



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

PROCESSAMENTO DE DADOS DE SONDAGENS MAGNETOTELÚRICAS COLETADOS NA PROVÍNCIA BORBOREMA, REGIÃO NORDESTE DO BRASIL.

- RELATÓRIO PARCIAL DE PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA
 - (PIBIC/CNPq/INPE)

Bianca Alencar Bianchi (IAG/USP, Bolsista PIBIC/CNPq)
E-mail: biancabianchi@usp.br

Dr. Ícaro Vitorello (INPE, Orientador)
E-mail: icaro@dge.inpe.br

Dr. Maurício de Souza Bologna (IAG/USP, Co-orientador)
E-mail: mbologna@usp.br

COLABORADORES

Dr. Antônio Lopes Padilha (INPE)
Dr. Marcelo Banik de Pádua (INPE)

Junho de 2010

SUMÁRIO

1. Introdução -----	03
2. Atividades Desenvolvidas -----	04
2.1 Considerações gerais -----	04
2.2 Confeção de mapa geológico-----	04
2.2.1 Descrição da geologia -----	05
2.3 Vetor de indução-----	06
2.4 Resultados -----	08
2.5 Demais atividades-----	13
3. Atividades futuras-----	13
4. Bibliografia-----	14

1. Introdução

Este relatório descreve as atividades desenvolvidas no projeto de iniciação científica no período de janeiro a junho de 2010.

O projeto tem como objetivo principal mapear estruturas geoeletricas contidas na Província Borborema, região nordeste do Brasil. Para isso utilizou-se o método magnetotelúrico (MT).

No método MT, a resistividade elétrica em subsuperfície é obtida a partir de medidas simultâneas das componentes ortogonais dos campos elétrico e magnético naturais na superfície terrestre. Como os campos induzidos no interior terrestre obedecem à equação de difusão, com medidas em diferentes frequências pode-se obter informações geoeletricas de diversas profundidades, usualmente abrangendo desde alguns metros até dezenas de quilômetros.

Através do processamento das séries temporais medidas é possível obter informações de resistividade elétrica da crosta e manto litosférico sob a região. Espera-se, com isso, fornecer subsídios para o mapeamento das estruturas geoeletricas, melhorando a compreensão sobre a evolução geológica da Província.

Os dados deste projeto foram previamente coletados pelo Grupo de Geomagnetismo do INPE. Sua direção é NNE-SSW com extensão de aproximadamente 200 km, transversal às estruturas geológicas aflorantes da Província Borborema e atravessa os estados de Pernambuco, Alagoas e Sergipe (figura 1).

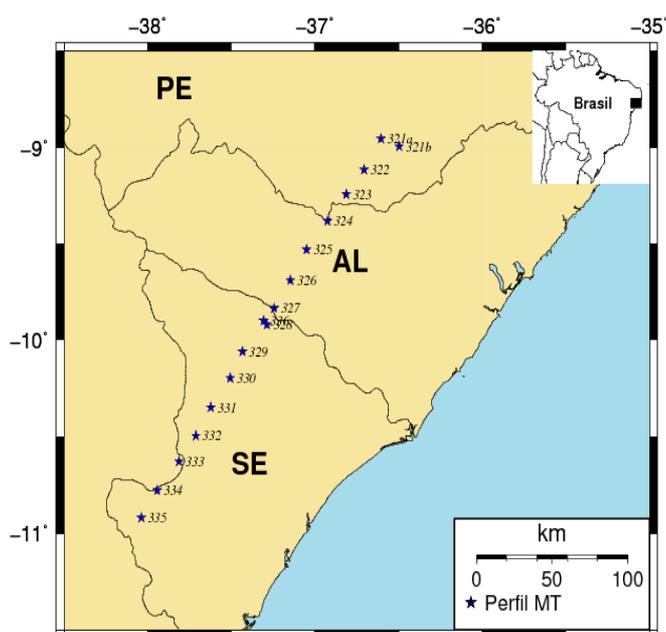


Figura 1. Perfil estações de sondagem MT (321 a 336) na Província Borborema, região nordeste do Brasil.

2. Atividades desenvolvidas

2.1 Considerações gerais

Conforme consta nos relatórios anteriores, encontra-se concluído o processamento dos dados de todo o perfil. Curvas de resistividade aparente e fase foram obtidas em cada estação usando-se o código robusto de Gary Egbert (EGBERT, 1998). Posteriormente, os dados foram reprocessados com o mesmo código, porém fazendo-se uma pré-seleção dos dados com base na coerência entre eles. Através da comparação visual entre as curvas escolheu-se o melhor conjunto de dados em cada estação. Por fim efetuou-se a análise da consistência das curvas utilizando o programa Rhoplus (PARKER; BOOKER,1996).

Como estes passos já foram mostrados anteriormente, o presente relatório abordará com mais detalhe apenas passos posteriores a estes acima descritos. Aqui serão mostrados os resultados do cálculo do vetor de indução, às vezes também denominado *tipper*. Serão também apresentadas as relações destes vetores com a geologia local bem como a influência de estruturas mais regionais.

Até o final do projeto as etapas a serem concluídas incluem elaboração de pseudo-seções de resistividade aparente e fase, modelagem numérica e interpretação preliminar dos resultados do perfil MT.

2.2 Confeção de mapa geológico

Para fazer a correlação dos resultados encontrados com os vetores de indução e a geologia, foi utilizado o arquivo digitalizado do livro da CPRM “Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil: texto, mapas & SIG (BIZZI et al., 2003).

Através do pacote gráfico GMT (“Generic Mapping Tools”) foi confeccionado o mapa geológico colorido contendo os vetores de indução que serão apresentados adiante no capítulo 2.4.

Foram utilizados também scripts do GMT para a confecção do mapa estrutural, retirado do mesmo livro.

2.2.1 Descrição da geologia

A Província Borborema foi formada a partir da colagem e amalgamação de terrenos de diferentes litologias. É uma região com grande complexidade estrutural. Possui grande quantidade de falhas e lineamentos importantes separando os diferentes blocos crustais. Está localizada na parte mais ocidental do Brasil entre os crátons Amazônico e São Francisco-Congo. Tem, ainda, uma extensão dentro do continente africano.

A Província Borborema é dividida em três setores, sendo a porção norte delimitada pelo lineamento Patos, a região central tem como limite ao norte o lineamento Patos e ao sul o lineamento Pernambuco e porção sul localiza-se abaixo do lineamento Pernambuco.

O perfil de estações MT está situado na porção sul da Província Borborema, passando pelo Maciço Pernambuco Alagoas, Terreno Caniné-Marancó e Faixa Sergipana.

Como veremos, todos esses blocos afetam a magnitude e direção dos vetores de indução, assim como as bacias sedimentares próximas Tucano e Jatobá. Essas são bacias de rifte abortado formadas por sistemas de grábens e possuem um preenchimento sedimentar com mais de 12 km de espessura.

A porção logo abaixo do lineamento Pernambuco, que abrange o maciço Pernambuco-Alagoas, contém paragnaisses e ortognaisses com intrusões de magmas graníticos com intercalações de rochas máficas.

A transição para a Faixa Sergipana é muito bem notada nos mapas de vetores de indução. Esta é uma faixa situada entre o maciço Pernambuco-Alagoas e Cráton São Francisco. É seccionada pelo rifte Tucano-Jatobá e consiste em depósitos pelítico-psamítico de natureza turbidítica e sedimentação carbonática-pelítica.

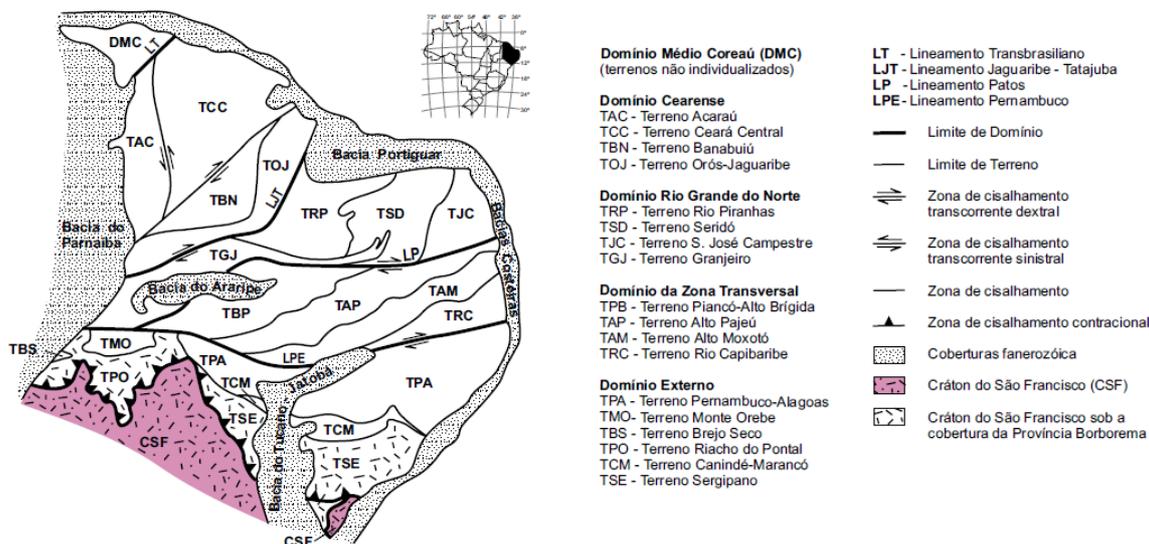


Figura 2 – Compartimentação da Província Borborema em domínios (superterrenos) e terrenos tectono-estratigráficos, segundo Santos (1988), com a localização da Folha Aracaju NE

2.3 Vetor de indução

Vetor de indução ou *tipper* é uma representação gráfica da relação linear entre a componente vertical (H_z) e as componentes horizontais (H_x e H_y) do campo magnético. É descrito pela equação [1].

$$H_z = T_{zy} H_y + T_{zx} H_x \quad [1]$$

Sendo T_{zx} e T_{zy} as funções de transferência do campo magnético.

O módulo do vetor de indução é dado pela equação [2] e seu ângulo de inclinação com relação ao norte magnético é calculado através da equação [3].

$$s = (T_{zx}^2 + T_{zy}^2)^{1/2} \quad [2]$$

$$\phi = \arctan \frac{T_{zy}}{T_{zx}} \quad [3]$$

Em um meio 1-D, onde há variação de resistividade somente com a profundidade, ou num meio homogêneo, o campo magnético vertical é zero. Entretanto, quando há variação lateral de resistividade, seja por uma estrutura 2D ou 3D, esta componente assume um valor diferente de zero, sendo sua magnitude relacionada à densidade anômala de corrente elétrica em uma certa região. Quanto à direção, existem duas convenções para a representação dos vetores de indução. São elas:

- Convenção de Parkinson (mais utilizada pela comunidade MT) – quando o vetor aponta para o máximo gradiente, ou seja, para a anomalia geoeletrica, onde há uma maior concentração de corrente, e
- Convenção de Wiese – quando o vetor aponta contra a anomalia.

Numa situação 2D ideal, o vetor de indução aponta sempre perpendicularmente ao contato condutivo-resistivo. Ou seja, mais próximo do contato a magnitude do vetor será maior, decrescendo com o aumento da distância entre o local de medida e o contato.

Portanto, vetores de indução podem quantificar variações laterais, porém fornecem pouca resolução vertical, a qual é melhor definida pela resistividade aparente e fase. Portanto, a análise do campo vertical serve como complemento a análise das respostas MT. Uma outra aplicação dos vetores de indução é na eliminação de ambigüidades de direção do *strike geoeletrico* (etapa ainda a ser realizada).

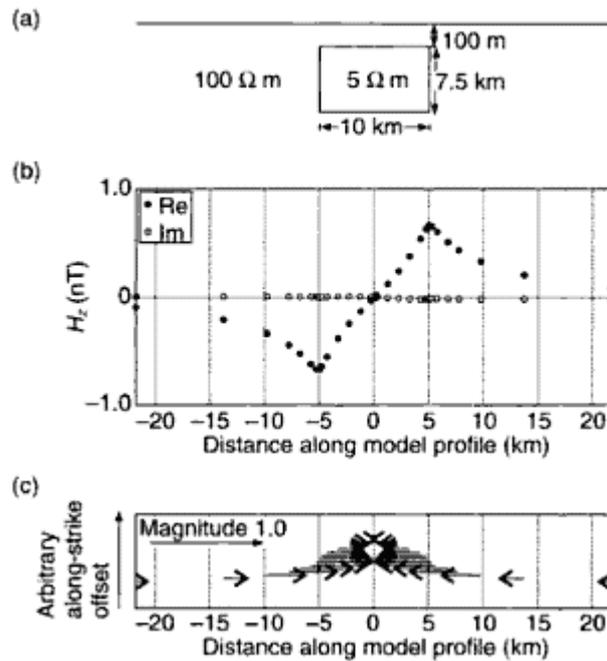


Figura 3 – (a) Modelo 2-D. Corpo com dimensões de 10 km x 7,5 km com resistividade de 5 Wm encaixado em um meio de resistividade 100 Wm à uma profundidade de 100 m. (b) Forma do campo magnético vertical atravessando uma anomalia condutiva 2-D mostrada em (a). (c) Vetor de indução na convenção Parkinson ao longo do perfil de anomalia mostrado em (a). Figura tirada de Simpson e Bahr (2005)

Na figura 3(b) é mostrado o comportamento do campo magnético vertical na presença de um corpo anômalo 3(a). O módulo do campo magnético vertical atinge o máximo nas bordas do corpo e decai a zero no centro ficando em um intervalo de 0,1 a 0,5, raramente ultrapassando 1. Na figura 3(c) são representados os vetores de indução, que são maiores próximo ao corpo e decaem a medida que se afastam do corpo.

2.4 Resultados

Para tentar relacionar o comportamento dos vetores de indução com feições geológicas, sobrepôs-se os vetores (em diferentes períodos) e a geologia. Os resultados são mostrados a seguir:

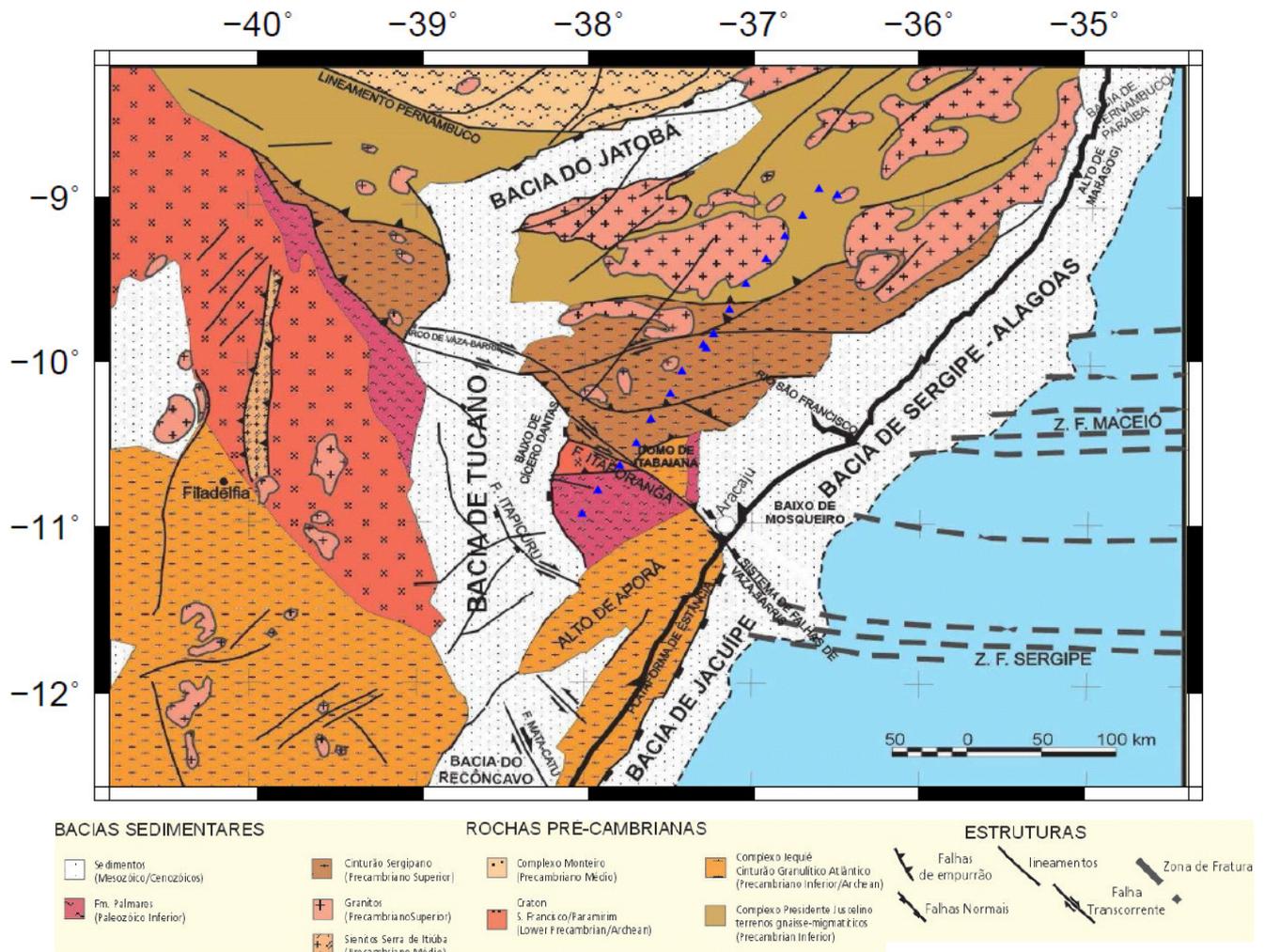
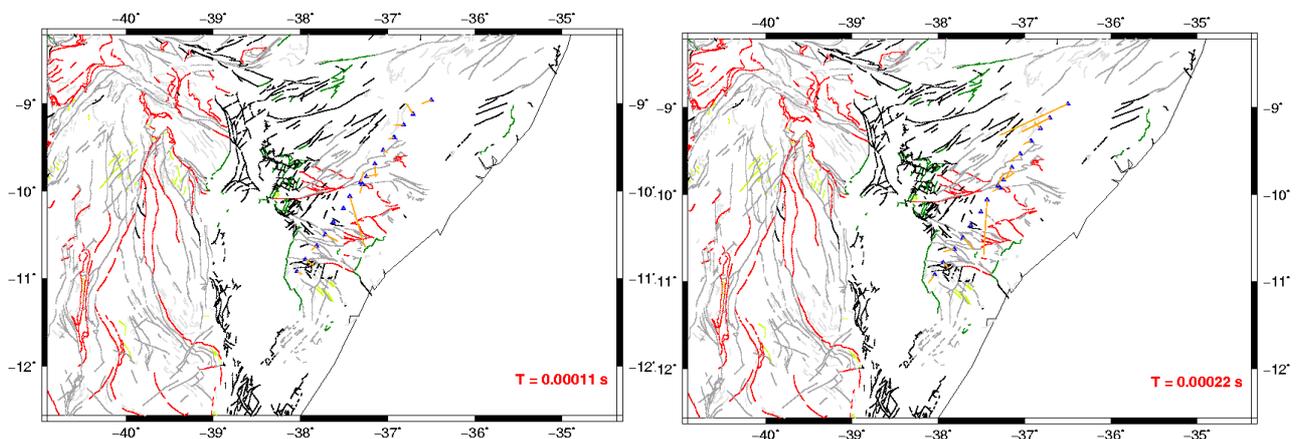
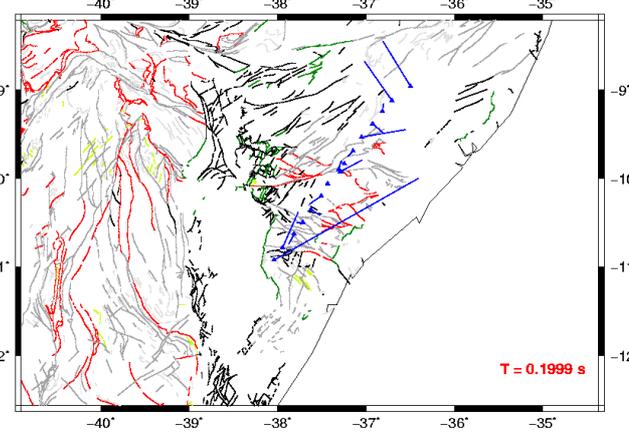
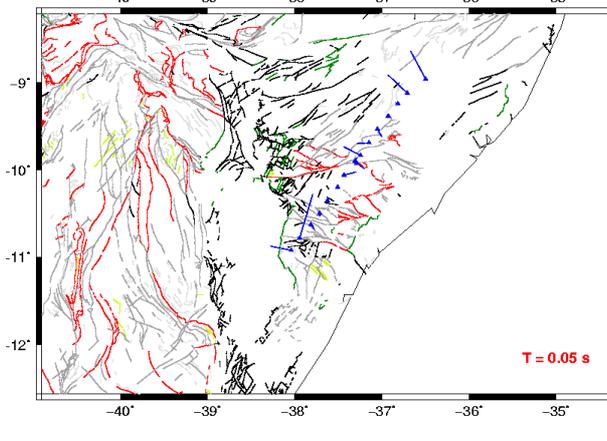
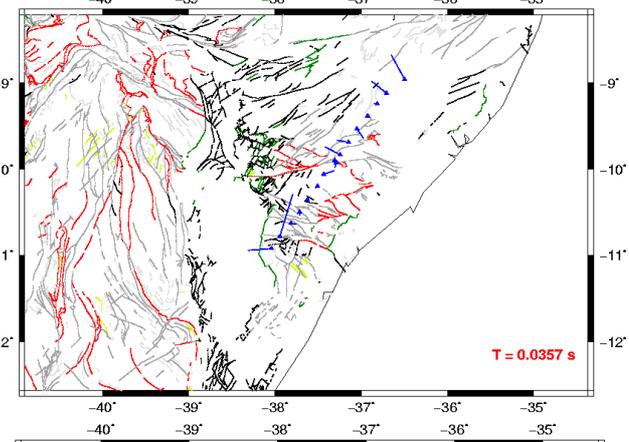
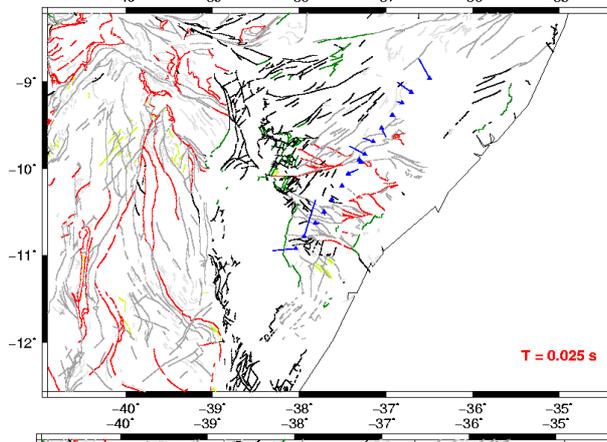
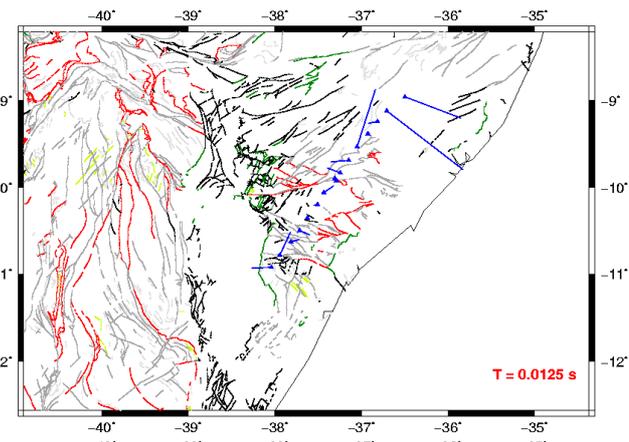
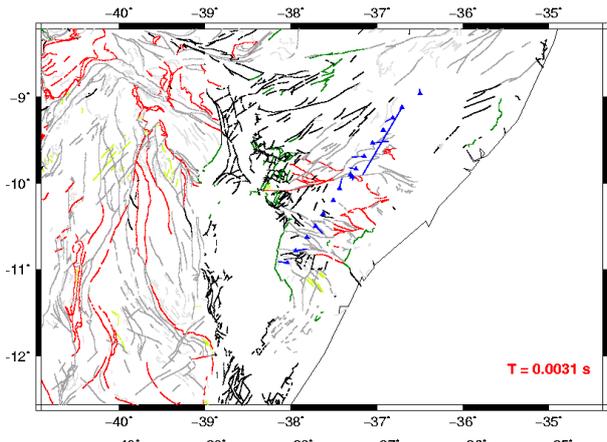
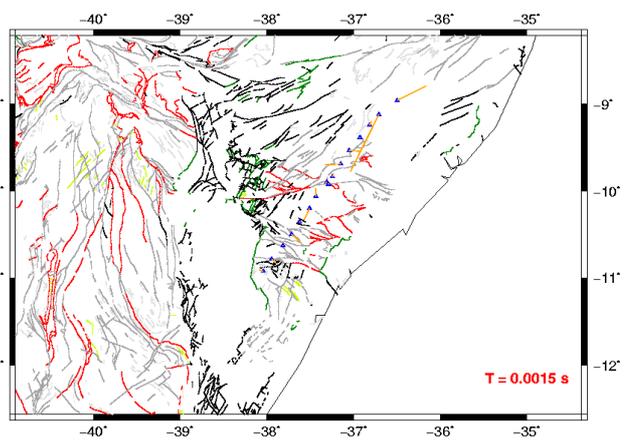
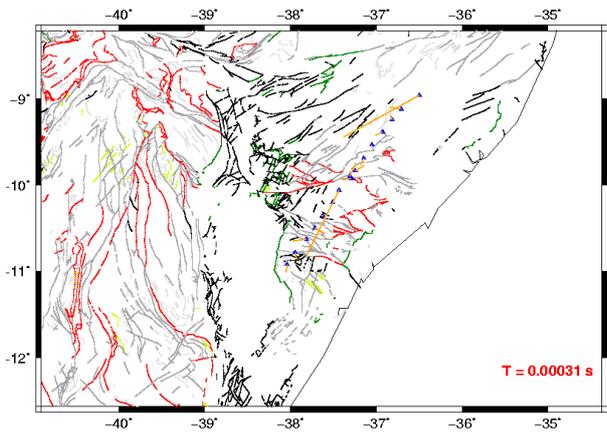
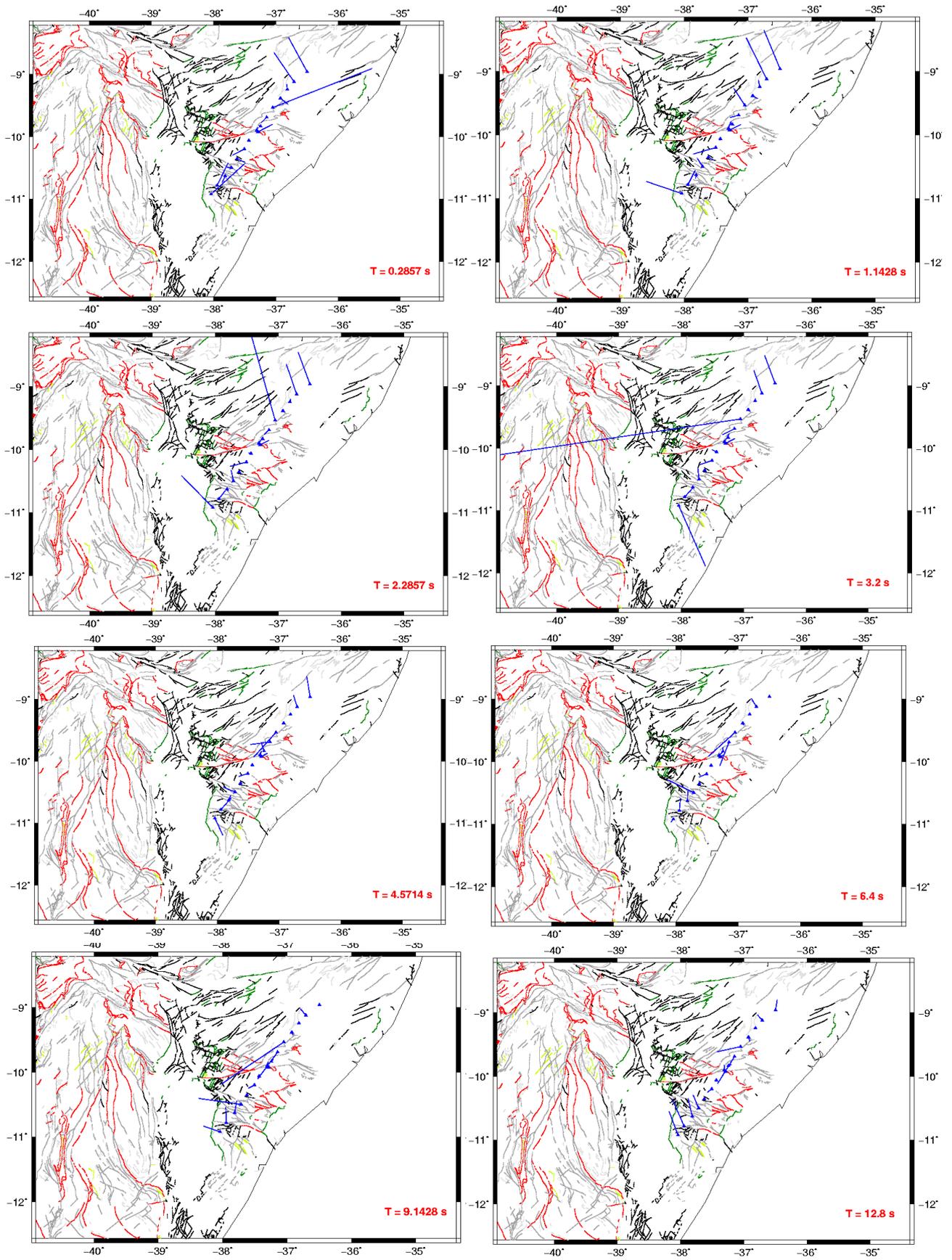
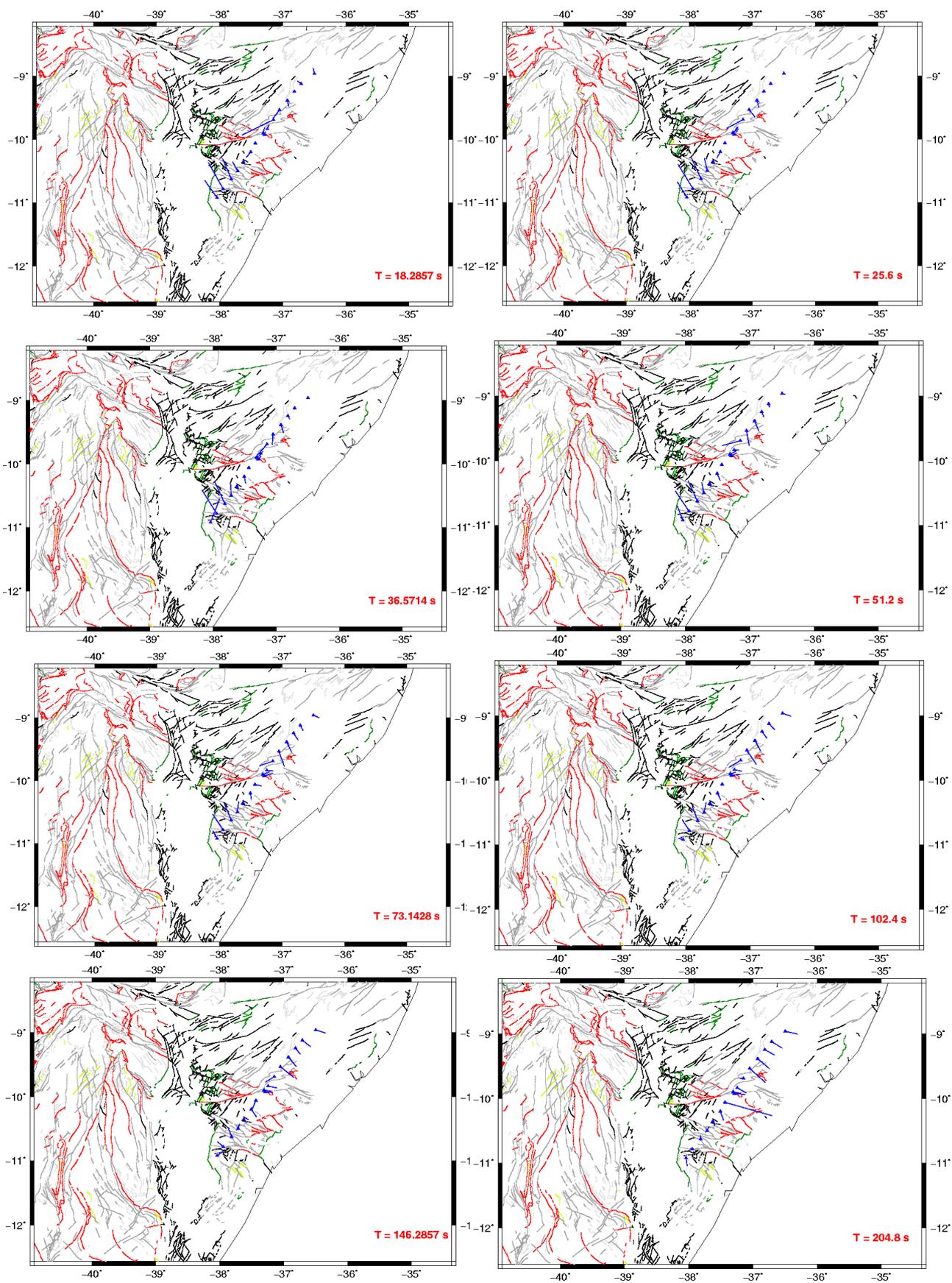


Figura 4. Mapa geológico da região mostrando estruturas atravessadas pelo perfil de estações MT.









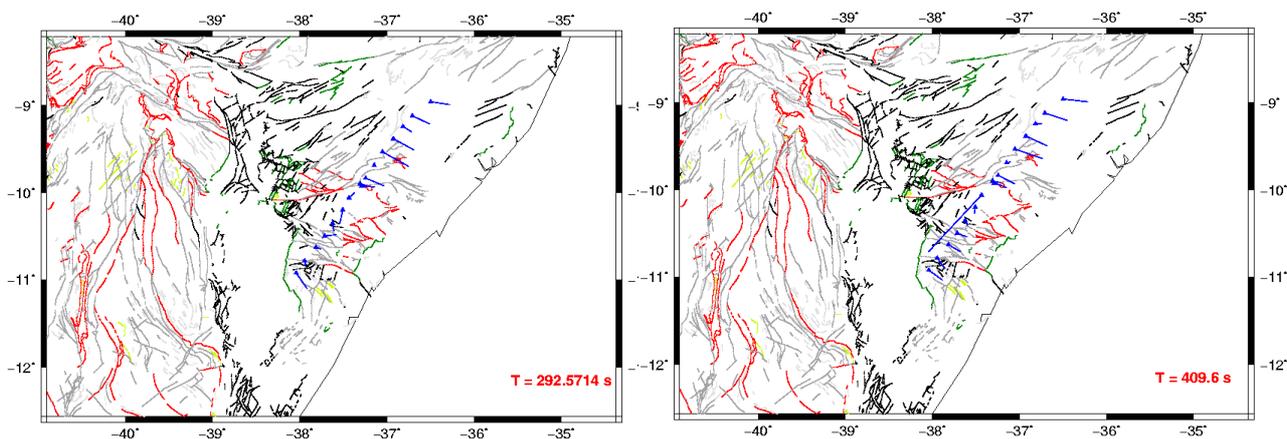


Figura 5. Mapa estrutural da região de estudo com vetores de indução em vários períodos. Desde curtos períodos, quando os vetores apontam para anomalias locais e regionais até longos períodos, quando os vetores apontam na direção do mar.

O *skin depth* é muito importante para a localização da anomalia, pois ele determina a profundidade e/ou o raio de investigação que aproximadamente influencia a direção do vetor de indução. Se o *skin depth* é pequeno, só serão investigadas regiões próximas às estações e quando o *skin depth* é grande, regiões mais distantes serão amostradas pelos vetores.

Anomalias locais são aquelas observadas somente em uma estação. Nos resultados mostrados, observamos que, em períodos curtos, os vetores apontam para essas anomalias, pois suas direções são muito variáveis de uma estação para outra tendo um comportamento individual. Com o aumento do período os dados são cada vez mais influenciados pelo mar. Ou seja, os vetores que antes se comportavam de forma “aleatória” agora apontam todos (ou a maioria) em uma só direção. Em períodos intermediários os vetores são influenciados por anomalias regionais, como as falhas perpendiculares ao perfil e as bacias sedimentares Tucano e Jatobá.

Na transição de curtos para longos períodos, os vetores de indução sofrem uma inversão de sentido (de NW para SE) à medida que o período do sinal aumenta. O que antes apontava para anomalias locais e regionais (causadas pelas bacias e falhas) diminuem sua magnitude até inverterem a direção, apontando no sentido oposto (na direção do mar).

Nas figuras 3(a) a 3(g) as estações 326 e 327 mostram a existência de uma falha entre elas. Seus vetores apontam em direção a esta falha. Ocorre também a influência de mais uma anomalia (falha transversal à linha de estações) situada entre as estações 332 e 333 e ela é enxergada pelos vetores de indução destas estações e das vizinhas (figuras 3(g) a 3(l)). Entre outras.

Os vetores com magnitudes muito grandes são provenientes de ruídos nos dados. Normalmente a magnitude dos vetores fica entre 0,1 e 0,5.

2.5 Demais atividades

Aprofundamento na geologia e no método magnetotelúrico através de leitura de dos seguintes textos, principalmente:

- texto 1 (JARDIM DE SÁ et al., 1992): artigo sobre a geologia da porção sul da Província Borborema e norte do Cráton São Francisco. Importante para a correlação dos meus resultados com a geologia local.

- texto 2 (BIZZI et al., 2003): texto sobre as regiões que o perfil de estações atravessa. Contendo uma descrição detalhada do Maciço Pernambuco-Alagoas, Terreno Canindé-Maranco e Faixa Sergipana.

- texto 3 (MABESSONE, 2002): artigo contendo história da formação da Província Borborema e sua geologia.

- texto 4 (SIMPSON E BAHR, 2005): livro sobre o método magnetotelúrico. Contendo descrição e aplicação dos vetores de indução.

3. Atividades futuras

O próximo passo será a construção de pseudo-seções de resistividade elétrica e fases dos modos XY e YX, seguido de modelagem numérica 3-D dos vetores de indução e das respostas MT. As informações geológicas para a construção dos modelos serão extraídas dos mapas geológicos (parte continental) confeccionados no presente relatório bem como de batimetria do oceano na região adjacente ao perfil MT em questão, permitindo calcular teoricamente o grau de distorção em cada período.

Outra distorção que também será avaliada é o efeito de *static shift* das curvas de resistividade aparente. Para isto, cada curva de resistividade aparente será comparada com as curvas de estações MT adjacentes.

Por fim, os resultados serão interpretados.

4. Bibliografia

SIMPSON, F.; BAHR, K. Practical Magnetotellurics. Cambridge University Press, Cambridge, 2005. 270p.

VOZOFF, K; The Magnetotellurics Method. In: NABIGHIAN. **EM methods in applied geophysics**. 1990. Capítulo 8, p.641-689.

JARDIM DE SÁ, E. F.;MACEDO, M.H.E., FUCK, R. A.;KAWASHITA, K.; Terrenos proterozóicos na Província Borborema e a margem norte do cráton São Francisco, **Revista Brasileira de Geociências**, 1992.

MABESSONE, J. M. História geológica da Província Borborema. **Revista de Geologia**, 2002, Vol.15, p119-129

BIZZI, L.A.; SCHOBENHAUS, C.; VIDOTTI, R.M.;GONÇALVES, J.H. Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil: texto, mapas & SIG – Brasília: CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 2003. 692p.