



**II CONEPETRO**

II CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA DE  
PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS  
IV WORKSHOP DE ENGENHARIA DE PETRÓLEO

## ESTUDO DE ANOMALIAS MAGNÉTICAS PROFUNDAS ATRAVÉS DA DECONVOLUÇÃO DE EULER NA REGIÃO DO PARQUE DO MICO LEÃO DOURADO, MUNICÍPIO DE CABO FRIO -RJ

Stivens John Delfim da Silva<sup>1</sup>, Rogério Caxias de Araújo<sup>1</sup>, Matheus Menezes de Souza<sup>1</sup>, Miguel  
Ângelo Mane<sup>2</sup>, Marcelo S. Salomão<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidade do Estado do Amazonas, Unidade Acadêmica de Coari - [stivensjohn@hotmail.com](mailto:stivensjohn@hotmail.com) -  
[rogeriocaxias@ifam.edu.br](mailto:rogeriocaxias@ifam.edu.br) - [medins0019@gmail.com](mailto:medins0019@gmail.com)

Universidade do Estado do Rio de Janeiro [migangel@uerj.br](mailto:migangel@uerj.br) - [salomao.mss@gmail.com](mailto:salomao.mss@gmail.com)

### RESUMO

A Deconvolução de Euler baseia-se na equação homônima que correlaciona o campo magnético a seus gradientes, para estimar a profundidade da fonte das anomalias. Essa equação, desenvolvida pelo matemático Leonhard Euler no século XVIII, é empregada no processamento e na interpretação dos dados magnéticos. Na região onde se localiza o Parque Municipal do Mico Leão Dourado, município de Cabo Frio (litoral norte do estado do Rio de Janeiro), foram realizados levantamentos terrestres magnetométricos ao longo de cinco linhas. Foram utilizados três equipamentos modelo *Overhauser* (GSM-19), da empresa canadense *GEM System* e disponibilizado pelo Laboratório de Exploração Mineral (LEXMIN) da Faculdade de Geologia da UERJ. Um magnetômetro sempre operou como base para a aquisição de dados de variação diurna e dois foram usados como móveis nos levantamentos das linhas.

As aquisições foram espaçadas em 10 metros, totalizando cerca de 450 pontos. As anomalias da correção diurna exibiram intervalos entre 23100 nT e 23600 nT. A estimativa da profundidade das fontes magnéticas foi realizada através do *software Geosoft*, obtendo valores superiores a 150 metros e associadas à presença das rochas ortoderivadas que compõem o embasamento da região. Esses resultados estimam uma fina espessura para a cobertura sedimentar de origem flúvio-marinha, concordante com outros trabalhos publicados sobre a região costeira do estado do Rio de Janeiro.

Palavras-chave: Deconvolução de Euler, Campo Magnético, Magnetometria, Bacia de Campos.

## 1. INTRODUÇÃO

Através da magnetometria podem ser conhecidas as características estruturais em subsuperfície, com medições simples da variação do Campo Magnético, ao longo de linhas pré-determinadas em superfície. O procedimento de medição do campo magnético da Terra, embasado na Teoria do Potencial. Dados magnéticos têm sido amplamente utilizados na determinação de profundidades de fontes ou anomalias magnéticas, o que confere à técnica grande utilidade na investigação e prospecção geofísica, que abrange desde a resolução de problemas ambientais até a exploração de petróleo e bens minerais. Devido à tamanha aplicabilidade, se faz necessário o desenvolvimento de novos algoritmos que aprimorem essa capacidade (Correia *et. al.*, 2010).

Os perfis magnetométricos apresentam variações do campo magnético terrestre geradas a partir da variação petrológica da litosfera, ou seja, da constituição das rochas em superfície. A forma como esta anomalia se apresenta no perfil ou no mapa, varia em função da profundidade, do tamanho, da forma e do que esta anomalia é composta. Por exemplo, rochas ígneas apresentam anomalias positivas, ou seja, são “magnéticas” enquanto as rochas sedimentares as apresentam na forma de anomalias negativas por possuírem minerais magnéticos em quantidades muito inferiores às quantidades apresentadas pelas rochas ígneas (USGS, 1997b).

## 2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Diversos objetos, incluindo os produzidos pelo homem, e estruturas geológicas, apresentam alguma distorção em relação à alteração do campo magnético da Terra. Isso se deve a propriedade de cada material, dado pelo seu teor de materiais ferrosos na sua estrutura.

A magnetometria pode ser usada para descrever as características da estrutura geológica de áreas específicas da Terra e,

assim, localizar e caracterizar minerais e jazidas de petróleo.

É um método que também pode fornecer uma preciosa ajuda na localização de tubulações enterradas, cabos elétricos, artefatos culturais, munições não deflagradas ou sítios arqueológicos. Em alguns casos, o magnetômetro é o único dispositivo que irá detectar um determinado tipo de alvo na escala necessária. É um método relativamente barato, rápido e que cobre grandes extensões fazendo com que sua aplicabilidade em Geofísica seja de grande valia. As informações coletadas são reproduzidas em forma de “assinaturas” magnéticas que aparecem como “anomalias” magnéticas ou desvios perceptíveis a partir da intensidade do campo magnético da Terra.

O campo magnético é uma grandeza vetorial, desta forma é mensurado levando em consideração tanto a sua magnitude bem como a sua direção. Em observações clássicas, mede-se a intensidade horizontal do campo (**H**), a declinação magnética (**D**) e a inclinação magnética (**I**). Outras componentes também podem ser consideradas. Por exemplo, em regiões polares é razoável utilizar a combinação das componentes norte (**X**), leste (**Y**) e vertical (**Z**) do campo magnético. Atualmente, devido à tecnologia avançada dos instrumentos de medição, é possível medir a intensidade total do campo magnético (**F**).

Presumindo que a Terra é esférica, na sua superfície consideramos que o eixo **X** é a direção Norte, o eixo **Y** é a direção Leste e o eixo **Z** aponta para dentro da Terra (Figura 1), em que **Z** é a componente vertical do campo indutor, e **X** e **Y** são as componentes horizontais do campo indutor (PINHEIRO, 2003). Estas três componentes (**X,Y,Z**) do campo indutor são expressas em unidades nanotesla (nT).

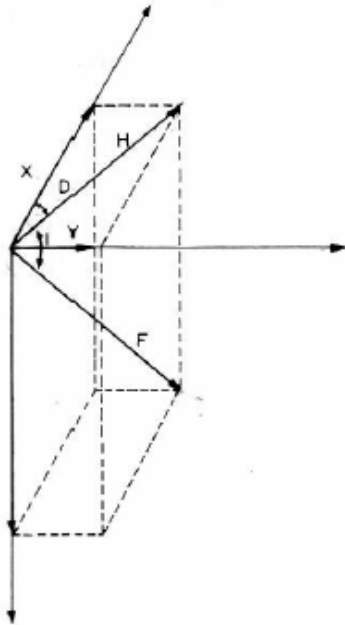


Figura 1 - Os elementos dos campos magnéticos descritos anteriormente se relacionam segundo as seguintes fórmulas:

$$F^2 = X^2 + Y^2 + Z^2$$

$$X = H \cos D \quad Y = H \sin D$$

$$H^2 = X^2 + Y^2$$

$$H = F \cos I \quad Z = F \sin I$$

Onde:

**D**= Declinação; **Y**= Componente Leste-Oeste;

**I**= Inclinação; **Z**= Intensidade vertical;

**H**= Intensidade horizontal; **F**= Intensidade total;

**X**= Componente Norte-Sul; **N**= Norte geográfico;

**S**= Sul; **E**= Este; **W**= Oeste

### 3. GEOLÓGIA REGIONAL

Entre 900 e 800 Ma, durante o Neoproterozoico, ocorreu a tafrogênese toniana, evento que compreendeu o rifteamento do supercontinente Rodínia, com a dispersão de fragmentos continentais formados e posterior convergência dos mesmos, ocasionando a aglutinação do supercontinente Gondwana. Esse evento perdurou até o Mesocambriano, 520 Ma, sendo caracterizado, no Brasil, como Evento Brasileiro (Valeriano *et al.*, 2004).

No final do Proterozoico, a aglutinação do supercontinente Gondwana levou a formação

de uma rede de faixas móveis (ou orógenos) separando crátons. Nesse contexto, na colisão entre os crátons do São Francisco (Continente Sul-Americano) e do Congo (Continente Africano), formaram-se, a leste do Cráton do São Francisco, o Orógeno Araçuaí e, a oeste do Congo, o Orógeno Ribeira. Além deles, bordejando a porção sul-sudeste deste mesmo cráton, formou-se a Faixa Brasília, cuja porção sul incorpora-se ao seguimento central da Faixa Ribeira formando uma zona de interferência (Trouw *et al.*, 2000).

O Terreno Cabo Frio foi definido por Machado Filho (1983) e é composto por três unidades litoestratigráficas, a saber: embasamento transamazônico e duas unidades metassedimentares (Búzios e Palmital). Ele difere dos demais domínios da Faixa Ribeira por possuir direções estruturais praticamente ortogonais àqueles, e é constituído por granitoides cortados por corpos metabásicos pouco deformados, migmatitos e gnaisses bandados.

Reis e Licht (1982) agruparam estas mesmas rochas na Unidade Região dos Lagos, formada por gnaisses de médio a alto grau metamórfico, de composição granítica a granodiorítica. O embasamento do Terreno Cabo Frio é formado por ortognaisses paleoproterozóicos (2,0 Ga) e lentes básicas, e a associação supracrustal deste terreno (Sucessão Búzios), segundo Schmitt (2001), é composta por camadas espessas de rochas calciossilicáticas e por camadas anfibolíticas.

As estruturas mais evidentes são uma xistosidade de baixo ângulo encontrada no embasamento e nas rochas de cobertura e dobras recumbentes de eixos NNE. Após uma aparente quietude tectônica pós-ordoviciano, este terreno foi afetado pelo rifte de abertura do Oceano Atlântico (Mesozoico) e pelo rifte continental do SE do Brasil. A tectônica mesozoico-cenozóica foi responsável pela geração e deformação das bacias marginais brasileiras.





## 4. METODOLOGIA

### 4.1 – Aquisição de dados

O equipamento utilizado para medir a intensidade do campo magnético terrestre, foi o magnetômetro fabricado pela GemSystem, modelo GSM-19, com sensibilidade de 0.01 nT, precisão absoluta de 0,2nT. É um equipamento com tolerância de gradiente < 10.000nT/m, 16Mb de memória e transferência em tempo real RTT de 5 leituras por segundo. Dados como coordenadas, leitura do campo geomagnético, horário, datas etc. são armazenados automaticamente num intervalo de 3 segundos. Os dados são transferidos via cabo RS232 para um computador na fase de processamento (Figura 2 – Console do magnetômetro e sensor do mesmo equipamento).

O levantamento magnetométrico consistiu de perfis com direções aproximadas S-N, com espaçamento entre estações de 10m. A topografia do terreno é plana o que não demandou nenhuma correção topográfica.

### 4.1 – Processamento dos dados

Os dados foram adquiridos seguindo as linhas planejadas de acordo com a figura 2. Todo o processamento foi realizado dentro do programa Geosoft – Oásis Montaj. Esse programa licenciado para o Laboratório de Pesquisa Mineral e Geofísica da Universidade do Estado do Rio de Janeiro, conta com o módulo de inversão e cálculo da equação de Deconvolução de Euler. Os magnetômetros (Figuras 3 e 4) utilizados nas atividades de campo foram cedidos pelo Laboratório de Exploração Mineral (LEXMIN) da UERJ.

A Deconvolução de Euler (Thompson, 1982; Reid *et al.*, 1990) é comumente empregada na interpretação magnética, porque ela requer pouco conhecimento *a priori* sobre a geometria da fonte e não necessita de informação a respeito do vetor magnetização. O método é baseado na aplicação da equação

homogênea de Euler, a qual relaciona o campo potencial e seus gradientes para localizar a fonte, com base no grau de homogeneidade  $h$ . Tal grau pode ser interpretado como um índice estrutural, relacionado a natureza da fonte, derivando-se, a partir de uma janela móvel com  $h$  fixo, o posicionamento e a profundidade dos corpos. A quantidade de soluções resultante, normalmente, é muito grande, pois cada uma delas está relacionada com uma determinada posição da janela móvel.

O critério apresentado por Thompson (1982), para reduzir o número de soluções possíveis e para estimar, ao mesmo tempo, o índice estrutural, é considerado muitas vezes ambíguo para levantamentos de detalhe (Barbosa *et al.*, 2000). Nesse procedimento se procura representar as anomalias de campos potenciais através de fontes pontuais equivalentes, demonstrando que a equação de homogeneidade de Euler pode ser reescrita para fontes infinitamente longas na direção  $y$  da seguinte forma:

$$\frac{(x - x_0)\partial \Delta T(x, z)}{\partial x} + \frac{(z - z_0)\partial \Delta T(x, z)}{\partial z} = -\eta \Delta T(x, z)$$

Equação 1

Onde  $\Delta T(x, z)$  é a anomalia do campo magnético total produzida por uma fonte nas coordenadas  $(x_0, z_0)$  e  $\eta$ , que é conhecido como índice estrutural e está relacionado com a natureza da fonte. Os valores de  $\eta$  se relacionam com a forma da fonte de acordo com a Tabela 1.

Considerando a anomalia observada  $h$ , correspondente a anomalia  $\Delta T$  adicionada a uma constante  $b$  (nível de base), medida em um plano constante  $z = 0$ , temos:

$$h(x, z) = \Delta T(x, z) + b$$

Equação 2



## II CONEPETRO

II CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA DE  
PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS  
IV WORKSHOP DE ENGENHARIA DE PETRÓLEO

Fonte	Índice Estrutural – $\eta$
Esfera	3
Cilindro horizontal ou vertical	2
Dique ou soleira	1
Contato	0

Tabela 1 - Relação do índice estrutural com a geometria da fonte, segundo Thompson (1982).

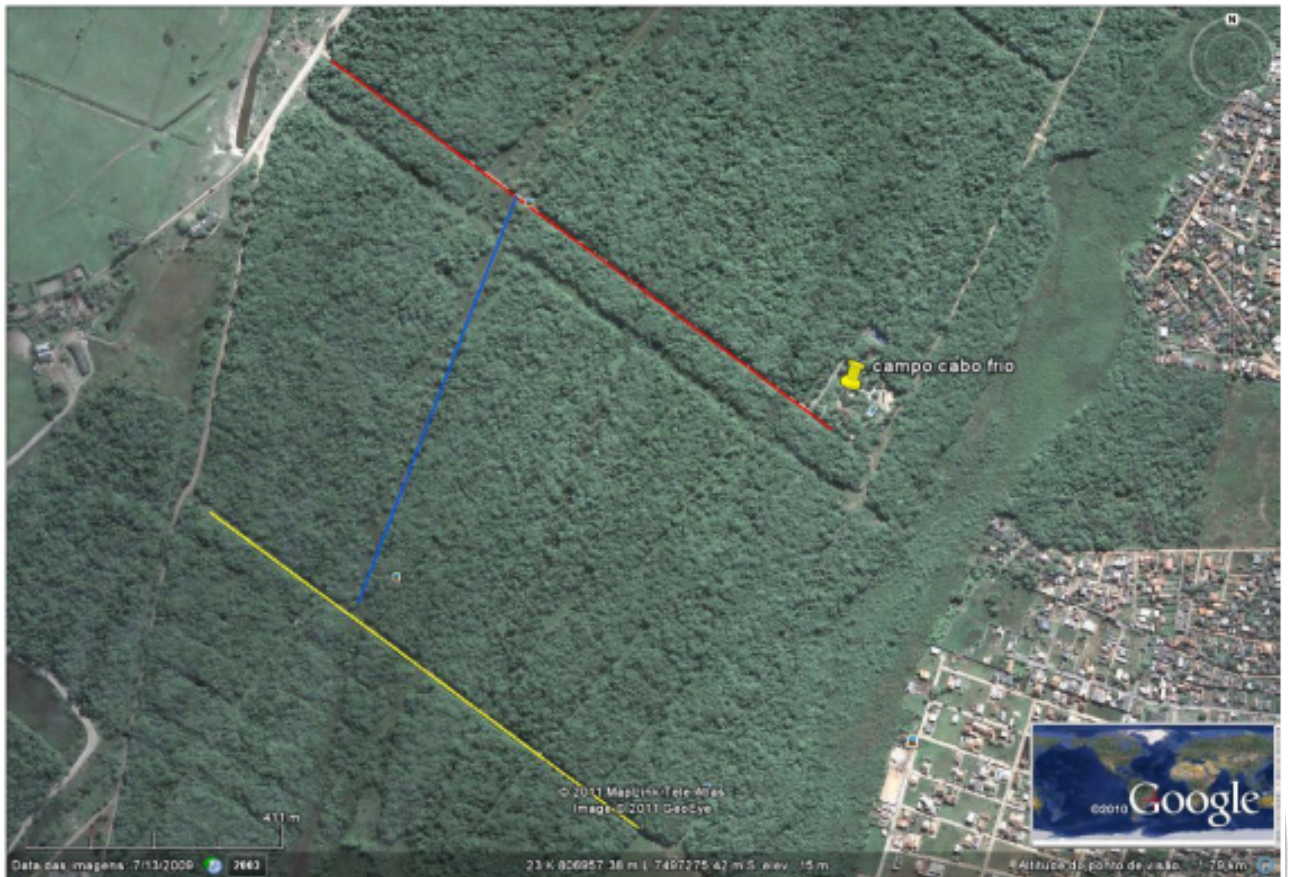


Figura 2 – Mapa de satélite da área de estudo com a marcação das linhas de levantamento. Em vermelho a Linha 1, em Azul a Linha 3 e em Amarelo a Linha 2.





## II CONEPETRO

II CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA DE  
PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS  
IV WORKSHOP DE ENGENHARIA DE PETRÓLEO



Figura 3 - Magnetômetro GSM 19 e o respectivo sensor usado em estudos geofísicos na área do Parque do mico Leão Dourado – Cabo Frio – RJ



Figura 4 - Levantamento magnetométrico terrestre.

O processamento básico dos dados magnéticos consistiu de remoção de “spikes” e correção da variação diurna. O IGRF da área prevê os seguintes valores para o campo magnético e suas componentes:

- Intensidade Total: 23474 nT,
- Intensidade Horizontal: 18603 nT,

[www.conepetro.com.br](http://www.conepetro.com.br)

(83) 3322.3222

[contato@conepetro.com.br](mailto:contato@conepetro.com.br)

- Declinação:  $-22,182^\circ$ ,
- Inclinação:  $-37,453^\circ$ .

#### 4.2 - Resultado da Deconvolução de Euler

O mapa da Deconvolução de Euler exibe valores de profundidades das fontes de anomalias magnéticas entre 3 e 15 metros (Figura 5). As fontes mais profundas estão situadas a oeste e a nordeste da área de estudo. A porção central da área exibe valores mais rasos.

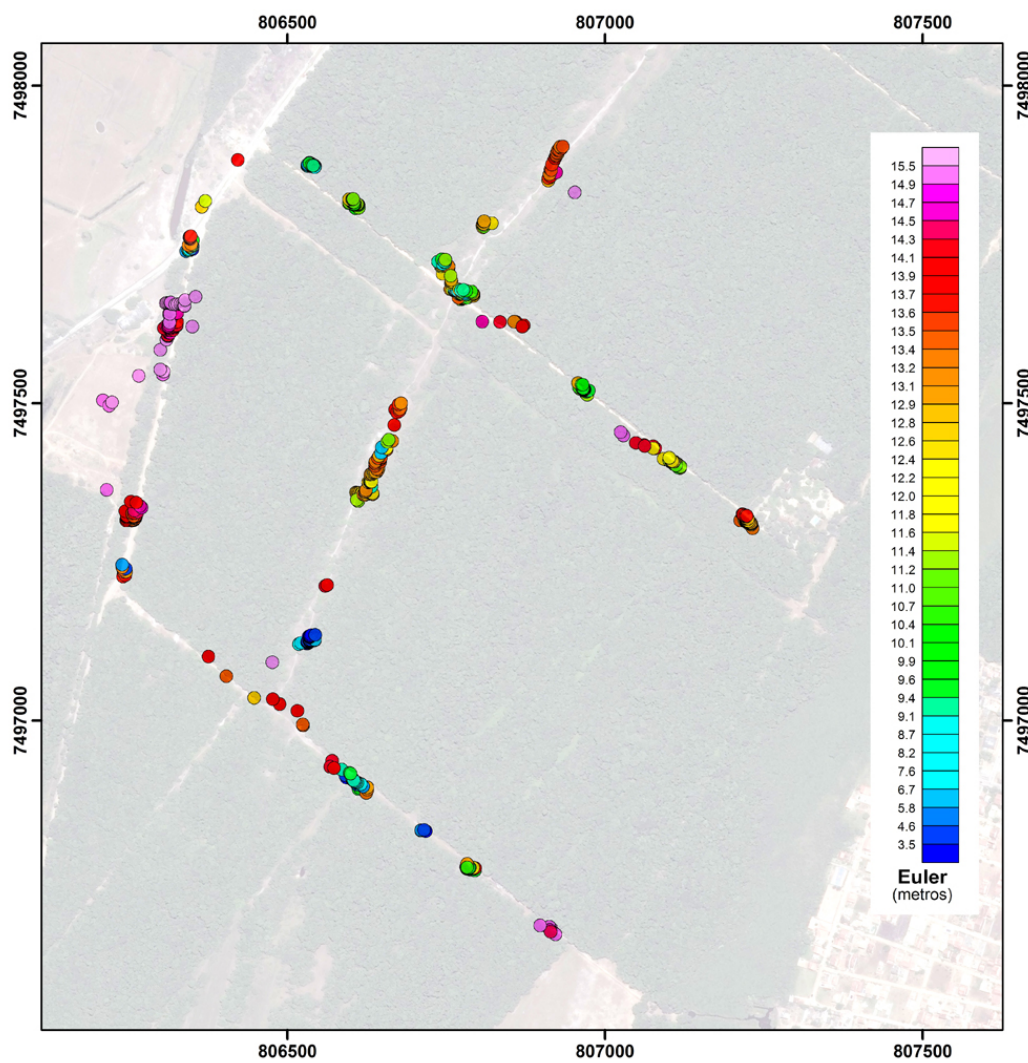


Figura 5 - Mapa da Deconvolução de Euler, com a profundidade das fontes das anomalias magnéticas.

#### 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO





## II CONEPETRO

II CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA DE  
PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS  
IV WORKSHOP DE ENGENHARIA DE PETRÓLEO

### 5.1. Interpretação

A modelagem direta dos dados magnetométricos utilizando-se o programa GM-SYS, mostrou variações do pacote de sedimentos na principal linha, que é paralela a linha de costa. Ajustes ao modelo foram implementadas de modo a poder correlacionar a curva calculada com os dados observados. O modelo final de magnetometria mostra poucos falhamentos geológicos, o que indica a presença de um pacote de sedimentos espesso. O perfil magnetométrico de pouca extensão, sugere que essa variação sedimentar, pode ser pontual, pois a área emersa da Bacia de Campos é muito extensa. Como sugestão de futuros trabalhos de campo, deverão ser feitas linhas mais longas e em diferentes áreas da parte emersa e esse resultado correlacionado com a Geologia. As susceptibilidades magnéticas utilizadas foram 0,0003 para os sedimentos e 0,003 para o embasamento

## 6. CONCLUSÕES

Os dados gerados a partir das medições nas linhas, seguiram os passos de correção de spyke, correção diurna, gridagem através de mínima curvatura e mapa de contorno. O mapa de Campo Magnético Total (Figura 6) mostra dois pontos anômalos; um na área central do mapa e outro na borda norte. De modo geral, o campo magnético é suave com poucas variações, o que já era de se esperar, pois as informações geológicas mostram um pacote de sedimentos sem muita variação ao longo de toda a área, ao redor do Parque do Mico Leão Dourado – Cabo Frio - RJ





# II CONEPETRO

II CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA DE  
PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS  
IV WORKSHOP DE ENGENHARIA DE PETRÓLEO

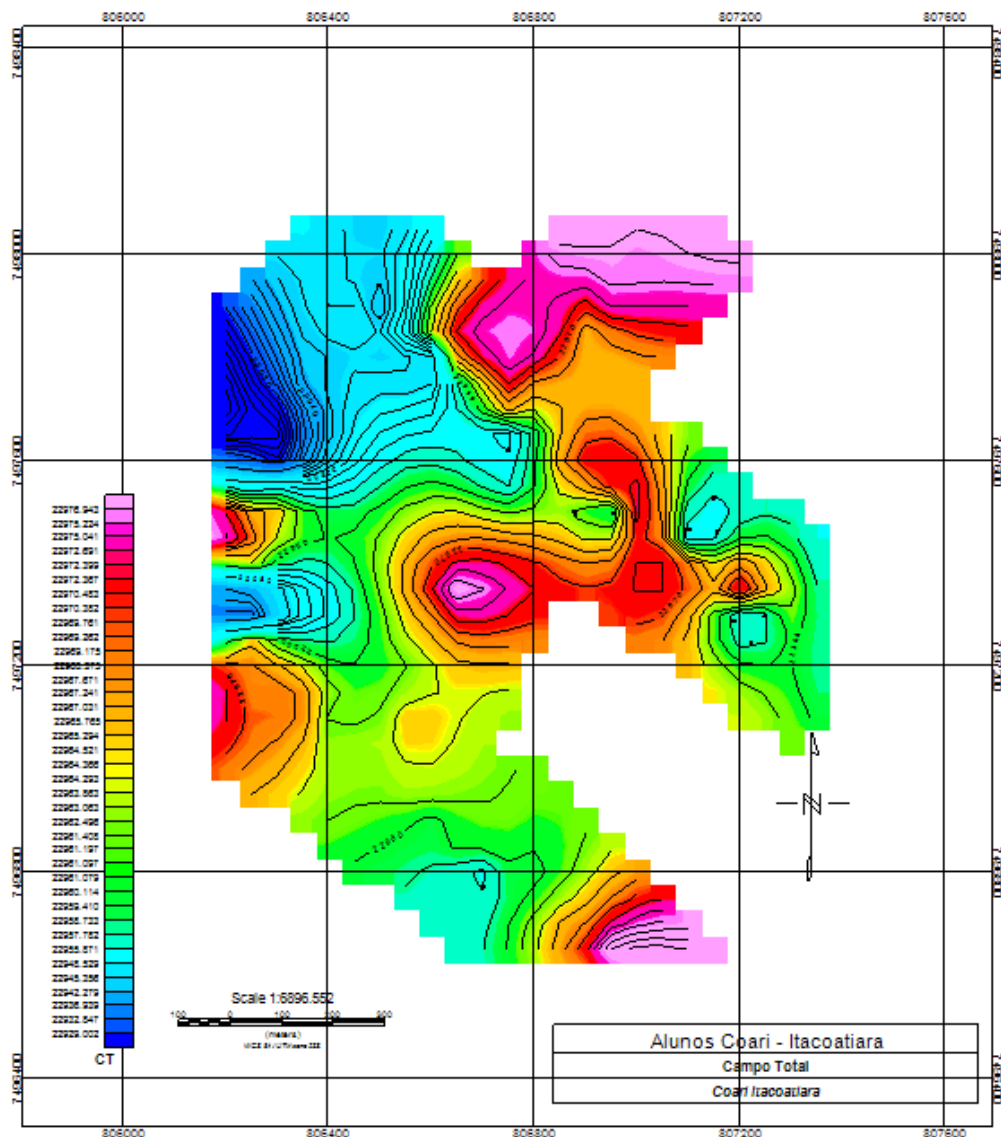


Figura 6 - Mapa do Campo Magnético Total.

A análise das profundidades das anomalias (fontes) magnéticas indica um aumento da espessura dos sedimentos para oeste. Na porção cento-sul da área do Parque do Mico Leão Dourado, os valores menores (<8 metros) indicam elevações no embasamento cristalino. Em geral, as variações nos valores da profundidade das fontes indicam uma superfície irregular para o embasamento cristalino. Conseqüentemente, a espessura do pacote sedimentar também acompanha essa variação.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ewing, J.R.; Leyden, R. & Ewing, M., (1969) – Refraction shooting with expendable sonobuoys. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin* 53 (1), 174–181.

Heilbron, M., Pedrosa-Soares A.C., Campos Neto M.C., Silva L.C., Trouw R.A.J. & Janasi V.A. (2004) – Província Mantiqueira. In: Mantesso Neto V., Bartorelli A., Dal Ré Carneiro C. & Brito.

Loczy L., Ladeira E. A. 1976. *J. Struct. Geol.* São Paulo: Edgard Blücher. 528p

Mohriak, W.U.; Barros, A.Z.; & Fujita, A., (1990) – Magmatismo e Tectonismo Cenozoico na Região de Cabo Frio, RJ, Anais XXXVII Congresso Brasileiro de Geologia, Natal, 6, 2873-2885.

Pinheiro, Katia J. R. Detecção de impulsos na variação secular geomagnética, no Observatório Magnético de Vassouras. 2003. 94 f. Dissertação (Mestrado em Geofísica) – Observatório Nacional, Rio de Janeiro, 2004.

USGS – 1997 – Geological Studies in Alaska by the U.S. Geological Survey, Professional Paper 1614. Government Documents. – February 2000, 160p.