

NILSON SANTOS MARCELLOS

Verificação da adequação de um sistema de proteção contra descargas atmosféricas de um estádio de futebol de acordo com a ABNT NBR

5419/2015

São Paulo

2017

NILSON SANTOS MARCELLOS

VERIFICAÇÃO DA ADEQUAÇÃO DE UM SISTEMA DE PROTEÇÃO
CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS DE UM ESTÁDIO DE
FUTEBOL DE ACORDO COM A ABNT NBR 5419/2015

Monografia apresentada à Escola Politécnica
da Universidade de São Paulo para a
obtenção do título de Especialista em
Engenharia de Segurança do Trabalho

São Paulo

2017

RESUMO

Os acidentes envolvendo descargas atmosféricas vitimaram quase duas mil pessoas nos últimos 15 anos e além dos danos materiais e da interrupção de importantes serviços públicos. No caso de estádios de futebol estas vítimas fatais chegam a 8% do total, no caso do Brasil, devido as particularidades de exposição e de utilização. Até 2005 os sistemas de captação, de descida e de dissipação das correntes elétricas das descargas atmosféricas eram projetados, construídos, inspecionados e mantidos conforme a norma ABNT NBR 5419/2005. A partir de junho de 2015 foi publicada a nova norma ABNT NBR 5419/2015, que altera substancialmente as condições de projeto e de montagem desses sistemas acrescentando uma nova metodologia destinada ao gerenciamento do risco e estabelece um método detalhado e criterioso para a implantação de um sistema de proteção. Foram estabelecidos testes de medição de continuidades das estruturas, verificação da resistividade do solo e do arranjo físico do anel de aterramento, agora obrigatório, para suportar os efeitos eletromagnéticos da corrente de descarga e esforços acidentais previsíveis sem ser ter seus componentes danificados. Foi estabelecido como método a avaliação da conformidade do projeto, a inspeção da montagem e a realização dos testes de medição, cujos resultados possibilitaram a avaliação da instalação. A análise das condições da instalação e dos resultados possibilitou concluir e atestar que o sistema de proteção contra descargas atmosféricas encontra-se em plena condição de exercer sua função de garantir funcionalidade e segurança da instalação e assim permitiu a sua liberação de uso para trabalhadores e usuários.

Palavras-chave: Proteção contra descargas atmosféricas. Teste de continuidade de estruturas.

ABSTRACT

The accidents involving atmospheric discharges have killed almost 2,000 people in the past 15 years and beyond the material damage and disruption of important public services. In the case of football stadiums these fatalities amount to 8% of the total, in the case of Brazil, due to the particularities of exposure and use. Up to 2005 the systems for collecting, lowering and dissipating electric currents from atmospheric discharges were designed, constructed, inspected and maintained in accordance with NBR 5419/2005. In June of 2015, the new regulation NBR 5419/2015 has been published, which substantially alters the design and assembly conditions of these systems, by adding a new methodology for risk management and establishing a detailed and judicious method for the implementation of a system of protection. The systems design aims to guarantee the control of levels for dangerous electrical potentials developed during the descent and the dispersion of the discharge through the soil. Measurements of structural continuities, soil resistivity check and ground ring physical arrangement, now mandatory, have been established to withstand the electromagnetic effects of the discharge stream and foreseeable accidental stresses without having their components damaged. This work has the objective of verifying that the existing system of protection against atmospheric discharges of a regional soccer stadium is able to guarantee the conditions of safety and of performance. The method was designed to assess project compliance, assembly, inspection, and performance of recommended continuity measurement tests using specific equipment. The condition analysis for the installation and the results allowed to conclude and attest that the system of protection against atmospheric discharges is in full condition to perform its function for guaranteeing functionality and safety of the installation, which allows its release for workers to use.

Keywords: Protection against atmospheric discharges. Continuity test of structures.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Estrutura da norma NBR 5419/2015.....	20
Figura 2 - Espessura mínima de chapas metálicas ou tubulações metálicas em sistemas de captação.....	21
Figura 3 - Conexão dos terminais do aparelho (miliohmímetro)	23
Figura 4 - Medição por queda de potencial.....	25
Figura 5 - Método de Wenner.....	26
Figura 6 - Arranjo geral: campo, cobertura, pilares e arquibancadas.....	29
Figura 7 - Ponto de acesso ao anel de aterramento para quadro de energia...	31
Figura 8 - Ponto de acesso ao anel de aterramento geral.....	32
Figura 9 - Inserto metálico na parte inferior da ferragem estrutural.....	33
Figura 10 - Acesso a cobertura metálica para inspeção e medição.....	34
Figura 11 - Medição de espessura do telhado.....	35
Figura 12 - Conexão da estrutura da cobertura a ferragem estrutural de pilar, típico 1.....	36
Figura 13 - Conexão da estrutura da cobertura a ferragem estrutural do pilar, típico 2.....	36
Figura 14 - Vista geral do edifício educacional.....	37
Figura 15 - Vista ampliada do edifício educacional.....	38
Figura 16 - Miliohmímetro, lado do conector na base do pilar.....	40
Figura 17 - Miliohmímetro, lado do conector no topo do pilar.....	40
Figura 18 - Conexão parte superior do pilar.....	41
Figura 19 – Posicionamento do conector, vista do pilar.....	42
Figura 20 – Conexão no inserto na base do pilar.....	42
Figura 21 – Esquema de medição entre a parte superior e o anel de aterramento.....	44
Figura 22 – Montagem do equipamento para medição entre a parte superior e o anel de aterramento.....	45
Figura 23 – Identificação de Pilar para medição.....	46
Figura 24 – Valores medidos de resistência de aterramento, Ponto TM01....	46
Figura 25 – Valores medidos de resistência de aterramento, Ponto TM02....	47
Figura 26 – Valores medidos de resistência de aterramento, Ponto TM03....	47
Figura 27 – Resistência de trecho de ferragem.....	48

Figura 28 – Ensaio de continuidade para verificação final.....	49
Figura 29 – Verificação dos volumes protegidos pelo método da esfera rolante.....	50
Figura 30 – Instalações metálicas: visão geral.....	51
Figura 31 – Instalações metálicas tipo guarda corpo.....	52
Figura 32 – Locação das instalações metálicas tipo grades e guarda corpo..	53
Figura 33 – Indicação das conexões de aterrramento.....	56
Figura 34 –Descrição dos Pontos de Aterramento.....	57
Figura 35 – Montagem em coluna metálica	60
Figura 36 – Montagem em tela metálica.....	60
Figura 37 – Montagem em tubo metálica.....	61
Figura 38 – Montagem em barra chata de alumínio	61

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Comprimento mínimo do Eletrodo de Aterramento de acordo com a Classe do SPDA.....	24
--------------------------------------------------------------------------------------------------	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT NBR	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABNT/CB-02	Comitê Brasileiro de Eletricidade
CE-03 064.10	Comissão de Estudos de Proteção contra Descargas Atmosféricas
ELAT	Laboratório de Eletricidade Atmosférica
IEC	International Electrotechnical Commission
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
SPDA	Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas

LISTA DE SÍMBOLOS

BEL	barra de ligação de aterramento local
CM	identificação de medição de resistência de continuidade de armadura
E	borne eletrodo auxiliar de corrente
G0X	designação de instalações metálicas (grades, divisórias, guarda corpo)
I	corrente de ensaio
IT	esquema de aterramento no qual o neutro da fonte não é aterrado e massas
l_1	comprimento mínimo do anel de aterramento
P0X	designação pilar de concreto
r_e	raio médio da área abrangida pelo anel de aterramento
S	borne eletrodo auxiliar de potencial
TM0X	identificação ponto de medição de resistência de aterramento
T0X	ponto de recomendação de aterramento
TT	esquema de aterramento no qual neutro da fonte e massas metálicas são aterradas metálicas aterradas

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
1.1 OBJETIVO	16
1.2 JUSTIFICATIVA.....	16
2 REVISÃO DA LITERATURA.....	17
3 MATERIAIS E MÉTODOS	27
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	28
4.1 ÁREAS AVALIADAS.....	28
4.1.1 Área do Campo e das Arquibancadas.....	28
4.1.2 Edifício Educacional.....	30
4.2 CONDIÇÕES ATUAIS DO SISTEMA DE SPDA	30
4.2.1 Inspeção do subsistema de Aterramento	30
4.2.2 Inspeção do subsistema de Descida	33
4.2.3 Inspeção do subsistema de Captação de Descargas	34
4.2.4 Inspeção do sistema de proteção do Edifício Educacional	37
4.3 AVALIAÇÃO DA CONFORMIDADE DO SISTEMA DE SPDA DE ACORDO COM A NORMA ABNT 5419/2015.....	38
4.3.1 Verificação das características do subsistema de Aterramento.....	38
4.3.2 Verificação das características do subsistema de Descidas.....	39
4.3.3 Identificação do pontos de medição e apresentação dos valores de resistência de aterramento.....	45
4.3.4 Identificação do pontos de medição e apresentação dos valores de ensaio de continuidade das descidas.....	48
4.4 VERIFICAÇÃO DO POSICIONAMENTO DO SUBSISTEMA DE CAPTAÇÃO.....	50
4.5 VERIFICAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE EQUIPOTENCIALIZAÇÃO DAS INSTALAÇÕES METÁLICAS.....	50
4.5.1 Procedimento para execução do aterramento das instalações metálicas.....	57
4.6 DISCUSSÃO DO RESULTADOS.....	62
4.7 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	65
4.7.1 Subsistema de aterramento.....	65
4.7.2 Subsistema de captação e de descida.....	65

4.7.3 Equipotencialização das Instalações metálicas.....	66
5 CONCLUSÃO.....	67
REFERÊNCIAS.....	68
APÊNDICE 1.....	69
APÊNDICE 2.....	70

1 INTRODUÇÃO

Os acidentes envolvendo descargas atmosféricas vitimaram quase duas mil pessoas nos últimos 15 anos além dos danos materiais e da interrupção de importantes serviços públicos. No caso de estádios de futebol estas vítimas fatais chegam a 8% do total, no Brasil, devido as particularidades de exposição e de utilização (ELAT-INPE, 2014).

1.1 OBJETIVO

Este trabalho tem objetivo de avaliar as instalações de proteção contra descargas atmosféricas de um estádio regional de futebol.

1.2 JUSTIFICATIVA

Todo sistema de proteção contra descargas atmosféricas tem o propósito de evitar a incidência da descarga em partes das edificações onde poderia provocar danos materiais e além disto evitar o contato das pessoas com os correspondentes potenciais elétricos. O sistema visa garantir o controle dos níveis de potenciais elétricos perigosos desenvolvidos durante a descida e a dispersão da descarga pelo solo. Os órgãos de fiscalização das edificações exigem que os profissionais de engenharia elétrica assumam a responsabilidade pelo projeto, pela execução e manutenção destes sistemas de proteção. Assim, uma vez construída, a edificação deverá passar pelo processo de inspeção pelo profissional que será o responsável legal.

Apesar de considerarmos um estádio com um ambiente no qual concentram-se grande quantidade de pessoas durante um tempo relativamente curto, nos dias que antecedem uma partida de futebol existem diversas equipes de funcionários de empresas envolvidas na preparação da instalação para o espetáculo previsto.

Estas equipes são compostas por trabalhadores das empresas de limpeza, de manutenção, de sistemas de rádio e televisão e outros que durante vários dias circulam pelas instalações cumprindo suas atribuições. Assim, esta instalação

também deve ser projetada, executada e mantida de forma a garantir as condições de funcionalidade e de segurança quanto a proteção contra as descargas atmosféricas.

No caso exposto, o estádio de futebol regional foi construído e antes de entrar em funcionamento pleno, os órgãos de fiscalização exigiram que fosse apresentada a anotação de responsabilidade técnica do sistema de proteção contra descargas atmosféricas. Como a construtora já tinha entregue a obra há algum tempo e não existiam relatórios de montagem e de testes que poderiam ter sido realizados durante a construção, tornou-se necessário elaborar um plano de avaliação, de inspeção e de medição da instalação a fim de possibilitar a conclusão sobre a funcionalidade do sistema instalado. Neste caso, pode-se constatar que a obra foi executada no período anterior ao ano de 2015, quando a norma vigente de proteção contra descargas atmosféricas era a ABNT NBR 5419/2005.

Assim, o trabalho consiste, no primeiro momento, na realização da análise do projeto e da execução da obra verificando a conformidade com a norma vigente na época da construção e a seguir, foi realizada uma segunda análise, agora sob a luz, da norma atual, tendo em vista as novas exigências e novas metodologia de avaliação. Foram estabelecidos testes de medição de continuidade das estruturas, verificação da resistividade do solo e do arranjo físico do anel de aterramento, agora obrigatório para suportar os efeitos eletromagnéticos da corrente de descarga e esforços acidentais.

2 REVISÃO DA LITERATURA

As descargas atmosféricas durante a história da humanidade constitui-se em alguma preocupação para a segurança das pessoas e das propriedades. Tratando-se de um fenômeno elétrico, que é a passagem de correntes elétricas entre a terra e as nuvens, pode-se associar perdas de vidas e danos as edificações, as plantações e aos animais.

O Laboratório de Eletricidade Atmosférica – Elat, do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE declara que entre 2000 e 2014 ocorreram 1792 mortes por raios no Brasil, sendo 8% em campos de futebol.

Os mecanismos de geração das descargas atmosféricas são estudados e modelados a bastante tempo e são caracterizadas como sucessivas descargas de características bem definidas, conforme analisadas por Cooray (2010).

O principal meio de evitar os efeitos danosos são os sistemas de proteção contra descargas caracterizados por componentes de captação, de descida e de aterramento, que é a transferência da corrente para a terra num menor tempo possível. Estes componentes podem ser artificialmente construídos na edificação ou podem ser utilizados componentes naturais como estruturas, telhados e fundações. Um estudo detalhado destes componentes naturais foi realizado por Sueta (2005) que aborda os danos físicos produzidos nas estruturas.

Nas plantas industriais, constituídas por conjuntos de edificações, equipamentos e estruturas externas são realizados serviços de operação e de manutenção que podem expor trabalhadores a situação de risco frente as descargas atmosféricas. Foi realizado um estudo sobre os possíveis danos que as descargas atmosféricas podem causar em trabalhadores nas situações de manutenção programada em que envolve grande quantidade de pessoas em espaços reduzidos e nas áreas externas por Coelho (2011). Neste caso, foi utilizada a ferramenta de análise e quantificação de risco proposta pela norma IEC 62305-2, apresentando os valores de risco nos serviços de parada de manutenção em diversas situações.

No ano de 2006, foi publicado pelo IEC, através do comitê TC81, a série IEC 62305 que contém 4 volumes referentes a SPDA, Parte 1: Princípios Gerais Parte 2: Gerência de risco Parte 3: Danos físicos a estrutura e perigo de vida Parte 4: Sistemas eletroeletrônicos embarcados.

Até 2005 os sistemas de captação, de descida e de dissipação das correntes elétricas das descargas atmosféricas eram projetados, construídos, inspecionados e mantidos conforme a norma ABNT NBR 5419/2005. A partir de junho de 2015 foi publicada a nova norma NBR ABNT 5419/2015, que altera substancialmente as condições de projeto e de montagem desses sistemas acrescentando uma nova metodologia

destinada ao gerenciamento do risco e estabelece um método detalhado e criterioso para a implantação de um sistema de proteção.

A atual norma brasileira ABNT NBR 5419/2015 foi elaborada pelo Comitê Brasileiro de Eletricidade (ABNT/CB-03) pela Comissão de Estudo de Proteção contra Descargas Atmosféricas (CE-03:064.10) e teve como base a norma IEC acima referenciada. Esta norma cancela e substitui a norma ABNT NBR 5419/2005.

A norma ABNT NBR 5419/2015 é composta por 04 partes conforme segue descrito:

ABNT NBR 5419-1:2015 Proteção contra descargas atmosféricas Parte 1: Princípios gerais;

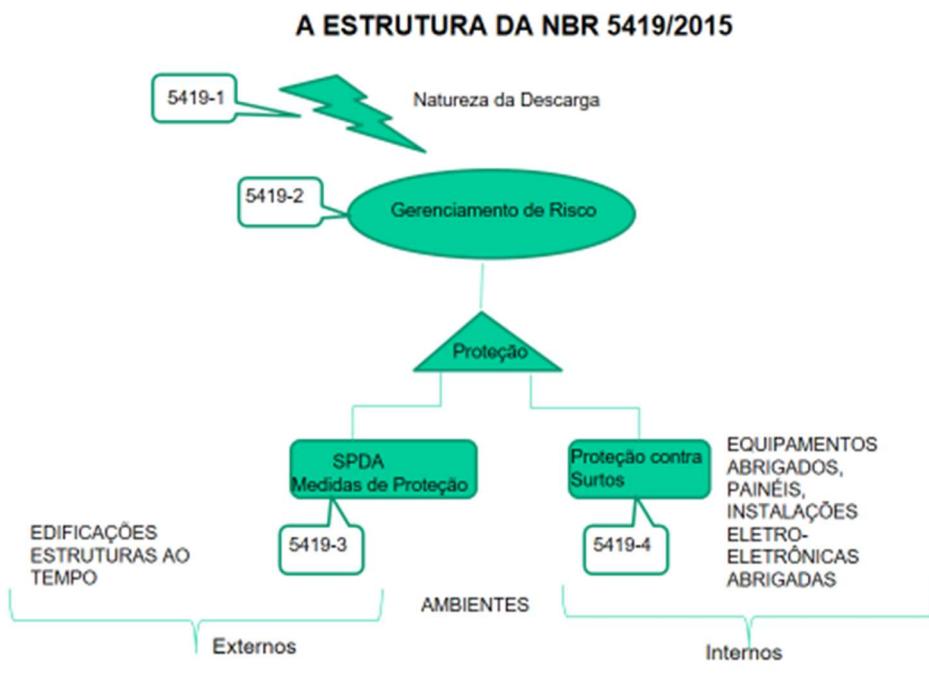
ABNT NBR 5419-2:2015 Proteção contra descargas atmosféricas Parte 2: Gerenciamento de risco;

ABNT NBR 5419-3:2015 Proteção contra descargas atmosféricas Parte 3: Danos físicos a estruturas e perigos à vida;

ABNT NBR 5419-4:2015 Proteção contra descargas atmosféricas Parte 4: Sistemas elétricos e eletrônicos internos na estrutura

Quando comparamos com a norma anterior vigente, de 2005, observamos um grande aperfeiçoamento e detalhamento na aplicação dos critérios de análise de risco, incluindo uma metodologia de determinação da necessidade de proteção que considera o conceito de redução de perdas sociais como vidas humana, serviço público e patrimônio cultural. Enquanto as Parte 1 e 2 descrevem as ameaças e os riscos, a Parte 3 descreve as medidas de controle que envolvem os sistemas de proteção das estruturas e as vidas e a Parte 4, referencia-se as medidas de proteção dos sistemas elétricos e eletrônicos. A Figura 01 mostra a estrutura da norma.

Figura 01 – Estrutura da Norma NBR 5419/2015



Arquivo Pessoal (2017)

A norma de 2005, apresentava uma avaliação geral do risco de proteção e enfocava as medidas de proteção do sistema definindo as características dos componentes de captação, de descidas e de aterramento. Ambas as normas definem os três subsistemas destinados a proteger uma edificação ou estrutura da incidência das descargas atmosféricas. O subsistema de captação destina-se a interceptar as descargas, sendo constituídos por condutores projetados ou pela própria estrutura metálica das coberturas. O subsistema de descida tem a função de conduzir a corrente de descarga a partir do captor até o subsistema de aterramento. O subsistema de aterramento tem a finalidade de conduzir e dispersar a corrente de descarga atmosférica para a terra.

Os componentes da instalação de proteção tem suas características específicas e no caso da cobertura metálica ser utilizada com subsistema de captação, a norma de 2015 muda a forma de apresentação e estabelece que para que seja considerada como componente natural de captação deve-se observar requisitos, que neste caso refere-se a espessura mínima que deve estar de acordo com a Figura 02 abaixo:

Figura 02: Espessura mínima de chapas metálicas ou tubulações metálicas em sistemas de captação

Classe do SPDA	Material	Espessura ^a t mm	Espessura ^b t' mm
I a IV	Chumbo	-	2
	Aço (inoxidável, galvanizado a quente)	4	0,5
	Titânio	4	0,5
	Cobre	5	0,5
	Alumínio	7	0,65
	Zinco	-	0,7

^a t previne perfuração, pontos quentes ou ignição.

^b t' somente para chapas metálicas, se não for importante prevenir a perfuração, pontos quentes ou problemas com ignição.

ABNT NBR 5419-3:2015

Quanto ao subsistema de descida a norma ABNT NBR 5419/2015 estabelece, de forma mais detalhada e sistematizada, a realização de ensaios para garantir valores máximos de resistências nestas descidas naturais a fim de garantir o escoamento num tempo mais rápido possível das correntes de descarga e evitar o desenvolvimento de potenciais elétricos perigosos. Em conformidade com o que é estabelecido na ABNT NBR 5419/2015, o uso das armaduras do concreto como parte integrante do SPDA natural pode ser utilizado desde que sejam seguidas as recomendações descritas na Norma.

Os ensaios de continuidade das armaduras são realizados com dois objetivos:

- para verificação de continuidade elétrica de pilares e trechos de armaduras na fundação (primeira verificação);
- após a instalação do sistema, para verificar a continuidade de todo o sistema envolvido (verificação final).

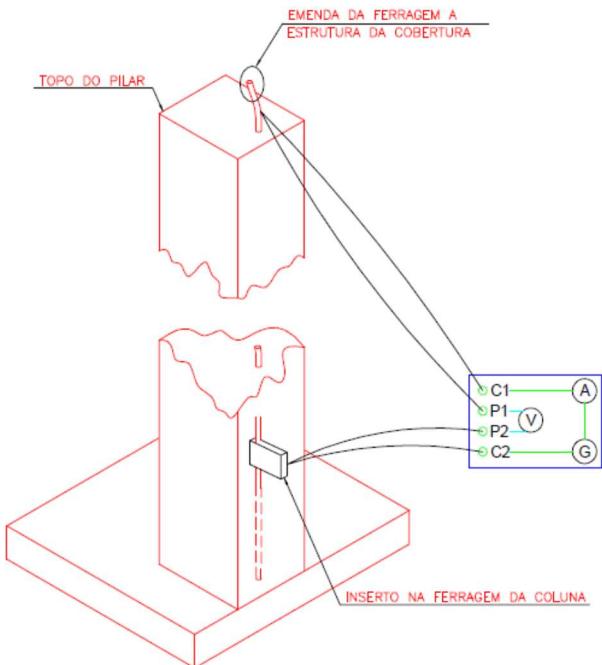
A primeira verificação é realizada durante a execução da obra, preferencialmente e individualmente em todos os pilares antes da conexão das ferragens com a malha

geral de aterramento. Recomenda-se a utilização de aparelho específico para esta situação, devido aos grandes comprimentos dos cabos envolvidos. O valor de resistência aceitável deve ser menor que 1 Ohm.

No caso da verificação final, que é realizada após a conclusão do sistema de proteção contra descargas atmosféricas, é feita a medição entre um ponto mais alto do sistema de captação e o sistema de aterramento já implantado com seus pontos de acessos. O valor de resistência aceitável máximo é de 200 mΩ.

O instrumento utilizado, no dois casos, conforme o Anexo F da ABNT NBR 5419/2015, para medir a continuidade, deve injetar uma corrente elétrica entre 1 A e 10 A, com corrente contínua ou alternada com frequência diferente de 60 Hz e seus múltiplos, entre os pontos extremos da armadura sob ensaio, sendo capaz de, ao mesmo tempo que injeta esta corrente, medir a queda de tensão entre estes pontos. Considerando que o afastamento dos pontos onde se faz a injeção de corrente pode ser de várias dezenas de metros, o sistema de medida deve utilizar uma configuração de quatro fios, sendo dois para corrente e dois para potencial conforme mostra a Figura 03, evitando assim o erro provocado pela resistência própria dos cabos de ensaio e de seus respectivos contatos. Este esquema de medição destina-se a primeira verificação. O equipamento é um miliohmímetro, tipo Ponte de Kelvin Digital, de quatro terminais, em escalas cuja corrente atende às exigências anteriormente prescritas e possui um cabo de 3 metros conectado na parte inferior da ferragem e o outro de 98 metros conectado na parte superior no lado da cobertura ou subsistema de captação (Fabricante INSTRUM Modelo MILLIOHM1). Nestes casos, não é admissível a utilização de multímetro convencional na função de ohmímetro, pois a corrente que este instrumento injeta no circuito é insuficiente para obter resultados estáveis e confiáveis. A especificação do miliohmímetro é mostrada no APÊNDICE 1.

Figura 03 – Conexão dos terminais do aparelho (miliohmímetro)



Arquivo pessoal (2017)

Referindo-se agora ao subsistema de aterramento uma diferença importante entre as normas é a não citação do valor mínimo de resistência de aterramento em torno de $10\ \Omega$ que a norma de 2005 referenciava-se como parâmetro desejado. No entanto a norma atual exige que o subsistema de aterramento seja composto de um anel condutor no solo localizado no perímetro da edificação.

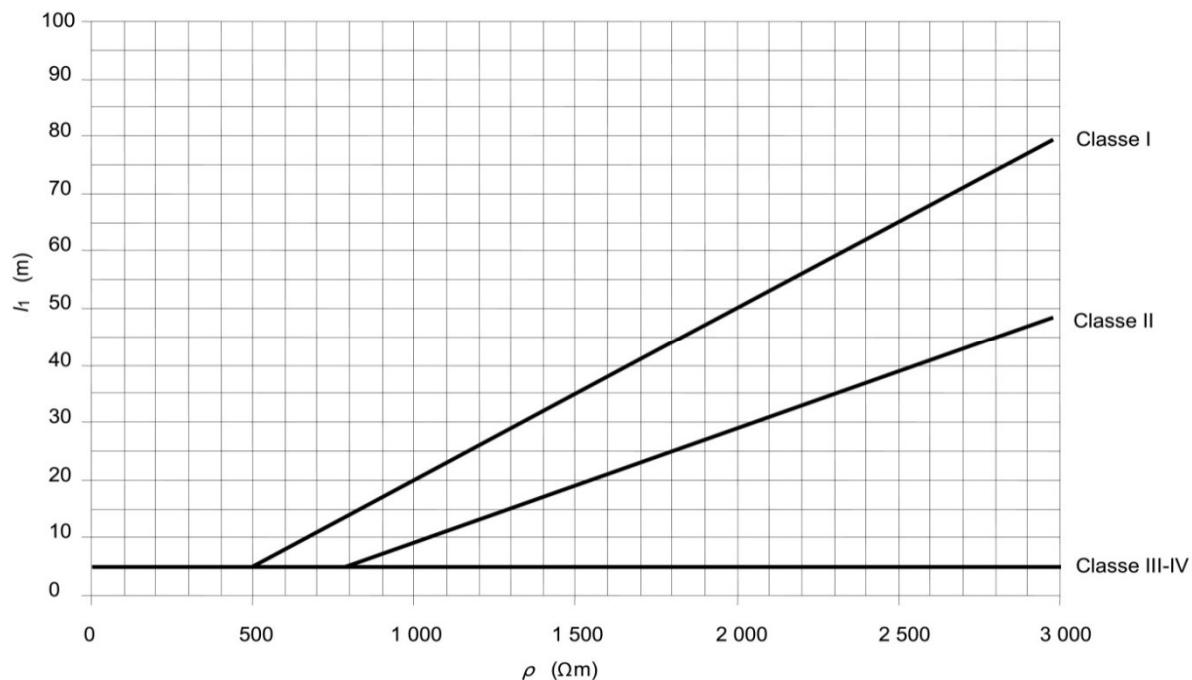
O dimensionamento deste anel deve obedecer duas condições. Primeiro deve ser eletricamente contínuo ao longo de toda sua extensão, contornando todo o volume de proteção, tendo pelo menos 80% do seu comprimento enterrado a, no mínimo, 50 centímetros de profundidade e afastado em torno de 1 metro das paredes onde estão instalados os condutores de descidas. A segunda condição deve atender a relação:

$$r_e \propto l_1$$

Nesta relação comprimento l_1 é obtido no gráfico mostrado no Gráfico 1, que o relaciona com a resistividade do solo em que o eletrodo de aterramento será instalado. Sendo:

r_e é o raio médio da área abrangida pelo eletrodo de aterramento em forma de anel. A classe de proteção definida para o estádio é CLASSE II, o que definirá o valor mínimo de r_e (raio médio da malha), (NBR 5419/2015).

Gráfico 1 – Comprimento mínimo do Eletrodo de Aterramento de acordo com a Classe do SPDA



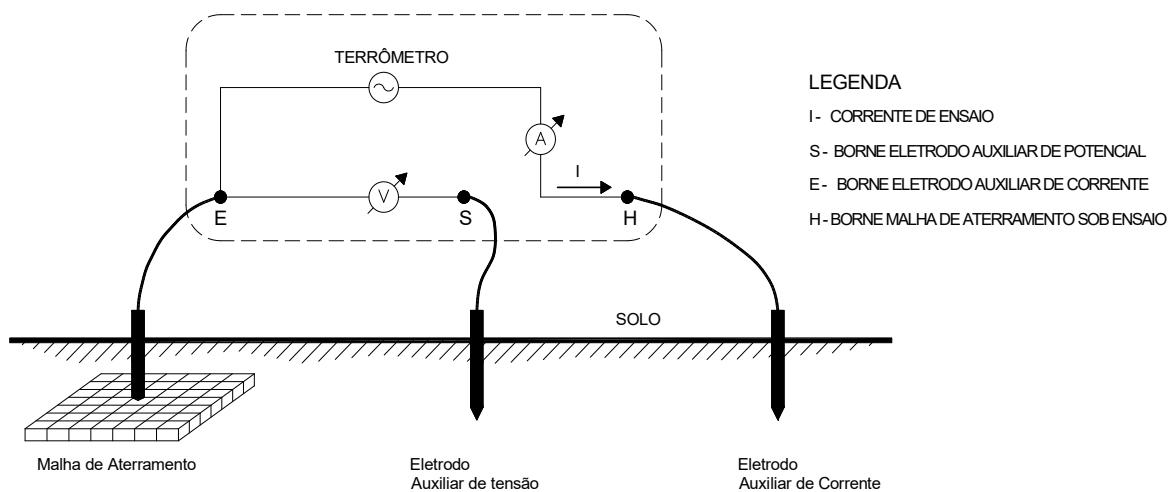
ABNT NBR 5419/2015

Quanto a medição da resistência do aterramento as normas recomendam a utilização do método da queda de potencial, por sua comodidade e alto grau de confiabilidade na prática. Este método é recomendado para medições por meio de equipamentos específicos, por exemplo, o Terrômetro. O método consiste, basicamente e de acordo com a ABNT NBR 15749, conforme mostra a Figura 04, em administrar a circulação de uma corrente através de uma malha de terra, a qual se quer saber o valor da resistência ôhmica de aterramento, estando ela na condição de ensaio, e medir a tensão entre essa e o ponto terra remoto. Para isso foi utilizado um eletrodo, aqui

denominado, auxiliar de corrente e um eletrodo auxiliar de potencial, também chamado terra de referencial ou terra remoto (ABNT NBR 15749).

A figura abaixo mostra esquematicamente o método.

Figura 04 – Medição por queda de potencial



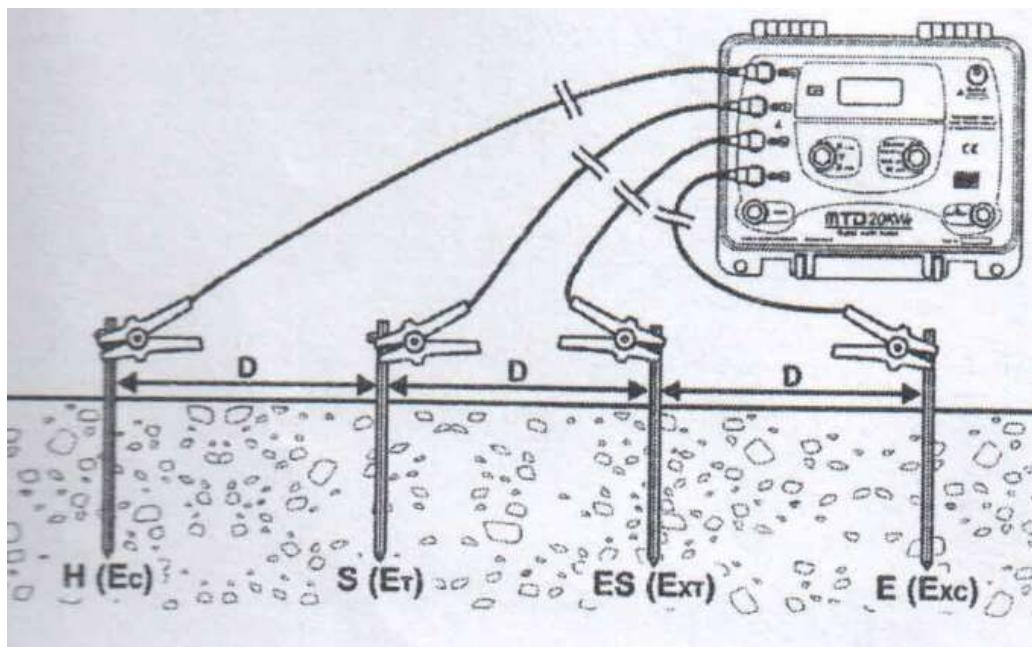
ABNT NBR 15749/2009

As características do instrumento utilizado na medição bem como os números dos certificados de calibração são mostrados no Apêndice 1.

Visando determinar a resistividade do terreno a fim de verificar se o anel de aterramento possui o comprimento mínimo estabelecido na norma por meio do Gráfico 01 mostrado anteriormente, foi adotado o método de estratificação do solo em duas camadas conforme estabelece a norma ABNT NBR 7117/2012 no seu ANEXO A. A utilização deste método exige a medição da resistividade do solo em várias distâncias previamente definidas para o cálculo posterior dos correspondentes valores de resistividade a fim de obter a curva resistividade x distância. A medição da resistividade do solo é realizada com o terrômetro de quatro hastes denominado Método de Wenner, cujo procedimento é estabelecido no ANEXO B e C da mesma norma e o esquema é mostrado na Figura 05. As características deste instrumento e a

demonstração do cálculo da resistividade é mostrada no APÊNDICE 2 – Determinação da Resistividade do Solo.

Figura 05 – Método de Wenner



Manual do Fabricante MEGABRÁS, GU 1267 (2008)

3 MATERIAIS E MÉTODOS

O estádio encontra-se quase construído e tem capacidade para aproximadamente 20.000 pessoas nos eventos e quase diariamente dezenas de trabalhadores desempenham as atividades de limpeza, conservação e manutenção nas suas diversas áreas e ambientes. Diversas estruturas compõem a totalidade do parque esportivo que é constituído pelo campo de futebol, portarias de entrada e venda de ingressos, a cobertura em forma de anel suspenso, as arquibancadas cobertas, áreas de circulação de público e um edifício educacional.

Torna-se necessária a realização de inspeção e avaliação do sistema de proteção contra descargas atmosféricas. Esta verificação tem a finalidade de verificar se o projeto, a montagem e as características dos componentes atendem aos requisitos normativos de funcionalidade e de segurança exigido pela Norma ABNT NBR 5419/2015.

Visando obter o conhecimento pleno da reais condições das instalações foi necessário definir três etapas sucessivas que compreenderam a inspeção, a verificação e as medições dos fatores ou parâmetros referenciados nas normas e que seriam determinantes na avaliação final da segurança. A realização do serviço de inspeção foi precedida da obtenção do projeto de proteção contra descargas atmosféricas e primeiramente da análise deste a fim de verificar se foi realizado em conformidade com a norma ABNT NBR 5419/2005. O projeto de proteção contra descargas atmosféricas é constituído por desenhos onde constam arranjos de locação do anel geral, detalhes de ligação da armadura da ferragem com o anel e detalhes de ligação da estrutura do telhado com armadura de ferragem. A etapa seguinte consistiu então na avaliação do projeto e no levantamento das instalações com a finalidade de verificar se a execução foi devidamente realizada e se os procedimentos de execução permitem que a instalação desempenhe a função conforme prevista.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

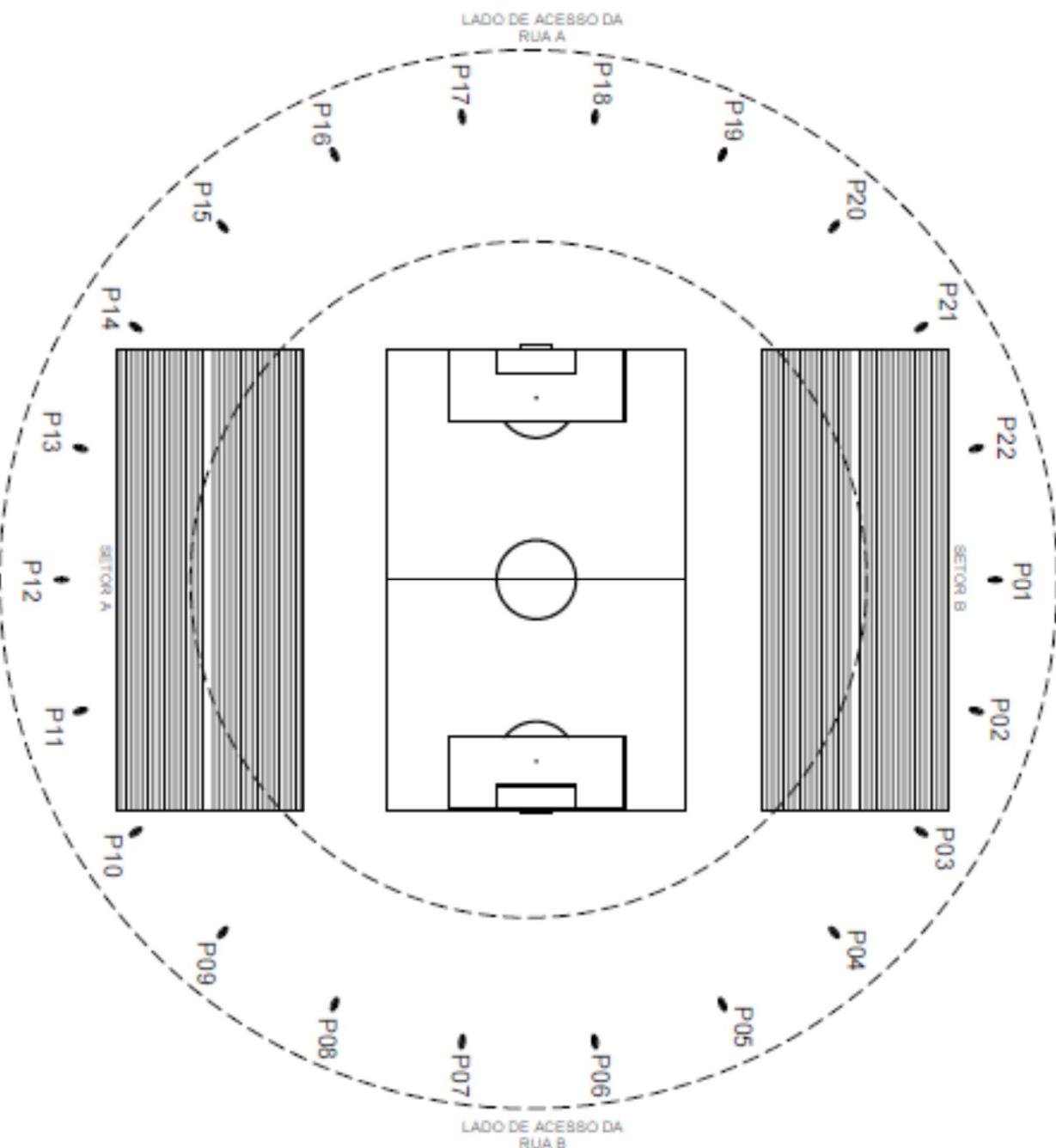
4.1 ÁREAS AVALIADAS

As etapas de inspeção, verificação foram desenvolvidas nas áreas do campo e das arquibancadas e num edifício para fins educacionais localizado em uma das áreas de acesso ao estádio.

4.1.1 Área do Campo e das Arquibancadas

No caso de área aberta como o campo de futebol, a concepção de projeto contempla a proteção contra descargas atmosféricas na estrutura de cobertura metálica, que é constituída por telhado em forma de anel sustentado pelas colunas de concreto e demais elementos estruturais. A Figura 06 mostra de forma esquemática o arranjo estrutural destes pilares e do anel da cobertura metálica. O projeto de proteção contra descargas atmosféricas prevê como sistema subsistema de captação de descargas atmosféricas a própria estrutura de cobertura que é construída por telhas metálicas constituindo assim um elemento natural de captação e condução de descargas, devidamente previsto na norma. Nas estruturas de sustentação do telhado, que são os 22 pilares de concreto, o projeto prevê o subsistema de descidas que é realizado por meio de ferragens de dimensões apropriadas dentro dos pilares que foram interligadas desde a base no nível do solo até a sua parte superior, na sustentação do telhado.

Figura 06 – Arranjo geral: campo, cobertura, pilares e arquibancadas



Arquivo Pessoal (2017)

No caso do subsistema de aterramento foi previsto sua realização por meio de um cabo de cobre de seção 50 mm² enterrado no solo em toda a circunferência em torno e próxima dos 22 pilares de sustentação do telhado. Este cabo que se caracteriza

como uma malha de aterramento tem a finalidade de drenar para a terra no menor tempo possível as correntes oriundas das descargas que incidem no telhado metálico e por meio dos elementos estruturais e das descidas previstas nos pilares venham para o solo de forma adequada evitando a sobre-elevação da temperatura e do potencial elétrico nos componentes, garantindo com isto a integridade da instalação e a segurança das pessoas.

Avaliando o projeto, podemos afirmar que o sistema previsto é adequado para proteger a estrutura contra as descargas atmosféricas desde que tenha sido executado em conformidade com o projeto utilizando os procedimentos de montagem recomendados e que os componentes estejam em bom estado de conservação.

4.1.2 Edifício Educacional

Neste caso foi previsto no projeto um sistema de captação na área de cobertura que tem o subsistema de captação composto por cabos de cobre nu de secção 35 mm² que são interligados ao subsistema de descida também constituído por cabos 35mm² que descem ao subsistema de aterramento no solo. Este subsistema de aterramento está interligado a malha de aterramento geral da área de campo e das arquibancadas.

4.2 CONDIÇÕES ATUAIS DO SISTEMA DE PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

4.2.1 Inspeção do subsistema de Aterramento

Conforme consta no projeto original consultado, o sistema é constituído por um anel de cobre nu seção 50mm² que circunda pelo lado externo e enterrado no solo, todos os 22 pilares que fazem parte da estrutura. Foi realizado um levantamento com o objetivo de constatar a execução e existência deste anel de aterramento e para tanto, foi percorrida toda a circunferência do estádio, observando junto ao solo os correspondentes pontos de acesso. Diversos pontos foram encontrados e posteriormente constatou-se, por meio da medição da resistência ôhmica que estes pontos pertencem de fato ao anel geral. A seguir a Figura 07 mostra um destes pontos onde conseguiu-se acesso ao ponto de interconexão a malha geral.

Figura 07 – Ponto de acesso ao anel de aterramento para quadro de energia



Arquivo Pessoal (2017)

Observando a figura acima pode-se notar o cabo nu entrando na base de uma pequena coluna, que tem a finalidade de aterrurar um quadro elétrico que assim está conectado a malha geral.

A Figura 08 mostra, onde está o conector verde, ponto de conexão a malha de aterramento que penetra no solo.

Figura 08 – Ponto de acesso ao anel de aterramento geral



Arquivo Pessoal (2017)

A Figura 09 mostra um inserto metálico, soldado na ferragem que se estende até a parte superior do pilar e serve para conduzir a descarga do telhado para o anel de aterramento da malha geral no solo. No extremo do inserto pode-se observar o ponto de conexão a malha de aterramento.

Assim, pode-se constatar que efetivamente o sistema de aterramento foi executado em conformidade com o projeto com relação a utilização da ferragem com elemento de descida. Posteriormente será demonstrada a verificação elétrica da continuidade destas ferragens.

Figura 09 – Inserto metálico na parte inferior da ferragem estrutura



Arquivo Pessoal (2017)

4.2.2 Inspeção do subsistema de Descidas

Conforme pode ser visto na Figura 09, na qual aparece a ferragem interna do pilar constatou-se que foram utilizadas duas varas de ferro amarradas entre si para constituírem as descidas do sistema de proteção contra descargas atmosféricas. Esta configuração está prevista no desenho original da obra.

4.2.3 Inspeção do subsistema de Captação de Descargas

Este sistema, conforme previsto na norma, é a própria cobertura metálica sendo que a mesma deve ser conectada ao sistema de descidas que no caso são as ferragens estruturais, referenciadas no item anterior. A fim de constatar as características da cobertura metálica do telhado e existência das conexões com os elementos de descida foi realizada a inspeção em todos 22 pilares na parte superior, notadamente nos pontos de apoio entre a estrutura metálica de sustentação do telhado e as extremidades dos pilares. A inspeção foi realizada acessando o telhado por meio de andaimes conforme mostra a Figura 10, primeiramente para constatar a existência da conexão e também posteriormente para conectar o terminal do aparelho de teste de injeção de corrente elétrica.

Figura 10 – Acesso a cobertura metálica para inspeção e medição



Arquivo Pessoal (2017)

Desta forma foi realizada a medição da espessura da telha metálica conforme pode ser mostrada na Figura 11, na qual verificou-se o valor de 1,2 mm.

Figura 11 –Medição de espessura do telhado



Arquivo Pessoal (2017)

Comparando-se o valor com a referência normativa da Figura 02 para a telha de aço, verificou-se que atende ao requisito, tornando assim suficiente para fazer parte, de forma eficiente, ao sistema de proteção contra descargas atmosférica no que se refere ao componente do subsistema de captação e condução.

Quanto aos procedimentos de execução necessários para garantir a conexão elétrica desta cobertura com os elementos de descida, neste caso, as ferragens destinadas a condução dentro dos pilares, precisa-se primeiramente verificar se existem as conexões destas ferragens com a estrutura de fixação das telhas metálicas. Conforme pode ser visto nas fotos apresentadas nas Figuras 12 e 13, ficou constatado que foram conectados cabos de cobre de seção 35 mm^2 , entre a estrutura metálica do telhado e a ferragem estrutural, já que este cabo penetra no concreto do pilar. Esta conexão cumpre a função de interligação elétrica do subsistema de captação e condução garantindo o escoamento da corrente de descarga. Foram inspecionados todos os pilares e confirmadas estas conexões.

Figura 12 – Conexão da estrutura da cobertura a ferragem estrutural de pilar, típico 1



Arquivo Pessoal (2017)

Figura 13 – Conexão da estrutura da cobertura a ferragem estrutural do pilar, típico 2



Arquivo Pessoal (2017)

4.2.4 Inspeção do sistema de proteção do Edifício Educacional

Conforme informado anteriormente este edifício teve seu sistema projetado de acordo com a norma vigente na época, no entanto, até o presente foram executados o subsistema de aterramento no solo e o subsistema de descida, faltando portanto, a execução do subsistema de captação, que deverá ser por meio de cabos nus 35 mm² montados sobre a cobertura. A Figura 14 mostra a vista geral do edifício educacional e a Figura 15 vê-se a vista ampliada. Neste caso verifica-se que não existem os sistemas de captação da cobertura e nem das descidas.

Figura 14 – Vista geral do edifício educacional



Arquivo Pessoal (2017)

Figura 15 – Vista ampliada do edifício educacional



Arquivo Pessoal (2017)

4.3 AVALIAÇÃO DA CONFORMIDADE DO SISTEMA DE SPDA DE ACORDO COM A NORMA ABNT NBR 5419/2015

No caso em estudo, o sistema de proteção já sendo existente, deve ser avaliado principalmente os aspectos que envolvem as características dos componentes utilizados tais como os subsistemas de captação, de descidas e de aterramento.

4.3.1 Verificação das características do subsistema de Aterramento

Nesta etapa, será verificado se o anel de aterramento executado apresenta as características de resistência mínima citado na norma ABNT NBR 5419/2005 e o comprimento mínimo referenciado na norma ABNT NBR 5419/2015. Assim, inicialmente foram realizadas as medições de resistência de aterramento no pontos acessíveis do anel de aterramento junto as bases dos pilares.

Uma vez obtidos os valores de resistência de aterramento do anel geral, resta realizar a verificação do comprimento mínimo deste anel referenciado na norma ABNT NBR 5419/2015 e mostrado no Gráfico 01. O raio médio calculado do anel geral r_e é de 127 m. A verificação deste valor, conforme a relaçãoposta pelo gráfico, depende do conhecimento da resistividade aparente do terreno.

Foi realizado uma medição com o terrômetro utilizando o método de Wenner e obtidos os valores de resistência para os espaçamentos entre 0,5 e 8 metros no terreno. A partir destes valores foi obtida a resistividade aparente, por meio da estratificação do solo em duas camadas, conforme é demonstrado no APÊNDICE 02.

Considerando este valor de resistividade e relação correspondente fornecida pelo Gráfico 1, verificou-se a conformidade do anel de aterramento com relação ao comprimento mínimo necessário para garantir a descargas da correntes no solo, sem produzir potenciais perigosos. O valor de resistividade média do solo foi de 123 $\Omega \cdot m$, o que determina, de acordo com o gráfico, um valor mínimo maior que 5 m. A malha de aterramento em forma de anel atende as exigências da ABNT NBR5419/2015.

4.3.2 Verificação das características do subsistema de Descidas

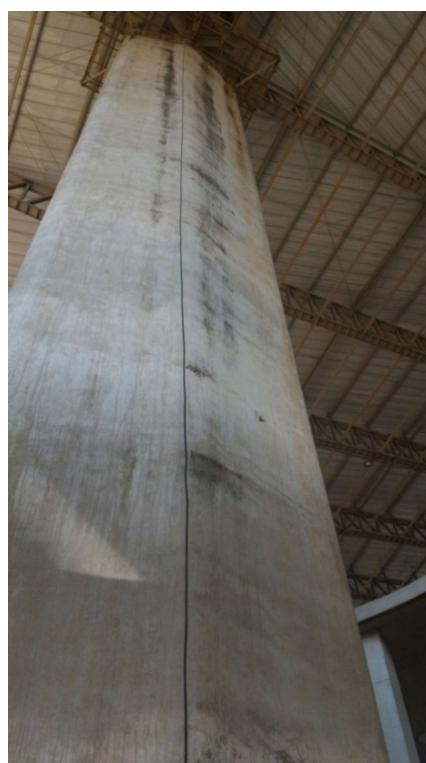
Uma vez concluída a fase de verificação dos requisitos exigidos para o subsistema anel geral de aterramento em termos de valores mínimos de resistência e de resistividade aparente segue-se para o subsistema de descidas que no caso são as armaduras de aço dispostas dentro das estruturas de concreto que constituem os diversos pilares mostrados no arranjo geral de implantação na Figura 06. As Figuras 16 e 17 mostram duas situações nas quais foram conectados os terminais de medição do instrumento, sendo uma na base do pilar e outra no topo.

Figura 16 – Miliohmímetro, lado do conector na base do pilar



Arquivo pessoal (2017)

Figura 17 – Miliohmímetro, lado do conector no topo do pilar



Arquivo pessoal (2017)

Tendo em vista que a edificação encontra-se construída e não é viável acessar todos os pilares com suas respectivas estruturas metálicas internas, optou-se para ensaiar um dos pilares com a finalidade de verificar se as condições previstas para o uso das armaduras de concreto foram satisfeitas.

Foi escolhido o Pilar de concreto P09 para realizar o ensaio. Na parte mais alta, próxima à cobertura, foi acessado o extremo superior da ferragem por meio do cabo nu que sai do concreto e está conectado a ferragem conforme prevê o projeto e mostrado na Figura 18. Na parte mais baixa, lado da fundação, foi feita a remoção do cobrimento de concreto com o objetivo de expor a armadura de aço e esta foi desconectada do anel de aterramento, num primeiro momento, a fim de obter resultados próximos aos que seriam obtidos na primeira verificação. Essa exposição foi realizada para tornar possível a fixação dos conectores terminais dos cabos de ensaio. A Figuras 19 mostra o posicionamento do conector pela parte superior do pilar, enquanto a Figura 20 mostra a conexão no inserto soldado na parte inferior da ferragem lado da base.

Figura 18 - Conexão parte superior do pilar



Arquivo pessoal (2017)

Figura 19 - Posicionamento do conector, vista do pilar



Arquivo pessoal (2017)

Figura 20 - Conexão no inserto na base do pilar



Arquivo pessoal (2017)

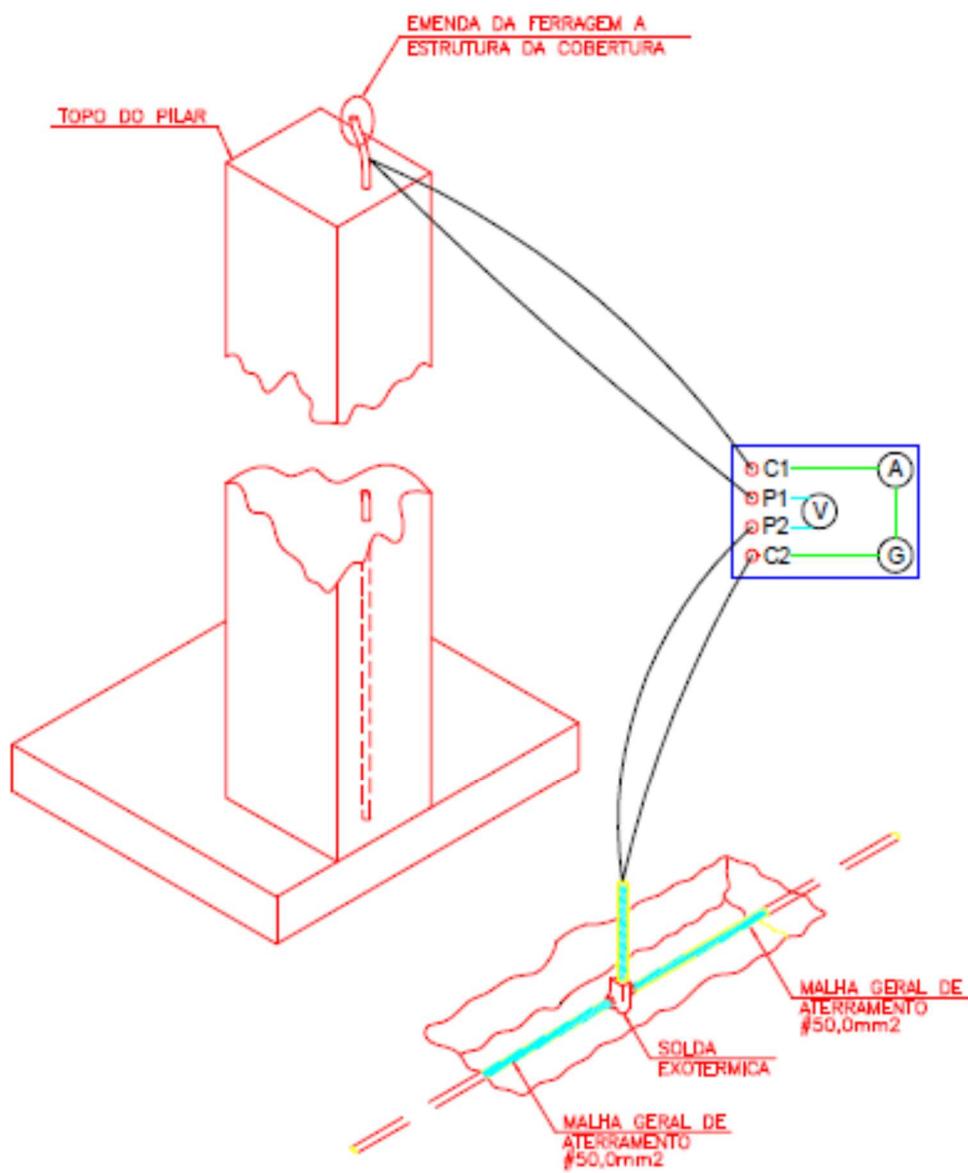
Esta verificação deveria ser realizada nos sistemas de proteção contra descargas atmosféricas que utilizam componentes naturais nas descidas, antes da conclusão da obra. A medição da resistência deve ser realizada entre a parte mais alta do subsistema de captação e o aterrramento. O valor máximo permitido para o ensaio de resistência, chamado de primeira verificação, nesse trecho é de $1\ \Omega$.

A restauração do pilar foi recomendada a fim de evitar penetração de umidade e restabelecer as condições do concreto o mais próximo possível de antes da realização da quebra e ainda, neste caso, que seja refeita a conexão do inserto com a malha de aterrramento principal.

Também foram realizadas várias medições utilizando a parte superior da estrutura e o ponto de aterrramento derivado da malha de terra principal em atendimento a denominada verificação final referida na norma para verificar a continuidade de todo o sistema envolvido.

Neste caso, a diferença com relação ao procedimento anterior foi a utilização de um ponto de referência da malha de aterrramento principal para o eletrodo que fica na base do pilar, conforme é mostrado nas Figuras 21 e 22.

Figura 21 – Esquema de medição entre a parte superior e o anel de aterramento



Arquivo pessoal (2017)

Figura 22 – Montagem do equipamento para medição entre a parte superior e o anel de aterramento



4.3.3 Identificação dos pontos de medição e apresentação dos valores de resistência de aterramento

Diante da necessidade de conhecer os valores de resistência ôhmica dos pontos de aterramento que derivam da malha de aterramento principal no solo, foram identificados pontos onde era possível acessar a malha geral enterrada. Estes pontos foram denominados TM01, TM02 e TM03 e suas posições coincidem respectivamente com os Pilares representados no arranjo geral da Figura 06. Os valores medidos são representados na Figura 23 a seguir.

Figura 23 – Identificação de Pilar para medição

Ponto Aterramento	TM01	TM02	TM03
Posição do Pilar	P09-a	P09-b	P20

Arquivo pessoal (2017)

A seguir, por meio das Figuras 24, 25 e 26 são apresentados os resultados obtidos:

Figura 24 – Valores medidos de resistência de aterramento, Ponto TM01

RESISTÊNCIA DE ATERRAMENTO – TM01	
LOCALIZAÇÃO	Pilar – P09-a
DATA DE MEDAÇÃO	31/05/2016
CLIMA	Seco, com Sol e nuvens.
TERRENO	Terra
TEMPERATURA	30 °C
MÉTODO DE MEDAÇÃO	3 medidas – 10% < 10m > +10% (Ponto -1)/Ponto 0/(Ponto +1)

	RESISTÊNCIA LIDA (Ω)	RESISTÊNCIA MÉDIA (Ω)
1ª MEDIDA (Ponto 0)	1,88	
2ª MEDIDA (Ponto -1)	1,68	
3ª MEDIDA (Ponto +1)	2,15	1,90

Arquivo pessoal (2017)

Figura 25- Valores medidos de resistência de aterramento, Ponto TM02

RESISTÊNCIA DE ATERRAMENTO – TM02	
LOCALIZAÇÃO	Pilar – P09-b
DATA DE MEDAÇÃO	31/05/2016
CLIMA	Seco, com Sol e nuvens.
TERRENO	Terra
TEMPERATURA	30 °C
MÉTODO DE MEDAÇÃO	3 medidas – 10% < 10m > +10% (Ponto -1)/Ponto 0/(Ponto +1)

	RESISTÊNCIA LIDA (Ω)	RESISTÊNCIA MÉDIA (Ω)
1ª MEDIDA (Ponto 0)	3,14	3,49
2ª MEDIDA (Ponto -1)	3,43	
3ª MEDIDA (Ponto +1)	3,91	

Arquivo pessoal (2017)

Figura 26- Valores medidos de resistência de aterramento, Ponto TM03

RESISTÊNCIA DE ATERRAMENTO – TM03	
LOCALIZAÇÃO	Pilar – P20
DATA DE MEDAÇÃO	31/05/2016
CLIMA	Seco, com Sol e nuvens.
TERRENO	Terra
TEMPERATURA	30 °C
MÉTODO DE MEDAÇÃO	3 medidas – 10% < 10m > +10% (Ponto -1)/Ponto 0/(Ponto +1)

	RESISTÊNCIA LIDA (Ω)	RESISTÊNCIA MÉDIA (Ω)
1ª MEDIDA (Ponto 0)	1,65	1,66
2ª MEDIDA (Ponto -1)	1,52	
3ª MEDIDA (Ponto +1)	1,81	

Arquivo pessoal (2017)

4.3.4 Identificação dos pontos de medição e apresentação dos valores de ensaio de continuidade das descidas

A fim de viabilizar o ensaio foram identificados os pilares nos quais foi possível acessar um ponto de aterramento próxima a sua base. Os pontos denominados CM-P08, CM-P09, CM-P10, mostrados na Figura 27 foram realizados para verificação de continuidade elétrica de pilares e trechos de armaduras na fundação, referenciando ao inserto soldado no extremo inferior que, neste caso, estava desconectado da malha principal, o que equivaleria a medição de primeira verificação, caso fosse garantida a desconexão da ferragem com o anel de aterramento. Foram realizadas medições de um pilar anterior e de outro posterior com relação ao Pilar – P09, que neste caso tem o extremo inferior da ferragem utilizado como referência.

Figura 27 – Resistência de trecho de ferragem

Resistência da Estrutura				
Item	Identificação da Medição	Localização Ponto 1 (Estrutura da Cobertura)	Localização Ponto 2 (Inserto Metálico no Pilar)	Valor de Mediação (mΩ)
11	CM-P08	Pilar - P08	Pilar - P09	46
12	CM-P09	Pilar – P09	Pilar – P09	43,4
13	CM-P10	Pilar – P10	Pilar – P09	45

Arquivo pessoal (2017)

O segundo conjunto de medições, que está relacionado na Figura 28, mostra os pontos onde foram executadas as medições de resistência de continuidade das ferragens do concreto tomadas a partir da parte superior da ferragem de um pilar conectada a estrutura de sustentação do telhado até a um ponto de derivação da malha de aterramento como referência na base do pilar. Estas medições são consideradas como verificação final, já que os pilares estão integralmente executados e não houve nenhuma desconexão das extremidades inferiores. Também foram realizadas medições de pilares posicionados anteriormente e posteriormente ao ponto

de aterramento de referência na base do pilar. Estas medições são chamadas, conforme a norma ABNT NBR 5419/2015, como medições cruzadas. Os pontos foram denominados CM-P04, CM-P05, CM-P06, CM-P12, CM-P13, CM-P14, CM-P15, CM-P16, CM-P19, CM-P20, CM-P21 e também tem suas posições coincidentes com os Pilares representados na Figura 06.

Figura 28 – Ensaio de continuidade para verificação final

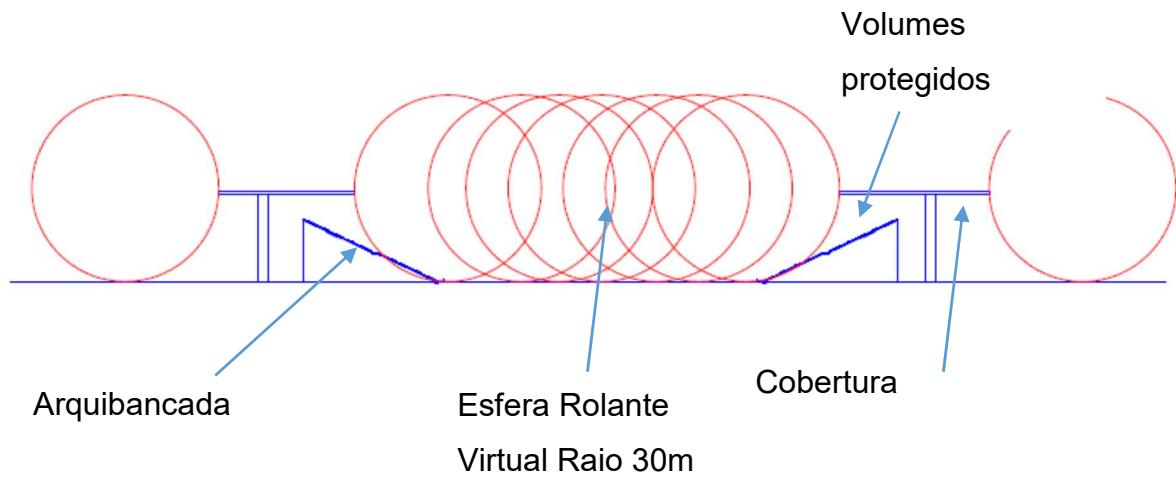
ENSAIO DE CONTINUIDADE DA ESTRUTURA				
Resistência da Estrutura a Malha Geral				
Item	Identificação da Medição	Localização Ponto 1 (Estrutura da Cobertura)	Localização Ponto 2 (Malha de Aterramento Geral)	Valor de Medição (mΩ)
1	CM-P04	Pilar - P04	Pilar - P04	61,2
2	CM-P05	Pilar – P05	Pilar – P05	43,3
3	CM-P06	Pilar – P06	Pilar – P05	43,4
4	CM-P12	Pilar – P12	Pilar – P12	4,6
5	CM-P13	Pilar – P13	Pilar – P12	5,2
6	CM-P14	Pilar – P14	Pilar – P15	124,5
7	CM-P15	Pilar – P15	Pilar – P15	122,7
8	CM-P16	Pilar – P16	Pilar – P15	151
9	CM-P19	Pilar – P19	Pilar – P20	280
10	CM-P20	Pilar – P20	Pilar – P20	279

Arquivo pessoal (2017)

4.4 VERIFICAÇÃO DO POSICIONAMENTO DO SUBSISTEMA DE CAPTAÇÃO

A verificação do posicionamento do subsistema de captação é feita pela aplicação do método da esfera rolante de acordo com o ANEXO A da norma em estudo NBR 5419 - 3. Neste método considera-se que um ponto está protegido quando não estiver em contato com a esfera fictícia virtual de raio 30 m para o caso da Classe de Proteção considerada que é II. A Figura 29 mostra os volumes que estão protegidos entre o piso, as arquibancadas e a cobertura, que constitui o subsistema de captação.

Figura 29 – Verificação dos volumes protegidos pelo método da esfera rolante



Arquivo Pessoal (2017)

4.5 VERIFICAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE EQUIPOTENCIALIZAÇÃO DAS INSTALAÇÕES METÁLICAS

A equipotencialização é uma medida de proteção necessária para reduzir danos às pessoas devido a choques elétricos decorrentes das correntes de descargas nas partes condutivas da estrutura, conforme desta a norma ABNT NBR 5419/2015.

Um sistema de proteção contra descargas atmosféricas depende das condições de equipotencialização das instalações metálicas internas da edificação, que no caso,

são constituídas de grades divisórias da área do campo, grades divisórias da área de vestiários, cabines de imprensa, estruturas guarda corpo e corrimãos.

A equipotencialização é obtida por meio da interligação do SPDA com as instalações metálicas utilizando ligações elétricas diretas por meio de condutores de ligação entre as grades, corrimãos e guarda corpos na base das estruturas ou no nível do solo. Os condutores devem ser conectados a uma barra e ao sistema de aterramento. A Figura 30 mostra algumas destas grades, tipo divisórias de áreas, que compõem a instalação e verificou-se que não foram realizadas nenhuma tipo de conexão com o sistema de aterramento.

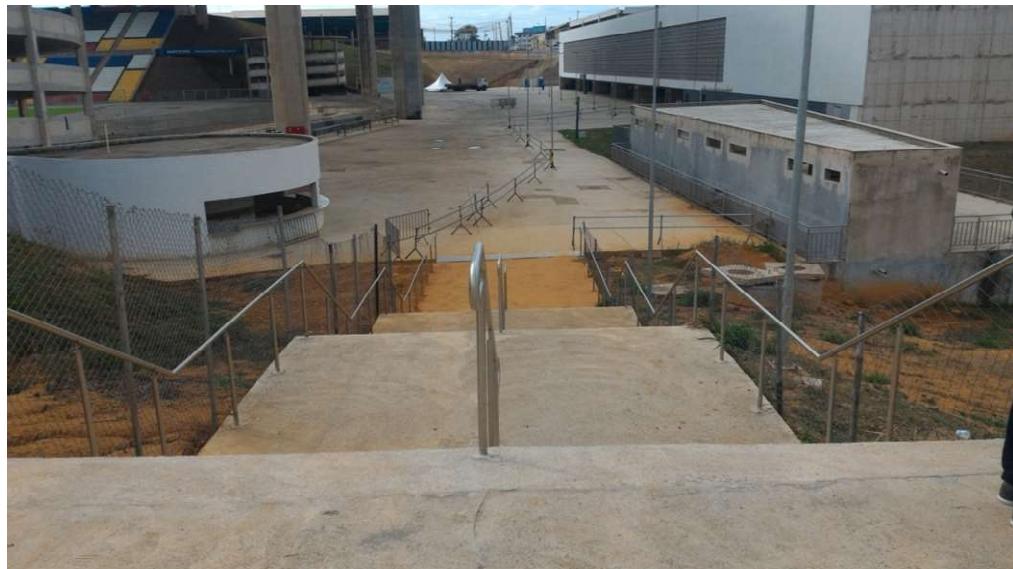
Figura 30 – Instalações metálicas: visão geral



Arquivo Pessoal (2017)

A Figura 31 mostra estruturas metálicas tipo guarda corpo que compõem a instalação e que também não foram devidamente aterradas. Diante desta situação foi necessário realizar um levantamento de todas as estruturas metálicas do estádio a fim de realizar a previsão e recomendação de execução das ligações equipotenciais.

Figura 31 – Instalações metálicas tipo guarda corpo

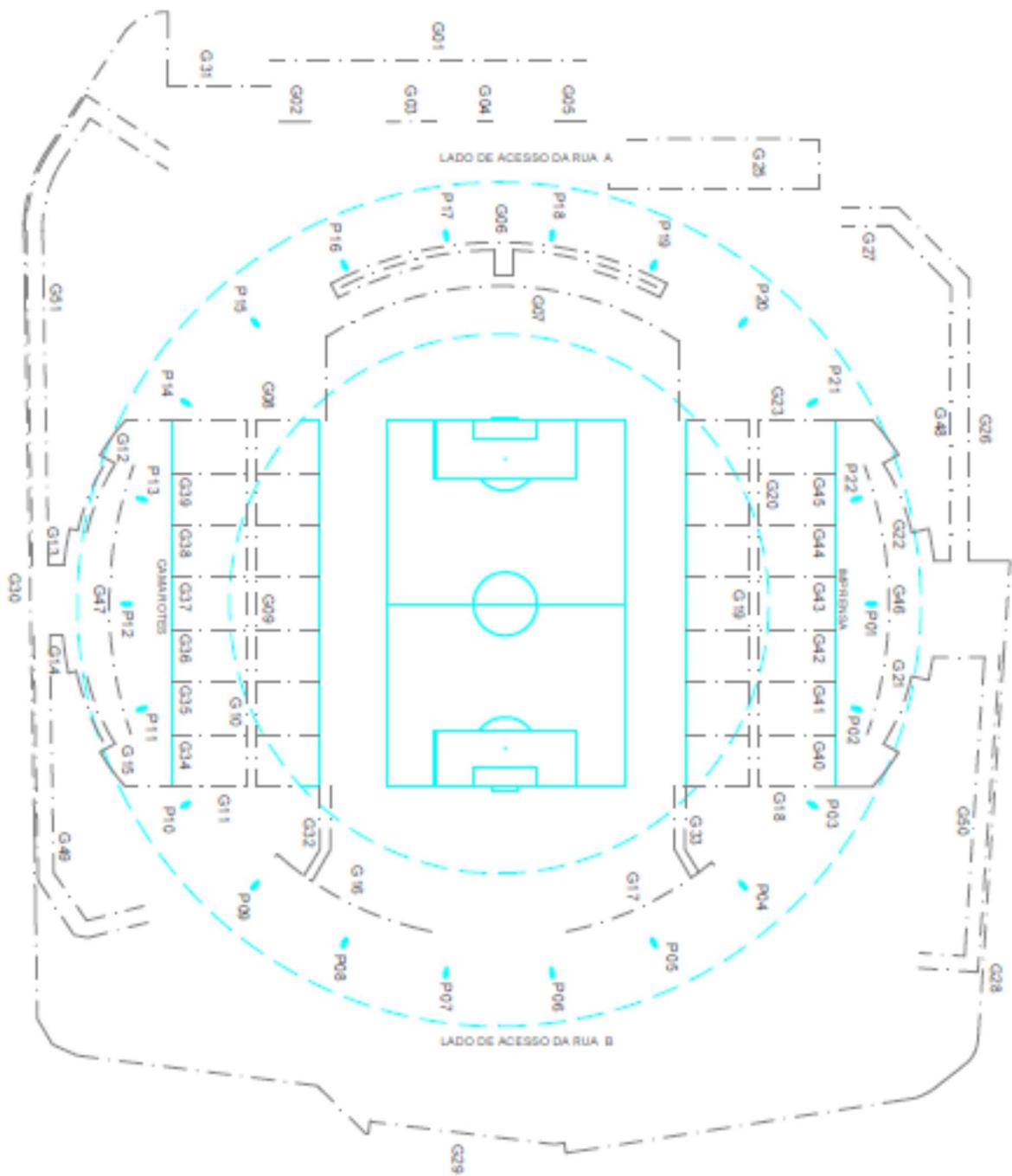


Arquivo Pessoal (2017)

A Figura 32 mostra de forma esquemática, representadas pela linhas traço-ponto, todas as estruturas metálicas instaladas compostas por grades e corrimãos onde foi comprovada efetivamente a não existência dos pontos de conexão com o aterramento elétrico do estádio.

As falhas de componentes elétricos também podem causar a energização acidental das estruturas metálicas vindo a caracterizar uma situação de exposição ao risco de choque elétrico.

Figura 32 – Locação das instalações metálicas tipo grades e guarda corpo



Arquivo Pessoal (2017)

A ABNT NBR 5410/2004 também estabelece que cada edificação deve ser realizada uma equipotencialização principal, reunindo os seguintes elementos:

- a) as armaduras de concreto armado e outras estruturas metálicas da edificação;
- b) as tubulações metálicas de água, de gás combustível, de esgoto, de sistemas de ar-condicionado, de gases industriais e outros, bem como os elementos estruturais metálicos a elas associados;
- c) os condutos metálicos das linhas de energia e de sinal que entram e/ou saem da edificação;
- d) as blindagens, armações, coberturas e capas metálicas de cabos das linhas de energia e de sinal que entram e/ou saem da edificação;
- e) os condutores de proteção das linhas de energia e de sinal que entram e/ou saem da edificação;
- f) os condutores de interligação provenientes de outros eletrodos de aterramento porventura existentes ou previstos no entorno da edificação;
- g) os condutores de interligação provenientes de eletrodos de aterramento de edificações vizinhas, nos casos em que essa interligação for necessária ou recomendável;
- h) o condutor neutro da alimentação elétrica, salvo se não existente ou se a edificação tiver que ser alimentada, por qualquer motivo, em esquema TT ou IT ;
- i) o(s) condutor(es) de proteção principal(is) da instalação elétrica (interna) da edificação.

Tendo em vista ainda os requisitos normativos preconizados na ABNT NBR 5410/2005 que exige que toda edificação deve ter um sistema de aterramento, podendo este ser constituído por um anel metálico enterrado circundando toda a edificação e que este sistema é também reconhecido pela ABNT NBR 5419, estes podem e devem ser usados conjuntamente pelo sistema de proteção contra descargas atmosféricas (SPDA) da edificação, nas condições especificadas.

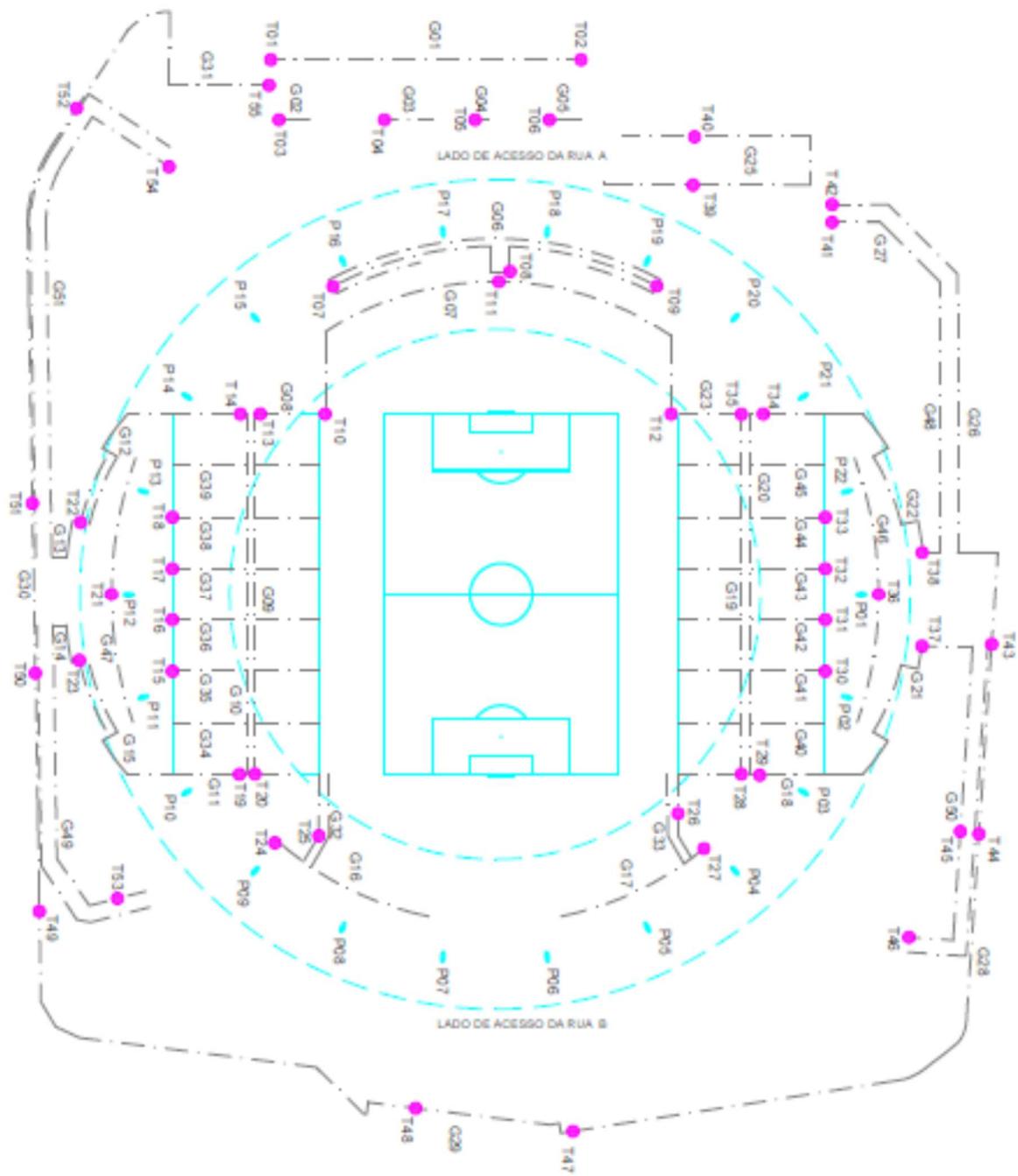
Diante do exposto fica estabelecido que as estruturas metálicas apresentadas na Figura 32 devem ser devidamente interligadas ao sistema de aterramento principal do estádio, que no caso é a malha de aterramento principal constituída pelo cabo de cobre 50mm² enterrada que circunda todos os pilares da cobertura em forma de anel.

A equipotencialização, neste caso, é obtida por meio da interligação do sistema de aterramento existente com as referidas estruturas metálicas. Os meios de interligação devem ser condutores de ligação direta onde a continuidade não seja garantida pelas ligações naturais. A equipotencialização deve ser realizada na base da estrutura ou próximo do nível do solo. Os condutores de ligação devem ser conectados a uma barra denominada Barra de Ligação Local (BEL) constituída e instalada de modo a permitir fácil acesso a inspeção.

Os barramentos de equipotencialização BEL devem ser conectados ao sistema de aterramento principal por meio de cabos 35mm^2 . A seção dos condutores que ligam as instalações metálicas aos barramentos de equipotencialização deve ser também de 35 mm^2 .

A figura 33 foi utilizada para identificar e localizar os diversos tipos de grades e mostra os pontos em que ocorrerão as conexões de aterramento, possibilitando posteriormente a apresentação de diferentes soluções de tipos de conexões de cabos de aterramento destas estruturas para a barra local de aterramento.

Figura 33 – Indicação das conexões de aterramento



Arquivo Pessoal (2017)

4.5.1 Procedimento para execução do aterramento das instalações metálicas

Visando prover a instalação dos meios adequados de aterramentos, estão representados na Figura 34 as grades e corrimãos já mostrados nas Figura 32 e 33, porém, desta vez, foram acrescentados ao arranjo das grades designadas de G01 a G51, os respectivos pontos onde deverão ser implementados os pontos de aterramento por meio de conectores apropriados e ligações ao sistema de aterramento geral ou a barra de aterramento de quadros elétricos existentes. Estes pontos foram designados de T01 a T55 e foram associados as grades e corrimãos existentes.

Figura 34 – Descrição dos Pontos de Aterramento

Descrição dos Pontos de Aterramento das Instalações Metálicas			
Número do Gradil	Número do Ponto de Aterramento	Origem do Cabo de Aterramento	Número da Figura do Detalhe de Montagem
G01	T01	Quadro do edifício educacional	Figura 24 e 25
	T02		
G02	T03		
G03	T04		
G04	T05		
G05	T06		
G06	T07	Cabo de aterramento localizado no Pilar 15	Figura 26
	T08	Quadro dos banheiros	
	T09	Cabo de aterramento localizado no Pilar 20	
G07	T10	Cabo de aterramento localizado no Pilar 15	Figura 24 e 25
	T11	Quadro dos banheiros	
	T12	Cabo de aterramento localizado no Pilar 20	
G08	T13	Cabo de aterramento localizado no Pilar 15	Figura 26 e 27
	T14		
G35	T15	Quadro dos banheiros	

G36	T16			
G37	T17			
G38	T18			
G11	T19	Cabo de aterramento localizado no Pilar 09		
	T20			
G47	T21	Quadro dos camarotes	Figura 26	
G13	T22	Quadro dos banheiros		
G14	T23			
G16	T24	Cabo de aterramento localizado no Pilar 09	Figura 24 e 25	
G32	T25			
G33	T26	Cabo de aterramento localizado no Pilar 04	Figura 26	
G17	T27			
G18	T28	Quadro da Subestação 01	Figura 24 e 25	
	T29			
G41	T30	Quadro dos vestiários	Figura 26 e 27	
G42	T31			
G43	T32			
G44	T33			
G23	T34	Cabo de aterramento localizado no Pilar 20	Figura 26 e 27	
	T35			
G46	T36	Quadro dos camarotes de imprensa	Figura 26	
G21	T37	Quadro dos banheiros		
G22	T38			
G25	T39	Quadro da Subestação 03		
	T40			
G48	T41	Cabo de aterramento localizado no Pilar 20	Figura 26	
G26	T42	Quadro da Subestação 03		
G28	T43	Quadro dos Banheiros	Figura 24 e 25	
	T44	Quadro da Subestação 01		
G50	T45	Figura 26		
	T46			
G29	T47	Malha da Cabine de Medição	Figura 24 e 25	
	T48	Quadro da portaria		
G30	T49	Quadro da Subestação 02		
	T50	Quadros dos Banheiros		
	T51			

	T52	Cabo de aterramento localizado no Pilar 15	
G49	T53	Quadro da Subestação 02	Figura 26
G51	T54	Cabo de aterramento localizado no Pilar 15	
G31	T55	Quadro do edifício educacional	Figura 24 e 25

Arquivo Pessoal (2017)

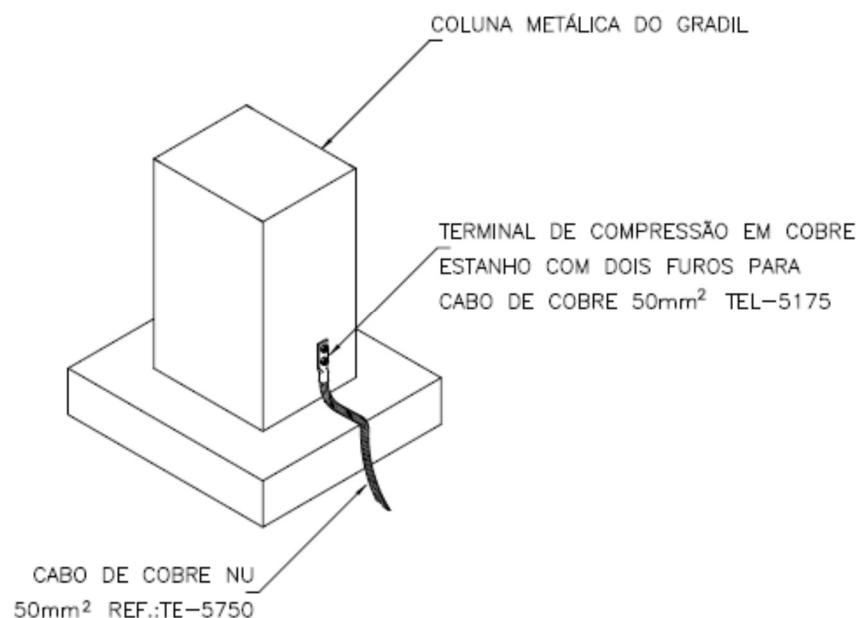
Considerando a Figura 34, podemos ver na primeira coluna a relação das grades e corrimãos, na segunda a identificação dos pontos de aterramento que deverão ser implementados, na terceira coluna está indicado o detalhe do tipo conexão que deverá ser executada, no caso, por meio dos detalhes típicos designados por Figura 35, 36, 37 e 38. Estes detalhes de execução de aterramento também são mostrados a seguir.

A Figura 35 mostra a situação onde as grades são de perfis metálicos retangulares, a Figura 36 mostra o caso das telas metálicas, a Figura 37 indica o caso dos tubos das divisórias de acesso e de corrimãos em inox de seção circular e, finalmente a Figura 38 representa a situação de aterramento onde devemos fixar a ligação de barra de alumínio no piso por meio de parafusos e cola específica.

As conexões de maneira geral deverão ser executadas, quando originarem de cabos da malha principal, por meio de solda exotérmica, devendo ficar enterradas, garantindo a não existência de cabos de cobre de seção circular aparente nos pisos. Estes deverão ser devidamente enterrados ou embutidos no concreto do piso. Nos pontos de acesso às grades, principalmente, deverão ser concretados. O objetivo é evitar que pessoas possam ter contato com potenciais perigosos durante um descarga além de evitar também que sob a ação de vandalismo.

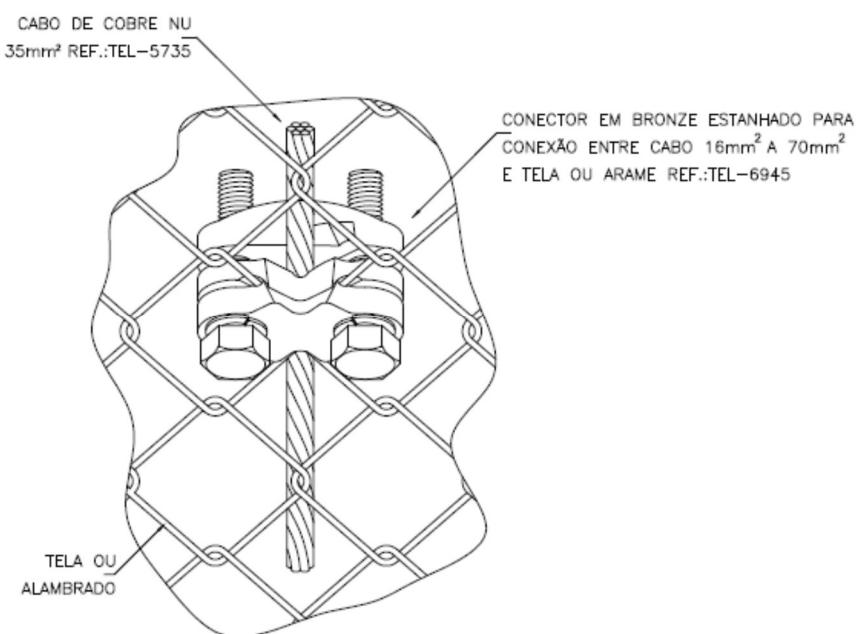
Nos casos onde a origem do aterramento são barras de aterramento dos quadros elétricos deverá ser adotado o mesmo procedimento nas áreas de acesso ao público, sendo que nas áreas internas do estádio, onde o percurso é constituído por bandejas, eletrodutos, canaletas e lajes, onde não estão sujeitas a ação de vandalismo poderá ser utilizado cabo de cobre de seção circular de seção 35mm².

Figura 35 – Montagem em coluna metálica



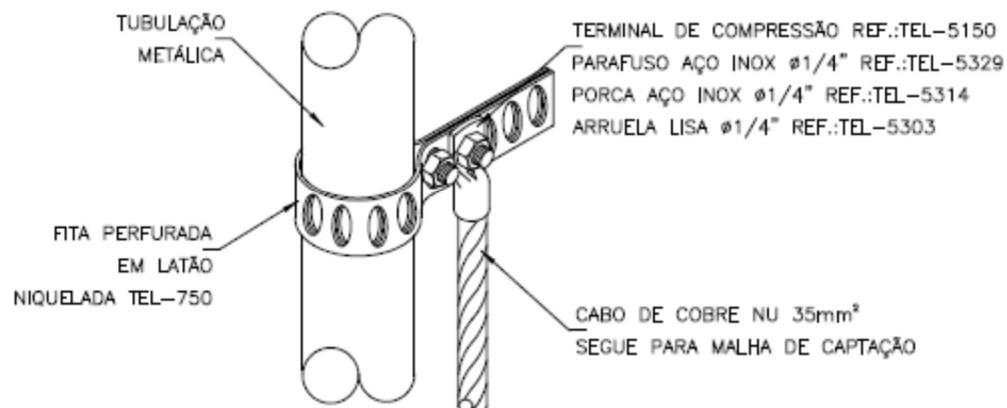
Arquivo Pessoal (2017)

Figura 36– Montagem em tela metálica



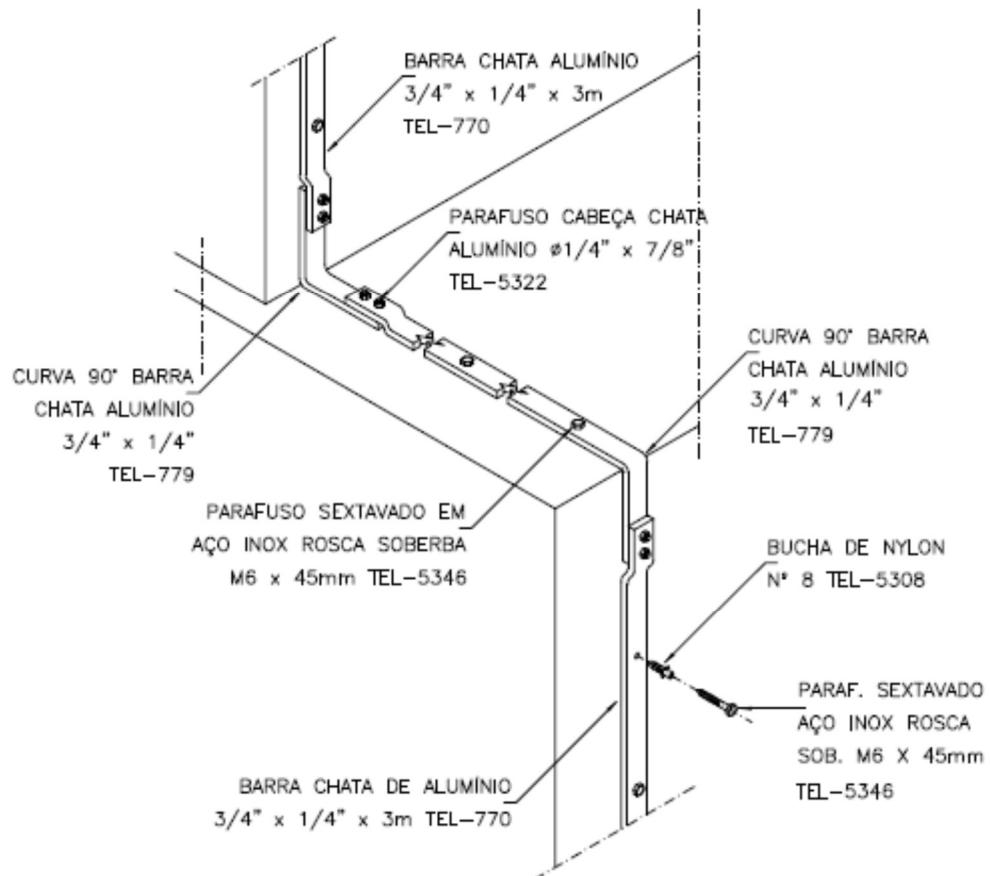
Arquivo Pessoal (2017)

Figura 37– Montagem em tubo metálico



Arquivo Pessoal (2017)

Figura 38 – Montagem em barra chata de alumínio



Arquivo Pessoal (2017)

4.6 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os resultados obtidos no item 4.3.3 para resistência de aterramento foram realizados com terrômetro de 03 hastes com seus conectores entre o ponto acessível na malha geral e os eletrodos auxiliares de corrente e de tensão. Os valores apresentam-se menores que 10 Ohms, o que é aceitável e está de acordo com a norma ABNT NBR 5419/2005. Considerando que existe um anel enterrado no entorno dos 22 pilares com conexões a cada pilar vê-se que o projeto foi executado de forma adequada.

Quando avaliamos esta configuração com as novas exigência da norma ABNT NBR 5419/2015, precisamos comparar o raio médio da área abrangida pelo anel com o comprimento l_1 do Gráfico 1, levando em consideração também a resistividade do solo. Assim, após a medição da resistência do solo pelo método do terrômetro de 04 hastes, denominado Método de Wenner, espaçando as hastes entre 0,5 e 8 metros foi realizada a estratificação do solo em duas camadas. O instrumento utilizado foi um terrômetro digital conforme especificado no APÊNDICE 1. O valor obtido foi de 123 $\Omega \cdot m$, conforme mostrado no APÊNDICE 2. Utilizando o raio médio obtido a partir do projeto que é de 127 m e este valor de resistividade verifica-se que este comprimento é bem maior que o valor mínimo de 5 m obtidos no gráfico.

No caso dos ensaios de continuidade das armaduras apresentados no item 4.3.4, foi possível a realização em 10 pilares, pois o fato da obra estar praticamente concluída, não foi possível acessar todos pontos nos pés dos pilares, já que várias estão incorporados nas fundações e bases. Os valores obtidos nas Figuras 27, o que equivaleria a primeira verificação, são bem inferiores ao valor normativo de 1 Ω para este caso. Não foi possível executar este ensaio num número maior de pilares, pois a quebra dos pilares não é bem aceita tendo em vista a dificuldade de acesso e de recuperação posterior.

A rigor este ensaio realizado não reproduz fielmente o ensaio de primeira verificação tal qual é apresentado na norma, já que o extremo superior da armadura não foi desconectado, ficando portanto interligado eletricamente a todos os pilares. Desta forma, o resultado não representa o valor ôhmico da ferragem de um pilar e sim a

equivalência da resistência do conjunto concreto/armaduras de todas as estruturas. Estas armaduras de ferro no concreto, de acordo com o projeto consultado, são armaduras adicionais as previstas no cálculo estrutural, tem diâmetro 12,5 mm e são conectadas nas suas extremidades por arames recozidos, trespassando 20 cm. Adicionalmente, as armaduras adicionais de descidas são também conectadas da mesma forma a armadura do bloco de coroamento das estacas da fundação e também as próprias estacas. Assim, este ensaio obteve, na realidade, o valor equivalente das resistências de todas as armaduras adicionais de todos os pilares em paralelo. Mesmo comparando-os com o valor mínimo da verificação final de 200 mΩ, ressaltamos que estão abaixo, o que é um resultado bastante favorável.

Como já foi citado, o valor esperado para a verificação final apresentada na Figura 28 é de 200 mΩ. Excluindo os casos dos pilares 19 e 20, os demais pilares apresentaram valores inferiores a 200 mΩ, fato que atende a referência da norma ABNT NBR 5419/2015. Quanto aos valores superiores, pode-se atribuir às condições das conexões no anel geral, pois o valor individual da resistência para o pilar é muito baixo, o que a exclui como contribuinte neste resultado. Isto pode ser facilmente corrigido instalando externamente ao pilar uma fita condutora desde o telhado até o anel de aterramento.

O objetivo principal deste trabalho foi de verificar se o sistema de proteção contra descargas atmosféricas atendia os requisitos normativos de segurança e de funcionalidade para que os trabalhadores pudessem desempenhar suas funções de forma segura durante a execução dos serviços de conservação e de montagem do parque esportivos para os eventos e jogos programados. No entanto, deve-se ressaltar que a estrutura de um estádio de futebol é um tanto atípica quando a relacionamos com as edificações em geral que possuem normalmente fechamentos laterais como é o caso dos edifícios residenciais, comerciais e outros. A norma ABNT NBR 5419/2015, trata de forma geral para as edificações típicas onde é possível instalar elementos de descida e também as vezes de captação nas laterais da edificação. O fechamento lateral, sendo constituído por alvenaria ou outros materiais são elementos onde se montam sistemas de proteção quanto a incidência de descargas. Sendo a cobertura do estádio uma estrutura na forma de aro de anel a 25

metros no piso sustentado por colunas verticais a cada 30 metros aproximadamente, podemos afirmar que não é possível evitar a ocorrência de descargas atmosféricas abaixo do telhado, penetrando pelos vão abertos entre as colunas e atingindo o solo, conforme demonstrado na Figura 29.

Finalmente deve-se apresentar de modo geral as recomendações destinadas a nortear a execução dos serviços de execução dos aterramentos das estruturas metálicas descritas no item 4.5.1. Deverá ser contratada uma empresa de fornecimento de mão de obra e de materiais para a execução do aterramento de forma atender as recomendações constantes neste relatório.

Esta empresa deverá vistoriar as estruturas tomando como referência a Figura 34 e elaborar uma lista de quantitativos de materiais e desenho em Formato A1 para representação dos gradis, pontos de aterramento nos mesmos, percurso do condutor ou barra de aterramento e ponto de conexão ou a barra de equipotencialização local (quadro de distribuição existente) ou montagem de barra local nova. Os quadros deverão ser identificados de acordo com a identificação existente e no caso de novas barras estas também deverão ser identificadas no local de instalação no desenho. A conexão dos quadros gerais de baixa tensão com o sistema de aterramento principal (anel de aterramento enterrado de 50mm²) deverá ser garantida. Estruturas metálicas tais como portas, portões, tubulações de água, esgoto que deverão ser aterradas por meio de cabos nus ou isolados, devendo estas ser radiais e mais curtas possíveis. No caso de uso de eletrodutos, canaletas e bandejas com outros cabos existentes o cabo de aterramento deverá ser isolado. Deverá ser dada especial atenção aos equipamentos tais como ar condicionado, câmaras de refrigeração, compressores, caixas d'água e outros aparelhos fixos que tenham estrutura metálica para serem devidamente aterrados e incluídos no desenho referido anteriormente. Finalmente deverá ser verificado e garantida a existência de protetores de surtos nos quadros gerais de baixa tensão. Os terminais destes protetores deverão ser ligados a barra geral de aterramento.

4.7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

4.7.1 Subsistema de aterramento

Todas as medições foram realizadas e executadas nos pontos acessíveis e visíveis existentes do anel de aterramento da malha geral. A Malha de Aterramento, numa visão geral, possui uma baixa resistência de aterramento, de acordo com os valores acima apresentados. Esses resultados permitem considerar os níveis aceitáveis, conforme a normas vigente na ocasião de elaboração, além de estar respaldada no limite de projeto.

Assim, o estádio possui um subsistema de aterramento em conformidade com os requisitos normativos da ABNT NBR5419/2015. Também atendem aos valores máximos referidos na norma ABNT NBR5419/2005.

4.7.2 Subsistema de captação e de descida

A parte superior do sistema de captação é a cobertura do estádio que é metálica, e possui telhas de aço com espessura suficiente, de acordo com as referência normativa, pode captar e conduzir as corrente de descargas para os pontos de descida. Assim pode-se afirmar que as condições de projeto e de execução do telhado habilita-o, de forma eficiente, a função de captação de descargas atmosféricas.

As medições para o subsistema de descida foram realizadas e executadas nos pontos relacionados na Figura 28. Os valores obtidos, quando utilizamos como referências Ponto 1 e Ponto 2 no mesmo pilar estamos efetivamente obtendo valores de verificação final que, de acordo com a norma não devem ser superior a 200 mΩ.

Assim os itens 1, 2, 4, 7 e 10 correspondem à verificação final e devem ser comparados com ao valor de referência 200 mΩ. Excluindo o último valor os demais estão em conformidade com o valor normativo. Neste caso de valor superior deve-se instalar fita condutora externamente aos pilares. Foram medidos também valores de

continuidade entre a malha de terra de referência e os pilares anteriores e posteriores tais como item 3 onde a referência de aterramento estava no Pilar 15 enquanto o ponto de conexão na estrutura estava no Pilar 16, o que aumenta substancialmente o caminho da medição pois incluímos no caminho em torno de 30 metros de estrutura metálica de sustentação. Mesmo nestes casos os valores são inferiores ao maior valor normativo de 200 mΩ.

Também os valores dos itens 11, 12 e 13, da Figura 27, que correspondem ao inserto soldado na parte inferior da armação metálica da coluna têm valores inferiores ao valor máximo normativo que é de 1 Ohm. Desta forma podemos concluir que os valores obtidos nos ensaios atendem aos requisitos previstos na norma vigente o que permite atestar que o este subsistema de proteção contra descargas atmosféricas encontra-se em plena condição de exercer sua função de garantir funcionalidade e segurança da instalação com relação aos danos físicos.

A verificação do posicionamento do captores, no caso a cobertura metálica, com relação aos volumes protegidos, conforme realizada pela método da esfera rolante, revela que o campo e partes das arquibancadas não estão protegidas com relação as descargas. A solução para esta situação seria a implantação de cabos captores suspensos. Recomenda-se que trabalhadores não podem continuar suas atividades rotineiras nas situações de ocorrências de raios. As competições e eventos, da mesma maneira, não podem ser realizadas.

4.7.3 Equipotencialização das instalações metálicas

Sendo as estruturas metálicas passíveis de produzir potenciais perigosos durante a percurso transitório de corrente pelo sistema de descida de descargas atmosféricas e a medida de controle consiste no aterramento das mesmas, comprovou-se por inspeção que não tiveram as suas ligações a terra devidamente executadas. Verificou-se que o projeto original previa estas ligações e portanto, a não execução não possibilita a utilização do estádio em condições seguras. Diante disto, fica estabelecido que não é seguro a utilização do estádio nestas condições tanto para os trabalhadores de limpeza, conservação, vigilância e manutenção quanto para os

usuários nos dias de jogos e outros eventos. Assim, deverá ser providenciado a contratação de empresa para a realização deste serviço.

5 CONCLUSÃO

As atividades desenvolvidas de inspeção, verificação, medição e avaliação dos resultados frente as normas vigentes foram suficientes para afirmar que o objetivo do trabalho foi atingido pois foi possível estabelecer as necessidades de adequação do estádio visando a sua liberação para os eventos previstos.

REFERÊNCIAS

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

_____. **NBR 5410**: Instalações elétricas de baixa tensão. Rio de Janeiro, 2004.

_____. **NBR 7117**: Medição de resistividade e determinação da estratificação do solo. Rio de Janeiro, 2012.

_____. **NBR 15749**: Medição de resistência de aterramento e de potenciais na superfície do solo em sistemas de aterramento. Rio de Janeiro, 2009.

COORAY, V. **Lightning Protection**. London: IET Power and Energy Séries 58 The Instituition of Engineering and Technology, 2010.

COELHO, G. H. L. **Estudo sobre sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas em Plantas Petroquímicas em Situação de Risco**. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, 2011.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. **IEC 62305**: Protection against lightning. Geneva, 2010.

SUETA, H. E. **Uso de componentes naturais de edificações como parte integrante do sistema de proteção contra descargas atmosféricas: uma visão relativa aos danos físicos**. Tese de Doutorado, São Paulo: Escola Politécnica da Universidade, Departamento de Engenharia de Energia e Automação, 2005.

GRUPO DE ELETRICIDADE ATMOSFÉRICA, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Vítimas de raios – Infográfico**. Disponível em: <<http://www.inpe.br/webelat/homepage/menu/noticias/vitimas.de.raios-.infografico.php>>. Acesso em: 20 fev. 2017.

APÊNDICE 1 – Instrumentos Utilizados

1- Medidor de Aterramento

Fabricante: Minipa.

Data de calibração: 28/08/2015.

Modelo: MTR-1520D

Número de Série: MT1520004604

Número do Certificado de Calibração TEXCAL 005454/2015

Certificado de Calibração dos Calibradores Rastreado pelo INMETRO
CAL0047 números 143491-101, 148645-101.

2- Miliohmímetro ABNT NBR 5419-2015

Fabricante: Instrum

Data de calibração: 10/05/2016.

Modelo: MILLIOHM 1

Número de Série: IN614091-22281

Número do Certificado de Calibração INSTRUM – 0575/2016

Certificado de Calibração dos Calibradores Rastreado pelo INMETRO
CAL0250

3- Terrômetro Digital

Fabricante: MEGABRAS

Data de calibração: 29/08/2016.

Modelo: MTD 20KWe

Número de Série: MR 8152 J

Número do Certificado de Calibração TEXCAL – 006065/2016

APÊNDICE 2 – Determinação da Resistividade do solo

Valores medidos e calculados conforme Anexo A ABNT NBR 7112/2012

Espaçamento	Leitura $R(\Omega)$	Calculado $\rho(\Omega \cdot m)$
0,5	76,7	240,8
1	42,8	268,8
2	24,1	302,7
4	16,5	414,5
8	9,8	492,4

$$\rho_1 = 95 \Omega \cdot m$$

$$\rho_2 = 540 \Omega \cdot m$$

$$\rho_2/\rho_1 = 5,7 \quad M_o = 1,3 \quad \rho_m = M_o \cdot \rho_1$$

$$\rho_m = 123 \Omega \cdot m$$

Curva $\rho \times a$ – Resistividade x espaçamento

