

Impacto das frequências de ressonâncias Schumann no infarto agudo do miocárdio nas regiões Sul e Nordeste do Brasil

Impact of Schumann resonance frequencies on acute myocardial infarction in the Southern and Northeastern regions of Brazil

¹Reynerth Pereira da Costa, ²Rose Ane Pereira de Freitas, ³Julio Renato Quevedo Marques, ⁴Isabela de Brito Ferreira, ⁵Júlia Alves Menezes, ⁶Rhavana Barbosa dos Santos, ⁷J Ulisses Eugenio Cavalcanti Confalonieri

¹Graduando em Meteorologia – Universidade Federal de Pelotas
(reynerthy@gmail.com)

²Professora no Programa de Pós-Graduação em Meteorologia – Universidade Federal de Pelotas
(freitas.rose@ufpel.edu.br)

³Professor Associado na Faculdade de Meteorologia – Universidade Federal de Pelotas
(jrqmarques@gmail.com)

⁴Doutoranda em Infectologia e Medicina Tropical – Universidade Federal de Minas Gerais
(isabelafbrito@gmail.com)

⁵Pesquisadora no Laboratório de Análise e Desenvolvimento de Indicadores para Sustentabilidade, Divisão de Impactos, Adaptação e Vulnerabilidade - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
(menezes.jalves@gmail.com)

⁶ Professor Adjunta no Departamento de Medicina e Enfermagem – Universidade Federal de Viçosa
(rhavena.santos@ufv.br)

⁷Professor Titular e Pesquisador aposentado – Universidade Federal Fluminense
(uconfalonieri@gmail.com)

RESUMO: Este estudo analisa a relação entre as frequências de Ressonância Schumann (RS) e as taxas de mortalidade por infarto agudo do miocárdio (IAM) no Sul (S) e Nordeste (NE) do Brasil, utilizando dados geomagnéticos coletados entre 1996 a 2022 das estações de São Luís (SLZ) e São Martinho da Serra (SMS). A Transformada Discreta de Fourier (DFT) foi aplicada para identificar as frequências de RS, enquanto uma análise de cluster agrupou os estados em três padrões distintos. A região Sul mostrou maior correlação com as frequências de RS, devido à proximidade com a Anomalia Magnética do Atlântico Sul (AMAS), onde o campo magnético é mais fraco, amplificando os impactos geomagnéticos na saúde cardiovascular. Já no Nordeste, as associações foram menos consistentes, possivelmente influenciadas por fatores locais. Os resultados ressaltam a importância de considerar variações geomagnéticas na análise de riscos à saúde, sugerindo implicações relevantes para a saúde pública em regiões expostas.

Palavras Chave: Ambiente eletromagnético. Saúde cardiovascular. Frequências naturais. Impactos ambientais. Análise de cluster.

ABSTRACT: This study examines the relationship between Schumann Resonance (SR) frequencies and acute myocardial infarction (AMI) mortality rates in the Southern (S) and Northeastern (NE) regions of Brazil, utilizing geomagnetic data collected between 1996 and 2022 from the São Luís (SLZ) and São Martinho da Serra (SMS) stations. The Discrete Fourier Transform (DFT) was applied to identify SR frequencies, while a cluster analysis grouped states into three distinct patterns. The Southern region exhibited a stronger correlation with SR frequencies, likely due to its proximity to the South Atlantic Magnetic Anomaly (SAMA), where the Earth's magnetic field is weaker, intensifying geomagnetic impacts on cardiovascular health. In contrast, the Northeastern region showed less consistent associations, possibly influenced by local factors. These findings highlight the importance of considering geomagnetic variations in health risk analyses, with significant implications for public health in exposed regions.

Keywords: Electromagnetic environment. Cardiovascular health. Natural frequencies. Environmental impacts. Cluster analysis.

1. INTRODUÇÃO

O espaço que separa a Terra da ionosfera forma uma cavidade fechada que pode suportar ondas eletromagnéticas quase estacionárias, como as encontradas nos Cinturões de Van Allen, com comprimentos de onda comparáveis às dimensões planetárias. Na baixa atmosfera, isso ocorre a uma altura de aproximadamente 60 a 70 km acima da Terra. A superfície e a ionosfera formam uma cavidade que, quando excitada por uma onda espectral eletromagnética de frequência extremamente baixa (ELF) de 50 Hz, pode desenvolver estados ressonantes nos quais a circunferência se aproxima dos comprimentos de onda de médias e altas frequências, que são aprisionadas na parte superior da ionosfera (PIZZUTI *et al.*, 2021). Este fenômeno foi estudado por Schumann (1952) e posteriormente observado por Balsler e Wagner (1960).

Para que as Ressonâncias de Schumann (Schumann Resonance, SR) existam, é necessário um amplo espectro de fontes eletromagnéticas iniciais. Esse espectro pode ser fornecido pela atividade de raios, juntamente com outros fenômenos de baixa frequência ou meteorológicos que ocorrem na superfície (BÖSINGER e SHALIMOV, 2008). Essas fontes são uma propriedade do circuito elétrico atmosférico global e apresentam frequências de pico entre 7,73, 14,1 e 20,3 Hz (APLIN *et al.*, 2008).

As SR têm sido cada vez mais associadas à saúde e ao bem-estar humano, particularmente na área de Biometeorologia Humana. Pesquisas sugerem que as variações nas frequências de SR podem influenciar processos fisiológicos, incluindo os ritmos circadianos, a regulação hormonal, bem como a atividade das ondas cerebrais, impactando a saúde e o comportamento humano. Pesquisas recentes encontraram correlações entre as flutuações das SR e mudanças na variabilidade da frequência cardíaca humana, na qualidade do sono e no humor (BALSER *et al.*, 1962a; 1962b; PRICE *et al.*, 2021).

Além disso, as SR despertam interesse nos domínios da neurociência e da saúde humana. Estudos, como os conduzidos por Huang *et al.* (2022) sugerem uma correlação potencial entre a atividade cerebral humana e as flutuações nas SR. Tais descobertas indicam a possibilidade de uma relação simbiótica entre os campos eletromagnéticos terrestres e os sistemas biológicos, incentivando uma maior exploração das implicações para a saúde e o bem-estar da população.

O Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) supervisiona uma série de estações magnéticas e de repetição pela Rede Embrace Magnetometer Network (Embrace MagNet) na América do Sul, originalmente planejada para cobrir a maior parte da porção leste do setor longitudinal da América do Sul, por meio da instalação e operação de estações de magnetômetros fluxgate. Essa rede preenche a lacuna de medições magnéticas disponíveis nessa região, com o objetivo de fornecer dados magnéticos para serem usados como estimativa do nível de perturbação regional causado pelas tempestades geomagnéticas (DENARDINI *et al.*, 2018), impulsionadas pelos efeitos climáticos espaciais (GONZALEZ *et al.*, 1994).

As estações magnéticas e de repetição funcionam como complemento para o estudo das SR, juntamente com a distribuição dos observatórios no Brasil. Essas estações são locais fixos distribuídos pelo território nacional, onde idealmente são feitas observações absolutas e relativas. Atualmente, há mais de 1.000 observações absolutas no Brasil, distribuídas em 175 estações, sendo a primeira observação realizada em 1903 e a mais recente em maio de 2023 (MARINHO *et al.*, 2015). Além disso, a rede tem a finalidade científica de longo prazo de investigar as tendências na intensidade magnética da Anomalia Magnética da América do Sul e a implicação de sua presença no desvio dos índices magnéticos usados para monitorar a relação solar-terrestre associada ao clima espacial (MATZKA *et al.*, 2021).

Este estudo tem como objetivo analisar os dados do campo geomagnético das estações magnéticas de São Luís (SLZ), no Maranhão, e São Martinho da Serra (SMS), no Rio Grande do Sul, entre os anos de 1996 e 2022, com base nas frequências das SR, correlacionando-os com as taxas de mortalidade por infarto agudo do miocárdio (IAM) nas regiões Sul e Nordeste do Brasil, obtidas por meio do Sistema de Informação de Mortalidade (SIM) do Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde (DATASUS) (DATASUS, 2024).

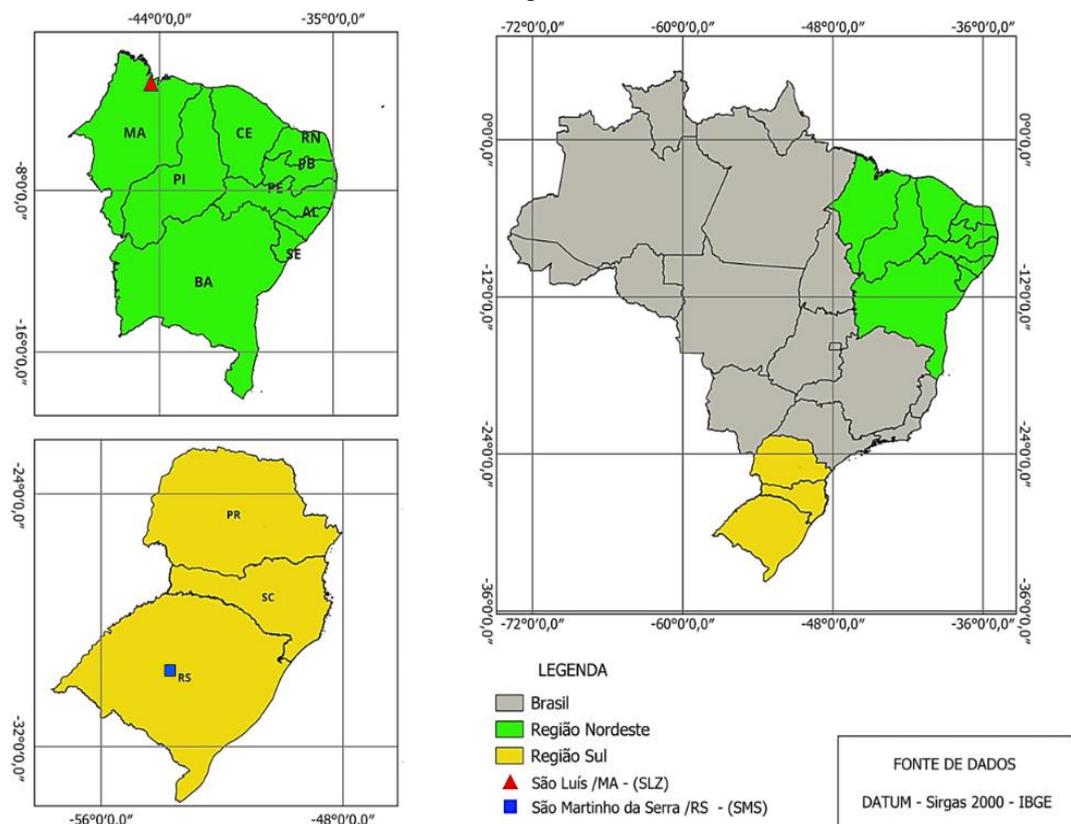
2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Área de Estudo

A área de pesquisa abrange duas regiões do Brasil: a Região Nordeste (NE), composta pelos estados do Maranhão (MA), Piauí (PI), Ceará (CE), Rio Grande do Norte (RN), Paraíba (PB), Pernambuco (PE), Alagoas (AL), Sergipe (SE) e Bahia (BA); e a Região Sul (S), formada pelos estados do Paraná (PR), Santa Catarina (SC) e Rio Grande do Sul (RS), conforme ilustrado na Figura 1.

A Região NE, próxima ao equador magnético, apresenta alta atividade de tempestades e descargas atmosféricas, influenciando diretamente a propagação das SR. Em contrapartida, a Região S está localizada em uma área de fortemente influenciada da Anomalia Magnética do Atlântico Sul (AMAS), uma área de campo magnético enfraquecido, o que modifica a resposta geomagnética. Essas diferenças tornam as duas regiões ideais para investigar a propagação das SR em diferentes latitudes (YAMAZAKI e MAUTE, 2017; SÁTORI *et al.*, 2024).

Figura 1 – Locais de coletas de dados sobre as taxas de mortalidade por infarto agudo do miocárdio (IAM) nas duas regiões, a localização das estações: São Luiz/MA - SLZ (triângulo vermelho); São Martinho da Serra/RS - SMS (quadrado azul).



Outro fator que contribui para a pesquisa é a proximidade da Região Nordeste (NE) com a influência de correntes ionosféricas, que se estendem a uma altitude de 105 km, localizadas aproximadamente $\pm 3^\circ$ do Equador Magnético. Essas correntes são conhecidas como Eletrojato Equatorial (EE), influenciam as descargas elétricas na ionosfera. Por outro lado, a Região Sul (S) encontra-se em uma área onde a combinação de sistemas de massas de ar, como frentes frias, zonas de alta e baixa pressão e outros fenômenos meteorológicos, afeta a formação de tempestades e, conseqüentemente as descargas elétricas atmosféricas. Sem dúvida, ambas as regiões estão fortemente ligadas às atividades de tempestades e dinâmicas de raios que são as principais fontes geradoras das SR (YAMAZAKI e MAUTE, 2017; SÁTORI *et al.*, 2024).

Com esses fatores, é possível analisar a variação diurna do campo magnético da Terra, que desempenha um papel importante na identificação das frequências de pico da SR, conforme demonstrado pela primeira detecção experimental realizada por Schumann e König (1954). Da mesma forma, a primeira representação espectral das SR apresentada por Balser e Wagner (1960), foram pioneiros, e suas técnicas nos permite até hoje a identificação das frequências de SR, por meio do comportamento diurno. Esse comportamento é um indicador fundamental das condições eletromagnéticas na ionosfera, possibilitando a correlação entre os efeitos e índices geomagnéticos com dados epidemiológicos, que pode auxiliar na identificação de possíveis padrões que influenciem a saúde pública (PALMER *et al.*, 2006; PRICE *et al.* 2021).

A modulação das frequências na atmosfera, sobre as duas regiões, pode ocorrer em resposta à condutividade ionosférica, influenciada por fontes externas vindas do espaço ou internas à superfície. A relação entre essas fontes afeta principalmente a variação diurna do campo magnético terrestre, com impacto nas componentes principais: a componente horizontal (H), a componente vertical (Z) e a declinação magnética (D). Esses componentes variam ao longo do dia devido à interação entre a radiação solar e a ionosfera, influenciando diretamente a propagação das ondas eletromagnéticas de baixa frequência associadas às SR (ALKEN *et al.*, 2021; PIZZUTI *et al.*, 2021; MATZKA *et al.*, 2021).

O modelo IGRF-13 (International Geomagnetic Reference Field), fornece uma referência global para descrever o campo magnético terrestre em diferentes épocas, permitindo a correção de variações regionais e diurnas ao comparar medições de diferentes locais. Utilizando o IGRF, é possível modelar as variações temporais do campo magnético nas duas regiões (NE e S), ajustando as medições das estações magnéticas para essas variações e, assim, identificar anomalias magnéticas que possam influenciar a propagação das frequências SR. Em resumo, a variação diurna das componentes do campo magnético em São Luís e São Martinho da Serra, combinada com o modelo IGRF, pode oferecer uma resposta direta sobre as dinâmicas regionais da SR, ajudando a entender as diferenças na resposta geomagnética em latitudes distintas (ALKEN *et al.*, 2021; PIZZUTI *et al.*, 2021; MATZKA *et al.*, 2021).

2.2 Dados de Saúde

O conjunto de dados de saúde analisados neste estudo referem-se às taxas de mortalidade associadas a doenças cardiovasculares, especificamente o infarto agudo do miocárdio (IAM), para as duas regiões do Brasil. Esses dados são coletados e fornecidos pelo Departamento de Tecnologia da Informação do Sistema Único de Saúde (DATASUS) (DATASUS, 2024), instituição que desempenham um papel fundamental na sistematização e disponibilização de informações sobre a saúde pública no país, sob a supervisão do Ministério da Saúde.

O IAM, popularmente conhecido como “ataque cardíaco”, ocorre devido à interrupção repentina do fluxo sanguíneo para o coração, resultando na morte de tecido cardíaco. No

Brasil, o IAM é uma das principais causas de morte por doenças cardiovasculares. A Região Nordeste e a Região Sul apresentam dinâmicas distintas em relação à mortalidade. Fatores como idade, condições socioeconômicas e acesso aos serviços de saúde contribuem significativamente para as diferenças nas taxas de mortalidade entre essas regiões (FERREIRA et al., 2020).

Neste estudo, as taxas de IAM são calculadas com base na população das regiões Nordeste e Sul do Brasil, utilizando dados dos censos ao longo do período de estudo para uma análise precisa das variações temporais (LAST, 2001; WHO, 2004; DATASUS, 2024).

A taxa de mortalidade específica para cada ano e região (T) é calculada conforme a fórmula:

$$T = \frac{D}{P} \times 100,000 \quad (1)$$

em que: (D) representa o número absoluto de óbitos por IAM por mês/ano na região e (P) a população total do estado no mesmo período. Essa abordagem padronizada permite ajustar as taxas de mortalidade por IAM, levando em conta variações demográficas ao longo do tempo, conforme recomendado em estudos epidemiológicos (FERREIRA et al., 2020; DATASUS, 2024).

Os dados são obtidos de sistemas de informação de mortalidade, como por meio do Sistema de Informações sobre Mortalidade (SIM) ou pelo Departamento de Tecnologia da Informação do Sistema Único de Saúde (DATASUS). Já as taxas são calculadas dividindo-se o número de óbitos por IAM pela população em risco, com ajustes para correção de causas mal definidas, e subnotificações no registro das causas de morte. Esses ajustes são fundamentais para analisar com precisão na distribuição da doença em relação nas duas regiões, especialmente ao investigar o impacto de variáveis como a SR na mortalidade cardiovascular (FERREIRA et al., 2020).

O processo de coleta é estruturado de acordo com a 10^a revisão da Classificação Internacional de Doenças, versão brasileira (CID BR-10), que abrange uma ampla gama de categorias epidemiológicas. Entre estas, estão diferentes tipos de doenças, incluindo condições neurodegenerativas, infecciosas e autoimunes, além de englobar vários outros agravos relacionados à saúde. Essa abordagem sistemática assegura a integridade e a abrangência dos dados, permitindo uma análise mais precisa e aprofundada das tendências e desafios na saúde cardiovascular no país (DATASUS, 2024).

Segundo Price et al. (2021), descreve que as ressonâncias na atmosfera, são uma série de frequências eletromagnéticas naturais produzidas na interação entre a superfície terrestre e atmosférica, que também influenciam a saúde cardiovascular. Pesquisas indicam que essas frequências podem afetar a fisiologia humana, interferindo nos sistemas cardíaco e nervoso. Além disso, estudos têm investigado uma possível correlação entre a SR e o aumento de eventos cardiovasculares, como o IAM, em períodos de instabilidade geomagnética (PRICE et al. 2021).

2.3 Estações Magnéticas

A escolha das estações magnéticas de São Luís (SLZ) e São Martinho da Serra (SMS) para este estudo se justifica pela relevância científica dessas localidades para a análise geomagnética regional (Tabela 1). A estação de São Luís, situada próxima ao equador magnético, está estrategicamente posicionada para monitorar a intensa atividade de tempestades tropicais e oscilações geomagnéticas locais, fenômenos que influenciam diretamente as frequências de SR (DENARDINI et al., 2018). A estação de São Martinho da Serra, localizada na área da AMAS, permite investigar o impacto de um campo geomagnético enfraquecido, associado a variações magnéticas e tempestades geomagnéticas, sobre as SR (ALKEN et al., 2021; MATZKA et al., 2021).

Essas estações utilizam magnetômetros de fluxgate para registrar as três componentes do campo magnético (horizontal, declinação e vertical), equipamentos que são calibrados periodicamente para garantir a precisão dos dados. As medições, realizadas em intervalos curtos e armazenadas em servidores específicos, são disponibilizadas para a comunidade científica por meio de redes globais, como SuperMAG e INTERMAGNET, que padronizam e ajustam os dados geomagnéticos para análise comparativa (GJERLOEV, 2012; LOVE e CHULLIAT, 2013).

Os dados geomagnéticos dessas redes oferecem uma visão detalhada do campo magnético e suas variações, possibilitando a modelagem de índices como o Disturbance Storm Time (Dst) e o Planetary K-index (Kp), essenciais para monitorar a intensidade das tempestades geomagnéticas. Esses índices são particularmente úteis na análise da modulação das frequências de SR, uma vez que tempestades geomagnéticas afetam a ionosfera e, conseqüentemente, as ondas ELF (BALSER et al., 1962a; MATZKA et al., 2021).

Tabela 1 - A tabela apresenta as estações magnéticas instaladas pelo INPE na América do Sul, com informações detalhadas sobre cada uma delas.

Geomag.	Local	Código			Alt.	Dip.
Lat.(°)	(Cidade/Estado)	(IAGA)	Lat.	Lon.	(m)	(°)
-03.6	São Luís/MA (SLZ)	SLZ	02°35'39"S	44°12'35"W	032	-07.26
-21.6	São Martinho da Serra/RS (SMS)	SMS	29°26'13"S	53°49'22"W	462	-36.65

Legenda: A coluna "Geomagnético (Geomag, °)" refere-se à latitude geomagnética em graus, que indica a posição da estação em relação ao campo magnético da Terra. "Local" especifica a cidade e o estado onde a estação está localizada. O "Código (IAGA)" corresponde à designação oficial da estação conforme a Associação Internacional de Geomagnetismo e Aeronomia. As colunas "Latitude (lat)" e "Longitude (lon)" fornecem as coordenadas geográficas da estação em graus, enquanto "Altitude" (Alt, m) indica a elevação da estação em metros acima do nível do mar. Por fim, a coluna "Dip (°)" descreve a inclinação magnética em graus, representando o ângulo entre o campo magnético local e a superfície da Terra.

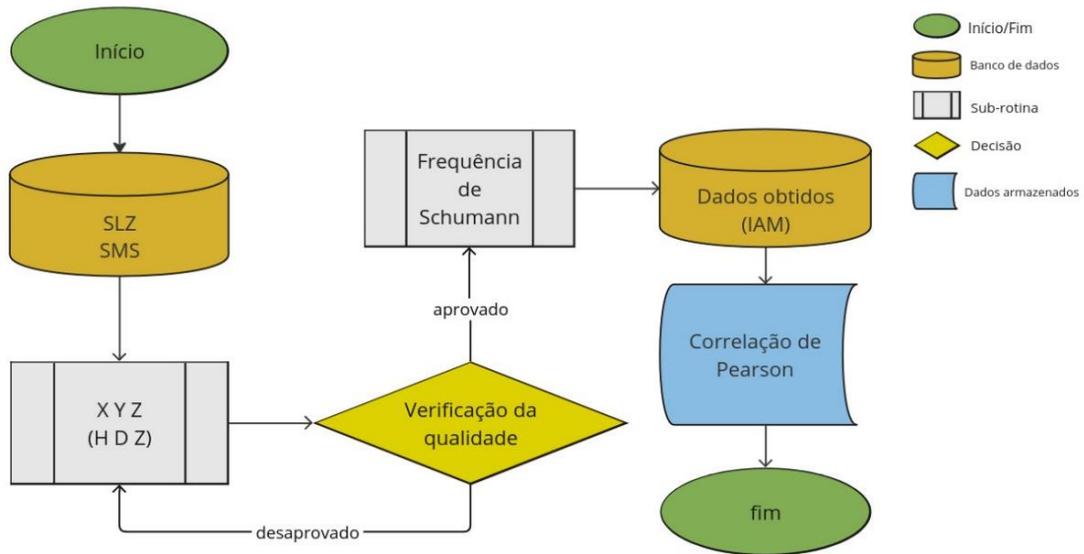
Esta etapa mostra que o conjunto de dados fornece informações sobre o fenômeno na ionosfera relacionado ao campo magnético. Desse conjunto de dados podemos calcular a componente norte magnética (H_N), que será obtida pela declinação:

$$X = Hn \cos(D) \tag{2}$$

$$Y = He \sin(D) \tag{3}$$

Tais equações representam uma relação entre a intensidade do campo, sobre plano horizontal da superfície da Terra, já a declinação (D) expressa o ângulo entre o vetor do campo magnético e o norte geográfico. As expressões expostas serão substituídas e calculadas na equação 9. Todas as etapas do processamento e análise dos dados geomagnéticos e de saúde, desde a coleta até a aplicação dos métodos estatísticos, estão ilustradas no fluxograma da Figura 2.

Figura 2 - Fluxograma das etapas do processamento dos dados das estações SLZ e SMS.



2.3.1 Dados Geomagnéticos

O cálculo das componentes do campo é baseado em dados coletados pelos magnetômetros, isso permite o entendimento das variações geomagnéticas em diferentes regiões. Conforme descrito por Denardini et al. (2018) e Gjerloev (2012), as flutuações são medidas de forma contínua em três componentes locais, geralmente norte (X), leste (Y) e vertical (Z), ajustadas conforme a tabela 1, podemos obter os ângulos D e I. Esses componentes são usados para calcular o campo magnético total (F), pela equação:

$$F = \sqrt{(X^2 + Y^2 + Z^2)} \quad (4)$$

Essa fórmula calcula a magnitude total do vetor resultante das componentes horizontal e vertical, fornecendo uma medida da intensidade do campo magnético numa localização específica. Este cálculo é essencial para identificarmos ruídos ou interferências urbanas sobre o campo magnético que varia ao longo do tempo e do espaço, além de permitir uma análise de eventos magnéticos globais, como tempestades geomagnéticas na ionosfera, assim como a SR (GJERLOEV, 2012; LOVE and CHULLIAT, 2013; DENARDINI et al., 2018).

Os ângulos, como a inclinação, formam o ângulo entre o campo magnético total e o plano horizontal, é calculada usando a relação:

$$I = \arctan \left(\frac{Z}{H} \right) \quad (5)$$

em que: $H = F \cos(I)$, a declinação é dada pelas relações:

$$X = H \cos(D) \quad (6)$$

$$Y = H \sin(D) \quad (7)$$

Esses ângulos são críticos para compreender a geometria do campo magnético em diferentes latitudes e altitudes, especialmente nas proximidades do equador magnético e da AMAS. A inclinação do campo magnético varia conforme a latitude, e suas análises permite identificar como as correntes ionosféricas e a atividade solar, que por sua vez influenciam o comportamento geomagnético e às frequências de Schumann (LOVE and CHULLIAT, 2013).

A implementação dessas equações em algoritmos de programação, utilizando dados obtidos de magnetômetros, permite automatizar a análise e o processamento desses dados em grande escala, facilitando a observação e comportamento desses eventos, podendo compreender como a ionosfera é impactada por alterações eletromagnéticas globais, e como isso tem efeitos sobre o IAM (LOVE and CHULLIAT, 2013).

2.3.2 Parâmetros da Ressonância de Schumann

A Transformada Discreta de Fourier (DFT) é aplicada nos dados do magnetômetro para analisar o conteúdo de frequência dos sinais medidos. Ao transformar as leituras do magnetômetro do domínio do tempo para o domínio da frequência, a DFT permite a identificação de frequências características associadas a vários fenômenos magnéticos, como pulsações geomagnéticas, ondas de frequência ELF e perturbações causadas por eventos climáticos espaciais. Essa transformação auxilia na pesquisa ao distinguir variações naturais do campo magnético do ruído gerado por fatores ambientais ou instrumentais. O espectro de frequência obtido por meio da DFT também revela padrões nos dados magnéticos que, de outra forma, seriam difíceis de discernir no domínio do tempo, melhorando assim a detecção de sinais periódicos ou quase periódicos (ALKEN et al., 2021; MATZKA et al., 2021).

A DFT apoia as fases de pré-processamento e remoção de ruído na análise de sinal do magnetômetro isolando bandas de frequência específicas para investigação posterior. Por exemplo, naves espaciais ou magnetômetros terrestres frequentemente encontram interferência de fontes artificiais, como redes elétricas, que se manifestam como sinais de banda estreita em frequências fixas. A transformada auxilia na identificação e no isolamento de tal ruído por meio de técnicas de filtragem, aumentando a confiabilidade das medições geomagnéticas. Além disso, quando combinada com outros métodos, como algoritmos de detecção compressiva ou técnicas de agrupamento, a DFT facilita a separação de sinais sobrepostos, permitindo uma reconstrução mais precisa do campo magnético ambiente sobre a dinâmica da magnetosfera da Terra (MATZKA et al., 2021).

Para identificar as frequências de Schumann (SR) nas componentes X Y e Z, utilizamos o modelo IGRF-13, que considera latitude, longitude e altitude das estações magnéticas (ALKEN et al., 2021), convertendo os dados para as coordenadas geomagnéticas, representadas por H_N (componente norte), H_E (componente leste) e Z (componente vertical). Levando conta as influências da AMAS e EE, aplica-se a DFT, para decompor os sinais complexos em suas componentes espectrais e calcular as frequências de SR, usando a seguinte equação:

$$X_n = \sum_{k=0}^{N-1} x_k e^{-\frac{i2\pi nk}{N}}, \quad k = 0, 1, \dots, N-1 \quad (8)$$

Em que: X_n : Representa a transformada discreta para a frequência n ; x_k : São valores da amostra temporal no ponto k ; e, N : É o número total de amostras obtidas pelas das estações SLZ e SMS. Essa análise permite identificar as frequências características associadas às SR nas três componentes do campo geomagnético, destacando variações influenciadas pelas condições locais.

Após a aplicação do modelo International Geomagnetic Reference Field (IGRF), é possível obter estimativas precisas das componentes do campo geomagnético da Terra em um dado momento. O IGRF oferece uma representação detalhada do campo magnético global, ajustando suas estimativas às variações temporais e espaciais das componentes do campo. Esse modelo permite integrar as coordenadas geográficas e geomagnéticas, fornecendo um panorama abrangente das variações regionais e globais do campo magnético. Com isso, torna-se viável analisar as influências locais, como as observadas na AMAS, e monitorar mudanças

nas frequências de SR e outras oscilações geomagnéticas (ALKEN et al., 2021; MATZKA et al., 2021).

Utilizando este modelo, é possível calcular as intensidades e direções dos vetores magnéticos em diferentes regiões e altitudes. Por meio da equação 9, descreve-se o ângulo de inclinação magnética (θ_{dip}) em relação ao campo geomagnético, onde I representa o ângulo de inclinação magnética local (da estação magnética), que é a inclinação do campo magnético em relação à superfície da Terra. Essa equação é aplicada no contexto de variações geomagnéticas, incluindo os efeitos de tempestades geomagnéticas e perturbações no campo magnético.

$$\theta_{dip} = \arctan\left(\frac{1}{2} \tan \tan I\right) \quad (9)$$

Com o ângulo do dip calculado, podemos aplicar o método de Schumann (1952), refinando os cálculos das frequências de ressonância usando a equação fundamental da SR, para determinam-se as frequências de 7,73 Hz, 14,1 Hz, 20,3 Hz, levando em conta as variações locais do campo magnético. Isso possibilita uma análise mais precisa da interação entre o campo externo e as ondas eletromagnéticas geradas na atmosfera, pela equação.

$$f_n = \frac{c}{2\pi a} \sqrt{n(n+1)} \quad (10)$$

em que: a é o raio da terra, c a velocidade da luz, e o produto dentro da raiz $n(n+1)$, será denominado constante de separação dos polinômios de Legendre, em que prova a forma esférica da cavidade, podendo obter a sucessão de frequências de SR, o termo dentro da raiz será substituído pelos dados observados pelas estações.

A inclinação magnética da Terra, que se refere à variação no ângulo entre o campo geomagnético e a superfície do planeta, pode afetar a saúde humana de maneira sutil e silenciosa, sendo um fator determinante no nosso estudo. Visto que a inclinação varia de acordo com a latitude, ela afeta a exposição da população às frequências geomagnéticas, sendo mais intensas em regiões sobre a AMAS.

No Nordeste, onde a inclinação tende a zero ($I=0$), a população deveria estar menos exposta a variações geomagnéticas extremas, mas enfrenta outras exposições artificiais, produzidas pelas próprias populações. Além disso, há o fator da Estação Equatorial (EE), que, combinados, causam efeitos que se aproximam da faixa da primeira frequência de Schumann (7,73 Hz), o que pode amplificar os impactos de pequenas variações magnéticas sobre a saúde cardiovascular. Em contraste, o Sul, apresentar uma inclinação magnética diferente do NE, deveria também ter menos exposição à SR mas fatores climáticos e a AMAS tornam a região suscetível a distúrbios geomagnéticos, que podem ser fontes para exposição da SR, comparando às duas regiões, podemos notar fatores distintos que levam há mesmo ponto, que uma frequência eletromagnética natural que também afeta o sistema cardiovascular (PISHCHALNIKOV et al., 2019).

2.3.3 Métodos Estatísticos

Para investigar a relação entre as frequências da SR e as taxas de mortalidade por IAM nas regiões Sul (S) e Nordeste (NE) do Brasil, foram aplicados métodos estatísticos descritivos e inferenciais, conforme descrito a seguir:

a) Transformada Discreta de Fourier (TDF): Utilizada para decompor as séries temporais das frequências de SR, identificando picos de ressonância nas frequências geomagnéticas coletadas. A TDF permite uma análise detalhada das componentes de frequência dos dados (OPPENHEIM & SCHAFER, 1999).

b) Análise Exploratória com gráficos Boxplots gerados para comparar a distribuição das frequências de SR e das taxas de IAM, destacando variações e outliers.

Este método gráfico auxilia na visualização das diferenças regionais e temporais dos dados (TUKEY, 1977).

c) Coeficiente de Correlação de Pearson para quantificar a associação linear entre as frequências de SR e as taxas de IAM, utilizou-se o coeficiente de correlação de Pearson, que identifica a força e a direção das associações entre variáveis (BENESTY *et al.*, 2009).

d) Análise de Cluster pelo método de clustering K-means empregado para agrupar os estados brasileiros em três clusters, com base nas características geomagnéticas e nas taxas de IAM, permitindo identificar padrões regionais (MacQueen, 1967).

e) Testes de Significância (teste t) para avaliar a significância estatística das associações, assegurando a robustez das correlações observadas entre às variáveis geomagnéticas e as taxas de IAM (FISHER, 1925).

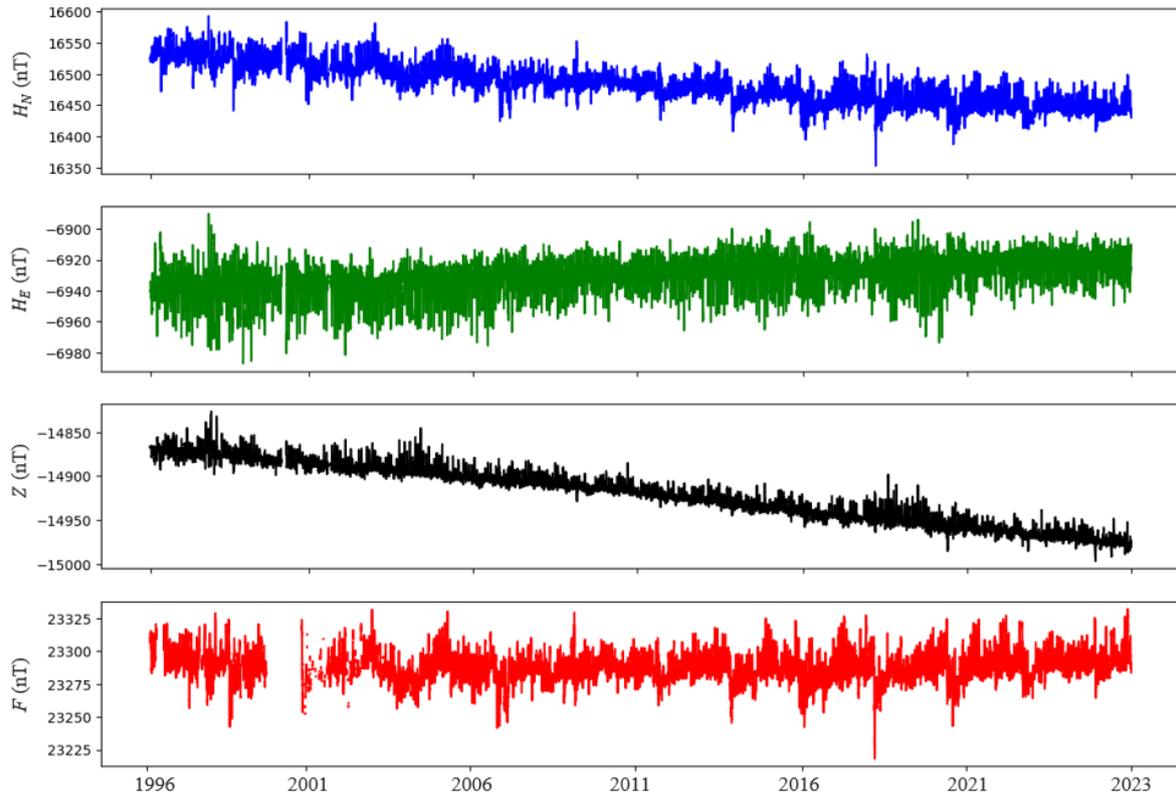
3. RESULTADOS/ DISCUSSÕES

Na Figura 3, estão representadas as principais componentes do campo magnético terrestre (H_N em azul, H_E em verde, Z em preto, e F em vermelho) para as estações de São Luís (SLZ) e São Martinho da Serra (SMS), expressas em nanoTesla (nT). Essas componentes — horizontais (H_N e H_E), vertical (Z) e intensidade total do campo (F) — são determinadas pelas condições geomagnéticas locais e pela declinação e inclinação magnéticas que alinham o norte geográfico ao norte magnético. A análise dessas componentes permite compreender como variações geomagnéticas podem influenciar a saúde humana em regiões com características geomagnéticas distintas, como o NE e o S do Brasil.

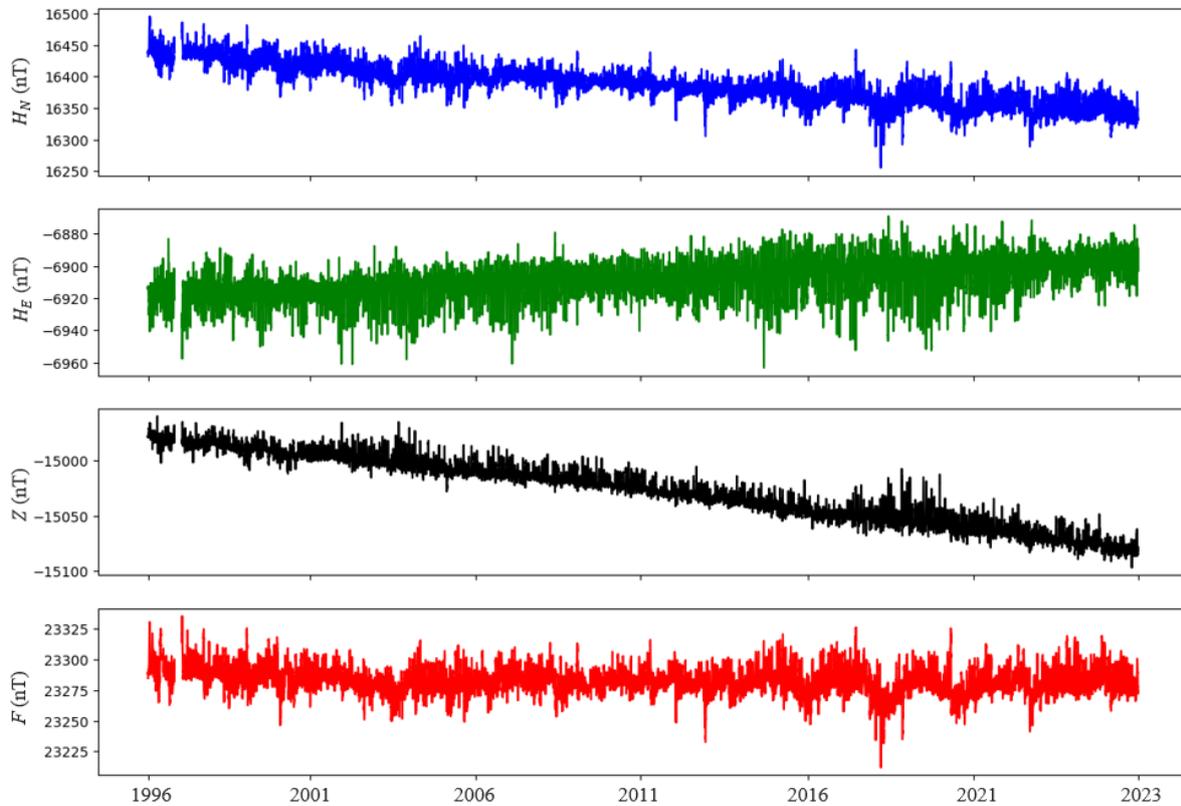
As medições ao longo do tempo identificaram variações nas frequências da SR, que surgem da interação entre descargas atmosféricas e camadas da ionosfera, incluindo D, E, e F. A camada F3, por exemplo, tende a se formar em latitudes mais baixas durante períodos de baixa atividade solar, contribuindo para a formação das frequências SR (CHAPMAN, 1997; Soares *et al.*, 2020). Essas frequências, observadas entre 7,70 e 20,8 Hz, apresentam pequenas variações entre as regiões, especialmente na componente H_N , refletindo as diferenças locais em fatores atmosféricos e geográficos.

A confiabilidade dos dados foi assegurada por meio dos protocolos do INTERMAGNET, que garantiram que as variações observadas pudessem ser atribuídas a fenômenos naturais, como a atividade solar e a dinâmica ionosférica. A Transformada Discreta de Fourier (DFT), associada à segmentação temporal, possibilitou a identificação de picos fundamentais da SR e revelou variações sazonais e diurnas. Esse detalhamento expõe a sensibilidade das SR a condições solares e atmosféricas, sugerindo uma possível correlação com indicadores de saúde, como as taxas de mortalidade por IAM, as quais podem ser influenciadas por flutuações geomagnéticas (PISHCHALNIKOV *et al.*, 2019; CAMPBELL, 2003; MATZKA *et al.*, 2021).

Figura 3 – Componentes do Campo Magnético: H_n (nT) em azul, H_g (nT) em verde, Z(nT) em preto e Intensidade do Campo F(nT) em vermelho, (a) estação SLZ e (b) estação SMS.



(a)



(b)

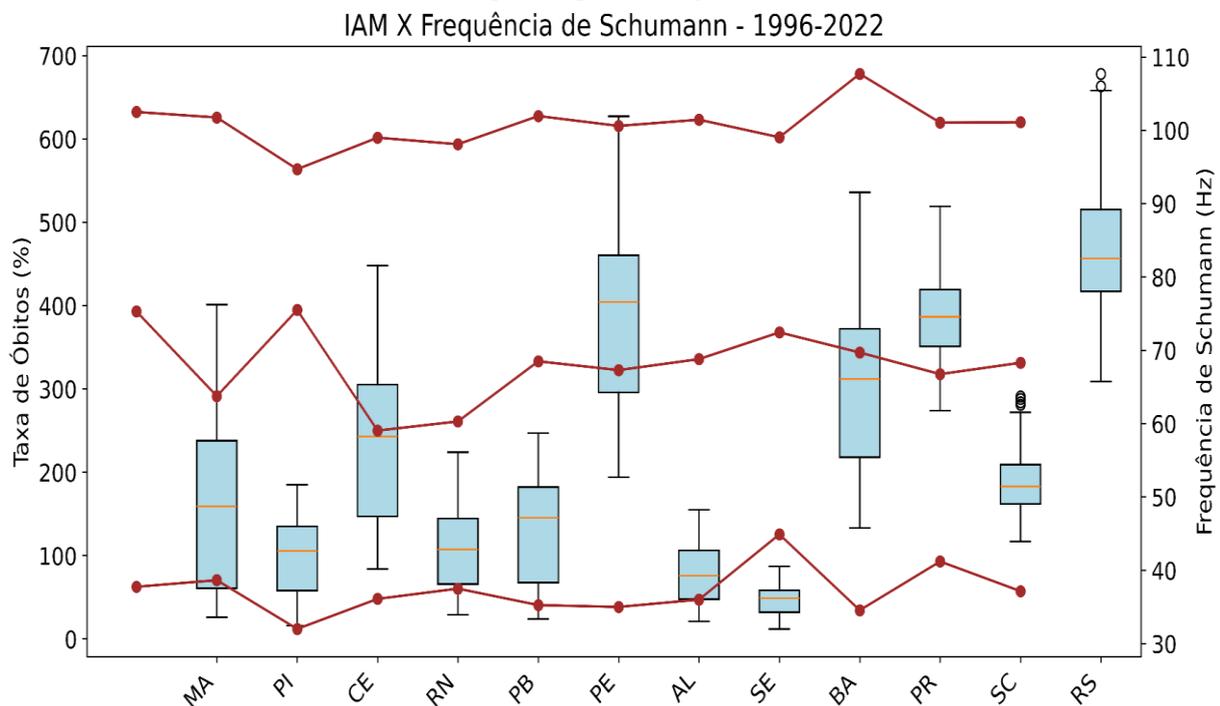
Na Figura 4, os boxplots ilustram a variabilidade da primeira frequência de Schumann (7,73 Hz) nas regiões NE e S, evidenciando uma maior dispersão na Região Sul, o que sugere uma maior suscetibilidade às flutuações geomagnéticas devido à presença da AMAS (ALKEN et al., 2021; MATZKA et al., 2021). Esta variação é reforçada pela dinâmica geomagnética mais intensa do NE, próximo ao equador magnético, onde o acoplamento entre a ionosfera e a atmosfera amplifica as frequências de SR (DENARDINI et al., 2018).

Observa-se também que a Região Sul apresenta uma amplitude interquartil mais elevada nas taxas de mortalidade por IAM e alguns outliers, sugerindo episódios isolados de mortalidade elevada que podem estar associados a condições ambientais extremas. Estes eventos possivelmente refletem a influência conjunta de picos geomagnéticos, ondas de calor e condições atmosféricas adversas, intensificando os efeitos das SR na saúde cardiovascular (VIANNA et al., 2012; Tavares e Santiago, 2002; KOLOSKOV et al., 2022).

No Nordeste, a menor variabilidade nas taxas de IAM e a distribuição mais homogênea das frequências de SR sugerem que as flutuações geomagnéticas exercem um impacto limitado nas taxas de mortalidade por IAM, isso pode ser atribuído à menor exposição da região às influências geomagnéticas extremas encontradas no Sul. Esse padrão regional destaca a importância de considerar as características geográficas e ambientais ao investigar os efeitos das SR na saúde pública.

Esses achados reforçam a hipótese de que as condições geomagnéticas e ambientais podem influenciar a saúde cardiovascular e apontam para a necessidade de estudos adicionais que explorem essas associações em maior detalhe, especialmente considerando o potencial efeito amplificador da AMAS na Região Sul.

Figura 4 – Comparação da variabilidade dos dados entre a ressonância de Schumann e as taxas de óbitos por IAM nos estados que compõem as regiões Nordeste e Sul.



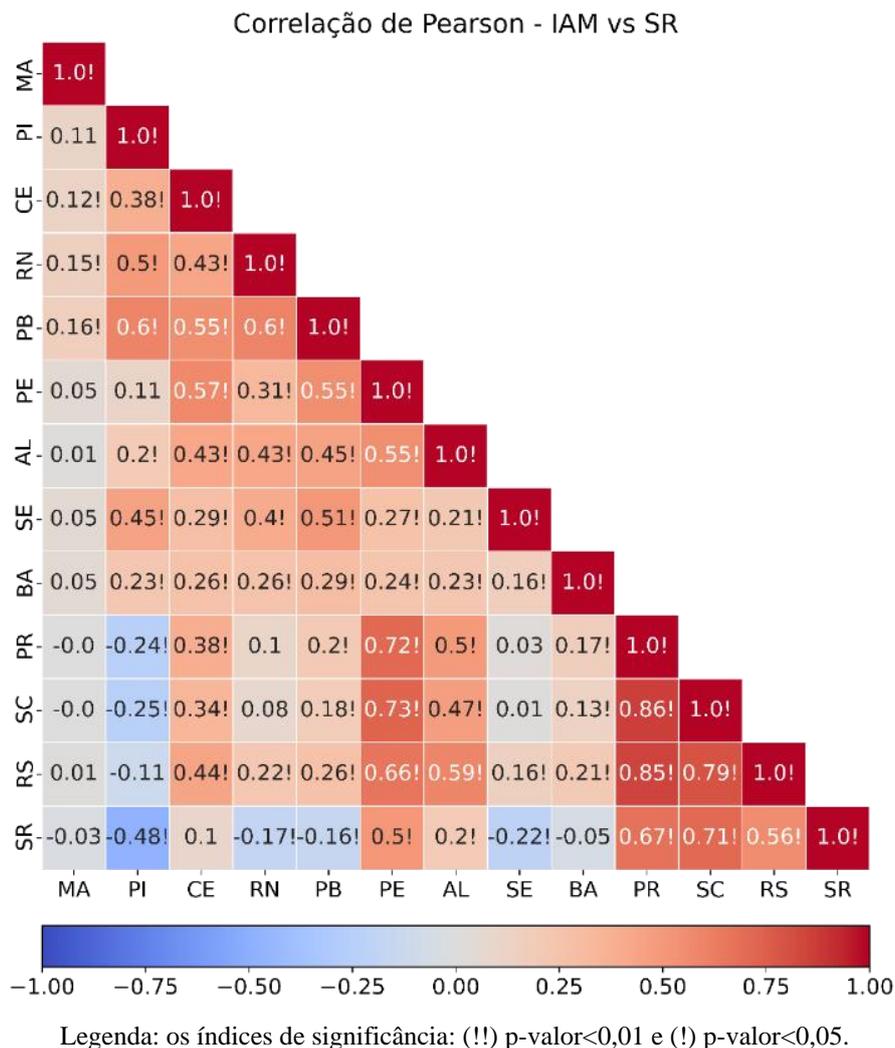
Na Figura 5, o correlograma exibe os coeficientes de correlação de Pearson entre as variações mensais das componentes do campo magnético (H_N , H_E , Z) e as taxas de mortalidade por IAM para os estados das regiões Nordeste e Sul, ao longo do período de 1996 a 2022. As correlações foram calculadas para identificar possíveis associações entre as frequências da SR e as taxas de IAM, com níveis de significância indicados por (!) para $p < 0,05$ e (!!) para $p < 0,01$.

No Sul do Brasil, observa-se uma correlação significativa e predominantemente positiva, indicando que aumentos nas variações geomagnéticas estão associados a aumentos nas taxas de IAM. Esse padrão sugere que a influência geomagnética, possivelmente amplificada pela proximidade da AMAS, pode estar intensificando os efeitos das SR e afetando a saúde cardiovascular nessas regiões (MATZKA *et al.*, 2021).

Por outro lado, no Nordeste, apenas o estado do Piauí apresentou uma correlação significativa, possivelmente devido a fatores regionais específicos, como a menor intensidade geomagnética e condições atmosféricas distintas que limitam o impacto geomagnético sobre a mortalidade cardiovascular.

Essas diferenças entre NE e S reforçam a hipótese de que variações geomagnéticas, moduladas por fatores locais e ambientais, podem ter efeitos diferenciados sobre a saúde, com a Região Sul demonstrando uma maior sensibilidade às flutuações do campo magnético.

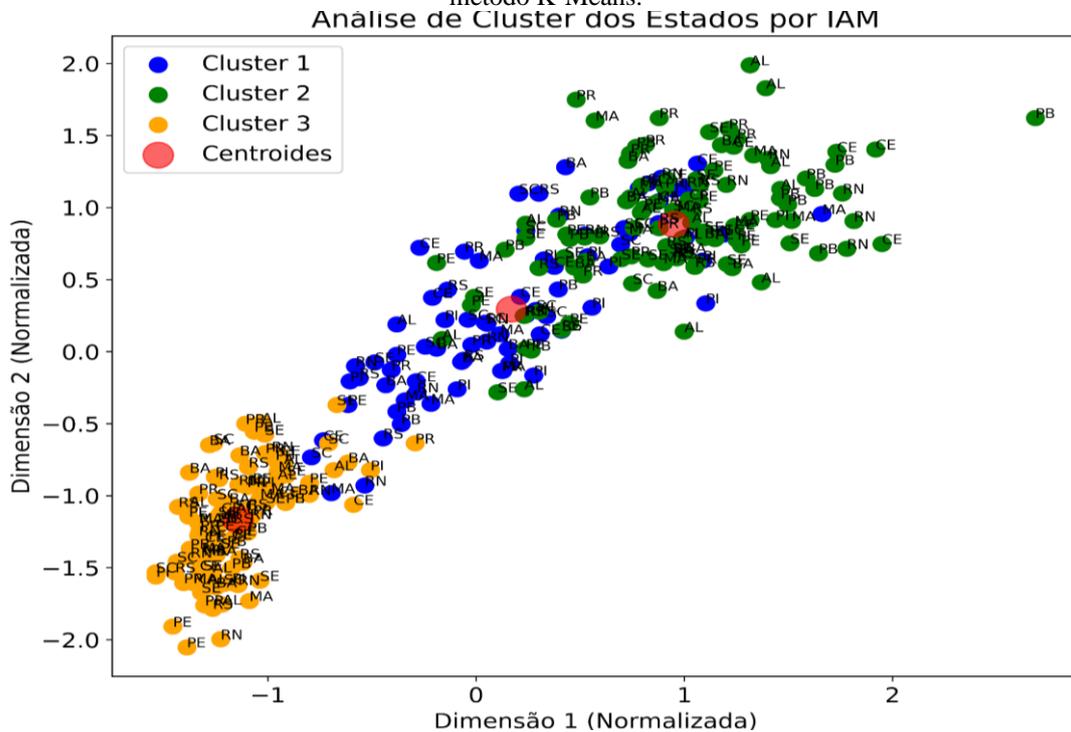
Figura 5 – Os coeficientes de correlação de Pearson foram calculados para avaliar a relação entre as médias mensais de 1996 a 2022 entre a frequência da Ressonância de Schumann em relação às taxas de mortalidade por IAM para cada estado na região Nordeste e Sul.



O Cluster 1 é composto pelos estados do Maranhão (MA), Piauí (PI), Ceará (CE) e Rio Grande do Norte (RN), que apresentam padrões mais homogêneos nas taxas de IAM, sugerindo uma influência comum de fatores regionais, possivelmente associados ao clima semiárido e condições socioeconômicas semelhantes. O Cluster 2 inclui os estados da Paraíba (PB), Pernambuco (PE), Alagoas (AL), Sergipe (SE) e Bahia (BA), regiões que, embora geograficamente próximas, mostram uma variação diferenciada nas taxas de IAM, possivelmente devido a fatores como urbanização e densidade populacional. O Cluster 3 agrupa os estados do Paraná (PR), Santa Catarina (SC) e Rio Grande do Sul (RS), localizados na região Sul. As diferenças entre os clusters indicam que os estados em grupos distintos podem ser impactados de maneira desigual, pela posição e rotação da Terra entre o período analisado, também a exposição das regiões entre o dia e noite, pelos ciclos solares (23 e 24), com as fases de atividade máxima e mínima. (MURTAGH, 2017; SKIADAS and bozeman, 2019).

Por fim, a metodologia aplicada neste estudo mostrou-se eficaz para examinar a dinâmica das frequências de SR e suas interações com fatores ambientais e de saúde humana. A abordagem adotada permitiu aprofundar o conhecimento sobre o ambiente eletromagnético da Terra e sua influência em processos atmosféricos que afetam diretamente a saúde cardiovascular, como observado nas taxas de mortalidade por IAM. A análise revelou correlações importantes, particularmente na região Sul do Brasil, sugerindo que a RS, associada a variações geomagnéticas, pode ter um impacto significativo na saúde pública. Esses resultados corroboram estudos anteriores sobre a relevância dos campos eletromagnéticos naturais no contexto Biometeorológico, ampliando a compreensão do tema (CHAPMAN, 1997; CAMPBELL, 2003).

Figura 6. Análise de cluster das taxas de Infarto Agudo do Miocárdio (IAM) nos estados brasileiros usando o método K-Means.



Legenda: Os pontos representam os estados normalizados em duas dimensões, agrupados em três clusters distintos, identificados pelas cores azul, verde e laranja. Os centroides dos clusters estão indicados por pontos vermelhos. Os estados pertencentes ao Cluster 1 (azul) são: Maranhão (MA), Piauí (PI) e Ceará (CE); ao Cluster 2 (verde) pertencem: Rio Grande do Norte (RN), Paraíba (PB), Pernambuco (PE), Alagoas (AL), e Sergipe (SE); e ao Cluster 3 (laranja) pertencem: Bahia (BA), Paraná (PR), Santa Catarina (SC) e Rio Grande do Sul (RS).

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo identificou uma relação significativa entre as frequências das SR e as taxas de mortalidade por IAM nas regiões Sul e Nordeste do Brasil. Observou-se que as oscilações nas frequências de SR, que refletem alterações na atividade eletromagnética global, apresentam uma relação direta com aumentos nas taxas de IAM em ambas as regiões, sendo o impacto mais acentuado no Sul do país. No entanto, ainda existem poucos estudos e artigos que exploram essa relação específica, especialmente utilizando dados brasileiros, o que ressalta a necessidade de mais pesquisas sobre os efeitos das variações eletromagnéticas na saúde pública no Brasil.

A análise dos dados geomagnéticos das estações de SLZ e SMS, durante o período de 1996 a 2022, demonstrou que, enquanto as correlações nas regiões Nordeste foram inconsistentes, a região Sul apresentou uma correlação estatisticamente significativa (p -valor $< 0,05$) em todos os estados analisados. Esse achado sugere que a proximidade com a AMAS, onde o campo magnético da Terra é mais fraco, pode amplificar os efeitos das frequências de SR, tornando seus impactos mais pronunciados na saúde cardiovascular da população local.

Além disso, a análise de cluster, realizada com base nas taxas de IAM ao longo do período estudado, reforçou essas conclusões ao agrupar os estados de forma distinta, revelando padrões regionais de mortalidade por IAM. Os estados do Nordeste, como Maranhão (MA), Piauí (PI) e Ceará (CE), formaram um cluster com características semelhantes (Cluster 1), enquanto estados do Sul, como Paraná (PR), Santa Catarina (SC) e Rio Grande do Sul (RS), agruparam-se em um cluster separado (Cluster 3), indicando uma dinâmica própria das regiões. A presença de um terceiro cluster (Cluster 2), abrangendo estados do Nordeste e Centro-Oeste, como Rio Grande do Norte (RN), Paraíba (PB) e Pernambuco (PE), sugere que, embora existam semelhanças dentro das regiões, fatores ambientais e geofísicos podem desempenhar um papel diferencial na distribuição das taxas de IAM.

A diferença observada entre as regiões pode ser explicada pelas características geofísicas e atmosféricas específicas do Sul do Brasil, que, associadas aos efeitos geomagnéticos da AMAS, favorecem uma maior ressonância das frequências Schumann e, conseqüentemente, uma maior influência nos processos biológicos e de saúde pública. Este estudo, portanto, não apenas reforça a importância dos campos eletromagnéticos naturais como um fator a ser considerado na saúde humana, mas também sublinha a necessidade de uma análise geograficamente contextualizada ao investigar esses efeitos.

A combinação de técnicas de análise estatística avançadas, como a Transformada Discreta de Fourier, junto com a aplicação de métodos de agrupamento (K-Means), revelou-se eficaz na caracterização dos impactos das frequências SR e sua correlação com os eventos de saúde, oferecendo uma metodologia robusta para futuros estudos. O agrupamento dos estados em clusters distintos oferece uma nova perspectiva sobre como as características geográficas, atmosféricas e geomagnéticas afetam as taxas de IAM abrindo novos caminhos para a pesquisa em biometeorologia e saúde pública.

Em suma, este estudo estabelece uma base sólida para futuras investigações que explorem o impacto dos campos eletromagnéticos naturais e padrões regionais sobre a saúde humana, com implicações diretas para o desenvolvimento de intervenções de saúde pública, especialmente em regiões geograficamente vulneráveis. A partir dos resultados obtidos, é importante que a pesquisa continue a explorar a relação entre as frequências de SR e outros fenômenos de saúde, com foco na integração desses achados em estratégias mais amplas de mitigação e prevenção na área de saúde pública.

5. REFERÊNCIAS

ALKEN, Patrick et al. International geomagnetic reference field: The thirteenth generation. **Earth, Planets and Space**, v. 73, p. 1-25, 2021. <https://doi.org/10.1186/s40623-020-01288-x>.

APLIN, K. L.; HARRISON, R. G.; RYCROFT, M. J. Investigating Earth's Atmospheric Electricity: a Role Model for Planetary Studies. **Space Science Reviews**, v. 137, n. 1-4, p. 11–27, 2008. doi:10.1007/s11214-008-9372-x.

BALSER, M.; WAGNER, C. A. Diurnal power variations of the Earth-ionosphere cavity modes and their relationship to worldwide thunderstorm activity. **Journal of Geophysical Research**, v. 67, n. 2, p. 619–625, 1962. doi:10.1029/JZ067i002p00619.

BALSER, M.; WAGNER, C. A. On frequency variations of the Earth-ionosphere cavity modes. **Journal of Geophysical Research**, v. 67, n. 10, p. 4081–4083, 1962. doi:10.1029/jz067i010p04081.

BENESTY, J.; CHEN, J.; HUANG, Y.; COHEN, I. Pearson Correlation Coefficient. **In: Noise reduction in speech processing**. Springer, 2009. p. 1-4.

BORUCKI, W. J.; WHITTEN, R. C. Influence of high abundances of aerosols on the electrical conductivity of the Titan atmosphere. **Planetary and Space Science**, v. 56, n. 1, p. 19–26, 2008. doi:10.1016/j.pss.2007.03.013.

BÖSINGER, T., SHALIMOV, S. L. On ULF Signatures of Lightning Discharges, **Space Science Reviews**, v.137, n.1-4, p. 521-532, 2008. doi:10.1007/s11214-008-9333-4

CAMPBELL, Wallace Hall. **Introduction to geomagnetic fields**. London: Cambridge University Press. 2003.

CHAPMAN, G. A. **Encyclopedia of Planetary Science**. Encyclopedia of Earth Science. 1997.

DATASUS. Ministério da Saúde (Brasil). Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde (DATASUS). **Sistema de Informações sobre Mortalidade (SIM)**. Disponível em: <http://www.datasus.gov.br>. Acesso em: jan. 2024.

DENARDINI, C. M. et al. The Embrace Magnetometer Network for South America: Network Description and Its Qualification. **Radio Science**, v. 53, n. 3, p. 288–302, 2018. doi:10.1002/2017rs006477.

DUDKIN, D. et al. Electric field signatures of the IAR and Schumann resonance in the upper ionosphere detected by Chibis-M microsatellite. **Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics**, v. 117, p. 81-87, 2014 doi: 10.1016/j.jastp.2014.05.013.

EMBRACE MAGNET, 2023. **Rede Embrace de Magnetômetros**. Disponível em: <https://www2.inpe.br/climaespacial/portal/a-rede-embrace-de-magnetometros-magnet-esta-figurando-como-a-capa-do-radio-science-journal-em-marco-deste-ano/>. Acesso em: jan. 2024.

FERREIRA, Letícia de Castro Martins et al. Mortality Due to Acute Myocardial Infarction in Brazil from 1996 to 2016: 21 Years of Disparities in Brazilian Regions. **Arquivos brasileiros de cardiologia**, v. 115, p. 849-859, 2020. doi:10.36660/abc.20190438.

FISHER, R. A. **Statistical Methods for Research Workers**. Edinburgh: Oliver and Boyd. 1925.

GJERLOEV, J. W. The SuperMAG data processing technique. **Journal of Geophysical Research: Space Physics**, v. 117, n. A9, 2012. doi:10.1029/2012ja017683.

GONZALEZ, W. D. et al. What is a geomagnetic storm?. **Journal of Geophysical Research**, v. 99, n. A4, p. 5771, 1994. doi:10.1029/93ja02867.

HUANG, Yu-Shu et al. The subjective and objective improvement of non-invasive treatment of Schumann resonance in insomnia—a randomized and double-blinded study. **Nature and Science of Sleep**, p. 1113-1124, 2022.

INTERMAGNET, 2024. **International Real-time Magnetic Observatory Network**. Disponível em: <https://intermagnet.org/>. Acesso em: abr. 2024.

KOLOS KOV, O. V. et al. Electromagnetic seasons in Schumann resonance records. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 127, n. 17, p. e2022JD036582, 2022.

LAST, J. M. **A Dictionary of Epidemiology** (4th ed.). Oxford University Press. Este livro fornece definições e metodologias amplamente aceitas em epidemiologia, incluindo o cálculo de taxas de mortalidade e outros indicadores de saúde, 2001.

LOVE, J. J.; CHULLIAT, A. An International Network of Magnetic Observatories. **Eos, Transactions American Geophysical Union**, v. 94, n. 42, p. 373–374, 2013. doi:10.1002/2013eo420001.

MACQUEEN, J. Some methods for classification and analysis of multivariate observations. In: **Proceedings of the fifth Berkeley symposium on mathematical statistics and probability**. Berkeley: University of California Press, v. 1, p. 281-297, 1967.

MARCILIO, Izabel; HABERMANN, Mateus; GOUVEIA, Nelson. Campos magnéticos de frequência extremamente baixa e efeitos na saúde: revisão da literatura. **Revista Brasileira de Epidemiologia**, v. 12, p. 105-123, 2009.

MARINHO, P. E.; FORTANA, L. R.; MATSUURA, O. T.; HARTMANN, G. A.; FRANCO, D. R.; PINHEIRO, K. J.; YOKOYAMA, E.; NETO, C. F. P.; SOUSA, M. A. **Observatório Magnético de Vassouras: 100 anos de pesquisa e serviços prestados à Ciências**. 1.ed. Rio de Janeiro: Ampersand Comunicação Gráfica. 2015. Disponível em: https://servicos.on.br/livro_web/ON_100.html. Acesso em: 10 setembro 2024.

MATZKA, J. et al. The geomagnetic Kp index and derived indices of geomagnetic activity. **Space Weather**, v. 19, n. 5, p. e2020SW002641, 2021. <https://doi.org/10.1029/2020SW002641>.

MURTAGH, Fionn. **Data science foundations: Geometry and topology of complex hierarchic systems and big data analytics**. Chapman and Hall/CRC. 2017.

OPPENHEIM, A. V.; SCHAFER, R. W. **Discrete-Time Signal Processing**. Prentice-Hall. 1999.

PALMER, S. J.; RYCROFT, M. J.; CERMAK, M. Solar and geomagnetic activity, extremely low frequency magnetic and electric fields and human health at the Earth's surface. **Surveys in Geophysics**, v. 27, n. 5, p. 557–595, 2006. doi:10.1007/s10712-006-9010-7.

PISHCHALNIKOV, Roman Y. et al. Cardiovascular response as a marker of environmental stress caused by variations in geomagnetic field and local weather. **Biomedical Signal Processing and Control**, v. 51, p. 401-410, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.bspc.2019.03.005>.

PIZZUTI, Andrea; BENNETT, Alec; FÜLLEKRUG, Martin. Long-term observations of Schumann resonances at Portishead (UK). **Atmosphere**, v. 13, n. 1, p. 38, 2021. doi:10.3390/atmos13010038.

PRÁCSER, Ernő; BOZÓKI, Tamás. On the reliability of the inversion aimed to reconstruct global lightning activity based on Schumann resonance measurements. **Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics**, v. 235, p. 105892, 2022.

PRICE, C.; WILLIAMS, E.; ELHALEL, G.; SENTMAN, D. Natural ELF fields in the atmosphere and in living organisms. **International Journal of Biometeorology**, 2020. doi:10.1007/s00484-020-01864-6.

SÁTORI, G. et al. How Do Schumann Resonance Frequency Changes in the Vertical Electric Field Component Reflect Global Lightning Dynamics at Different Time Scales? **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 129, n. 19, p. e2024JD041455, 2024.

SCHUBERT, Gerald. **Treatise on geophysics**. Elsevier. 2015.

SCHUMANN, W. O. Über die strahlungslosen Eigenschwingungen einer leitenden Kugel, die von einer Luftschicht und einer Ionosphärenhülle umgeben ist. **Zeitschrift Für Naturforschung A**, v. 7, n. 2, 1952. doi:10.1515/zna-1952-0202.

SCHUMANN, W. O.; KÖNIG, H. Über die Beobachtung von “atmospherics” bei geringsten Frequenzen. **Naturwissenschaften**, v. 41, p. 183–184, 1954. doi:10.1007/BF00638174.

SKIADAS, Christos H.; BOZEMAN, James R. (Ed.). **Data analysis and applications 1: Clustering and regression, modeling-estimating, forecasting and data mining**. John Wiley & Sons. 2019.

SOARES, G. et al. Evolution of the geomagnetic daily variation at Tatuoca, Brazil, from 1957 to 2019: A transition from Sq to EEJ. **Journal of Geophysical Research: Space Physics**, v. 125, n. 9, p. e2020JA028109, 2020.

SUPERMAG, 2023. **SuperMAG Database**. Disponível em: <https://supermag.jhuapl.edu/>. Acesso em: jan. 2024.

SURKOV, V. V. et al. Penetration of Schumann resonances into the upper ionosphere. **Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics**, v. 97, p. 65-74, 2013. doi:10.1016/j.jastp.2013.02.015.

TAVARES, Mario; SANTIAGO, M. A. M. Eletricidade atmosférica e fenômenos correlatos. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 24, p. 408-414, 2002.

TUKEY, J. W. **Exploratory Data Analysis**. Addison-Wesley, 1977.

VIANNA, João Jackson Bezerra; CEDARO, José Juliano; OTT, Ari Miguel Teixeira. Aspectos psicológicos na utilização de bebidas alcoólicas entre os Karitiana. **Psicologia & Sociedade**, v. 24, p. 94-103, 2012.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **Basic Epidemiology**. 2nd ed. WHO Press. 2004. Disponível em: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/43541>.

YAMAZAKI, Y.; MAUTE, A. Sq and EEJ—A Review on the Daily Variation of the Geomagnetic Field Caused by Ionospheric Dynamo Currents. **Space Science Reviews**, v. 206, p. 299–405, 2017. doi:10.1007/s11214-016-0282-z.



O conteúdo deste trabalho pode ser usado sob os termos da licença Creative Commons Attribution 4.0. Qualquer outra distribuição deste trabalho deve manter a atribuição ao(s) autor(es) e o título do trabalho, citação da revista e DOI.