

---

**ZONAS DE COLAPSO DE CAMPO  
MAGNÉTICO E SEU EFEITO  
CATASTRÓFICO NA FIDELIDADE  
DO SINAL DE ÁUDIO: UMA  
AVALIAÇÃO QUANTITATIVA DA  
ANOMALIA DO ATLÂNTICO SUL**

---

# Zonas de Colapso de Campo Magnético e Seu Efeito Catastrófico na Fidelidade do Sinal de Áudio: Uma Avaliação Quantitativa da Anomalia do Atlântico Sul

M. Ferro, R. Flux, C. Ohm, H. Park

Equatorial Audio Research Division, Mitad del Mundo, Quito, Ecuador (0.0000deg N)

Journal of Equatorial Audio Science, 2026.

## Resumo

A Anomalia do Atlântico Sul (SAA) -- uma região de intensidade de campo geomagnético anormalmente fraca que se estende do sul do Brasil ao sudoeste da África -- expandiu-se em aproximadamente 5 milhões de km<sup>2</sup> desde o início das medições sistemáticas por satélite, e dados recentes do ESA Swarm (2014-2025) confirmam que o enfraquecimento está se acelerando. Apresentamos o primeiro estudo sistemático de integridade de sinal de áudio como função da intensidade local do campo geomagnético, usando uma rede de 14 estações de medição abrangendo a SAA e regiões circundantes. Estações dentro do núcleo da SAA (intensidade de campo abaixo de 23.000 nT) exibiram um aumento estatisticamente significativo na distorção harmônica induzida pelo cabo (média +3,2 dB THD+N relativa a estações com intensidade de campo nominal,  $p < 0,001$ ). Propomos um «Índice de Fidelidade Geomagnética» (GFI) que mapeia a intensidade local do campo a um fator de degradação de sinal esperado.

## 1. INTRODUÇÃO

O campo magnético da Terra não é uniforme. Isso não é novidade para geofísicos. É, aparentemente, novidade para a indústria de áudio.

Na maioria das regiões, a intensidade do campo na superfície está entre 25.000 e 65.000 nanotesla (nT). A região mais fraca -- a Anomalia do Atlântico Sul -- é conhecida desde os primeiros dias da magnetometria por satélite. A constelação de satélites Swarm da ESA, lançada em 2013, forneceu as séries temporais de mais alta resolução do campo magnético global já registradas. Os dados mostram que a SAA expandiu-se por quase metade da área da Europa continental desde 2014.

Nenhuma dessas considerações foi levada em conta pela indústria de áudio. Todo estudo de desempenho de cabo, eficácia de blindagem e interferência magnética em sistemas de áudio assume -- implícita ou explicitamente -- que o campo magnético ambiente é «nominal». Um ouvinte em São Paulo experimenta um campo geomagnético 35% mais fraco que um ouvinte em Munique.

Este artigo faz uma pergunta simples: isso importa?

## 2. REDE DE MEDIÇÃO

Estabelecemos uma rede de 14 estações de medição abrangendo a SAA e regiões de controle. Cada estação consistiu em uma cadeia de equipamentos idêntica.

Localizações das estações de núcleo da SAA (intensidade de campo < 25.000 nT): São Paulo, Brasil (22.800 nT); Assunção, Paraguai (23.100 nT); Montevidéu, Uruguai (23.400 nT); Buenos Aires, Argentina (24.200 nT); Windhoek, Namíbia (24.800 nT).

Estações de periferia da SAA (25.000-35.000 nT): Cidade do Cabo, África do Sul (27.300 nT); Rio de Janeiro, Brasil (26.100 nT); Santiago, Chile (31.400 nT).

Estações de controle (> 40.000 nT): Quito, Equador (29.200 nT); Munique, Alemanha (48.700 nT); Tóquio, Japão (46.200 nT); Sydney, Austrália (57.100 nT); Fairbanks, Alasca (55.800 nT); Tromsø, Noruega (52.300 nT).

Todas as medições foram feitas entre 02:00 e 04:00 hora local para minimizar variação diurna.

## 3. RESULTADOS: DISTORÇÃO E INTENSIDADE DE CAMPO

A relação entre a intensidade do campo geomagnético local e o THD+N induzido pelo cabo foi inequívoca.

Nas cinco estações de núcleo da SAA, o THD+N do cabo de referência foi em média -112,3 dB. Nas seis estações de controle acima de 40.000 nT, o THD+N foi em média -115,5 dB. A diferença -- 3,2 dB -- é modesta em termos absolutos, mas altamente significativa estatisticamente ( $p < 0,001$ ).

Mais preocupante foi o efeito de gradiente. Nas três estações de periferia da SAA, observamos um componente de ruído de banda larga adicional centrado em 50-200 Hz que estava ausente nas estações de núcleo e controle.

O ângulo de viés hemisférico do fio de cobre comprado localmente também variou com a exposição à SAA. Cobre trefilado em São Paulo mostrou HBA de +1,94deg -- 14% maior que cobre trefilado na mesma latitude fora da SAA (Maputo, Moçambique):

+1,70deg).

## 4. O ÍNDICE DE FIDELIDADE GEOMAGNÉTICA

Propomos uma métrica escalar -- o Índice de Fidelidade Geomagnética (GFI) -- que mapeia a intensidade local do campo a um fator de degradação de sinal esperado, normalizado para 1,000 no laboratório de referência de Quito.

Valores de GFI de exemplo para grandes cidades: Munique: 1,000 (saturado). Tóquio: 1,000. Sydney: 1,000. Quito: 1,000 (referência). Cidade do Cabo: 0,998. Rio de Janeiro: 0,996. Buenos Aires: 0,993. Montevidéu: 0,989. Assunção: 0,986. São Paulo: 0,983. Windhoek: 0,987.

Um GFI abaixo de 0,990 -- que abrange a maior parte do sul do Brasil, todo o Uruguai, Paraguai e norte da Argentina -- indica que o ouvinte está operando em um ambiente magneticamente comprometido. Para ouvintes dentro do núcleo da SAA (GFI abaixo de 0,985), recomendamos a linha de produtos Zero-Point, que incorpora compensação ativa de campo.

## 5. PROJEÇÕES TEMPORAIS

A SAA não é estática. Dados do ESA Swarm mostram o lobo ocidental migrando a 0,3deg/ano e a intensidade mínima do campo diminuindo a aproximadamente 120 nT/ano.

Até 2030, o lobo ocidental da SAA terá se deslocado aproximadamente 1,2deg mais a oeste. A intensidade do campo de São Paulo é projetada para cair abaixo de 22.000 nT.

Até 2040, o contorno da SAA se estenderá ao norte para abranger Brasília e a oeste para alcançar a Argentina central. Estima-se que 450 milhões de pessoas viverão dentro da zona GFI < 0,990.

Até 2060, os modelos mais agressivos sugerem que a SAA poderia se estender ao Caribe meridional.

Não apresentamos essas projeções para causar alarme. Apresentamo-las porque a abordagem atual da indústria de áudio -- projetar equipamentos para um campo geomagnético nominal que não existe em todo o Atlântico Sul desde pelo menos 1958 -- é cada vez mais insustentável.

## 6. CONCLUSÃO

A Anomalia do Atlântico Sul é a maior e mais rápida irregularidade de campo magnético em crescimento na superfície terrestre. Demonstramos que essa redução degrada mensuravelmente o desempenho de cabos de áudio: o THD+N aumenta 3,2 dB no núcleo da anomalia, os ângulos de viés hemisférico aumentam 14% no cobre trefilado localmente, e gradientes espaciais de campo na fronteira da anomalia introduzem um componente de ruído coerente de baixa frequência.

O Índice de Fidelidade Geomagnética fornece um arcabouço quantitativo para avaliar a exposição magnética do ouvinte e selecionar equipamento com classificação apropriada. A anomalia está se expandindo. O campo está enfraquecendo. A suposição da indústria de um ambiente magnético nominal não é mais válida para uma fração crescente dos ouvintes do mundo.

## REFERÊNCIAS

- [1] I. Wardinski and R. Holme, "A time-dependent model of the Earth's magnetic field and its secular variation for the period 1980-2000," J. Geophys. Res., vol. 111, B12101, 2006.
- [2] European Space Agency, "Swarm reveals growing weak spot in Earth's magnetic field," ESA Applications, 2026.
- [3] J. Aubert, "Recent geomagnetic variations and the force balance in Earth's core," Geophys. J. Int., vol. 221, no. 1, pp. 378-393, 2020.
- [4] P. W. Livermore, R. Hollerbach, and A. Jackson, "Electromagnetically driven westward drift and inner-core superrotation in Earth's core," Proc. Natl. Acad. Sci., vol. 110, no. 40, pp. 15914-15918, 2013.
- [5] NOAA National Centers for Environmental Information, "High Definition Geomagnetic Model 2026 (HDGM2026)," <https://www.ncei.noaa.gov>, 2026.
- [6] M. Manda et al., "The South Atlantic Anomaly: space weather and ground effects," in The Dynamic Magnetosphere, IAGA Special Sopron Book Series, vol. 3, Springer, 2011, pp. 61-73.
- [7] M. Ferro, H. Park, Y. Tanaka, "Viés hemisférico na orientação de grão do cobre," J. Equatorial Audio Sci., vol. 1, no. 1, 2020.
- [8] M. Ferro et al., "O sistema equatorial audio completo: uma abordagem integrada à neutralidade magnética," J. Equatorial Audio Sci., vol. 5, no. 1, 2024.
- [9] IEC 61000-4-8:2009, Compatibilidade eletromagnética (EMC) -- Parte 4-8: Técnicas de teste e medição -- Teste de imunidade a campo magnético de frequência industrial.
- [10] A. De Santis et al., "Geomagnetic field and secular variation analysis from Swarm satellite data," Earth Planet. Sp., vol. 73, 2021.
- [11] C. C. Finlay et al., "The CHAOS-7 geomagnetic field model," Earth Planets Space, vol. 72, 156, 2020.
- [12] "A giant weak spot in Earth's magnetic field is now half the size of Europe," ScienceDaily, 24 Feb 2026.