



Inversão Aeromagnética Compacta Aplicada ao Corpo Máfico-Ultramáfico de Campo Formoso (BA)

Luiz Geraldo do C. Lucchesi Loures – UENF(1) Jorge Dagoberto Hildenbrand (2)

1-Laboratório de Engenharia e Exploração de Petróleo/Universidade Estadual do Norte Fluminense

2-LASA Engenharia e Prospecções S.A.

RESUMO

O corpo magnetizado associado ao sill máfico-ultramáfico de Campo Formoso (BA), vem sendo alvo da exploração de cromita há várias décadas, constituindo-se em um dos sítios mais promissores para concentração de mineralizações associadas a rochas metabásicas. Considerando os benefícios decorrentes da plena utilização de informações geológico-geofísicas, obtidas em levantamentos aeromagnéticos, conduzidos com elevada taxa de amostragem, buscou-se a caracterização deste sill pela inferência da distribuição de sua susceptibilidade magnética. A caracterização pretendida fez uso de processo de modelagem com uma inversão compacta, o que permitiu minimizar a ambiguidade do problema inverso, através da introdução qualitativa de informações geológicas. O processo de inversão aplicado atingiu resultados favoráveis para o ambiente geológico em questão, evidenciando, por um lado, boa resolução e estabilidade matemática satisfatória, e, por outro, a grande dependência que mantêm com a qualidade das informações geológicas disponíveis.

INTRODUÇÃO

O problema geofísico inverso é geralmente caracterizado como mal posto, de forma que distintas maneiras de minimizar este problema têm sido desenvolvidas. Alguns trabalhos propõem a diminuição da demanda de informações (Backus e Gilbert, 1967 e Parker, 1974), enquanto outros através de introdução de informações *a priori*, restringem as soluções a um espaço limitado, garantindo maior estabilidade. O método de regularização de Tikhonov (Tikhonov, 1963) trata desta questão introduzindo informações qualitativas relativas à distribuição espacial da propriedade física no subespaço. Estas informações são introduzidas no processo matemático através de um funcional estabilizante, sujeito a vínculos com os dados geofísicos. Dentre os vários funcionais desenvolvidos, alguns se referem a informações adicionais, como por exemplo, a suavidade na variação espacial dos parâmetros, a máxima compacidade das fontes, a simetria das massas, o menor momento de inércia e a orientação conforme determinados trends.

O corpo ultrabásico de Campo Formoso corresponde a um sill inclinado que possui atitudes conhecidas. A informação geológica da orientação aproximada deste corpo pode ser traduzida fisicamente como um eixo ao longo do qual se concentra o material magnético. Matematicamente esta informação pode ser introduzida como um funcional que minimize o momento de inércia relativo a um determinado eixo, o que representa a posição (strike) e mergulho do sill. Com a inclusão de novos dados geológicos de subsuperfície, obtidos a partir de furos de sondagem, por exemplo, melhores resultados poderão ser alcançados. É conhecido que bandas de magnetita ocorrem ao longo das mineralizações de cromita, gerando concentrações anômalas de material magnético dentro do pacote de metaultrabásicas.

GEOLOGIA DA ÁREA E CARACTERÍSTICAS DO CAMPO MAGNÉTICO

A Figura 1 ilustra a geologia ao redor do corpo conhecido como Sill Máfico-ultramáfico de Campo Formoso.

O sill de Campo Formoso mergulha entre 50° e 80° para sul, no lado oposto ao do granito de mesmo nome. Diversos garimpos e algumas das minerações organizadas de cromita, que existem na região, estão associados a anomalias magnéticas de frequência relativamente elevada. O corpo granítico, que faz contato com o sill, a norte, apresenta fraca resposta magnética, do mesmo modo que as rochas da sequência clástica do Grupo Jacobina e os ortognaisses do Complexo Mairi, situados no seu extremo sul.

O campo magnético local possui intensidade de 24.961 nT, inclinação de -20°04' e declinação de -22°03', estando representado na figura 2.



Figura 1: Geologia na região de Campo Formoso (BA), mostrando os domínios do Sill Máfico-Ultramáfico de Campo Formoso.

METODOLOGIA

Considerando como modelo um semi-espaço (2D), dividido em células de tamanho regular que possuem magnetização uniforme em seu interior. A estimativa da susceptibilidade magnética para cada uma destas células é um problema inverso linear, do tipo: $\mathbf{f} = \mathbf{A}\mathbf{p} + \boldsymbol{\varepsilon}$, sendo \mathbf{f} um vetor de dimensão N , contendo o campo magnético medido; \mathbf{A} uma matriz de dimensão $M \times N$, representando a função de Green; \mathbf{p} um vetor contendo a susceptibilidade magnética de cada célula (os parâmetros a serem estimados), de dimensão M ; $\boldsymbol{\varepsilon}$ representa os erros contidos nas observações. Na matriz antes mencionada N é o número de observações e M o número de células em que foi subdividido o semi-espaço.

A metodologia para introdução de informação *à priori*, inerente ao método de regularização de Tikhonov, adotada neste estudo, foi apresentada por Barbosa e Silva (1994), em artigo que trata da reconstituição gravimétrica compacta por meio da incorporação de informação referente à compacidade das fontes gravimétricas, dispostas ao longo de um ou de vários eixos. Este problema se reduz à minimização de $H(\mathbf{p})$, sujeito à norma euclidiana de $d(\mathbf{A}\mathbf{p}, \mathbf{g})$:

$$M(\mathbf{p}, \mathbf{f}) = d(\mathbf{A}\mathbf{p}, \mathbf{g}) + \lambda(\delta) H(\mathbf{p}).$$

Sendo o funcional estabilizante dado por:

$$H(\mathbf{p}) = (\mathbf{p} - \mathbf{p}^0)' \mathbf{W}\mathbf{p} (\mathbf{p} - \mathbf{p}^0),$$

e estando sujeito a:

$$d(\mathbf{A}\mathbf{p}, \mathbf{g}) = (\mathbf{f} - \mathbf{A}\mathbf{p})' \mathbf{W}\mathbf{e} (\mathbf{f} - \mathbf{A}\mathbf{p}),$$

onde \mathbf{p}^0 é um vetor de dimensão M , $\mathbf{W}\mathbf{p}$ e $\mathbf{W}\mathbf{e}$ são matrizes diagonais, positivo definido, nos espaços de parâmetros e de observações respectivamente.

O momento de inércia em relação a um eixo, que no caso representa a direção do sill, será o somatório dos momentos de inércia de todas as M células do modelo, o que poderá ser dado por:

$$I = \sum P_j + V_j (K_j + d_j); \quad j=1, m,$$

sendo V_j a área da j -ésima célula; K_j um fator geométrico de cada célula; d_j , a distância entre a célula e o eixo de referência. Seguindo estes conceitos os elementos da matriz $\mathbf{W}\mathbf{p}$ são definidos como:

$$W_{pj} = I_j / (|P_j| + \delta), \text{ sendo } \delta \text{ um valor muito pequeno.}$$

Segundo Last e Kubrik (1983), os efeitos de ruídos existentes nas observações serão levados em conta na matriz $\mathbf{W}\mathbf{e}$, cujos elementos da diagonal principal serão dados por:

$$(1/\mathbf{W}\mathbf{e})_{ii} = \sigma (\mathbf{A} \text{ inv}(\mathbf{W}\mathbf{p}) \mathbf{A}')_{ii}, \text{ sendo } \sigma \text{ a estimativa da variância do ruído ao quadrado.}$$

Para evitar que as fontes formem uma linha ao longo do eixo, com sua magnetização tendendo ao infinito, será imposta à solução um valor máximo de susceptibilidade. Tal valor é compatível com a susceptibilidade de materiais altamente magnéticos encontrados na crosta terrestre. A mesma imposição é feita em relação ao limite mínimo de susceptibilidade (mínimo=0,0) dos materiais não magnéticos presentes.

TESTE COM DADOS SINTÉTICOS

Inicialmente foram conduzidos testes de modelagem com dados sintéticos, onde foram variados alguns dos parâmetros

inseridos na formulação descrita acima. Nesta situação foi usado um corpo que representasse a forma do sill de Campo Formoso. Este modelo foi submetido ao ambiente de um campo magnético semelhante ao da região estudada. Para isto foi calculada a anomalia de um corpo magnético bi-dimENSIONAL, acrescido de ruído gaussiano, de média zero, submetido a um campo magnético sem magnetização remanente com as seguintes características: intensidade 24.961 nT; inclinação -20° ; declinação -23° . O cálculo envolveu o algoritmo de Talwani.

O semi-espaço foi dividido em células de 100 m x 50 m e o modelo idealizado correspondeu a um sill composto por duas bandas, com valores de susceptibilidade de 0,002 e 0,005 (c.g.s). Os resultados obtidos mostraram-se satisfatórios. A metodologia resolveu o problema de instabilidade mostrado pelos mínimos quadrados simples. A informação referente à orientação do corpo foi de vital importância para a estabilização.

MODELAGEM DO SILL DE CAMPO FORMOSO

O processo foi aplicado em dados registrados em linhas de vôo dispostas perpendicularmente ao sill e coletados a uma altura que variou entre 90 e 130 m sobre o terreno. O espaçamento de amostragem ao longo das linhas foi de aproximadamente 7 m. O campo magnético observado ao longo de uma linha de vôo está representado na figura 3.

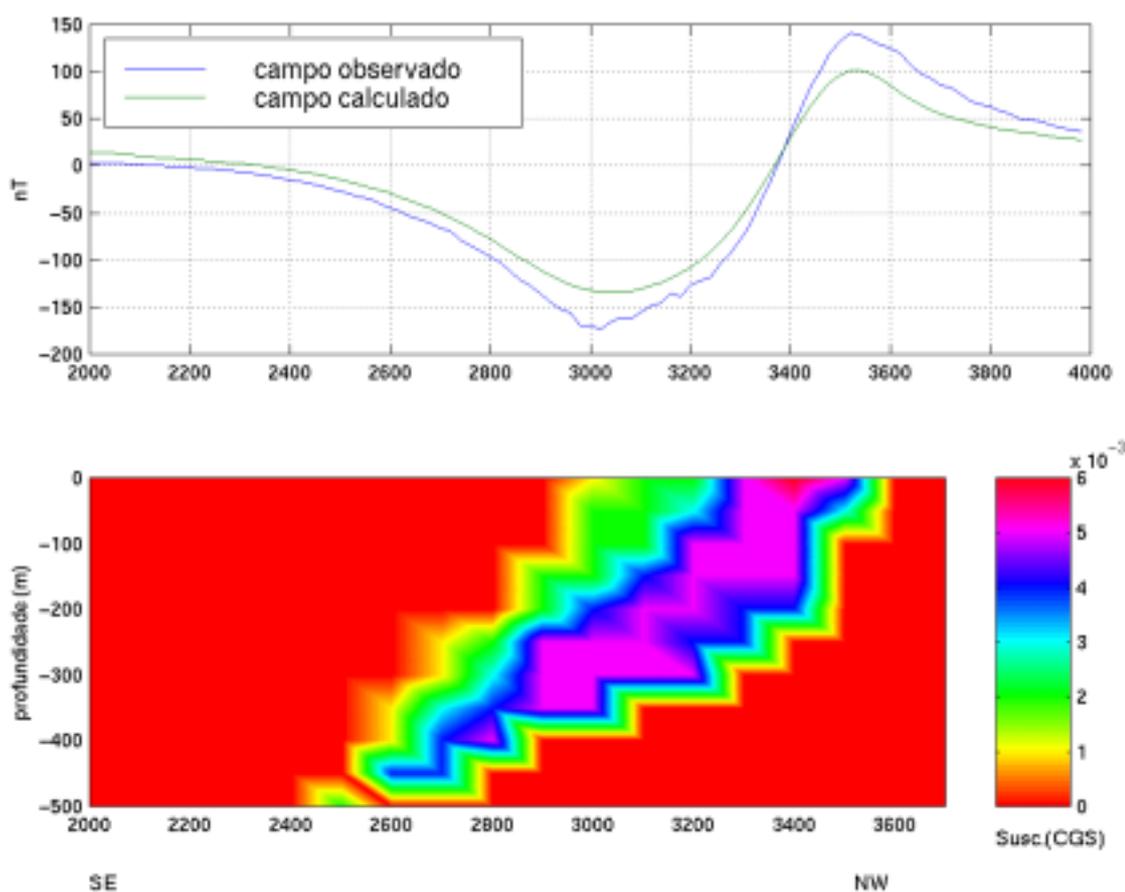


Figura 3: Acima o campo magnético observado e o campo magnético calculado a partir da susceptibilidade magnética estimada. Abaixo a distribuição de susceptibilidade magnética estimada por um estimador que minimiza o momento de inércia em relação a uma aproximação da direção de mergulho do corpo ultramáfico, vinculado pelos dados observados.

O semi-espaço foi discretizado em células de 100 m x 50 m, mostrando boa estabilidade numérica. A susceptibilidade magnética ficou restrita ao intervalo de 0,000 a 0,005 (c.g.s). O modelo estimado se ajustou adequadamente ao campo observado. Nestes perfis, foi usado um eixo que passou pelo centro da anomalia magnética, mergulhando 60° para sul.

Um modelo estimado para a distribuição de susceptibilidade magnética a partir de uma das linhas de vôo está representado na figura 3, juntamente com o campo magnético residual observado ao longo da linha e da anomalia calculada a partir da estimativa de \mathbf{p} .

Conclusões

O uso de informações geológicas obtidas no campo, tais como a atitude das camadas e as medidas de propriedades físicas (susceptibilidade magnética, por exemplo), realizadas *in situ* ou em laboratório, permite restringir o espaço de soluções no problema inversão geofísica tornando-o mais estável. Ressalte-se, entretanto, que a qualidade das informações geológicas é de vital importância para a produção do modelo e para confiabilidade das soluções.

Foi possível construir um modelo para o corpo magnetizado de Campo Formoso, utilizando-se de informações geológicas gerais, tal como a que diz respeito à direção de mergulho do corpo. A resolução do modelo será ampliada na medida em que forem incorporadas novas informações geológicas de campo, oriundas de levantamentos de superfície e de trabalhos de sondagens, capazes de atender a novas demandas de informações geológicas que representem diferenciações dentro do corpo magnetizado,

Referências Bibliográficas

- Backus, G. E., e Gilbert, F., 1967, *Numerical application of a formalism for geophysical inverse problems: Geophys. J. Roy Astr. Soc.*, 13, 247-246.
- Barbosa, V. C. F. and Silva, J. B. C., 1994, *Generalized compact gravity inversion: Geophysics*, 59, 57 – 68.
- Grant, A. and West, G. F., 1965, *Interpretation theory in applied geophysics: McGraw-Hill Book Co.*
- Parker, R. L., 1974, *Best bounds on density and depth from gravity data: Geophysics*, 39, 644-649.
- Secretaria das Minas e Energia – 1978 – *Mapa Geológico do Estado da Bahia, escala de 1:1.000.000, Salvador – BA.*
- Tikhonov, A. N., 1963, *Regularization on ill-posed problems: Doklady Acad. Nauk, SSSR*, 153, 49-52.
- Last, B. J. and Kubick, K., 1983, *Compact gravity inversion: Geophysics*, 48, 713-721.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a CBPM, em particular ao seu presidente, Dr. Umberto Costa, pela sessão dos dados que possibilitaram a elaboração deste artigo.