

Resultados de Gradiometria Magnética Comparados às Derivadas do Campo Magnético Anômalo em Sítio Controlado da Polícia Federal - SITCRIM

Paulo Henrique Praça de França, Instituto de Geociências - UnB

Welitom Rodrigues Borges, Instituto de Geociências - UnB

Marcelo de Lawrence Bassay Blum, Instituto Nacional de Criminalística - DPF

Copyright 2013, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation during the 13th International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Rio de Janeiro, Brazil, August 26-29, 2013.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 13th International Congress of the Brazilian Geophysical Society and do not necessarily represent any position of the SBGf, its officers or members. Electronic reproduction or storage of any part of this paper for commercial purposes without the written consent of the Brazilian Geophysical Society is prohibited.

Abstract

This research has the objective to analyze and elaborate magnetic derivative maps from part of the Brazilian Federal Police Test Site (SITCRIM). Gradiometric maps were elaborated as well as maps of the analytic signal and of the vertical and horizontal derivative. They were generated using obtained data from the magnetic gradiometer and also by anomalous magnetic field obtained after IGRF and daytime variation correction. These maps were compared among each other between themselves with the objective of discussing and observing their differences. The final results revealed both provided significantly similar outcome.

Introdução

O Sítio Controlado de Criminalística (SITCRIM) do Instituto Nacional de Criminalística da Polícia Federal tem como objetivo o desenvolvimento de técnicas periciais de geofísica forense através de métodos indiretos. Situa-se em terreno da Polícia Federal em Brasília, cerca de 8 Km² do centro da capital. Compreende uma área de 625 m² (Figura 1), onde foram escavadas seis trincheiras (BLUM & RUSSO, 2012; Figura 2), nas quais se enterrou objetos comumente relacionados a locais de crime.



Figura 1 - Área de estudo (quadrilátero vermelho).

Alguns trabalhos acerca de investigações de crimes através de métodos indiretos já foram publicados (BLUM, 2007). Afim de investigar e entender melhor como se comportam as técnicas de geofísica na esfera forense,

houve a necessidade de criar uma área de estudo onde se obtivesse a maior quantidade de dados controlados possíveis. A criação de um sítio controlado para estudos de geofísica forense é pioneiro em instituições policiais no Brasil.

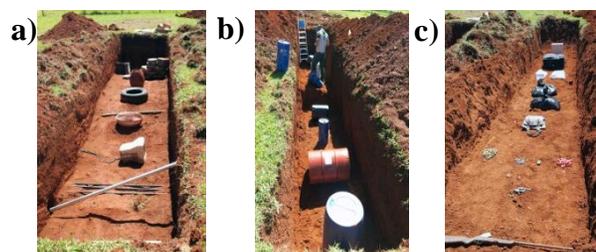


Figura 2 - Fotografias da instalação de alvos em trincheiras escavadas no local do SITCRIM. a) trincheira com barras de aço, tubulações, pneu tijolos entre outros. b) trincheira com tonéis de metal e plástico. c) trincheira com materiais do tipo munição, revólver, espingarda, simulações de drogas e papel moeda, etc.

Este trabalho tem como objetivo comparar duas técnicas de aquisição de magnetometria terrestre e, assim, analisar suas diferenças. Um através do Campo Magnético Anômalo e outro através do gradiente.

Metodologia

A magnetometria consiste em investigar a subsuperfície com base nas anomalias do campo magnético da Terra, resultantes das propriedades magnéticas dos materiais. O levantamento magnético tem uma ampla variedade de aplicações: as de grande escala, realizadas para investigar estruturas geológicas regionais, e as de pequena escala, para engenharia, arqueologia ou forense que detectam objetos metálicos enterrados (Kearey, 2002).

De acordo com Boyd, (1999 apud Pinto, 2005, p. 18) uma das primeiras utilizações do método magnético foi para a prospecção de depósitos de Ferro (Fe) em 1640 na Suécia. Tal método consistia na observação das variantes da declinação magnética com bússolas náuticas. Depois, este método foi aperfeiçoado com a confecção de novos instrumentos capazes de medir variações das componentes vertical e horizontal do campo magnético e da sua inclinação. Estes instrumentos são chamados de magnetômetros.

Um dos instrumentos utilizados para medir o campo magnético neste trabalho foi o Gradiômetro de Precessão de Prótons, modelo da GemLink (Figura 3). Seu funcionamento consiste em dois sensores de prótons que contém um líquido rico em átomos de hidrogênio envolto

por uma bobina. Os núcleos de hidrogênio agem como pequenos dipolos que normalmente se alinham paralelo ao campo magnético. A bobina é submetida a uma corrente que juntas, geram um campo magnético de intensidade superior ao campo geomagnético, e em uma direção diferente, fazendo com que os prótons se realinhem nessa nova direção. A corrente é então desligada, de modo que o campo polarizado seja rapidamente removido. Os prótons retornam ao seu alinhamento original com o campo geomagnético por precessão, levando de 1 a 3 segundos para retornar a sua orientação original (Kearey, 2002).

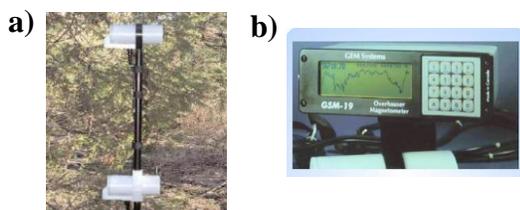


Figura 3 - Fotografia do Gradiômetro GemLink. a) Sensores superior e inferior. b) Unidade de controle.

Foi utilizado também o Magnetômetro Vapor de Césio, modelo G-858 da marca Geometrics (Figura 4) pertencente ao Departamento de Polícia Federal, como estação base. Este possui uma precisão significativamente maior que os outros tipos de magnetômetros. Eles são constituídos de uma célula de vidro contendo um metal alcalino evaporado, nesse caso, o césio. Nesses átomos alcalinos, há elétrons de valência divididos em dois níveis de energia, 1 e 2. Um comprimento de onda de luz energizante é selecionado para excitar os elétrons do nível 2 para o nível 3, mais alto, processo chamado de polarização. Os elétrons no nível 3, são instáveis e decaem espontaneamente de volta para os níveis 1 e 2. Com isso, o nível 1 torna-se bastante povoado às expensas do nível 2, cuja população diminui. A diferença em energia entre os níveis 1 e 2 é proporcional à intensidade do campo magnético ambiente. O comprimento de onda correspondente à diferença de energia entre os níveis 1 e 2 despolariza a célula que é uma medida da intensidade do campo magnético. A despolarização é extremamente rápida, de modo que as leituras são, de fato, instantâneas. A sensibilidade desse magnetômetro pode chegar a $\pm 0,01$ nT (Kearey, 2002).

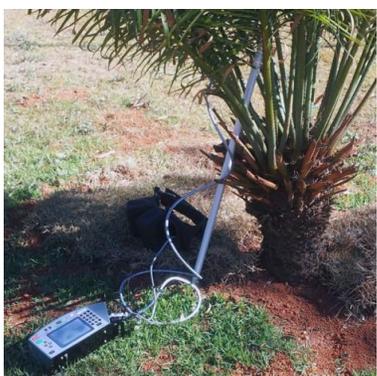


Figura 4 - Fotos do Magnetômetro G-858 Geometrics

Metodologia de Filtragem e Redução dos dados

Aos dados adquiridos foram aplicadas algumas rotinas de filtragem e redução dos mesmos. Rotinas explicitadas abaixo.

Correção da Variação Diurna: ao longo do dia ocorrem variações na intensidade do campo magnético terrestre causadas por ventos solares, onde observa-se picos no valor da intensidade ao meio dia. Essa correção se faz necessária para eliminar a variação do campo que ocorre durante o tempo decorrido na aquisição.

Redução do International Geomagnetic Reference Field (IGRF): programa de cooperação internacional relacionado com as variações seculares do campo magnético terrestre. Com a retirada do IGRF, o campo resultante pode ser considerado como proveniente das fontes crustais acima da superfície Curie, e é dito constituir o campo anômalo o qual representa as assinaturas anômalas que se quer estudar em geofísica aplicada (Blum, 1999).

Derivada Horizontal: são usadas no intuito de realçar os gradientes horizontais e, por conseguinte, as possíveis fontes das anomalias representadas. São aplicadas para criar imagens sombreadas em alguns algoritmos como o sinal analítico (Blum, 1999).

Derivada Vertical: amplifica a informação de comprimentos de ondas curtos em detrimento dos comprimentos longos. Geralmente a primeira ou a segunda derivada acentuam os gradientes nas bordas de corpos magnéticos rasos. Pode ser aplicado para remover o ruído de número de onda grande (Blum, 1999).

Amplitude do Sinal Analítico: permite realçar a geometria de uma anomalia magnética. Contudo, esse processo realça as estruturas mais superficiais.

Dada a função real $x(t)$, chama-se sinal analítico a função complexa:

$$c(t) = x(t) + iy(t)x(t)$$

onde $y(t)$ representa a função quadratura de $x(t)$. Para dados discretos, a função $y(t)$ pode ser obtida como:

$$y(t) = h(t) * x(t)$$

onde $h(t)$ representa o operador de Hilbert. Operador discreto definido pela fórmula:

$$h(t) = \begin{cases} -\frac{2}{t\pi}, & t = \pm 1, \pm 3, \pm 5, \dots \\ 0, & t = 0, \pm 2, \pm 4, \dots \end{cases}$$

A convolução de $h(t)$ com uma função qualquer produz um deslocamento de fase igual a 90 graus, em todas as frequências, sem alterar o espectro de amplitude. (Taner et al., 1979).

Aquisição Teste

Primeiramente, verificou-se a eficiência do equipamento e do método a ser realizado no SITCRIM com uma aquisição teste na Universidade de Brasília.

Foram realizadas com o gradiômetro medidas em apenas um perfil perpendicular a um duto de metal enterrado.

Utilizou-se dois sensores idênticos, espaçados a uma distância fixa de 50 centímetros um do outro. O sensor inferior estava a um metro de distância do solo. As medidas foram obtidas com os sensores posicionados verticalmente, horizontalmente e perpendicularmente ao perfil. Com esse gradiômetro, é possível obter, através da medida nos dois sensores, o campo total e o gradiente dado pela fórmula abaixo.

$$\text{Gradiente}(nT/m) = \frac{\text{Sensor Inferior } (nT) - \text{Sensor Superior } (nT)}{\text{Distância entre os sensores } (m)}$$

Obteve-se 120 medidas, 40 na posição vertical, 40 horizontal e 40 perpendicular, espaçadas a meio metro de distância ao longo de um perfil de 20 metros.

Adquiridos os dados, fez-se a redução e filtragem deles. Apenas a correção do IGRF foi realizada, pois não foi necessária a correção da variação diurna, já que a aquisição não durou mais que 10 minutos, e não ocorre uma variação significativa da intensidade do campo magnético terrestre.

O valor do IGRF (2010) de acordo com a latitude e a longitude do local é de aproximadamente 23548,53 nT. Através da correção do IGRF obteve-se o Campo Magnético Anômalo (CMA).

$$CMA = \text{Campo Total } (nT) - \text{IGRF } (nT)$$

Com o valor do CMA de cada componente do campo, foi possível obter o sinal analítico, a derivada vertical e a derivada horizontal do CMA.

Aquisição dos Dados

Os procedimentos no SITCRIM se deram da mesma forma que na aquisição teste. Porém naquele foram utilizados dois magnetômetros, sendo um, dessa vez, como estação base.

O primeiro procedimento foi sincronizar os horários dos dois magnetômetros. Após a sincronização, o magnetômetro Geometrics foi posicionado como estação base fixa em um local próximo à área do sítio durante o levantamento. O equipamento foi configurado para realizar medidas do campo magnético total num intervalo de 0,5 segundo, auxiliando, assim, o cálculo da variação diurna.

Apesar da área ser bastante ruidosa, com o gradiômetro realizou-se apenas uma medida por ponto, pois o equipamento fornece a precisão da medida mostrando a razão sinal ruído. O nível de ruído é fornecido pelo equipamento que, quando está configurado no modo gradiômetro, deve ser fornecido um valor de 99. Para medidas menores que essa, recomenda-se repetir a medida.

Foram feitos no total 16 perfis espaçados a um metro de distância ao longo de três trincheiras. O espaçamento entre as medições foram de 50 centímetros, o que resultaram em 28 medidas por perfil. Duas trincheiras são de 15 metros de comprimento por 3 metros de largura, enquanto a outra trincheira possui 10 metros de comprimento por 3 metros de largura. O gradiômetro foi utilizado com a configuração do mesmo modo da aquisição teste. Além disso, os sensores do

magnetômetro foram posicionados verticalmente (Figura 5), horizontalmente (Figura 6) e perpendicularmente aos perfis.



Figura 5 - Gradiômetro Posicionado na Vertical (G_z)



Figura 6 - Gradiômetro Posicionado na Horizontal (G_y)

Com os dados adquiridos, realizou-se a redução e a filtragem dos mesmos. Diferente da aquisição teste, utilizou-se o software Oasis Montaj Geosoft versão 7.2. Através dele, corrigiu-se a variação diurna pelos dados do magnetômetro base. Depois foi feita a correção do IGRF em referência ao ano de 2010 que, para a longitude e latitude do local da aquisição, resultou o valor de 23538,41 nT. Isso possibilitou gerar o valor do CMA seguindo a fórmula a baixo.

$$CMA = \text{Campo Total}(nT) - \text{Variação Diurna } (nT) - \text{IGRF } (nT)$$

Agora com o valor do gradiente já adquirido pelo gradiômetro de precessão de prótons, e o valor do CMA encontrado pela redução dos dados, foram gerados gráficos dos perfis e mapas dos tensores magnéticos do sinal analítico, do gradiômetro e das derivadas verticais e horizontais.

Resultados

Comparando os dados obtidos da Derivada Vertical e do Sinal Analítico do gradiômetro com o CMA mostrados no gráfico 1 e o gráfico 2 da Aquisição Teste percebe-se uma grande semelhança entre eles.

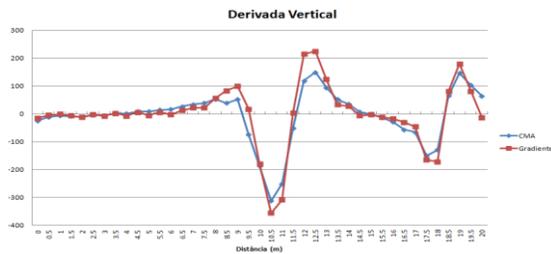


Gráfico 1 - Derivada Vertical(G_z) do CMA e o Gradiente vertical (G_z) na Aquisição Teste

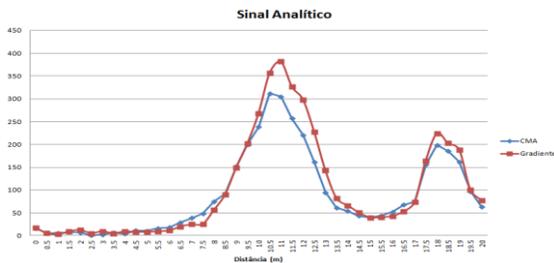


Gráfico 2 - Sinal Analítico do CMA e do gradiômetro na Aquisição Teste

Comparando os dados obtidos de um perfil da Aquisição no SITCRIM mostrados no gráfico 3 e o gráfico 4 pode-se ver, também, essa semelhança entre as curvas dos gráficos.

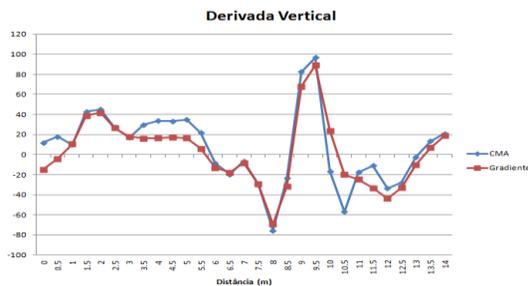


Gráfico 3 - Derivada Vertical (G_z) do CMA e o gradiente (G_z) de um perfil no SITCRIM

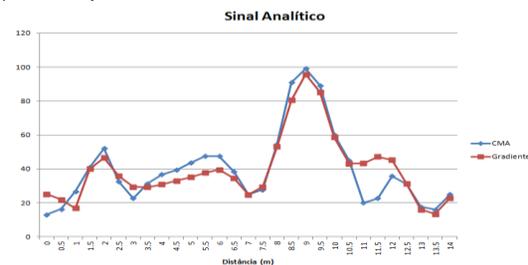


Gráfico 4 - Sinal Analítico do CMA e do gradiômetro de um perfil no SITCRIM

Já nos mapas (Figura 7 e 8), percebe-se que há algumas diferenças entre eles. Tais diferenças provavelmente ocorrem devido as diferenças dos métodos de aquisição, o que indica uma diferença na precisão de cada método.

Conclusão

Devido às semelhanças nos perfis do Sinal Analítico do CMA com o Sinal Analítico do Gradiômetro, e da Derivada Vertical com o Gradiente Vertical, entende-se que é possível realizar aquisições com o gradiômetro sem a necessidade de um magnetômetro como estação base, não acatando prejuízo na aquisição dos dados. Isso pode ser bastante eficiente caso não se possua dois magnetômetros, ou quando há a necessidade de uma aquisição mais veloz. Para um estudo mais preciso, podemos ainda utilizar o gradiômetro nas direções das outras componentes do campo magnético, como foi feito nessa aquisição. Somadas essas informações, torna-se possível limitar com mais eficiência uma anomalia a ser procurada. Entretanto, apenas com esses dados não foi possível realmente estabelecer qual é o método melhor ou mais preciso.

Observou-se também que com os dados obtidos não foi possível determinar com bastante precisão os objetos metálicos enterrados nas trincheiras.

Agradecimentos

Ao pessoal da Polícia Federal (DF) por ceder o espaço e principalmente ao Marcelo Lawrence BassayBlum pelo suporte e acompanhamento na aquisição.

A empresa júnior da Universidade de Brasília Phygeo - Soluções em Geofísica e Geotecnologia e ao Marcio Maciel Cavalcanti que ajudaram na aquisição.

Ao Pericles Macedo do Laboratório de Geofísica Aplicada (LGA/UnB) que forneceu os equipamentos.

Referências

BLUM, MLB. 1999. Processamento e Interpretação de Dados de Geofísica no Brasil Central e Sua Aplicação à Geologia Regional e à Prospecção Mineral. In: Técnicas de Tratamento de Dados Geofísicos. Brasília, p 30-33.

BLUM, MLB. 2007. Uso da Geofísica em Perícias de Crimes Ambientais - Uma introdução. Perícia Federal, v. 25: 30-32.

KEAREY, P; BROOKS, M; HILL, I. 2002. An introduction to geophysical exploration. UK: Blackwell Publishing Company, 438 p.

PINTO, VHG. 2005. Estruturas da região continental emersa da Bacia de Campos, Estado do Rio de Janeiro, e sua continuação para a plataforma continental. In: Método Magnético. Rio de Janeiro, p 18.

TANER, MT; KOEHLER, F; SHERIFF, RE. 1979. Complex trace analysis: Geophysics, 44.

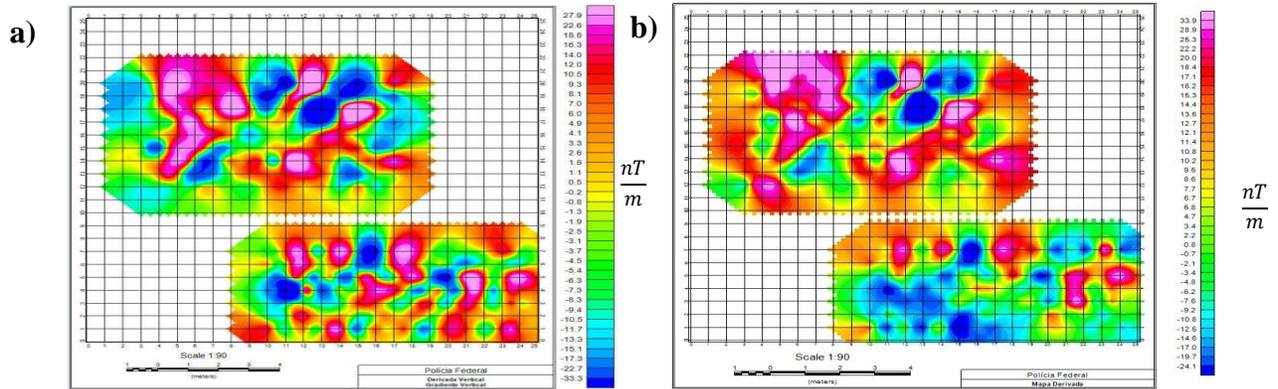


Figura 7 - Mapas da Derivada Vertical (G_z). a) Mapa do Gradiente Vertical (G_z). b) Mapa da Derivada Vertical (G_z) do CMA

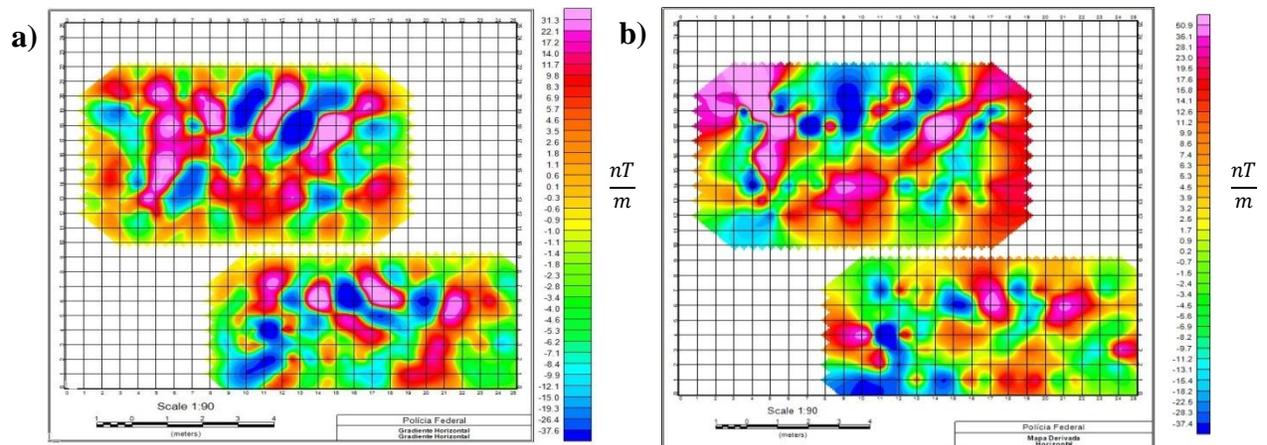


Figura 8 - Mapas da Derivada Horizontal (G_y). a) Mapa do Gradiente Horizontal (G_y). b) Mapa da Derivada Horizontal (G_y) do CMA.

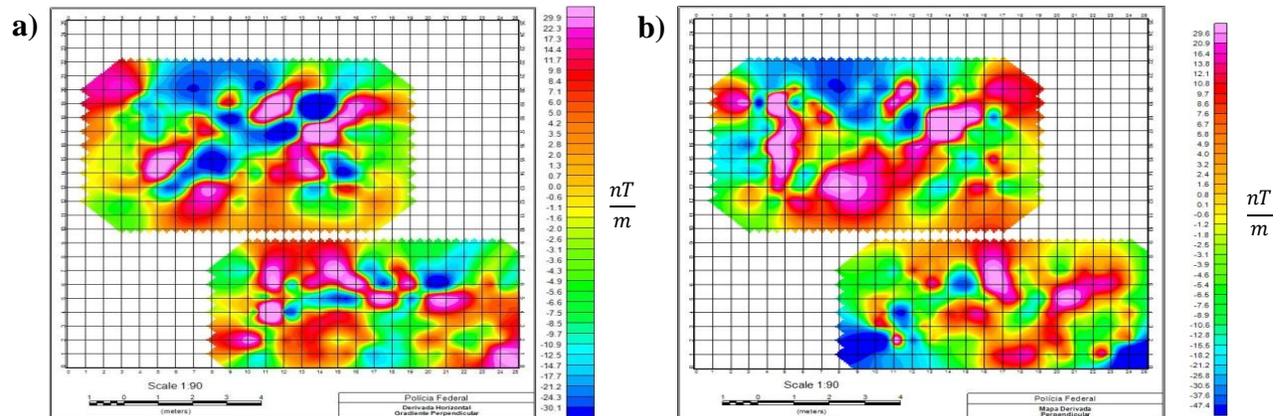


Figura 9 - Mapas da Derivada Horizontal (G_x). a) Mapa do Gradiente Horizontal (G_x). b) Mapa da Derivada Horizontal (G_x) do CMA.