



Discussão sobre aspectos da locação de poço nos levantamentos de EM-VLF

Nelson Paiva Raulino de Souza^a

Recebido em 08 de julho de 2003 / Aceito em 09 de junho de 2004

Resumo

O método eletromagnético *Very Low Frequency* (EM-VLF) foi introduzido no Ceará em 1992 pela FUNCEME para testar sua resposta na detecção de fraturas para prospecção de água subterrânea. O equipamento respondeu com êxito aos alvos procurados (Leite, 1992), mas alguns aspectos merecem esclarecimentos para não por em dúvida a credibilidade do método.

Esse trabalho tem por objetivo contribuir para o aprimoramento da interpretação e esclarecer conceitos básicos, além de mostrar limitações e aspectos característicos dos levantamentos de EM-VLF. Ele foi motivado também pela maneira como alguns usuários de equipamento conduzem o levantamento geofísico o que leva ao descrédito do método e da ciência geofísica pelo desconhecimento de certas limitações do equipamento/método.

O mérito do trabalho fica por conta da análise dessas limitações, algumas das quais como de difícil solução (como a proximidade de fraturas). São sugeridas também dicas para realização de um bom levantamento. As conclusões tomaram como base o equipamento da ABEM (Wadi) e seu software de interpretação (Sector).

Palavras-Chaves: Geofísica, VLF, Água subterrânea

Abstract

The VLF electromagnetic method was introduced in Ceará in 1992 by FUNCEME to check its answer to detect fractures in groundwater survey. The equipment got good results (Leite, 1992) but some aspects must be clarified to not damage the credit of the method.

This work has the main objective contribute to the improvement to interpretation and clear basic concepts talking about limitations of the EM-VLF method/equipment such as proximity of fractures and the way some users use it in the survey in Ceará. It also gives "quick steps" to produce good results and good field work.

The conclusions were based on the WADI, ABEM VLF equipment, and the SECTOR software.

Keywords: Geophysics, VLF, Groundwater

^aPesquisador Geofísico da FUNCEME, E-mail: nelson@funceme.br

1. Introdução

O Ceará, localizado inteiramente no Nordeste do Brasil, tem, no geral, uma fraca vocação hídrica devido à pouca cobertura sedimentar que se encontra em 75% do seu território e à má distribuição pluviométrica do ponto de vista espacial e temporal. Como a água é vital para a sobrevivência do ser humano, a solução para contornar esse problema tem sido a construção de açudes e barragens e perfuração de poços tubulares e cacimbas. A alternativa a partir de água subterrânea (poços e cacimbas) muitas vezes tem sido a única alternativa mesmo que a qualidade desta água seja imprópria para o consumo humano.

Enquanto açudes e barragens se constituem em interrupções ao longo dos leitos dos rios, a utilização da água subterrânea faz uso de uma etapa prévia que é a sua localização. É nesse ponto que a geofísica desempenha um papel muito importante na tentativa de identificar estruturas capazes de aprisionar a água que porventura venha a passar por ela.

Na tentativa de identificar as estruturas supracitadas, o governo do Estado do Ceará, através da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME) adquiriu um equipamento do método eletromagnético VLF (*Very Low Frequency*) da empresa ABEM em 1992 e caiu em campo em atividades de locação de poço. Destes estudos pioneiros, surgiram os trabalhos de Leite *et al.* (1992) e Leite *et al.* (1994) onde este relata que dos 60 poços perfurados, 87% atingiram vazões acima de 200 L/h sendo a média de 2885 L/h. Estes resultados encorajaram empresas particulares a adquirirem o equipamento, que hoje atuam não só no Ceará, mas também em outros estados do Nordeste. Maiores informações sobre o tratamento de dados EM-VLF utilizados a seguir podem ser obtidos em Karous & Hjelt (1983).

A literatura é unânime em afirmar que nenhum método geofísico é aplicável seguramente em todos os ambientes geológicos. A certeza do alvo pesquisado, no entanto, aumenta quando se aumenta o número de métodos e a utilização de

vários métodos nem sempre é possível, pois encarece o trabalho de prospecção. No caso do EM-VLF, em particular, alguns aspectos permanecem obscuros no tocante a locação de poços.

2. Objetivo

O objetivo principal deste trabalho é discutir a influência de aspectos como, o amortecimento do sinal do transmissor, afastamento da direção ideal de caminhamento e a interferência de anomalias próximas, na locação de poço quando se utiliza o método EM-VLF com o equipamento Wadi e o software SECTOR, bastante utilizados no Estado do Ceará.

3. Fundamentos teóricos

O método EM-VLF utiliza como transmissor uma rede remota de antenas transmissoras de ondas eletromagnéticas, cuja frequência varia entre 15 e 30 kHz, conforme pode ser observado na Fig. 1. Essas antenas nada mais são do que fios verticais percorridos por correntes alternadas e parcialmente enterrados no chão cujo comprimento chega a uma centena de metros e a potência varia de 100 a 1000 kW. Estão localizadas nos seguintes países: Alaska (3), Alemanha (2), China (9), França (4), Guatemala (3), Havaí (15), Índia (5), Itália (2), Japão (12), Noruega (2), Panamá (2), Porto Rico (3), Reino Unido (4), Rússia (8), Turquia (2), Ucrânia (1), USA (42) e Austrália (4) perfazendo um total de 123 estações, das quais apenas 33 (27%) ficam nos países do terceiro mundo (Fig. 2). Todas as antenas ficam no hemisfério norte, exceto as da Austrália: 74 ficam a oeste e 49 a leste do Meridiano de Central de Greenwich.

O equipamento utilizado é grosseiramente dividido em 3 (três) partes: (a) unidade de controle, (b) unidade receptora, que possui uma bobina horizontal e uma vertical que captam campos magnéticos variáveis no tempo, e (c) compartimento de baterias. Como os transmissores estão geralmente localizados a grandes distâncias do Ceará, na ausência de anomalias a componente que chega ao receptor

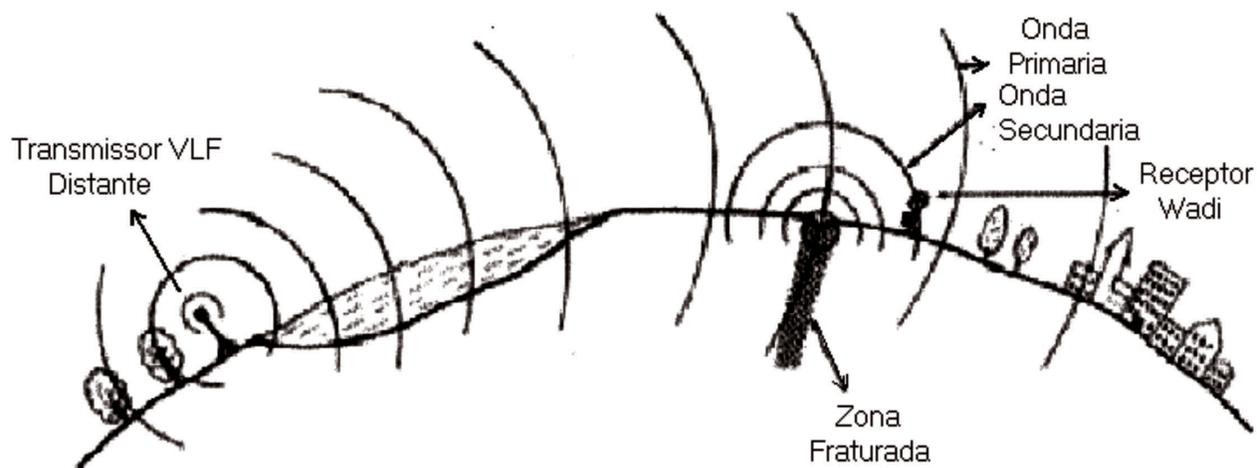


Fig. 01. Desenho esquemático do posicionamento transmissor e receptor de ondas VLF na presença de uma anomalia



Fig. 02. Localização geográfica de alguns transmissores de ondas VLF.

é predominantemente horizontal (campo magnético primário). No entanto, na presença de uma anomalia, surge uma componente na bobina vertical (campo magnético secundário).

Na verdade, essas longas antenas verticais geram grandes círculos concêntricos, cujo campo magnético primário é tangencial a esses círculos (pela regra da mão direita ou Lei de Biot-Savat) e deve estar alinhado com a bobina horizontal para bons levantamentos. Esse alinhamento se faz necessário para que exista um acoplamento máximo e o campo secundário gerado seja também máximo (Fig. 3). As melhores condições

do caminhamento no campo, portanto, são quando a linha que une o transmissor e receptor forma 90° com a linha que se deseja realizar o caminhamento, devido ao acoplamento máximo.

Estando no Ceará, suponha que se deseja fazer um caminhamento na direção E-W para cruzar uma estrutura na direção N-S. Se utilizarmos as estações do nordeste dos Estados Unidos (24,0 kHz, NAA, Maine), estaremos 25° deslocados para oeste da posição ideal. Isso fará com que o campo magnético primário medido seja 90% do máximo. Utilizando as estações do noroeste dos Estados Unidos (24,8 kHz, NLK,

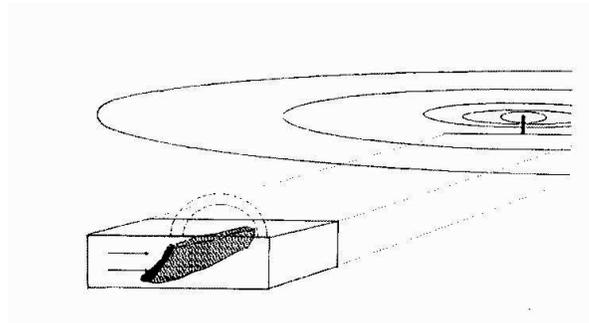


Fig. 3. Condições ideais para um levantamento EM-VLF.

Washington), estaremos deslocados 50° para oeste da posição ideal e o campo magnético primário medido fica em torno de 64% do máximo. Se utilizarmos as estações do Havaí, o campo primário será em torno de 17% do máximo, o que mostra a limitação desse tipo de levantamento quando se utiliza transmissores de terceiros.

A título de comparação para o amortecimento, utilizando-se o campo magnético produzido por um fio vertical, temos,

$$H = I / (2 \pi r)$$

onde “H” é o campo magnético primário, “I” a corrente e “r” a distância entre o transmissor (fio) e um ponto radial qualquer. A 1,0 m de distância do transmissor, o campo magnético será $H_1 = I / (2\pi)$ e utilizando a intensidade desse campo para comparação, a relação de atenuação pode ser vista na Tab. 1.

Tab. 1 - Relação entre a atenuação do campo primário (H_n / H_1) com a distância de afastamento do transmissor:

Distância	Atenuação
10 m	10 vezes menor
100 m	100 vezes menor
1000 km	10^6 vezes menor
Paralelo 45 (NAA)	$6,2 \times 10^6$ vezes menor

4. Modelagem teórica

Em uma modelagem teórica de uma única fratura vertical gerado com o software SECTOR, os gráficos obtidos são: (a) Dados originais, (b) Dados filtrados e (c) Secção Transversal (Fig. 4).

Nos dados originais, a curva real parte de valores próximos de zero para valores máximos positivos, tem uma queda repentina para valores máximos negativos e volta novamente para valores próximos de zero. Os dados filtrados da curva real exibem um único pico positivo e pequenos lóbulos negativos equidistantes do centro da anomalia. A secção transversal de densidade de corrente mostra uma “mancha escura” aproximadamente esférica representando o corpo anômalo.

5. Estudo de caso real

A aparência dos dados de campo dificilmente são iguais aos modelados, sendo muitas vezes bastante diferentes conforme pode ser visto na Fig. 5, devido a presença de fatores desconhecidos, não considerados ou que fogem ao controle do responsável pelo levantamento. A componente real da curva de campo dos dados originais (Fig. 5) possui alguma semelhança com a curva modelada (Fig. 4a), onde vem de valores positivos e passa para valores negativos atravessando o eixo horizontal em torno do ponto 95E. Segundo a teoria, é neste local que deve se localizar a fratura (anomalia). Utilizando dados filtrados e a secção transversal de densidade de corrente para realçar a anomalia, vemos que a coincidência das formas aumenta. Apesar da coincidência, o poço perfu-

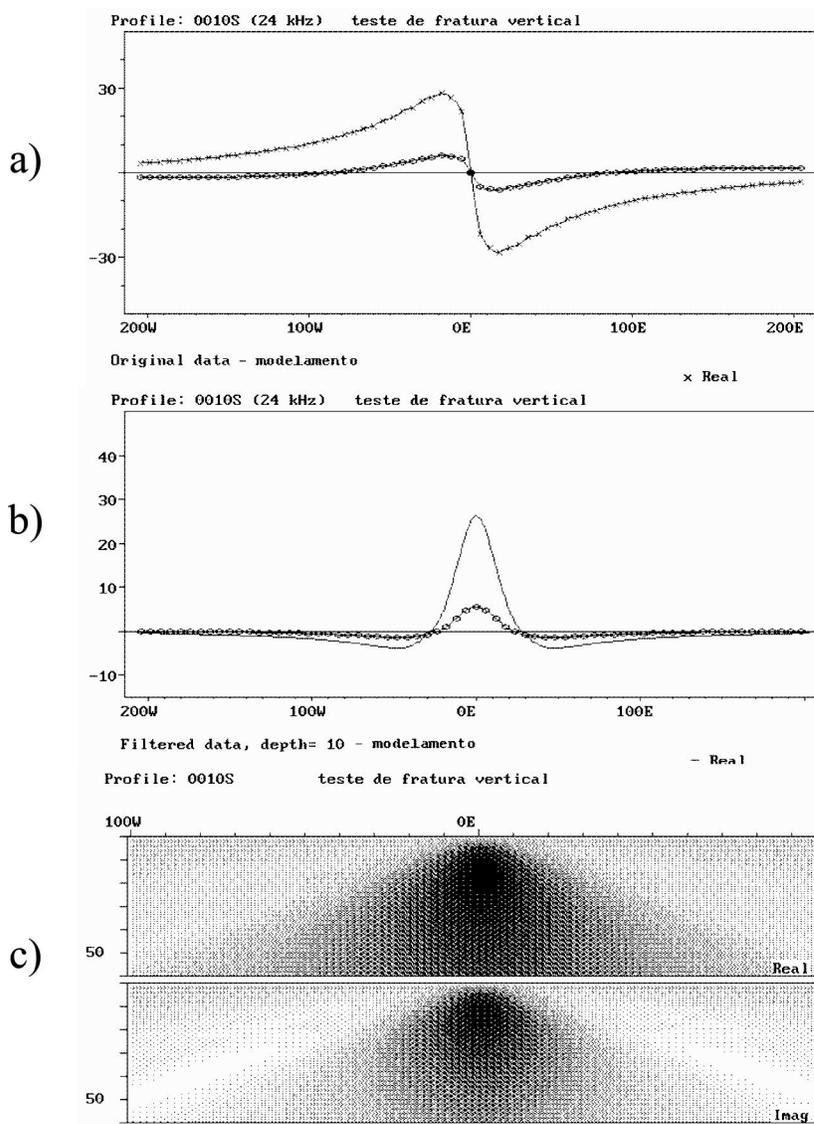


Fig. 4. (a) Dados originais, (b) Dados filtrados e (c) Secção Transversal de um modelo teórico de uma única fratura vertical.

rado na localidade de Baturité-CE e resultou em uma vazão de apenas 400 litros/hora.

6. Distorção pela aproximação de anomalias

A seguir, a partir de levantamentos reais, o arquivo original do software SECTOR (*.wad) foi modificado em 02 (dois) perfis de levantamentos de EM-VLF, onde se pretende mostrar a distorção provocada pela aproximação das anomalias (Figs. 6 e 7).

Na Figura 6, entre duas anomalias de intensidades diferentes foi colocada uma terceira anomalia semelhante a anomalia da esquerda. A

região das zonas anômalas descaracteriza a curva real dos dados originais no que diz respeito à passagem da curva do hemisfério positivo para o negativo (Fig 6a) embora as 03 (três) anomalias sejam ressaltadas no gráfico da curva filtrada (Fig 6b). A “mancha escura” arredondada, característica da parte real da secção transversal de densidade de corrente, ainda pode ser observada.

Na Figura 7, foram inseridas 2 (duas) anomalias de intensidades diferentes entre 2 (duas) outras já existentes (as das extremidades). As duas anomalias inseridas eram semelhantes as já existentes. A descaracterização aumenta ainda

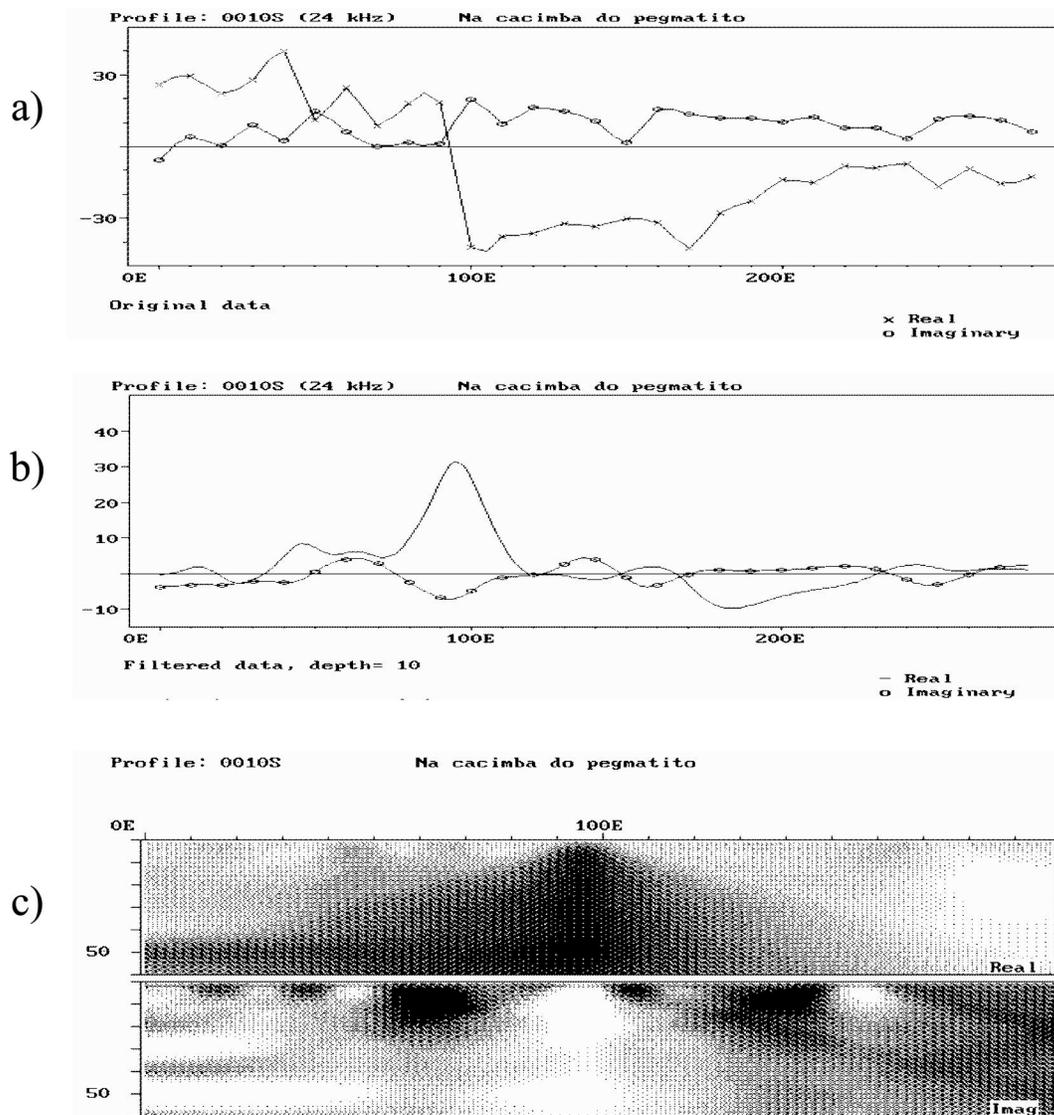


Fig. 5. (a) Dados originais, (b) Dados filtrados e (c) Secção Transversal de dados reais obtidos em Baturité-CE.

mais e o aspecto anômalo da curva original de uma única anomalia torna-se menos evidente. A curva real filtrada (Fig. 7b) mostra 4 (quatro) picos identificando as anomalias mas a secção transversal já apresenta duas “regiões escuras” nas extremidades (parte real) com formato não muito arredondado.

6. Sugestões para um bom levantamento

Para um bom levantamento, a experiência de campo e a teoria nos aconselham a sempre observar o seguinte:

- Fazer um estudo prévio fotointerpretativo e da geologia estrutural da área de modo a se ter

um caminhamento cortando as estruturas mais promissoras;

- Escolher uma estação que permita um acoplamento próximo ao máximo tanto quanto possível;

- Para verificar se existe a possibilidade do registro de ruídos aleatórios indesejáveis, fazer uma tomada de 20 medições com o equipamento parado na mesma estação inicial. Um bom levantamento fornecerá valores semelhantes e próximos ao valor zero o que indica a inexistência de ruídos;

- Promover o caminhamento em uma direção única com a colocação de piquetes regularmente espaçados, se possível;

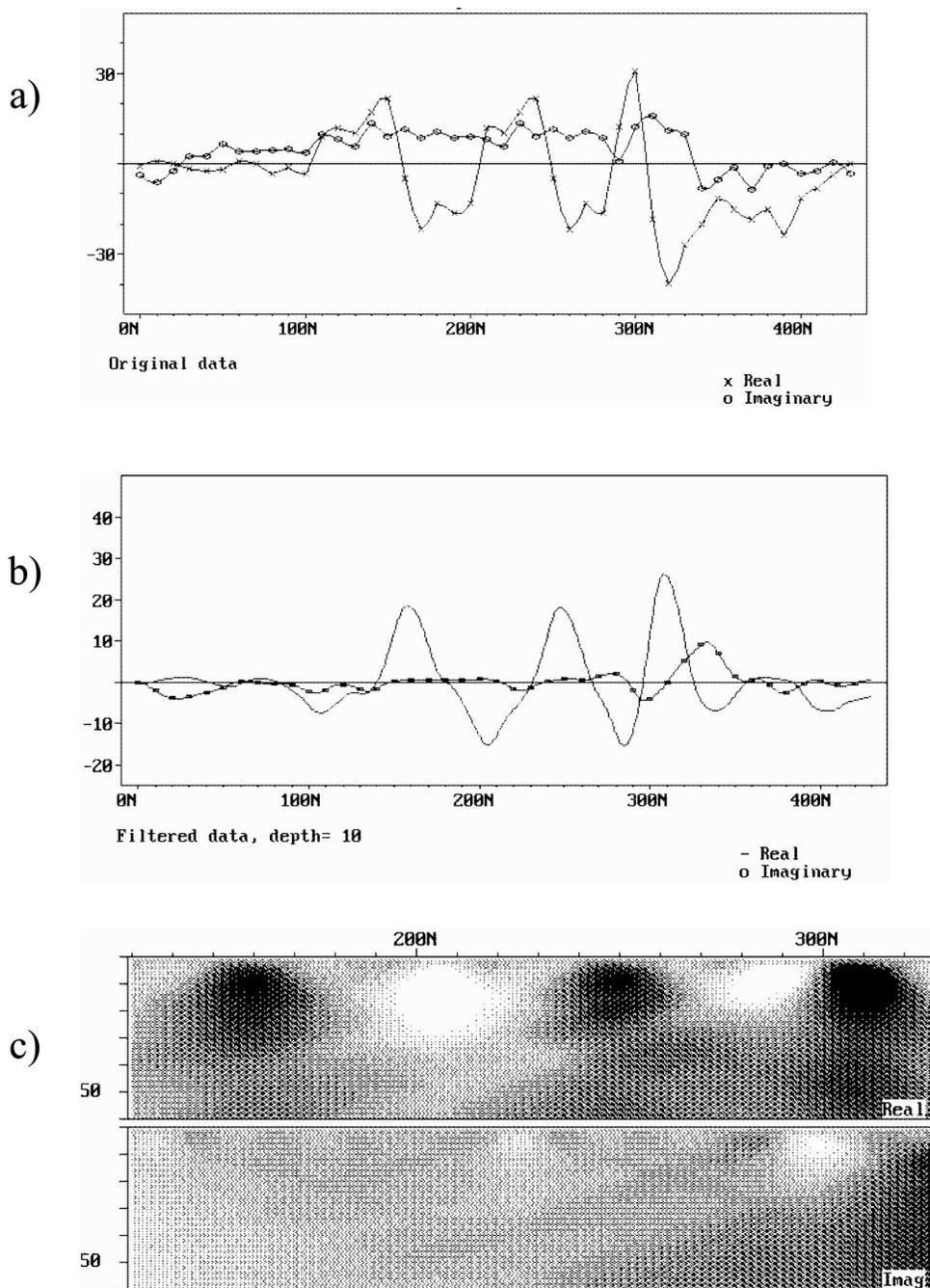


Fig. 6. (a) Dados originais, (b) Dados filtrados e (c) Secção Transversal de dados hipotéticos - Exemplo I.

· Utilizar uma caderneta ou ficha de campo para “anotação referenciada” das informações de interesse (cercas, redes elétricas, estradas, etc).

7. Conclusões

Em relação ao abordado nos itens anteriores, podemos concluir que:

· O método EM-VLF tem limitações na direção de caminhamento, ou seja, à medida que

nos desviamos dos 90° exigidos entre a direção de caminhamento e a linha que une transmissor e receptor, a intensidade do sinal recebido é mais fraca;

· O Ceará possui 2 (duas) direções preferenciais de fraturamentos regionais: NW e NE. É comum que os usuários de equipamentos de EM-VLF realizem caminhamentos na direção E-W utilizando a estação 24.0 kHz (Maine, USA) não satisfazendo plenamente os requisitos de direção;

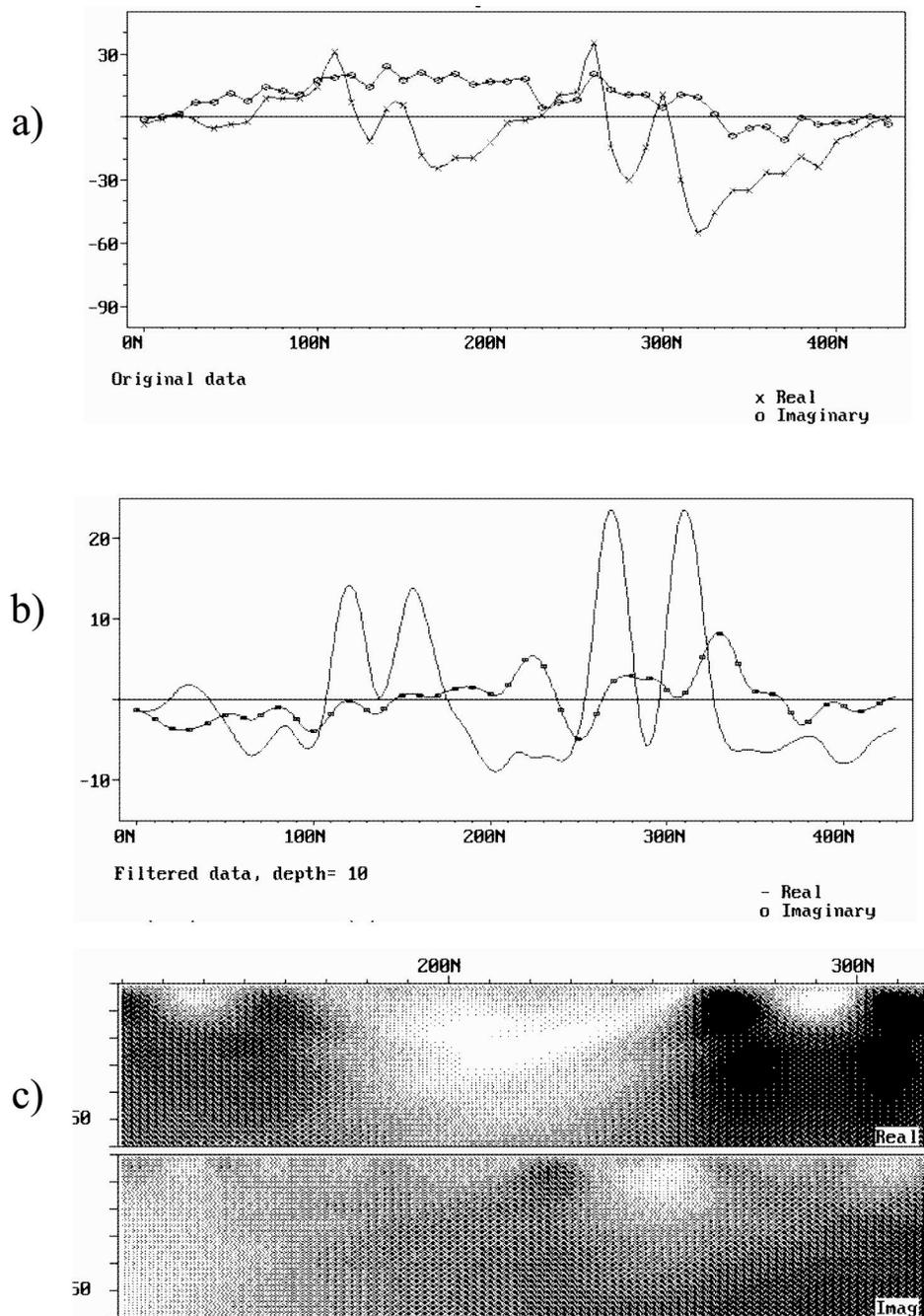


Fig. 7. (a) Dados originais, (b) Dados filtrados e (c) Secção Transversal de dados hipotéticos - Exemplo II.

- A distância entre Fortaleza (Brasil) e Maine (USA) pode amortecer o sinal da ordem de 6 milhões de vezes. Por conseguinte, o sinal de interesse pode ser da ordem do ruído e produzir informações não confiáveis;

- Uma interpretação segura faz-se com base na análise dos 3 (três) tipos de gráfico: dados originais, dados filtrados e secção transversal onde os dados originais devem ser utilizados primeiro como critério de qualidade dos dados

gerados no campo. É comum que os usuários de equipamentos de EM-VLF utilizem apenas os dois últimos;

- Um fator que pode distorcer o padrão bastante conhecido de uma fratura vertical modelada e complicar a interpretação é a existência de outras anomalias próximas. À medida que as anomalias se aproximam, aumenta a dificuldade de interpretação do perfil dos gráficos do Sector.

Quando o objetivo do levantamento for a identificação de fraturas, lembremos que o método identifica um contraste de condutividade elétrica entre a encaixante e o material no interior da fratura. Ao nos reportamos a uma anomalia como uma fratura preenchida por algo condutivo, água, por exemplo, este “algo condutivo” pode não ser a água. Mesmo assim, conduzir uma perfuração fora de uma região anômala reduz as chances de encontrarmos água a quase zero. Como sugestão para aumentar a bagagem do executor do levantamento geofísico, recomenda-se acompanhar a perfuração e registrar (ou pedir ao responsável por ela para fazê-lo) o tempo de penetração da coluna de perfuração. Mesmo um

poço bem locado, este pode resultar em baixas vazões devido a imperícia da equipe de perfuração.

Referências

- Karous, M. & Hjelt, S.E., 1983, Linear Filtering of VLF Dip-Angle Measurements. *Geophysical Prospecting*, **31**: 782 – 794.
- Leite, C.E.S, Andrade, F.C.M., Sales Neto, P. & Cordeiro, W, 1992, Prospecção Hidrogeológica em Rochas Cristalinas Utilizando Ondas VLF. I Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, Recife, **2**: 297 – 306.
- Leite, C.E.S., Cordeiro, W., Sales Neto, P. & Gomes, L. M. A., 1994, Locação de Poços Tubulares Profundos com VLF no Estado do Ceará. VIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, Recife, 329 – 335.



REVISTA DE GEOLOGIA



Assinatura

GARANTA o recebimento dos números da
REVISTA DE GEOLOGIA

FAÇA uma assinatura anual

As instruções encontram-se no site

www.revistadegeologia.ufc.br