

# A INFLUÊNCIA DO ATERRAMENTO DO EQUIPAMENTO HARRIS MPR-9600-MP FALCON II NA QUALIDADE DO SINAL

Ten Matheus Henrique Barreto dos Santos

Ten BM Pedro Augusto Warlet Reis Brito

## RESUMO

O aterramento de sistemas de radiocomunicação é uma prática já estabelecida para preservação dos componentes eletrônicos frente a transitórios eletromagnéticos nocivos. No entanto, pouco se sabe acerca da influência do aterramento sobre a qualidade dos sinais transmitidos pelo sistema de rádio dada a ausência de bibliografia que verse sobre o assunto. De forma a se pesquisar sobre a influência do aterramento em um sistema de rádio muito utilizado pelo Exército brasileiro, o MPR-9600-MP, foi proposto testar o equipamento em campo, sendo uma vez com aterramento e outra sem, em duas faixas de frequência de interesse e com três potências distintas. Para a análise foi utilizado analisador de espectro fornecido pelo 1º BGE. Após devidas etapas procedimentais, foram coletados dados que mostraram atenuação do ruído do equipamento MPR-9600-MP e uma melhora da Relação Sinal-Ruído. Concluiu-se desta forma que o aterramento influencia positivamente na melhoria da qualidade do sinal.

**Palavras-chave:** Analisador de Espectro. Aterramento Elétrico. MPR-9600-MP. Qualidade do Sinal. Relação Sinal-ruído.

## 1. INTRODUÇÃO

O aterramento elétrico de radiotransmissores é um aspecto crítico nos sistemas de comunicações, por desempenhar um papel vital na garantia de eficiência e segurança. Essa ligação elétrica, mantém um desempenho de sinal estável e protege o sistema de antena e equipamentos conectados contra surtos elétricos, externos e internos. (MORENO, 1999)

Além da segurança e proteção, o aterramento também desempenha um papel na redução da interferência eletromagnética (EMI) (SANCHES, 2003), causada por ruídos elétricos em componentes internos, que podem degradar a qualidade do sinal.

Muitos autores compactuam com a necessidade do aterramento como prática fundamental

para garantir da segurança energética de um conjunto elétrico. No entanto, pouco se fala da correlação da produção de ruído elétrico e sua influência na transmissão de radiofrequência (RF).

Apesar da extensa literatura disponível, as diferentes funções do aterramento são ainda frutos de discussões atuais em todas as aplicações que a necessitam (BATISTA, 2020), devido a diferentes visões que profissionais de áreas distintas possuem sobre o assunto. (TELLÓ, 2007)

Em situações não favoráveis às comunicações, por exemplo, a melhoria do sinal causada pelo aterramento, segundo Cassiolato (2013), pode ser um fator decisivo para o enlace rádio, ao impedir a emissão do ruído junto ao sinal modulador, o que se faz refletir na relevância dessa técnica para a transmissão.

No âmbito militar, a depender do teatro de operações, nem sempre o operador de equipamento de RF possuirá ferramentas e/ou tempo para a montagem de um sistema de comunicação obedecendo a todos os preceitos de instalações elétricas. Ademais, a falta de conhecimento técnico e de bibliografia específica sobre o tema também podem levar a um ciclo vicioso de práticas equivocadas de instalações elétricas.

Para tanto, este estudo visa testificar a hipótese de que um sistema de radiocomunicação corretamente aterrado é mais otimizado em relação a um sistema sem aterramento, considerando observar a sua real compensação, frente a um sistema sem essa prática.

Através da experimentação, este trabalho tem por objetivo apresentar a influência do aterramento no transceptor HARRIS MPR-9600-MP FALCON II, amplamente utilizado nas operações militares do Exército Brasileiro (EB), em situações de enlaces com antena vertical. Para cumpri-lo, foram designadas as seguintes metas fundamentais:

- a) Analisar e comparar o sinal de transmissão (Tx) em um analisador de espectro, emitido por um transmissor aterrado e não-aterrado;



b) Utilizar as diferentes potências e frequências de Tx do equipamento como variáveis nos testes.

## 2. METODOLOGIA

### 2.1 TIPIFICAÇÃO E FASES DO ESTUDO

Para atingir as metas propostas, o estudo utilizou a metodologia pesquisa-ação. Segundo Tripp (2005), pesquisa-ação é uma forma de investigação-ação que utiliza técnicas de pesquisa consagradas para informar a ação que se decide tomar para melhorar a prática.

Com base na metodologia escolhida, o artigo foi dividido em duas fases: a pesquisa bibliográfica, seguido da experimentação.

Na primeira fase, o estudo de bibliografias buscou encontrar literaturas que retratassem a respeito do aterramento, seus benefícios, especialmente aqueles relacionados à melhoria da qualidade do sinal em uma transmissão, com o objetivo de enriquecer o trabalho ou na falta de documentos, fazê-lo ganhar ainda mais relevância.

Na segunda fase, a ação prática envolveu a realização de experimentos por meio de medições em campo para quantificar o impacto do uso de aterramento no desempenho da transmissão.

A escolha do transceptor MPR-9600-MP para o teste, justifica-se por ter acessórios de aterramento próprio e adaptados ao conjunto rádio. Assim evita-se a necessidade de realizar adaptações que não fossem condizentes com o uso real do equipamento.

Além disso, o dispositivo é de fácil disponibilidade nas organizações militares do EB, previsto para enlaces de longas distâncias no emprego de Unidades e Subunidades segundo a Nota Doutrinária nº 04/2021 do Comando de Operações Terrestres (BRASIL, 2021). Pelo uso histórico do equipamento e questões logísticas, é ainda mais frequente que sua versão atual RF 7800-H-MP.

FIGURA 1 – Transceptor HARRIS MPR-9600-MP FALCON II



Fonte: Harris, 2012.

De forma a mitigar outras variáveis nas experimentações, os testes foram feitos em local, distância e horários iguais. As potências e frequências de Tx foram as variáveis consideradas nos sistemas com e sem aterramento para a interpretação dos dados.

As potências foram variadas em cada teste, de 1 W, 5 W e 20 W. Essas potências são as disponíveis no equipamento, de acordo com o manual de operação do rádio. (HARRIS, 2012). Já as frequências escolhidas, além de estarem contidas dentro da faixa de operação de 1,6 MHz a 29,99 MHz, foram determinadas segundo as frequências disponíveis para uso do EB, pela Resolução nº 646 da ANATEL. (ANATEL, 2014). Das frequências mínima e máxima de operação do rádio disponíveis pela resolução foram as frequências de 2,218 MHz e 22,877 MHz, com larguras de banda de 12,0 kHz.

### 2.2 PREPARAÇÃO PARA OS TESTES

Para a realização do experimento, foi montado um conjunto rádio MPR-9600-MP com antena monopolo vertical e um analisador de espectro para realizar a leitura da emissão rádio do transceptor nas potências e frequências determinadas, em um sistema aterrado e não aterrado.

O equipamento rádio foi configurado para modulação Upper Side Band (USB), modulação em amplitude que utiliza o lado superior do espectro de frequência do sinal, com largura de banda de 3 kHz. As demais configurações estão apresentadas a seguir:

QUADRO 1 – Padrões de configuração do rádio MPR-9600-MP

Configuração	Opção	Observação
Mode	FIX	Frequência Fixa
Compression	ON	Melhoria de qualidade do sinal.
Voz Criptografada	CW	-
Chave	PT	Transmissão em Claro
SQUELCH	OFF	-
AGC	MEDIUM	-

Fonte: o autor.

Destarte, foi solicitado apoio ao 1º Batalhão de Guerra Eletrônica (1º B GE), em Brasília-DF, para a disponibilização de dispositivo e pessoal capacitado para a leitura do espectro na faixa de emissão proposta e apresentar os valores de potência emitida e de ruído de canal.

### 2.3 BANCADA DE TESTES

De posse de todos os equipamentos necessários, foi montada uma bancada de teste, no dia 10 de outubro de 2023, composta pelo analisador de espectro (nome do equipamento e imagem omitidos por razões de segurança, de acordo com as normas de confidencialidade aplicáveis a este estudo científico), com antena de ganho zero do dispositivo, conectado a um notebook, rodando seu software de controle e, afastado 5 metros, o rádio MPR-9600-MP assentado no solo, inicialmente sem aterrramento.

FIGURA 2 – Bancada de Teste



Fonte: o autor.

Para a avaliação do nível do sinal, utilizou-se o áudio, disponível na Plataforma Spotify, de ruído branco (HUGHES, 2022) na transmissão do rádio. A escolha do áudio se deu pelo fato do ruído branco possuir intensidade e densidade espectral constantes, em consequência facilitando a visualização do sinal modulado no analisador de espectro, haja vista ocupar todo o espectro de frequência.

Após a análise dos primeiros resultados, optou-se pela realização de um novo teste, no dia 18 de outubro de 2023, com as mesmas configurações, porém com a mudança da antena do analisador para a Antena *Cross-loop*, por ser mais sensível à faixa HF, sendo devidamente aterrada.

FIGURA 3 – Antena Cross-Loop



Fonte: o autor.

Além da antena, foi realizada a troca da transmissão do ruído branco por um sinal contínuo de telegrafia de 1 kHz, através da ferramenta de geração de tom disponível online (ONLINE TONE GENERATOR, 2022), de forma que a modulação USB produzisse apenas um pico de amplitude na frequência desejada, ao contrário do ruído branco, o qual se distribui ao longo de todo o espectro de frequência.

FIGURA 4 – Configurações do Online Tone Generator para um tom de 1 kHz

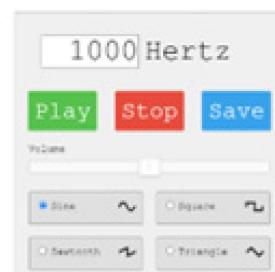
#### Online Tone Generator

[www.ringde.com.br/](http://www.ringde.com.br/)

Simply enter your desired frequency and press play. You will hear a pure tone sine wave sampled at a rate of 44.1kHz. The tone will continue until the stop button is pushed.

The tone generator can play four different waveforms: Sine, Square, Sawtooth and Triangle. Click on the buttons to select which waveform you would like to generate.

Please always make sure headphones/speakers are set to a low volume to avoid damage to hearing or equipment.



Fonte: ONLINE TONE GENERATOR, 2022.

A alteração foi realizada visando analisar com maior precisão o nível do sinal pelo equipamento.

## 2.4 ETAPAS DO EXPERIMENTO

A unidade de medida do analisador de espectro para avaliação do sinal de RF é o decibel microvolt ( $\text{dB}\mu\text{V}$ ), que expressa a relação entre o sinal e uma referência de 1 microvolt. Essa unidade de medida foi a forma escolhida para analisar a influência do sinal da transmissão de um transceptor com e sem aterramento.

As etapas do experimento, que inclui os dois testes citados anteriormente, foram as seguintes:

a) Medição do nível de ruído estático (ruído do ambiente), com o analisador de espectro em  $\text{dB}\mu\text{V}$ , para a faixa de frequência de 2,218 MHz;

b) Configuração do rádio sem aterramento, para a emissão do sinal (ruído branco ou tom de 1 kHz), na frequência de 2,218 MHz, variando as potências de Tx 1 W, 5 W e 20 W;

c) Ativação do áudio de ruído branco (Teste 1) ou de sinal de telegrafia (Teste 2) próximo ao bocal do microfone do rádio e acionamento do PTT, realizando a transmissão;

d) Leitura do nível do sinal irradiado em  $\text{dB}\mu\text{V}$  no analisador de espectro para as potências de Tx de 1 W, 5 W e 20 W;

e) Avaliação da relação entre as leituras capturadas de Tx com o nível de ruído estático na frequência de 2,218 MHz, subtraindo o valor do ruído do canal, da leitura capturada de cada Tx;

f) Configuração do rádio com aterramento, para a emissão do sinal (ruído branco ou tom de 1 kHz), na frequência de 2,218 MHz, variando as potências de Tx 1 W, 5 W e 20 W;

g) Realizar as etapas das alíneas “c” até “e”;

h) Avaliação dos resultados, para comparação entre os valores dos sistemas com e sem aterramento;

i) Realizar todas as etapas anteriores, na frequência de 22,877 MHz.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1 PESQUISA BIBLIOGRÁFICA

De acordo com as pesquisas realizadas na primeira fase, a literatura foca, predominantemente, na técnica de aterramento, com base em conhecimentos extraídos das boas práticas, que proporcionam segurança pessoal e de edificações, proteção contra descargas atmosféricas, controle de sobre tensões, controle do valor da corrente de

curto-circuito fase-terra e controle da formação de arcos elétricos (PAULINO et al., 2016).

Os livros abordam inúmeros métodos de aterramento, que também são utilizados em equipamentos eletrônicos de radiocomunicação para a proteção do dispositivo. Contudo, nenhuma referência literária foi encontrada versando sobre o quanto o aterramento influencia em termos de eficiência do equipamento de rádio em sua transmissão.

Sabe-se que o aterramento de fato é utilizado como parte integrante de sistema de blindagem eletromagnética de diversos dispositivos, como mostrado em normas internacionais segundo a norma MIL-HDBK-2036 (NAVAL SEA SYSTEMS COMMAND, 1999), utilizada inclusive pela Marinha do Brasil nas especificações técnicas de sistemas navais. A norma versa sobre o aterramento de sistemas com antenas, especificando que deverá ser realizado o aterramento de forma adequada, porém não cita o motivo, nem as consequências da sua realização ou não.

A importância do aterramento, segundo Sanches (2003), é destacada por sua capacidade de prevenir choques elétricos, reduzir EMI e estabilizar níveis de tensão. Partindo-se da premissa de há a redução de interferências, o experimento tratado neste estudo ganha relevância para a aferição da influência do aterramento pela SNR da transmissão pretendida.

### 3.2 ESTRUTURA DE APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Para melhor visualização e compreensão dos resultados, as capturas de tela do software de analisador de espectro alusivos aos níveis do ruído dos canais e das amplitudes de sinal das transmissões no rádio MPR-9600-MP encontram-se nos Anexos A e B deste artigo. O Anexo A compõe as capturas de tela do Teste 1 (antena de ganho 0 dBi e áudio do ruído branco), enquanto o Anexo B compõe as capturas de tela do Teste 2 (Antena Cross-loop e áudio de 1 kHz).

Os valores em  $\text{dB}\mu\text{V}$  de cada captura foram transcritos para os Quadros 02 e 03, para simplificação do cálculo de SNR e comparativo entre os sistemas com e sem aterramento.

Para o cálculo de SNR, destaca-se que não é necessária a conversão de  $\text{dB}\mu\text{V}$  para decibel miliwatts (dBm), haja vista que a relação sinal ruído se dá em dB, uma escala logarítmica.



Se houvesse conversão para dBm, considerando a impedância da antena do rádio de 50 ohms (HARRIS, 2012), resultaria na mesma SNR se calculada em dB $\mu$ V.

### 3.3 ANÁLISE DOS RESULTADOS

O Quadro 2 com os resultados para o cálculo da SNR, principal parâmetro de análise, o qual consiste na diferença da amplitude do sinal menos a amplitude do ruído, contém os valores do Tete 01, a seguir:

QUADRO 2 – Teste 01: com antena de ganho 0 dBi e Ruído Branco transmitido.

Aterramen-to	Parâmetros		Potência (dB $\mu$ V)		
	frequênci-a (MHz)	Ruído (dB $\mu$ V)	P <sub>tx</sub> <sup>1</sup> = 1W	P <sub>tx</sub> = 5W	P <sub>tx</sub> = 20W
SEM	2,218	-5	17	26	46
	<b>SNR Virtual<sup>2</sup> (S - N) SNR Virtual [sem]</b>		<b>23</b>	<b>31</b>	<b>51</b>
COM	02,218	-9	17	22	27
	<b>SNR Virtual (S - N) SNR Virtual [com]</b>		<b>26</b>	<b>31</b>	<b>36</b>
<b>SNR Virtual [com] – SNR Virtual [sem]</b>		<b>3</b>	<b>0</b>	<b>-15</b>	
SEM	22,877	-7	70	73	75
	<b>SNR Virtual (S - N) SNR Virtual [sem]</b>		<b>77</b>	<b>80</b>	<b>82</b>
COM	22,877	-12	61	66	74
	<b>SNR Virtual (S - N) SNR Virtual [com]</b>		<b>73</b>	<b>78</b>	<b>86</b>
<b>SNR Virtual [com] – SNR Virtual [sem]</b>		<b>4</b>	<b>-2</b>	<b>4</b>	

Fonte: o autor.

Legenda:

1 - Potência de transmissão do transceptor.

2 - Valor da amplitude do sinal subtraído do ruído do canal

3 - Amplitude do sinal capturado pelo analisador do espectro referente a transmissão do rádio em 1 W, 5W ou 20 W.

4 - Ruído Estático (ambiente) ou ruído do canal capturado pelo analisador de espectro na faixa de frequência em 2,218 MHz ou 22,877 MHz.

A análise dos sistemas, com e sem aterramento, nos mostra um padrão de emissão, no qual o aumento da potência do rádio em determinada frequência induz um aumento da amplitude do sinal capturada pelo analisador de espectro e da respectiva SNR.

Ressalta-se, nesse ponto, que o analisador não interpreta o sinal capturado. O que de fato é analisado na antena do receptor é a energia total que chega, não fazendo distinção de sinal e ruído do rádio emitidos em conjunto pela antena de Tx.

O que é chamado de SNR Virtual é a relação da potência total transmitida (sinal mais o ruído do rádio) menos o ruído do canal, também capturado pelo analisador.

Ao analisar os sistemas com aterramento percebeu-se que das seis comparações possíveis, a SNR Virtual em 3 casos foi menor, 2 casos ela aumentou e 1 permaneceu semelhante, se comparado com os sistemas sem aterramento, com as mesmas variáveis:

a) SNR Virtual [com] – SNR Virtual [sem], na faixa de 2,2180MHz, para 1W, 5W e 10W, respectivamente: 3 dB, 0 dB e -15 dB;

b) SNR Virtual [com] – SNR Virtual [sem], na faixa de 22,877MHz, para 1W, 5W e 10W, respectivamente: -4 dB, -2 dB e 4 dB.

A interpretação dos resultados considera que:

a) A única variável entre os testes para uma mesma frequência e mesma potência foi a presença de aterramento;

b) A potência do rádio estabelecida (1 W, 5 W e 20 W), isto é, a potência do sinal, não varia em função do aterramento;

c) O ruído do canal medido para cada frequência não varia em função do aterramento (por ser independente do sistema transmissor);

d) O analisador de espectro captura apenas o nível de energia (potência) que excita a sua antena, ou seja, não distingue o que é sinal e o que é ruído do equipamento;

e) Independentemente do tipo de antena emissora, ela irá amplificar o sinal e o ruído do equipamento na mesma ordem.

Ainda que à primeira vista possa parecer atípico que a SNR menor indique uma melhor qualidade do sinal, deve-se relembrar das considerações supracitadas.



O valor da subtração entre a amplitude do sinal capturado menos o ruído estático do canal é o que se pode chamar de SNR Virtual e que, independente do aterramento, o nível do ruído do ambiente não é afetado.

Pode-se compreender então, com a análise dos resultados, que a “atenuação” na SNR Virtual se deu unicamente na componente ruído do equipamento, haja vista a constância dos demais parâmetros, ou seja, o aterramento de fato melhorou a qualidade do sinal emitido na metade das comparações.

Destarte, a única componente afetada é a potência do ruído do equipamento rádio, a qual certamente foi atenuada resultando em uma melhor qualidade do sinal, ou seja, uma melhor SNR real, conforme mostrado abaixo:

a) Potência Recebida na Antena do Analisador (dB) = Potência do Sinal (dB) + Potência do Ruído do rádio (dB) + Potência do Ruído do Canal (dB):

$$P_{Rx} = P_S + P_{Rr} + P_{Rc}$$

b) SNR virtual = Potência Recebida na Antena do Analisador (dB) - Potência do Ruído do Canal (dB):

$$SNR_{Virtual} = P_{Rx} - P_{Rc}$$

c) SNR real = SNR virtual - Potência do Ruído do rádio (dB):

$$SNR_{Real} = SNR_{Virtual} - P_{Rr}$$

Uma vez que os valores Potência do Sinal (definido pelo controlador do rádio, portanto um valor fixo) e Potência do Ruído do Canal (medido pelo analisador e mostrado no Quadro 2, fornecendo uma relação também constante) não sofreram alterações diante da existência ou não de aterramento, conclui-se que a diferença entre as SNR virtuais com e sem aterramento se deram no valor de Potência do Ruído do MPR-9600-MP, ou seja, a potência do Ruído do equipamento transmitida diminuiu com a presença do aterramento.

De toda forma, dois valores (marcados em amarelo no Quadro 2) se contrapõem à lógica estabelecida. Ainda que tenha-se teorizado que o pequeno tamanho das antenas emissoras e receptoras possa ter afetado o resultado para a faixa HF, es-

pecialmente para baixas frequências onde o comprimento de onda se torna relativamente grande, bem como a possibilidade de saturação das antenas quando utilizando-se 20W, foi proposto novo teste com o analisador de espectro, utilizando a Antena Cross-loop, maior e mais sensível, além de utilização da antena do MPR 9600 totalmente desdobrada e emitindo um sinal de telegrafia em 1 kHz que permitiria maior precisão espectral.

Os resultados desse teste estão expostos no Quadro 3, a seguir:

QUADRO 3 – Teste 02: Antena Cross-loop e Sinal de Telegrafia de 1 kHz transmitido.

Aterramen-to	Parâmetros		Potência (dBμV)		
	frequênci-a (MHz)	Ruído (dBμV)	Ptx <sup>1</sup> = 1W	Ptx = 5W	Ptx = 20W
SEM	2,218	4	66	74	76
	SNR Virtual <sup>2</sup> (S <sup>3</sup> - N <sup>4</sup> ) SNR Virtual [sem]		<u>62</u>	<u>70</u>	<u>72</u>
COM	02,218	8	65	73	77
	SNR Virtual (S - N) SNR Virtual [com]		<u>57</u>	<u>65</u>	<u>69</u>
SNR Virtual [com] – SNR Virtual [sem]			<u>-5</u>	<u>-5</u>	<u>-3</u>
SEM	22,877	-28	81	90	94
	SNR Virtual (S - N) SNR Virtual [sem]		<u>109</u>	<u>118</u>	<u>122</u>
COM	22,877	-28	78	87	92
	SNR Virtual (S - N) SNR Virtual [com]		<u>106</u>	<u>115</u>	<u>120</u>
SNR Virtual [com] – SNR Virtual [sem]			<u>-3</u>	<u>-3</u>	<u>-2</u>

Fonte: o autor.

Legenda:

- 1 - Potência de transmissão do transceptor.
- 2 - Valor da amplitude do sinal subtraído do ruído do canal
- 3 - Amplitude do sinal capturado pelo analisador do espectro referente a transmissão do rádio em 1 W, 5W ou 20 W.
- 4 - Ruído Estático (ambiente) ou ruído do canal capturado pelo analisador de espectro na faixa de frequência em 2,218 MHz ou 22,877 MHz.



A análise dos resultados para o novo sistema, com e sem aterrramento, é surpreendente. Não só o padrão identificado no primeiro teste se manteve, demonstrando coerência e precisão na execução dos testes, como não houve mais resultados discrepantes:

- a) SNR Virtual [com] – SNR Virtual [sem], na faixa de 2,2180MHz, para 1W, 5W e 10W, respectivamente: -5 dB, -5 dB e -3 dB;
- b) SNR Virtual [com] – SNR Virtual [sem], na faixa de 22,877MHz, para 1W, 5W e 10W, respectivamente: -3 dB, -3 dB e -2 dB.

Inclusive o padrão de redução foi estabelecido dentro de uma faixa coerente, indicando que o aterrramento afetou de forma padronizada as diferentes emissões realizadas.

Todas as SNR do sistema aterrado foram menores que as SNR do sistema sem aterramento, lembrando que o analisador indica apenas a potência total recebida. Destarte, efetivamente as potências de sinal emitido e ruído de canal se mantiveram, ou seja, a redução da SNR indica unicamente a redução de ruído do MPR-9600-MP, escondido pelo sistema de aterrramento.

Realizando-se novamente as considerações expostas na análise do primeiro teste, comprehende-se que o novo teste ratificou a hipótese de que o aterrramento atenua o ruído do equipamento emissor, na faixa de 2 a 5 dB de redução, promovendo um ganho de qualidade do sinal recebido ao se reduzir o ruído emitido quando da transmissão.

#### 4. CONCLUSÃO

Além de todas as implicações relacionadas à segurança do usuário e preservação dos equipamentos elétricos, fica-se comprovado que o aterramento também proporciona uma melhor qualidade do sinal transmitido, com atenuação do ruído do equipamento e, consequentemente, um melhor sinal recepcionado quando da utilização do MPR-9600-MP na faixa de frequência estudada.

Como citado no item anterior, o valor de SNR mostrado é virtual, e considera como potência do sinal a soma da potência do sinal com a potência do ruído do equipamento, subtraída da potência do ruído do canal. Feita a análise, comprovou-se que a potência do ruído do equipamento foi atenuada devido a presença do aterramento, fornecendo, maior qualidade do sinal, ao aumentar a SNR real do MPR-9600-MP:

$$\uparrow \text{SNR real} = \text{SNR virtual} - \downarrow \text{Potência do Ruído do rádio (dB)}$$

O aumento da SNR real sempre é algo positivo, pois reflete em diversas vantagens para o sistema receptor, em especial a parte de demodulação, muitas vezes prejudicada ou totalmente inviabilizada pela forte presença de ruído, gerando prejuízos na qualidade e interpretação do sinal recebido

Considerando que a Comunicação Crítica que o EB necessita, dado o caráter sensível das operações da Defesa Nacional, imbuída de requisitos de confidencialidade, integridade e disponibilidade, uma alta SNR sempre é desejada. Sistemas de comunicações digital quantizam, digitalizam, modulam e codificam os sinais transmitidos, de forma a garantir os requisitos supracitados em sua transmissão. No entanto, o rádio receptor necessita decodificar, demodular e processar o sinal recebido de forma a convertê-lo em informação coerente para o operador. Desta forma, o sinal deve chegar de forma suficientemente satisfatória para que o sistema de recepção o converta em informação útil.

O sinal chegar de forma satisfatória depende das características físicas do sinal, representadas por sua potência, ser mantida dentro de um intervalo pré-estabelecido. No entanto, uma forte presença de ruído altera tais características, somando ao sinal transmitido de forma que, a depender da quantidade de ruído, a informação pode ser perdida.

Tal comportamento é válido para sinais analógicos e digitais, porém, para transmissões digitais, a situação torna-se crítica por haver uma enorme concentração de informações em uma forma de onda, tornando o sistema vulnerável a mudanças dos sinais transmitidos frente à interferência.

Diante do exposto, qualquer atenuação de ruído passa a ser desejada, de forma a mitigar os efeitos nocivos aos enlaces pela de ruído.

Nessa esteira, os resultados encontrados sobre o aterramento tornam-se valiosa ferramenta para os operadores, haja vista possibilitar uma redução suficiente para evitar falhas de comunicação em situações de cobertura limítrofe.

Frisa-se que o aterramento se constitui de boa prática, destarte é plausível se pensar que ele já é realizado, ainda que o operador não entenda o motivo de tal prática. No entanto, a difusão do



conhecimento desenvolvido pelo presente processo torna-se essencial para mudar o entendimento daqueles que não tenham o costume de realizar o aterramento por motivos como o tempo gasto para o correto aterramento.

Ainda que o presente trabalho foque na qualidade do sinal, não se deve esquecer que o aterramento também protege os equipamentos de transitórios eletromagnéticos, aumentando a sua vida útil.

O presente trabalho também possui relevante significância pelo fato de não ter sido encontrada literatura que verse sobre a influência de aterramento na qualidade de sinais em sistemas de rádio em geral, sendo um trabalho inédito que poderá evitar que futuros acadêmicos com as mesmas dúvidas e motivações dos autores estudem os mesmos problemas.

Ressalta-se, no entanto, que a forma como a pesquisa foi conduzida, por meio da utilização do analisador de espectro para análise de uma transmissão realizada pelo MPR-9600-MP, não adentrou o mérito do quanto a recepção é otimizada. Desta forma, futuros trabalhos podem continuar a presente linha de pesquisa para avaliar parâmetros específicos. Uma hipótese é a análise em termos de Bit Error Rate (BER), por exemplo, um excelente parâmetro a ser analisado por indicar a taxa de erros de bits por unidade de tempo e potencialmente suscetível à presença de ruído. Desta forma, é possível que a redução de ruído alcançada com o aterramento afete diretamente a BER, fornecendo dados precisos do quanto a qualidade do sinal poderá ser melhorada no receptor. Tal informação, além de ter valor acadêmico muito grande, fornece dados para o processo decisório de como utilizar o equipamento em operações reais.

Outra oportunidade de desenvolvimento de literatura é a análise de potência do sistema transmissor, por meio de Wattímetro e Carga Fantasma, por exemplo. A análise de parâmetros no sistema de emissão de RF permitiria quantificar de fato o valor de potência do sinal e de potência de ruído, em watts. Ao confrontar o sistema aterrado com o sem aterramento nessa linha de pesquisa, os valores reais do quanto o ruído é atenuado pela presença de aterramento seriam encontrados, propiciando oportunidades para os operadores configurarem o sistema de forma mais precisa, otimizando o enlace.

Tais sugestões de trabalhos futuros, combinadas com o presente trabalho, que comprovou a

influência positiva do aterramento no MPR-9600-MP em relação à qualidade da transmissão, fornecerão bibliografia robusta, inédita e de grande importância para o EB, contribuindo e se somando com o conjunto de boas práticas que optimizam os sistemas de comunicação da Força.

Em resumo, o aterramento elétrico é essencial para os sistemas de antena devido ao seu papel na otimização do desempenho do sinal e evitando danos causados por surtos elétricos.

Compreender a importância das práticas adequadas de aterramento é fundamental para os projetistas, instaladores e operadores dos sistemas para garantir desempenho e proteção ideais.

A ausência de perícia na execução do aterramento, ou ainda a total negligência com tal prática, pode parecer inofensiva, haja vista o sistema permanecer em funcionamento. No entanto, deve ser objetivo da Força Terrestre, em especial da Arma de Comunicações, a otimização de suas capacidades de comunicação. Alia-se ao problema supracitado a ausência de bibliografia específica acerca da influência do aterramento em enlaces de rádio, ainda que se considere uma boa prática o correto aterramento, dadas as consequências elétricas positivas de notório saber, expostas na introdução.

Com base no exposto, o presente Projeto apresentou um resultado importante para a otimização da eficiência de enlaces de rádio, vitais para a comunicação da Força Terrestre, seja em tempos de Guerra ou de Paz. Com a disseminação do conhecimento aqui produzido, os gestores e operadores de comunicação darão a devida importância ao aterramento quando da montagem de seus sistemas, propiciando melhor qualidade do sinal e resguardando seus equipamentos frente à distúrbios elétricos, evitando-se a necessidade de reposição de componentes de comunicação em situações em que o Teatro de Operações não o permita.

## Abstract

*The grounding of radio communication systems is an established practice to protect electronic components from harmful electromagnetic transients. However, little is known about the influence of grounding on the quality of signals transmitted by the radio system due to the lack of literature on the subject. In order to investigate the influence of grounding on a radio system widely used by the Brazilian Army, the MPR 9600 MP, it was proposed to test the equipment in the*



*field, once with grounding and once without, in two frequency bands of interest and with three different power levels. An spectrum analyzer provided by the 1st BGE was used for the analysis. After the necessary procedural steps, data was collected that showed attenuation of the equipment's noise and an improvement in the Signal-to-Noise Ratio. It was concluded that grounding has a positive influence on improving signal quality.*

**Keywords:** Electrical Grounding. MPR-9600-MP. Signal Quality. Signal-to-noise ratio. Spectrum Analyzer.

## 5. REFERÊNCIAS

**ANATEL. Resolução ANATEL nº 646, de 22 de zembro de 2014.** Agência Nacional de Telecomunicações. 2014.

**BATISTA, M. H. S. Aterramento de estações rádio:** equipotencialização, potenciais no solo e equipamentos sensíveis. 2020. Vorbe. Disponível em: <https://www.vorbe.com.br/artigos/aterramento-estacoes-radio/>. Acesso em: 10 out. 23.

**BRASIL. Exército. Comando de Operações Terrestres. Nota Doutrinária nº 04/2021: Sistema de Comando e Controle da Força Terrestre.** 1a Ed. Brasília, DF: COTER, 2021.

**CASSIOLATO, C. EMI-Interferência Eletromagnética.** 2013. Disponível em: <https://www.profibus.org.br/images/arquivo/pdf-6-543ec6bc-451ff.pdf>. Acesso em 23 out. 23.

**HARRIS. MPR-9600 Rádio HF Tático Avançado:** Manual de Operação. Melbourne, 2012. 222 p.

**HUGHES, M. Deep Phase Noise 1.** 2022. Disponível em: <https://open.spotify.com/track/5MOWBRT53q5yNOtHaMVTh?si=fI3UeammSo2kKp-DwVs1BCA&context=spotify%3Aplaylist%3A37i9dQZF1DWUZ5bk6qqDSy>. Acesso em: 12 abr. 2008.

**MORENO, H.; COSTA, P. F. Aterramento Elétrico.** Procobre. São Paulo, p. 28. 1999. Disponível em: [https://www.voltimum.com.br/sites/www.voltimum.com.br/files/pdflibrary/01\\_e-book-procobre-aterramento.pdf](https://www.voltimum.com.br/sites/www.voltimum.com.br/files/pdflibrary/01_e-book-procobre-aterramento.pdf). Acesso em: Acesso em 23 out. 23.

**NAVAL SEA SYSTEMS COMMAND. Depart-**

ment of the Navy. **MIL-HDBK-2036: Preparation of Electronic Equipment Specifications.** United States Department of Defense. 1999.

**NETTO, P. G. T. E. de. S.; PIMENTEL, G. R. de. O.; KERTSCHER, F. Interferência eletromagnética em sistemas de áudio.** Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Engenharia Elétrica), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2017. Disponível em: <https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/10037>. Acesso em: 23 out. 23.

**ONLINE TONE GENERATOR. Online Tone Generator.** 2022. Free, Simple and Easy to Use. Disponível em: <https://onlinetonegenerator.com/>. Acesso em: 18 out. 23.

**PAULINO, J. O. S.; BARBOSA, C. F.; MOREIRA, R. K.; BARBOSA, W. A.; LOBO, M. A. F.; LOBO, A. R. Proteção de equipamentos elétricos e eletrônicos contra surtos elétricos em instalações.** [S.I.]: Clamper, 2016. V. 1. 258 p.

**SANCHES, D. Interferência Eletromagnética.** [S.I.]: Interciência, 2003.v.1.

**TELLÓ, M. Aterramento elétrico: impulsivo em baixa e alta frequências-Com apresentação de casos.** Edipucrs, 2007.

**TRIPP, D. Pesquisa-ação:** uma introdução metodológica. Educação e pesquisa, v. 31, p. 443-466, 2005.

O 2º Tenente Pedro Augusto Warlet **Reis Brito** é bacharel em Engenharia Elétrica pela Universidade de Brasília (UnB). Foi aluno do Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecatrônica - Mestrado da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – PLOI-USP. Concluiu com aproveitamento o Curso de Formação de Oficiais da Marinha 2014, Curso Expedito de Controle de Avarias em Instalações Terrestres 2018, o Estágio em Gestão de Riscos em 2018, Curso de Habilitação de Oficiais do CBMDF 2022 e Curso de Gerenciamento de Sistema Tetra da PMDF em 2022. É pós-graduado em Administração para Engenheiros pela Universidade Anhanguera. Atualmente, exerce a função de Chefe da Subseção Técnica de Radiocomunicação na Diretoria de Tecnologia da Informação e Comunicação do Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal e pode ser contactado pelo e-mail [pedro.warlet@cbm.df.gov.br](mailto:pedro.warlet@cbm.df.gov.br).



O 1º Tenente **Matheus Henrique Barreto dos Santos** é bacharel em Ciências Militares pela Academia Militar das Agulhas Negras (AMAN). Concluiu com aproveitamento o Estágio de Atividades Cibernéticas do CIGE. Atualmente, exerce a função de Instrutor do Curso de Comunicações do CPOR/R e pode ser contactado pelo e-mail matheussantos.barreto@eb.mil.br.

