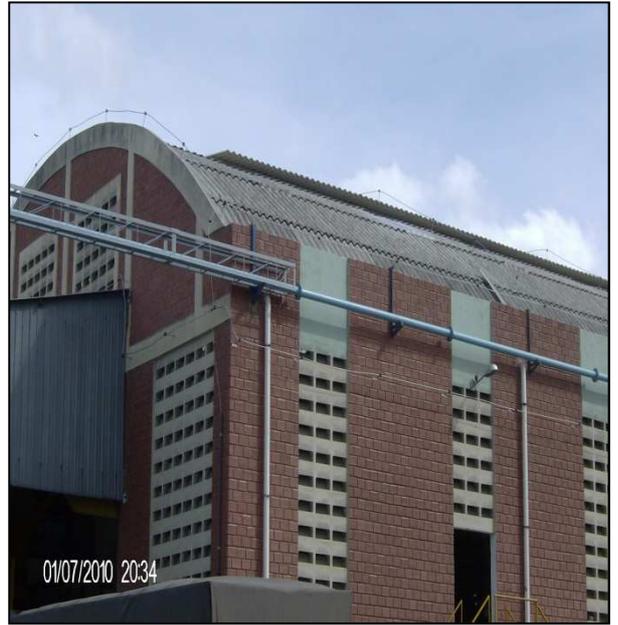
## Referências Bibliográficas

- [1] ABNT: NBR 5419 (2001): Proteção de Estruturas Contra Descargas Atmosféricas.
- [2] ABNT: NBR 5410 (1997): Instalações Elétricas de Baixa Tensão.
- [3] KINDERMANN, Geraldo. Proteção contra Descargas Atmosféricas em Estruturas Edificadas. 4ª edição do Autor. Florianópolis, 2009.
- [4] FILHO, João Mamede. Manual de Equipamentos Elétricos. 3ª Edição. LTC Editora. Rio de Janeiro, 2005.
- [5] CREDER, H. Instalações Elétricas. 15ª Edição. LTC Editora. Rio de Janeiro, 2007.

## Anexos



**Figura A1 – Utilização da Parte Metálica do Galpão da UBG 01 como descida**



**Figura A3 – Gaiola de Faraday aplicado ao Galpão da UGB 02/03**



**Figura A2 – Haste Franklin no Galpão de Acabamento**



**Figura A4 – Utilização das Ferragens das Armações internas do Galpão do Almoarifado como Descidas**



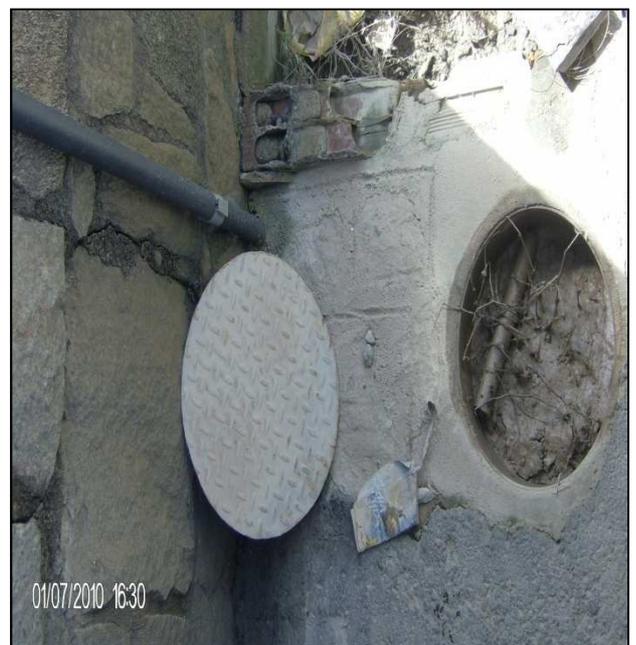
**Figura A5 – Conexão do Cabo de Descida da Haste Franklin com a Ferragem da Armação do Galpão**



**Figura A7 – Caixa de Inspeção tipo solo em PVC sem Tampa**



**Figura A6 – Cabo de descida não Conectado com a haste de Aterramento**



**Figura A8 – Caixa de Inspeção tipo Solo Destampada**



**Figura A9 – Cabos de Descidas Instalados Próximo a Portas**



**Figura A11 – Tubulações de Gás próximas aos Cabos de Descidas**



**Figura A10 – Eletrodo de Aterramento Próximo as fundações da Estrutura**



**Figura A12 – Componentes de SPDA Antigo – Mastro sem Captor**

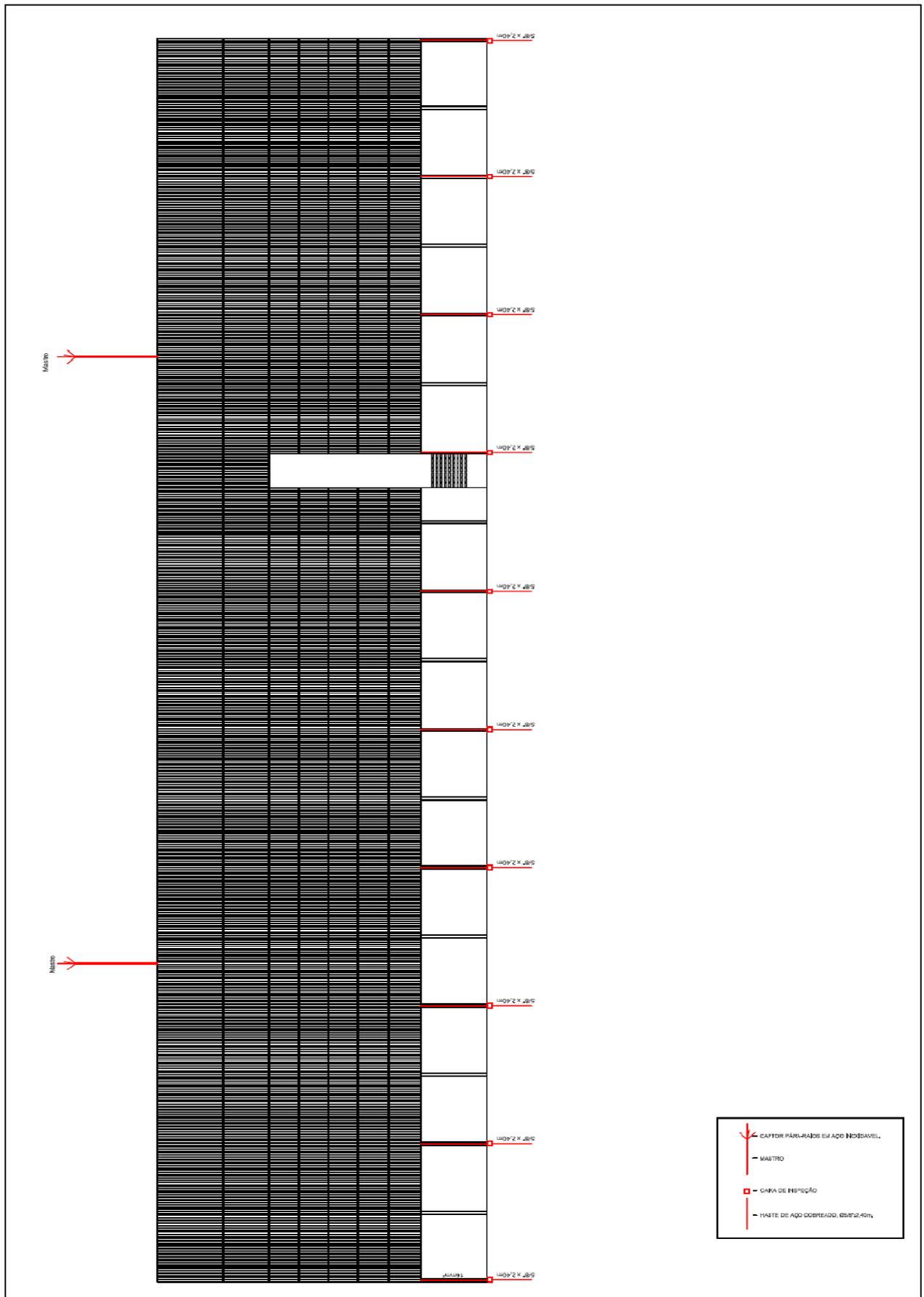


Figura A13 – Galpão UGB 01 (vista lateral)

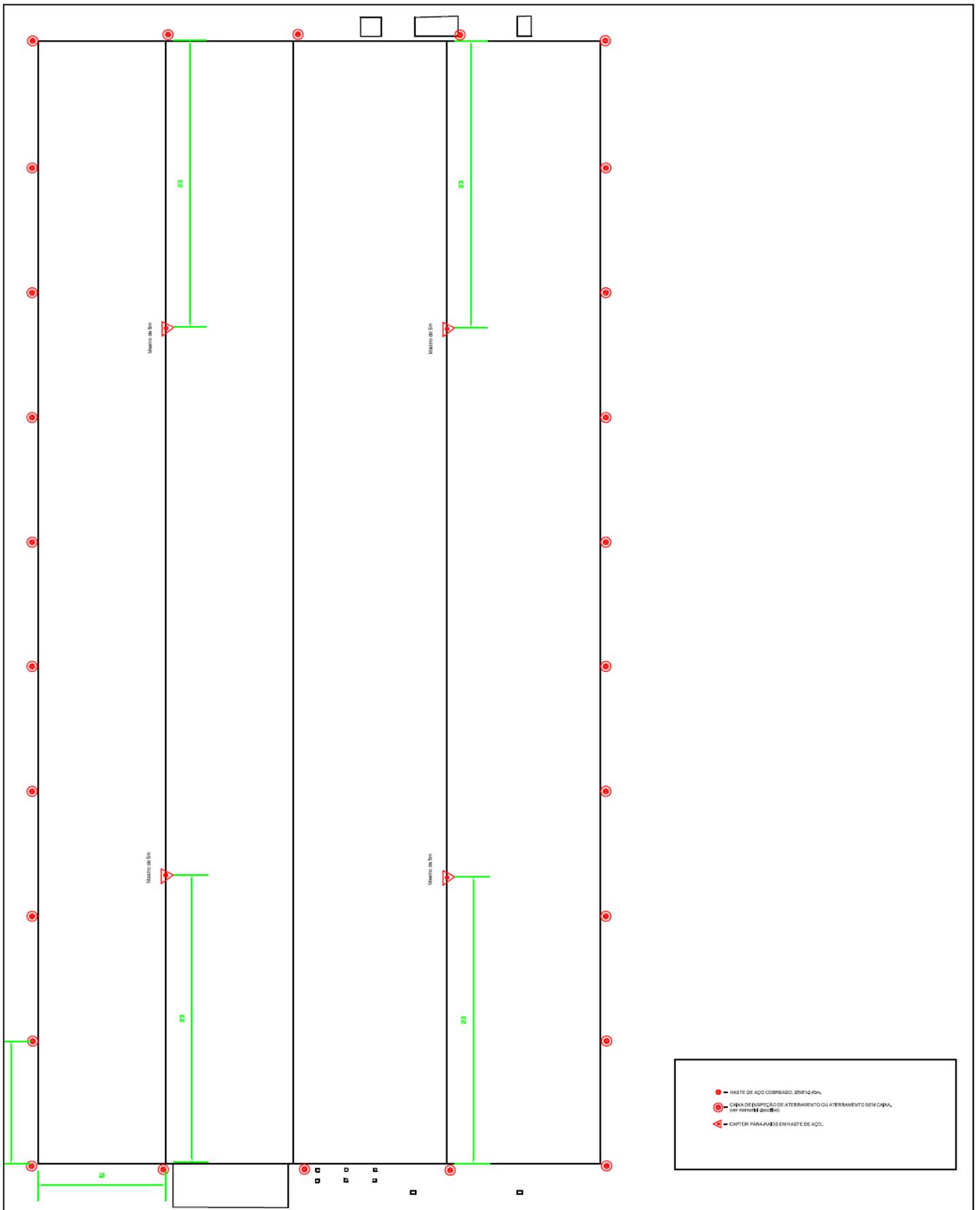


Figura A14 - Galpão UGB 01 (vista superior)



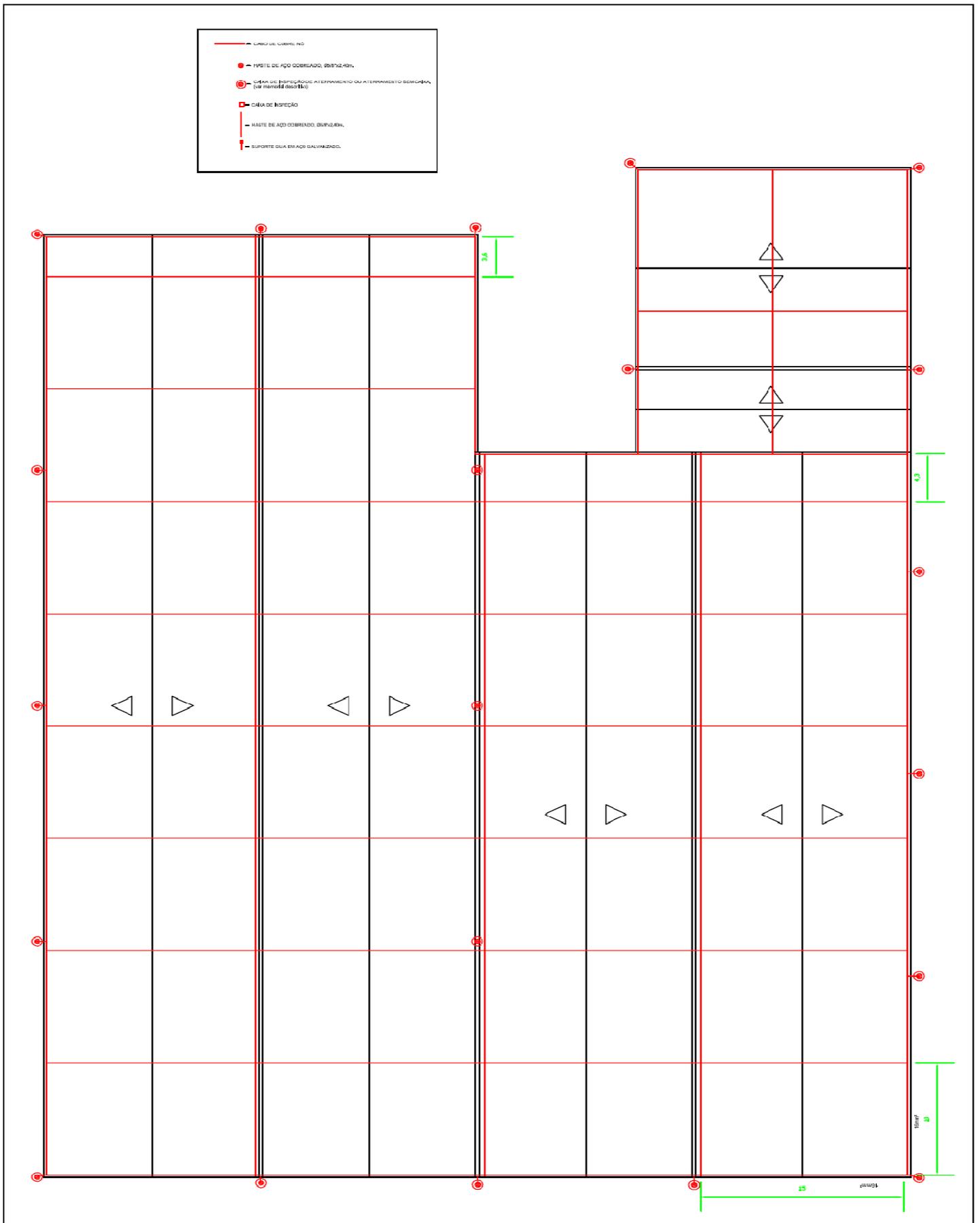


Figura A16 – Galpão UGB 02/03 (vista superior)

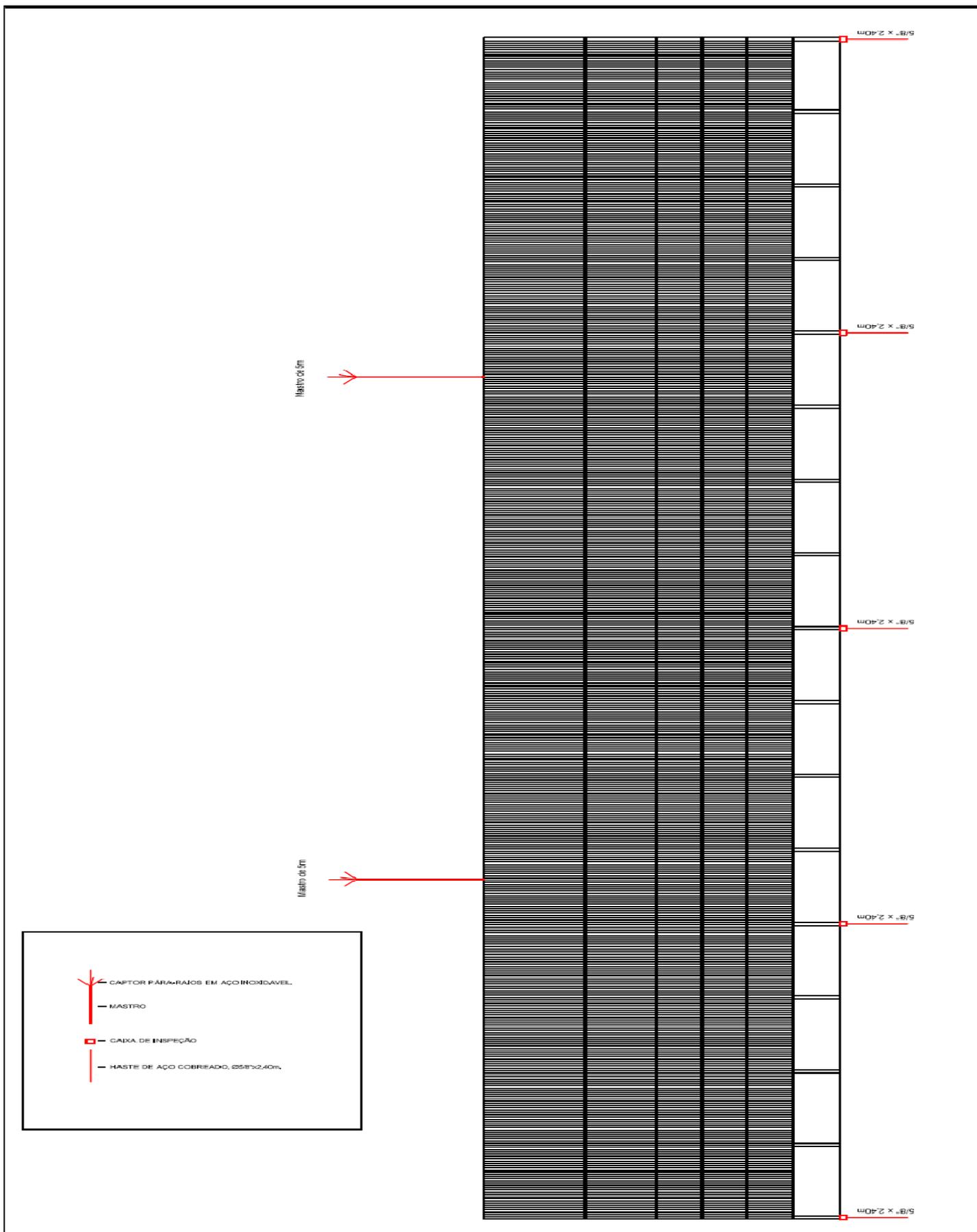


Figura A17 – Galpão do Acabamento (vista lateral)

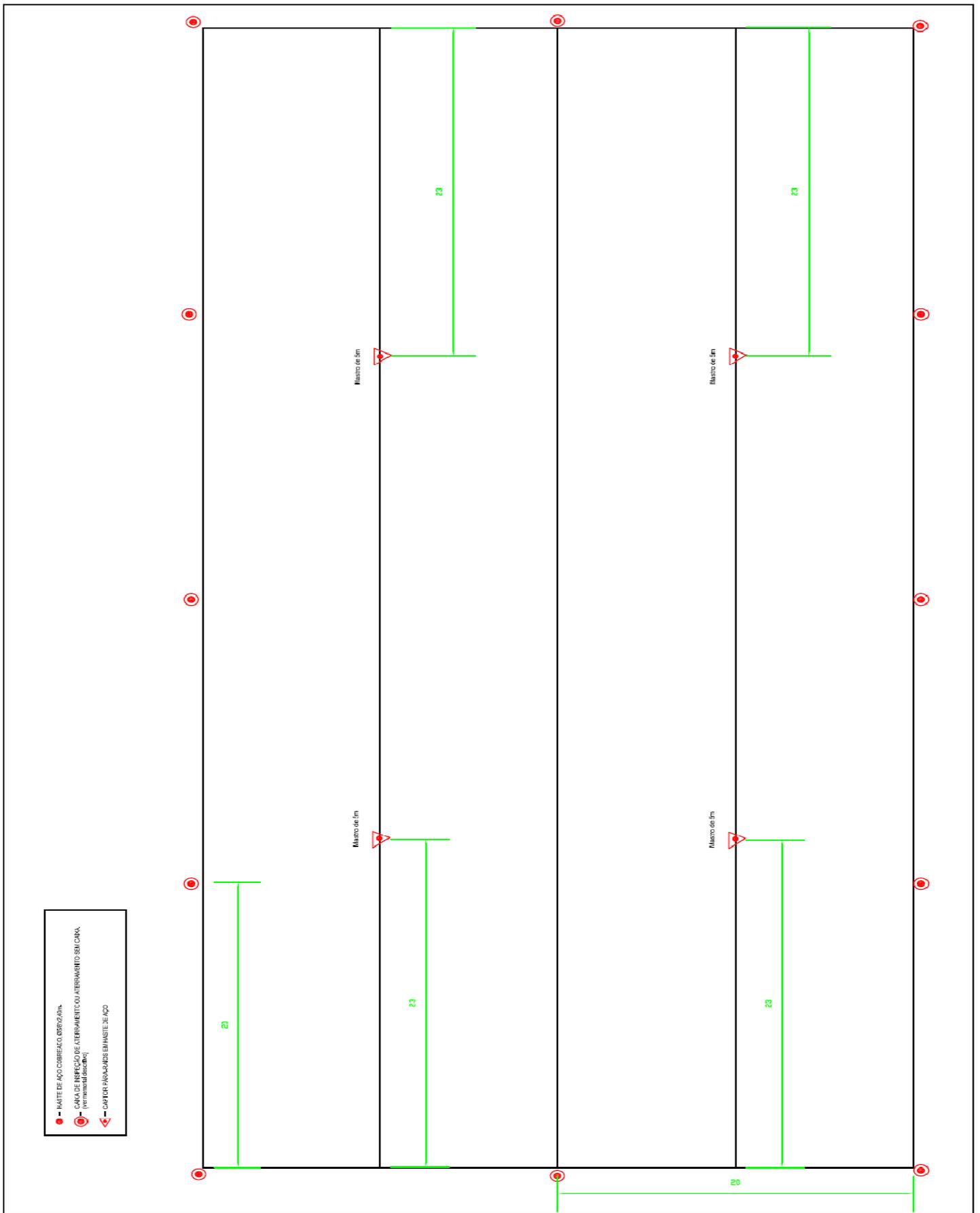


Figura A18 – Galpão do Acabamento (vista superior)

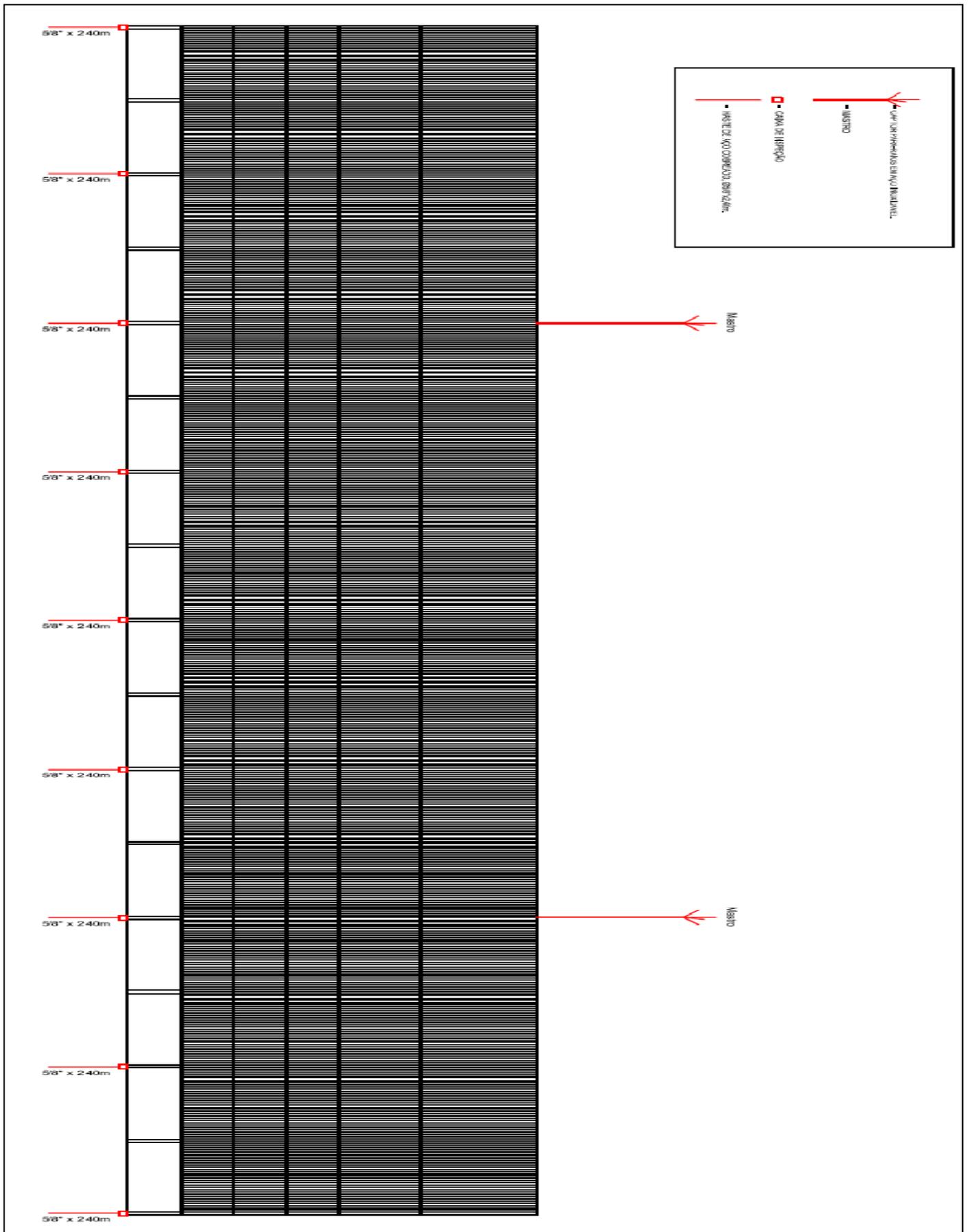


Figura A19 – Galpão do Almoarifado (vista lateral)

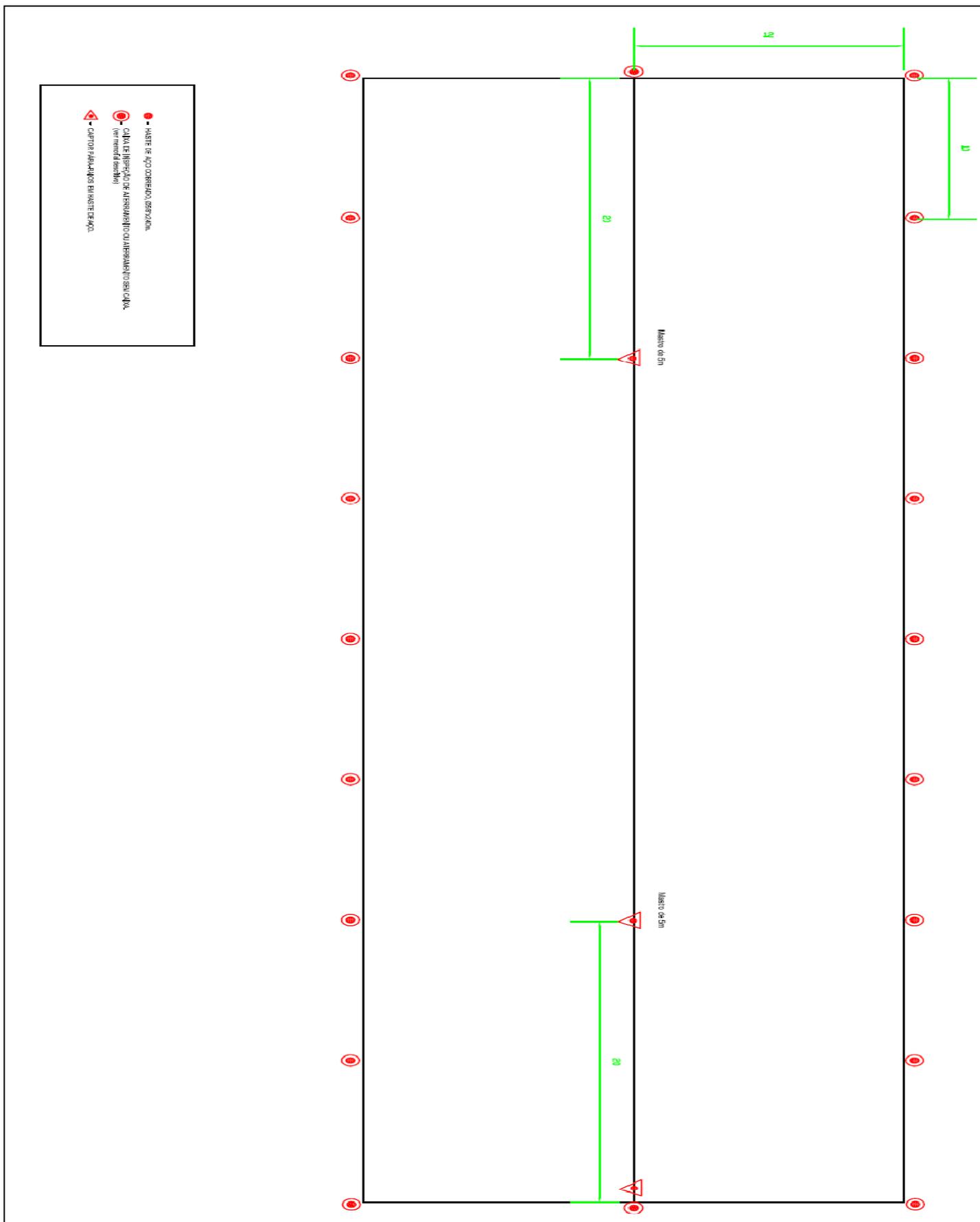


Figura A20 – Galpão Almoarifado (vista superior)



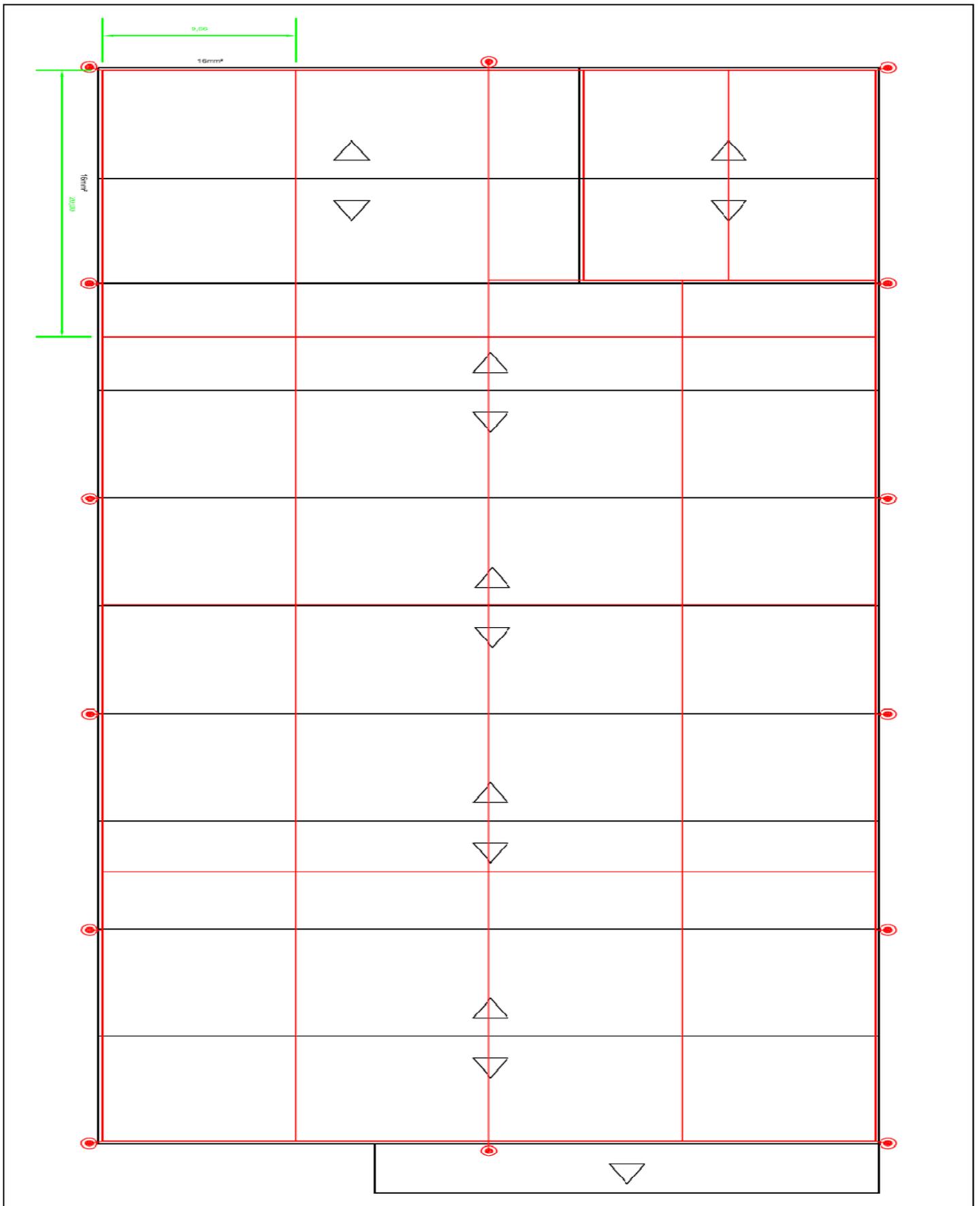


Figura A22 – Galpão da Expedição (vista superior)

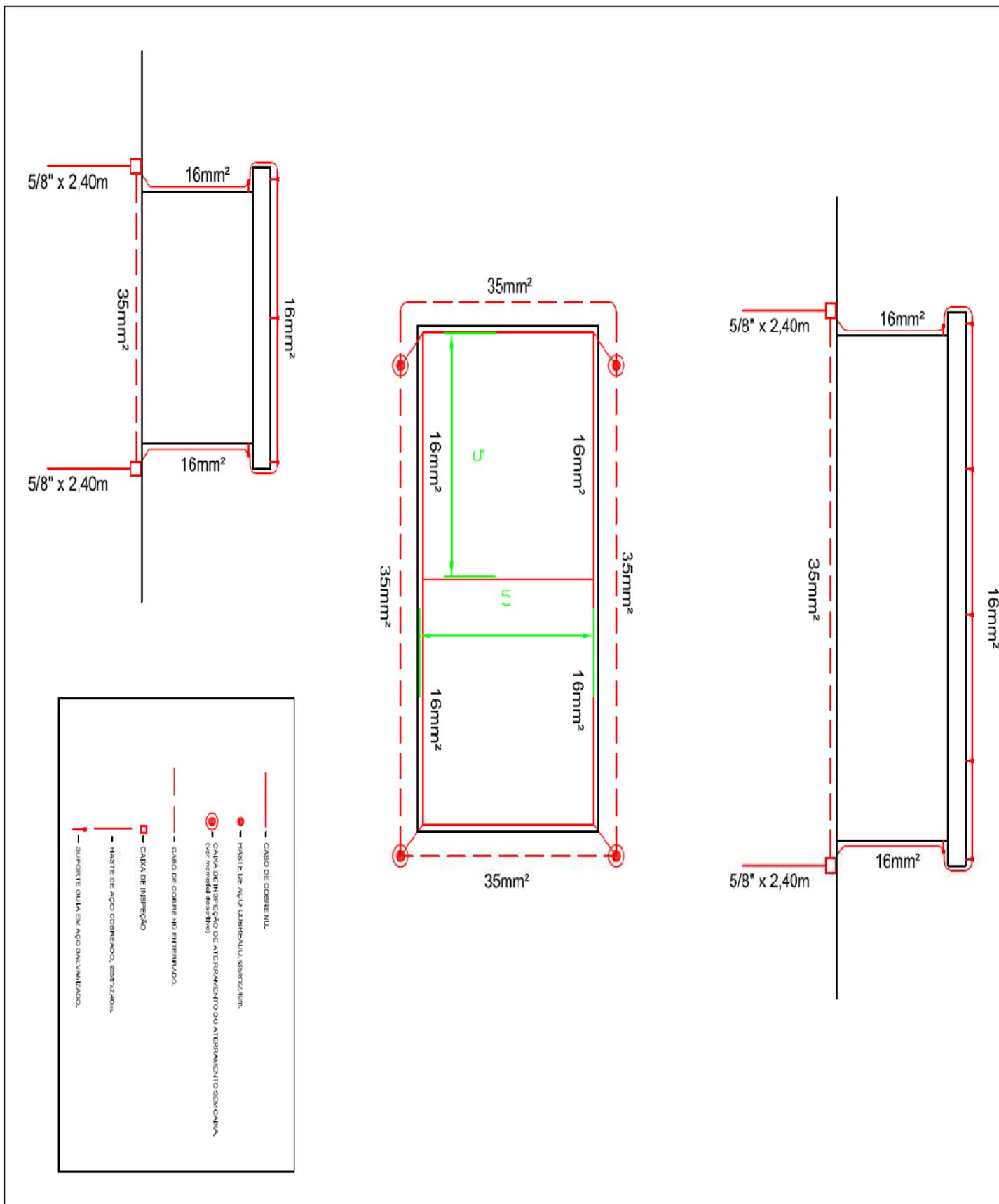


Figura A23 – Caldeira e Gás (vista lateral e superior)