

Aplicação do Método "Analytic Signal" no Mapeamento das Soleiras de Diabásio da Região de Fartura (SP-PR)

*Francisco José F. Ferreira/UFPR; Francisco Valdyr da Silva/UFPR; Renata de Paula Xavier Molo/UFPR; Maximilian Forlin/UFPR; Rodolito Stevanato/UFPR; Luiz Fornazzari Neto/UFPR; Paulo César Artur, Paulo C. Soares/UFPR

ABSTRACT

Our purpose in this paper is to show an application of *Analytic Signal Method* on the mapping of superficial and subsuperficial diabase sills, in the region of Fartura (SP-PR), Parana Basin (Brazil). The results obtained from this method, integrated to geological information and ground magnetic surveys, led us to discover probable subsuperficial domic structures, besides delimiting thickness, depth and other geometric and magnetic properties of dikes and sills, through modelling of ground magnetic profiles.

INTRODUÇÃO

O presente trabalho mostra a aplicação do método *Analytic Signal* (Nabighian 1972; Macleod *et al.* 1993) a dados aeromagnéticos residuais de uma área do Projeto Aerogeofísico Botucatu (Paulipetro-Encal 1972), limitada pelas seguintes coordenadas geográficas: 49°00' a 50°00' de longitude oeste e 23°00' a 24°00' de latitude sul. As linhas de voo foram posicionadas na direção N-S, espaçadas de 2000m, e os dados foram tomados a uma altura média de 450m sobre o terreno. Também foram realizados 4 (quatro) perfis magnetométricos terrestres, totalizando cerca de 16km, cujas principais anomalias foram modeladas visando definir as características magnéticas e a geometria dos corpos causadores.

OBJETIVOS

O objetivo principal desta nota é mostrar os resultados obtidos pela aplicação do método *Analytic Signal* como ferramenta de mapeamento das soleiras de diabásio superficiais e subsuperficiais da Bacia do Paraná, na região de Fartura (SP-PR). A partir da interpretação magnética e integração geofísico-geológica, foram selecionadas áreas para levantamentos magnéticos terrestres.

METODOLOGIA

Os dados originais do levantamento aerogeofísico, já corrigidos da variação diurna, nivelados e removidos do campo principal da Terra, foram interpolados segundo uma malha regular de 250x250m, e posteriormente representados em tons de cinza (Figura 1). Para a geração da malha, foi utilizado um programa bidirecional de interpolação, no sentido de contemplar a distribuição espacial da informação (característica dos levantamentos aerogeofísicos). A feição principal observada no mapa magnético residual da Figura 1 dispõe-se segundo NW-SE, sendo constituída por anomalias correspondentes a corpos bidimensionais, reflexo do cerrado enxame de diques básicos do Lineamento de Guapiara (Ferreira 1982). É notável também a definição do Domo de Quatiguá, assim como de outros com assinaturas magnéticas similares, interpretados como situados em subsuperfície (Figura 1). Para localizar e definir os limites dos corpos magnéticos (soleiras de diabásio) em superfície e subsuperfície, foi aplicada a metodologia descrita a seguir, utilizando-se um conjunto de programas de filtragem bidimensional (GEOSOFT™):

• **Análise Espectral** - este tipo de análise tem por objetivo discriminar o sinal das fontes profundas, rasas e ruidos. Os resultados obtidos mostraram que as fontes rasas distribuem-se

entre a superfície e 2km de profundidade, enquanto as profundas situam-se entre 2 e 6km (Figura 2);

• **Aplicação do Filtro Passa-Banda**- considerando-se os objetivos de detecção de corpos magnéticos rasos, aplicou-se este filtro, entre 102 e 788 (1/km), gerando uma malha regular de 250x250m, representada em tons de cinza (Figura 3);

• **Definição dos limites de corpos magnéticos rasos**- para cartografar os limites dos corpos magnéticos foi utilizado o método *Analytic Signal*, de acordo com os seguintes procedimentos:

a) **Sinal Analítico Simples** (Nabighian 1972) - a partir da malha representativa das fontes rasas foi aplicado o método do sinal analítico de acordo com a seguinte expressão:

$$|A(x,y)| = [(\rho M/\rho x)^2 + (\rho M/\rho y)^2 + (\rho M/\rho z)^2]^{1/2} \quad (1)$$

onde: A= amplitude do sinal analítico e M= campo magnético das fontes rasas

b) **Sinal Analítico Precedido da Integração Vertical** (Macleod *et al.* 1993) - a partir da malha representativa das fontes rasas, foi aplicado um filtro de integração vertical. Tomando como base esta última malha, foi aplicado o método do Sinal Analítico de acordo com a expressão (1).

ANÁLISE DOS MAPAS

Nos mapas gerados através das operações (a) e (b), foram selecionadas linhas de contorno representativas dos prováveis limites de corpos magnéticos. Tais limites foram definidos após a análise de diversos perfis e em conformidade com a teoria do método utilizado, a qual evidencia o contorno dos corpos (Figura 4).

Apesar de existirem níveis preferenciais de intrusão das soleiras (formações Ponta Grossa e Irati), a distribuição em profundidade das fontes magnéticas entre a superfície e o embasamento cristalino (Figura 5) impede, através da análise espectral dos fontes rasas, a discriminação dos segmentos de maior concentração dos corpos (Ferreira 1982).

Uma comparação entre as alternativas (a) e (b) e o mapa geológico simplificado de Vieira e Maingué (1972), Figura 6, mostrou que o sinal analítico precedido da integração vertical (Figura 4) definiu melhor as soleiras aflorantes.

INTEGRAÇÃO GEOFÍSICO-GEOLÓGICA

A integração geofísico-geológica permitiu determinar a correspondência das respostas do sinal analítico com os dados do mapa geológico simplificado (diques, falhas e soleiras - Figura 6). Onde afloram as soleiras e diques de diabásio do Lineamento de Guapiara, nota-se no mapa da Figura 4 uma predominância de elevadas amplitudes do sinal analítico, reflexo da concentração de corpos básicos.

A soleira de Quatiguá-Siqueira Campos está truncada por falhamentos normais nos extremos oriental e ocidental (Figura 6). Nesses dois extremos ocorrem anomalias com elevadas amplitudes do sinal analítico (Figura 4). Já a porção central da soleira (encaixada na Formação Teresina) corresponde a baixas amplitudes do sinal analítico, sugerindo eventuais discrepâncias entre esta porção e os extremos oriental e ocidental.

A análise das características geofísicas do sinal analítico das soleiras e diques expostos permitiu inferir também a ocorrência de prováveis estruturas dômicas em subsuperfície, contornadas por corpos magnéticos. Estas estruturas foram assim interpretadas quando se confrontou o mapa geológico simplificado com os mapas geofísicos. Nos segmentos centro-sul e extremo SW da Figura 6, nota-se uma profusão de pequenos diques dispostos aleatoriamente e circunscritos a anomalias circulares dos mapas magnéticos das Figuras 1 e 4. Isto leva à interpretação de que esses diques sem direções preferenciais podem corresponder a cúpulas de estruturas dômicas subsuperficiais. Esta interpretação é reforçada quando se compara a assinatura magnética do Domo de Quatigá com as anomalias dos referidos segmentos (Figura 1). É interessante notar que na região entre os segmentos centro-sul e extremo SW da Figura 6 não existem diques mapeados, predominando aí baixas amplitudes do sinal analítico (Figura 4), assim como um relevo magnético suave (Figura 1).

GEOFÍSICA TERRESTRE

Na tentativa de verificar no terreno as inferências comentadas no item anterior, foram planejados e executados 4 (quatro) perfis magnetométricos cujas localizações são esquematicamente indicadas na Figura 6. Os objetivos propostos para a realização da campanha de campo foram os seguintes: 1) Perfil Fartura - (326 estações/3,2km) - determinar parâmetros geofísicos a partir da resposta magnética da soleira homônima (Figura 7); 2) Perfil Boa Vista-Baianos - (297 estações/5,8km) - averiguar a possível continuidade da Soleira de Fartura em subsuperfície, com base nas elevadas amplitudes do sinal analítico (Figura 8); 3) Perfil Bairro do Gobbo-Olaria São Pedro - (131 estações/2,6km) - calcular a espessura de parte da Soleira de Taquarituba (Figura 9); 4) Perfil Alecrim-Marimbondo - (226 estações/4,5km) - pesquisar variações de espessura da soleira Quatigá-Siqueira Campos, sugeridas por mudanças nas amplitudes do sinal analítico (Figura 10).

Os referidos perfis foram levantados com um magnetômetro de precessão nuclear da *Geometrics*, modelo G816, com espaçamento entre as leituras de 20 em 20m (Figuras 8, 9 e 10) e de 10 em 10m (Figura 7). Eventualmente, foram realizadas leituras com espaçamentos menores (10m e 5m), toda vez que a amplitude do sinal medido entre estações contíguas superasse 200nT. A definição do espaçamento entre as estações levou em consideração as espessuras dos diques aflorantes (entre 1 e 50m) e experiências anteriores com modelagens magnetométricas terrestres (Ferreira 1992). As correções da variação diurna não foram efetuadas devido a pane no magnetômetro de base. Contudo, como as amplitudes das anomalias medidas, em geral, são muito maiores (Figuras 7, 8, 9 e 10) que as correspondentes à variação diurna (± 40 nT), considerou-se que as primeiras não seriam afetadas de modo significativo. Para o cálculo dos valores do campo magnético residual foi removido o valor 23000nT, representativo do campo regional.

Nas modelagens magnéticas dos diques e soleiras de diabásio, realizadas através de conjunto de programas de inversão, foram considerados, além das variáveis geralmente utilizadas para este procedimento (azimute, profundidade, espessura, posição, mergulho e susceptibilidade magnética), o Fator de Koenigsberger e outros parâmetros remanentes como a inclinação e a declinação.

Na impossibilidade de medirem-se estes parâmetros, foram utilizados os dados paleomagnéticos de Raposo e Ernesto (1989) e Raposo (1992). Todas as anomalias indicadas nas figuras 7, 8, 9 e 10 foram modeladas. A título de ilustração, são representadas nas figuras 11 e 12 dois exemplos de modelagens correspondentes a soleira e dique, respectivamente.

CONCLUSÕES

- A aplicação da metodologia do *Analytic Signal* mostrou-se eficaz no mapeamento de corpos magnéticos, tanto em superfície como também em subsuperfície;
- A integração geofísico-geológica permitiu inferir a existência de estruturas dômicas em subsuperfície;
- As modelagens magnéticas, além de possibilitarem a quantificação dos parâmetros dos corpos, ensejaram testar algumas hipóteses baseadas na interpretação dos resultados do sinal analítico.

AGRADECIMENTOS

Os autores do presente trabalho agradecem à PETROBRÁS S.A. a liberação dos dados digitais do Projeto Aerogeofísico Botucatu.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- FERREIRA, F. J. F. 1982. *Integração de Dados Aeromagnéticos e Geológicos: Configuração e Evolução do Arco de Ponta Grossa*. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo (IG-USP), 170p. (inédito).
- FERREIRA, F. J. F. 1992. Estimativas Preliminares dos Graus de Extensão Crustal Associados ao Arco de Ponta Grossa (Brasil) com Base em Modelagens de Perfis Magnetométricos Terrestres. In: *Congreso Geológico de España, 3, Congreso Latinoamericano de Geología*, 8, Salamanca, 21-26 de junho de 1992, Espanha, *Actas*, Tomo 4, p. 329-333.
- MACLEOD, I. N.; VIEIRA, S. B.; CHAVES, A. N. 1993. *Analytic Signal and Reduction-to-the-Pole in the Interpretation of Total Magnetic Field Data at Low Magnetic Latitudes*. In: *Cong. Intern. Soc. Bras. Geofis.*, 3. Rio de Janeiro, 1993, *Abstracts...*, Rio de Janeiro, SBGF, 2: 830-835.
- NABIGHIAN, M. N. 1972. The Analytic Signal of Two-Dimensional Magnetic Bodies with Polygonal Cross-Section: Its Properties and Use for Automated Anomaly Interpretation. *Geophysics*, 37: 507-517.
- PAULIPETRO-ENCAL. 1982. Projeto Aerogeofísico Botucatu. *Paulipetro*, São Paulo. (inédito).
- RAPOSO, M. I. B. 1992. *Paleomagnetismo do Enxame de Diques do Arco de Ponta Grossa*. Tese de Doutorado. Departamento de Geofísica. Instituto Astronômico e Geofísico da Universidade de São Paulo (IAG-USP), 104p. (inédito).
- RAPOSO, M. I. B.; ERNESTO, M. 1989. Rochas Intrusivas Básicas do Arco de Ponta Grossa: Resultados Paleomagnéticos Preliminares. *Rev. Bras. Geoc.*, 19:393-400.
- VIEIRA, A. J.; MAINGUÉ, E. 1972. Mapa Geológico de Semi-Detalhe do Centro e Nordeste do Paraná e Centro-Sul de São Paulo (TG-9). Petróleo Brasileiro S.A. - PETROBRÁS. Relatório 425, Anexo 3 (inédito).
- GEOSOFT™ é Marca Registrada da Geosoft Inc., 1993.

Mapeamento de Soleiras pelo Analytic Signal

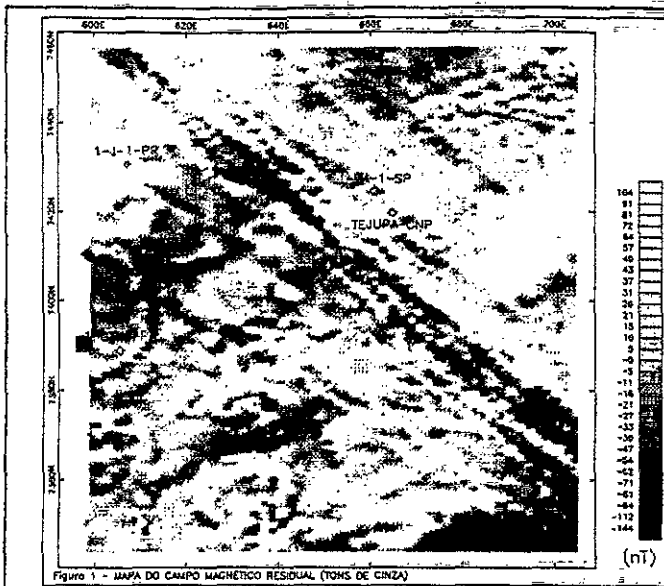


Figura 1 - MAPA DO CAMPO MAGNÉTICO RESIDUAL (TONS DE CINZA)

Figura 2 - ESPECTRO DE FREQUENCIA DO CAMPO MAGNÉTICO RESIDUAL

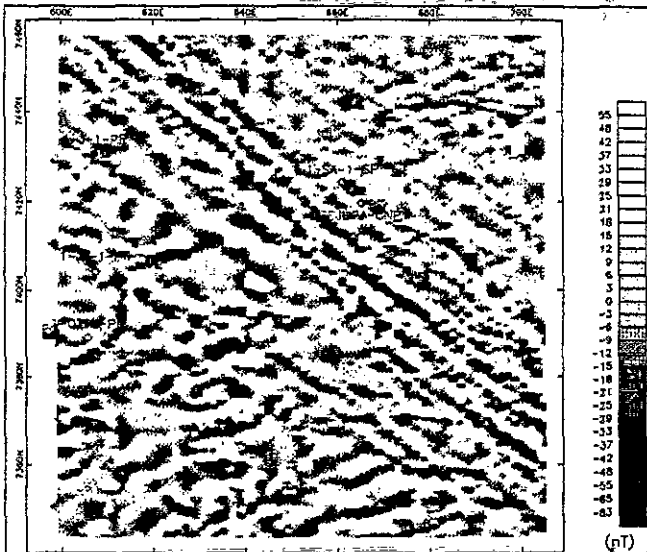
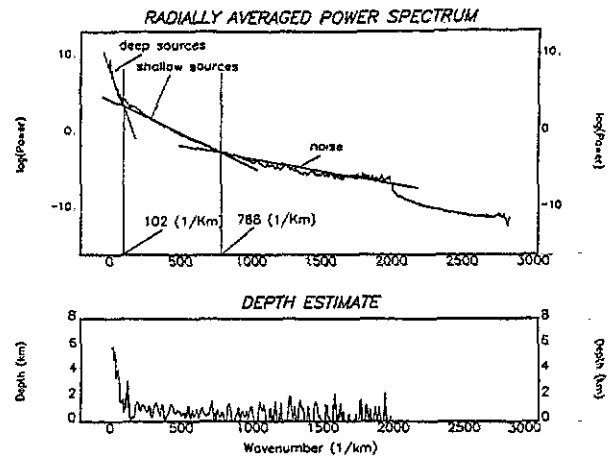


Figura 3 - MAPA DAS FONTES MAGNÉTICAS RASAS (TONS DE CINZA)

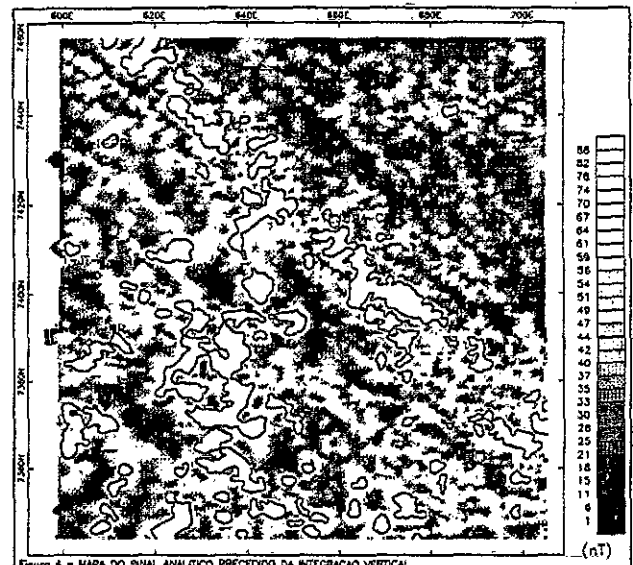


Figura 4 - MAPA DO SINAL ANALÍTICO PRECEDIDO DA INTEGRAÇÃO VERTICAL

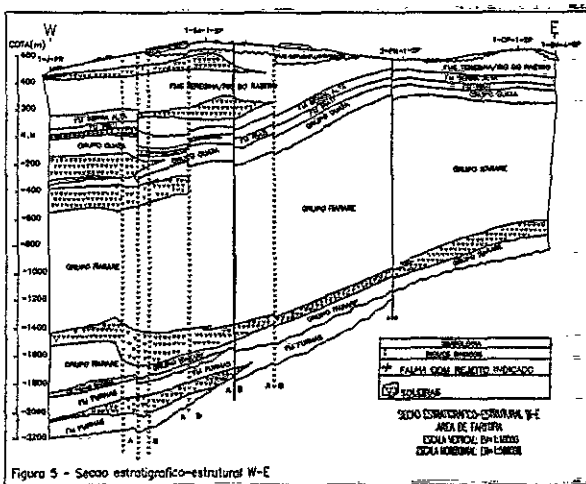


Figura 5 - Seção estratigráfica-estrutural W-E

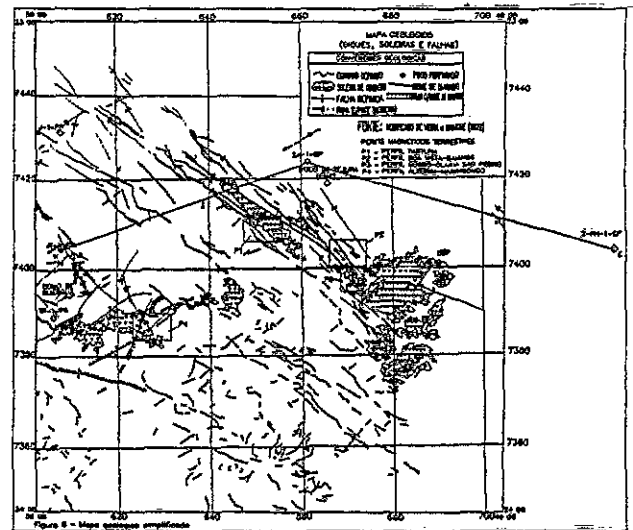


Figura 6 - Mapa geológico simplificado

Mapeamento de Soleiras pelo *Analytic Signal*

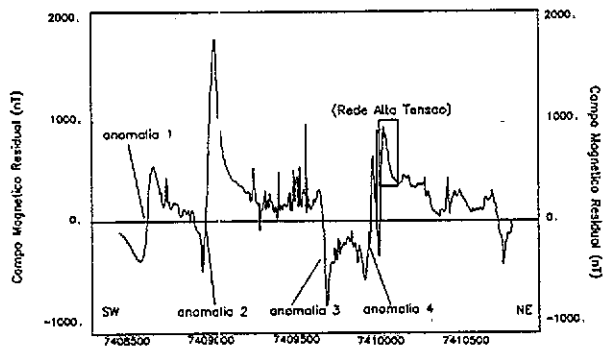


Figure 7 - PERFIL FARTURA
(Linha 001)

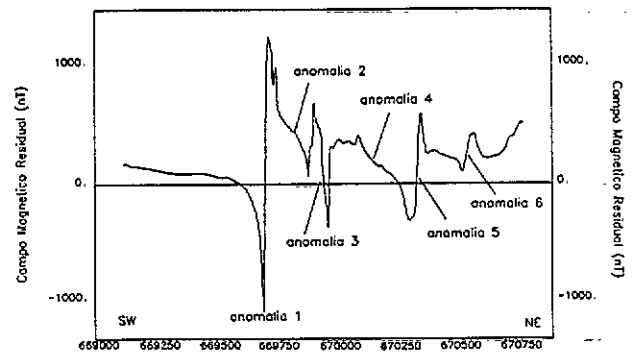


Figura 8 - PERFIL BOA VISTA-BAIANOS P-III
(Linha 002)

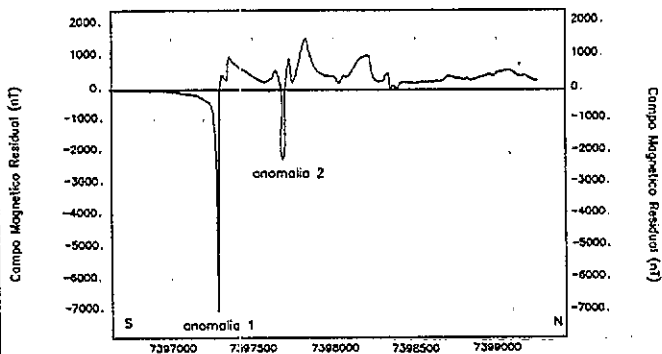


Figura 7 - PERFIL GOBBO-OLARIA S. PEDRO
(Linha 003)

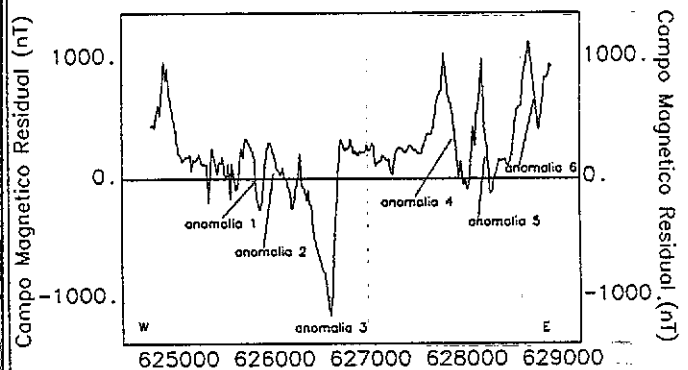
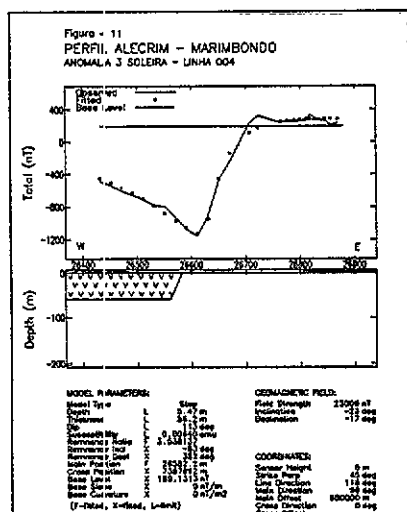
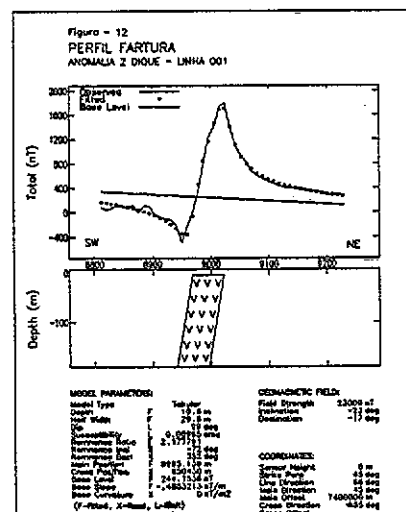


Figura 10 - PERFIL ALECRIM-MARIMBONDO
(Linha 004)



Geonsoft MAGMOD-5 Modeling Result

94/10/14



Geosoft MAGMOD-3 Modeling Results

64710713