

**VOLTS**Automação e Manutenção Elétrica  
WWW.VOLTSAUTOMACAO.COM.BR

• Geração de Energia • Industrial

# GINÁSIO APAE – MEMORIAL DE DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

REVISÃO	DESCRIÇÃO	PROJETISTA	DATA
R0	EMISSÃO INICIAL	ALESSANDRA	08/11/17

Projeto: GINÁSIO APAE RENASCENÇA

Nº do Projeto: US-GRL-SPDA-001-R0

Título: Memorial de Dimensionamento do SPDA

Cliente: APAE RENASCENÇA

Local: Renascença/PR

Projetista/Desenhista:	Data:	Verificado: Jhoni	Aprovado: SIM
Alessandra Iurchevicz	08/11/17	Data: 08/11/2017	Data: 08/11/2017
Escala: S/E	Formato: A4	Folha: 1 de 18.	Revisão: R0
			Data: 08/11/2017
Responsável Técnico: Jhoni Loro			CREA:
			Visto:



## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	3
2. PROCEDIMENTOS.....	3
2.1 NORMA 5419 – PARTE 1 .....	3
2.2 NORMA 5419 – PARTE 2 .....	6
2.3 NORMA 5419 – PARTE 3 .....	7
2.4 NORMA 5419 – PARTE 4 .....	8
3. DIMENSIONAMENTO.....	9
3.1 ANÁLISE DE RISCO DA ESTRUTURA .....	9
3.1.1 CARACTERÍSTICAS E DADOS RELEVANTES .....	9
3.1.2 ANÁLISE DE RISCO.....	10
3.1.3 SUBSISTEMA DE CAPTAÇÃO .....	14
3.1.4 SUBSISTEMA DE DESCIDA .....	14
3.1.5 SUBSISTEMA DE ATERRAMENTO .....	15
3.2 RESULTADOS .....	15
4. CONCLUSÕES .....	16
5. REFERÊNCIAS.....	17

## 1. INTRODUÇÃO

O memorial aqui descrito tem com finalidade realizar o dimensionamento do sistema de proteção contra descargas atmosféricas (SPDA) do ginásio de esportes da APAE, do município de Renascença, Paraná.

O dimensionamento do SPDA é necessário, para que no caso de incidência de descargas atmosféricas sob a estrutura em questão, não haja danos aos equipamentos presentes no local e nem as pessoas que circulam pela área.

## 2. PROCEDIMENTOS

Para o dimensionamento do SPDA, utilizou-se a norma NBR 5419-1 – Proteção contra descargas atmosféricas. Parte 1: Princípios gerais. A norma NBR 5419-2 – Proteção contra descargas atmosféricas. Parte 2: Gerenciamento de risco, juntamente com a planilha TUPAN, desenvolvida pela IEE/USP (Universidade de São Paulo) para análise de risco. E por último, a norma NBR 5419-3 – Proteção contra descargas atmosféricas. Parte 3: Danos físicos a estruturas e perigos à vida e a Norma 5419-4 – Sistemas elétricos e eletrônicos internos na estrutura.

A NBR 5419 adota medidas eficazes para amenizar os riscos associados às descargas atmosféricas, a parte 1 da norma, expõem de forma geral, as ameaças relacionadas as descargas atmosféricas, na parte 2 são expostos, os riscos associados às descargas atmosféricas, na parte 3, quais são as medidas de proteção que devem ser adotadas para um SPDA, assim como o dimensionamento dessas medidas e por fim, a parte 4, apresenta as medidas adicionais necessárias para proteger os equipamentos interno à estrutura.

### 2.1 NORMA 5419 – PARTE 1

Inicialmente deve-se definir quais os efeitos das descargas atmosféricas sobre a estrutura (Ginásio de esportes), a partir da Tabela 1 presente na norma 5419 – Parte 1:

Tabela 1 - Efeitos das descargas atmosféricas em uma estação de geração e transmissão de energia elétrica.

Tipo de estrutura de acordo com sua finalidade e/ou conteúdo	Efeitos das descargas atmosféricas
Áreas de esportes	Danos em instalações elétricas que tendem a causar pânico.  Falhas em sistemas de alarme de incêndio, resultando em atrasos nas ações de combate a incêndio.

As descargas atmosféricas podem ocorrer de quatro formas (fonte de dano) assim como também podem apresentar-se como uma combinação delas, as quatro fontes de danos são:

- a) S1: descargas atmosféricas na estrutura;
- b) S2: descargas próximas à estrutura;
- c) S3: descargas atmosféricas sobre as linhas elétricas e tubulações metálicas que entram na estrutura;
- d) S4: descargas atmosféricas próximos às linhas elétricas e tubulações metálicas que entram na estrutura.

Cada uma das formas citadas anteriormente causa diferentes danos a estrutura:

- a) D1: danos às pessoas devido a choque elétrico;
- b) D2: danos físicos devido aos efeitos das correntes das descargas atmosféricas, inclusive centelhamento;
- c) D3: falhas de sistemas internos devido a LEMP (*lightning electromagnetic impulse* - pulso eletromagnético devido às descargas atmosféricas).

Consequentemente, esses danos geram diferentes perdas, essas, são classificadas em 4 tipos, sendo eles:

- a) L1: perda de vida humana;
- b) L2: perda de serviço ao público;

- c) L3: perda de patrimônio cultural;
- d) L4: perda de valor econômico.



Após uma avaliação detalhada acerca de quais formas de descargas atmosféricas a estrutura está exposta, deve-se definir os tipos de danos que podem ser causados por essas descargas, assim como os tipos de perdas envolvidos, com isso, é possível concluir quais são os riscos aos quais a estrutura será submetida, esses riscos são classificados de acordo com a norma como sendo:

- a)  $R_1$ : risco de perdas ou danos permanentes em vidas humanas;
- b)  $R_2$ : risco de perdas de serviços ao público;
- c)  $R_3$ : risco de perdas do patrimônio cultural;
- d)  $R_4$ : risco de perdas de valor econômico.

A partir disso é necessário avaliar o risco para que então seja possível determinar as medidas de proteção que devem ser adotadas. Essas informações são definidas na Parte 2 da Norma 5419.

Essas medidas de proteção, de acordo com os itens 7.2, 7.3 e 7.4 da NBR 5419-1, para a redução de danos as pessoas devido a choque elétrico, redução de danos físicos e redução de falhas dos sistemas elétricos e eletrônicos são:

- a) Isolação adequada das partes condutoras expostas;
- b) Equipotencialização por meio de um sistema de aterramento em malha;
- c) Restrições físicas e avisos;
- d) Ligação equipotencial para descargas atmosféricas;
- e) Subsistema de captação;
- f) Subsistema de descida;
- g) Subsistema de aterramento;
- h) Equipotencialização para descargas atmosféricas;
- i) Isolação elétrica;
- j) Medidas de aterramento e equipotencialização;
- k) Blindagem magnética;
- l) Roteamento da fiação;

- m) Interfaces isolantes;
- n) Sistema de DPS coordenado.



Essas medidas podem ser usadas sozinhas ou combinadas, sendo que, o objetivo da implementação dessas é reduzir danos e perdas relevantes, sendo assim é de suma importância definir o nível de proteção contra as descargas atmosféricas.

## 2.2 NORMA 5419 – PARTE 2

Através da parte 2 da Norma 5419 é possível fazer o gerenciamento de risco sobre a estrutura quando atingida por uma descarga atmosférica. Para isso, é necessário definir os riscos e calculá-los, ou seja, somar cada componente de risco, os quais são agrupadas conforme as fontes de danos e os tipos de danos. Em seguida, compara-se os valores calculados com os valores toleráveis para cada risco.

Os valores típicos de risco tolerável ( $R_T$ ) serão apresentados na Tabela 2.

**Tabela 2- Valores típicos de riscos tolerável.**

Tipo de perda		$R_T (y^{-1})$
L1	Perda de vida humana ou ferimentos permanentes	$10^{-5}$
L2	Perda de serviço ao público	$10^{-3}$
L3	Perda de patrimônio cultural	$10^{-4}$
L4	Perda de valor econômico	$10^{-3}$

Caso o risco  $R$  seja maior que o valor do risco tolerável  $R_T$  ( $R \geq R_T$ ) devem ser adotadas medidas de proteção, afim de reduzir o risco até o ponto que ele se torne menor que o risco tolerável ( $R \leq R_T$ ).

Além de analisar a necessidade de proteção contra as descargas atmosféricas da estrutura, essa parte da norma auxilia na verificação dos



benefícios econômicos da instalação, das medidas de proteção no sentido de reduzir as perdas econômicas  $L_4$ . O procedimento para isso requer:

- a) Identificação dos componentes  $R_x$  que compõem o risco  $R_4$ ;
- b) Cálculo dos componentes de risco identificados  $R_x$  na ausência de novas/adicionais medidas de proteção;
- c) Cálculo do custo anual de perdas devido a cada componente de risco  $R_x$ ;
- d) Cálculo do custo anual  $C_L$  da perda total na ausência das medidas de proteção;
- e) Adoção das medidas selecionadas;
- f) Cálculo dos componentes de risco  $R_x$  com a presença das medidas de proteção selecionadas;
- g) Cálculo do custo anual das perdas residuais devido a cada componente de risco  $R_x$  na estrutura protegida;
- h) Cálculo do custo anual  $C_{RL}$  das perdas residuais com a presença das medidas de proteção selecionadas;
- i) Cálculo do custo anual  $C_{PM}$  das medidas de proteção selecionadas;
- j) Comparação dos custos.

Se  $C_L < C_{RL} + C_{PM}$ , a proteção contra as descargas atmosféricas pode ser julgada não tendo custo eficiente.

Se  $C_L \geq C_{RL} + C_{PM}$ , as medidas de proteção podem provocar a economia monetária durante a vida da estrutura.

Após realizar as análises citadas acima, é possível determinar qual ou quais as medidas de proteção que devem ser adotadas, assim como o nível de proteção. Essas medidas só serão consideradas efetivas se elas estiverem de acordo com a Parte 3 e Parte 4 da Norma 5419.

### 2.3 NORMA 5419 – PARTE 3

A parte 3 da norma instrui como realizar o projeto, instalação, inspeção e manutenção de um SPDA para estruturas sem limitação de altura.



Após realizar os procedimentos citados acima, já se tem o nível de proteção que deve ser aplicado na estrutura e, conseqüentemente, a classe desse SPDA, como pode ser visto na Tabela 3.

**Tabela 3 - Relação entre níveis de proteção para descargas atmosféricas e classe de SPDA.**

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

A partir da classe de SPDA, tem-se:

- O raio da esfera rolante, tamanho da malha e ângulo de proteção;
- Distâncias típicas de descida e dos condutores em anel;
- Distância de segurança contra centelhamento perigoso;
- Comprimento mínimo dos eletrodos de terra.

Ainda nesta etapa, é possível determinar se a estrutura possui condutores naturais, ou seja, se, por exemplo, essa é constituída por amaduras de aço interconectadas estruturando o concreto armado, vigamentos metálicos, etc.

Feito isso, é possível dar seqüência ao dimensionamento das medidas de proteção seguindo as instruções dessa parte da norma.

#### 2.4 NORMA 5419 – PARTE 4

Quando ocorre uma descarga atmosférica, devido a elevada energia que é liberada, os equipamentos eletrônicos existentes na estrutura podem ser danificados, dessa forma torna-se necessário prever medidas de proteção para que isso não ocorra.





A última das quatro partes da ABNT NBR 5419 apresenta o processo que deve ser seguido para a instalação de um sistema interno de proteção contra descargas atmosféricas, esse processo visa evitar que a parcela da corrente de impulso eletromagnético (LEMP) seja conduzida para dentro da edificação através da instalação elétrica, caso ele não existisse, danificando a instalação e os seus componentes.

Para isso são apresentadas as Medidas de Proteção contra Surtos (MPS) e apresenta o que são Zonas de Proteção contra Raios (ZPR). A blindagem dos cabos, o roteamento das linhas elétricas e a aplicação dos Dispositivos de Proteção contra Surtos (DPS), são exemplos de MPS.

### **3. DIMENSIONAMENTO**

#### **3.1 ANÁLISE DE RISCO DA ESTRUTURA**

Primeiramente serão abordados as características e os dados da estrutura, esses dados servirão como informações de entrada para a simulação na planilha Tupan. Em seguida serão avaliados os valores das componentes de risco às quais a estrutura está exposta sem nenhuma medida de proteção. A partir desse resultado, caso seja necessário, serão adotadas medidas de proteção para que os valores das componentes de risco fiquem dentro dos valores toleráveis pela norma NBR-5419. Por último, será calculada a área a ser protegida após a instalação do SPDA, considerado na etapa anterior.

##### **3.1.1 CARACTERÍSTICAS E DADOS RELEVANTES**

O ginásio de esportes está localizado em uma esquina na cidade de Renascença, próximo ao ginásio de esportes existem mais duas estruturas, a área de fisioterapia e a oficina, ambas com altura inferior à altura do ginásio. A densidade de descargas atmosféricas para a terra, segundo o INPE, no município Renascença, PR é de 9,8 descargas por quilômetros quadrados por ano ( $N_g = 9,8$  descargas/km<sup>2</sup>/ano). Será considerado que no local do projeto, irão permanecer 20 pessoas, uma aproximação do número de alunos por sala, na APAE.



O ginásio de esportes, possui uma altura de aproximadamente 8 metros, com comprimento e largura de aproximadamente 19,40 m e 28,10 m, respectivamente.

Inicialmente não será considerada nenhuma proteção, assim como a estrutura não será considerada metálica.

O ambiente avaliado foi dividido em duas zonas:

- a) Z<sub>1</sub>: Ginásio;
- b) Z<sub>2</sub>: Área externa;

Para a zona Z<sub>2</sub>, assume-se que nenhuma pessoa estará fora do ginásio de esportes no momento da tempestade, sendo assim não há risco de choque em pessoas, com isso essa zona pode ser desconsiderada completamente, ou seja, não oferece risco, não há necessidade de proteção, essa conclusão também pode ser observada na Figura 1, onde é observado o resultado da análise de risco obtida pela Planilha Tupan.

### 3.1.2 ANÁLISE DE RISCO

A análise de risco inicial tem por objetivo avaliar e apontar os pontos críticos da estrutura já que a mesma não possui nenhum sistema de proteção conforme demonstrado na Figura 1.

Projeto:	SPADA - APAE
<b>Dimensões da estrutura</b>	
Zona:	Ginásio de Esportes
Área de exposição equivalente $A_D$ [m <sup>2</sup> ]	545
<b>Influências ambientais</b>	
Localização ( $c_D$ ):	mesma altura ou mais baixos
Frequência de descarga para terra $N_G$ [1/km <sup>2</sup> /ano]:	8,835813685
Tipo de solo:	Agrícola, Concreto
Tipo de estrutura:	Locais onde falhas de sistemas internos não causam perdas de vidas humanas
Risco de incêndio ( $r_i$ ):	Incêndio Normal
Perigo especial ( $h_e$ ):	Sem perigo especial
Número de pessoas na zona:	20
Serviços conectados:	
Largura da blindagem ou distância entre as descidas $w_1$ [m]	8,3333
Largura da blindagem ou distância entre as descidas $w_2$ [m]	8,3333
<b>Medidas de proteção</b>	
Sistema de Proteção Contra Descargas Atmosféricas (SPDA):	sem SPDA
Meios para restringir as consequências de incêndio ( $r_i$ ):	Sem proteção
Contra tensão de toque ou passo na estrutura ( $P_{Te}$ ):	Restrições físicas ou estrutura como sist. descida
Contra tensão de toque ou passo na linha ( $P_{TL}$ ):	Nenhuma medida de proteção
<b>Atributos da linha conectada:</b>	
<b>Linha de energia</b>	
Fator ambiental da linha:	Urbano
Fição interna:	Não blindado- precaução para evitar grandes laços
Tensão suportável de impulso atmosférico no sistema [kV]	15kV
Dispositivo de proteção contra Surto DPS (PSPD):	Sem proteção coordenada com DPS
Modo de instalação da linha (C <sub>i</sub> ):	Enterrado
<b>Linha de telecomunicação</b>	
Fator ambiental da linha:	Urbano
Fição interna:	Não blindado- precaução para evitar grandes laços
Tensão suportável de impulso atmosférico no sistema [kV]	15kV
Dispositivo de proteção contra Surto DPS (PSPD):	Sem proteção coordenada com DPS
Modo de instalação da linha (C <sub>i</sub> ):	Enterrado
<b>Resultado</b>	
Perda de vida humana $R_1$	1,4302E-06
Avaliação de risco:	tolerável
Perda de serviço público $R_2$	8,3482E-04
Avaliação de risco:	tolerável
Perda de herança cultural $R_3$	1,0160E-07
Avaliação de risco:	tolerável
Perda econômica $R_4$	5,0802E-06
Avaliação de risco:	intolerável
Projeto avaliado por:	Jhoni Loro
Data da avaliação:	30/10/2017
Total:	
Perda de vida humana $R_1$	1,4302E-06
Perda de serviço público $R_2$	8,3482E-04
Perda de herança cultural $R_3$	1,0160E-07
Perda econômica $R_4$	5,0802E-06

Figura 1 – Resultado obtido pela Planilha Tupan para a análise de risco sem nenhuma proteção na Casa de Força Principal.  
Fonte: Planilha Tupan.

Analisando os resultados obtidos, nota-se que é necessário adotar medidas de proteção, já que o risco de perda de valor econômico ( $R_4$ ) apresentou valor acima do tolerável. Por essa razão, será considerada a proteção adequada para que esse valor fique entre os valores aceitáveis.



Como os perfis de sustentação do ginásio são de concreto armado, pode-se utilizar esses pilares como sistema de descida natural. Tal alternativa, visa diminuir ainda mais o risco de perda de vida humana ( $R_1$ ).

Segundo Sérgio Prestes, quando linhas de energia entram na estrutura elas devem ser conectadas ao barramento de aterramento principal através de DPS's, para interromper correntes provenientes de descargas atmosféricas. O mesmo recomenda que quando ocorre essa transição da zona externa para a interna, sejam utilizados DPS's classe 1.

Para diminuir ainda mais o risco ao público é utilizado um sistema DPS'S.

De acordo com o exposto acima, a análise de risco deverá ser refeita a fins de verificar se as medidas tomadas atendem aos níveis de proteção toleráveis exigidos por norma.

Os resultados da nova análise de risco estão apresentados conforme a Figura 2.

Projeto:	projeto
<b>Dimensões da estrutura</b>	
Zona:	Ginásio de Esportes
Área de exposição equivalente $A_e$ [m <sup>2</sup> ]	545
<b>Influências ambientais</b>	
Localização ( $C_b$ ):	Estrutura isolada
Frequência de descarga para terra $N_c$ [1/km <sup>2</sup> /ano]:	9,8
Tipo de solo:	Agrícola, Concreto
Tipo de estrutura:	Locais onde falhas de sistemas internos não causam perdas de vidas humanas
Risco de incêndio ( $r_f$ ):	Incêndio Normal
Perigo especial ( $h_s$ ):	Sem perigo especial
Número de pessoas na zona:	20
Serviços conectados:	
Largura da blindagem ou distância entre as descidas $w_1$ [m]	8,3333
Largura da blindagem ou distância entre as descidas $w_2$ [m]	8,3333
<b>Medidas de proteção</b>	
Sistema de Proteção Contra Descargas Atmosféricas (SPDA):	Classe do SPDA I
Meios para restringir as conseqüências de incêndio ( $r_f$ ):	manuais, hidrantes, rotas de fuga protegidas ou compartimentos à prova de fogo
Contra tensão de toque ou passo na estrutura ( $F_{TE}$ ):	Equipotencialização efetiva do solo
Contra tensão de toque ou passo na linha ( $F_{TL}$ ):	Avisos visíveis de alerta
<b>Atributos da linha conectada:</b>	
<b>Linha de energia</b>	
Fator ambiental da linha:	Urbano
Fiação interna:	Não blindado- precaução para evitar grandes laços
Tensão suportável de impulso atmosférico no sistema [kV]	1,5kV
Dispositivo de proteção contra Surto DPS ( $F_{SPD}$ ):	III-IV
Modo de instalação da linha ( $C_1$ ):	Enterrado
<b>Linha de telecomunicação</b>	
Fator ambiental da linha:	Urbano
Fiação interna:	Não blindado- precaução para evitar grandes laços
Tensão suportável de impulso atmosférico no sistema [kV]	1,5kV
Dispositivo de proteção contra Surto DPS ( $F_{SPD}$ ):	DPS
Modo de instalação da linha ( $C_1$ ):	Aéreo
<b>Resultado</b>	
<b>Perda de vida humana <math>R_1</math></b>	<b>3,6300E-08</b>
<b>Avaliação de risco:</b>	<b>tolerável</b>
<b>Perda de serviço público <math>R_2</math></b>	<b>4,4629E-06</b>
<b>Avaliação de risco:</b>	<b>tolerável</b>
<b>Perda de herança cultural <math>R_3</math></b>	<b>2,4700E-09</b>
<b>Avaliação de risco:</b>	<b>tolerável</b>
<b>Perda econômica <math>R_4</math></b>	<b>1,2460E-12</b>
<b>Avaliação de risco:</b>	<b>tolerável</b>
Projeto avaliado por:	Jhoni Loro
Data da avaliação:	06/11/2017
Total:	
<b>Perda de vida humana <math>R_1</math></b>	<b>3,6300E-08</b>
<b>Perda de serviço público <math>R_2</math></b>	<b>4,4629E-06</b>
<b>Perda de herança cultural <math>R_3</math></b>	<b>2,4700E-09</b>
<b>Perda econômica <math>R_4</math></b>	<b>1,2460E-12</b>

Figura 2 - Resultado obtido pela Planilha Tupan para a análise de risco com proteção na Casa de Força Principal.  
Fonte: Planilha Tupan.

Após esse resultado, será calculada qual a área abrangida por essa medida de proteção.



### 3.1.3 SUBSISTEMA DE CAPTAÇÃO

Com o intuito de limitar a probabilidade de penetração da corrente de descarga atmosférica na estrutura, utilizam-se subsistemas de captação. Eles podem ser compostos por hastes, condutores suspensos, condutores em malha, ou pela combinação desses elementos. Ainda, quando se tem uma cobertura metálica, o subsistema de captação pode ser considerado a própria estrutura (uso de componente natural), contudo, deve-se garantir que as características dos elementos estejam conforme o exigido na norma NBR 5419-Parte 3.

A cobertura do ginásio de esportes é feita de fibrocimento, dessa forma não é possível utilizar o sistema de captação natural. Quando não há viabilidade para sistema de captação natural, podem ser utilizadas hastes metálicas como sistema de captação. Para esse caso serão utilizadas 4 hastes metálicas de 1,5 m, no topo de cada uma das hastes será preso um captor do tipo Franklin de 300 mm de altura, totalizando assim um sistema de captação de 1,8 m.

O cálculo da área protegida será demonstrado na seção a seguir.

### 3.1.4 SUBSISTEMA DE DESCIDA

O subsistema em questão tem como propósito conduzir a corrente da descarga atmosférica desde o subsistema de captação até o subsistema de aterramento. Para isso, devem ser arrançados a fim de promoverem:

- a) Diversos caminhos paralelos para a corrente elétrica;
- b) O menor comprimento possível do caminho da corrente elétrica.

Como a estrutura de sustentação será constituída de perfis metálicos, serão consideradas descidas de condutores naturais, sendo assim, deve-se garantir a continuidade elétrica entre as várias partes seja feita de forma durável e as dimensões sejam no mínimo iguais ao especificado na Tabela 6 da norma NBR 5419-Parte 3.

Para reforçar o subsistema de descida, serão instaladas 9 descidas de condutores de cobre, sendo duas descidas para cada uma das 4 hastes do sistema de captação do ginásio em si, e uma descida do captor a ser instalado em cima da futura construção que irá compor os vestiários e sanitários do local.

Em cada junção entre os cabos de descida e os eletrodos de aterramento, deverá ser fixado, uma conexão de medição. Onde, segundo o item 5.3.6 da NBR 5419-3, o elemento de conexão deve ser capaz de ser aberto apenas com o auxílio de ferramenta, e deve permanecer fechado. No item 5.5.3 da NBR 5419-3, a altura sugerida para a instalação do conector para ensaios é 1,5 metros a partir do piso.

### 3.1.5 SUBSISTEMA DE ATERRAMENTO

Em conjunto com o subsistema de descida, o subsistema de aterramento tem por finalidade neutralizar qualquer sobretensão potencial. Esse subsistema envolve os subsistemas de descida do ginásio de esportes, e dos vestiários, todas as descidas são todas conectadas a uma malha de aterramento, projetada em frente ao ginásio. Essa interligação permite que as possíveis descargas atmosféricas sejam neutralizadas.

### 3.2 RESULTADOS

Para analisar qual é a abrangência de proteção do SPDA, utilizou-se o método da esfera rolante, para esse método é necessário dimensionar o tamanho da esfera, para esse dimensionamento, leva-se em consideração o nível de proteção do SPDA, que pode ser definido através da altura total do sistema, para esse caso a altura total em questão é de 9,8 m, ou seja, tem-se um nível de proteção "I", dessa forma o raio da esfera deve ser de 20 metros.

Através da Figura 3, pode ser observada qual a área protegida pelo SPDA, considerado o método das esferas rolantes.

Apresenta-se, na Figura 4, a vista superior da casa de força auxiliar, onde mostra a área protegida considerando a estrutura metálica como captor natural.

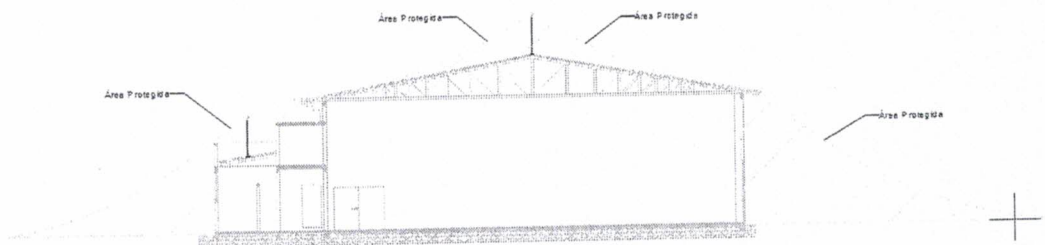


Figura 3 - Área protegida – Vista Frontal.

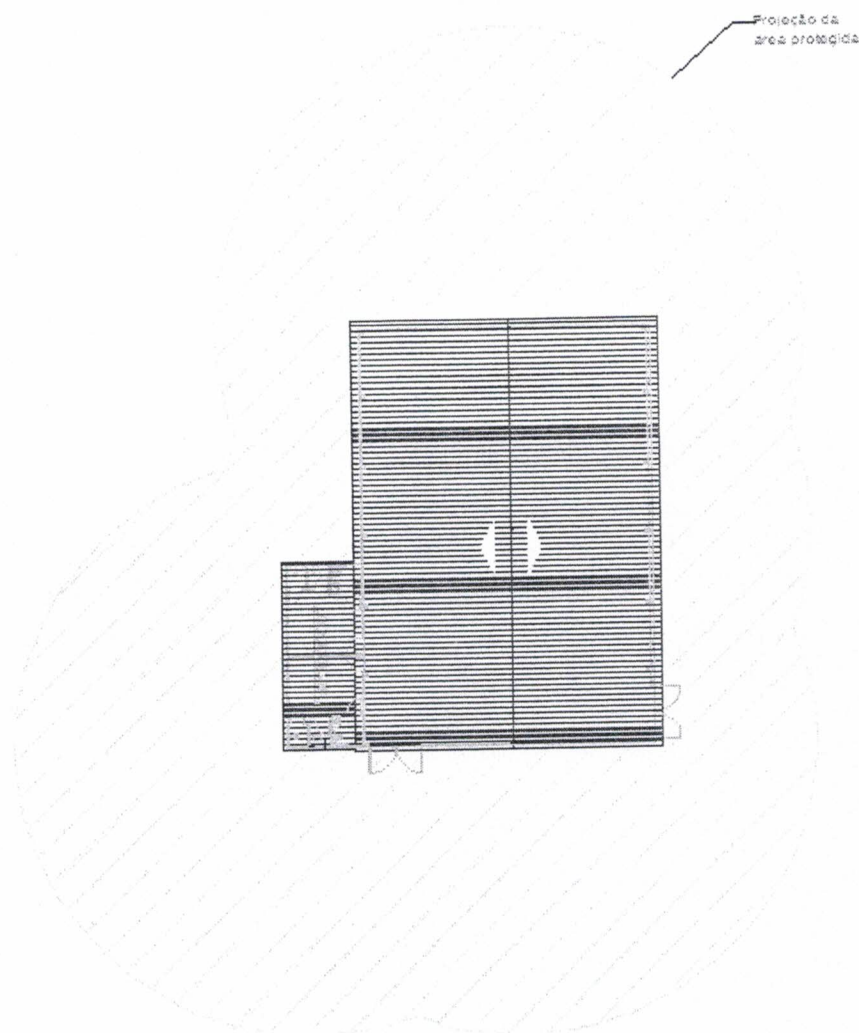


Figura 4 - Área protegida - Vista Superior.

#### 4. CONCLUSÕES

Através da análise das figuras apresentadas acima, é possível constatar que o sistema de proteção contra descargas atmosféricas será eficiente considerando a utilização de 4 hastas metálicas compostas por captadores Franklin. A quantidade de condutores de descida juntamente com as descidas naturais, mostra-se suficiente, de acordo com as exigências da norma NBR 5419-3. Cada condutor de descida possuirá uma caixa de medição, e será protegido por um eletroduto de PVC. As descidas serão interligadas com os pontos de esperas da



malha de aterramento, assim como as descidas naturais estarão fixadas na estrutura de concreto armado.

Deve-se inspecionar visualmente as instalações após a instalação do SPDA (no momento da emissão do documento "as built"), após alterações, reparos ou quando houver suspeita de que a estrutura foi atingida por uma descarga atmosférica e a cada seis meses para verificar se há algum elemento deteriorado. A cada três anos deve ser realizada uma avaliação mais completa, sendo que essa deve ser executada por um profissional habilitado e capacitado para fazer essa atividade, com a necessidade da emissão de documento. Caso seja encontrada alguma irregularidade relatada no laudo da inspeção, deve-se realizar as manutenções necessárias, para que esse projeto continue tendo validade dentro das normas.

## 5. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5419-1**: Proteção contra descargas atmosféricas. Parte 1: Princípios Gerais. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5419-2**: Proteção contra descargas atmosféricas. Parte 2: Gerenciamento de risco. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5419-3**: Proteção contra descargas atmosféricas. Parte 3: Danos físicos a estruturas e perigos à vida. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5419-4**: Proteção contra descargas atmosféricas. Parte 4: Sistemas elétricos e eletrônicos internos na estrutura. Rio de Janeiro, 2015.


MAMEDE FILHO, João. **Instalações elétricas industriais**. 7ª Edição, Editora: LTC – Livros Técnicos e Científicos, Rio de Janeiro, 2007.

Dispositivo de proteção contra surto de tensão (DPS). Disponível em:  
<<http://www.oseletrico.com.br/web/a-empresa/1958-dispositivo-de-protecao-contra-surto-de-tensao-dps.html>>. Acesso em: 07 jul. 2016.



M

# MEMORIAL DE DIMENSIONAMENTO DA MALHA DE ATERRAMENTO – GINÁSIO APAE

REVISÃO	DESCRIÇÃO	PROJETISTA	DATA
R0	EMISSÃO INICIAL	ALESSANDRA	08/11/17
Projeto: GINÁSIO APAE RENASCENÇA			
Nº do Projeto: US-GRL-ATE-001-R0			
Título: Memorial de Dimensionamento da Malha de Aterramento			
Cliente: APAE RENASCENÇA		Local: Renascença/PR	
Projetista/Desenhista:	Data:	Verificado: Jhoni	Aprovado: SIM
Alessandra Iurchevicz	08/11/17	Data: 08/11/2017	Data: 08/11/2017
Escala: S/E	Formato: A4	Folha: 1 de 12.	Revisão: R0
			Data: 08/11/2017
Responsável Técnico: Jhoni Loro		CREA:	
		Visto:	

## SUMÁRIO



1. INTRODUÇÃO .....	3
2. OBJETIVO.....	3
3. METODOLOGIA DE ESTUDO.....	3
4. DIMENSIONAMENTO DO CONDUTOR .....	3
5. DADOS PARA O CÁLCULO .....	4
6. RESISTÊNCIA DA MALHA .....	5
7. ANÁLISE DO CONDUTOR.....	6
8. TENSÃO DE PASSO E TOQUE.....	8
9. MALHA DE ATERRAMENTO.....	10
10. CONCLUSÕES .....	11
11. REFERÊNCIAS.....	12

## 1. INTRODUÇÃO

Com o objetivo de proteger e equalizar os potenciais elétricos, faz-se necessário dimensionar a malha de aterramento.

O aterramento elétrico exerce a função de proteção ao escoar a corrente de uma descarga atmosférica ou de um curto circuito, para o solo. Para o bom dimensionamento do aterramento elétrico deve-se obter o valor da resistência de aterramento, essa resistência depende da resistividade do solo assim como da malha de aterramento conforme a aplicação desejada.

## 2. OBJETIVO

O memorial aqui descrito, tem como objetivo dimensionar a malha de aterramento que abrange o ginásio de esportes da APAE do município de Renascença.

## 3. METODOLOGIA DE ESTUDO

Foram considerados para elaboração desse estudo, as premissas apresentadas nas normas técnicas, a NBR 5419, que orienta quanto a proteção de estruturas contra descargas atmosféricas, NBR 7117, que determina a resistividade e estratificação do solo.

## 4. DIMENSIONAMENTO DO CONDUTOR

O condutor da malha de aterramento é dimensionado levando-se em consideração os efeitos térmicos e mecânicos provenientes das correntes elétricas que possam passar por esse cabo, em especial as correntes de curto circuito, oriundas da malha principal. Devido às configurações do sistema, a corrente de curto circuito que circula na malha de aterramento pode ser



considerada pequena, e levando-se também em consideração a malha será alocada sob uma camada de cascalho, os níveis de potencial de toque e de passo serão menores, não oferecendo riscos às pessoas. Para o dimensionamento mecânico, a norma ABNT NBR 15751:2013 indica as bitolas mínimas para condutores de cobre e de aço, que, neste caso, devem ser protegidos contra corrosão conforme as normas aplicáveis. A norma exige que para cabo de cobre, o condutor mínimo seja de 50 mm<sup>2</sup>.

Segundo a NBR 5419, a seção mínima do condutor de cobre a ser utilizado na descida para estruturas de altura inferior a 20 metros deve ser de 16 mm<sup>2</sup>. Também indicado na norma a seção mínima para o eletrodo de aterramento sendo de 50mm<sup>2</sup> para o condutor de cobre.

Tabela 1 - Seções mínimas dos materiais do SPDA

Material	Captor anéis intermediários mm <sup>2</sup>	Descidas (para estruturas de altura até 20m) mm <sup>2</sup>	Descidas (para estruturas de altura superior a 20m) mm <sup>2</sup>	Eletrodo de aterramento mm <sup>2</sup>
Cobre	35	16	35	50
Alumínio	70	25	70	-
Aço galvanizado a quente ou embutido no concreto	50	50	50	80

Fonte: Norma NBR 5419, tabela 3.

## 5. DADOS PARA O CÁLCULO

A resistividade do solo da primeira camada de solo, pode ser obtida através da inspeção do solo com uso de terrômetro para aquisição dos dados de resistência. De posse dos dados é possível então calcular a resistividade do solo através da Equação abaixo:

$$\rho = 2\pi aR$$

Em que:

$\rho$  é a resistividade ( $\Omega$  m);

- a é a distância entre os eletrodos (m)  
 R é a resistência medida ( $\Omega$ )

A resistividade do solo da segunda camada pode ser definida a partir da estratificação do solo em duas camadas pelo método simplificado segundo a NBR 7117. Entretanto, para este projeto foram utilizados dados tabelados para a resistividade do solo, visto que não estavam disponíveis os dados medidos. Ainda, foi considerada uma terceira camada, a qual é constituída de concreto seco, e sua resistividade é definida na NORMA 15751. Os dados para cálculo são apresentados na tabela 2.

tabela 2 - dados da malha de aterramento.

Corrente de curto circuito	3 kA
Resistividade aparente do solo ( $\rho_a$ )	500 $\Omega$ .m
Resistividade do concreto	3000 $\Omega$ .m
Área da Malha (A)	270 m <sup>2</sup>
Resistência da Malha de Aterramento	1,9377 $\Omega$
Comprimento Total dos Condutores Enterrados ( $L_t$ )	324,4 m
Profundidade da malha	0,8 m
Condutor	Cobre Duro
Conexões	Emenda com Solda Exotérmica (Tm=850°C)

Fonte: Autoria própria.

## 6. RESISTÊNCIA DA MALHA

Para o cálculo da resistência de malha é necessária a avaliação da resistividade aparente. Para isso devemos determinar o valor do raio (r) do círculo equivalente à área do sistema de aterramento:

$$r(m) = \sqrt{\frac{A}{\pi}} \quad r(m) = 7,5693 \text{ m}$$

Determinação do fator  $\alpha$  ( $a_1 \geq 0,90$ ):

$$\alpha = \frac{r}{a_1} \quad \alpha = 2,5231$$

Para obtenção da resistência da malha de aterramento foi utilizada a Equação abaixo:

$$R = \rho_a \left\{ \left( \frac{1}{L_t} \right) + \left( \frac{1}{\sqrt{20A}} \right) \left[ 1 + \left( \frac{1}{1+H\sqrt{20A}} \right) \right] \right\}$$

$$R = 1,9377 \Omega$$

## 7. ANÁLISE DO CONDUTOR

No dimensionamento do condutor foi definido a bitola de 50 mm<sup>2</sup>. Para averiguar que esse dimensionamento está correto será utilizado o nível de curto circuito considerado, juntamente com dados do solo. Para obter a seção mínima do condutor utilizamos a seguinte fórmula:

$$S = I_f * \sqrt{\frac{t * \rho_t * \alpha_r * 10^4}{TCAP * \ln \left( \sqrt{\frac{K_0 + T_m}{K_0 + T_a}} \right)}}$$

Onde:

- $S$  é a seção, expressa em milímetros quadrados (mm<sup>2</sup>);
- $I_f$  é a corrente de falta fase-terra, expressa em quilo ampères (kA);
- $t$  é o tempo, expresso em segundos (s);
- $\alpha_r$  é o coeficiente térmico de resistividade do condutor a  $t$  °C (°C<sup>-1</sup>);
- $\rho_t$  é a resistividade do condutor de aterramento a  $t$  °C, expressa em ohm x centímetro ( $\Omega \times \text{cm}$ );
- $TCAP$  é o fator de capacidade térmica, em joule por centímetro cúbico vezes graus Celsius [J/(cm<sup>3</sup> × °C)];
- $t_m$  é a temperatura máxima suportável, expressa em graus Celsius (°C), conforme Tabela 1;
- $t_a$  é a temperatura ambiente, expressa em graus Celsius (°C);
- $k_0$   $\frac{1}{\alpha_0}$  ou  $\frac{1}{\alpha_r} - T_r$ ;
- $k_0$  é o coeficiente térmico de resistividade do condutor a 0 °C;
- $T_r$  é a temperatura de referência das constantes do material, em graus Celsius (°C).





Resultados obtidos a partir do equacionamento a cima são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Resultados obtidos.

RESULTADOS	
Resistividade aparente do solo	500 Ω .m
Resistência de Aterramento	1,9377 Ω .m
Seção mínima do condutor (t = 0,125s)	1,5759
Seção mínima do condutor (t = 0,25s)	2,2286
Seção mínima do condutor (t = 0,50s)	3,1518
Seção mínima do condutor (t = 1s)	4,4573
Seção mínima do condutor (t = 3s)	7,7203

Fonte: Aatoria própria.

Ainda, a partir da seção adotada para o condutor (16 mm<sup>2</sup>), foram verificadas as correntes de falta máximas que esse condutor suportaria para diferentes durações de curto circuito, os resultados obtidos podem ser verificados na Tabela 4.

Tabela 4 - Corrente máxima suportada pelo condutor de 16 mm<sup>2</sup> para diferentes tempos.

Corrente máxima de falta para seção de 16 mm <sup>2</sup>	
I <sub>cc</sub> [kA]	Duração de I <sub>cc</sub> [s]
2,4869	3,000
4,3102	1,000
6,0917	0,500
8,6149	0,250
12,1834	0,125
24,8693	0,030

Fonte: Aatoria própria.

Com isso, observa-se pela tabela anterior que a corrente de curto circuito adotada a cima (3 kA), está dentro do limite suportado pelo condutor para os tempos considerados.

## 8. TENSÃO DE PASSO E TOQUE

Para realizar o cálculo da tensão de passo e da tensão de toque tolerável, considerando correntes de choque de curta duração, a Norma Técnica 15751, foi utilizada.

Inicialmente deve-se calcular as tensões de passo e de toque permissíveis, conforme as equações abaixo.

Tensão de passo:

$$E_{pcd} = (R_{ch} + 6 \times \rho_s \times C) I_{chcd} (V)$$

Tensão de toque:

$$E_{tcd} = (R_{ch} + 1,5 \times \rho_s \times C) I_{chcd} (V)$$

Em que:

$R_{ch}$  é a resistência do corpo humano, adotada como sendo  $1000\Omega$ ;

$\rho_s$  é a resistividade do recobrimento da superfície do solo ( $\Omega\text{m}$ );

$C$  é o fator de redução que depende da espessura da camada de recobrimento;

$I_{chcd}$  é a máxima corrente de curta duração admissível pelo corpo humano (A).

Para calcular o fator de redução da máxima corrente de curta duração, utilizaram-se as equações a seguir:

$$C \cong 1 - a \times \left[ \frac{1 - \frac{\rho_1}{\rho_s}}{2 \times h_s \times a} \right]$$

Em que:

$\rho_1$  é a resistividade da primeira camada ( $\Omega\text{m}$ );

$\rho_s$  é a resistividade do recobrimento da camada superficial (em  $\Omega\text{m}$ );

$h_s$  é a espessura da camada de revestimento superficial

$a$  é igual a  $0,106 \text{ m}$ .



$$I_{chcd} = \frac{0,116}{\sqrt{t}} \text{ (A)}$$

$t$  é a duração do choque.

Após calcular a tensão de passo e toque permissíveis, para a corrente de choque de curta duração, deve-se então calcular a máxima tensão de passo e toque na malha, para isso, utilizou-se o anexo B da Norma 15751. Para encontrar os valores das tensões máximas utilizaram-se as equações apresentadas abaixo.

Tensão de toque:

$$V_t = \frac{\rho \times I_m \times K_m \times K_i}{L_t} \text{ [V]}$$

Tensão de passo:

$$V_p = \frac{\rho \times I_m \times K_s \times K_i}{L_t} \text{ [V]}$$

Em que:

$\rho$  é a resistividade do solo ( $\Omega\text{m}$ );

$I_m$  corrente de malha (A);

$K_m$  Coeficiente de malha.

$K_s$  Coeficiente geométrico.

$K_i$  Coeficiente de irregularidade.

A corrente de malha foi determinada utilizando-se 50% da corrente de falta estipulada:

$$I_m = I_f \times 0,6 \text{ (A)}$$

As máximas tensões de toque e passo foram obtidas e são apresentadas na

Tabela 5 - Cálculo das tensões de passo e toque.

$C$	5
$I_{chcd}$ (considerando tempo de 1 s)	0,116 A
$E_{pcd}$	10,55 kV
$E_{tcd}$	2,72 kV
$V_p$	5,34 kV
$V_t$	2,32 kV

Fonte: Autoria própria.

Nota-se que os valores de tensão de toque e de passo são toleráveis.

## 9. MALHA DE ATERRAMENTO

A malha de aterramento projetada para o ginásio de esportes da APAE do município de Renascença/PR, possui uma área de 270 m<sup>2</sup>. O escopo da malha pode ser observado na Figura 1.

O *layout* da malha foi elaborado buscando interligar da melhor maneira todas as estruturas metálicas do lote.

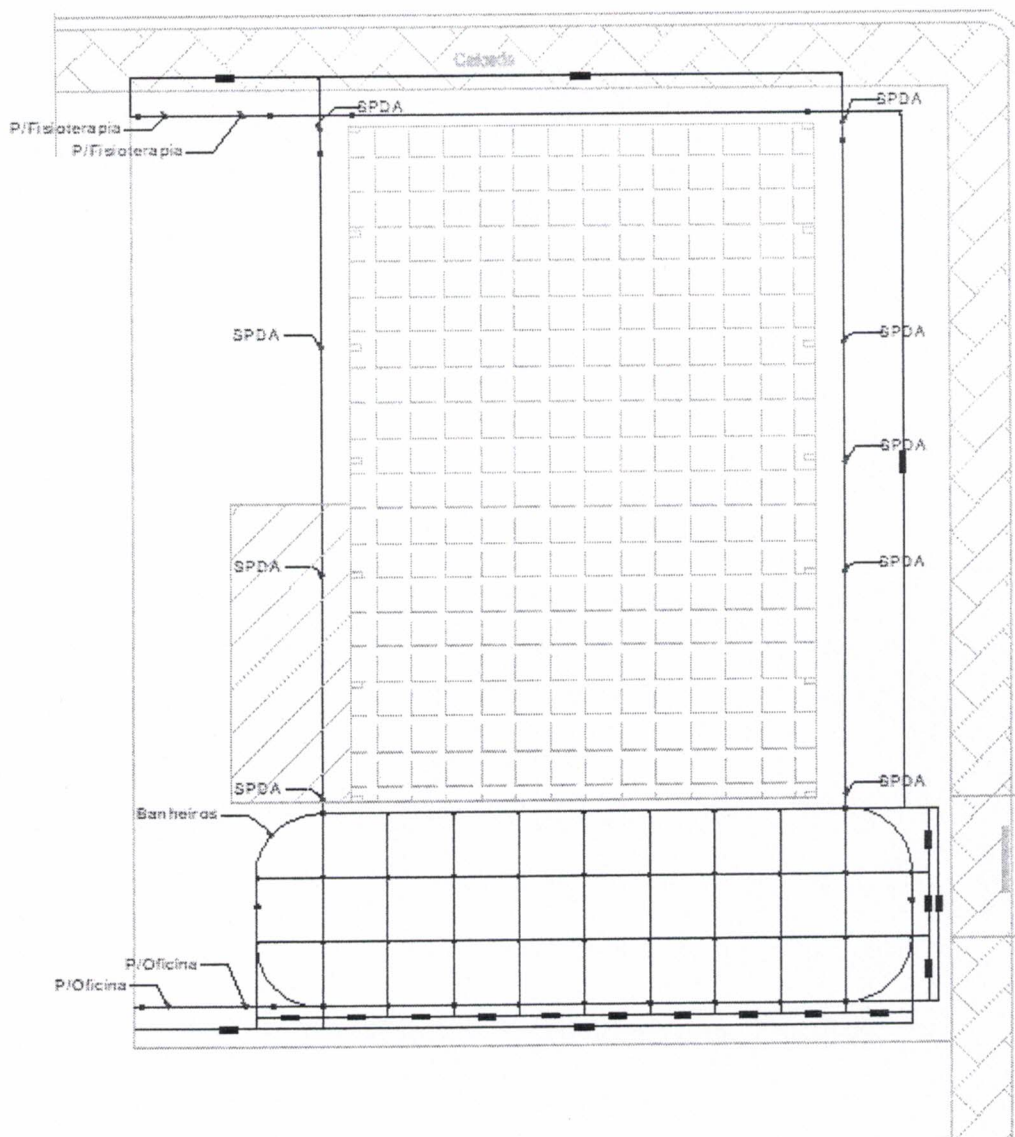


Figura 1 - Layout da Malha de Aterramento (cotas em mm).

Fonte: Autoria própria.

## 10. CONCLUSÕES

Conforme apresentado acima deverão ser utilizados condutores de cobre com seção mínima de  $7,7203 \text{ mm}^2$  para atender a norma, porém foi adotado uma seção de  $16 \text{ mm}^2$  para dar ao projeto uma margem de segurança. Os cabos em questão possuem uma resistência mecânica adequada aos esforços aos quais serão submetidos. A capacidade de condução de corrente

em condutores de cobre de 16 mm<sup>2</sup> é de até 4,3102 kA durante um segundo o que se mostra suficiente para suportar as premissas determinadas por norma para o correto dimensionamento. Tais condutores deverão ser instalados enterrados no solo com profundidade mínima de 0,8 m.



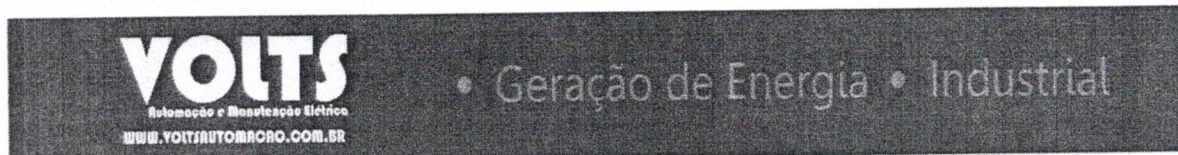
## 11. REFERÊNCIAS

KINDERMANN, Geraldo, CAMPAGNOLO, Jorge M. **ATERRAMENTO ELÉTRICO**. 3<sup>a</sup> ed. Porto Alegre. 1995

NBR5419 "Proteção de estruturas Contra Descargas Atmosféricas." ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2005.

NBR15751 "Sistemas de Aterramento de Subestações - Requisitos". ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2013.

NBR15749 "Medição de Resistência de Aterramento e de Potenciais na Superfície do Solo em Sistemas de Aterramento". ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2009.



• Geração de Energia • Industrial

## GINÁSIO DE ESPORTES – SPDA – LISTA DE MATERIAIS

REVISÃO	DESCRIÇÃO	PROJETISTA	DATA
0A	EMISSÃO INICIAL	ALESSANDRA	01/12/17
Projeto: GINÁSIO APAE RENASCENÇA			
Nº do Projeto: US-GRL-SPDA-020-R0			
Título: Lista de Materiais SPDA Ginásio de Esportes			
Cliente: APAE Renascença		Local: Renascença/PR	
Projetista/Desenhista:	Data:	Verificado: Jhoni	Aprovado: SIM
Alessandra Iurchevicz	01/12/17	Data:01/12/17	Data: 01/12/17
Escala: S/E	Formato: A4	Folha:1 de 3.	Revisão: 0
			Data: 01/12/17
Responsável Técnico: Jhoni Loro		CREA:	
		Visto:	



## 1. REFERÊNCIAS

A lista de matérias aqui descrita segue como referência os seguintes arquivos:

- US-GRL-SPDA-001-R0 -GINÁSIO APAE RENASCENÇA - SPDA – PLANTA
- US-GRL-SPDA-040-R0- GINÁSIO APAE RENASCENÇA – SPDA – CORTES
- US-GRL-SPDA-050-R0- GINÁSIO APAE RENASCENÇA – SPDA – DETALHES




LISTA DE MATERIAIS - SPDA – GINÁSIO DE ESPORTES			
ITEM	QUANTIDADE	DESCRIÇÃO	REFERÊNCIAS
1	150 m	Cabo de cobre nú, 50 mm <sup>2</sup> , normatizado	Catálogo Paratec
2	12 pç	Eletroduto de PVC 1"x3000 mm	Tigre
3	120 unid.	Presilha em latão para cabo até 50 mm <sup>2</sup> c/ Furo $\phi$ 8 mm	Catálogo Paratec PRT-883
4	10 unid.	Conector de emenda e medição em latão para cabo até 50 mm <sup>2</sup> 2P	Catálogo Paratec PRT-901
5	10 pç	Caixa para inspeção suspensa em polipropileno $\phi$ 1"	Catálogo Termotécnica Tel 541
6	40 unid.	Abraçadeira de PVC 1"	Site Tigre
7	16 unid.	Terminal à compressão simples de cobre para cabo 50mm <sup>2</sup> Furação 8,5 mm	Site Intelli TM-50-8
8	120 unid.	Parafuso Flangeado Philips Ponta Broca RI 5,5x20mm	Catálogo General Fix
9	12 unid.	Conector Split Bolt para Cabo 50 mm <sup>2</sup>	Catálogo Paratec PRT-913
10	10 unid.	Tampão	Catálogo Termotécnica Tel 5533
11	120 unid.	Parafuso sextavado 1/4" x 50 mm rosca inteira	Catálogo General Fix 102.6P.06.045
12	120 unid.	Porca sextavada 1/4"	Catálogo General Fix 130.6P06.010
13	240 unid.	Arruela Lisa 1/4"	Catálogo Poleduto PPA.116.2.B
14	4 unid.	Captor do tipo Franklin	Paratec PRT-102
15	4 unid.	Mastro simples	Paratec PRT-334



**VOLTS**  
Automação e Manutenção Elétrica  
WWW.VOLTSBRUTOBRACO.COM.BR

• Geração de Energia • Industrial

# LISTA DE MATERIAIS DA MALHA DE ATERRAMENTO – GINÁSIO APAE

REVISÃO	DESCRIÇÃO	PROJETISTA	DATA
R0	EMISSÃO INICIAL	ALESSANDRA	21/08/17
Projeto: GINÁSIO APAE RENASCENÇA			
Nº do Projeto: US-GRL-ATE-020			
Título: Lista de Materiais da Malha de Aterramento			
Cliente: APAE RENASCENÇA		Local: Renascença/PR	
Projetista/Desenhista:	Data:	Verificado: Jhoni	Aprovado:
Alessandra Iurchevicz	01/12/17	Data: 01/12/2017	Data:
Escala: S/E	Formato: A4	Folha: 1 de 3.	Revisão: R0
			Data: 01/12/2017
Responsável Técnico: Jhoni Loro		CREA:	
		Visto:	



## 1. REFERÊNCIAS

A lista de materiais a seguir se refere aos seguintes desenhos:

- US-GRL-ATE-030 – GINÁSIO – APAE RENASCENÇA – MALHA DE ATERRAMENTO.

LISTA DE MATERIAIS - SUBESTAÇÃO			
ITEM	QUANTIDADE	DESCRIÇÃO	REFERÊNCIAS
1	325 mt	Cabo de cobre nu, têmpera meio duro, encordoamento simples, seção nominal 50 mm <sup>2</sup> , normatizado.	Catálogo Condu spar pág. 11
3	50 pç	Grampo Paralelo em Bronze - GPB	Site Intelli
4	16 pç	Grampo Para Aterramento – GA - 12	Site Intelli
5	16 pç	Haste de alta camada com diâmetro de 5/8" e comprimento de 2,5 m (5/8"x2,5m)	Site Termotécnica