METRÔ - DF	ENGEVIX	CODIFICAÇÃO ENGEVIX P00160/01-5N-RL-0601-0
SETOR	GERAL	
ENDEREÇO		
PROPRIETÁRIO	METRÔ - DF	
AUTOR DO PROJETO	LORREINE IRIA LAUBE/ GALENO LEMOS GOMES (CONSULTORIA)	
RESPONSÁVEL TÉCNICO		

METRÔ - DF

LORREINE IRIA LAUBE CREA N° 071607-2

METRÔ - DF

		SISTEMA GERAL	
		SUB-SISTEMA PROJETO DE ATERRAMENTO	
VISTO ELJ/RJF	DATA 19/12/2013	LOCAL GERAL	
APROVADO OOP	DATA 08/01/15	COMPONENTES /TIPO DE DOCUMENTO ESTUDO TÉCNICO - SISTEMA DE ATERRAMENTO	AREA DE CONST. -
ESCALA **S/ESC.**	ETAPA DO PROJ. Básico		
N MICROFILME	FOLHA 1/41	CODIFICAÇÃO RT.4/EX.99/10.601	REVISÃO **1**

1	APROVADO CONFORME PARECER 0001/15-TPR	08/01/15	LIL	LBP	ITF	ELJ/RJF	OOP
0C	REVISÃO CONFORME PARECER 0518/14 - TEN	09/12/14	LIL	LBP	ITF	ELJ/RJF	OOP
0B	REVISÃO CONFORME PARECER EM AVANÇO – ANÁLISE ATERRAMENTO	12/11/14	LIL	LBP	ITF	ELJ/RJF	OOP
0A	REVISÃO CONFORME PARECER Nº0007/14 – TPSF	02/09/14	LIL	LBP	ITF	ELJ/RJF	OOP
0	EMISSÃO INICIAL	19/12/13	AMOF	LBP	JoWe	ELJ/RJF	OOP
N°	MODIFICAÇÃO	DATA	FEITO	VISTO	APROV.	VERIF.	APROV.
		CONTRATADA				**METRÔ - DF**	
R E V I S Õ E S							

METRÔ - DF
RT.4/EX.99/10.601

ESTUDO TÉCNICO - SISTEMA DE ATERRAMENTO

PROJETO DE ATERRAMENTO

PROJETO BÁSICO

SUMÁRIO

1 OBJETIVO 5

2 DEFINIÇÕES E SIGLAS 5

3 REFERÊNCIAS 6

4 NORMAS TÉCNICAS UTILIZADAS 11

5 CONCEITO GERAL DO SISTEMA DE ATERRAMENTO DA EXPANSÃO DO METRÔ - DF 12

5.1 ATERRAMENTO DO SISTEMA DE SINALIZAÇÃO E CONTROLE 15

5.1.1 Aterramento de Equipamentos com Componentes Eletrônicos Sensíveis 15

5.1.2 Aterramento da Blindagem de Cabos 17

5.2 ATERRAMENTO PARA O SISTEMA DE BAIXA TENSÃO 18

5.2.1 Aterramento para os Circuitos de Baixa Tensão (Tensão Nominal ≤ 1000V) 18

5.3 ATERRAMENTO PARA O SISTEMA DE ENERGIA E TRAÇÃO 21

5.3.1 Malhas das Edificações (SR 15, 16, 63, 64, 65 e 21) 21

5.3.2 Equipamentos das Subestações Retificadoras 25

5.3.3 Aterramento dos transformadores de Serviços Auxiliares das SR's (SR-15, 16, 63, 64, 65 e 21) 30

5.3.4 Aterramento dos equipamentos do SPCS (Sistema de Proteção, Controle e Supervisão) 30

5.3.5 Aterramento PEE Hípica 30

5.4 ATERRAMENTO PARA AS ESTAÇÕES DE PASSAGEIROS (28, 29, 35, 36 E 41) E OUTRAS EDIFICAÇÕES 31

5.5 ATERRAMENTO PARA O SISTEMA DE PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS - SPDA 31

5.5.1 Proteção Primária 32

5.6 ATERRAMENTO DAS CERCAS METÁLICAS DE VEDAÇÃO DAS VIAS 39

1 OBJETIVO

O presente estudo técnico tem como objetivo consolidar o conceito básico e as diretrizes que permitam o desenvolvimento do projeto executivo do Sistema de Aterramento da Expansão do Metrô DF – compreendendo as vias, Extensão Ceilândia (Estação 28 e 29), Extensão Samambaia (Estação 34 {prevista} e Estação 35 e 36) e Extensão Asa Norte (Estação 41), bem como Subestações Retificadoras 15, 16, 63, 64, 65 e 21, compatibilizando as necessidades entre os Sistemas de Energia, das Edificações e de Sinalização e Controle.

A Memória de Cálculo MC.4/EX.99/10.601 elaborada com base nas medições de resistividade do solo realizadas em campo confirma as seções dos cabos utilizados neste estudo e o dimensionamento das malhas de aterramento das edificações.

O presente estudo foi elaborado com o suporte e consultoria do engenheiro Galeno Lemos Gomes.

2 DEFINIÇÕES E SIGLAS

TEE - Terra Externo Estrutural: No sistema de dois terras pode ser associado ao terra geral. Sendo que o TEE é composto pelas armaduras estruturais das edificações das Estações, tendo como principais elementos constituintes, um conjunto de fitas ou barras chatas de aço, cabos de cobre ou de aço, soldados às armaduras de forma a garantir a continuidade elétrica.

QA - Quadro de Aterramento: Localizado um na Subestação Retificadora e outro na Subestação Auxiliar e destinado a abrigar as barras de equipotencialização dos circuitos 1kVcc, circuitos de corrente contínua 125Vcc e circuitos de baixa tensão em corrente alternada.

BT - Baixa Tensão: No presente projeto a BT é 220/380V.

PNCA - Painel de distribuição em Corrente Alternada: Painel de distribuição em corrente alternada localizado nas Subestações Auxiliares.

QDF-ST - Quadro de distribuição de Força da Sala Técnica

SPCS - Sistema de Proteção, Controle e Supervisão: Composto por painéis e quadros elétricos localizados na Sala de Controle.

SR – Subestação Retificadora: Tem como função receber a energia da concessionária e distribuir esta energia em tensão adequada aos retificadores dos circuitos de tração. Composta pelos cubículos de Média Tensão, retificadores e equipamentos de tração.

SA – Subestação Auxiliar: Tem como função receber a energia das subestações retificadoras e distribuir em tensão adequada para os serviços auxiliares CA e CC do sistema.

PE – condutor de proteção: Tem como função o aterramento e a equipotencialização de modo a proporcionar o bom funcionamento, a proteção de todos os circuitos e equipamentos da instalação e a segurança das pessoas.

N – condutor Neutro

TN-S – Terra e Neutro Separados: O esquema TN possui um ponto da alimentação diretamente aterrado, sendo as massas ligadas a esse ponto através de condutores de proteção. O esquema TN-S o condutor neutro e o condutor de proteção são distintos.

IT – partes vivas isoladas da terra, neutro aterrado através de uma impedância: Neste esquema de aterramento o ponto de alimentação é aterrado através de uma alta impedância. As massas são aterradas através de um condutor comum (PE) para todos os equipamentos ao longo da via e conectadas na origem da alimentação.

(+CC) – polo positivo do circuito de tração

(-CC) – polo negativo do circuito de tração

DSI - Dispositivo Supervisor de Isolamento: Segundo NBR 5410 deve ser previsto um dispositivo supervisor de isolamento (DSI), para indicar a ocorrência de uma primeira falta à massa ou à terra. Esse dispositivo deve acionar um sinal sonoro e/ou visual, que deve perdurar enquanto a falta persistir. Caso existam as duas sinalizações, sonora e visual, admite-se que o sinal sonoro possa ser cancelado, mas não o visual, que deve perdurar até que a falta seja eliminada.

3 REFERÊNCIAS

[1]. RT.4/EX.99/00.015 - Estudo de Nível de Curto Circuito em Corrente Alternada – Trecho Expansão

[2]. RT.4/EX.99/00.010 - Relatório Técnico Consolidado - Estudos de Curto Circuito em Corrente Continua 750 Vcc

[3]. RT.6/EX.99/00.001 - BRASMETRÔ – Projeto Conceitual do Sistema de Aterramento Geral do Metrô – DF

[4]. RT.4/EX.99/10.603 – Sistema de Aterramento – Medição de Resistividade do Solo

[5]. MC.4/EX.99/10.601 – Sistema de Aterramento – Estações 28, 29, 35, 36, 41 e SR 63 - Memória de Cálculo

[6]. DG.4/EE.99/00.101 – Sistema de Energia – Rede Alimentação 13,8kV – Diagrama Unifilar

[7]. RT.4/EX.99/10.602 – Sistema de Aterramento – Proteção Contra Corrente de Fuga – Relatório Técnico

[8]. PP.4/00.99/J4.001 - Sistema de Aterramento - Geral - SR 63 e Estações 28, 29, 35, 36 e 41 - Detalhes Padronizados

[9]. DG.4/EX.99/10.600 - Sistema de Aterramento - Estações 28/29/35/36/41 e SR 63- Diagrama Geral - Fl. 1/2 E 2/2

[10]. DG.4/EX.99/10.601 - Sistema de Aterramento - Extensão Ceilândia - Estação 28 - Diagrama Esquemático - Subestação Auxiliar

[11]. DG.4/EX.99/10.602 - Sistema de Aterramento - Extensão Ceilândia - Estação 28 - Diagrama Esquemático - Subestação Retificadora

[12]. DG.4/EX.99/10.603 - Sistema de Aterramento - Extensão Ceilândia - Estação 28 - Diagrama Esquemático - Sala Técnica e Sala de Controle

[13]. DG.4/EX.99/10.611 - Sistema de Aterramento - Extensão Ceilândia - Estação 29 - Diagrama Esquemático - Subestação Auxiliar

[14]. DG.4/EX.99/10.612 - Sistema de Aterramento - Extensão Ceilândia - Estação 29 - Diagrama Esquemático - Subestação Retificadora

[15]. DG.4/EX.99/10.613 - Sistema de Aterramento - Extensão Ceilândia - Estação 29 - Diagrama Esquemático - Sala Técnica e Sala de Controle

[16]. DG.4/EX.99/10.621 - Sistema de Aterramento - Extensão Samambaia - Estação 35 - Diagrama Esquemático - Subestação Auxiliar

[17]. DG.4/EX.99/10.622 - Sistema de Aterramento - Extensão Samambaia - Estação 35 - Diagrama Esquemático - Subestação Retificadora

[18]. DG.4/EX.99/10.623 - Sistema de Aterramento - Extensão Samambaia - Estação 35 - Diagrama Esquemático - Sala Técnica e Sala de Controle

[19]. DG.4/EX.99/10.631 - Sistema de Aterramento - Extensão Samambaia - Estação 36 - Diagrama Esquemático - Subestação Auxiliar

[20]. DG.4/EX.99/10.632 - Sistema de Aterramento - Extensão Samambaia - Estação 36 - Diagrama Esquemático - Subestação Retificadora

[21]. DG.4/EX.99/10.633 - Sistema de Aterramento - Extensão Samambaia - Estação 36 - Diagrama Esquemático - Sala Técnica e Sala de Controle

[22]. DG.4/EX.99/10.641 - Sistema de Aterramento - Extensão Asa Norte - Estação 41 - Diagrama Esquemático - Subestação Auxiliar

[23]. DG.4/EX.99/10.642 - Sistema de Aterramento - Extensão Asa Norte - Estação 41 - Diagrama Esquemático - Subestação Retificadora

[24]. DG.4/EX.99/10.643 - Sistema de Aterramento - Extensão Asa Norte - Estação 41 - Diagrama Esquemático - Sala Técnica e Sala de Controle

[25]. DG.4/EX.99/10.651 - Sistema de Aterramento - Extensão Samambaia - SR 63 - Diagrama Esquemático - Subestação Retificadora

[26]. DG.4/EX.99/10.652 - Sistema de Aterramento - Extensão Samambaia - SR 63 - Diagrama Esquemático - Sala de Controle

[27]. DE.4/28.1N/J4.001 Sistema de Aterramento - Extensão Ceilândia - Estação 28 - Planta

[28]. DE.4/28.1N/J4.002 Sistema de Aterramento - Extensão Ceilândia - Estação 28 - Planta

[29]. DE.4/28.1N/J4.003 Sistema de Aterramento - Extensão Ceilândia - Estação 28 - Planta

[30]. DE.4/28.1N/J4.004 Sistema de Aterramento - Extensão Ceilândia - Estação 28 - Planta

[31]. DE.4/28.1N/J4.005 Sistema de Aterramento - Extensão Ceilândia - Estação 28 - Planta

[32]. DE.4/28.1N/J4.006 Sistema de Aterramento e SPDA - Extensão Ceilândia - Estação 28 - Planta de Cobertura

[33]. DE.4/29.1P/J4.001 Sistema de Aterramento - Extensão Ceilândia - Estação 29 - Planta

[34]. DE.4/29.1P/J4.002 Sistema de Aterramento - Extensão Ceilândia - Estação 29 - Planta

[35]. DE.4/29.1P/J4.003 Sistema de Aterramento - Extensão Ceilândia - Estação 29 - Planta

[36]. DE.4/29.1P/J4.004 Sistema de Aterramento - Extensão Ceilândia - Estação 29 - Planta

[37]. DE.4/29.1P/J4.005 Sistema de Aterramento - Extensão Ceilândia - Estação 29 - Planta

[38]. DE.4/29.1P/J4.006 Sistema de Aterramento e SPDA - Extensão Ceilândia - Estação 29 - Planta de Cobertura

[39]. DE.4/35.7G/J4.001 Sistema de Aterramento - Extensão Ceilândia - Estação 35 - Planta

[40]. DE.4/35.7G/J4.002 Sistema de Aterramento - Extensão Samambaia - Estação 35 - Planta

[41]. DE.4/35.7G/J4.003 Sistema de Aterramento - Extensão Samambaia - Estação 35 - Planta

[42]. DE.4/35.7G/J4.004 Sistema de Aterramento - Extensão Samambaia - Estação 35 - Planta

[43]. DE.4/35.7G/J4.005 Sistema de Aterramento - Extensão Samambaia - Estação 35 - Seção e Detalhes

[44]. DE.4/35.7G/J4.006 Sistema de Aterramento e SPDA - Extensão Samambaia - Estação 35 - Planta de Cobertura

[45]. DE.4/36.7H/J4.001 Sistema de Aterramento - Extensão Samambaia - Estação 36 - Planta

[46]. DE.4/36.7H/J4.002 Sistema de Aterramento - Extensão Samambaia - Estação 36 - Planta

[47]. DE.4/36.7H/J4.003 Sistema de Aterramento - Extensão Samambaia - Estação 36 - Planta

[48]. DE.4/36.7H/J4.004 Sistema de Aterramento - Extensão Samambaia - Estação 36 - Planta

[49]. DE.4/36.7H/J4.005 Sistema de Aterramento - Extensão Samambaia - Estação 36 - Seção e Detalhes

[50]. DE.4/36.7H/J4.006 Sistema de Aterramento e SPDA - Extensão Samambaia - Estação 36 - Planta de Cobertura

[51]. DE.4/41.6M/J4.001 Sistema de Aterramento - Extensão Asa Norte - Estação 41 - Planta

[52]. DE.4/41.6M/J4.002 Sistema de Aterramento - Extensão Asa Norte - Estação 41 - Planta

[53]. DE.4/41.6M/J4.003 Sistema de Aterramento - Extensão Asa Norte - Estação 41 - Planta

[54]. DE.4/41.6M/J4.004 Sistema de Aterramento - Extensão Asa Norte - Estação 41 - Planta

[55]. DE.4/41.6M/J4.005 Sistema de Aterramento - Extensão Asa Norte - Estação 41 - Seção e Detalhes

[56]. DE.4/41.6M/J4.006 Sistema de Aterramento - Extensão Asa Norte - Estação 41 - Seção e Detalhes

[57]. DE.4/41.6M/J4.007 Sistema de Aterramento - Extensão Asa Norte - Estação 41 - Seção e Detalhes

[58]. DE.4/41.6M/J4.008 Sistema de Aterramento e SPDA - Extensão Asa Norte - Estação 41 - Planta de Cobertura

[59]. DE.4/91.7G/J4.001 Sistema de Aterramento - Extensão Samambaia - SR 63 - Planta

[60]. DE.4/91.7G/J4.002 Sistema de Aterramento e SPDA - Extensão Samambaia - SR 63 - Planta de Cobertura

[61]. DE.4/EX.99/10.600 - Sistema de Aterramento – Quadro de Aterramento

[62]. NTD-1.04 – Norma Técnica da CEB Distribuição – Critérios de Projeto e Padrões de Construção de Rede de Distribuição Subterrânea

[63]. DE.4/EB.28/00.201 - SUBESTAÇÃO RETIFICADORA 15 (ESTAÇÃO 28) - DISPOSIÇÃO DOS EQUIPAMENTOS – PLANTA

[64]. DE.4/EB.29/00.201 - SUBESTAÇÃO RETIFICADORA 16 (ESTAÇÃO 29) - DISPOSIÇÃO DOS EQUIPAMENTOS – PLANTA

[65]. DE.4/EB.41/00.201 - SUBESTAÇÃO RETIFICADORA 21 (ESTAÇÃO 41) - DISPOSIÇÃO DOS EQUIPAMENTOS – PLANTA

[66]. DE.4/EB.63/00.201 - SUBESTAÇÃO RETIFICADORA 63 - DISPOSIÇÃO DOS EQUIPAMENTOS – PLANTA

[67]. DE.4/EB.35/00.201 - SUBESTAÇÃO RETIFICADORA 64 (ESTAÇÃO 35) - DISPOSIÇÃO DOS EQUIPAMENTOS – PLANTA

[68]. DE.4/EB.36/00.201 - SUBESTAÇÃO RETIFICADORA 65 (ESTAÇÃO 36) - DISPOSIÇÃO DOS EQUIPAMENTOS – PLANTA

[69]. DE.4/EC.28/00.402 - SUBESTAÇÃO AUXILIAR - ESTAÇÃO 28 (CEILÂNDIA) - DISPOSIÇÃO DE EQUIPAMENTOS – PLANTA

[70]. DE.4/EC.29/00.402 - SUBESTAÇÃO AUXILIAR - ESTAÇÃO 29 (CEILÂNDIA) - DISPOSIÇÃO DE EQUIPAMENTOS - PLANTA

[71]. DE.4/EC.35/00.402 - SUBESTAÇÃO AUXILIAR - ESTAÇÃO 35 (SAMAMBAIA) - DISPOSIÇÃO DE EQUIPAMENTOS – PLANTA

[72]. DE.4/EC.36/00.402 - SUBESTAÇÃO AUXILIAR - ESTAÇÃO 36 (SAMAMBAIA) - DISPOSIÇÃO DE EQUIPAMENTOS – PLANTA

[73]. DE.4/EC.41/00.402 - SUBESTAÇÃO AUXILIAR - ESTAÇÃO 41 (ASA NORTE) - DISPOSIÇÃO DE EQUIPAMENTOS – PLANTA

[74]. OR.4/28.1N/Z3.027– PROJETO DE ATERRAMENTO – ESTAÇÃO 28 - PLANILHA DE SERVIÇO E QUANTIDADE – PSQ

[75]. OR.4/29.1N/Z3.001 - PROJETO DE ATERRAMENTO – ESTAÇÃO 29 - PLANILHA DE SERVIÇO E QUANTIDADE – PSQ

[76]. OR.4/35.7G/Z3.027 PROJETO DE ATERRAMENTO – ESTAÇÃO 35 - PLANILHA DE SERVIÇO E QUANTIDADE – PSQ

[77]. OR.4/36.7H/Z3.027 PROJETO DE ATERRAMENTO – ESTAÇÃO 36 - PLANILHA DE SERVIÇO E QUANTIDADE – PSQ

[78]. OR.4/41.6M/Z3.027 PROJETO DE ATERRAMENTO – ESTAÇÃO 41 - PLANILHA DE SERVIÇO E QUANTIDADE – PSQ

[79]. OR.4/91.7G/Z3.027 PROJETO DE ATERRAMENTO – SUBESTAÇÃO RETIFICADORA 63 - PLANILHA DE SERVIÇO E QUANTIDADE – PSQ

[80]. ATA DE REUNIÃO DO DIA 28/08/2014 – ANÁLISE ESTUDO TÉCNICO RT.4/EX.99/10.601 E DIAGRAMAS ESQUEMÁTICOS

4 NORMAS TÉCNICAS UTILIZADAS

[1]. NBR 5410:2004 - Instalações Elétricas de Baixa Tensão

[2]. 5419:2005 - Proteção de Estruturas Contra Descargas Atmosféricas

[3]. NBR 7117-2012 – Medição da resistividade e determinação da estratificação do solo

[4]. NBR 15751/2013 – Sistemas de Aterramento de Subestações – Requisitos

[5]. ABNT NBR 13571:2006-Hastes de Aterramento de Aço-cobreado e Acessórios

[6]. ABNT NBR 16254-1:2013-Materiais de Aterramento

[7]. ABN NBR 15749:2009 - Medição de resistência de aterramento e de potenciais na superfície do solo em sistemas de aterramento

[8]. EN 50122-1:2011 - Railway applications – Fixed installations – Electrical safety, earthing and the return circuit - Part 1: Protective provisions against electric shock

[9]. EN 50122-2:2010 - Railway applications – Fixed installations – Electrical safety, earthing and the return circuit - Part 2: Provisions against the effects of stray currents caused by d.c. traction systems

5 CONCEITO GERAL DO SISTEMA DE ATERRAMENTO DA EXPANSÃO DO METRÔ - DF

A solução que será adotada para os trechos da expansão do Metrô-DF, irá basear-se conforme [3] RT.6/EX.99/00.001 onde aplicável, as adaptações que porventura forem aplicadas serão justificadas neste estudo.

Com relação ao sistema de aterramento, será utilizado o de “dois terras”, por tratar-se da ampliação de um sistema já em operação.

Segundo este projeto conceitual, a adoção do sistema integrado de aterramento apresenta como vantagens principais: redução dos custos do sistema de aterramento, diminuição da resistência de terra global do sistema e redução do risco de flutuação de potencial entre sistemas independentes.

O “terra da via” é composto pelos trilhos de rolamento que servem de retorno da corrente contínua ao barramento negativo das Subestações Retificadoras (SRs).

O “terra geral" ou sistema de aterramento é formado por toda a malha de terra sob a edificação, bem como pelos cabos de cobre nu de 50 mm² que deverão ser lançados ao longo das vias, sendo um enterrado a 30 cm sob o banco de dutos dos cabos de energia e outro a 30 cm sob banco de dutos dos cabos de sinalização e interligados entre si a cada 200 m. Estes cabos deverão ser instalados sob o banco de dutos na parte interna mais próxima das vias conforme figura abaixo:

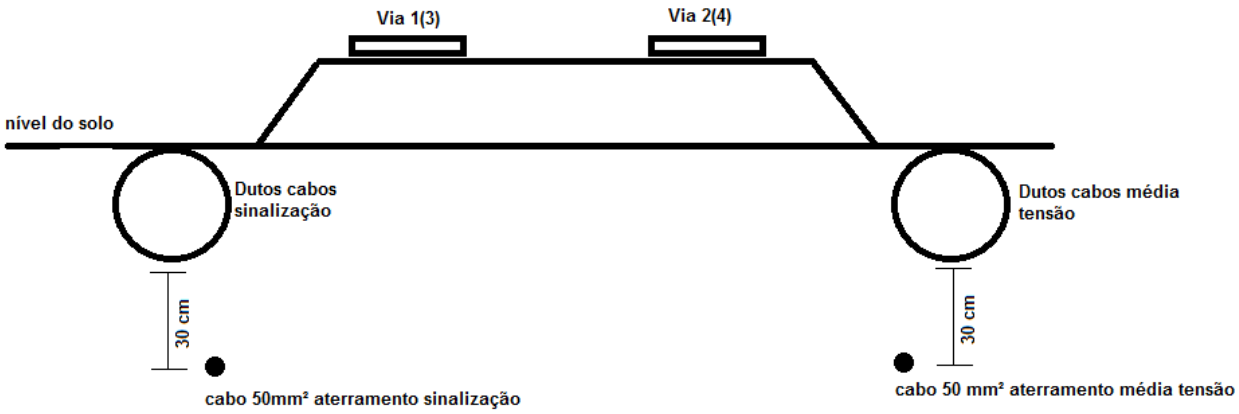


Figura 1 - Instalação cabos terra longitudinais

Apesar de o sistema atual adotar seções de cabo de 35 mm² e 25 mm² sob os bancos de dutos de potência e sinalização, esta solução difere da referência [3] com relação à seção destes cabos, em função de simulações realizadas na Memória de Cálculo do Sistema de Aterramento [5], que levam em conta níveis de curto-circuito do sistema atuais.

Esta interligação dos cabos longitudinais a cada 200 m tem como objetivo equalizar o potencial do solo em ambos os lados da via e servir de blindagem para os cabos de sinalização, reduzindo também a impedância longitudinal proporcionando um caminho de escoamento das correntes de falha entre SRs e foram verificados através da referência [5].

Estes cabos longitudinais deverão ser conectados ao Terra Externo Estrutural (TEE) e não deverão ser diretamente conectados a malha de aterramento das edificações, de modo que de forma alguma seja permitida a transferência de potenciais perigosos para pontos remotos, através destes condutores.

Em função da simulação da referência [5], diferentemente do sistema atual que utiliza apenas um cabo-terra instalado no interior de túneis, deverá ser considerada a interligação de dois cabos longitudinais de cobre nu 50 mm² às ferragens estruturais dos mesmos de 30 em 30m. Deverão ser previstos acessos às cambotas treliçadas, que ficam sob o concreto secundário dos túneis a cada 30m.

Nos túneis, recomenda-se a separação dos condutores relativos aos circuitos de baixa tensão dos de média tensão, localizando-os em perfilados separados, perfilados do lado da Via 1(3) para os cabos de baixa tensão e os de média tensão nos perfilados do lado da Via 2(4).

Conforme Figura 2 - Aterramento em túnel, deverão ser instalados dois cabos longitudinais de aterramento 50 mm², um sob os perfilados dos cabos de baixa tensão e interligado ao (TEE) do túnel e o outro sob os perfilados destinados aos cabos de média tensão, sendo este cabo de aterramento também ligado ao (TEE) do túnel.

A conexão dos cabos-terra longitudinais ao TEE deverá ser executada conforme conexão A060 – Conexão de cabo de aterramento às barras de aço estrutural. Ver detalhe em [8]PP.4/00.99/J4.001 - Sistema de Aterramento - Geral - SR 63 e Estações 28, 29, 35, 36 e 41 - Detalhes Padronizados.

Estes cabos não podem ter contato elétrico com as barras chatas destinadas ao confinamento das correntes de fuga.

Para orientar as instalações dos equipamentos de ventilação (PV – Poço de Ventilação), deve ser observado o aterramento das estruturas dos mesmos, com conexão à carcaça do motor e quadro de comando, por meio de conexão apropriada (mínimo bitola de 25 mm²), derivada a partir do cabo longitudinal de seção 50 mm², proveniente dos acessos alocados a cada de 30 nos túneis.

Nos trechos em túnel utilizar também a alimentação dos equipamentos de baixa tensão de acordo com o esquema TN-S.

Nos trechos sob viadutos não interligar os cabos longitudinais as ferragens dos mesmos, de modo a não transferir potenciais perigosos do sistema metroviário ao viaduto.

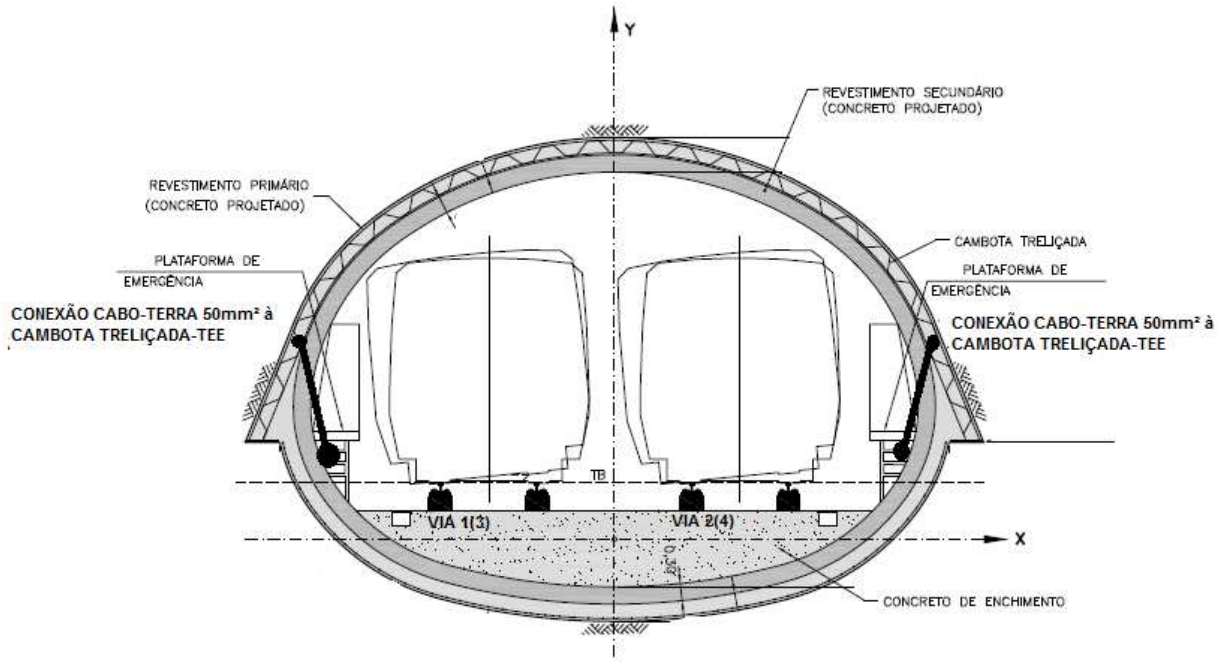


Figura 2 - Aterramento em túnel

Todas as esquadrias metálicas (portas, janelas), eletrodutos metálicos e coberturas metálicas localizadas nas edificações deverão ser conectadas ao TEE. A conexão deverá ser realizada conforme A014 – Conexão exotérmica de cabos a tubos e perfis horizontais/verticais. Ver detalhe em [8]PP.4/00.99/J4.001 - Sistema de Aterramento - Geral - SR 63 e Estações 28, 29, 35, 36 e 41 - Detalhes Padronizados

Este estudo foi realizado com base nas normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas e recomendações específicas para o sistema metroviário conforme item 4.

No documento [8] PP.4/00.99/J4.001 - Sistema de Aterramento - Geral - SR 63 e Estações 28, 29, 35, 36 e 41 - Detalhes Padronizados, apresentamos os materiais padronizados que são compostos por códigos que serão utilizados em todos os desenhos do projeto para identificação dos componentes/materiais e servirão para elaboração das listas de materiais dos respectivos desenhos.

Os condutores deverão ser fornecidos conforme o seguinte padrão:

Cabo	Cor
Aterramento BT	Verde
Aterramento MT	Amarela
Neutro	Azul
Fase	Preta

5.1 Aterramento do Sistema de Sinalização e Controle

As carcaças de equipamentos como máquinas de chave, sinaleiros, caixas à margem de via deverão ser conectados ao cabo longitudinal de 50 mm² lançado ao longo da via e enterrado sob o banco de dutos de sinalização, conforme apresentado no diagrama esquemático [9] DG.4/EX.99/10.600 - Sistema de Aterramento - Estações 28/29/35/36/41 e SR 63- Diagrama Geral - Fl. 1/2 E 2/2.

Para todos os equipamentos instalados ao longo da via colocar uma camada de pelo menos 10 cm de pedra britada nº 3 (38 a 50 mm), 1m além da área ocupada pelo equipamento.

Nos itens subsequentes descreveremos o aterramento e blindagem dos painéis e cabos do Sistema de Sinalização e Controle.

5.1.1 Aterramento de Equipamentos com Componentes Eletrônicos Sensíveis

Todo painel ou quadro elétrico deverá possuir uma barra de aterramento conectada na carcaça e outra barra para o neutro, a qual deve ser isolada de partes metálicas. Desta forma, garante-se a alimentação dos sistemas de sinalização e controle internos às estações através do esquema de aterramento TN-S.

Para os equipamentos externos (instalados a céu aberto nas vias operacionais), que devam ter alto grau de confiabilidade tais como sinaleiros, máquinas de chave e circuitos de via, utilizar esquema de aterramento IT (ver Figura 3). Neste esquema de aterramento o ponto de alimentação é aterrado através de uma alta impedância. As massas são aterradas através de um condutor comum (PE) para todos os equipamentos ao longo da via e conectadas na origem da alimentação. Cabe ressaltar que todos os circuitos de alimentação do tipo esquema IT, deverão possuir um Dispositivo Supervisor de Isolamento (DSI), pois nestes esquemas como o circuito não será desligado na primeira falta, o DSI irá sinalizar à manutenção que irá atuar e eliminar o defeito.

Tal proposição neste projeto básico deverá ser avaliada pelo projetista do sistema de sinalização e controle para sua utilização/alteração, conforme as características do sistema a vir a ser implantado.

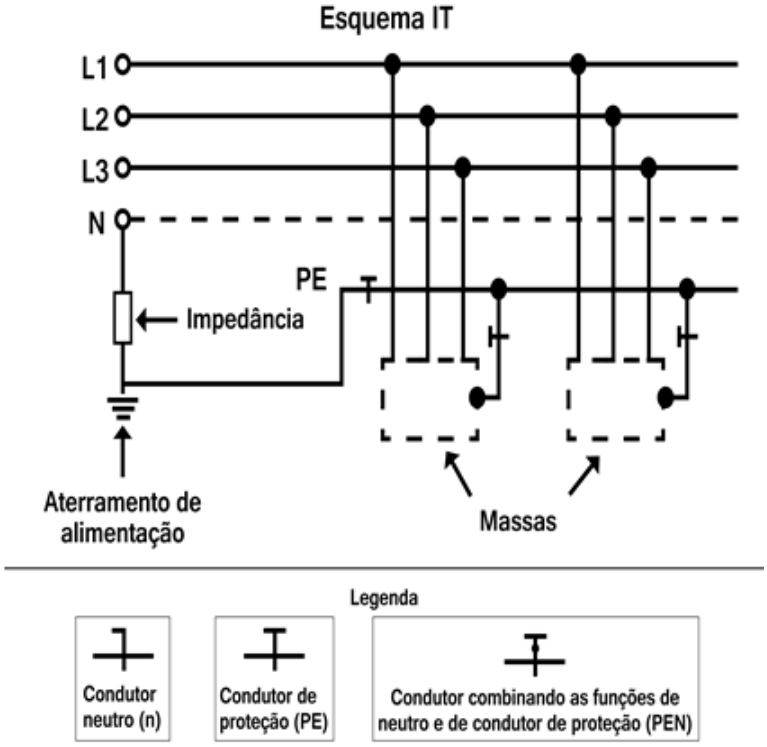


Figura 3 - Esquema de aterramento IT

O sistema de aterramento destes equipamentos deverão seguir o diagrama esquemático [9] DG.4/EX.99/10.600 - Sistema de Aterramento - Estações 28/29/35/36/41 e SR 63-Diagrama Geral - Fl. 1/2 E 2/2, onde as carcaças dos equipamentos ao longo da via (máquinas de chave, sinaleiros e caixas à margem de via) são conectados ao Terra Externo Estrutural (TEE), composto pelo cabo longitudinal de 50mm² lançados ao longo das vias.

Todas as partes metálicas que compõem os equipamentos (gavetas, perfis de sustentação, chapas de instalação, portas, laterais etc.) que não estão sujeitas a potencial elétrico devem ser montadas de forma a proporcionar um caminho elétrico eficaz para a terra.

Nas salas técnicas conectar a barra de aterramento do QDF-ST (Quadro de Distribuição e Força da Sala Técnica) a carcaça metálica do quadro e a ferragem estrutural mais próxima (TEE) através de um cabo de cobre isolado na cor verde com seção mínima de 50 mm². Para detalhamento do sistema de aterramento da sala técnica ver diagramas esquemáticos [12], [15], [18], [21], [24] e [26].

Os painéis e quadros elétricos devem possuir na sua parte inferior interna uma barra de cobre, com seção mínima de 50 mm², ou igual a das barras das fases, para conexão da fiação de aterramento e da blindagem dos cabos de controle. Esta barra deve ser dotada de dois conectores próprios para cabos de cobre nu com seção de 16 a 50 mm² localizados nas extremidades da barra.

Internamente ao quadro e próximo ao local de acesso dos cabos externos, deve existir outra barra de terra de cobre, destinada à conexão das blindagens dos cabos de sinal. Esta barra deve ser isolada do gabinete e ligada, em um único ponto, diretamente à barra de aterramento do quadro.

A barra utilizada para ligação das blindagens deve estar bem conectada (superfície de grande contato e condutora) mecânica e eletricamente à estrutura do painel ou quadro.

5.1.2 Aterramento da Blindagem de Cabos

Para os cabos de sinalização e controle devem-se utilizar cabos preferencialmente com dupla blindagem objetivando atenuação das interferências eletromagnéticas.

A blindagem externa dos cabos, ou seja, a blindagem comum a todos os condutores deverá ser conectada à barra de aterramento de sinal no painel de aquisição do sinal.

A blindagem do par ou trio, ou seja, a blindagem que abrange somente um par ou trio dos cabos, será conectada à barra de aterramento de sinal somente no lado do painel de aquisição do sinal.

Todas as veias não utilizadas de cabos multicondutores, sejam elas condutores singelos, pares ou trios, deverão ser conectadas à barra de aterramento de sinal no lado do painel de aquisição do sinal referente àquele cabo.

A continuidade da blindagem deve ser mantida ao longo de todo o percurso do cabo, inclusive nas caixas de passagem ou de junção e internamente aos painéis até os bornes dos dispositivos.

Os cabos com blindagem simples (única blindagem externa) devem ser aterrados em ambas as extremidades.

Os cabos com blindagem dupla, blindagem para o par/trio (interna que envolve cada par/trio individualmente) e blindagem coletiva (externa que envolve todos os pares/trios) devem ser aterrados conforme indicado a seguir:

- As blindagens internas devem ser aterradas somente no ponto de chegada ao sistema de controle;

- A blindagem externa deve ser aterrada em ambas as extremidades do cabo.

O fabricante deve aterrar a blindagem externa na barra de aterramento de blindagens. As blindagens internas (individuais) devem ser aterradas próximo aos bornes dos dispositivos. A distância entre os bornes dos dispositivos e o ponto de aterramento das blindagens não deve ser mais que 5 cm.

No caso do sistema de Sinalização e Controle (SC), durante a fase de desenvolvimento do projeto executivo, fica a cargo do projetista propor e com prévia autorização do Metrô-DF,

alterações na solução proposta no projeto básico de aterramento, que melhor atenda à tecnologia que vier a ser adotada, ficando os custos de alterações a cargo da proponente.

5.2 Aterramento para o Sistema de Baixa Tensão

5.2.1 Aterramento para os Circuitos de Baixa Tensão (Tensão Nominal ≤ 1000V)

Todos os circuitos de distribuição de energia deverão possuir obrigatoriamente um condutor de proteção (PE), que deverá ser instalado no mesmo eletroduto ou bandejamento, e posicionado próximo dos condutores das fases e neutro do circuito em questão.

O PE deverá ter uma isolação compatível com a tensão nominal do circuito, sendo esta isolação na cor verde.

Preferencialmente deverão ser utilizados cabos multipolares, sendo uma das veias dos mesmos utilizada para o PE, outra para o neutro (N) e as demais para as fases (R, S e T).

Cabe observar que esta é uma configuração que pode ser considerada como a ideal, principalmente em relação ao retorno da maior parcela possível de corrente de curto-circuito fase-terra pelo condutor de proteção (PE).

O esquema de aterramento dos circuitos de distribuição de Baixa Tensão a ser implantado nas Subestações Auxiliares, Subestações Retificadoras, Sala de Controle e Sala Técnica deverão ser obrigatoriamente do tipo TN-S, isto é com os condutores neutro e de proteção (PE) distintos e aterrados no quadro de aterramento (QA) das Subestações Retificadora e Subestação Auxiliar, que por sua vez estão conectados ao TEE, através de um condutor de 120 mm², conforme figura abaixo:

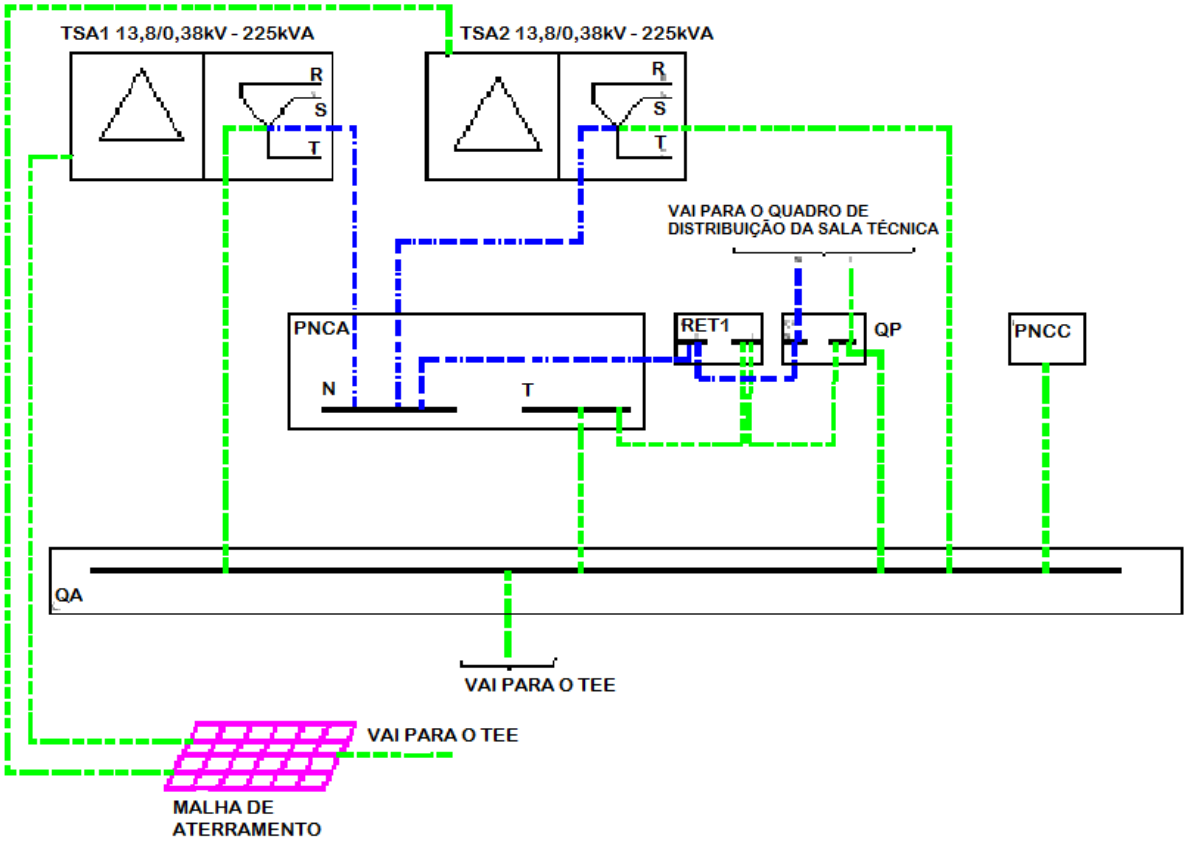


Figura 4 - Esquema de Aterramento da Subestação Auxiliar

Para detalhamento do aterramento dos circuitos de Baixa Tensão (BT) ver diagramas esquemáticos de [10] até [26].

Todas as edificações deverão possuir este tipo de infraestrutura de aterramento, denominada “Terra Externo Estrutural” (TEE), para servir de aterramento das partes metálicas que normalmente não conduzem corrente durante a operação normal dos equipamentos de baixa tensão e eletrônica.

As interligações das carcaças metálicas ao TEE em cada uma das edificações, não substitui sob hipótese alguma a passagem e ligação do condutor de proteção (PE) em todos esses equipamentos de baixa tensão conforme exigido pelo item 5.1.2.2.3.6 da ABNT NBR 5410:2004.

É muito importante do ponto de vista de segurança que o retorno dos valores mais elevados das correntes de curto-circuito fase-terra à fonte dos circuitos de baixa tensão, seja feito impreterivelmente através de condutores metálicos apropriados, no caso os condutores de proteção (PE) respectivos de cada circuito, conforme apresentado na Figura 4.

Todos os painéis de corrente alternada de baixa tensão (PNCA) das Subestações Retificadoras e Subestações Auxiliares deverão possuir uma barra de aterramento,

conectada eletricamente ao invólucro metálico dos mesmos e uma barra de neutro, convenientemente isolada das respectivas carcaças metálicas destes painéis, sendo as mesmas separadas fisicamente entre si. É muito importante que o aterramento do neutro seja executado em um só ponto e na origem da instalação, sendo este aterramento executado do ponto central do enrolamento secundário ligado em estrela do transformador abaixador (TSA1 e TSA2) para o QA, conforme indicado na Figura 4.

Do ponto central do enrolamento secundário do transformador da Subestação Auxiliar saem dois cabos isolados seção 120 mm², sendo o neutro em condutor azul para o PNCA e o terra condutor verde para o QA. As seções dos condutores estão definidas nas memórias de cálculo MC.4/EC.XX/00.401.

Do ponto central do enrolamento secundário do transformador das Subestações Retificadoras (TF1 e TF2) saem dois cabos isolados seção 10 mm², sendo o neutro em condutor azul para o PNCA e o condutor verde para QA.

Para detalhamento do sistema de aterramento das Subestações Auxiliares ver diagramas esquemáticos [10], [13], [16], [19] e [22].

No projeto do sistema de aterramento da expansão do Metrô - DF foram estabelecidos dois quadros de barra de aterramento, um localizado na Subestação Retificadora e outro localizado na Subestação auxiliar, conforme apresentado nas plantas de Disposição de Equipamentos das Subestações Auxiliares DE.4/EC.XX/00.40X e das Subestações Retificadoras DE.4/EB.XX/00.20X.

Da barra de terra do QA sairão os aterramentos para as carcaças de equipamentos e partes metálicas.

Um importante requisito da norma NBR-5410 [1], refere-se à questão da equalização de potencial. O objetivo dessa equalização de potencial é evitar tensões de contato perigosas em caso de defeitos fase-massa, internas ou externas ao prédio.

Na fase de detalhamento do projeto de aterramento, quando da correta localização de canalizações metálicas instaladas no trajeto da expansão do Metrô - DF, é importante isolar as tubulações internas das externas, com uma camada isolante de borracha na conexão de forma a isolar eletricamente o possível caminho de transferência de potenciais perigosos, bem como o adequado aterramento antes da entrada das canalizações na edificação.

A possibilidade de transferência de potenciais perigosos através das canalizações metálicas que passem das partes externas da edificação para as internas, deve ser analisada, sendo que quando houver esta possibilidade, providências devem ser tomadas para que o devido isolamento elétrico seja dimensionado e aplicado, bem como o adequado aterramento antes da entrada das canalizações na edificação.

Para as Estações 28, 29, 35, 36 e 41 e SR 63 o condutor de proteção (PE), será ligado nos barramentos de aterramento dos painéis de corrente alternada de baixa tensão (PNCA), o qual por sua vez, está conectado aos invólucros metálicos dos citados painéis elétricos. Como já foi citado, todos os equipamentos elétricos deverão possuir obrigatoriamente o seu próprio condutor de proteção (PE), todos estes condutores de proteção individuais que serão conectados nas carcaças metálicas dos equipamentos irão derivar da barra de aterramento do QA.

Todos os quadros de distribuição de luz e força deverão possuir uma barra de aterramento de cobre no interior do quadro, de bitola condizente à seção dos condutores de proteção (PE). Estes condutores de proteção (PE) se originarão da barra de aterramento do PNCA, e deverão ser de cobre com isolação na cor verde. Os circuitos terminais deste quadro deverão ter obrigatoriamente cada um deles os seus próprios condutores de proteção (PE) derivados do barramento de aterramento do respectivo quadro de distribuição. O condutor de proteção (PE) de cada um desses circuitos deverá ser posicionado quando de sua instalação, fisicamente próximo dos condutores fase e do neutro do circuito correspondente, objetivando deste modo a diminuição das reatâncias de retorno das correntes de curto-circuito fase-terra à fonte.

Nas salas de baterias das Subestações Auxiliares e Subestações Retificadoras, conforme MC.4/EC.XX/00.401 e MC.4/EB.XX/62.201, as partes metálicas de suporte deverão ser aterradas numa barra de terra de seção 35 mm² que deverá ser interligada ao TEE através de um cabo isolado de mesma seção,

Existem duas barras de equipotencialização, instaladas nos QAs, uma localizada nas Subestações Auxiliares e outra nas Subestações Retificadoras, nas demais áreas das Estações, não deverá haver nenhum condutor ou barra de aterramento de equipotencialização, exceto os condutores de proteção (PE) dos próprios circuitos de luz e força.

5.3 Aterramento para o Sistema de Energia e Tração

5.3.1 Malhas das Edificações (SR 15, 16, 63, 64, 65 e 21)

A malha de aterramento das edificações será dimensionada com os seguintes objetivos principais:

a) Possibilitar o retorno à fonte de parte ou do total do valor da corrente devido a um curto-circuito, proporcionando em consequência a devida operação das proteções;
b) Manter os potenciais que surgem nas partes metálicas de estruturas e carcaças dos equipamentos, dentro dos limites admissíveis;
c) Possibilitar o controle dos potenciais desenvolvidos no solo devido as correntes de malha, potenciais de passo, toque e transferência, dentro de valores admissíveis;
d) Possibilitar a diminuição dos valores das tensões fase-terra durante transitórios no sistema elétrico;

e) Possibilitar a conexão dos equipamentos a um potencial de referência, sendo que estas conexões cumprem dois importantes objetivos, o de aterramento do sistema (aterramento do ponto neutro dos transformadores) e aterramento de proteção (aterramento das partes metálicas dos equipamentos em geral).

Para detalhamento do sistema de aterramento das Subestações Retificadoras ver diagramas esquemáticos [11], [14], [17], [20], [23] e [25].

Como resultado das interligações entre os sistemas de aterramento, teremos uma redução significativa da resistência de aterramento do conjunto.

No caso de SR's vizinhas de estações de passageiros deverá ser executada uma adequada equalização dos potenciais, conforme apresentado nos desenhos de [28] até [60] entre o sistema de proteção contra descargas atmosféricas, com os demais sistemas de aterramento. Esta equalização consiste em conectar os cabos destinados ao SPDA às ferragens das edificações (TEE) e a malha de aterramento das estações.

No projeto de detalhamento das malhas de aterramento, deverão ser previstos poços de inspeção, localizados nos cantos externos da periferia da malha, em um número de quatro, para facilitar a execução periódica de medições do valor da resistência de aterramento de dissipação dos sistemas de aterramento, bem como para verificar o potencial característico dos cabos de cobre da malha em relação à célula padrão de cobre sulfato de cobre, objetivando detectar eventuais possíveis sinais de corrosão dos condutores componentes da mesma. Nos poços de inspeção, deverão ser disponibilizados condutores de cobre com um comprimento de no mínimo oitenta centímetros de comprimento, de mesma bitola dos da malha, conectados aos condutores da malha de aterramento, sendo que as hastes componentes da malha deverão ser instaladas com as extremidades superiores a uma mesma profundidade dos condutores da malha de aterramento. Todas as conexões nestes poços de inspeção deverão ser feitas com solda exotérmica. Os cabos dentro dos poços disponíveis para as conexões do terrômetro e da célula padrão de cobre sulfato de cobre, deverão ficar sob uma camada de brita, a ser colocada dentro dos referidos poços. Cabe observar que estas medições podem ser executadas em qualquer ponto acessível do sistema de aterramento ou ferragens estruturais.

Estas malhas de aterramento podem ser consideradas como sendo uma malha de dispersão para terra no sentido da fonte de parte da corrente de falha do sistema de média tensão, tendo, portanto como função básica a de:

a) Propiciar o retorno de parte da corrente de falha (curto-circuito fase-terra) da rede de média tensão, através da malha de aterramento e para a fonte da mesma;
b) Equalizar os potenciais entre os equipamentos de corrente alternada de média tensão;
c) Garantir a segurança de pessoas e equipamentos.

Deverão ser aterrados nesta malha de aterramento da edificação somente os seguintes equipamentos:

a) Partes metálicas dos transformadores de serviços Auxiliares das SAs e das SRs de 13,8/0,38 kV;
b) Partes metálicas dos transformadores de média tensão dos grupos retificadores de tração;
c) As estruturas metálicas dos cubículos de média tensão instalados nas Subestações Retificadoras;
d) Todas as blindagens dos cabos de média tensão da interligação com as estações adjacentes, inclusive com a Subestação primária.

As malhas de aterramento de média tensão deverão ser revistas e ajustadas se necessário, no projeto executivo, e ser dimensionadas com base nas normas brasileiras e recomendações internacionais especificadas no item 4.

Para o dimensionamento da malha de aterramento, foi considerado o nível de curto-circuito fase – terra ([1](RT.4/EX.99/00.015 - Estudo de Nível de Curto Circuito em Corrente Alternada – Trecho Expansão) da rede de média tensão no ponto onde será instalada a respectiva malha. Observar que deverão ser levadas em consideração também as contribuições de corrente que serão fornecidas pelas estações adjacentes interligadas, no caso de um curto-circuito fase-terra em situações consideradas as piores possíveis.

Futuras ampliações que possam existir e assim influenciar no valor final desta corrente de curto-circuito calculada/presumida, também deverão ser incluídas.

Reavaliações devem ser executadas quando alterações significativas forem feitas quando da execução de futuras ampliações do sistema, que possam aumentar os valores destas correntes e por sua vez influenciar no desempenho das malhas anteriormente calculadas.

O tempo de eliminação de falha deve ser compatível com os tempos de atuação dos relés de proteção e a abertura efetiva dos disjuntores. Naturalmente esse tempo de eliminação da falha deve ser levado em consideração não só no dimensionamento das bitolas dos condutores das malhas de aterramento de dissipação como também no cálculo dos potenciais de toque e passo máximos admissíveis.

Corroborando com as orientações do documento RT.6/EX.99/00.001 - BRASMETRÔ – Projeto Conceitual do Sistema de Aterramento Geral do Metrô – DF, deverá ser considerada a conexão das ferragens estruturais às ferragens previstas no projeto dos pisos das estações de passageiros, Subestações Auxiliares e Subestações Retificadoras.

No presente caso, de forma estimativa, o tempo de eliminação de falha foi considerado igual a 0,5 segundos (meio segundo).

O dimensionamento do sistema de aterramento de média tensão (MC.4/EX.99/10.601 – Sistema de Aterramento – Estações 28, 29, 35, 36, 41 e SR 63 - Memória de Cálculo) deverá ser tal que os potenciais de toque e passo em qualquer ponto das estações resultem em valores menores ou no máximo iguais, aos máximos admissíveis calculados conforme a norma NBR 15751/2013 – Sistemas de Aterramento de Subestações – Requisitos e recomendações citadas anteriormente.

A resistividade do solo do local onde será instalada a malha de terra da média tensão foi medida pelo método descrito em [3]NBR 7117-2012 – Medição da resistividade e determinação da estratificação do solo e conforme orientado no relatório emitido [4], para o projeto executivo, após a terraplenagem, é obrigatório e imprescindível a realização de novas medições da resistividade, para que essas não sejam afetadas por elementos desconhecidos e reflitam o perfil real do solo.

A profundidade recomendada de instalação da malha de aterramento da edificação deverá constar claramente no projeto executivo devendo ser de no mínimo 0,50 metros abaixo do nível da face inferior da laje de fundo das edificações no caso das estações subterrâneas. Além disso, deverá ser instalada sob a edificação referida por ocasião da execução das obras brutas, e antes da concretagem das lajes e fundações. No caso das subestações de superfície instalar as malhas a uma profundidade de no mínimo 0,5 m da superfície do solo.

Todas as conexões enterradas, executadas nas malhas de aterramento de média tensão, cabo-cabo, hastes-cabo deverão ser executadas através de solda exotérmica.

Todas as hastes de aterramento a serem instaladas nas malhas de aterramento de média tensão deverão ser fabricadas por eletrodeposição, com uma camada mínima de cobre de 0,254 mm, ¾” de diâmetro com três metros de comprimento, conforme prescrito na referência [5] constante da lista de normas técnicas utilizadas.

Deverão ser instalados eletrodos de aterramento verticais (hastes de aterramento) com as mesmas características das citadas no parágrafo anterior em todos os pontos onde forem conectados os cabos isolados na cor amarela na malha de terra de média tensão, cabo este utilizado para interligar a malha de aterramento de média tensão aos equipamentos de média tensão. Estes eletrodos têm como finalidade minimizar a impedância de surto nestes pontos específicos de aterramento das carcaças dos transformadores de média tensão, bem como as carcaças dos cubículos e blindagens dos cabos de média tensão.

Após a instalação das referidas malhas deverão ser executadas medições das resistências de aterramento para verificação dos valores calculados no documento MC.4/EX.99/10.601 – Sistema de Aterramento – Estações 28, 29, 35, 36, 41 e SR 63 - Memória de Cálculo. Deve ser utilizado nessas medições o método da queda de potencial por injeção de corrente, conforme referência [7] citada na lista de normas técnicas utilizadas. Em não se

obtendo os resultados esperados, novos estudos, correções, testes devem ser realizados até que se obtenha resultado dentro de parâmetros aceitáveis em normas.

Os potenciais de passo e toque estabelecidos no documento MC.4/EX.99/10.601 – Sistema de Aterramento – Estações 28, 29, 35, 36, 41 e SR 63 - Memória de Cálculo, deverão também ser verificados através de medições por corrente injetada. O método a ser utilizado deverá ser o sugerido na referência [7] da lista de normas técnicas utilizadas. Em não se obtendo os resultados esperados, novos estudos, correções, testes devem ser realizados até que se obtenha resultado dentro de parâmetros aceitáveis em normas.

Deverão ser previstas medições de resistência elétrica, objetivando a comprovação da continuidade elétrica entre o sistema de captação do SPDA localizado na cobertura das edificações e o respectivo sistema de aterramento, o qual poderá ser acessado através de qualquer um dos poços de inspeção localizados nos vértices de cada uma das edificações. A medição deverá ser executada com a utilização de um microhmímetro microprocessado, capaz de injetar no mínimo 5 amperes no circuito sob medição.

5.3.2 Equipamentos das Subestações Retificadoras

5.3.2.1 Cubículos de média tensão corrente alternada

As carcaças dos cubículos de média tensão de corrente alternada, partes metálicas dos transformadores de tração deverão ser interligados à malha de aterramento da edificação através de cabo isolado na cor amarela seção 120 mm².

O quadro de aterramento, onde serão ligados os cabos de interligação à malha de aterramento da edificação deverá seguir o dimensionamento apresentado no desenho [61]DE.4/EX.99/10.600 - Sistema de Aterramento – Quadro de Aterramento

A disposição entre os cubículos de média tensão e os de corrente contínua deve ser tal que possa ser mantida uma distância segura de 2,50m (isolamento por fora de alcance) entre os mesmos, e entre os cubículos de corrente contínua e o TEE (paredes, colunas, estruturas metálicas e similares). Esta distância também deverá ser obedecida entre os cubículos de corrente contínua e outros equipamentos da baixa tensão e eletrônica. Objetivando desta maneira, proteger o pessoal de operação contra eventuais tensões de contacto, pois estes sistemas poderão ter os seus potenciais distintos agravados principalmente em caso de defeito.

Não deve ser permitido que com as portas abertas os cubículos de média tensão e os de corrente contínua possam ser tocados simultaneamente por uma pessoa. Caso este fato seja inviável devido a limitações de espaço, instruções claras aos operadores dos perigos das eventuais tensões de toque devem ser fornecidas.

5.3.2.2 Blindagens metálicas dos cabos de média tensão de corrente alternada:

O aterramento da blindagem dos cabos de média tensão é um dos pontos extremamente importantes do ponto de vista da efetividade não só da operação das proteções como também como um dos componentes do sistema de aterramento de média tensão. Por ter como uma das principais finalidades possibilitar o retorno das correntes de defeito (correntes de curto-circuito fase-terra) para a fonte geradora de média tensão deve-se sempre dar preferência a se propiciar caminhos metálicos para servir de retorno das correntes de curto-circuito fase-terra desde o ponto de defeito até a fonte de geração das mesmas.

Portanto essas blindagens externas à isolação dos cabos de média tensão deverão ser convenientemente dimensionadas, ou lançado cabo de aterramento alternativo, não só para criar uma distribuição equipotencial do campo elétrico entre o cabo e a própria blindagem, mas também para suportar a corrente de defeito (de curto-circuito fase-terra) calculada, e que possa circular pela mesma, levando-se em consideração todas as contribuições possíveis de corrente de curto-circuito fase-terra.

Como premissa utilizou-se cabo MT de cobre nu lançado sob o banco de dutos dos cabos de potência, conforme padrão da concessionária local ([62]NTD-1.04 – Norma Técnica da CEB Distribuição – Critérios de Projeto e Padrões de Construção de Rede de Distribuição Subterrânea):

Tabela 25 - Dimensionamento do condutor de proteção

MATERIAL DO CONDUTOR FASE	SEÇÃO DO CONDUTOR FASE (mm^2)	SEÇÃO DO CONDUTOR PROTEÇÃO (mm^2)
Cobre	35	35
	95	95
	120	
	185	
	240	120

Cabe observar que, o rompimento de isolação em cabos de média tensão, gera em sua volta um campo magnético, devido a tensão elevada, como também um campo elétrico em suas proximidades, com valores consideráveis, suficientes para provocar a circulação de correntes de defeito (curto circuito fase-terra), através das respectivas blindagens.

Essas blindagens deverão ser interligadas ao cabo de cobre nu, nos pontos de emendas e à malha de terra das edificações.

O cabo de cobre nu lançado sob o banco de dutos, deverá estar acessível e identificado em todas as caixas de passagem.

Os cabos de cobre nu lançados sob o banco de dutos, deverão estar acessíveis e identificados em todas as caixas de passagem instaladas a cada 50m. Em cada caixa de passagem deverá ser instalada 1 (uma) haste de aterramento ¾".

De forma geral, o tratamento a ser dado para as blindagens é o de aterrá-las em ambas as extremidades nas malhas das estações, e a outra ponta na malha de aterramento da Subestação primária.

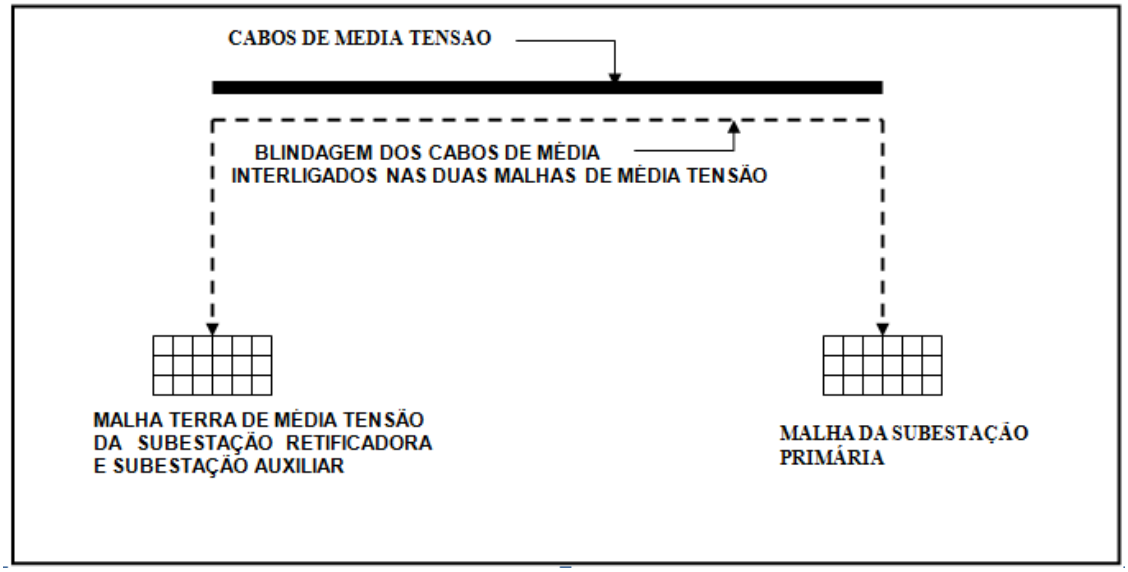


Figura 5 - Diagrama típico dos cabos de média tensão com blindagens interligadas nas duas extremidades, na Subestação Retificadora e na malha da Subestação primária

5.3.2.3 Retificadores e sistema de corrente contínua - CC:

Na Subestação Retificadora encontram-se circuitos de corrente alternada e corrente contínua. Como foi visto, os equipamentos de média tensão deverão ser aterrados na malha de aterramento da edificação.

As carcaças dos equipamentos de corrente contínua não podem ser aterrados na malha de aterramento supracitada nem no TEE, devido aos seguintes motivos:

a) No caso de um curto-circuito do positivo de corrente contínua (+CC) para as partes metálicas a corrente que irá circular para o TEE e pelas partes metálicas envolvidas seguramente não irão atingir os valores mínimos suficientes para o acionamento das proteções, devido as resistências elevadas do circuito de fechamento entre o positivo (+ CC) em curto com o TEE e o negativo (-CC). Os caminhos que esta corrente de defeito irá percorrer de uma maneira geral são totalmente aleatórios, e em certos casos podendo seguir caminhos de alta resistência, fluindo sem o devido controle podendo causar outros danos tais como romper isolamentos e/ou componentes em seu trajeto, colocando em risco inclusive o pessoal operacional. Cabendo observar que quanto maior a potência da Retificadora maior serão estes riscos.

Devido basicamente a estes fatos outros critérios de proteção deverão ser adotados nas instalações que envolverem corrente contínua, a saber:

a.1) Isolar da malha da edificação e das estruturas das obras civis (TEE), dentro do ambiente das Subestações Retificadoras, as partes metálicas normalmente não condutoras de corrente (carcaças) correspondentes aos invólucros dos equipamentos de corrente contínua (armários dos retificadores, cubículos dos disjuntores extra-rápidos).

a.2) A disposição dos cubículos da corrente contínua e alternada devem ser tais que uma pessoa não possa tocá-los simultaneamente, uma distância de no mínimo 2,50 metros entre eles deve ser garantida. Não deve ser permitido que com as portas abertas os mesmos possam ser tocados simultaneamente por uma pessoa.

a.3) Somente pessoal autorizado, treinado e advertido com relação aos problemas que podem surgir de diferenças de potencial entre estes cubículos de corrente alternada e contínua devem operar estes sistemas, simultaneamente instalados em um mesmo ambiente.

a.4) As carcaças metálicas dos cubículos de corrente contínua deverão ser monitorados por relé 76, para falha de isolação.

a.5) Os cubículos de 1kVcc e os retificadores deverão estar isolados do piso meio por meio de material isolante compatível com o especificado no documento ET.4/EB.99/26.201, assim como as paredes e colunas no caso em que a disposição citada no item a.2) não respeitar uma distância mínima de 2,50 metros entre os equipamentos de corrente contínua e de média tensão e destes as paredes e colunas, a fim de isolar uma possível ponte condutora entre o terra da via (TV) e o terra externo estrutural (TEE) representado pelas carcaças dos equipamentos de média tensão.

a.6) As carcaças dos cubículos (armários) de corrente contínua deverão estar isolados do piso por uma camada isolante que suporte no mínimo 3000 V.

a.7) Medidas especiais de proteção, como a utilização de curto-cicuitador de terras, que tem como função não permitir que a diferença de potencial entre o TEE e o terra da via ultrapasse valores que criem perigo aos usuários (estes valores estão normalizados através da norma EN 50122-1) deverão ser instaladas. Este curto-circuitador deverá ser ligado entre o terra da via (-CC) e diretamente no TEE. Este dispositivo, conforme recomenda a norma [8] EN 50122-1:2011 - Railway applications – Fixed installations – Electrical safety, earthing and the return circuit - Part 1: Protective provisions against electric shock, deverá monitorar e fazer a equipotencialização de tensão entre os terras enquanto durar a sobretensão (curto-circuitador de terras). Esta função poderá ser efetuada por contator acionado por um relé de tensão em corrente contínua que curto–circuita temporariamente os trilhos (terra da via – TV) com o terra externo estrutural (TEE). A atuação desse relé de

tensão levará a situação de alarme e desarme dos “feeders” do positivo do trecho com defeito.

a.8) Seccionadores e contatores do terceiro trilho devem ser isolados e as caixas dos mesmos devem ser de fibra isolante e montadas sobre isoladores.

As características do sistema metroviário em questão devem garantir a não ultrapassagem dos valores máximos permitidos de tensão de toque em função do tempo de exposição de acordo com a norma supracitada conforme abaixo:

EN 50122-1:2011 – 60 –

Table 6 — Maximum permissible effective touch voltages $U_{te,\,max}$ in d.c. traction systems as a function of time duration

t s	$U_{te,\,max}$ long-term V	$U_{te,\,max}$ short-term V
> 300	120	-
300	150	-
1	160	-
0,9	165	-
0,8	170	-
0,7	175	-
< 0,7	-	350
0,6	-	360
0,5	-	385
0,4	-	420
0,3	-	460
0,2	-	520
0,1	-	625
0,05	-	735
0,02	-	870

Key
t time duration
$U_{te,\,max}$ permissible effective touch voltage

Figura 6 - Tensões de toque permissíveis norma EN 50122-1

a.9) Deverá ser implementada PROTEÇÃO DE SEGUNDO NÍVEL, nos cubículos de 1kVcc, (positivo e negativo). Basicamente deverá ser utilizado para-raios poliméricos de óxido de zinco, conforme documento MC.4/EB.XX/00.201. A impedância de aterramento dos citados para-raios deverá ser a menor possível, o que significa a utilização preferencial de condutores de cobre, em formato de fita, com uma bitola mínima de (50 x 1,75)mm, com comprimentos os menores possíveis.

5.3.3 Aterramento dos transformadores de Serviços Auxiliares das SR's (SR-15, 16, 63, 64, 65 e 21)

Nas SR's SR-15, 16, 63, 64, 65 e 21 todas as carcaças dos transformadores de serviços auxiliares de 30 kVA deverão ser interligados através de cabo isolado de cobre nu 10 mm² às malhas das respectivas edificações.

Para maior detalhamento ver Diagramas Esquemáticos [11], [14], [17], [20], [23] e [25].

5.3.4 Aterramento dos equipamentos do SPCS (Sistema de Proteção, Controle e Supervisão)

Todo painel ou quadro elétrico deverá possuir uma barra de aterramento conectada na carcaça e outra barra para o neutro, a qual deve ser isolada de partes metálicas. Desta forma, garante-se a alimentação do SPCS e controle internos às estações através do esquema de aterramento TN-S.

O aterramento dos painéis que contenham equipamentos integrantes dos sistemas digitais de controle, supervisão e proteção (controladores programáveis, quadros de computadores, instrumentos microprocessados, equipamentos com componentes eletrônicos sensíveis) deverão ser conectados à barra interna de aterramento destes painéis, localizada próxima à entrada de cabos e assim que definido o seu fornecimento, deverão ser detalhados e possuir dispositivos de proteção contra surtos.

Nas salas de controle todas as carcaças metálicas dos equipamentos devem ser isoladas entre si e ligadas à barra de terra do quadro de aterramento (DE.4/EX.99/10.600 - Sistema de Aterramento – Quadro de Aterramento) da Subestação Retificadora conforme apresentado nos diagramas esquemáticos [12], [15], [18], [21], [24] e [26].

5.3.5 Aterramento PEE Hípica

Foi prevista também, uma malha de aterramento para a PEE Hípica, onde estarão instalados os cubículos de medição CEB, cubículos dos alimentadores das SRs 03, 04, 05 e 06, os filtros de harmônicos e os cubículos de proteção destes filtros.

Para conexão das partes metálicas dos filtros de harmônicos, parte metálica dos cubículos de proteção dos filtros e cubículos dos alimentadores das SRs 03, 04, 05 e 06 na PEE Hípica, utilizar cabo de cobre isolado de mesma seção da malha de aterramento, ou seja, seção de 50 mm² conforme [5].

Conforme apresentado no item 5.3.2.2, as blindagens dos cabos dos alimentadores provenientes da CEB (média tensão) deverão ser interligadas à malha de aterramento da PEE Hípica.

5.4 Aterramento para as Estações de Passageiros (28, 29, 35, 36 e 41) e outras edificações

Deverá ser prevista a conexão das ferragens dos pisos das estações 28, 29, 35, 36 e 41 ao TEE. Os pisos das plataformas destas estações deverão ser recobertos com material pouco permeável à umidade e elevada resistividade superficial, com consequente diminuição do valor da corrente que possa fluir da via para a plataforma, através de qualquer conexão acidental feita por uma pessoa no momento do embarque ou desembarque nos trens que estão no potencial do terra da via (TV), sendo que a plataforma está no potencial do terra externo estrutural (TEE).

Para melhor detalhamento ver desenhos de [27] até [60].

As demais instalações elétricas das estações de passageiros e outros prédios serão feitas com aterramentos de acordo com a Norma NBR 5410 [1] com esquema TN-S com PE e N (funções de proteção e neutro) derivados da barra de terra da Subestação Auxiliar, a qual estará ligada às derivações do cabo-terra.

5.5 Aterramento para o Sistema de Proteção Contra Descargas Atmosféricas - SPDA

Apresentam-se abaixo as diretrizes necessárias para o projeto básico de SPDA (Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas) para as edificações das estações componentes da expansão do Metrô - DF. Serão estabelecidas as características para a sua execução nas estações de passageiros 28, 29, 35, 36, 41 e SR 63.

Conforme a norma [2]5419:2005 - Proteção de Estruturas Contra Descargas Atmosféricas, todas as edificações e estruturas deverão possuir um sistema de proteção contra descargas atmosféricas (SPDA) especificado conforme o nível de proteção requerido e características próprias de cada uma das mesmas. O SPDA deverá ser dimensionado de acordo com o conceito básico de utilização de barras chatas, cabos de aço ou cabos de cobre convenientemente soldados às armaduras das edificações, terminais aéreos interligados às mesmas na cobertura, e sistemas de aterramento em formato de anéis ao redor das edificações, também apropriadamente interligados às armaduras das fundações.

O sistema de proteção contra descargas atmosféricas diretas - SPDA das edificações deverá seguir o método da eletrogeométrico, no qual deverão ser utilizados na descida, cabos de cobre nu 50 mm², soldados às ferragens dos pilares, vigas e fundações. Pela norma NBR 5419:2005 para estruturas com mais de 20 m utilizar seção mínima de 35 mm². Optou-se em utilizar cabo de 50 mm² de cobre por questões de esforços mecânicos.

Na cobertura da edificação, tal método deverá utilizar quando for o necessário, uma malha de captação dimensionada em conformidade com o nível de proteção e Tabela I da norma [2]. Para determinação do nível de proteção ver 5.5.1.

No aterramento de dissipação do SPDA, além das ferragens das fundações deverá ser instalado um anel de aterramento de dissipação e equalização ao redor da edificação, o qual deverá ser formado por um condutor de cobre nu de 50 mm² de seção transversal interligado às ferragens das fundações através de um vergalhão liso de cobre eletrolítico com diâmetro de 12,7mm, soldado às ferragens da armadura do pilar através de solda elétrica utilizando-se um eletrodo especial AWS-CUAL -1A.

O desenvolvimento do projeto básico baseou-se na orientação de Normas Técnicas ABNT, especialmente a NBR-5419/2005 – Proteção de Estruturas contra Descargas Atmosféricas, ver [2]. Além destas orientações buscou-se sempre a utilização da boa técnica e o emprego racional de recursos.

Cabe ressaltar, que um SPDA não pode assegurar a proteção absoluta de uma estrutura, de pessoas e de bens, entretanto a aplicação dos parâmetros e do projeto adotado reduz de forma significativa os riscos de danos internamente às estruturas, devido às descargas atmosféricas diretas. A proteção contra as descargas atmosféricas diretas (raios) é chamada no presente documento de proteção primária, a qual tem seus parâmetros básicos definidos no item 4.5.1.

5.5.1 Proteção Primária

A PROTEÇÃO PRIMÁRIA compreende a blindagem aérea oferecida pelas hastes para raios (captores) adicionais, luminárias com captores (terminais aéreos instalados nas mesmas), proteção contra o impacto direto de raios nas edificações, aterramentos das demais estruturas condutoras, que podem ser consideradas como captores naturais.

Este conjunto de elementos metálicos aterrados com alturas e formas geométricas específicas irá formar uma blindagem representada pelo chamado volume de proteção, aos equipamentos e pessoas com certa eficácia.

Esse volume de proteção deverá ser efetivo para descargas atmosféricas com correntes associadas iguais ou maiores do que 5,4 kA até 150 kA.

O volume de proteção, também chamado raio de atração, ou raio da semi-esfera fictícia (R) o qual varia em função da corrente associada à descarga atmosférica, sabendo-se que quanto maior for o valor desta corrente tanto maior será o raio de atração (R) e consequentemente o volume de proteção oferecido. Portanto como veremos a seguir, se a proteção primária for dimensionada para um certo valor determinado de (R), a maioria das correntes associadas às descargas atmosféricas iguais ou maiores do que a mesma deverão ser captadas pelo sistema de proteção (captação) assim projetado.

Para a determinação do raio de atração (R) deverá ser utilizada a fórmula constante da ABNT NBR 5419:2005 “Proteção de estruturas contra descargas atmosféricas”:

$$R = 10 * (I_{máx})^{0,65}$$

Sendo:

(Imáx) em kA e “ R ” raio de atração em metros.

(Imáx) é o valor de crista máximo do primeiro raio negativo em quiloampéres

(R) é o raio de atração ou o raio da esfera fictícia a ser utilizado no Modelo Eletrogeométrico (MEGM).

O valor de (I máx) deve ser igual a 5,4 kA.

Obtendo-se um R ≈ 30 metros, correspondendo, portanto ao NÍVEL II DE PROTEÇÃO segundo a ABNT NBR 5419:2005.

5.5.1.1 Premissas da Proteção Primária

A blindagem que deverá ser projetada para atender as exigências relativas à PROTEÇÃO PRIMÁRIA das edificações deverá ser dimensionada utilizando-se o raio da esfera fictícia (R) ≈ 30 m o que corresponde a uma corrente do primeiro raio negativo igual a 5,4kA (NÍVEL DE PROTEÇÃO II segundo a ABNT NBR 5419:2005), proporcionando em consequência uma blindagem contra raios tal que permita o seu rompimento somente em 1% dos casos, sendo este rompimento somente admitido para correntes inferiores à 5,4 kA.

A PROTEÇÃO PRIMÁRIA utilizando-se do (MEGM) deverá garantir a proteção de quaisquer objetos ou pessoas localizados internamente ao volume de proteção, ou seja internamente à edificação.

Todos os elementos naturais de captação, tais como postes metálicos deverão possuir aterramento local convenientemente dimensionado e interligado com os aterramentos dos SPDAs das edificações adjacentes.

Tal conjunto deverá poder captar e dispersar para a terra correntes da ordem de 150 kA (de 5,4 kA à 150 kA).

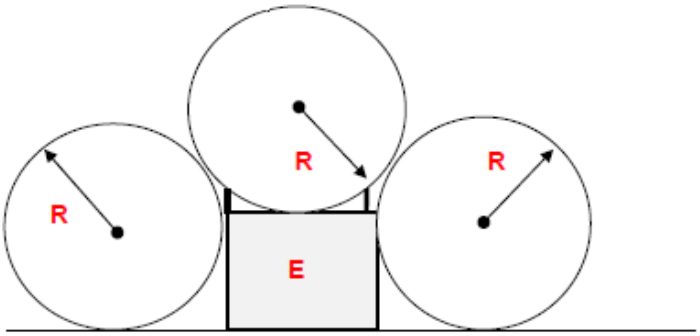


Figura 7 - Modelo Eletrogeométrico (MEGM) – Volume de Proteção

Onde:

H = Altura da edificação

E = Edificação, volume de proteção

R = Raio da Esfera fictícia ≈ 30 metros

Junto aos mastros suporte dos captores, ou postes metálicos deverão ser instaladas pelo menos duas hastes de aterramento, fabricadas pelo processo eletrolítico, com alta camada de cobre com 0,254mm de espessura, com 3 m de comprimento e ¾" de diâmetro, em configuração "pé de galinha" distanciada entre si de 3 metros. Estas hastes devem ser interligadas aos aterramentos das edificações adjacentes.

5.5.1.2 Proteção Primária das Edificações – (SPDA)

As edificações que possam ser atingidas por descargas atmosféricas, deverão ter um sistema de proteção contra o impacto direto dos raios projetado utilizando-se o MEGM, atendendo os requisitos mínimos, conforme [2] 5419:2005 - Proteção de Estruturas Contra Descargas Atmosféricas, descritos abaixo:

a) Nível de proteção máximo permitido pelas premissas da PROTEÇÃO PRIMÁRIA deverá ser igual ou maior do que o Nível de proteção II, isto é, só são permitidos NÍVEIS DE PROTEÇÃO I E II, ou seja; raios da esfera fictícia do MEGM, R ≈ 20 e 30 m respectivamente.
b) Especificação de todos os componentes do SPDA, captores, terminais aéreos, espaçamento das descidas, em conformidade com o NÍVEL DE PROTEÇÃO, altura da edificação e listas de quantitativos elaboradas (ver referência de [74]até [79]).
c) Deverão ser utilizadas as barras chatas ou cabos de cobre soldados às armaduras dos pilares e das fundações como condutores de descida e aterramento de dissipação das correntes associadas aos raios.

5.5.1.3 Composição do SPDA das diversas edificações

A Proteção Contra Descargas Atmosféricas Diretas - SPDA das diversas Edificações será composta basicamente pelos seguintes elementos:

Captores naturais, compostos pelos suportes metálicos das telhas também metálicas, e quando for o caso das mesmas não serem metálicas, deverão ser posicionados captores não naturais formados por terminais aéreos de 0,60m x 3/8"de diâmetro, com cabeça boleada, aço SAE 1020 zincado por imersão a quente (500g/m²). Os terminais aéreos deverão ser entregues e instalados pelo fornecedor dos telhados metálicos.

Nas edificações que não for possível a utilização dos elementos naturais, como captação, descidas e aterramento, os quais devem ser de preferência sempre utilizados, pode-se, conforme mencionado anteriormente, utilizar com a aplicação do Modelo Eletrogeométrico – (MEGM) com (R) ≈ 30metros, captores, condutores de descida adicionais e aterramentos constituídos por elementos de cobre convenientemente posicionados e que obedeçam à Tabela 3 da ABNT NBR 5419:2005 constante na Figura 8:

Tabela 3 — Seções mínimas dos materiais do SPDA

Material	Captor e anéis intermediários mm²	Descidas (para estruturas de altura até 20 m) mm²	Descidas (para estruturas de altura superior a 20 m) mm²	Eletrodo de aterramento mm²
Cobre	35	16	35	50
Alumínio	70	25	70	-
Aço galvanizado a quente ou embutido em concreto	50	50	50	80

Figura 8 - Tabela 3 NBR 5419:2005 - Seções mínimas dos materiais do SPDA

O aterramento de dissipação do SPDA será composto pelas barras chatas, cabos de aço ou cabos de cobre soldados às armaduras das fundações, anel externo de cobre nu eletrolítico com bitola mínima de 50 mm² interligado às hastes também de cobre, fabricadas por eletrodeposição, com camada de cobre mínimo de 0,254 mm, com 3 metros de comprimento e ¾" de diâmetro, cravadas no solo em frente à todas as descidas naturais, constituídas pelos pilares pré-moldados.

Tanto as descidas naturais como os cabos de descida de cobre nu, deverão estar conectados às ferragens das fundações (TEE) e a malha de aterramento das edificações.

Abaixo seguem detalhes das conexões do cabo de cobre nu 50 mm² SPDA as ferragens das estruturas:

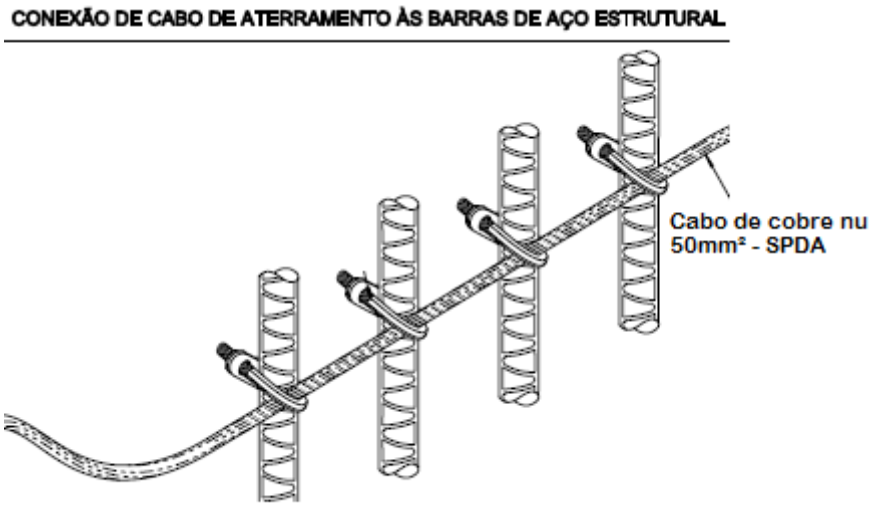


Figura 9 - Conexão cabo-terra/SPDA as ferragens das estruturas

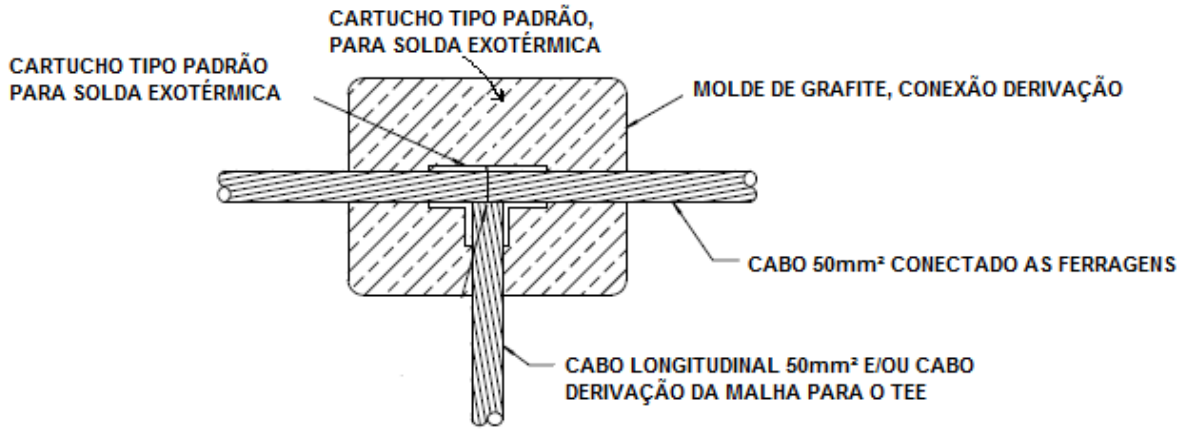


Figura 10 - Conexão cabo longitudinal 50mm² e/ou cabo derivação da malha de aterramento

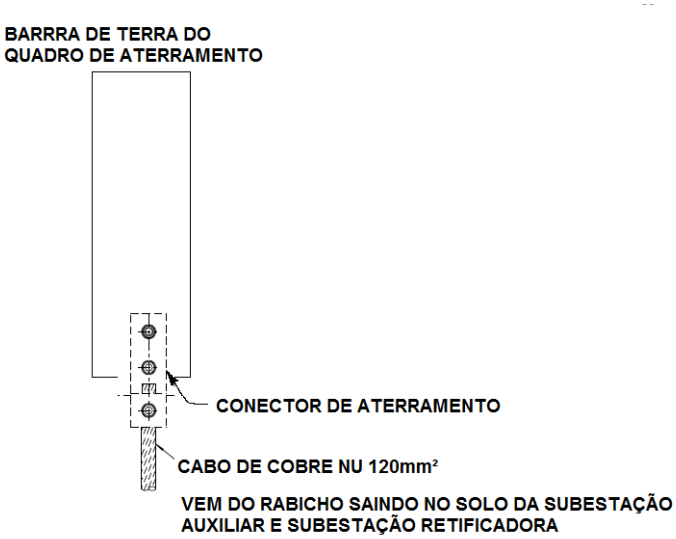


Figura 11 - CONEXÃO TEE AO QUADRO DE ATERRAMENTO

Para maiores detalhes ver [8]PP.4/00.99/J4.001 - Sistema de Aterramento - Geral - SR 63 e Estações 28, 29, 35, 36 e 41 - Detalhes Padronizados.

No caso das telhas metálicas serem adotadas como captores naturais, a Tabela 4 da ABNT NBR 5419:2005 deverá ser obedecida.

Tabela 4 — Espessuras mínimas dos componentes do SPDA

Dimensões em milímetros

Material	Captores			Descidas	Aterramento
	NPQ	NPF	PPF		
Aço galvanizado a quente	4	2,5	0,5	0,5	4
Cobre	5	2,5	0,5	0,5	0,5
Alumínio	7	2,5	0,5	0,5	--
Aço Inox	4	2,5	0,5	0,5	5

NPQ - não gera ponto quente;
NPF - não perfura;
PPF - pode perfurar.

Notas

1 Independentemente das espessuras, deverão ser mantidas as seções transversais mostradas da tabela 3

2 Os condutores e acessórios de aço (exceto inox) devem ser protegidos com uma camada zinco aplicado a quente (fogo) conforme a ABNT NBR 6323, ou com uma camada de cobre com espessura mínima de 254 µm, conforme ABNT NBR 13571.

3 O aço de construção só pode ser utilizado embutido no concreto.

Figura 12 - Tabela 4 NBR 5419:2005 Espessuras mínimas dos componentes SPDA

Os valores das resistências elétricas de contato que comprovam a adequada continuidade elétrica entre os captores, armaduras e barras chatas utilizadas como descidas até o aterramento de dissipação devem ser comprovadas após a execução através de medições por injeção de corrente conforme descrito no ANEXO E da ABNT NBR 5419:2005. Sendo que o valor máximo da resistência elétrica de contato permitida entre as mesmas deverá ser menor ou igual do que 1,0 Ω (um ohm). Cabe observar que com a revisão da ABNT NBR 5419:2005 este valor passará para um limite de 0,2 Ω.

Todas as conexões elétricas enterradas devem ser executadas por solda exotérmica, e as interligações entre o anel de aterramento de dissipação e as armaduras por solda elétrica, com a utilização de eletrodos de solda especiais.

Conforme mencionado anteriormente, um SPDA projetado segundo a ABNT NBR 5419:2005 não pode assegurar a proteção absoluta de uma Estrutura, pessoas e bens, ou seja, pessoas que estiverem externamente às estruturas não podem ser consideradas protegidas durante tempestades com raios, devendo as mesmas ser alertadas deste fato. Treinamento adequado de como o pessoal operativo deve se proteger e orientar os demais usuários deverá ser dado obrigatoriamente.

Cabe observar que a ABNT NBR 5419:2005 estabelece premissas das proteções das estruturas, pessoas e equipamentos internamente às mesmas, como citado no item 1.1 da ABNT NBR 5419:2005, e não do lado de fora das mesmas. Entretanto, a aplicação da citada norma reduz de forma significativa os riscos de danos devido às descargas atmosféricas.

Na montagem do SPDA deverão ser previstas todas as diretrizes determinadas nas normas técnicas ABNT para instalações elétricas prediais e industriais, assim como outras normas referentes à medicina e segurança do trabalho, principalmente a NR-10.

Quaisquer elementos metálicos condutores, com espessura do elemento metálico superior a 0,5cm, expostos a grandes alturas, superiores as alturas dos captores localizados nas suas proximidades numa distância de até 5 metros, podem e devem ser considerados captores naturais e, portanto, devem ser interligados ao sistema, mesmo que o projeto não esteja prevendo por motivos de falta de informações, ou que a instalação destes captores em potencial tenham sido instalados após a execução do SPDA da edificação.

Para detalhamento do projeto do SPDA ver desenhos [32], [38], [44], [50], [58] e [60].

5.5.1.4 Proteção Primária e Secundária em trechos da via a céu aberto

No caso da expansão do Metrô DF a Proteção Primária (contra descargas diretas) do polo positivo (terceiro trilho) e do polo negativo (trilhos de rolamento) não se aplica em função de não se tratar de esquema de alimentação catenária, e sim terceiro trilho no nível do solo.

Neste caso especificamente deve-se avaliar a utilização da Proteção Secundária.

Portanto, para limitar as sobretensões transitórias induzidas por acoplamento capacitivo e indutivo dos campos eletromagnéticos associados às altas correntes das descargas atmosféricas nuvem-solo e nuvem-nuvem (Proteção Secundária), utilizar elementos não curto-circuitantes, tais como para-raios poliméricos de oxido de zinco.

Quando as descargas atmosféricas atingem diretamente objetos próximos aos equipamentos instalados ao longo da via (até uma distância de aproximadamente 500m) os campos eletromagnéticos associados às correntes dos raios induzem tensões nos condutores destes equipamentos podendo danifica-los.

Estas proteções deverão ser alocadas e especificadas quando do detalhamento deste projeto, onde se têm bem definidas as características e parâmetros dos equipamentos adquiridos.

A Proteção Secundária supracitada é normalmente utilizada em equipamentos que possuam contato físico e/ou conexão elétrica com os trilhos (seccionadores, contatores, máquinas de chave, caixas a margem de via). Esta proteção consiste no alívio, em primeira instância, das sobretensões nos trilhos de rolamento, terceiro trilho, sinalização e se dá através de dispositivos de proteção contra surtos (DPS) que reduzem as sobretensões transitórias a valores suportáveis pelos equipamentos interligados aos mesmos.

Na fase do projeto executivo, faz-se necessário o Estudo de Coordenação de Isolamento, que tem por objetivo determinar as sobretensões às quais os equipamentos serão submetidos.

Para este estudo de coordenação de isolamento deverão ser definidas as características dos equipamentos (tipo de máquina de chave e tensão de alimentação da mesma, caixas à margem da via, sinaleiros, seccionadores, contatores), máxima tensão de operação

contínua, suportabilidade à sobretensões temporárias, corrente nominal de descarga e/ou corrente de impulso, suportabilidade à corrente de curto-circuito, características estas que serão confirmadas pelo fornecedor dos respectivos equipamentos/sistemas.

5.6 Aterramento das Cercas Metálicas de Vedação das Vias

Para o aterramento das cercas metálicas destinadas a vedação das vias da expansão do Metrô - DF serão apresentadas medidas gerais de proteção contra tensões perigosas de toque que servirão como base para o desenvolvimento do detalhamento em fase posterior.

O fechamento da faixa de servidão do Metrô - DF é feito através de um gradil eletrofundido, montado sobre montantes estruturados de 2700x80x60mm, chumbados numa fundação de concreto localizada a mais ou menos 40 centímetros da superfície do solo, conforme

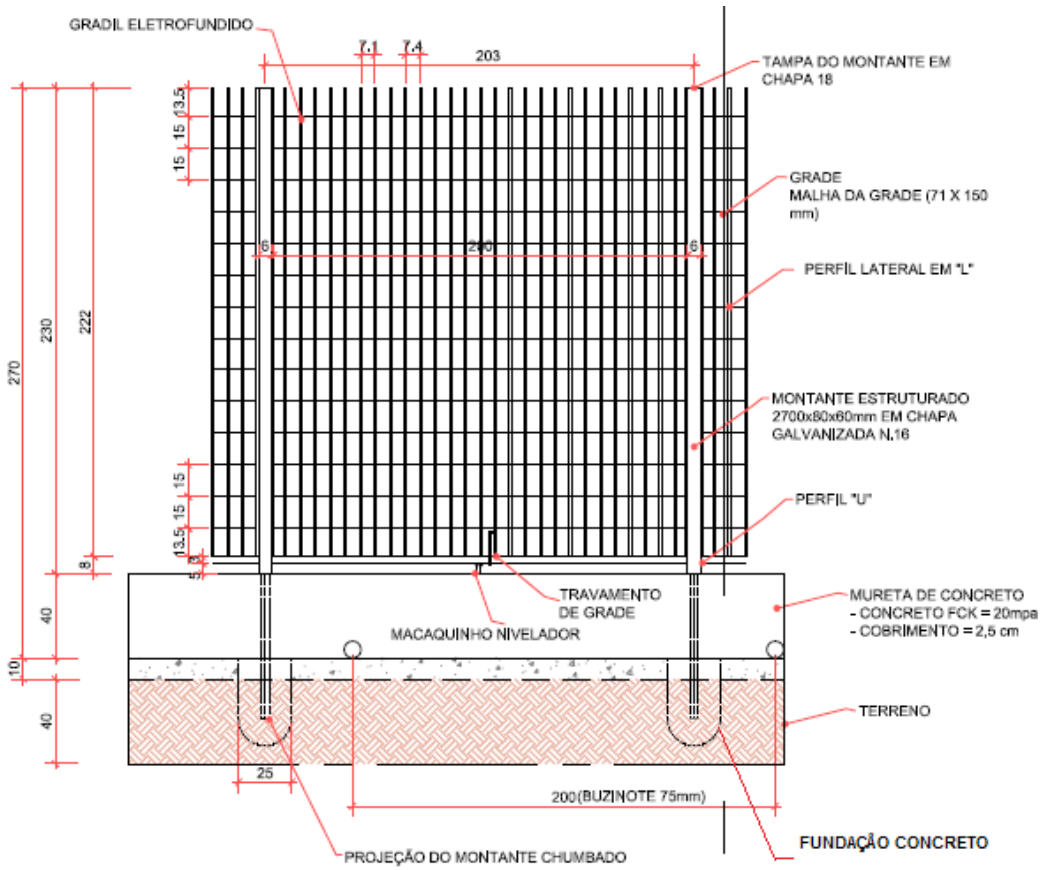


Figura 13 - Cerca Metálica

Consideramos as cercas metálicas localizadas fora da área da malha de terra das estações. Conforme norma técnica [4], estes trechos deverão ser seccionados e cada seção deverá ser aterrada por duas hastes, ver Figura 14, de modo a evitar a transferência de potencial perigoso para pontas distantes. O aterramento feito desta forma faz com que os potenciais de toque produzidos nessas seções fiquem reduzidos, pois praticamente acompanham o perfil do potencial do solo da região. Trechos de cercas externas embaixo de linhas de AT e BT deverão ser tratados da mesma forma.

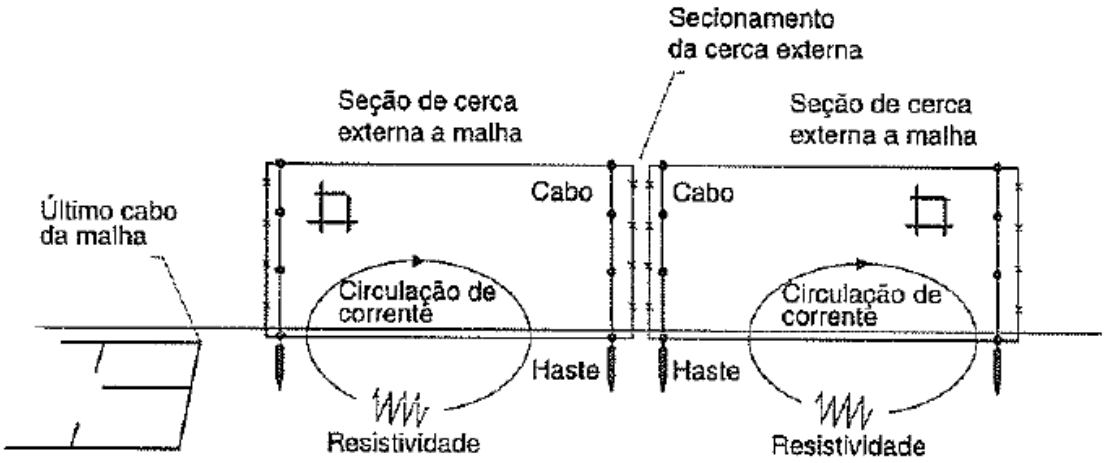


Figura 14 - Aterramento cercas metálicas

No caso da expansão do Metrô - DF, utilizar hastes de aterramento de 2,4m de comprimento, diâmetro 3/4", fabricadas pelo processo de eletrodeposição com uma camada de cobre de pelo menos 0,254mm de espessura. O diâmetro das hastes igual a 3/4" , foi escolhido para garantir o cravamento em terrenos mesmo sendo mais compactos do que o normal.

Após a instalação das hastes junto a estas seções de cerca, interligadas à mesma, deverá ser verificado utilizando terrômetro, o valor da resistência de aterramento do conjunto, através do método da queda de potencial. Este sistema de aterramento, constituído das hastes e dos diversos montantes em paralelo deverá possuir um valor de resistência de aterramento menor ou no máximo igual a 10 ohms.

O seccionamento entre cercas e o distanciamento entre as hastes deverá ser de dez em dez metros uma da outra, ou seja, de cinco em cinco módulos. A continuidade elétrica entre os módulos deverá ser garantida e caso o valor máximo da resistência do sistema de aterramento seja ultrapassado, correções deverão ser previstas com a aplicação de hastes de aterramento adicionais.

O detalhe da conexão do cabo de aterramento que interliga as hastes às cercas metálicas, deverá ser conforme abaixo:

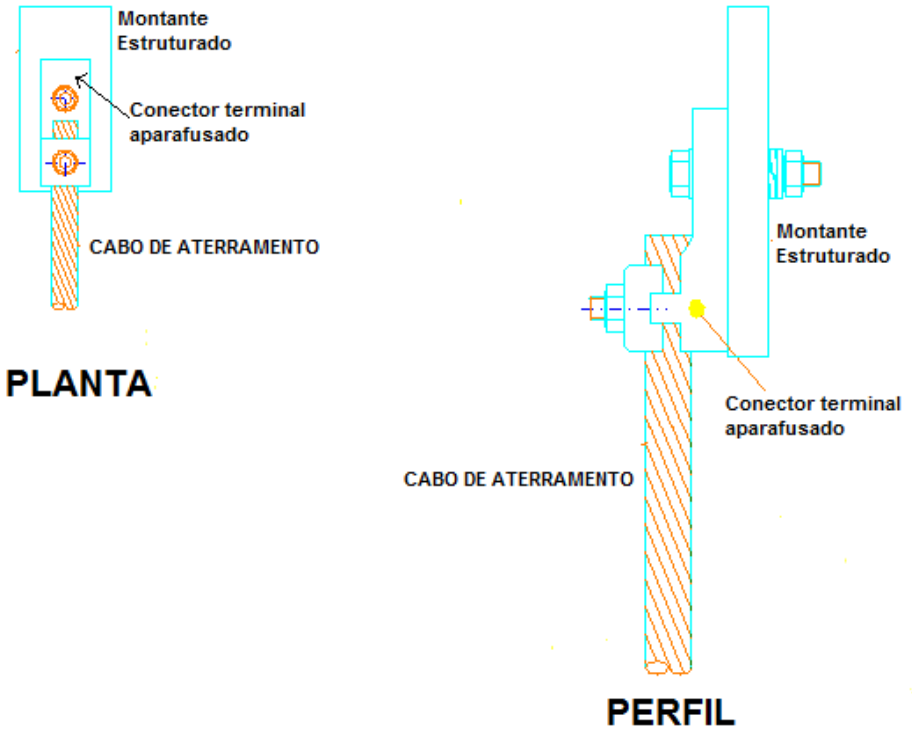


Figura 15 - Conexão hastes de aterramento às cercas metálicas