

Diretrizes para Aquisição e Processamento de Dados Geofísicos Magnetotelúricos: O Caso do Fragmento Cratônico São Luís/Ma

*Guidelines for Magnetotelluric Geophysical data Acquisition and Processing:
The Case of the São Luís Cratonic Fragment*

Elenilton Bezerra Uchoa¹ , Christiano Magini² , Raimundo Mariano Gomes
Castelo Branco³ , Nilton Cesar Vieira Silva³  & Fabiano Mota da Silva³ 

¹Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia, Sobral, CE, Brasil

²Universidade Federal do Ceará, Departamento de Geologia, Fortaleza, CE, Brasil

³Universidade Federal do Ceará, Departamento de Geologia, LGPSR, Fortaleza, CE, Brasil

E-mails: elenilton.uchoa@ifce.edu.br; magini2005@hotmail.com; mariano@ufc.br; niltoncvcs@gmail.com;

fabianogeologia@yahoo.com.br

Resumo

A partir da década de 1950 o método magnetotelúrico (MT) tem sido amplamente utilizado em prospecções minerais e petrolíferas (bacias sedimentares), regiões cratônicas e reconhecimento de descontinuidades geológicas de porte crustal. O método geofísico MT consiste em uma técnica passiva que visa investigar as características geoelétricas do subsolo através da interação entre as correntes telúricas e os materiais de subsuperfície. O objetivo do trabalho é exibir um guia de uma campanha MT através da aquisição de 15 estações MT em uma área que abrange o fragmento cratônico São Luís/MA com o intuito da divulgação científica e formação de equipes especializadas. O método de trabalho engloba as seguintes etapas com base nos princípios do método MT: instrumentação MT, coleta do dado, processamento dos dados e produtos de saída (modelo geofísico e pseudoseções). Foram adquiridas 15 estações MT com uma equidistância de 12 km e um comprimento de perfil NNW-SSE de 180 km. Todas as frequências de cada sondagem MT foram submetidas ao filtro Notch FIR para subtração da contribuição da rede elétrica. Os 15 tensores de impedâncias calculados são visualizados em resistividade aparente (ρ) e fase (Φ). Os valores de resistividade tiveram uma variação de 0,027 (MT-08) a 10.530 (MT-12) ohm-m. Para um prognóstico das características geoelétricas de subsuperfície foram gerados três produtos de saída: modelo geofísico inicial, pseudoseções modo TE e TM. O presente trabalho apresenta um guia elucidativo para aquisição de dados geofísicos magnetotelúricos no nordeste do Brasil, com o propósito de contribuir com a formação de novas equipes em levantamentos MT servindo como referência para estudantes e/ou profissionais das geociências na iniciação ao método MT.

Palavras-chave: Magnetotelúrico; Cráton São Luís; Maranhão

Abstract

Since the 1950s, the magnetotellurics method (MT) has been widely used in mineral and oil prospecting (sedimentary basins), cratonic regions and recognitions of crustal-scale geological discontinuities. MT geophysical method consists of a passive technique that aims to investigate geoelectric characteristics of subsoil through the interaction between telluric currents and subsurface materials. The objective of the work is show a guide for an MT campaign through the acquisition of 15 MT stations in an area where it covers the São Luís cratonic fragment with the purpose of scientific dissemination and formation of specialized teams. The working method comprises the following steps based on the principles of MT method: MT instrumentation, data acquisition, data processing, and geophysical products (forward modeling and pseudo-sections). 15 MT stations were acquired with an equidistance of 12 km and an NNW-SSE profile length of 180 km. All frequencies for each MT sounding were subjected to the Notch FIR filter to subtract the contribution from the powerline. The 15 calculated impedance tensors are displayed in apparent resistivity (ρ) and phase (Φ). The resistivity values varied from 0.027 (MT-08) to 10.530 (MT-12) ohm-m. For the prognosis of the subsurface geoelectric characteristics, three geophysical products were created: initial geophysical model, TE and TM mode pseudo-sections. The manuscript presented an explanatory guide for the acquisition of magnetotellurics geophysical data in northeastern Brazil, with the purpose of contributing to the formation of new teams in MT surveys serving as a reference for students and/or professionals from geosciences in the initiation to MT method.

Keywords: Magnetotellurics; São Luís Craton; Maranhão

1 Introdução

O método magnetotelúrico (MT), englobado nos métodos geofísicos eletromagnéticos, utiliza-se das variações naturais dos campos elétricos e magnéticos da terra com o propósito de obter estimativas das resistividades/condutividades a partir da determinação de impedâncias associadas ao meio geológico de subsuperfície (Tikhonov, 1950; Cagniard, 1953).

O campo eletromagnético que é usado para gerar o dado MT vem da magnetosfera terrestre, vento solar, cargas presentes na ionosfera e fenômenos atmosféricos. Este campo induz a formação de correntes telúricas que se propagam no interior da terra e retornam para superfície na forma de campos eletromagnéticos secundários que podem ser captados através de sensores que detectam o dado MT.

O método MT pode ser empregado em vários ramos, dentre eles: petróleo, prospecção mineral, água subterrânea, investigação de bacias sedimentares, regiões cratônicas

(área de estudo), identificação de descontinuidades geológicas, geotectônica etc. Seu uso vem aumentando consideravelmente com o passar dos anos (Santos, 2012; Borah *et al.*, 2015; Daly *et al.*, 2018).

O presente trabalho tem por objetivo apresentar de forma didática as etapas de um levantamento realizado na região nordeste do Brasil, no estado do Maranhão, região do fragmento cratônico São Luís. O estudo de caso pretende contribuir com o entendimento do método MT, indicando os cuidados durante a aquisição, processamento de dados e identificação/remoção de ruídos antropogênicos, análises das funções transferências e apresentação de produtos de saída como: modelo geofísico inicial e pseudoseções dos modos TE (*Transversal Electric*) e TM (*Transversal Magnetic*), com o intuito de divulgar e formar equipes especializadas em levantamentos MT. Assim, Foi realizado um perfil geofísico de direção NNW-SSE de aproximadamente 180 km de comprimento, no qual foram adquiridas 15 estações denominadas de MT-01 a MT-15 (Figura 1).

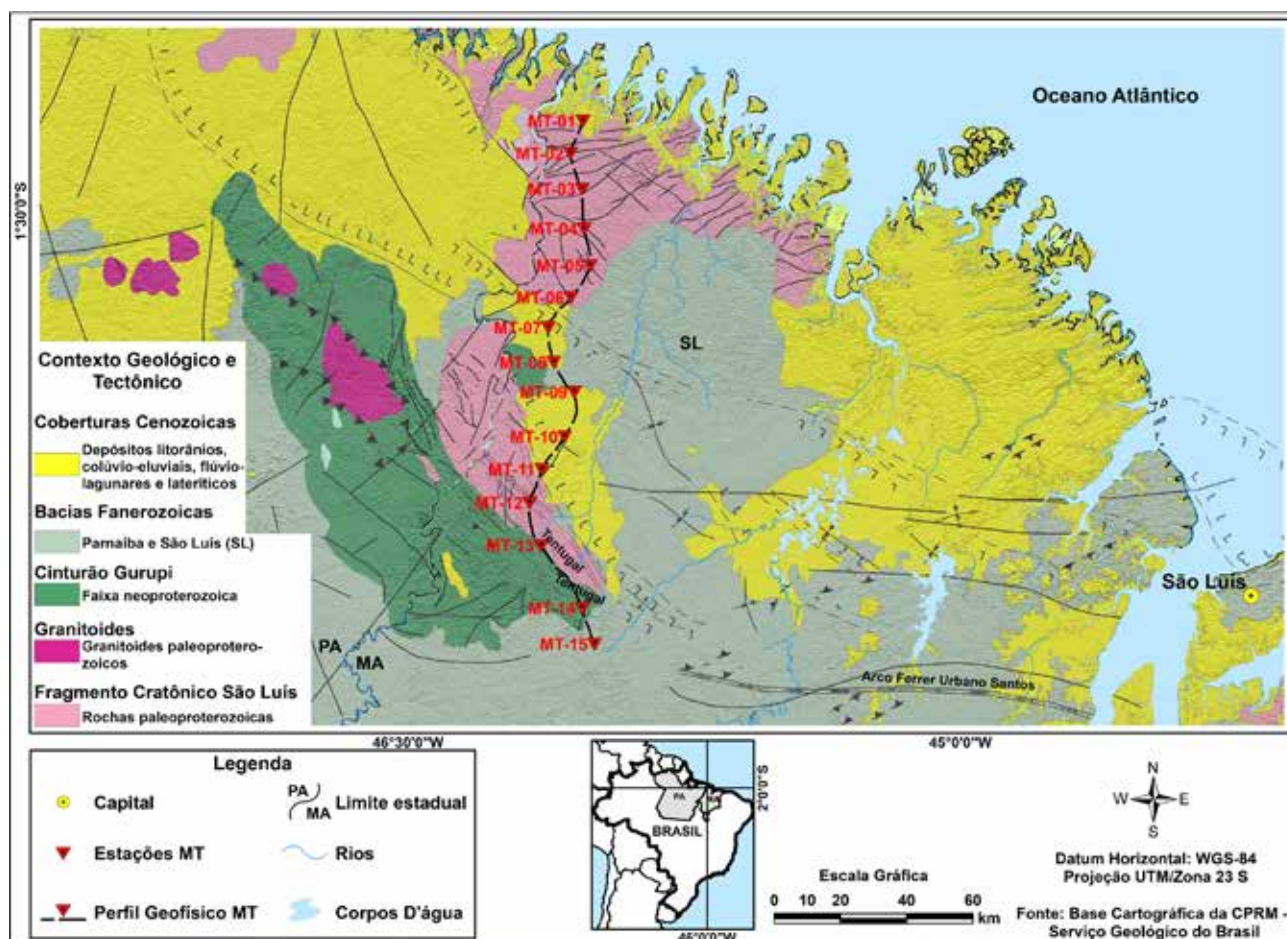


Figura 1 Mapa geológico regional exibindo a localização do perfil com as estações MT e as unidades geotectônicas da área no extremo NW do Maranhão. Fonte: (CPRM, 2012).

2 Metodologia

2.1 Etapas do Método Magnetotelúrico

O método empregado no presente trabalho, baseado nos princípios magnetotelúricos, tem o seu desenvolvimento conforme as seguintes etapas (Figura 2): instrumentação

MT, coleta do dado, processamento dos ruídos, cálculo dos tensores de impedâncias e produtos de saída.

A instrumentação MT aqui utilizada, refere-se a todos os equipamentos necessários em uma campanha MT, seja em campo na aquisição do dado MT, ou no laboratório, onde são necessários *hardwares* e *softwares* adequados para o tratamento, transformação e saída dos dados.

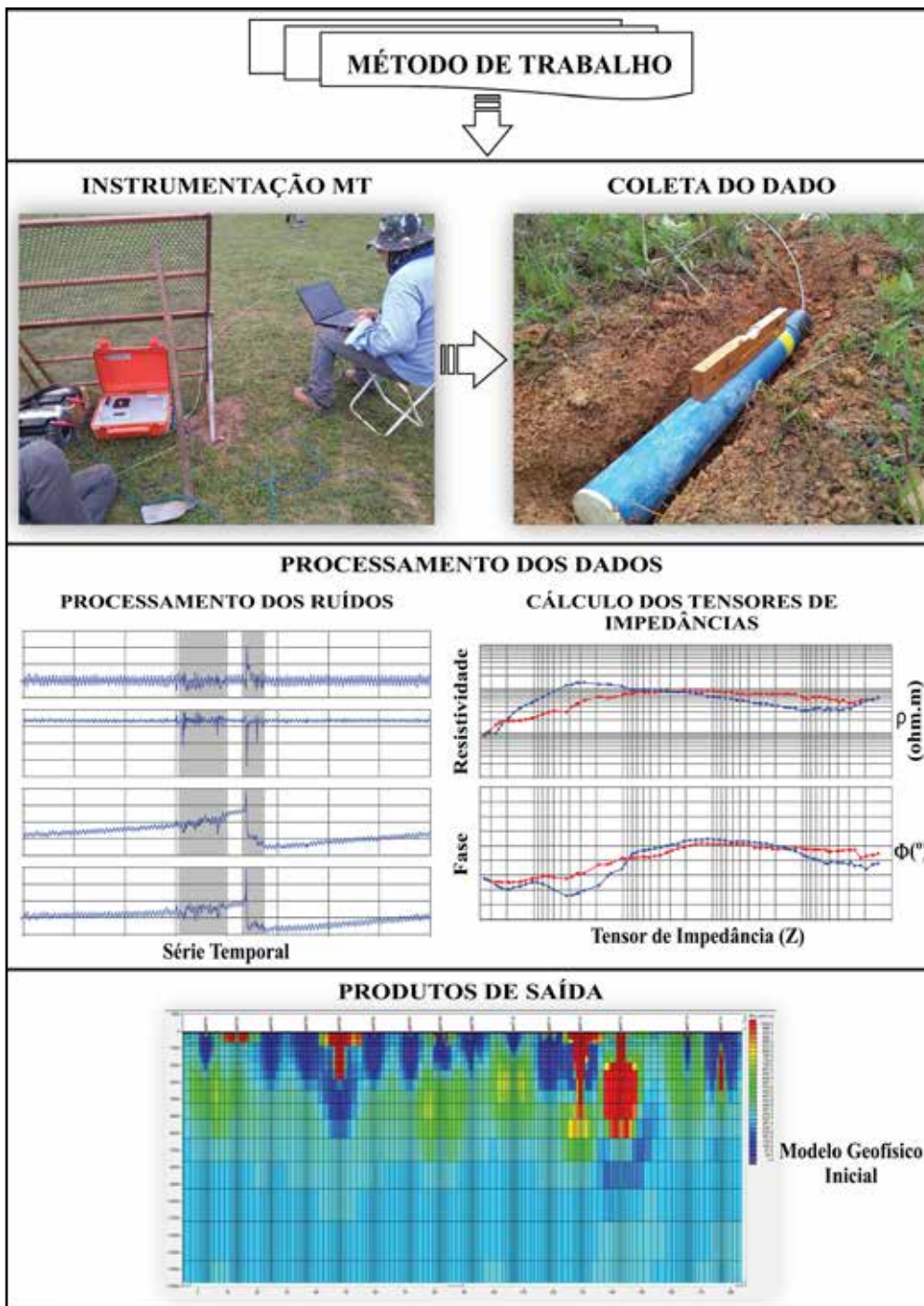


Figura 2 Fluxograma indicando as etapas de aquisição e processamento de dados no Método Magnetotelúrico.

A coleta do dado é realizada *in situ* e requer uma série de cuidados na montagem dos equipamentos, além da escolha do melhor lugar para montar o arranjo MT, visando um acréscimo na qualidade de aquisição do dado, na qual será explicitado mais adiante.

O processamento dos dados MT é subdividido em duas etapas, o pré-processamento dos ruídos, através da aplicação de filtros nas séries temporais adquiridas em campo, e o cálculo dos tensores de impedâncias, onde são utilizados diversos parâmetros para transformar as séries temporais (domínio do tempo) em tensores de impedância (domínio da frequência).

A última etapa do método de trabalho consiste na obtenção de produtos geofísicos de saída que podem ser utilizados para reconhecimento do subsolo de pequenas e grandes áreas presentes na crosta terrestre. Exemplos de alguns dados de saída **são**: modelo geofísico inicial (*forward modeling*), pseudoseções geoeletricas, inversões 2D e 3D, etc.

3 Resultados e Discussões

3.1 Instrumentação MT

Os resultados exibidos e discutidos nesta seção referem-se a descrição de uma campanha MT realizada no Maranhão, nordeste do Brasil, caracterizado por uma região cratônica (Fragmento Cratônico São Luís), faixas móveis Neoproterozoicas (Cinturão Gurupi), bacias sedimentares Fanerozoicas (São Luís e Parnaíba) e coberturas cenozoicas (Figura 1).

Os equipamentos utilizados neste levantamento MT são divididos em instrumentação de campo e laboratório. A instrumentação de campo consiste de: uma central *ADU-07e*, duas bobinas de indução para medição das variações da intensidade do campo magnético (Hx e Hy), quatro eletrodos não polarizados a base de PbCl para medição das componentes do campo elétrico (Ex e Ey), um eletrodo não polarizado para o aterramento e duas baterias automotivas de 60 Ah para alimentar a central *ADU-07e*. Para o laboratório é necessário um computador do tipo *workstation* com *softwares* para tratamentos de dados MT, ex: TSPlotter (para manipulação das séries temporais) e ProcMT (para cálculo das funções de transferências – tensores de impedâncias).

O principal instrumento em um levantamento MT é o Sistema de Aquisição de Dados Magnetotelúricos (SADMT), onde encontra-se toda a programação eletrônica para este tipo de coleta (Chave & Jones, 2012). Existem modelos de SADMTs para serem utilizados em terra ou

mar (Vozoff, 1991). O modelo de SADMT utilizado neste trabalho foi o *ADU07e* que coleta dados MT no continente sob determinadas frequências de amostragem.

A Fig. 3 mostra os equipamentos de uma das estações adquiridas no presente trabalho, segundo o arranjo proposto por Simpson & Bahr (2005).

3.2 Coleta do Dado

A coleta das 15 estações MT ocorreu em maio de 2018 no período chuvoso e deu-se de NNW para SSE, entre os municípios de Carutapera (estação MT-01) à Santa Luzia do Paruá (Estação MT-15). A equidistância entre estações foi de aproximadamente 12 km, pois o levantamento realizado possui um objetivo regional. Para campanhas MT com áreas menores sugere-se o uso de equidistâncias menores para um melhor detalhamento da área analisada.

A instalação de uma estação MT em campo deve seguir os seguintes critérios: deve ser escolhida uma região com vegetação de baixo porte e área com raio mínimo de 50 m, os eletrodos de PbCl devem ser orientados a partir do norte magnético, colocados em contato com solo húmido mais bentonita (em buraco de ~20 cm) e interligados com a central (distância 50 m) através de cabos elétricos; As duas bobinas de indução utilizadas devem ser niveladas e orientadas (com bússola) N-S (magnéticos) (Hx) e E-W (magnéticos) (Hy) e ligadas na central através de cabos; em seguida as baterias são utilizadas para alimentar a central e realizados os testes de contatos dos eletrodos (com multímetro analógico ou digital). Se a coleta do dado ocorrer em época de pouca chuva sugere-se a abertura e umedecimento dos buracos com 24 horas de antecedência para melhor recebimento do sinal através dos eletrodos.

Foram necessários para a coleta locais com vegetação rala, sem atividade agropecuária, uma distância considerável da rede elétrica local, e sem qualquer espécie de trepidação, seja por animais ou transportes. Antes do início da aquisição todos os transportes utilizados para a logística deste trabalho foram afastados, evitando com isso, a adição de mais uma fonte de ruído.

Uma vez instalados todos os aparatos necessários, são inseridas na central ADU as frequências que serão adquiridas com os tempos de aquisição. As bandas de frequências utilizadas foram divididas em HF (*High Frequency*) e LF (*Low Frequency*). As bandas HF e LF são por sua vez subdivididas em três bandas de frequências. Vale ressaltar que quanto menor a frequência maior a profundidade de investigação. A Tabela 1 abaixo mostra as altas e baixas frequências utilizadas na aquisição.

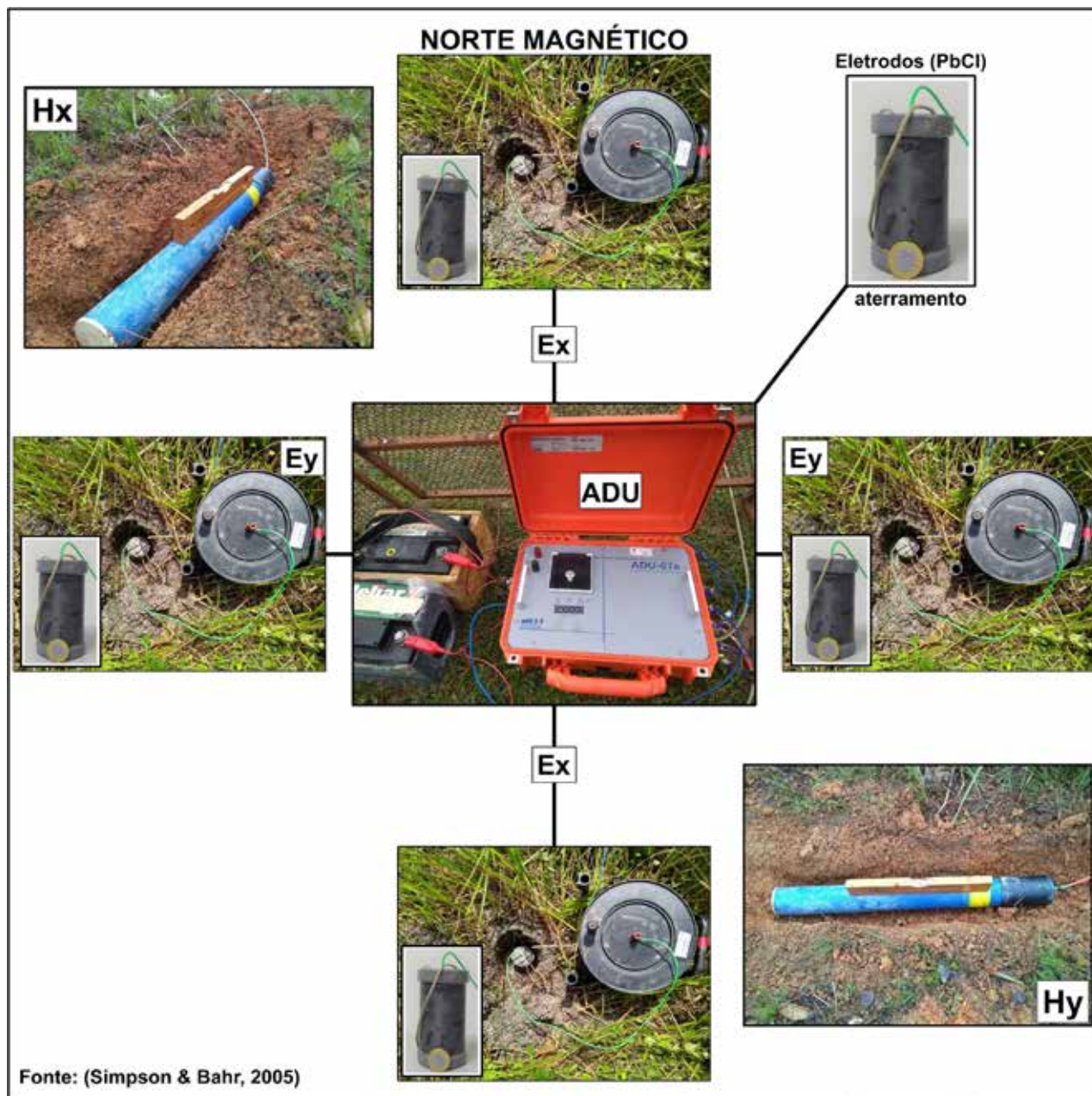


Figura 3 Equipamentos utilizados na aquisição de dados MT em campo. As imagens acima foram realizadas na estação MT-14 e o mesmo arranjo foi adotado nas demais estações. Ex e Ey são as componentes do campo elétrico enquanto que Hx e Hy representam as componentes do campo magnético. Fonte: Simpson & Bahr (2005).

As frequências de amostragem presentes na Tabela 1 dependem do tipo de SADMT que está sendo utilizada, pois cada equipamento possui internamente as placas elétricas para cada tipo de frequência, no caso da *ADU-07e*, estas são as frequências (Tabela 1). Já o tempo de aquisição pode ser modificado pelo operador, no entanto, vale frisar, que as frequências altas levam menos tempo para serem adquiridas, portanto não necessitam de tempos prolongados. Caso contrário, um imenso volume de dados desnecessários

será adquirido, tomando espaço importante do disco rígido da central MT.

Ao final da coleta da frequência de 128 Hz, foi feita uma análise prévia do sinal do dado coletado, bem como uma descrição detalhada das características do local de coleta. Os dados MT são adquiridos no domínio do tempo e podem ser acessados a partir da ADU em arquivos de extensão (.ats) denominados de séries temporais.

Tabela 1 Bandas de frequências utilizadas na aquisição dos dados MT e seus respectivos tempos. A frequência de 64 Hz foi obtida através da dizimação da frequência de 128 Hz.

Bandas de Frequências	Frequência (Hz)	Tempo
HF	131072	1 min e 30 s
	65536	2 min
	16384	2 min
LF	4096	15 min
	512	50 min
	128	19 h
	64	Decimação

3.3 Processamento dos Dados

O processamento foi subdividido em duas etapas: i) pré-processamento das séries temporais para decréscimo dos ruídos; ii) Cálculo dos tensores de impedâncias do meio (Z) para cada estação MT, e de suas resistividades aparentes e ângulos de fase associados. A Figura 4 mostra resumidamente, um esboço da etapa de processamento dos dados MT em que as séries temporais de cada sondagem MT foi submetida.

3.3.1 Processamento dos Ruídos

De posse do dado MT coletado foi realizada uma rotina de pré-processamentos que tiveram como objetivos, o aumento da razão sinal ruído e um dado de saída que pode representar confiavelmente a informação de subsuperfície. Portanto o objetivo desta etapa foi atenuar os ruídos antropogênicos e meteorológicos (Kao & Rankin 1977, Gamble et al., 1979, Fontes et al., 1988, Egbert 1997, Nagata et al., 2012; Borah et al., 2015)

As séries temporais de cada frequência foram submetidas a dois pré-processamentos, um automatizado e outro manual. Primeiramente realizou-se uma filtragem TSMP (*Time Series Manipulation Process*), para eliminar a contribuição da rede elétrica (60 Hz e harmônicas) (Figura 5). Esse processo é também conhecido como Filtro de Notch FIR (*Finite Impulse Response*) ou apenas filtro notch (Borah et al., 2015).

Para a aplicação desse filtro utilizou-se um código de programação (filtro notch). Todas as 15 estações MT passaram pelo pré-processamento para eliminar a contribuição da rede elétrica de 60 Hz mais as harmônicas pares e ímpares (60, 120, 180, 240 Hz, ...).

Após essa etapa, observaram-se as séries temporais dos dados adquiridos para análise de outros ruídos antropogênicos.

A segunda filtragem foi feita manualmente através da seleção de pontos ruidosos observados nas séries temporais de cada frequência, ou seja, foi analisado o

sinal do dado MT e selecionadas as porções que continham ruídos para serem subtraídas dos processamentos (Figura 6). Este pré-processamento só foi utilizado nas estações que apresentaram uma maior ocorrência de ruídos antropogênicos e meteorológicos. Para esta seleção de porções ruidosas usou-se o *software* TSPplotter.

O processamento apresentado na Figura 6 mostra um recorte da série temporal da frequência de 512 Hz. Os eixos y e x são respectivamente, a diferença de potencial do campo elétrico (Ex e Ey) e magnético (Hx e Hy) dado em mV (milivolts) e o período dado em s (segundos).

Ao analisar as séries temporais observou-se que as estações MT-07, MT-08 e MT-10 apresentaram uma maior incidência de ruídos. Nas duas primeiras, atribui-se esse ruído a uma maior proximidade da BR-316 por onde passam algumas linhas de transmissão de rede elétrica. Enquanto que na estação MT-10, o ruído pode ser decorrente do Povoado de Jacy, município de Maracaçumé/MA, local onde foi instalado a estação. Vale salientar, que essas estações foram mantidas no planejamento da campanha MT, uma vez que, tanto a remoção quanto a realocação das mesmas comprometeriam a direção (NNW-SSE) do perfil MT, além de que esses processamentos atenuam o sinal ruidoso.

Grande parte dos ruídos observados nessas estações, bem como nas outras, foram removidos dos processamentos seguintes. A remoção de ruídos das séries temporais requer uma análise criteriosa, pois tal atividade também implica perda de dado. O objetivo foi obter uma maior razão sinal/ruído.

3.3.2 Cálculo dos Tensores de Impedâncias

Após a filtragem inicial das séries temporais, os dados MT foram processados com a finalidade de obter os tensores de Impedância (Z). Durante essa etapa os arquivos das séries temporais foram transformados para o domínio da frequência, através da FFT (*Fast Fourier Transform*) e foram adquiridas as funções transferências MT, das quais foram gerados os dados de resistividade aparente e fase.

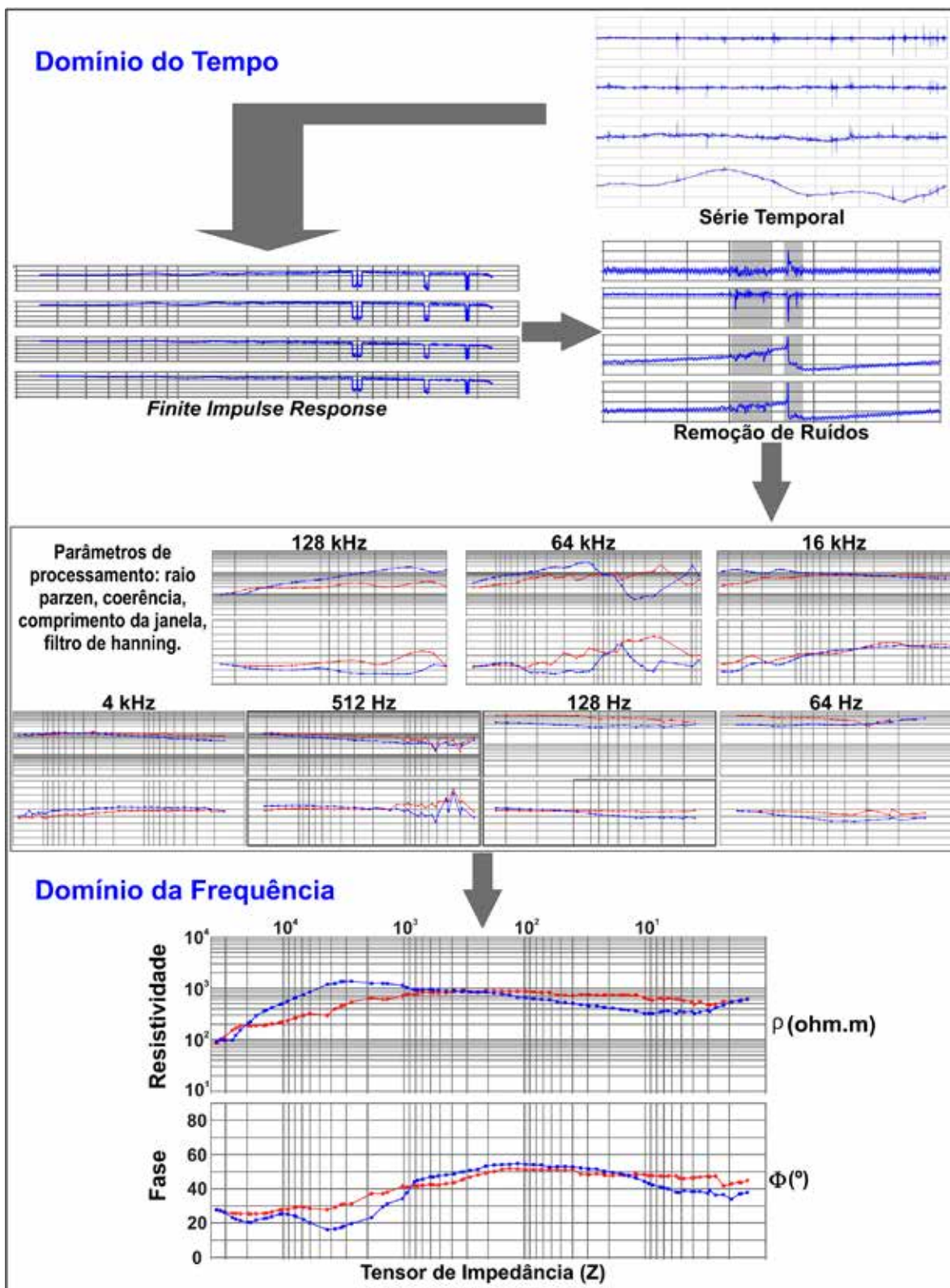


Figura 4 Fluxograma indicando a sequência de procedimentos a partir das séries temporais obtidas na área de estudo. No domínio do tempo foram aplicadas filtragens para remoção de ruídos, enquanto no domínio da frequência foram calculadas as funções de transferências, os tensores de impedâncias de cada estação MT.

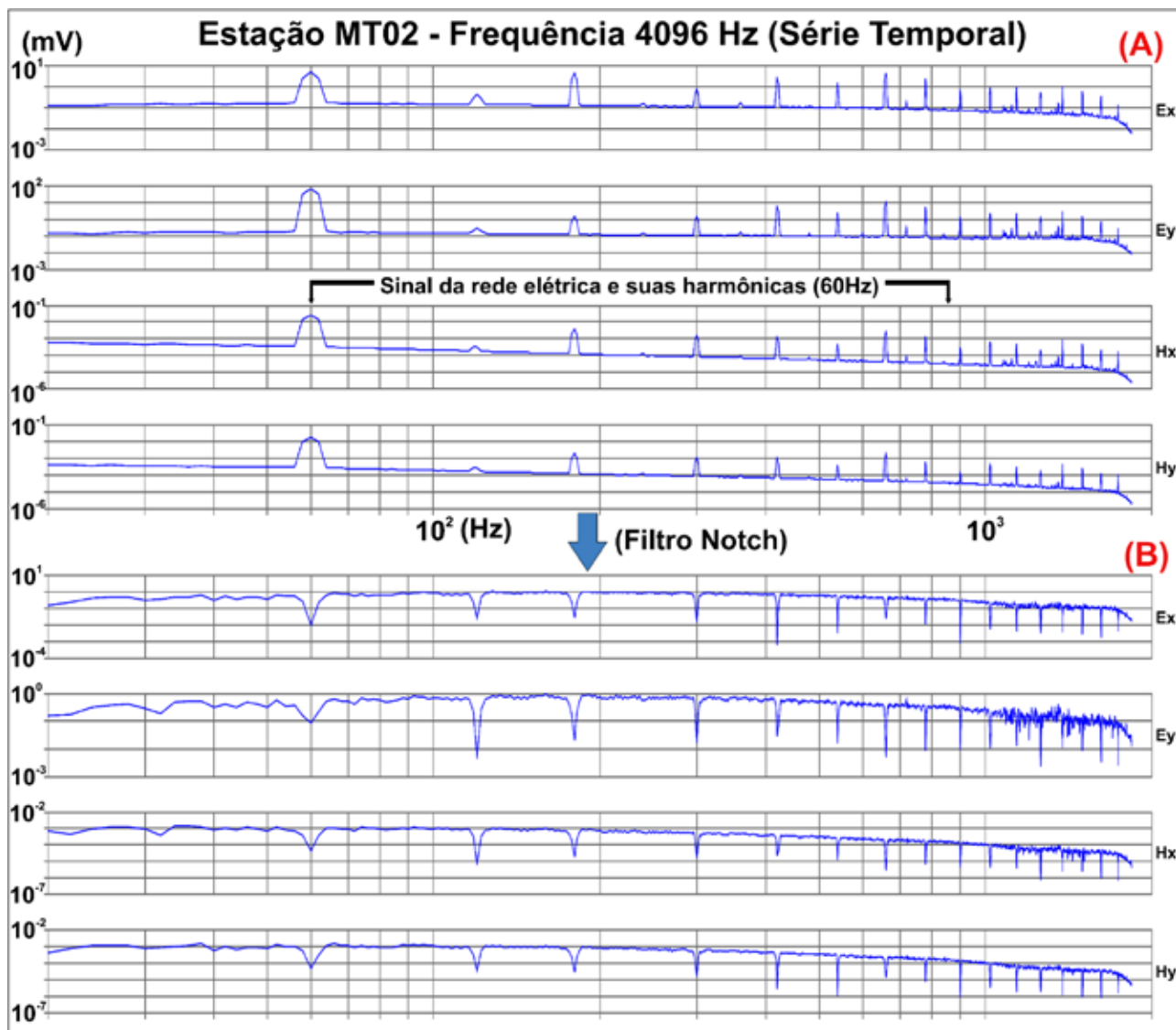


Figura 5 Utilização do filtro FIR para remoção da rede elétrica (*power line*) de 60 Hz e suas harmônicas. Ex e Ey são as componentes do campo elétrico e Hx e Hy as componentes do campo magnético. A. Série temporal da frequência de 4KHz da estação MT-02 antes da aplicação do filtro; B. indica a mesma frequência após a filtragem onde se observa a série temporal sem a influência da rede elétrica.

Os processamentos foram realizados através do *software* ProcMT com a inserção de diversos parâmetros, os principais são: *coherency threshold*, *window length FFT* e *parzen radius*.

A *coherency threshold* representa um procedimento para atenuar ruídos de porções coerentes a partir de valores limiares preestabelecidos. É importante utilizar em casos em que o dado está muito ruidoso, porém é necessário critério rigoroso na escolha dos valores limítrofes para que não haja perda de dado. O parâmetro de *window length FFT* fornece o número de pontos contidos em uma janela durante a transformada de Fourier (FFT) (domínio da frequência).

Uma larga janela FFT implicará numa resolução de alta frequência. Existe uma relação entre os parâmetros de *window length FFT* e *parzen radius*, onde para uma janela FFT larga sugere-se o uso de um baixo valor de *parzen radius* (Borah et al., 2015).

A escolha dos valores de cada parâmetro de processamento teve como finalidade a maior suavidade e linearidade da curva de resistividade aparente (ρ) e fase (Φ) do tensor de impedância (Z).

Borah et al. (2015) sugerem que para cada banda de frequência há um valor específico de cada um desses parâmetros apresentados. No entanto, é importante

entender que cada área investigada apresentará dados com características distintas devido as diferentes condições de subsolo (ambientes geológicos), assim como diferentes prováveis fontes de ruídos antrópicos decorrente do avanço de obras realizadas pelo homem na sociedade.

Os tensores de impedância de uma sondagem MT indicam as características geolétricas de subsuperfície. As 15 estações MT apresentaram resultados que variam do condutivo ao resistivo (Tabela 2). Os valores de resistividade variaram de 0,027 a 10.530 ohm-m.

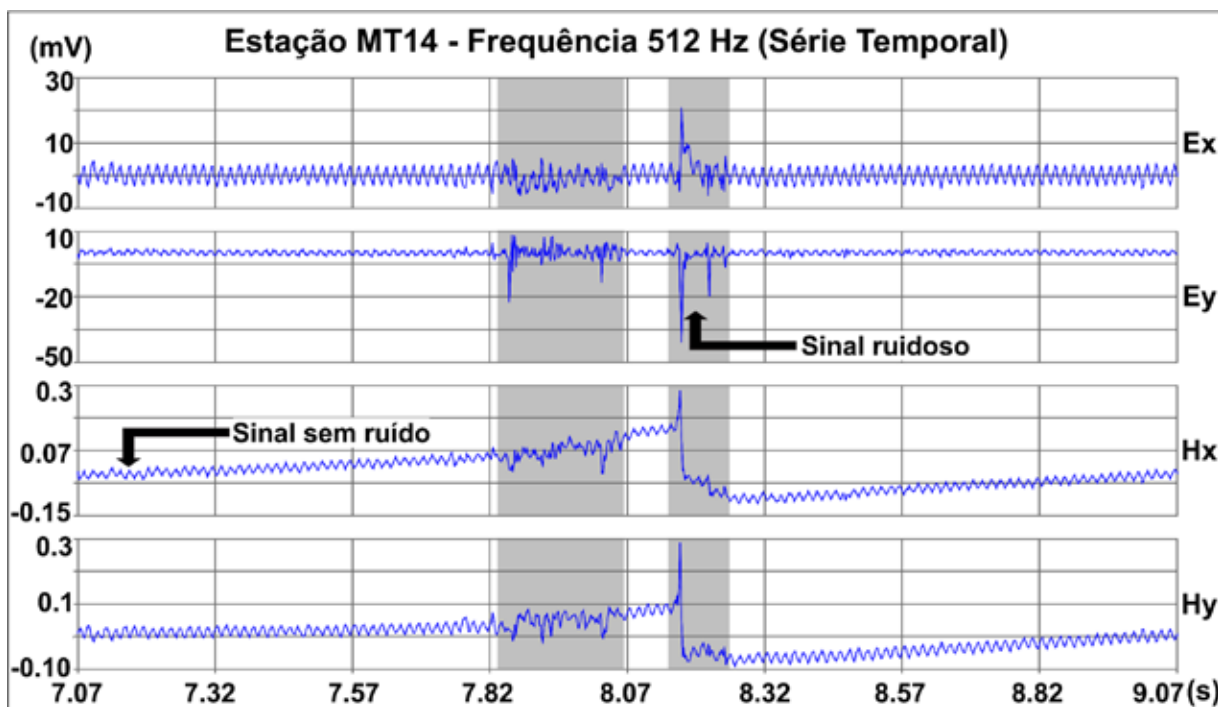


Figura 6 Seleção de ruídos (área hachurada) nas séries temporais da estação MT-14 para serem subtraídos (removidos) dos processamentos. Visualização de uma porção da série temporal em uma janela de 1 kHz, mostrando sinal com e sem ruído.

Tabela 2 Valores das frequências e resistividades aparente para cada tensor de impedância calculado.

Estação	Frequência (Hz)		Resistividade Aparente (ohm.m)	
	Min	Máx	Min	Máx
MT-01	1,61	35.788	2,58	123,20
MT-02	1,42	35.788	87,13	1.371
MT-03	1,92	35.788	12,95	211,80
MT-04	2,60	35.788	2,39	32,35
MT-05	0,67	35.788	76,09	4.243
MT-06	1,42	35.788	3,83	37,54
MT-07	4,77	35.788	3,75	21,97
MT-08	2,17	35.788	0,027	74,46
MT-09	0,50	35.788	6,71	80,60
MT-10	6,45	1.026	4,64	1.667
MT-11	5,20	35.788	5,74	74,78
MT-12	2,60	35.788	19,20	10.530
MT-13	1,05	35.788	8,97	1.419
MT-14	1,92	35.788	8,05	346,2
MT-15	0,90	35.788	11,11	496,5

Os valores mais baixos foram observados nas estações MT-08 e MT-01, local com grande ocorrência de rochas sedimentares e próximo ao mar (condutivo). Já os mais elevados, foram observados nas estações MT-12, MT-13, MT-14 e MT-15, região com afloramento de rochas

metamórficas pertencentes ao fragmento cratônico São Luís e a faixa móvel Gurupi.

Das 15 estações MT foram gerados 15 tensores de impedância que são apresentados na Figs 7 e 8.

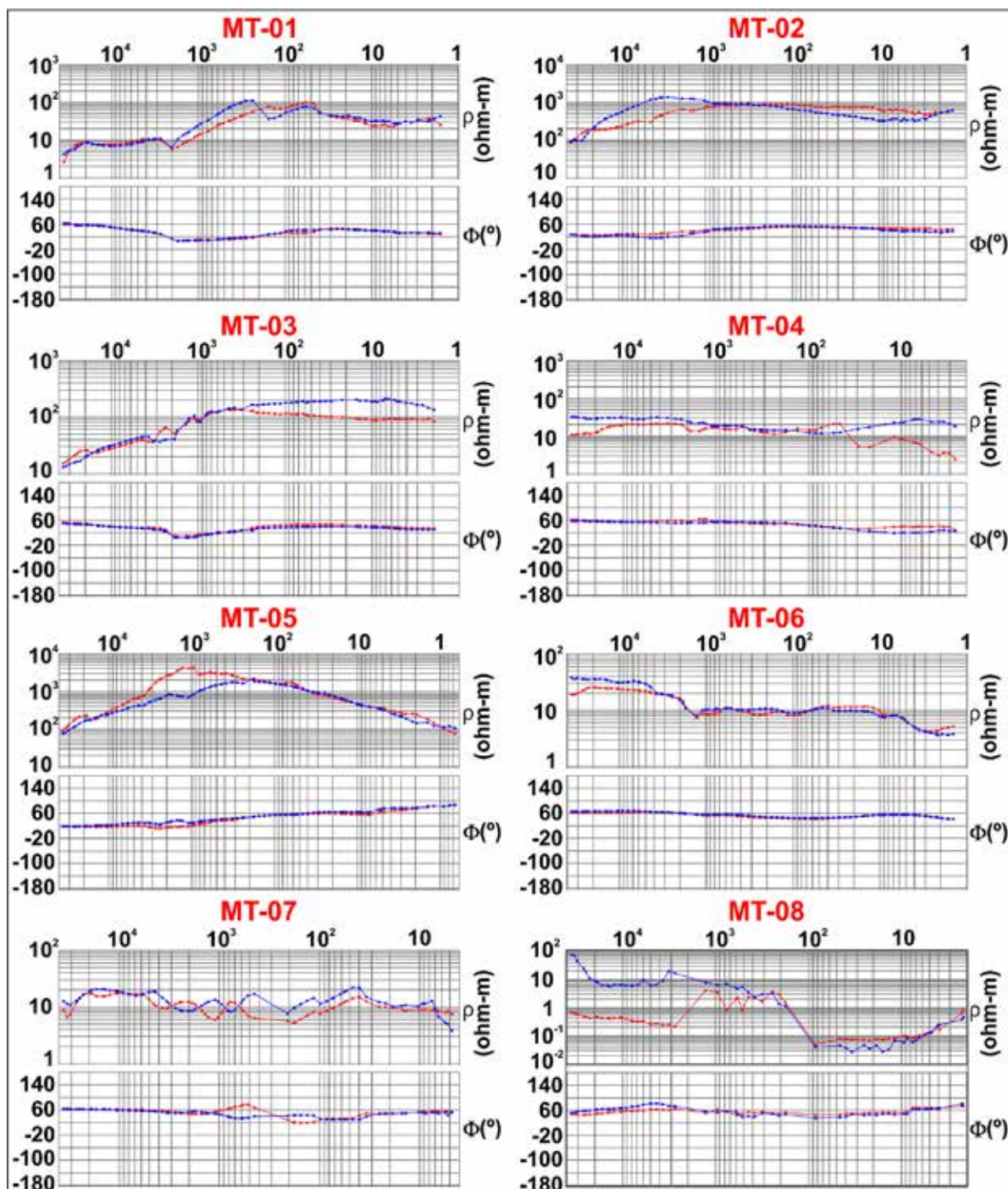


Figura 7 Tensores de impedâncias das estações MT – 01 à MT – 08 exibindo as curvas de resistividade (porção superior do gráfico) e fase (porção inferior do gráfico). As curvas vermelhas e azuis representam, respectivamente, as componentes XY (TE) e YX (TM) do tensor de impedância.

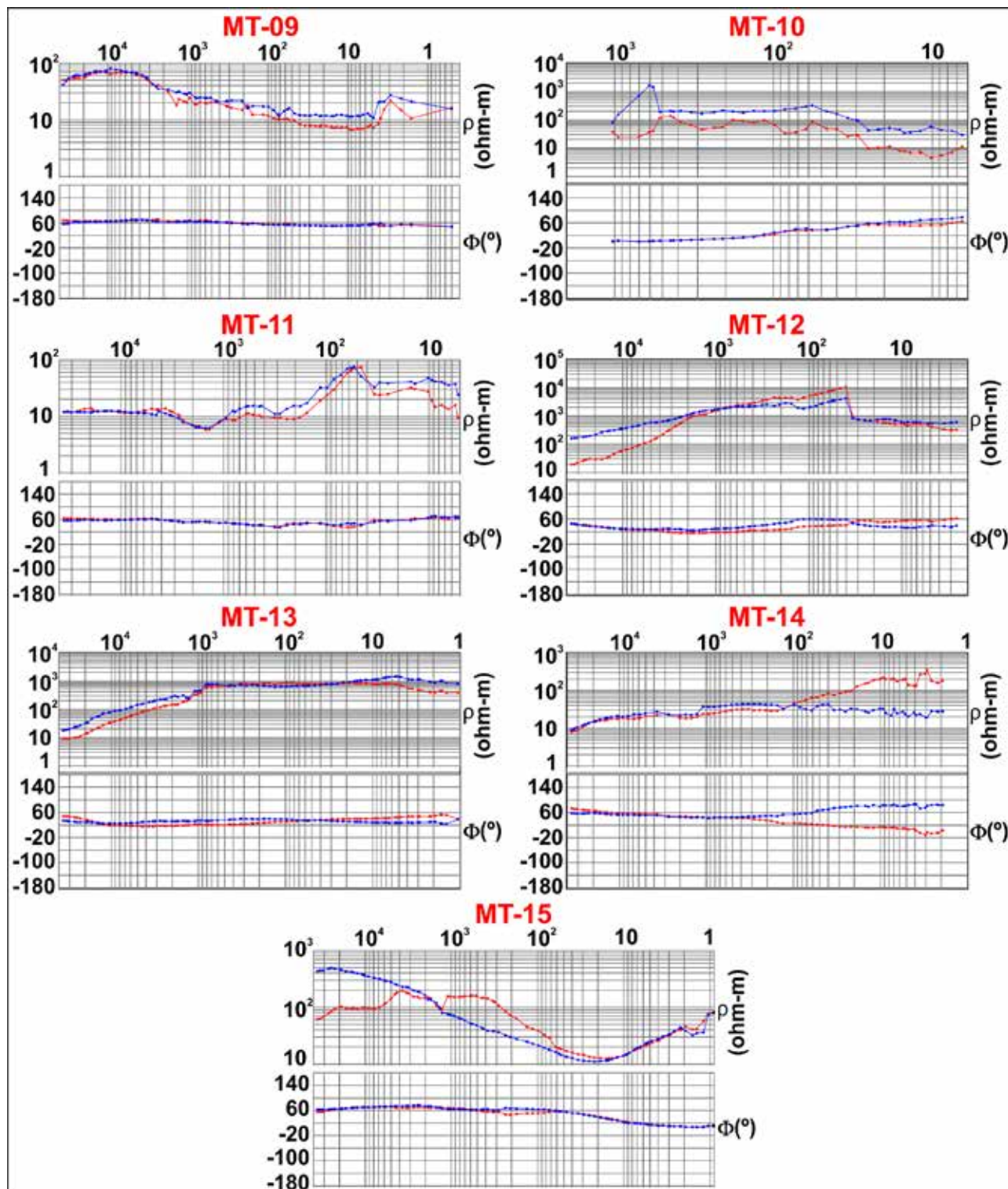


Figura 8 Tensores de impedâncias das estações MT – 09 à MT – 15 exibindo as curvas de resistividade (porção superior do gráfico) e fase (porção inferior do gráfico). As curvas vermelhas e azuis representam, respectivamente, as componentes XY (TE) e YX (TM) do tensor de impedância.

3.4 Produtos de Saída

Os valores das frequências e resistividade aparente alcançados pelas funções de transferência, mostrados na Tabela 2 e Figuras 8 e 9, forneceram um suporte para elaboração de produtos geofísicos para a caracterização geológica de subsuperfície.

Foram gerados três modelos geofísicos de subsuperfície através de *softwares* e algoritmos: o modelo geofísico inicial (*forward geophysical modeling*) da área de estudo e as pseudoseções de resistividade aparente e fase dos modos TE e TM para análise geológica da área (Figuras 9, 10 e 11).

Através do modelo geofísico inicial é possível ter as primeiras impressões das características geofísicas da área investigada em termos qualitativos, ou seja, exibe um preâmbulo das características internas da crosta.

As porções superficiais condutivas (tons vermelhos) até uma profundidade de 2 km foram interpretadas como sedimentos e rochas sedimentares Fanerozoicas (bacias

Parnaíba e São Luís e coberturas cenozoicas). Uma faixa altamente resistiva (tons azuis e roxo) em torno das estações MT – 12 e MT – 13 representam as rochas metamórficas da faixa móvel Gurupi. Resistividades medianas (tons verdes) ao longo do perfil MT são interpretados como as rochas do fragmento cratônico São Luís que está sotoposto às outras unidades geológicas apresentadas.

As pseudoseções dos modos TE e TM apresentam uma boa compatibilidade entre os dados observados e calculados. Esses resultados corroboram a qualidade dos processamentos após a remoção dos sinais ruidosos, caso contrário, não haveria verossimilhança entre a resistividade (ou fase) observada e calculada.

Em ambos os modos (TE e TM) se observa na pseudoseção de resistividade aparente três porções resistivas em torno das estações MT-02, MT-05, MT-12 e MT-13, atribuídas ao fragmento cratônico São Luís e faixa móvel Gurupi. Uma porção condutiva entre as estações MT-07 e MT-08 é colocada como rochas sedimentares da bacia de São Luís.

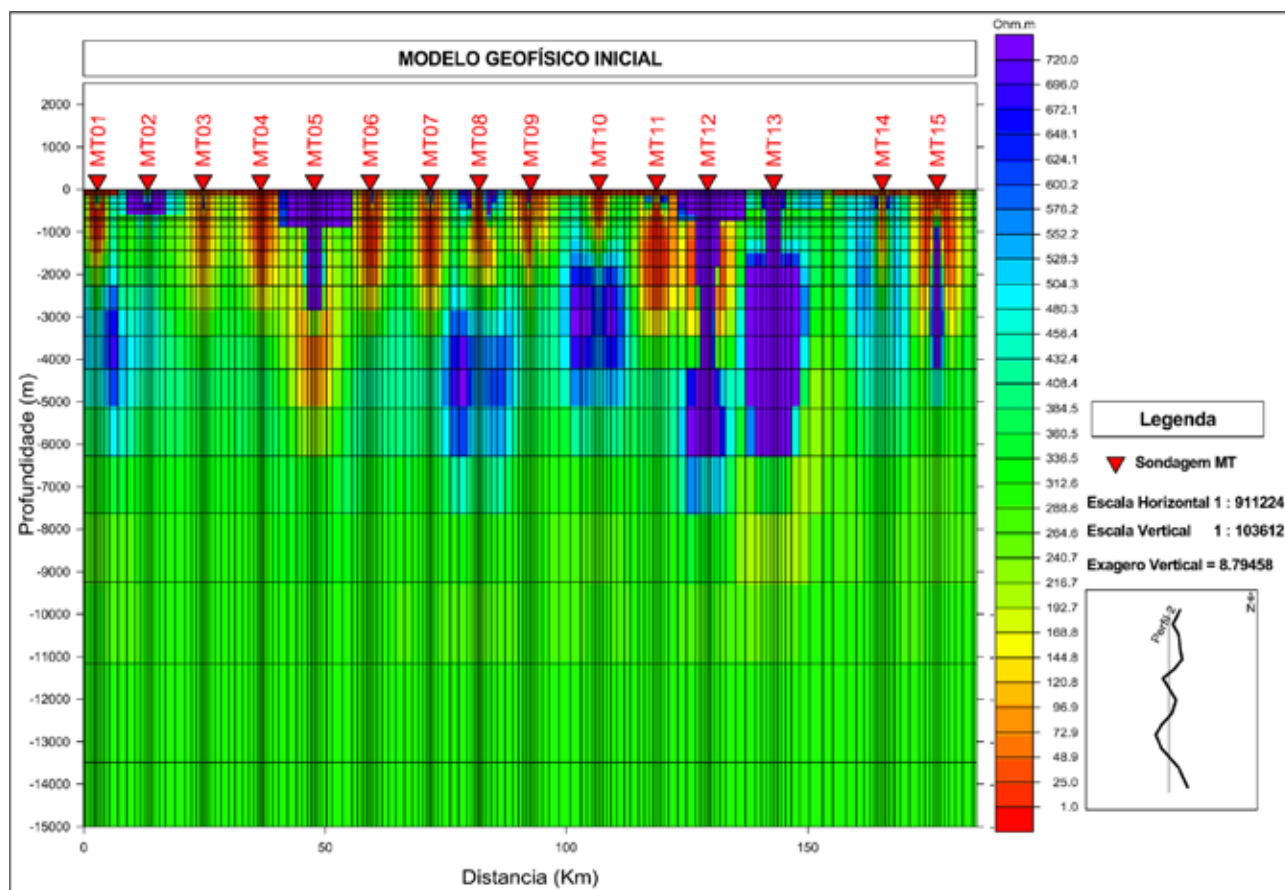


Figura 9 Modelo geofísico inicial do perfil MT da área de estudo. A escala de cores mostra variações da resistividade aparente onde tons azuis e vermelhos indicam, respectivamente, porções resistivas e condutivas.

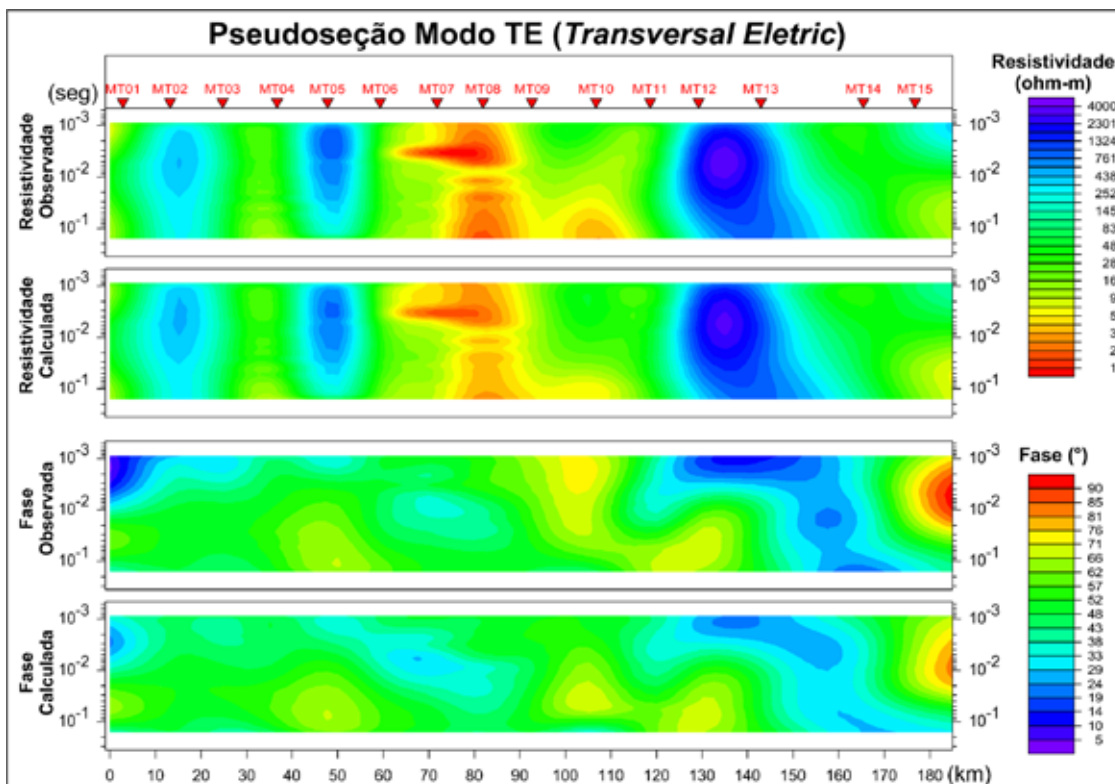


Figura 10 Modo TE mostrando as pseudoseções observadas e calculadas para as resistividades e fases.

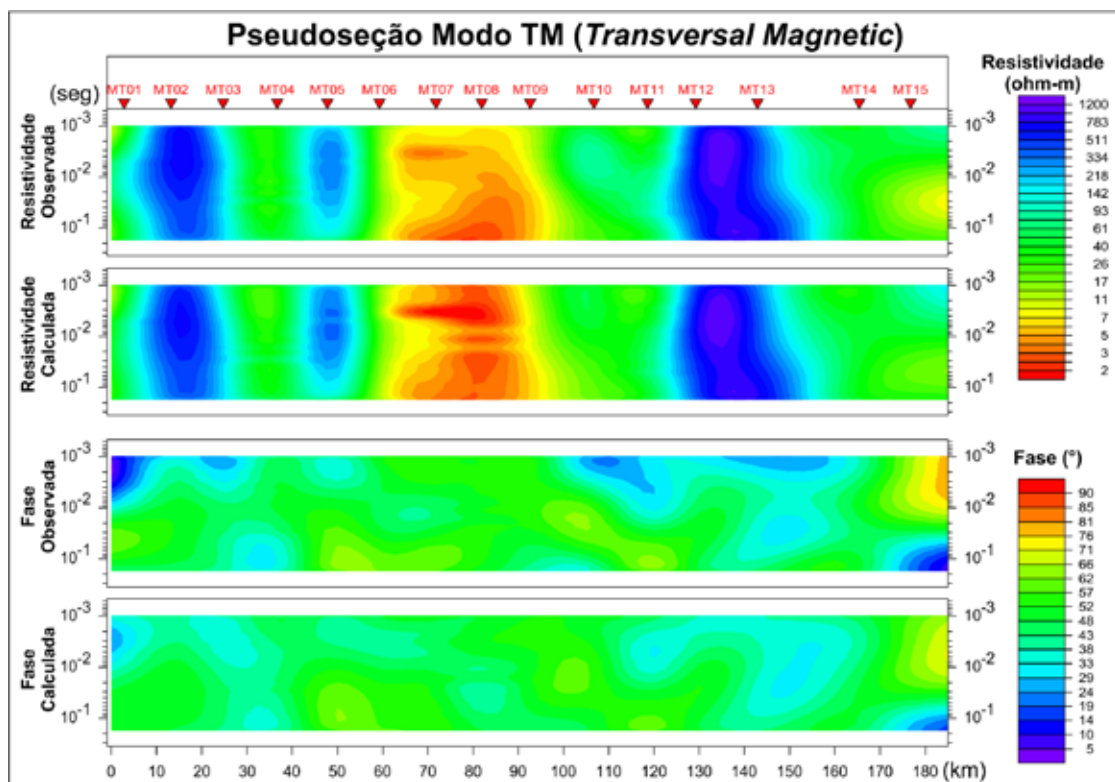


Figura 11 Modo TM mostrando as pseudoseções observadas e calculadas para as resistividades e fases.

4 Considerações Finais

O presente trabalho apresenta um guia elucidativo para aquisição de dados geofísicos magnetotéluricos, baseado no estudo de caso de um levantamento realizado na área onde abrange o fragmento cratônico São Luís, nordeste do Brasil, com o propósito de realizar a divulgação científica e contribuir com a formação de novas equipes em levantamentos MT.

São apresentadas as principais etapas de uma campanha MT, listadas no manuscrito como: instrumentação de campo e laboratório, coleta dos dados em campo, processamento para redução de ruídos das séries temporais, cálculo das funções de transferências (tensores de impedâncias) e elaboração de produtos geofísicos.

Os dados MT foram coletados através de um SADMT (*ADU-07e*), duas bobinas de indução, quatro eletrodos de PbCl e duas baterias automotivas. 15 estações MT com uma equidistância de 12 km foram adquiridas e um comprimento de perfil de 180 km. Durante a coleta evitou-se locais com muita rede elétrica e/ou outras fontes de ruídos.

Todas as frequências de cada sondagem MT foram submetidas ao filtro Notch FIR para subtração da contribuição da rede elétrica local (60 Hz e harmônicas). Uma segunda filtragem foi realizada de forma manual nas estações em que apresentou uma maior incidência de ruídos, como nas estações MT-07, MT-08 e MT-10.

Os tensores de impedâncias (Z) foram calculados através da FFT e convertidos para o domínio da frequência. Foram gerados 15 tensores de impedâncias que é visualizado em resistividade aparente (ρ) e fase (Φ). Os valores de resistividade tiveram uma variação de 0,027 (MT-08) a 10.530 (MT-12) ohm-m.

Através dos tensores de impedâncias foram gerados três produtos geofísicos de saída para um prognóstico das características geoeletricas de subsuperfície da área de estudo, são eles: modelo geofísico inicial, pseudoseção modo TE e pseudoseção modo TM.

O modelo geofísico inicial apresentou porções condutivas superficiais (~2 km), representando os sedimentos e rochas sedimentares, uma faixa resistiva próximos às estações MT – 12 e MT – 13 (rochas metamórficas da faixa Gurupi) e resistividades medianas interpretadas como as rochas do fragmento cratônico São Luís.

As pseudoseções TE e TM corroboram a qualidade dos processamentos, pois apresentam uma boa equivalência entre os dados observados e calculados. Fica bem marcado no imageamento de resistividade, três regiões resistivas representando as rochas cristalinas (fragmento cratônico

São Luís e faixa Gurupi) da área e uma região condutiva central representando as rochas da bacia de São Luís.

5 Agradecimentos

Os autores agradecem à CAPES e ao INCT pelos recursos disponibilizados para a aquisição dos dados, ao Laboratório de Geofísica, Prospecção e Sensoriamento Remoto (LGPSR)-UFC pelos equipamentos e apoio na etapa de processamento dos dados e aos revisores do Anuário do Igeog – UFRJ pela indispensável contribuição realizada ao manuscrito por meio de alto critério qualitativo.

6 Referencias

- Borah, U.K.; Prasanta, K.P. & Vaddeboina, S. 2015. Processing of noisy magnetotelluric time series from Koyna-Warna seismic region, India: a systematic approach. *Annals of Geophysics*, 58(2): 1-17.
- Cagniard, L. 1953. Basic theory of the magnetotelluric method of geophysical. *Prospecting Geophysics*, 18(3): 605-635.
- Chave, A.D. & Jones, A.G. 2012. *The magnetotelluric method: theory and practice*. Cambridge: Cambridge University Press, 603p.
- CPRM, 2012. Geologia e Recursos Minerais do Estado do Maranhão: Sistema de Informações Geográficas – SIG: texto explicativo dos mapas Geológico e de Recursos Minerais do Estado do Maranhão. Organizadores, Evandro Luiz Klein, Cristiane Silva de Sousa. Escala 1:750.000. Belém: *Serviço Geológico do Brasil*, 151p.
- Egbert, G.D. 1997. Robust multiple-station magnetotelluric data processing. *Geophysical Journal International*, 130: 475-496.
- Daly, M.C.; Fuck, R.A.; Julià, J.; Macdonald, D.I.M. & Watts, A.B. 2018. Cratonic basin formation: a case study of the Parnaíba Basin of Brazil. *Geological society of London*, 472: 1-15.
- Fontes, S.L.; Harinarayana, T.; Dawes, G.J.K. & Hutton, V.R.S. 1988. Processing of noisy magnetotelluric data using digital filters and additional data selection criteria. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 52: 30-40.
- Gamble, T.D.; Goubau, W.M. & Clarke, J. 1979. Magnetotellurics with a remote magnetic reference. *Geophysics*, 44: 53-68.
- Kao, D. & Rankin, D. 1977. Enhancement of Signal-to-Noise Ratio in Magnetotelluric Data. *Geophysics*, 42: 103-110.
- Nagata, H.; Mikada, H.; Goto, T.N.; Takekawa, J. & Kasaya, T. 2012. Data processing of magnetotelluric survey data in time domain using digital filter - An Example at the Nankai trough. In: 21st EM INDUCTION WORKSHOP, Darwin, 1992. Extended Abstract, Darwin, p. 1-4.
- Santos, A.C.L. 2012. *Imageamento magnetotélurico de estruturas da litosfera na porção SE da Província Borborema*. Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Tese de Doutorado, 160p.

Simpson, F. & Bahr, K. 2005. *Practical Magnetotellurics*. Cambridge University, Press Cambridge, 270p.

Tikhonov, A.N. 1950. On determining electrical characteristics of the deep layers of the earth's crust, USSR. *Doklady Akademii Nauk*, 73(2): 395-297.

Vozoff, K. 1991. The magnetotelluric method. In: *Electromagnetic Methods in Applied Geophysics*, Vol. 2, *Applications*, Ed. Nabighian, M.N. Tulsa: *Society of Exploration Geophysicists*, 641–711.

Recebido em: 21/02/2020

Aprovado em: 20/04/2020

Como citar:

Uchoa, E.B.; Magini, C.; Branco, R.M.G.C.; Silva, N.C.V. & Silva, F.M. 2021. Diretrizes para Aquisição e Processamento de Dados Geofísicos Magnetotelúricos: O Caso do Fragmento Cratônico São Luís/Ma. *Anuário do Instituto de Geociências*, 44: 41469. DOI 1982-3908_2021_44_41469