



A RELEVÂNCIA DO USO DA MALHA DE TERRA DE REFERÊNCIA PARA A SALA TÉCNICA DO DTCEA-CF

Aluno Everton Alves Barbosa^{1,*}, Aluno Francis Batista de Oliveira¹, Cap Esp Com Paulo Augusto Lacerda de Almeida Pinto², 2º Ten QOCon MXS Juliane Venturelli Silva Lima¹

1 – Centro de Instrução e Adaptação da Aeronáutica (CIAAR), Lagoa Santa - MG, Brasil.

2 – Destacamento de Controle do Espaço Aéreo de Aracajú (DTCEA-AR), Aracajú - SE, Brasil.

*Autor de contato: barbosaeab@fab.mil.br.

RESUMO

Os equipamentos de telecomunicações, que prestam suporte ao serviço de controle de tráfego aéreo, abrigados na Sala Técnica do Destacamento de Controle do Espaço Aéreo de Confins (DTCEA-CF), são considerados Equipamentos Eletrônicos Sensíveis (EES). Essa classificação ocorre tanto pelo fato de demandarem proteção contra interferências eletromagnéticas em seus circuitos eletrônicos embarcados, quanto pela importância dos serviços por eles suportados. Por esse motivo, a Força Aérea Brasileira (FAB), por meio do Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), recomenda o uso da Malha de Terra de Referência (MTR) como método de aterramento funcional, para prover equipotencialização e blindagem eletromagnética a esses dispositivos. Este artigo visa apontar a relevância do emprego dessa tecnologia na proteção desses EES, ao confrontar suas características com o que a literatura dispõe acerca das vulnerabilidades e ameaças às quais os EES estão sujeitos, justificando o papel desse aterramento na proteção dessa classe de equipamentos no DTCEA-CF e, por consequência, na manutenção da operação normal do serviço de controle de tráfego aéreo no âmbito do Sistema de Controle do Espaço Aéreo Brasileiro (SISCEAB).

Palavras-chave: Aterramento funcional, blindagem, equipotencialização, Malha de Terra de Referência.

ABSTRACT

Telecommunication equipments that support the air traffic control service, housed in the Technical Rooms of the Confins Air space Control Detachments (DTCEA-CF), are considered Sensitive Electronic Equipment (SEE). This classification occurs both because they demand protection against electromagnetic interference in their embedded electronic circuits, and because of the importance of the services they support. For this reason, the Brazilian Air Force (FAB), through the Department of

Airspace Control (DECEA), recommends the use of the Signal Reference Grid (SRG) as a functional grounding method, to provide equipotentialization and electromagnetic shielding to these devices. This article aims to point out the relevance of the use of this technology in the protection of these SEE, by confronting its characteristics with what the literature has about the vulnerabilities and threats to which SEE are subject, justifying the role of this grounding in the protection of this class of equipment in the DTCEA-CF and, consequently, in maintaining the normal operation of the air traffic control service within the scope of the Brazilian Airspace Control System (SISCEAB).

Keywords: Functional grounding, equipotentialization, Signal Reference Grid, shielding.

1 INTRODUÇÃO

Os Destacamentos de Controle do Espaço Aéreo (DTCEA) são órgãos que compõem o Sistema de Controle do Espaço Aéreo Brasileiro (SISCEAB). Eles são responsáveis por prestar serviço de controle de tráfego aéreo para aproximação e pouso em aeródromos. Para os grandes aeroportos, exige-se um órgão de controle bem equipado, com uma complexa configuração de aparelhos, associados à infraestrutura e ao pessoal adequados para suportar um elevado volume de tráfego aéreo. Assim, pela conveniência da localização geográfica próxima ao CIAAR, e por ser considerado um dos maiores e mais importantes destacamentos do Brasil, o DTCEA-CF foi escolhido como ambiente viável para os estudos deste trabalho.

Nessa organização militar há, abrigados na Sala Técnica, diversos equipamentos que dão suporte às atividades de controle de tráfego aéreo. A Norma Brasileira (NBR) 5410/2005, norma que regula instalações elétricas de baixa tensão, define como equipamentos de tecnologia da informação (ETI) aqueles concebidos para receber ou processar dados de uma fonte externa, ou a ela fornecer informações. Desse modo, essa denominação compreende uma

ampla variedade de dispositivos, como computadores, servidores, ativos de rede (roteadores e switches), conversores de dados (MODEM), equipamentos de telecomunicação e de transmissão de dados, sistemas de controle e automação, centrais de áudio, centrais telefônicas, etc. Dentre eles, alguns podem ser classificados como Equipamentos Eletrônicos Sensíveis (EES), em virtude de seus componentes eletrônicos demandarem proteção contra possíveis elementos presentes no ambiente, capazes de interferir na operação normal esperada.

Ademais, essa classificação objetiva principalmente elencar aqueles ETI, cujas funções são de elevada importância para a instituição, ou seja, os que estão ligados a sua missão, para suscitar ao gestor que os possui sob sua tutela uma maior atenção quanto à proteção necessária. Isso porque, qualquer espaço físico, em que não houver medidas restritivas à geração ou à propagação de sinais eletromagnéticos, conduzidos ou radiados, estará repleto deles, quer sejam os oriundos de fontes naturais, como o Sol e as descargas atmosféricas, quer sejam os gerados em decorrência do funcionamento de dispositivos elétricos.

A literatura especializada trata por Compatibilidade Eletromagnética (EMC) o estado em que o sistema composto por dispositivos elétricos mantém a realização de suas atividades sem sofrer danos ou perdas de desempenho, a despeito da existência desses ruídos eletromagnéticos. Por outro lado, quando há degradação, reconhece-se que houve interferência eletromagnética (EMI) e que, portanto, há susceptibilidade eletromagnética (EMS) por parte do sistema (OTT, 2009).

O uso conjunto de diferentes métodos de proteção, como tipos de blindagem e aterramentos, aumenta a eficiência no combate a essas interferências. Portanto, para os equipamentos eletrônicos da Sala Técnica do Destacamento de Controle do Espaço Aéreo de Confins (DTCEA-CF) torna-se muito importante investir em sistemas de proteção contra interferências eletromagnéticas, com o objetivo de manter a segurança para as operações dependentes de seus serviços, além de prover economia em manutenção de equipamentos.

Dentre as técnicas recomendadas para proteção dos dispositivos desse setor, há a previsão do uso da Malha de Terra de Referência (MTR) na Instrução do Comando da Aeronáutica (ICA) 66-30/2014, documento do Comando da Aeronáutica que trata dos “Requisitos Básicos para os Sistemas de Aterramentos e Proteção contra Surtos em Instalações do SISCEAB”. Esse recurso se associa aos métodos de aterramento funcional, cujo uso foi consolidado no mercado para proteção de equipamentos da mesma natureza, como *Data Center*, por ser considerado por décadas o método mais correto para prover equipotencialização e aterramento

para EES, auxiliando também no controle de ruídos eletromagnéticos. Por outro lado, há tendência ao abandono desse tipo de método de proteção. Isso se deve ao grande desenvolvimento tecnológico dos EES atuais, os quais têm sido projetados com robustez a interferências superior à proteção oferecida pela MTR (RASMUSSEN, 2012).

Por esse motivo, este estudo visa identificar a relevância da adoção da MTR no ambiente da Sala Técnica do DTCEA-CF. Para isso, será realizado uma revisão bibliográfica para o estabelecimento de referencial teórico que permitirá a compreensão de fenômenos geradores de interferência nos equipamentos que colaboram com os serviços prestados pelo destacamento. Ainda, será feita uma análise de manuais e materiais didáticos, que orientam a manutenção e a operação dos dispositivos, em busca de possíveis vulnerabilidades nesses sistemas. Por fim, os resultados obtidos confirmarão a importância da MTR, com o objetivo de fomentar a adoção desse componente de proteção complementar pelo DTCEA-CF e demais órgãos que compõe o SISCEAB, a fim de otimizar o emprego dos recursos públicos, ao proteger equipamentos sensíveis, bem como garantir a continuidade dos importantes serviços prestados por essas organizações à sociedade.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Aspectos norteadores da EMC

Segundo Paul (2006), há três aspectos a serem avaliados que norteiam a compreensão da EMC em um sistema:

- se os sinais eletromagnéticos gerados por ele são capazes de causar EMI em outros sistemas, constituindo-se, dessa forma, uma fonte emissora;

- se outros sistemas geram sinais que podem ocasionar nele EMI, ou seja, ele age como um receptor nesse caso; e

- se ele pode provocar EMI em si mesmo, atuando como emissor e receptor ao mesmo tempo.

Adicionalmente, para se entender o modo como esses atores interagem uns com os outros enquanto se interferem, é preciso considerar também um terceiro fator, o meio de propagação e acoplamento do sinal eletromagnético ao EES. Assim, do ponto de vista do emissor, a forma de difusão do sinal eletromagnético pode ser radiada, quando o caminho é percorrido pelo ar, ou conduzida, quando a via consiste de condutores metálicos. Na outra extremidade, o receptor pode apresentar a susceptibilidade à interferências radiadas, conduzidas, ou ambas (SCHLICHTING, 2003).

Interferências conduzidas e radiadas

Conforme aponta Schlichting (2003), a EMI consiste na transferência de energia eletromagnética, de forma não intencional e indesejada (ruído), para um sistema, provocando nele um mau funcionamento. Saliencia-se que essa transferência pode ocorrer pelo ar, por radiação, ou por materiais metálicos (condutores), por condução. Sartin (2010) traz algumas das origens mais comuns para emissão dessas radiações:

- curtos-circuitos em subestações;
- falha em aterramento (*loop* de terra);

- descargas atmosféricas;
- radiações cósmicas;
- radiações solares;
- transmissores de radiofrequência (ERB de celulares, radiodifusão em AM e FM e televisão);

- celulares e transmissores de rádio portáteis (*walkie talkie*);

- sistemas de radar e telemetria;

- linhas de transmissão elétrica; e

- transitórios de tensão e corrente em geral.

Todos esses sinais podem interferir nos EES por meio de cabos de dados não blindados (susceptíveis), trilhas e caminhos fechados (loop) de circuitos, que atuam como “antenas de recepção de EMI”, causando distúrbios nos circuitos lógicos e consequente mau funcionamento.

Schlichting (2003) reforça ainda que, dispositivos semicondutores, presentes em diversos componentes de circuitos eletrônicos de periféricos ligados na rede de alimentação, como fontes chaveadas, conversores estáticos, estágios retificadores e conversores CA-CC, comutam tensões e correntes, geralmente em altas frequências. Eles apresentam um comportamento não linear, sendo fontes de distúrbios de altas frequências, que podem se propagar pelo equipamento (carga), pela rede de alimentação, ou pelo aterramento, na forma de corrente, ou ser radiado pelo ar. Além disso, também podem atuar como receptores para a interferência radiada, captando os sinais e, uma vez conectados à rede, injetando-os por condução, que será recebida pela carga por meio dos cabos de alimentação, de retorno e também

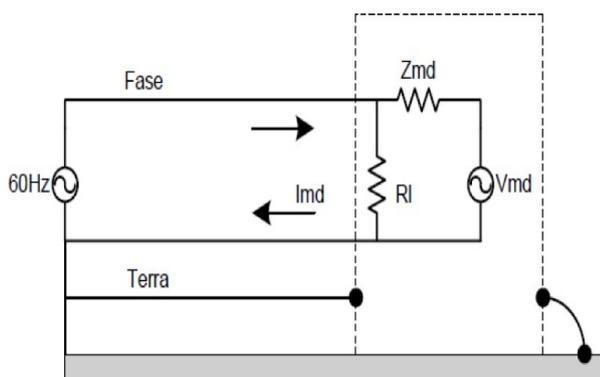
do cabo terra, em dois modos, conhecidos por modo comum e modo diferencial.

2.2.1 Modo comum e modo diferencial

Para se entender como esses dois modos atuam, deve-se considerar primeiramente que a constituição dos circuitos que interligam qualquer conjunto de aparelhos eletrônicos são o condutor de alimentação (fase, positivo), o condutor de retorno (neutro, negativo, 0V) e o condutor terra, pelo qual as correntes devem se propagar. As emissões conduzidas são medidas nos condutores fase e neutro. A corrente total medida é a soma ou a diferença dos componentes de modo comum (ou assimétrico) e de modo diferencial (ou simétrico).

As correntes de modo diferencial são aquelas que têm sentidos opostos de propagação. Elas circulam partindo do condutor fase e retornam pelo condutor neutro, conforme ilustrado na figura 1. Devido a essa circulação se dar com diferença de fase de 180° , geram mais ruídos em baixa frequência, por isso representam menor risco para os sistemas.

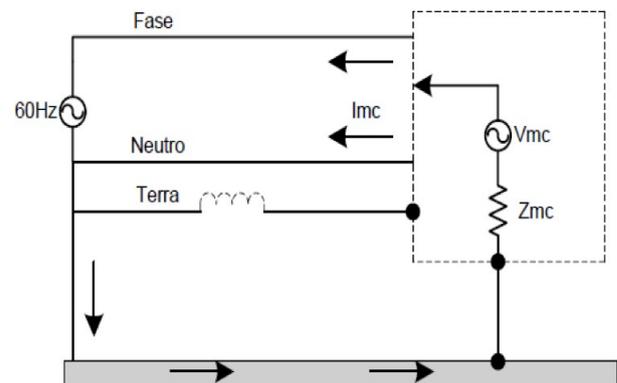
Figura 1 - Corrente de modo diferencial



Fonte: Almeida (2013, p. 29).

Já as correntes de modo comum se propagam partindo dos condutores fase e neutro e retornam pelo condutor terra, conforme ilustrado na figura 2. Nesse caso, por circularem em fase, geram mais ruídos em frequências elevadas, o que o torna mais perigoso para os EES (ALMEIDA, 2013).

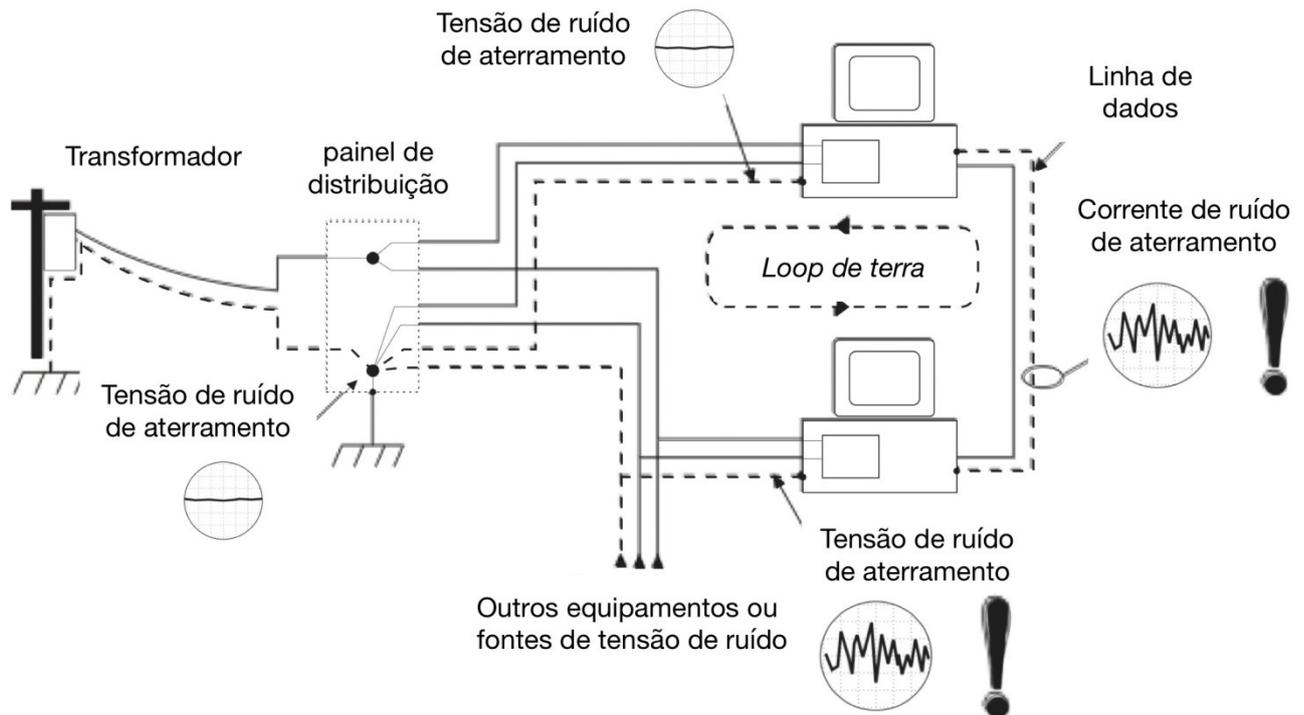
Figura 2 - Corrente de modo comum



Fonte: Almeida (2013, p. 30).

Ruído de aterramento entre sistemas

Outro distúrbio que pode surgir em sistemas compostos por equipamentos interconectados por meio de fiação de rede, linhas de dados ou linhas telefônicas com modem é o ruído de aterramento entre sistemas, conforme se vê na figura 3. Esse fator é particularmente perigoso, pois os dispositivos de proteção de energia CA não podem impedir que transientes sejam inseridos no EES por meio dessas conexões de dados. A depender do tipo de interface de dados, pode ser que a energia desse ruído seja capaz não só de danificar dados, mas até mesmo o *hardware* (RASMUSSEN, 2011).

Figura 3 - "Loop de terra" e o aparecimento de ruído

Fonte: Adaptado de Rasmussen (2011)

Ações iniciais para a EMC do projeto

Como se pôde perceber, as duas formas de interferência, conduzidas e radiadas, tem capacidade de se originarem uma a partir da outra, fazendo com que se propaguem distúrbios para diversos componentes do sistema. Ainda, uma ou outra forma tem maior ou menor potencial para causar danos aos equipamentos, a depender da frequência. Em frequências de até 30 MHz as EMI conduzidas são mais significativas do que as radiadas. A partir de 30 MHz as radiadas (campos elétricos e magnéticos) começam a ser consideradas mais importantes (ALMEIDA, 2013).

Assim, para atuar na devida compatibilização eletromagnética, a fim de combater ou controlar os sinais indesejados, Paul (2006) destaca haver três procedimentos que podem levar à redução da ocorrência de interferências:

- Tornar o receptor menos susceptível às emissões da fonte; e
 - Dificultar a propagação das emissões, sejam elas radiadas ou conduzidas. Isso significa fazer com que o meio de acoplamento entre fonte e receptor seja o mais ineficiente possível na recepção e propagação da energia.
- A partir disso, percebe-se que a preocupação com a EMC deve se iniciar ainda no projeto e na fabricação dos dispositivos, cabos de dados e bastidores. Quanto a próprio equipamento, envolve a escolha dos componentes e do *layout* adequado de condutores e trilhas dos circuitos, evitando formação de laços (*loop*); do *layout* e dos materiais de fabricação da carcaça, para que atue como primeira blindagem, visando à redução tanto da emissão quanto da susceptibilidade à EMI. Em relação ao cabeamento, há também que se considerar o desenvolvimento de cabos de dados mais

robustos a interferências, com adoção de diversas técnicas de blindagem. Além disso, outras técnicas de transmissão de dados, como a luz (cabos óticos), em que não há qualquer susceptibilidade a interferência eletromagnética. Por último, os bastidores nos quais são instalados os equipamentos, que, pela constituição e construção, também atuam como blindagem de proteção. Dessa forma, os fabricantes seguem legislações que estipulam níveis aceitáveis para o mercado ao qual o dispositivo se destina (doméstico ou industrial), mantendo seus esforços contínuos em desenvolver tecnologias que, por um lado, sejam cada vez menos interferentes e, por outro, mais robustas a ambientes densos de sinais (OTT, 2009).

A EMC para o gestor

Posto que as ações iniciais que visem a EMC do gerador e do receptor da EMI estão prioritariamente a cargo dos fabricantes de cada equipamento, compete ao gestor de EES a preocupação em conhecer os recursos sob sua gerência, para, uma vez adquiridos, buscar a correta instalação e compatibilização do ambiente no qual funcionarão, visando atender às recomendações do fabricante e ao preconizado nas normas atinentes. Assim, os recursos comumente utilizados abrangem desde a equipotencialização, por meio dos aterramentos de segurança e funcional adequados, até o uso de filtros e blindagens eletromagnéticas de ambientes, quando viáveis. Cada um desses métodos pode, sozinho ou em conjunto, impedir ou, pelo menos, atenuar a um nível aceitável a EMI, conforme o arranjo do

sistema (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005).

A primeira preocupação do gestor é com o aterramento, que consiste num conjunto de medidas que atuam na proteção de dispositivos. A principal função é a de fornecer um caminho condutor para correntes entre o circuito elétrico e a Terra. Nesse sentido, podem promover estabilização energética na presença de transitórios, escoamento de cargas estáticas e controle de tensões, provendo segurança para operadores e técnicos (KINDERMANN; CAMPAGNOLO, 1995). Além disso, também é responsabilidade do aterramento promover a equipotencialização do sistema e fornecer planos de referência para os equipamentos eletrônicos (MORENO; COSTA, 2018).

Para o gestor dos EES de uma Sala Técnica de um DTCEA a ICA 66-30, no item 3.2, pontua que, em complemento ao sistema de proteção externa da edificação (subsistemas de captação, descida e aterramento), que visa à proteção contra descargas elétricas, equipamentos eletroeletrônicos necessitam de blindagem como proteção adicional. Entretanto, o referido documento explicita que a blindagem de ambientes como os Centros de Controle de Área (ACC) e a Sala Técnica onde são instalados seus ativos eletrônicos, por serem amplos, e nos pontos limites possuírem cabos de energia, fendas e grelhas de climatização, são praticamente impossíveis de se isolarem de interferências eletromagnéticas utilizando métodos que circundem todo o seu volume, semelhante ao conceito da Gaiola de Faraday. Para contornar essa limitação, recomenda a utilização de malhas metálicas nas grelhas de

ar-condicionado e também sob piso elevados para fornecerem certo grau de blindagem e, por consequência, a proteção desejada contra EMI. Essa malha instalada sob o piso trata-se da Malha de Terra de Referência (MTR). Ainda, no item 3.4, a Instrução também recomenda a utilização da MTR para obter equalização de potenciais para os equipamentos. Ou seja, somada à função de contribuir para a blindagem dos circuitos abrigados em determinado setor, a MTR também desempenharia a função de proporcionar referência de sinal estável para os EES, outro importante pré-requisito para o bom funcionamento deles.

Os aterramentos de segurança e funcional

O aterramento consiste num conjunto aplicação de técnicas que objetivam basicamente duas funções distintas e complementares. A primeira é a de segurança, ao fornecer caminho de escoamento de descargas atmosféricas para a Terra, manter os potenciais produzidos pelas correntes de falta dentro de limites de segurança, para a proteção dos operadores e técnicos, escoar cargas estáticas geradas nas carcaças dos equipamentos e fazer com que os dispositivos de proteção sejam mais sensíveis e isolem mais rapidamente as falhas à Terra (KINDERMANN; CAMPAGNOLO, 1995).

A segunda é a de prover o retorno de corrente do sistema e manter a estabilidade de nível de tensão de referência aos componentes eletrônicos para comunicação de dados, o que não caracteriza um aterramento de segurança propriamente, mas uma equipotencialização funcional. Assim, tanto esse aterramento

funcional quanto o de segurança devem existir, havendo diversas possibilidades de arranjos e técnicas, a depender do circuito que se deseja proteger (BARRETO; FREIRE, 2007).

Quanto ao aterramento funcional, ao se pensar sobre o terra ideal, a primeira concepção é a de um potencial nulo, com impedância nula. Porém, características de não idealidade fazem com que, para fins de EMC, todos os condutores possuam uma impedância que, ao ser percorrida por correntes, como as de modo comum, resulte em pontos com diferença de potencial (DDP), devido à queda de tensão decorrente dessa impedância. Outro ponto a se por em destaque é que o retorno do sinal deveria ser feito totalmente por esse caminho, o que, pelas razões já explicitadas sobre a impedância e a não idealidade dos componentes, não ocorre. Ainda, há o fato de que a impedância do retorno do cabo terra para altas frequências possui características indutivas, o que agrava mais essa problemática, que deve ser minimizada para reduzir a diferença de potencial sobre os condutores e se evitar emissões radiadas e conduzidas (BARRETO; FREIRE, 2007).

Interface de dados e o "Loop de terra"

Todo ETI de alimentação CA possui três fios, sendo um o de aterramento de segurança, o qual deve estar conectado a qualquer parte metálica externa dele que esteja exposta. Além disso, toda a estrutura predial também é conectada ao aterramento. Esse arranjo tem por objetivo a proteção do usuário contra choque elétrico, caso algum equipamento defeituoso com parte metálica exposta seja tocado, ou que tenha contato com a estrutura do edifício e esta, quando

exposta, seja tocada (RASMUSSEN, 2011).

Por motivo de segurança, em razão de sua constituição, conectores de dados RS-232 são considerados peças metálicas expostas. Assim, normalmente esse conector tem sua tensão aterrada juntamente ao chassi e, conseqüentemente ao aterramento de segurança do equipamento. Dessa forma, surge o problema da referência para o sistema, ou a equipotencialização. Isso porque, cada dispositivo interconectado terá duas conexões para estabelecer o nível de referência para a comunicação de dados, sendo o da linha de dados, por meio do “fio comum” que conecta os ETI e o fio de aterramento de segurança. Esse problema é conhecido por “loop de terra” (RASMUSSEN, 2011).

Distinção entre ruído de aterramentoentre sistemas e ruído de modo comum

Para que fiquem claras as diferentes origens de ruídos capazes de causar interferências nos sistemas, cabe aqui uma breve distinção entre o ruído de aterramento entre sistemas e o ruído de modo comum. Enquanto este último está presente entre os condutores de potência, fase e neutro, em relação ao condutor de aterramento, o primeiro está presente entre os fios de aterramento de equipamentos interconectados. Assim, esses dois problemas são completamente independentes. Ou seja, equipamentos que não estejam conectados por nenhuma interface de dados a outro sistema não sofrerão com ruído de aterramento. Porém, é possível que seja perturbado por ruído de modo comum (RASMUSSEN, 2011).

A efetividade da MTR

Para evitar o “loop de terra” e, ainda, com a vantagem de atender à necessidade de oferecer baixa impedância para correntes alternadas, aproximando-se do zero ideal, mesmo para altas frequências, a Malha de Terra de Referência, também chamada de Malha de Referência de Sinal (*Signal Reference Grid - SRG*), tem sido largamente utilizada como parte da infraestrutura de proteção em ambientes que abrigam EES, como:

- as Centrais de Processamento de Dados (CPD), conhecidos como *Data Centers*;
- Controladores Lógicos Programáveis (*Programmable Logic Controller - PLC*), dispositivos de controle digital largamente utilizados para automação na indústria;
- estações de rádio;
- centrais telefônicas; e
- dispositivos de informática e comunicação de dados em geral.

A malha tem seu uso baseado na vantagem que, teoricamente, possui sobre outras técnicas de aterramento funcional (sistema independente isolado, sistema radial de ponto único, etc.) devido a redução significativa da impedância para sinais eletromagnéticos de alta frequência, quando devidamente dimensionada e instalada (BARRETO; FREIRE, 2007).

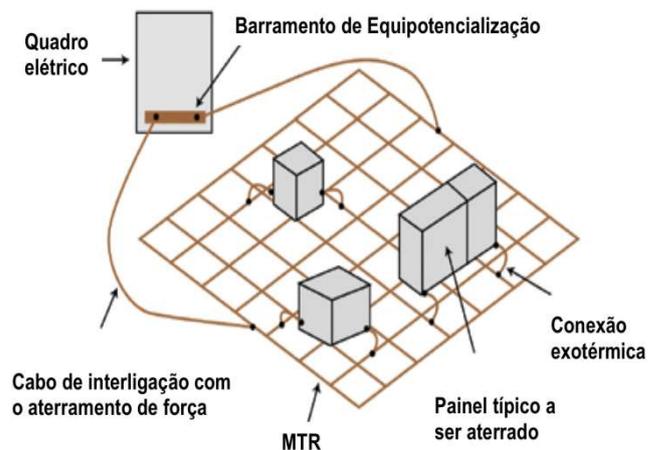
Para isso, o reticulado deve ser tal que, cada grade (*mesh*) não ultrapasse 10% do comprimento de onda do sinal que se deseja conduzir por ela até a Terra. Assim, criam-se vários caminhos de circuito em paralelo, em que a DDP decorrente da queda de tensão na impedância resultante é praticamente desprezível, resultando num comportamento

próximo ao do curto-circuito. Dessa forma, quanto menor o espaçamento entre os condutores, mais elevadas as frequências que se poderia conduzir idealmente, sendo que uma superfície (chapa metálica) seria capaz de equalizar qualquer frequência, independente de quão elevada seja. Para se ter uma ideia, uma malha com 50 cm de “*mesh*” já seria capaz de se comportar como um curto-circuito para uma faixa de sinais de até 60MHz (BARRETO; FREIRE, 2007).

Barreto e Freire (2007) fizeram referência à norma TIA-942/2005 (*Telecommunications Infrastructure Standard for Data Centers*), que estipulava a construção da MTR por cabo ou fita de cobre, com bitola mínima de 16mm² (em razão simplesmente da resistência mecânica para manuseio). Ressalta-se ainda que todos os pontos de cruzamento devem ser soldados entre si. Outro aspecto importante é que ela deve ser instalada o mais próximo possível dos equipamentos que serão ligados a ela, sendo a conexão entre as barras de terra lógicas dos EES e a malha feita por meio de condutores chatos (cordoalhas) ou fitas, cujo comprimento também não deve ser superior à medida da grade. Quando isso não for possível, deve-se obrigatoriamente utilizar cordoalha ou fita de maior largura (mínimo de 40mm). Essa norma foi revisada e republicada como TIA-942-A, em agosto de 2012, tendo a seção relativa ao aterramento passado a indicar outra norma como parâmetro, a TIA-607-B/2011 (*Generic Telecommunications Bonding and Grounding (Earthing) for Customer Premises*), mantendo-se as mesmas recomendações elencadas pelos autores citados.

Para combater o “*loop de terra*”, há considerações quanto à ligação e à instalação da MTR. Assim, ela deve ser conectada com o restante da estrutura do aterramento de força, em um ou mais pontos, conforme representado na figura 4, a depender da disposição do ambiente, sem que isso afete o seu comportamento adequado.

Figura 4 - Conexão da MTR com o aterramento de força

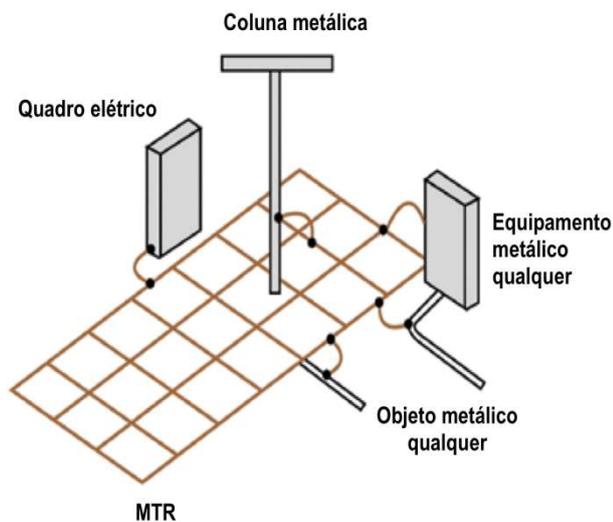


Fonte: Moreno; Costa (2018, p. 40).

Para a ligação dos equipamentos, deve-se conectar as carcaças ou a barra de terra dos bastidores, as barras de terra dos quadros que alimentam as tomadas dos EES e todos os componentes metálicos do ambiente, como colunas metálicas, calhas e eletrodutos e suas estruturas de blindagem, carcaças metálicas de quadros de comando, de força e de instrumentação, armários metálicos, equipamentos de ar condicionado, etc, conforme representado na figura 5. Dessa forma evita-se o conflito de níveis de referência, ao se estabelecer uma referência única para todo o sistema

(BARRETO; FREIRE, 2007).

Figura 5 - Conexão da MTR com os componentes metálicos do ambiente.



Fonte: Moreno; Costa (2018, p. 41).

Atendidas essas considerações, a MTR proverá a referência para o sistema, garantindo a equipotencialização e a estabilidade necessária ao bom funcionamento dos EES. Além disso, por se constituir num dispositivo de baixa impedância, seria capaz de se aproximar do comportamento ideal de aterramento funcional, evitando tanto emissões conduzidas quanto irradiadas. Por esse motivo, considera-se a MTR como um dispositivo de referência de sinal que provê além da equipotencialização, certo grau de blindagem aos EES (BARRETO; FREIRE, 2007).

A Associação Brasileira de Conscientização para os Perigos da Eletricidade (ABRACOPEL), corrobora com a recomendação da MTR para proteção de EES. Em sua página da *internet* complementa que, inicialmente o aterramento fazia uso apenas dos sistemas de força para aterrar quaisquer equipamentos, incluindo os sensíveis. No entanto, induções eletromagnéticas, correntes de várias fontes

circulantes e correntes de neutro, descargas atmosféricas, entre outros, perturbavam a referência necessária à correta operação dos circuitos lógicos, podendo ocasionar erro de interpretação de sinal e, conseqüentemente, funcionamento inadequado. Por isso, a solução apontada pela associação como mais adequada, a qual representa, na visão da instituição, uma evolução do sistema de aterramento para EES, é a MTR. Nesse sentido, a malha funciona, pois, como um terra de sinal, fornecendo uma referência estável a esses equipamentos.

Por todos esses parâmetros apresentados a MTR tem consagrado seu uso por décadas no estabelecimento de infraestruturas para suportarem EES. Entretanto, o pesquisador norte-americano, Neil Rasmussen (2012) faz uma série de considerações a respeito da real necessidade do emprego desse método. A primeira delas é a de que o propósito da MTR tem sido, por vezes, superestimado e até distorcido. Adverte que o verdadeiro propósito dela seria o de reduzir tensões de ruído indesejadas em canais de comunicação de fio de cobre que são referenciados ao solo, como as interfaces RS-232. Além disso, faz um alerta sobre a sua eficiência para o estado da arte da tecnologia da informação em termos de compatibilidade eletromagnética. Assim, segundo esse autor, o investimento de recursos financeiros e operacionais na MTR seria desnecessário, por se tratar de tecnologia cujo nível de proteção oferecido já foi superado, ao se considerar a elevada robustez a interferências que os próprios EES trazem consigo e também seus componentes periféricos.

Neil Rasmussen é fundador e Diretor Técnico

da *American Power Conversion (APC)*, instituição em que há o maior orçamento do mundo em pesquisa e desenvolvimento dedicados à infraestrutura de energia, resfriamento e *rack* para redes críticas. A instituição, que possui centros de desenvolvimento de produtos em diversos países, busca soluções para o desenvolvimento de *Data Centers* escaláveis. Segundo esse pesquisador, documentos e publicações diversos sobre o uso da MTR, atribuem a ela as seguintes funções:

- Redução de interferência na comunicação entre equipamentos do sistema;
- Prevenção de danos aos equipamentos;
- Caminho de descarga de ruído;
- Proteção contra descarga eletrostática (ESD); e
- Segurança humana.

A primeira função cumprida pela MTR é baseada em sua capacidade de reduzir o ruído de terra entre sistemas, que consiste na DDP de aterramento do chassi de equipamentos interconectados. Essa diferença na tensão de referência ocorre por vários motivos diferentes, incluindo correntes de falha, raios e correntes de ruído injetadas em circuitos de aterramento. Entretanto, o que se crê acerca da suscetibilidade dos EES a esse ruído do solo entre sistemas é oriundo de informações e dados de gerações antigas de ETI. Atualmente, são usados métodos de comunicação de dados que evoluíram significativamente, reduzindo drasticamente a suscetibilidade a esse ruído. Para exemplificar, serão apresentadas abaixo as interfaces de comunicações e a respectiva classificação quanto à susceptibilidade, conforme apresentado por Rasmussen (2012):

Quadro 1 - Classes de suscetibilidade ao ruído de terra de diferentes tipos de cabos de dados.

Interfaces	Nível de imunidade a interferências
Portas paralelas	Baixa
Portas RS-232	Baixa
Cabos de vídeo	Baixa
Modbus	Parcial
RS-485	Parcial
SCSI	Parcial
Ethernet	Alta
Fibra óptica	Total
Wireless	Total

Fonte: Adaptado de Rasmussen (2012).

As interfaces de dados mais antigas, como as portas paralelas, portas RS-232 e cabos de vídeo, são as que apresentam maior sensibilidade a interferências, por isso foram sendo substituídas gradativamente nos sistemas mais modernos. Isso porque usam cabeamento de cobre para trafegar sinais que são referenciados ao solo. Dessa forma, alterações na tensão de aterramento entre os equipamentos interconectados são sobreposta ao sinal de dados. Por esse motivo, um ruído de apenas 0,1 Volt, já é capaz de interferir na comunicação. Já as interfaces classificadas como imunidade parcial comunicam-se por cobre, por uma transmissão de sinal diferencial, ou seja, não referenciada ao solo. Por esse motivo, esses sistemas rejeitam a faixa de modo comum de ruído de aterramento entre sistemas, mas são susceptíveis à interferência com tensões mais altas, superiores a 10 Volts (RASMUSSEN,

2012).

As interfaces mais modernas, como a Ethernet, atendem ao requisito de suscetibilidade reduzida, sem a necessidade da proteção suplementar da MTR, segundo Rasmussen (2012). Para ele, a MTR seria eficaz apenas na redução de tipos de ruído que não são mais capazes de interferirem nas interfaces de dados modernas. Ou seja, considerando que a fibra óptica e a tecnologia sem fio são completamente imunes a esse tipo de ruído, a interface Ethernet oferece proteção suficientemente robusta para dispensar a malha, pois, além de trafegar a comunicação com transmissão de sinal diferencial, tem um sistema de cabo de linha de transmissão com isolamento total do transformador em ambas as extremidades. Assim, essa interface é capaz de suportar tensões de ruído de solo e interferências entre sistemas muito maiores do que as anteriores, tanto em termos de tensão quanto de faixa de frequência. Para se ter uma ideia, o autor aponta que a tensão de ruptura dessa interface é de mais de 1000 Volts.

Quanto à função de prevenção de danos ao equipamento, novamente, Rasmussen (2012) alerta que as únicas tensões que a malha ajudaria a controlar seriam as variações na tensão de aterramento entre os vários dispositivos, sendo a suscetibilidade a danos dependente da natureza das interfaces. Assim, a possibilidade de danos é reduzida drasticamente quando interfaces Ethernet ou fibras ópticas são utilizadas. Portanto, apenas interfaces não isoladas, baseadas em sinais referenciados no solo, interconectando equipamentos por métodos de baixa imunidade poderiam justificar a MTR

como método de prevenção de danos eficaz.

Em relação às três últimas funções, o pesquisador mantém uma postura crítica quanto à efetividade da malha. Relativamente à capacidade de a MTR oferecer-se como um caminho de descarga de ruído, o pesquisador norte-americano aduz que qualquer sinal indesejado, responsável por gerar ruído, sempre tende a seguir o caminho de menor impedância, um caminho que em altas frequências tende a ser outros cabos próximos e não a MTR. Para a função de proteção contra descargas eletrostáticas, defende que a MTR não se faz necessária se for este o único propósito. Para isso, qualquer esquema de aterramento presente no circuito seria capaz, com ou sem MTR. Por último, a proteção da vida humana é garantida pelo aterramento de segurança. Ou seja, mesmo no caso de haver algum problema para o desempenho dessa função do aterramento de segurança, a solução não poderia ser obtida por meio da MTR.

Por essas razões, Rasmussen (2012) postula que a malha forneceria apenas um aterramento redundante que seria dispendioso e desnecessário, posto que existem práticas mais simples e eficazes capazes de oferecer o mesmo serviço. Exemplo disso, segundo ele, seria ligar os bastidores seguidos uns aos outros, aterrando-os por um fio de retorno ao aterramento local da Unidade de Distribuição de Energia (*Power Distribution Unit - PDU*).

Por fim, percebe-se haver divergência quanto ao uso da MTR como boa prática necessária em ambientes que abrigam EES. Além disso, as legislações pertinentes são genéricas ao recomendar o emprego da MTR,

não especificando em que situação ela seria ou não necessária. Assim, sem perder de vista a relevância e a importância de proteger e garantir a continuidade do serviço de tráfego aéreo e a segurança das operações, mas também tendo como base o uso racional de recursos públicos, evidencia-se a necessidade de verificar a situação do caso particular, a fim de constatar a viabilidade ou não do emprego dessa tecnologia.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Para viabilizar o estudo pretendido neste trabalho, foram elencados os equipamentos essenciais para manutenção da segurança, regularidade e eficiência dos serviços de tráfego aéreo e de telecomunicações aeronáuticas em um DTCEA, tendo como base a Diretriz do Comando da Aeronáutica (DCA) 63-1/2018 (Plano de Degradação, Plano Regional de Emergência e Plano de Contingência). Esse documento, que deve ser compulsoriamente observado por todos os órgãos do SISCEAB, tem por finalidade estabelecer diretrizes para o Plano de Degradação, o Plano Regional de Emergência e o Plano de Contingência nacional, visando garantir a segurança, o funcionamento dos Serviços de Tráfego Aéreo (ATS) e de telecomunicações aeronáuticas, para manter o fluxo aéreo, em caso de situações de degradação, crise, instabilidade social ou interrupção dos serviços de apoio diversos. Dessa forma, os equipamentos que prestam o serviço de telecomunicações do DTCEA-CF são considerados prioritários ao suporte mínimo que mantém pelo menos o serviço de controle de tráfego aéreo convencional (fonia) do Controle

de Aproximação (APP) e o controle e a coordenação de pousos e decolagens realizado de Torre de Controle (TWR).

Não entraram no escopo do estudo o AMHS, nem os sistemas de gerenciamento de progressão de voos, que, embora sejam importantes para o funcionamento normal do destacamento, não impossibilitam a prestação do serviço de controle de tráfego aéreo. Também não foram analisados os equipamentos de auxílio à navegação, nem os ligados à vigilância, como o radar, pois o serviço de controle convencional ainda poderia ser prestado apenas utilizando a fonia. Assim, foram elencados os seguintes serviços em ordem de prioridade:

- Serviço Móvel Aeronáutico (SMA): serviço de telecomunicação entre estações em terra e aeronaves, ou entre aeronaves (BRASIL, 2010). A prioridade, para o Destacamento é a comunicação para controle de tráfego na área terminal (APP) e na zona de aeródromo (TWR). É provido por transmissores e receptores de rádios VHF (PARK AIR), sem os quais nenhum serviço pode ser prestado. Ainda, considera-se prioritária a Central de Áudio (SITTI) que concentra as comunicações do SMA e a telefonia fixa que integra o Serviço Fixo Aeronáutico (SFA), permitindo a seleção automatizada dos canais de comunicação para uso pelos controladores. De forma adicional, na função de Estação de Telecomunicação Remota do SMA, há frequências para controle de tráfego aéreo em rota, para uso do Centro de Controle de Área (ACC), sob responsabilidade do DTCEA-CF, bem como o sistema de enlace satelital (TELESAT), responsável por direcioná-las ao ACC.

- Serviço Fixo Aeronáutico: serviço que

compreende as telecomunicações entre pontos fixos determinados, para a segurança da navegação aérea e continuidade e bom funcionamento dos serviços aéreos (BRASIL, 2010). A prioridade seria manter no mínimo o funcionamento da comunicação oral via telefonia fixa (TF-2, 3 e 4), para coordenações entre órgãos ATC. Para esse serviço, o objeto de estudo será a central telefônica, responsável pela comutação das chamadas.

Instrumentos

Primeiramente, a ICA 66-30, que estipula requisitos básicos para os sistemas de aterramento e proteção contra surtos em instalações do SISCEAB, serviu como ponto de partida para a compreensão do que é exigido como sistemas de proteção aos EES voltados para o controle de tráfego aéreo. A partir dele, para orientar a formulação da base teórica sobre a qual se desenvolveu o estudo, foi utilizado também como parâmetro o disposto na NBR 5410, que trata das instalações elétricas de baixa tensão, a fim de identificar termos relacionados ao assunto, que pudessem auxiliar na compreensão do que está disposto na ICA. Por fim, foi realizado um levantamento de dados por meio de pesquisa bibliográfica para fornecer conteúdo atual e relevante relacionado ao tema (LAKATOS; MARCONI, 2003).

Para o levantamento das informações sobre a vulnerabilidade dos equipamentos, foi realizado contato com o DTCEA-CF para que disponibilizasse os manuais dos equipamentos envolvidos na prestação dos serviços elencados como de interesse para o estudo. Porém, o destacamento não possuía os manuais originais

dos fabricantes, disponibilizando, em substituição, os materiais didáticos produzidos pelo DECEA em forma de apostilas, que servem de material de apoio para os cursos de capacitação dos técnicos e também como fonte de eventuais consultas para a realização dos serviços de manutenção.

Com o propósito de ampliar e aprofundar o conhecimento acerca da necessidade de proteção dos EES em estudo, foi realizada uma revisão bibliográfica, em conjunto com uma análise no material disponibilizado pelo destacamento, visando identificar os pontos de vulnerabilidade dos equipamentos, conforme apontado na base teórica levantada, com o objetivo de comprovar que, para esses equipamentos ainda há relevância no emprego da MTR como aterramento funcional para prover equipotencialização e certo grau de blindagem, conforme prescrito na ICA 66-30.

Procedimentos específicos

Conforme levantado no referencial teórico, os especialistas da temática de proteção a EES divergem quanto à relevância da MTR para cumprir as funções atribuída a ela pela ICA 66-30. Isso porque, para cada uma delas, existem diferentes métodos de proteção, que podem ser aplicados de maneira mais eficiente, a depender da tecnologia utilizada na fabricação dos dispositivos. Assim, a vantagem da MTR seria atuar como uma solução multifuncional, provendo eficiência no uso de recursos. Nesse sentido, é ponto pacífico que a adoção da MTR contribui como parte da solução para a blindagem, atuando no combate a interferências radiadas e conduzidas, seja qual for a tecnologia

empregada. Dessa forma, ficou evidente que apenas sua eficácia como aterramento funcional para prover equipotencialização e proteção contra o ruído de terra entre os sistemas foi contestada, tendo em vista que a robustez dos sistemas a esse fenômeno poderia dispensar tal tecnologia. Por essa razão, constatou-se que o ponto fundamental, o qual representa a maior vulnerabilidade nos EES, e que justificou o emprego da MTR por décadas, em ambientes da mesma natureza ao da Sala Técnica do DTCEA-CF, é a presença de interfaces de dados com baixa imunidade. Assim, o foco da análise dos dados técnicos dos equipamentos em estudo foi identificar a presença de interfaces de dados do tipo RS-232.

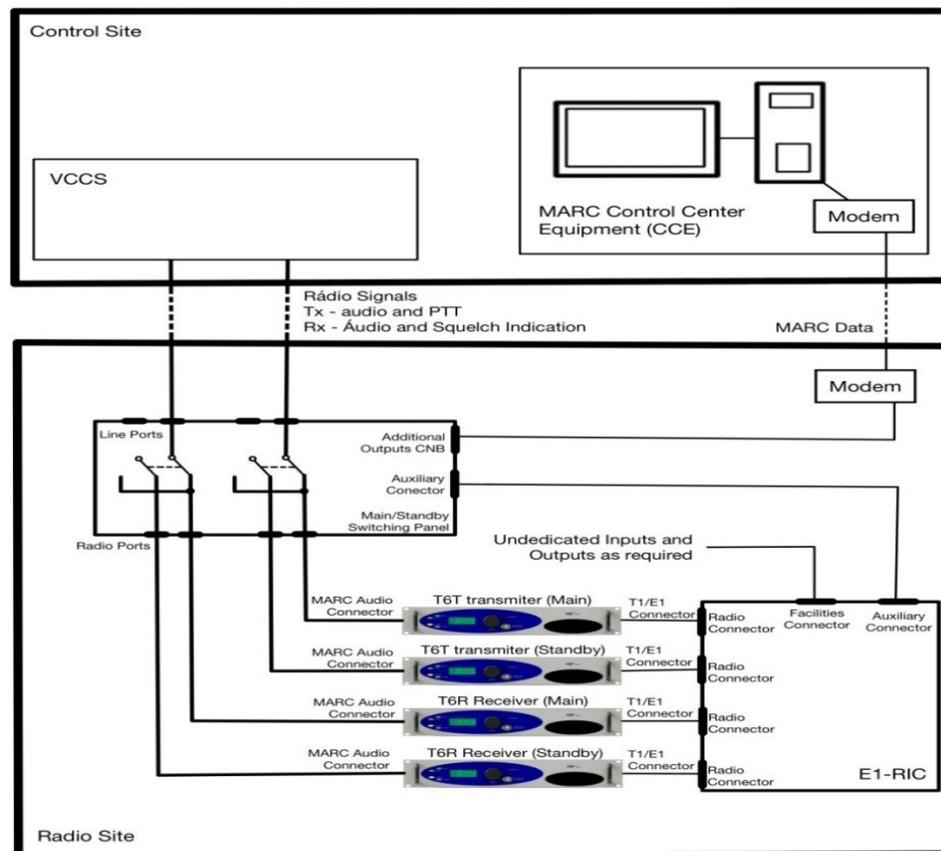
4 RESULTADOS

Funcionamento básico do Serviço Móvel Aeronáutico

O Serviço Móvel Aeronáutico prestado pelo DTCEA-CF, conforme representado nas figuras 6 e 7, envolve basicamente os seguintes equipamentos:

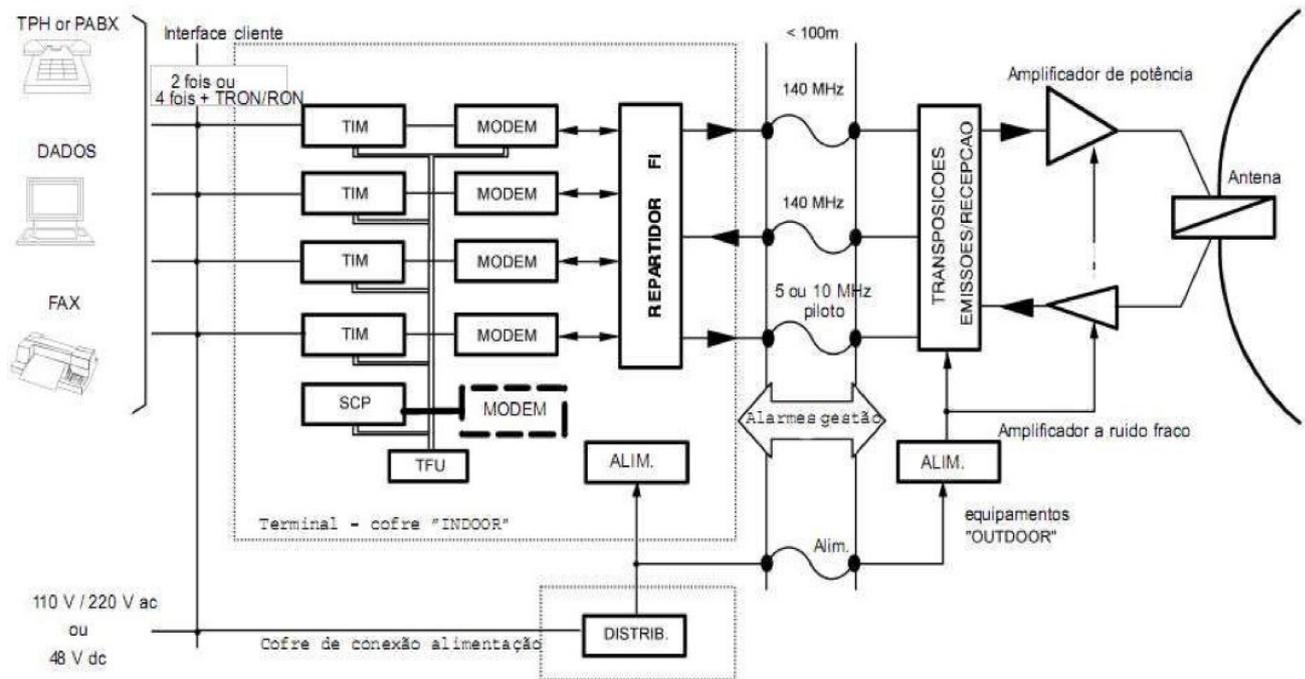
- Transmissores (T6T PARK AIR MK6) e receptores (T6R PARK AIR MK6) de rádio V/UHF;
- E1-RIC (E1 Radio Interconnect);
- Main/standby switching panel;
- Central digital de comunicação e controle (VCCS - SITTI)
- FASTCOM (TELESAT)

Figura 6 - Visão geral dos equipamentos do SMA



Fonte: Adaptado de Brasil (2017c)

Figura 7 - Diagrama bloco do sistema TELESAT



Fonte: Brasil (2019, p. 72)

Para a recepção, a portadora de Rádio Freqüência modulada em AM-DSB é captada pela antena receptora da estação, que passa por cavidades e acopladores, sendo dividida entre os dois receptores dessa freqüência, os quais demodulam o sinal, extraindo a informação de áudio. Esses áudios são encaminhados via conector MARC Áudio para o *Main/Stand-by Switching Panel* (por um dos conectores Radio Ports). Esse equipamento permite selecionar qual rádio estará em modo principal, operando no momento, ou em modo stand-by, como reserva. A partir daí, o áudio selecionado segue para a Central de Áudio (VCCS), ou para o TELESAT, se forem os rádios da estação remota. Para a transmissão, o áudio, que pode ser oriundo do TELESAT ou Central de Áudio, chega no *Main/Stand-by Switching Panel*, pelos conectores "Line Ports", para ser enviado ao

rádio principal ou reserva, de acordo com a seleção. Logo após, segue para o Transmissor, pelo conector "MARC Áudio", sendo modulado em AM-DSB sobre uma portadora de rádio freqüência, que será transmitida na antena.

O E1-RIC tem a função de realizar interface de monitoração e controle da estação e efetuar a comutação entre os rádios principal e reserva, por meio do *Main/Stand-by Switching Panel*. (BRASIL, 2017a)

O FASTCOM é a unidade terminal de transmissão de voz ou dados, sendo considerado o "coração" do Sistema TELESAT. Por meio dele os sinais de informação a serem transmitidos são recebidos, modulados e multiplexados e encaminhados para a transmissão, na condição de subida. Na condição de descida, os sinais oriundos dos sistema de recepção, passam pelo processo

inverso para serem encaminhados às aplicações de destino. (BRASIL, 2019). Esse terminal contém um conjunto de elementos básicos chamados TCU (*Traffic Channel Units*), que são os equipamentos responsáveis pela recepção dos sinais provenientes de circuitos terrestres, ou transmissão dos sinais destinados a eles, através de uma ligação por satélite. Basicamente o TCU consiste num conjunto de modem associado a módulos de interface terrestre (cartas TIM), nos quais são conectados equipamentos de telefonia, os rádios V/UHF e dados dos radares (BRASIL, 2019).

Interfaces vulneráveis nos equipamentos do SMA

Transmissores e receptores

Para esses equipamentos, foram encontradas diversas interfaces de comunicações de dados utilizando o padrão RS-232. Nos transmissores e receptores, o painel frontal dos rádios possui uma interface RS-232 (*Headset-Microfone*/diagnóstico), que consiste num conector DIN de 7 pinos, que pode ser usado para conexão de um *headset* ou microfone, ou para ser usado para conexão de um computador para utilização do *Virtual Front Panel* (VFP), para realizar alterações nas configurações do rádio (BRASIL, 2017b). No painel traseiro, há o conector MARC, um conector DB-9 usado para conectá-lo a um equipamento remoto (*Remote Site Equipment - RSE*), para visualização através do MARC, ou também para ser usado em operação remota) (BRASIL, 2017b).

E1-RIC

O E1-RIC também recebe a conexão dos rádios via interfaces seriais no padrão RS-232, e entregam ao MARC no padrão RS-232 através do conector “*facilities*” ou do “*auxiliary*”. O conector “*auxiliary*” é do tipo DB-15 (macho) e disponibiliza sinais de entrada e saída para o chaveamento analógico entre os rádios Principal e Reserva, por meio de uma porta RS-232 para dados RCMS (sistema de controle e monitoramento remoto), conectados a um modem que é responsável para transmitir os dados ao computador do MARC. O conector “*facilities*” é do tipo DB-25 (macho) e também é responsável por disponibilizar dados de monitoramento (RCMS) para o sistema MARC no padrão RS-232, em aplicações em que não é utilizado o *Switching Panel* (BRASIL, 2017c).

Painel de Chaveamento (*switching panel* ou *main/standby panel*)

O painel de chaveamento tem como principal finalidade permitir a comutação dos rádios, sendo gerenciado pelo E1-RIC (BRASIL, 2017c). Nesse equipamento, os conectores “*switch control*”, “*auxiliary*” e “*additional outputs*” utilizam RS-232. Ainda, os dados de monitoramento (MARC DATA) são transmitidos via modem por padrão RS-232 para o CCE (*Control Center Equipment* - computador central do MARC). O modem é conectado ao E1-RIC via conector “*auxiliary*” (BRASIL, 2017c).

FASTCOM

No TELESAT, o bastidor do FASTCOM possui na carta TIM um conector de 25 pinos (DATA), conforme a figura 8, para interface de dados, no padrão RS-232 (BRASIL, 2019).

Figura 8 - Placa TIM

Fonte: Brasil (2019, p. 84)

Componentes básicos da telefonia do Serviço Fixo Aeronáutico

O principal EES que envolve o Serviço Fixo Aeronáutico prestado pelo DTCEA-CF consiste na central telefônica MD-110. Por esse equipamento passam os TF-2, 3 e 4, os quais podem ser canalizados via EMBRATEL, por protocolo MPLS, ou, alternativamente via TELESAT. Todo o *hardware* da central está contido em dois tipos de módulos:

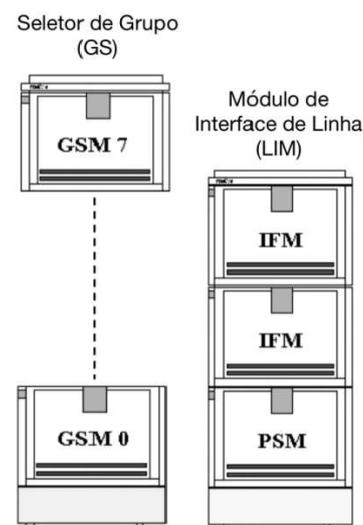
- o LIM (Módulo de Interface de Linha); e
- o GS (Seletor de Grupo).

Esses módulos são compostos por magazines, estruturas mecânicas básicas da MD-110, os quais são montados uns sobre os outros, conforme representado na figura 9. O GS estabelece a conexão entre os LIM, para sistemas com três ou mais LIM, e pode ser constituído por até oito magazines, chamados de GSM (Módulo Seletor de Grupo). Já os LIM, podem ser formados por até quatro magazines, sendo que existem neles dois tipos de magazines, o PSM (Módulo de Chaveamento e Processamento) e os IFM (Módulo de Interface) (BRASIL, 2012)

Interfaces vulneráveis da Central Telefônica do SFA

Toda comunicação com a central, para realização das configurações, ocorre por meio da

interface de entrada/saída provida pela placa NIU (*Network Interface Unit*), localizada no magazine PSM. Essa interface possui três portas de baixa imunidade, no padrão RS-232, e uma porta Ethernet com protocolo TCP/IP. Essa vulnerabilidade é agravada pelo fato de a NIU se conectar a uma unidade de disco rígido (HDU), também chamado de *back-up* externo, em que são armazenados todos os dados e programas da central. (BRASIL, 2012).

Figura 9 - Magazines da central telefônica MD-110

Fonte: Adaptado de Brasil (2012)

5 CONCLUSÃO

Apesar de a MTR ter perdido um pouco de sua importância como parte da estrutura de aterramento funcional para prover a segurança de EES e dos dados por eles tratados, em virtude do desenvolvimento de interfaces mais robustas e com imunidade a ruído de aterramento entre sistemas, como as tecnologias Ethernet e óptica, os equipamentos que suportam os serviços de telecomunicações, essenciais para o DTCEA-CF, ainda possuem pontos de vulnerabilidades. Isso

se deve à presença de interfaces no padrão RS-232, o que sinaliza a necessidade de proteção adicional. Em complemento, a malha traria benefícios em reduzir o potencial de interferências para sinais radiados e conduzidos, oferecendo um nível de blindagem eletromagnética, conforme preconizado na ICA 66-30.

Assim, a importância da manutenção dos serviços em comento, para o SISCEAB, já justificam o investimento na proteção desses EES. Dessa forma, percebe-se que a

recomendação do uso da MTR, prescrita na ICA 66-30, ainda se mantém relevante no âmbito do destacamento. Cabe ressaltar que não foi objeto de pesquisa a ocorrência de panes na Sala Técnica que pudessem estar relacionadas a interferências eletromagnéticas ou a ruídos de aterramento entre sistemas, nem tampouco pesquisas para levantamento do custo financeiro e viabilidade operacional de implementação da MTR naquele órgão. Porém, essa obra servirá de embasamento para a continuidade dos estudos nesse assunto.

REFERÊNCIAS

ABRACOPEL. **Site da ABRACOPEL**. Disponível em:

<https://abracopel.org/download/aterramento-exclusivo-ou-separado>. Acesso em: 12 MAR 2022.

ALMEIDA, C. C. **Análise das emissões conduzidas utilizando técnicas de separação de ruído de modo comum e modo diferencial**. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5419**: instalações elétricas de baixa tensão. 2. ed. Rio de Janeiro: 2005.

BARRETO, R. M.; FREIRE, P. E. F. **Proteção eletromagnética em instalações de sistemas de tecnologia da informação**. In: SEMINÁRIO NETCOM2007. São Paulo. Anais [...]. São Paulo, Revista RTI - Redes, Telecom e Instalações, 2007, p. 1-9. Disponível em: <http://www.paiolengenharia.com.br/download/trabalho2.pdf>. Acesso em: 15 jul. 2022.

BRASIL. Comando da Aeronáutica. Departamento de Controle do Espaço Aéreo. **Apostila de manutenção das estações remotas do sistema TELESAT**. 2019. 1. ed. São José dos Campos, SP, ICEA, 2019.

BRASIL. Comando da Aeronáutica. Departamento de Controle do Espaço Aéreo. **Apostila do curso de manutenção de VHF AM-PARK AIR**. Disciplina 1: conceitos básicos de telecomunicações. 2017. Rio de Janeiro, RJ, DECEA, 2017a.

BRASIL. Comando da Aeronáutica. Departamento de Controle do Espaço Aéreo. **Apostila do curso de manutenção de VHF AM-PARK AIR**. Disciplina 2: estação integrada V/UHF PARK AIR. Unidade 1. 2017. Rio de Janeiro, RJ, DECEA, 2017b.

BRASIL. Comando da Aeronáutica. Departamento de Controle do Espaço Aéreo. **Apostila do curso de manutenção de VHF AM-PARK AIR**. Disciplina 2: estação integrada V/UHF PARK AIR. 2017. Unidade 3. Rio de Janeiro, RJ, DECEA, 2017c.

- BRASIL. Comando da Aeronáutica. Departamento de Controle do Espaço Aéreo. **Apostila do curso da central telefônica MD-110**. 2012. Brasília, DF, CINDACTA 1, 2012.
- BRASIL. Comando da Aeronáutica. Departamento de Controle do Espaço Aéreo. Portaria DECEA nº 54/DGCEA, de 12 de maio de 2014. Aprova a edição da instrução que disciplina os Requisitos Básicos para os Sistemas de Aterramento e Proteção contra Surtos em Instalações do SISCEAB(ICA 66-30). **Boletim do Comando da Aeronáutica**, Brasília, DF, nº 110, 12 jun. 2014.
- BRASIL. Comando da Aeronáutica. Departamento de Controle do Espaço Aéreo. Portaria DECEA nº 203/DGCEA, de 8 de novembro de 2018. Aprova a reedição da diretriz que disciplina o “Plano de Degradação, Plano Regional de Emergência e Plano de Contingência” (DCA 63-1). **Boletim do Comando da Aeronáutica**, Brasília, DF, nº 210, 3dez. 2018.
- BRASIL. Comando da Aeronáutica. Portaria nº 350/GC3, de 31 de maio de 2010. Aprova a edição do “Regulamento do Serviço de Telecomunicações do Comando da Aeronáutica”(RCA102-1). **Boletim do Comando da Aeronáutica**, Brasília, DF, nº 107, 10 jun. 2010.
- KINDERMANN, G.; CAMPAGNOLO, J. M. **Aterramento elétrico**. 3. ed. Porto Alegre, SC, Sagra - D.C. Luzzatto editores, 1995.
- LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A. **Fundamentos de metodologia científica**. 5. ed. São Paulo, SP, Editora Atlas, 2003.
- MORENO, H.; COSTA, P. F. **Aterramento elétrico**. Santo André, SP, HMNews, 2018. *E-book*. Disponível em: <https://revistapotencia.com.br/wp-content/uploads/2021/03/E-book-Procobre-Aterramento.pdf>. Acesso em 25 mar. 2022.
- OTT, H.W. **Electromagnetic Compatibility engineering**. Hoboken, NJ, John Wiley & Sons, 2009.
- PAUL, C. R. **Introduction to Electromagnetic Compatibility**. 2. ed. Hoboken, NJ, John Wiley & Sons, 2006.
- RASMUSSEN, N. **Grounding and the use of the Signal Reference Grid in Data Centers**. White Paper nº 87, 2ª Revisão, 2012. disponível em: http://www.apcbj.com/pdf/NRAN-6C25ZY_R2_EN.pdf. Acesso em: 10 mar. 2022.
- RASMUSSEN, N. **Inter-system ground noise: causes and effects**. White Paper nº 8, 2ª Revisão, 2011. disponível em: http://apc.top/pdf/FLUU-5T3TLT_R2_EN.pdf. Acesso em: 10 mar. 2022.
- SARTIN, A. C. P. **Avaliação da suscetibilidade eletromagnética dos cabos metálicos dos sistemas de supervisão, proteção, comunicação e controle de subestações de alta tensão**. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia, Bauru, SP, 2010.
- SCHLICHTING, L. C. M. **Contribuição ao estudo da compatibilidade eletromagnética aplicada aos conversores estáticos**. 2003. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2003.
- TELECOMMUNICATION INDUSTRY ASSOCIATION. **TIA-607-B: Generic Telecommunications Bonding and Grounding (Earthing) for Customer Premises**. Arlington, VA: 2011.
- TELECOMMUNICATION INDUSTRY ASSOCIATION. **TIA-942: Telecommunications Infrastructure**

Standard for Data Centers. Arlington, VA: 2005.

TELECOMMUNICATION INDUSTRY ASSOCIATION. **TIA-942-A**: Telecommunications Infrastructure Standard for Data Centers. Revision of TIA-942. Arlington, VA: 2012.