

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**

**UTILIZAÇÃO DE MAGNETOMETRIA PARA MAPEAMENTO  
DE DIQUES NA FOLHA CUNHA, SP.**

**Dimas F. C. Manoel**

Orientador: Prof Dr. Fabio Taioli  
Co-orientador: Prof. Dr. Cláudio Riccomini

**MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA  
(TF 2005/11)**

**SÃO PAULO  
2005**

**TF  
M285  
DFC.u**

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

DEDALUS - Acervo - IGC



30900018059

**Utilização de Magnetometria para Mapeamento de  
Diques nas Folhas Lagoinha e Cunha, SP**

**Dimas Fernando Cardoso Manoel**

Monografia de Trabalho de Formatura



**Banca Examinadora**

Prof. Dr. Fabio Taioli

Prof. Dr. Carlos José Archanjo

Prof. Dr. Maria Helena Bezerra Maia de Holanda

São Paulo

2005

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**UTILIZAÇÃO DE MAGNETOMETRIA PARA MAPEAMENTO  
DE DIQUES NA FOLHA CUNHA, SP.**

Dimas F. C. Manoel



Orientador: Prof Dr. Fabio Taioli  
Co-orientador: Prof. Dr. Cláudio Riccomini

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA  
**(TF 2005/11)**

SÃO PAULO  
2005

TP  
M285  
DFC. N



**UTILIZAÇÃO DE MAGNETOMETRIA PARA MAPEAMENTO  
DE DIQUES NA FOLHA CUNHA, SP.**

**TF 2005/11**

Aluno: Dimas F. C. Manoel

Dinay Fernando.

Orientador: Prof Dr. Fabio Taioli

Fabio Taioli

*“Amar as riquezas é próprio de  
uma alma baixa e servil, como viver  
[pobremente] na virtude é próprio de  
uma mente nobre e generosa”.*  
(Jean B. Delambre)

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a minha família, meus pais Jair e Regina e aos meus irmãos Cintia e Thiago.

Agradeço também aos colaboradores do trabalho, em especial ao meu orientador Prof. Doutor Fabio Taioli pelo constante apoio e incentivo para a finalização do trabalho.

Ao meu co-orientador Prof. Doutor Cláudio Riccomini e seu aluno bolsista PIBIC-CNPq Tiago Borges pela ajuda na fase de campo.

Ao Sr. Vicente Galli físico do instituto de Pesquisas tecnológicas – IPT, pela ajuda dada com o software de modelamento.

Aos amigos da turma 2000 de geologia: Badal, Chuck Norris, Frangolino, Jaú e Genérico (pela ajuda com as laminas), Monocelha, Ordinária (Fernanda), Lesma, Basei, Chubaca, Lampião, Amanda, Melado, Fofão, Condorito, Bostão, Mamute.

E a todos que de alguma forma contribuíram de alguma forma para a conclusão desse projeto.

## ÍNDICE

1. RESUMO .....	2
2. ABSTRACT.....	3
3. INTRODUÇÃO.....	4
4. METAS E OBJETIVOS .....	4
5. TRABALHOS PRÉVIOS.....	5
5.1. Geologia Regional.....	6
5.2. Geologia Local .....	7
5.3. Método Magnetométrico.....	9
5.3.1. O Campo Magnético terrestre.....	9
5.3.2. Comportamento Magnético de Materiais ou Substâncias .....	10
5.3.3. Magnetização das Rochas.....	10
5.3.4. Susceptibilidade Magnética de Rochas e Minerais .....	11
6. MATERIAIS E MÉTODOS .....	12
7. DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO .....	14
7.1. Definição da área onde foram efetuados os levantamentos .....	14
7.2. Trabalhos de Campo.....	14
7.3. Coleta e Preparação de Amostras.....	20
7.4. Processamento e Modelagem dos dados magnéticos.....	21
7.5. Preparação do Mapa geológico.....	21
7.6. Análise Petrográfica .....	22
8. RESULTADOS OBTIDOS.....	22
9. INTERPRETAÇÃO/DISCUSSÃO DOS RESULTADOS .....	25
9.1. Correções Diurnas .....	25
9.2. Anomalias Magnéticas .....	26
9.3. Interpretação dos Dados Levantados .....	27
10. CONCLUSÕES.....	39
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	41

### Anexo

#### 1. *Mapa Final*

### Apêndice

1. *Temperatura de Curie*
2. *Curva de Histerese*

## ÍNDICE DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01 - Mapa de localização.....	5
Figura 02 – Mapa geológico da Área com localização dos pontos. Baseado em Basei & Vlach, 1981.....	8
Figura 03 – Console do aparelho.....	12
Figura 04 – Equipamento utilizado no levantamento.....	13
Figura 05 – Detalhe da rocha.....	15
Figura 06 - Mapa geológico com localização das linha levantadas.....	18
Figura 07 – Esquema ilustrativo das direções onde foram realizadas as medidas de suscetibilidade magnética das amostras.....	23
Figura 08 – Exemplo de assinatura de anomalias para diques.....	26
Figura 09 – Comportamento da anomalia magnética em função da profundidade do corpo.	27
Figura 10 – medidas obtidas no levantamento da linha 01.....	28
Figura 11 - medidas obtidas no levantamento da linha 02.....	29
Figura 12 – Perfil linha 02.....	30
Figura 13 - medidas obtidas no levantamento da linha 03.....	30
Figura 14 - medidas obtidas no levantamento da linha 04.....	31
Figura 15 - Medidas obtidas no levantamento da linha 05.....	32
Figura 16 - Medidas do levantamento linha 06, em rosa e modelo ajustado, em azul.....	33
Figura 17 – Perfil linha 06.....	33
Figura 18 - Medidas do levantamento linha 07, em rosa e modelo ajustado, em azul.....	34
Figura 19 – Perfil linha 07.....	34
Figura 20 - Medidas do levantamento linha 08, em rosa e modelo ajustado, em azul.....	35
Figura 21 – Perfil linha 08.....	35
Figura 22 - Medidas do levantamento linha 08, em rosa e modelo ajustado, em azul.....	36
Figura 23 – Perfil linha 09.....	37
Figura 24 – Mapa geológico ajustado.....	38

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 01 – Valores de campo magnético calculados para a área de estudo.....	21
Tabela 02 – Medidas de suscetibilidade magnética da amostra CN-01. ....	24
Tabela 03 – Medidas de suscetibilidade magnética da amostra CN-03. ....	24
Tabela 04 – Medidas de suscetibilidade magnética da amostra CN-06. ....	24
Tabela 05 – Medidas de suscetibilidade magnética da amostra CN-07. ....	24
Tabela 06 – Conversão de medidas para o sistema cgs. ....	24

## 1. RESUMO

Este trabalho objetivou o mapeamento de intrusões básicas-intermediárias, diques mesozóicos que ocorrem na Região de Cunha – SP, leste do estado de São Paulo, utilizando a magnetometria, método geofísico que se baseia no estudo das variações locais do campo magnético terrestre, derivadas da existência de rochas contendo minerais com forte susceptibilidade magnética, tais como: magnetita, ilmenita e pirrotita.

O trabalho iniciou-se com a coleta de algumas amostras da rocha dos diques, as quais foram estudadas quanto à sua petrografia tanto macroscópica como microscopicamente. Estas rochas foram descritas como andesito-basalto. Destas amostras foram, também, preparados corpos de prova que foram submetidos à medida de sua susceptibilidade magnética em laboratório, que evidenciaram alta susceptibilidade, variando de  $2,3 \times 10^{-2}$  e  $3,4 \times 10^{-3}$  no sistema cgs.

Foram então efetuados caminhamentos magnetométricos em linhas que procuraram cortar perpendicularmente os diques mapeados.

A partir desses levantamentos de dados magnéticos foram confeccionados modelos geológicos e inversão dos dados obtidos no campo a fim de se determinar e interpretar o comportamento de tais diques em subsuperfície.

Essas intrusões ocorrem, de modo geral, como corpos com espessuras variando desde poucos metros até oitenta metros. O comprimento desses diques varia ao longo da área, desde centenas de metros até quilômetros.

Por fim, baseando-se nos resultados obtidos, na idade dos diques e na sua colocação concordante com os lineamentos e estruturas da região, é possível supor que sua origem esteja ligada ao processo de separação dos continentes Sul Americano e Africano.

## 2. ABSTRACT

This research aimed at mapping basic-intermediate intrusions (mezozoic dykes) that occur in the Region of Cunha – SP, east of São Paulo state, Brazil, using magnetometry, a geophysical method that is based on the study of the local variations of the terrestrial magnetic field, derived from the existence of rocks that contain minerals with high magnetic susceptibility, such as: magnetite, ilmenite and pirrotite.

The work began with sampling the rocks of the dykes and its petrographical study. These rocks were identified as being andesite-basalts. From the same samples some specimens were prepared to take the magnetic susceptibility measurements in laboratory. These measurements show high susceptibility varying from  $2,3 \times 10^{-2}$  to  $3,4 \times 10^{-3}$  in the cgs system.

Field magnetometric profiling was, then, carried out trying to cross perpendicularly to the mapped dykes.

The results allowed developing geological models used as base of the data inversion. This procedure aimed at determining the dykes' behavior in subsurface.

The intrusions occur, in general way, as bodies with thickness varying from few up to eighty meters. The lengths of these dykes also vary in the area, from hundreds of meters up to kilometers.

Finally, based on the study results, in the age of the dykes and its concordant rank with the lineament and structures of the region, it is possible to suppose that their origin was linked with the process of separation of the continents South American and African.

### 3. INTRODUÇÃO

O estudo de rochas aflorantes à superfície do terreno bem como sua relação no espaço e no tempo tem importância fundamental na sua compreensão e para inferência de como essas rochas se comportam em subsuperfície ou em profundidade. No entanto essas inferências nem sempre são seguras e cabe aí, a importância dos métodos geofísicos na prospecção, já que, a partir dos dados coletados em campo (anomalias no campo magnético terrestre, por exemplo), podem-se fazer interpretações do comportamento dessas rochas em subsuperfície e em profundidade. Geologicamente, a área escolhida para o presente trabalho apresenta um grau elevado de alteração das rochas em questão, o que torna muito interessante a utilização de métodos indiretos para a investigação do comportamento dessas rochas em subsuperfície e em profundidade, já que devido ao alto grau de alteração, qualquer tarefa de mapeamento geológico de detalhe passa a ser muito difícil visto que os contatos entre as intrusões e as encaixantes na maior parte da área são de difícil identificação em campo tornando ferramentas como, por exemplo, a geofísica, ferramenta essencial para a definição dos contatos. Portanto, o presente trabalho procura efetuar a integração de dados geológicos e geofísicos visando o aprimoramento do mapa geológico disponível.

### 4. METAS E OBJETIVOS

Este trabalho tem por objetivo efetuar o mapeamento do enxame de diques da folha Cunha –SP (ver mapa de localização a seguir, **figura 01**) utilizando o método geofísico magnetométrico. Esse mapeamento visa um melhor detalhamento do mapa geológico local já que neste a continuidade dos diques encontra-se por vezes inferida, além de terem sido colocados no mapa sempre com a mesma espessura aparente. Isto se dá devido às rochas da área em questão encontrarem-se em elevado grau de alteração, sendo de difícil tarefa a identificação dos contatos existentes entre as encaixantes e as referidas intrusões já que, na maioria das vezes, as porções aflorantes dos diques ocorrem como blocos dispersos no campo. A escolha do método baseou-se no fato de que as rochas sob objeto de estudo apresentam grande variação de suscetibilidade em relação às encaixantes, devendo indicar que as anomalias causadas pelas intrusões causarão contraste marcante em relação à resposta dada pelas encaixantes. Com isso espera-se definir como ocorreu a intrusão dos diques, suas espessuras e profundidades em que se encontram em relação à superfície do terreno.



Figura 01 - Mapa de localização.

## 5. TRABALHOS PRÉVIOS

As atividades prévias consistiram nos levantamentos bibliográficos dos trabalhos anteriores efetuados na área de estudo ou que, de alguma forma, se relacionassem com o tema do trabalho, neste caso, a região de Cunha – SP e o método magnetométrico. Abordaram principalmente os trabalhos sobre a geologia regional e da geologia local, assim como trabalhos realizados com métodos magnetométricos, visando um maior entendimento das litologias a serem encontradas e alvo do estudo assim como os processos envolvidos em sua formação.

### **5.1. Geologia Regional**

O fenômeno da ativação tectono-magmática da Plataforma Sul Americana teve inicio a partir de fins do período Permiano, atingindo o máximo de intensidade durante o Jurássico e Cretáceo e, posteriormente, decaindo no Paleógeno.

Essa ativação provocou intenso e variado magmatismo que afetou em uma ou outra ocasião, área estimada em 9 milhões de quilômetros quadrados, equivalente a cerca de 6% da superfície dos continentes (ALMEIDA, 1986).

O subseqüente ciclo erosivo que durou do final do Cretáceo ao Eoceno foi muito intenso e extenso tendo destruído os aparelhos vulcânicos mesozóicos e exposto os diques, assim como outras estruturas subvulcânicas.

A associação do magmatismo mais próximo à costa, como ocorreu nas regiões sudeste, nordeste e norte do país, com a ruptura da massa continental do Gondwana e evolução das bacias da margem continental tem levado a interpretar a atividade ígnea sob a ótica da tectônica de placas.

Estrella (1972) admitiu a existência de um soerguimento crustal pré-rifte no sítio das bacias de Santos e Espírito Santo. É provável que a ele esteja ligado o magmatismo basáltico Jurássico-Eocretáceo e a sedimentação continental da fase rifte.

Um importante feixe de diques básicos existe na região costeira, de Santos ao estado do Rio de Janeiro, estendendo-se para o interior, onde alcança o Vale do Paraíba e menos intensamente o Planalto Sul-Mineiro.

Algumas datações (Amaral et al. 1966, Minioli 1971, Silva et al. 1977 e Basei & Vlach 1981) indicaram idades jurássico-cretáceas pouco mais antigas que o auge do vulcanismo basáltico Serra Geral.

Estruturalmente os diques ocupam freqüentemente falhas do embasamento reativadas por esforços tracionais normais à direção de costa, do antigo Arqueamento da Serra do Mar (Almeida 1986). Originaram-se derrames, já que estes existem de idêntica idade no assoalho da bacia de Santos (Fodor et al. 1983), e estes foram erodidos ainda no Cretáceo superior a Paleoceno, pois não estão presentes no interior das bacias Eocênicas do Paraíba do Sul e da depressão de Guanabara (Almeida 1986).

## 5.2. Geologia Local

Na região estudada são observadas duas unidades maiores separadas pelo Lineamento Alto do Chapéu (Basei & Vlach, 1981).

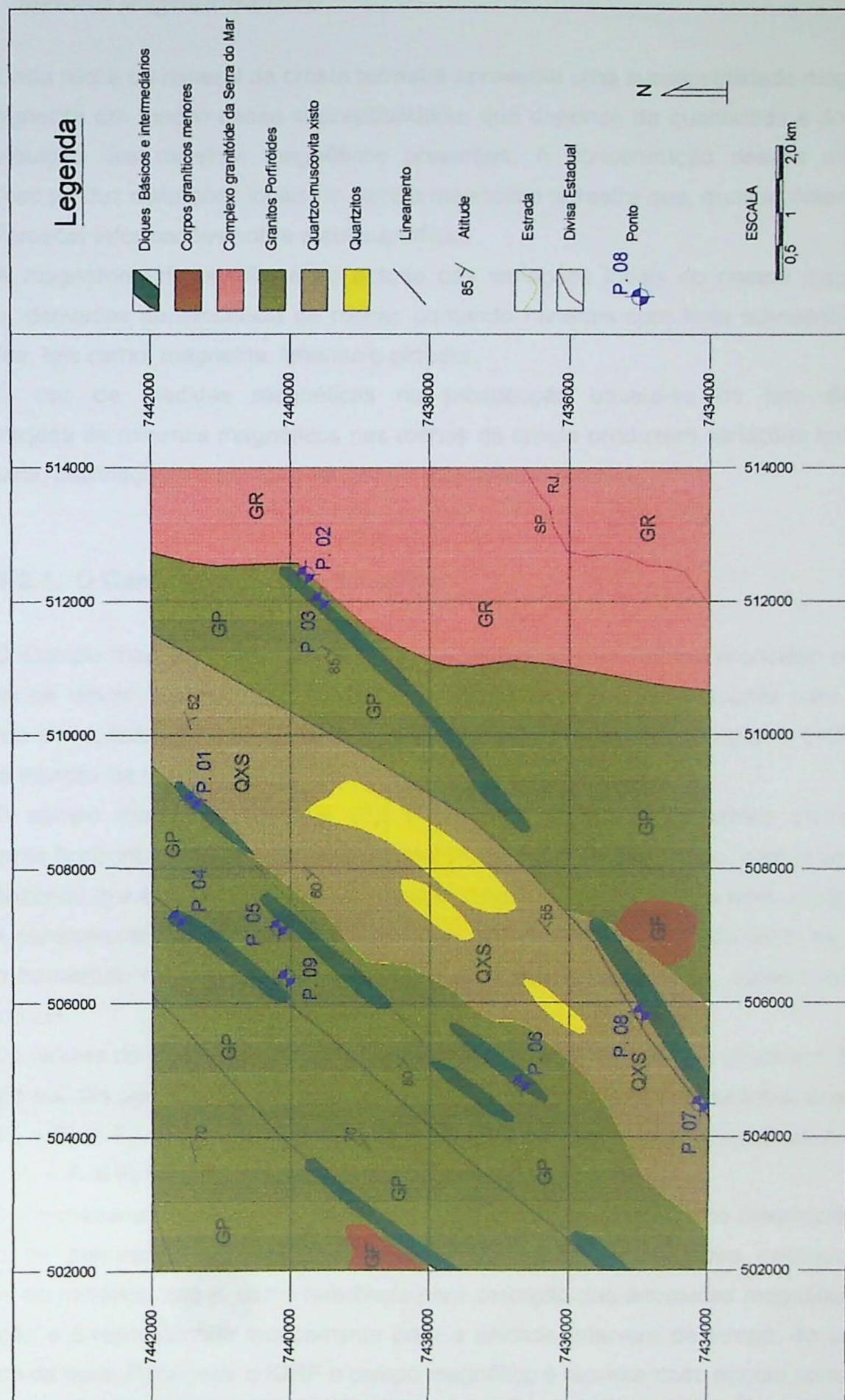
A primeira unidade é composta por um conjunto de rochas metassedimentares, sendo freqüente nessas rochas o desenvolvimento de uma foliação cataclástica. As litologias predominantes são gnaisses ocelares, gnaisses bandados e mica xistos feldspáticos. Esta unidade ficou fora dos levantamentos.

A segunda unidade trata-se do Complexo Paraibuna, que apresenta orientação geral N30-50E, e é composta de granitos porfiróides, granitos a duas micas, migmatitos heterogêneos e quartzo mica xistos.

Ambas unidades são afetadas por granitos finos, equigranulares, denominados genericamente de Corpos Graníticos Menores.

A evolução estrutural de ambas as unidades é polifásica com pelo menos duas fases principais de deformação. A primeira verificada localmente nos ápices de dobras intrafoliais que mostram uma xistosidade plano axial, esta por sua vez é redobrada pela segunda fase de deformação. Uma terceira fase pode ser vista em porções restritas como uma crenulação que redobra a xistosidade.

A região foi afetada no Mesozóico por inúmeras intrusões de diques caracterizados como andesitos porfiríticos. Esses diques possuem espessura média de 100 a 150m e alguns quilômetros de extensão, com orientação principal NE. Conforme observado no mapa apresentado na **figura 02**, os corpos são concordantes com os falhamentos principais da região e essa associação pode ser explicada pelo preenchimento dessas falhas por reativações dessas antigas zonas de fraqueza durante uma fase transicional mesozóica que, segundo Basei & Vlach (1981), é provável que os esforços responsáveis (e o próprio alinhamento dos corpos em paralelo à costa brasileira sugerem isto) estejam relacionados aos processos de separação da América do Sul da África.



**Figura 02 – Mapa geológico da Área com localização dos pontos. Baseado em Basei & Vlach, 1981.**

### 5.3. Método Magnetométrico

Cada rocha ou mineral da crosta terrestre apresenta uma susceptibilidade magnética e se magnetiza em função dessa susceptibilidade, que depende da quantidade e do modo de distribuição dos minerais magnéticos presentes. A concentração desses minerais magnéticos produz distorções locais no campo magnético terrestre que, quando detectadas, podem fornecer informações sobre a subsuperfície.

A magnetometria baseia-se no estudo das variações locais do campo magnético terrestre, derivadas da existência de rochas contendo minerais com forte susceptibilidade magnética, tais como: magnetita, ilmenita e pirrotita.

O uso de medidas magnéticas na prospecção baseia-se no fato de que concentrações de minerais magnéticos nas rochas da crosta produzem variações locais na intensidade, declinação e inclinação do campo magnético terrestre.

#### 5.3.1. O Campo Magnético terrestre

O Campo magnético terrestre pode ser aproximado pelo campo produzido por um momento de dipolo localizado no centro do planeta. Este momento aponta para o sul geográfico e se localiza sobre um eixo que forma um ângulo de aproximadamente 11,5º com o eixo de rotação da terra.

O campo magnético terrestre ( $F_o$ ) é caracterizado pelos seguintes elementos: componente horizontal ( $F_h$ ), componente vertical ( $F_z$ ), ângulo de inclinação, com relação ao plano horizontal ( $i$ ) e ângulo de declinação, formado entre  $F_h$  e a direção do norte geográfico.

A componente vertical  $F_z$  é vertical quando aponta para o centro da terra, na maior parte do hemisfério norte e negativa quando aponta para fora da terra, como ocorre no hemisfério sul.

Os valores de inclinação variam de zero a 90º no hemisfério norte e de zero a -90º no hemisfério sul. Os pontos onde  $i = +$  ou  $-90^\circ$  são os pólos magnéticos verdadeiros e nesses pontos  $F_o = F_z$  e  $F_h = 0$ . As posições onde  $i = 0$  definem o equador magnético, nessa posições  $F_o = F_h$  e  $F_z = 0$ .

O International Geomagnetic Reference Field (IGRF) é usado como referência para definição de perturbações causadas no campo normal pelas estruturas geológicas e depósitos de minérios, isto é, como referência para definição das anomalias magnéticas da prospecção e é representada teoricamente para a unidade intervalo de tempo, do campo magnético da terra. Para gerar o IGRF o campo magnético é representado por um somatório de harmônicos esféricos, cujos coeficientes<sup>2</sup>, são determinados a partir de levantamentos do

campo magnético em todo o planeta. Prevê uma variação secular do campo e permite extrapolações para os cinco anos seguintes.

### **5.3.2. Comportamento Magnético de Materiais ou Substâncias**

Os materiais ou substâncias em geral podem apresentar comportamento magnético distinto quando submetidos a um campo magnético. As substâncias que são repelidas são denominadas de *diamagnéticas*, as que são atraídas são denominadas de *paramagnéticas*, essas últimas podem, sob certas condições, apresentar magnetização espontânea e estão associadas a um maior valor de atração. Neste caso passam a ser denominadas de substâncias ferromagnéticas.

### **5.3.3. Magnetização das Rochas**

A magnetização observada nas rochas pode ser de dois tipos: magnetização *remanescente* ou *remanente* e magnetização *induzida*. A magnetização induzida é produzida pelo campo magnético atual da Terra, enquanto a magnetização remanescente é aquela adquirida ao longo da história geológica da rocha.

Vários processos podem vir a produzir a magnetização remanescente, e de acordo com esses processos pode vir a receber denominações particulares como:

- **Magnetização termoremanente** - é a mais importante no processo de formação de rochas ígneas. Esse tipo de magnetização desenvolve-se a partir do resfriamento dos materiais abaixo da temperatura de Curie (**Apêndice 01**), na presença do campo magnético terrestre da época.
- **Magnetização detrital ou deposicional** – desenvolve-se durante a deposição de materiais finos (argilas).
- **Magnetização viscosa** – Ocorre quando um campo magnético fraco, como o da Terra, é aplicado por um longo intervalo de tempo.
- **Magnetização piezo-remanescente** – Pode ocorrer como o resultado de aplicação conjunta de pressão e campo magnético, chamado também de fenômeno da magnetostrição. Tipo de magnetização significativo em rochas que foram submetidas a esforços tectônicos.

- **Magnetização isotérmica** – Ocorre quando um campo magnético é aplicado a um material magnético e depois tirado. O campo terrestre não é capaz de gerar esse tipo de magnetização de modo significativo, ocorrendo localmente a partir de queda de raios e seus fortes campos magnéticos criados.

Em prospecção mineral, os valores medidos representam o resultado da interação da magnetização induzida com a magnetização remanescente. Essa interação ocorre através da reorientação ou do alargamento dos domínios magnéticos dos minerais ferromagnéticos. Durante a interpretação dos valores medidos, a interação dos dois tipos de magnetização pode levar a erros consideráveis quando se presume que a magnetização é apenas induzida.

#### 5.3.4. Susceptibilidade Magnética de Rochas e Minerais

A susceptibilidade magnética das rochas depende, principalmente, da quantidade, tamanho dos grãos e distribuição dos minerais ferromagnéticos nela contidos. Os minerais ferromagnéticos ocorrem nas rochas em uma matriz contendo minerais paramagnéticos e diamagnéticos, representada pelos silicatos.

Devido à presença dos minerais ferromagnéticos, as rochas apresentam características similares às desses minerais, como a Histerese (Apêndice 02). Porém sua intensidade é inferior à dos minerais ferromagnéticos.

A susceptibilidade magnética de rochas e minerais é comumente determinada na presença de um campo externo. Para prospecção mineral a intensidade desse campo deve ser similar à do campo magnético terrestre, em torno de 0,3 a 0,6 (oersted), pois nos minerais ferromagnéticos o valor da susceptibilidade depende da intensidade do campo magnético.

Rochas sedimentares são as que apresentam os menores valores de susceptibilidade magnética. Os valores são geralmente inferiores a  $50 \times 10^{-6}$  no sistema cgs.

Rochas vulcânicas apresentam susceptibilidade magnética variando entre  $100 \times 10^{-6}$  e  $10.000 \times 10^{-6}$  no sistema cgs, enquanto nas plutônicas, a variação é de  $100 \times 10^{-6}$  e  $5.000 \times 10^{-6}$ .

Rochas metamórficas apresentam valores de susceptibilidade geralmente dentro da faixa de  $10 \times 10^{-6}$  e  $500 \times 10^{-6}$ , no sistema cgs.

Os espécimes mais maficos das rochas, por conterem uma maior quantidade de ferro, são os que apresentam maiores valores de susceptibilidade magnética. Dentre os minerais ferromagnéticos, apenas alguns possuem susceptibilidade magnética suficientemente elevada para produzirem anomalias detectáveis nos trabalhos de

prospecção. Esses minerais são: a magnetita, a pirrotita, a ilmenita, a franklinita e a maghemita (hematita – γ). Devido à sua abundância, os três primeiros são os que mais contribuem para a magnetização das rochas.

## 6. MATERIAIS E MÉTODOS

Para o desenvolvimento do presente trabalho foram utilizados dois magnetômetros de precessão nuclear (protônica), com efeito Overhauser, da marca GEM, modelo GSM – 19, de fabricação canadense (figuras 03 e 04) e gentilmente cedido pelo Departamento de Geofísica do Instituto de Astronomia e Geofísica da Universidade de São Paulo (IAG).

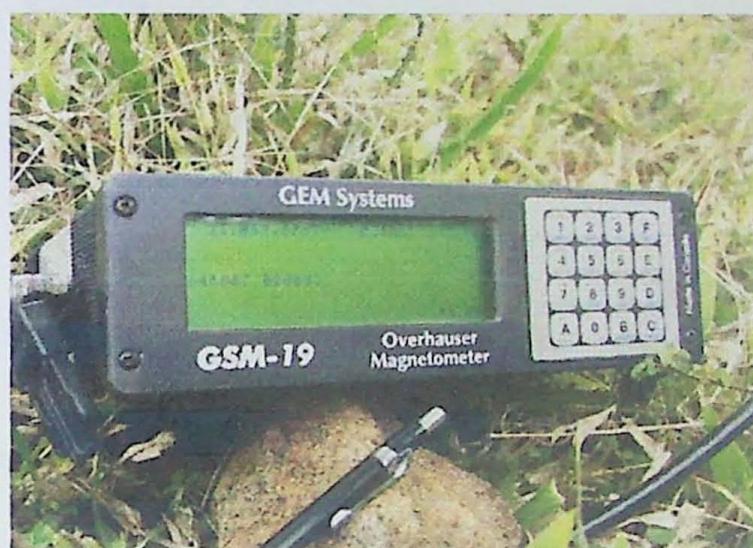


Figura 03 – Console do aparelho

Esse tipo de equipamento consiste basicamente de um sensor que contém uma fonte de prótons (água, metanol, álcool etílico, etc) e um contador eletrônico. O sensor é submetido a um campo magnético muito maior que o terrestre (50 a 100 Oersted, enquanto o campo magnético terrestre, como dito anteriormente, varia de 0,3 a 0,6 Oersted), e perpendicular a este. Os prótons são polarizados segundo a resultante dos dois campos, que é virtualmente paralela ao campo artificial. A remoção repentina do campo artificial faz com que os prótons voltem a se orientar com o campo magnético terrestre, girando em torno desse campo com determinada freqüência angular. A intensidade do campo magnético terrestre é determinada medindo-se a freqüência de precessão dos prótons por meio do contador eletrônico. O efeito Overhauser (patente da empresa GEM) otimiza tal efeito possibilitando medidas mais precisas, rápidas e com menor consumo de energia.



**Figura 04 – Equipamento utilizado no levantamento**

O método de trabalho utilizado corresponde a levantamentos terrestres que medem, principalmente, valores absolutos do campo magnético (campo total) ou sua componente vertical. O instrumento utilizado é o magnetômetro e a amostragem do campo magnético é feita ao longo de perfis transversais à estrutura do corpo mineralizado, objeto da prospecção.

Os perfis levantados são apresentados na figura 06 e foram feitos ao longo de estradas que cruzavam perpendicular ou aproximadamente perpendicularmente os diques de interesse. Os levantamentos foram feitos com dois magnetômetros idênticos onde um era estacionário operando como base e, portanto, medindo as variações do campo magnético ao longo do dia no momento em que os levantamento eram realizados e o outro era utilizado para a perfilagem onde eram efetuadas medidas da intensidade do campo magnético terrestre ao longo dos perfis a cada intervalo de 5 metros aproximadamente.

## 7. DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

O trabalho se iniciou com os levantamentos bibliográficos, estudo do método magnetométrico, escolha do local a serem efetuados os levantamentos, trabalhos de campo, um para o reconhecimento da área e mapeamento da ocorrência de diques, com base em mapa prévio de Basei & Vlach, 1981. E a segunda etapa de campo para a realização dos levantamentos terrestres utilizando os magnetômetros.

### ***7.1. Definição da área onde foram efetuados os levantamentos***

Após a análise dos mapas e da geologia optou-se pela definição da área a ser focada nos trabalhos de levantamento terrestre; esta área encontra-se entre as coordenadas 502.000 e 514.000 leste e 7.434.000 e 7.442.000 norte, e corresponde à região onde ocorre uma maior concentração de diques dentro da área sugerida no Projeto Inicial.

### ***7.2. Trabalhos de Campo***

O primeiro trabalho de campo foi realizado entre os dias 21 e 22 de abril, e contou com a presença dos professores do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, Prof. Dr. Fabio Taioli, Prof. Dr. Cláudio Riccomini assim como do bolsista de Iniciação Científica PIBIC-CNPq Tiago Borges. Este trabalho teve como objetivo principal o reconhecimento da área a ser levantada pelo método magnetométrico. Este reconhecimento envolveu desde um mapeamento geral dos diques constantes no mapa de Basei & Vlach (1981), apresentado no Simpósio Regional de Geologia, utilizado como base do trabalho, assim como para um reconhecimento da área, necessário ao direcionamento dos trabalhos futuros. Foram coletadas amostras dos diques aflorantes tanto para análise petrográfica como para determinação da susceptibilidade magnética. Nesta primeira etapa de campo foram levantados nove pontos cuja descrição é apresentada a seguir.

#### **Ponto 1**

Localização: Coordenadas 509023 E – 7441387 N.

Contato sudeste dique / xisto, as rochas apresentam-se bastante alteradas.

Medidas de xistosidade no xisto encaixante: 119/31 – 119/38 – 137/45 – 177/60 – 130/80.

Rocha amostrada, CN-01 (figura 05). Medidas de suscetibilidade magnética na tabela 02, item 8 Resultados Obtidos.



Figura 05 – Detalhe da rocha.

### Ponto 2

Localização: Coordenadas 512405 E – 7439780 N.

Litologia: Dique, rocha maciça afanítica a fanerítica muito fina de coloração cinza esverdeada. Ocorre como blocos aparentemente *in situ*. A rocha encaixante apresenta-se muito alterada.

Rocha amostrada, CN-02.

### Ponto 3

Localização: Coordenadas 512013 E – 7439567 N.

Litologia: Dique, rocha maciça afanítica a fanerítica muito fina de coloração cinza esverdeada. Ocorre como blocos. A rocha encaixante apresenta-se muito alterada.

Rocha amostrada, CN-03. Medidas de suscetibilidade magnética na tabela 03, item 8 Resultados Obtidos.

#### **Ponto 4**

Localização: Coordenadas 512256 E – 7441723 N.

Litologia: Afloramento de Gnaisse muito alterado com blocos aflorantes em corte na estrada.

#### **Ponto 5**

Localização: Coordenadas 507132 E – 7440171 N

Litologia: Dique, rocha maciça afanítica a fanerítica muito fina de coloração cinza esverdeada. Ocorre como blocos. A rocha encaixante apresenta-se muito alterada.

Rocha amostrada, CN-05.

#### **Ponto 6**

Localização: Afloramento à beira da estrada, coordenadas 504841 E – 7436691 N.

Litologia: Dique muito alterado, com espessura aparente em torno de 50m, rocha maciça afanítica a fanerítica muito fina de coloração cinza esverdeada. Ocorre como blocos. A rocha encaixante apresenta-se muito alterada.

Rocha amostrada, CN-06. As medidas de suscetibilidade magnética encontram-se a seguir na **tabela 04**, item 8 Resultados Obtidos.

#### **Ponto 7**

Localização: Afloramento na Cachoeira Grande, coordenadas 504468 E – 7434172 N.

Litologia: Dique muito alterado, com espessura aparente em torno de 20 a 30m, rocha maciça afanítica a fanerítica muito fina de coloração cinza esverdeada. Ocorre como blocos. A rocha encaixante apresenta-se muito alterada.

Rocha amostrada, CN-07. As medidas de suscetibilidade magnética encontram-se a seguir na **tabela 05**, item 8 Resultados Obtidos

### Ponto 8

Localização: Afloramento à beira da estrada, próximo a Escola da Barra. Coordenadas 505852 E – 7434959 N.

Litologia: Dique, rocha maciça afanítica a fanerítica muito fina de coloração cinza esverdeada. Ocorre como blocos. A rocha encaixante apresenta-se muito alterada, não sendo possível estabelecer o contato.

Rocha amostrada, CN-08.

### Ponto 9

Localização: Afloramento no Sítio das Cachoeiras, coordenadas 506376 E – 7440062 N.

Litologia: Afloramento de gnaisse milonítico, apresenta-se muito alterada com sigmóides quartzo-feldspáticos estirados.

A segunda etapa de campo foi realizada nos dias 23 e 24 de agosto. Nesta etapa de campo os trabalhos consistiram nos levantamentos terrestres. Foram realizadas 9 linhas de levantamento.

Os levantamentos foram feitos em estradas da área selecionada para os levantamentos, onde estas se encontravam perpendiculares aos corpos intrusivos. Os perfis foram suficientes cobrir com ressalvas as intrusões ocorrentes no mapa da **figura 06**, a seguir. Não foi possível mapear os diques restantes da área escolhida para o trabalho devido a dificuldades de acessos (falta de estradas, vegetação densa, etc).

Temos a seguir descrição de onde foram realizadas as linhas com observações e localização das linhas levantadas.

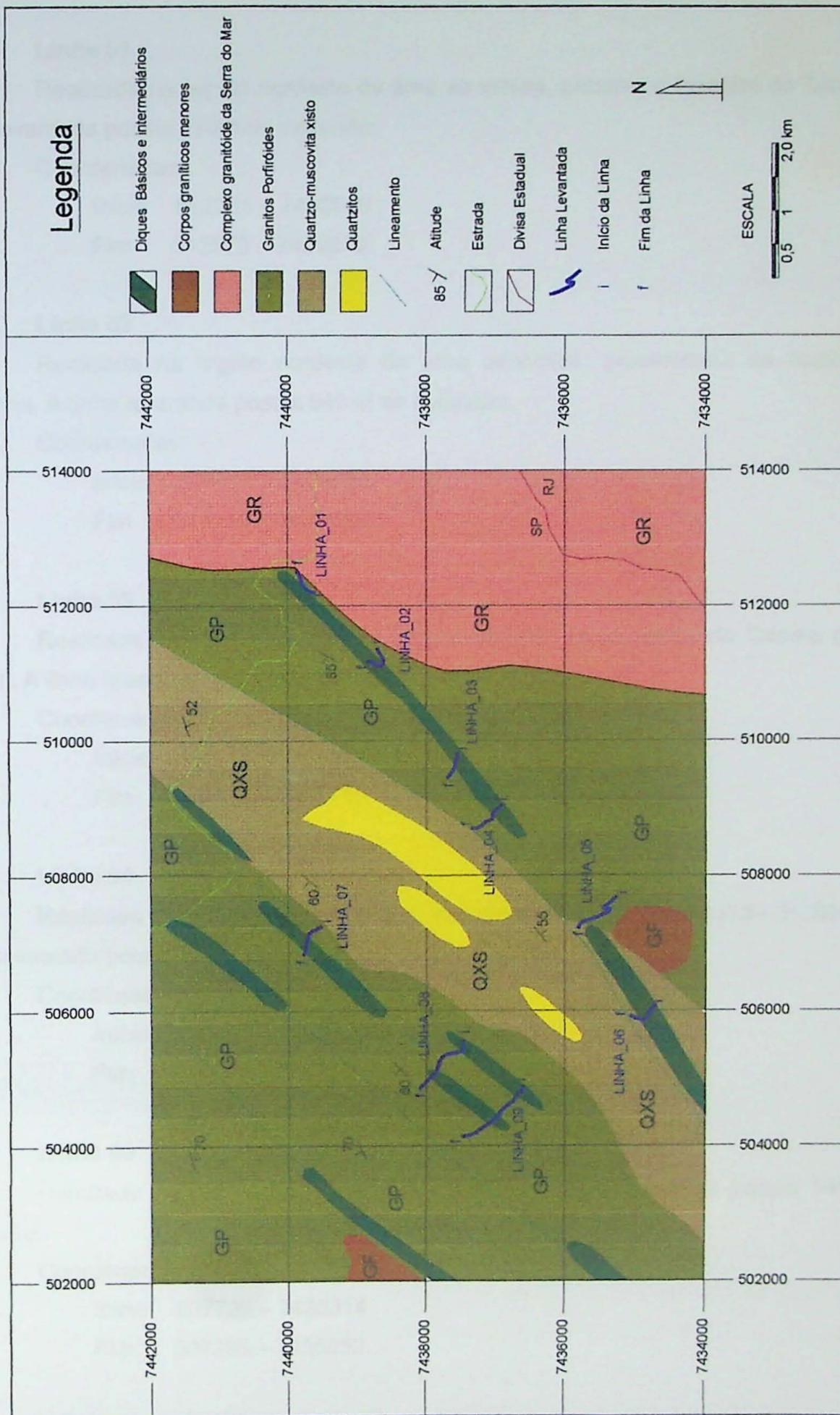


Figura 06 - Mapa geológico com localização das linha levantadas.

**Linha 01**

Realizada na região nordeste da área escolhida, próximo a fazenda do Taboão. A linha levantada possui 470m de extensão.

Coordenadas:

Início 512231 – 7439530

Fim 512576 – 7439813.

**Linha 02**

Realizada na região nordeste da área escolhida, proximidade da fazenda da Pontinha. A linha levantada possui 540 m de extensão.

Coordenadas:

Início 511417 – 7438592

Fim 511219 – 7438753.

**Linha 03**

Realizada na região Central da área escolhida, proximidade da Capela de São Roque. A linha levantada possui 430m de extensão.

Coordenadas:

Início 509715 – 7437702

Fim 509433 – 7437776.

**Linha 04**

Realizada na região Central da área escolhida, próximo ao Ribeirão do Sertão. A linha levantada possui 630m de extensão.

Coordenadas:

Início 509106 – 7436987

Fim 508770 – 7437360.

**Linha 05**

Realizada na região sul da área escolhida. A linha levantada possui 940m de extensão.

Coordenadas:

Inicio 507725 – 7435314

Fim 507295 – 7435882.

**Linha 06**

Realizada na região sul da área escolhida, proximidade da fazenda do Sertão de Santa Bárbara. A linha levantada possui 520m de extensão.

Coordenadas:

Início 506062 – 7434869

Fim 505852 – 7435167.

**Linha 07**

Realizada na região centro norte da área escolhida, proximidade da fazenda do Mato Escuro. A linha levantada possui 560m de extensão.

Coordenadas:

Início 507347 – 7439644

Fim 506937 – 7439930.

**Linha 08**

Realizada na região centro da área escolhida, proximidade da fazenda São Roque do Sítio. A linha levantada possui 1.100m de extensão.

Coordenadas:

Início 505602 – 7437525

Fim 504904 – 7438226.

**Linha 09**

Realizada na região leste da área escolhida, proximidade do Bairro do Paraibuna. A linha levantada possui 1.220m de extensão.

Coordenadas:

Início 504950 – 7436690

Fim 504823 – 7437491.

### **7.3. Coleta e Preparação de Amostras**

Foi executada amostragem em alguns pontos visando confecção de lâminas delgadas para estudo petrográfico dos diques sob microscopia ótica, assim como para efetuar medidas de suscetibilidade magnética das rochas em laboratório. As medidas de suscetibilidade magnética foram realizadas no Laboratório de Anomalias Magnéticas da Universidade de São Paulo sob supervisão da Prof. Doutora Maria Irene Bartolomeu Raposo e foram efetuadas no equipamento Kappabridge (KLY3S, geofyzika, Brno).

Devido ao grau de intemperismo encontrado nas rochas em campo não foram amostradas as rochas encaixantes para execução de lâminas delgadas, nem de medidas de

suscetibilidade magnética. Alguns diques também não puderam ser amostrados pelo mesmo motivo, o que interferiria nas análises de suscetibilidade.

#### **7.4. Processamento e Modelagem dos dados magnéticos**

Na fase de processamento e modelagem dos dados magnéticos, executamos o acerto do banco de dados com as transformações que visavam formatar os dados obtidos nos levantamentos, para que estes fossem utilizados no programa de inversão. Isso incluiu uma normalização dos dados de campo total. Onde os valores obtidos foram subtraídos de 22.000 nT para todas as medidas em todos os levantamentos. Isto se fez necessário para a execução dos modelos. Foi também realizado o cálculo do campo magnético total, sua inclinação e declinação magnética para a área de estudo, ver a seguir (tabela 01). Essas informações são necessárias para que o cálculo da resposta magnética produzida pelo modelo proposto seja efetuado para a latitude e longitude das medidas. Só então passamos para a fase de modelagem dos dados, onde, utilizamos o software open file do U. S. Geological Survey, desenvolvido por Mike Webring, 1985. E corresponde a um software de inversão de dados magnetométricos e gravimétricos semi-automático.

Após o acerto do banco de dados e entrada no software, iniciamos as inversões dos dados visando o ajuste dos modelos. Os modelos têm por base modelos geológicos simples, no caso diques intrusivos as encaixantes. E a partir dessas informações de entrada realizamos as inversões buscando o ajuste do modelo, isto é, corrigindo parâmetros do modelo de entrada (ex. profundidade do corpo, espessura, suscetibilidade, etc.) às anomalias encontradas nos levantamentos até atingir um grau satisfatório no ajuste dos dados.

CAMPO MAGNÉTICO LOCAL	
CAMPO TOTAL	23580
INCLINAÇÃO MAGNÉTICA	-36,17
DECLINAÇÃO MAGNÉTICA	-22,00

Tabela 01 – Valores de campo magnético calculados para a área de estudo.

#### **7.5. Preparação do Mapa geológico**

O mapa geológico foi confeccionado a partir de mapa geológico de Basei & Vlach, 1981. Esse mapa foi reorganizado com base nos levantamentos realizados em campo e posterior modelagem dos dados geofísicos o que implicou em mudanças no mapa atual.

De modo geral os diques ocorrentes na área tiveram suas espessuras diminuídas de centenas de metros para dezenas de metros isto com base nos modelos que nos indicaram espessuras médias em torno de vinte a trinta metros de espessura para os diques em questão. Em função desses dados foram refeitos os contatos e diminuídas suas espessuras onde os levantamentos nos permitiram concluir essas feições com certa clareza.

### 7.6. Análise Petrográfica

Macroscopicamente as rochas amostradas correspondem a rochas de caráter básico-intermediário, diabásios. Apresentam textura fanerítica fina a média onde predominam rochas constituídas essencialmente por plagioclásio e piroxênio/anfibólito; onde clorita e sericita aparecem como minerais de alteração.

Microscopicamente as amostras coletadas não apresentaram entre si diferenças significativas quanto aos minerais formadores de rocha, que nos indica uma provável origem do mesmo magma parental. Portanto, as diferenças ficam restritas à granulação dos minerais presentes. De modo geral os constituintes das rochas amostradas são: feldspato (plagioclásio), piroxênios, anfibólitos, quartzo, e minerais opacos e foram classificadas como andesitos.

O feldspato predominante é a andesina. Os piroxênios encontrados correspondem aos clino-piroxênios, augita e pigionita com o anfibólito ocorrendo, provavelmente, como mineral de alteração hidrotermal dos piroxênios a partir da percolação de fluidos. Isto se deu em e vento pós-magmático. Os outros minerais presentes nas amostras são, o quartzo e vidro vulcânico por vezes subordinado, minerais opacos, no caso a magnetita, e a apatita aparecendo como mineral acessório.

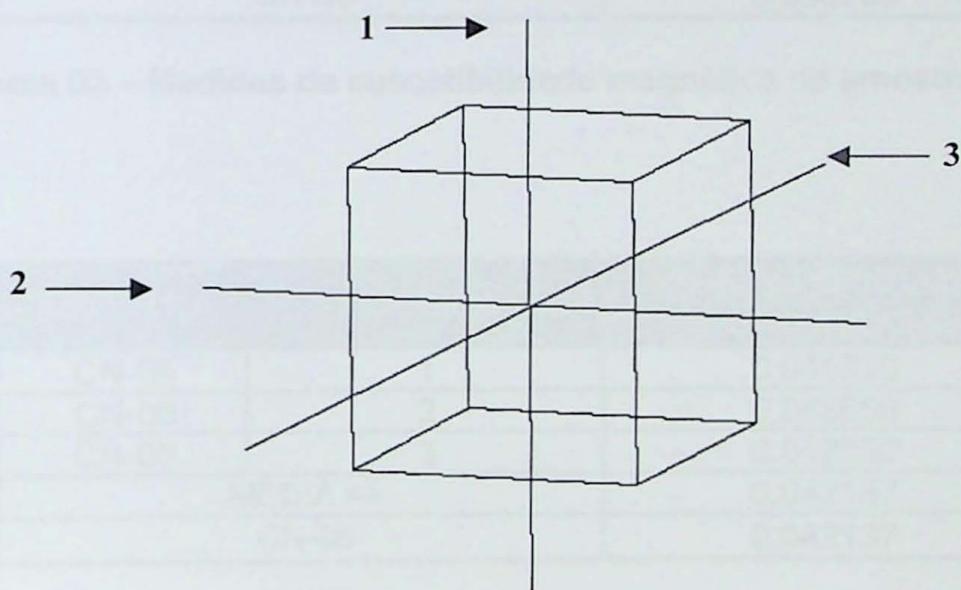
As amostras, de modo geral, apresentam textura subofítica, fanerítica fina e holocristalina. A granulação é fina a média, o que nos indica condições de cristalização correspondente a rochas de natureza sub-vulcânica a vulcânica, atestada com a presença de vidro em algumas amostras.

## 8. RESULTADOS OBTIDOS

As análises de fragmentos de rochas, no caso dos diques, apresentaram valores esperados de suscetibilidade magnética para rochas de natureza vulcânica a sub-vulcânicas que devem apresentar valores variando entre  $100 \times 10^{-6}$  e  $10.000 \times 10^{-6}$  no sistema cgs. Para execução das medidas de suscetibilidade magnética foram escolhidas as amostras em

menor grau de alteração visto que o grau intempérico interfere na obtenção das medidas podendo vir a representar erros. Isto nos levou a efetuar medidas de suscetibilidade magnética em apenas quatro amostras respectivamente CN-01, CN-03, CN-06, e CN-07. Essas medidas de suscetibilidade magnética visavam obter dados de comportamento magnético dessas rochas como um todo visando a preparação dos modelos já que é um dos parâmetros a serem dados como parâmetros de entrada na construção dos modelos.

As análises da suscetibilidade magnética foram realizadas em amostras cortadas em forma de cubo com aproximadamente 2 cm de lado. Esses cubos foram introduzidos no aparelho Kappabridge – KLY3S, e realizadas medidas da suscetibilidade magnética da amostra em 3 direções perpendiculares entre si (**figura 07**). A partir dessas três medidas obtivemos a média que admitimos como a suscetibilidade média da rocha no local amostrado. Como este trabalho não visava estudos de anisotropias magnéticas, a amostragem foi feita sem orientação espacial das amostras.



**Figura 07 – Esquema ilustrativo das direções onde foram realizadas as medidas de suscetibilidade magnética das amostras.**

As Tabelas de 1 a 4 apresentam as medidas de suscetibilidade magnética das três referidas direções para as quatro amostras e as médias obtidas.

AMOSTRA	MEDIDA	SUSCETIBILIDADE MAGNÉTICA (SI)
CN-01	1	0,037030
CN-01	2	0,037010
CN-01	3	0,037300
MÉDIA =>		0,037113
<b>CN-01</b>		<b>0,037113</b>

**Tabela 02 – Medidas de suscetibilidade magnética da amostra CN-01.**

AMOSTRA	MEDIDA	SUSCETIBILIDADE MAGNÉTICA (SI)
CN-03	1	0,039250
CN-03	2	0,039280
CN-03	3	0,037720
MÉDIA =>		0,038750
<b>CN-03</b>		<b>0,038750</b>

**Tabela 03 – Medidas de suscetibilidade magnética da amostra CN-03.**

AMOSTRA	MEDIDA	SUSCETIBILIDADE MAGNÉTICA (SI)
CN-06	1	0,041010
CN-06	2	0,042550
CN-06	3	0,042850
MÉDIA =>		0,042137
<b>CN-06</b>		<b>0,042137</b>

**Tabela 04 – Medidas de suscetibilidade magnética da amostra CN-06.**

AMOSTRA	MEDIDA	SUSCETIBILIDADE MAGNÉTICA (SI)
CN-07	1	0,028710
CN-07	2	0,028720
CN-07	3	0,028800
MÉDIA =>		0,028743
<b>CN-07</b>		<b>0,028743</b>

**Tabela 05 – Medidas de suscetibilidade magnética da amostra CN-07.**

Outro sistema muito utilizado para representação da suscetibilidade magnética das rochas é o sistema cgs. A conversão do sistema SI (utilizado nas determinações de laboratório) para cgs é obtida dividindo-se o valor obtido no SI por  $4\pi$ . A Tabela 5 apresenta os valores das medidas convertidas para o sistema cgs.

SUSCETIBILIDADE MAGNÉTICA NO SISTEMA CGS	
CN-01	2,953E-03
CN-03	3,084E-03
CN-06	3,353E-03
CN-07	2,287E-02

**Tabela 06 – Conversão de medidas para o sistema cgs.**

## 9. INTERPRETAÇÃO/DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

### 9.1. *Correções Diurnas*

A variação diurna do campo geomagnético trata-se da maior variação temporal a que um levantamento magnetométrico terrestre está sujeito. Essas variações são causadas por perturbações no campo magnético externo da terra. São perturbações síncronas e de praticamente mesma amplitude dentro de uma área com 50 km de raio.

Estas variações são medidas através de um magnetômetro fixo, instalado numa estação base ao longo do dia ou do período de levantamento as quais, posteriormente, são descontadas dos dados obtidos no levantamento.

A correção dos dados foi efetuada subtraindo-se a diferença nas variações do campo magnético terrestre medidos pela base durante o levantamento. Essas medidas foram obtidas pelo magnetômetro base de cinco em cinco segundos, e a partir dessas medidas descontamos as variações no campo magnético terrestre das medidas obtidas pelo magnetômetro utilizado no levantamento das linhas.

## 9.2. Anomalias Magnéticas

De modo geral anomalias magnéticas podem variar muito em função de sua forma e amplitude; tratam-se em sua maioria de formas assimétricas, podendo ocorrer, às vezes, de modo complexo para fontes simples e por fim podem ser resultantes da combinação de efeitos magnéticos de diversas fontes. Assim há um infinito número de fontes possíveis para uma dada anomalia. Essa aparente complexidade de uma dada anomalia é consequência de vários efeitos independentes, porém de funções relativamente simples da componente do dipolo magnético.

Uma anomalia representa um distúrbio local do campo magnético terrestre que pode surgir de uma mudança local na magnetização, ou um contraste de magnetização como costuma ser chamado. Se por exemplo, tomarmos uma grande superfície e uniformemente magnetizada como um todo, não exibirá anomalia magnética já que no local não ocorrerá mudança de magnetização – exemplo disso seria uma grande formação sedimentar, ou um batólito de certo granito homogêneo - por outro lado, um aumento ou diminuição local na magnetização pode representar uma mudança e assim gerar uma anomalia. Por exemplo, uma formação sedimentar intrudida por um dique de rocha vulcânica.

A anomalia observada representa somente o efeito conjunto da magnetização remanente e da magnetização induzida, que geralmente possuem diferentes direções e intensidades de magnetização. A figura 08 apresenta exemplos de assinaturas magnéticas para diferentes modelos geológicos envolvendo a ocorrência de diques.

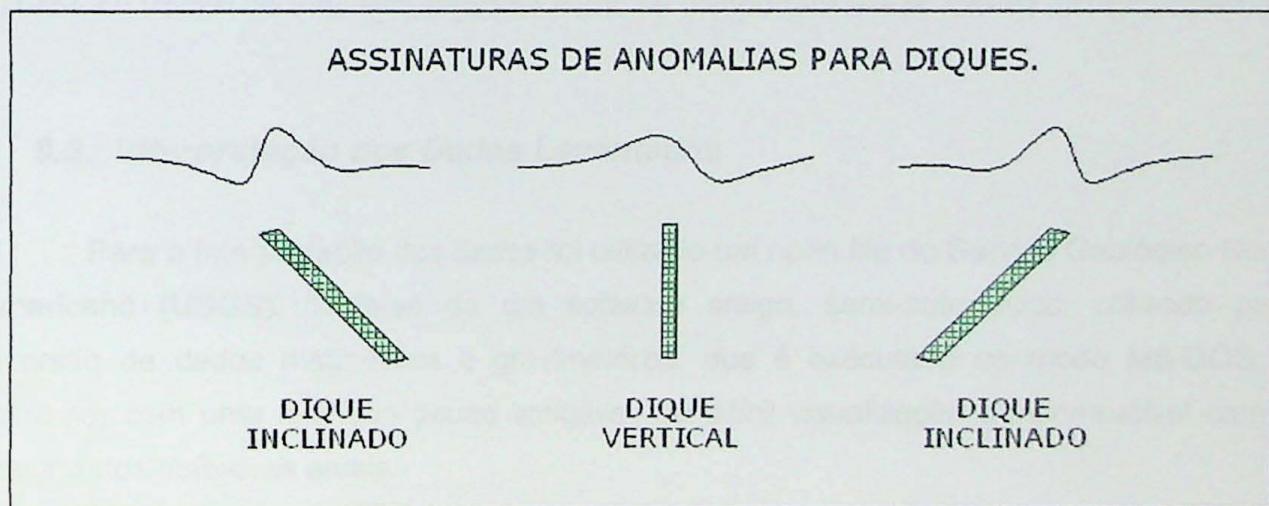
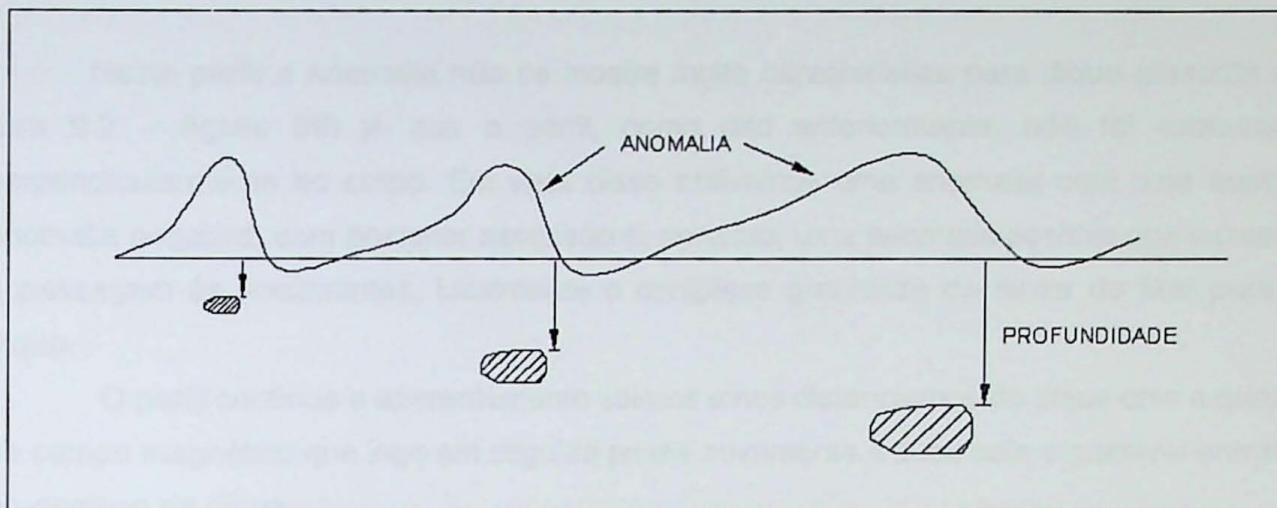


Figura 08 – Exemplo de assinatura de anomalias para diques.

Como não realizamos medidas de magnetização remanente, as anomalias serão interpretadas na prática como resultantes totalmente da magnetização induzida.

Outra característica interessante de uma anomalia magnética é o comportamento das anomalias em função da profundidade do corpo, isto é a variação da anomalia com

relação à profundidade da fonte geradora e o magnetômetro, pode ser observada no exemplo apresentado na **figura 09**. Em geral as anomalias têm seus picos suavizados e ocorre um alargamento da anomalia à medida em que os corpos em questão encontram-se mais profundos.



**Figura 09 – Comportamento da anomalia magnética em função da profundidade do corpo.**

A forma e a amplitude de uma anomalia também podem variar em função da quantidade de magnetita presente, assim como da direção de formação e da resultante da soma das magnetizações induzida e permanente.

As anomalias geológicas são interpretadas a partir de modelos geológicos simplificados que facilitam a interpretação dos dados levantados. Desta forma, os modelos obtidos se tratam de uma simulação de como se comportam essas rochas em subsuperfície.

### 9.3. *Interpretação dos Dados Levantados*

Para a interpretação dos dados foi utilizado um open file do Serviço Geológico Norte Americano (USGS). Trata-se de um software antigo, semi-automático, utilizado para inversão de dados magnéticos e gravimétricos, que é executado no modo MS-DOS e, portanto, com uma interface pouco amigável, de difícil visualização e incompatível com a maioria dos softwares atuais.

#### Linha 01

Trata-se de um perfil experimental que foi executado em uma estrada que localmente é tangente a um dos diques mapeados. Os dados obtidos estão apresentados na Figura 09. A linha passou pelo ponto de amostragem (Ponto – 03, ver **figura 02**) na primeira etapa de

campo. O dique em questão não é aflorante sendo que os afloramentos tratam-se de blocos rolados próximos à estrada e em cortes da estrada. Isto nos levou a fazer um primeiro perfil experimental para tomada de dados magnéticos e ver como o aparelho se comportaria em um local onde o dique ocorre, isto é, procuramos tomar as medidas e ver como seria a resposta do aparelho, como se comportaria a assinatura da anomalia.

Neste perfil a anomalia não se mostra muito característica para dique (descrito no item 9.2 – figura 08) já que o perfil, como dito anteriormente, não foi executado perpendicularmente ao corpo. Em vista disso obtivemos uma anomalia com uma queda, anomalia negativa, com posterior ascensão e, portanto, uma anomalia positiva que indicava a passagem às encaixantes, localmente o complexo granítóide da Serra do Mar para o dique.

O perfil continua e aparentemente saímos e nos distanciamos do dique com a queda no campo magnético que logo em seguida passa novamente a subir com a possível entrada no domínio do dique.

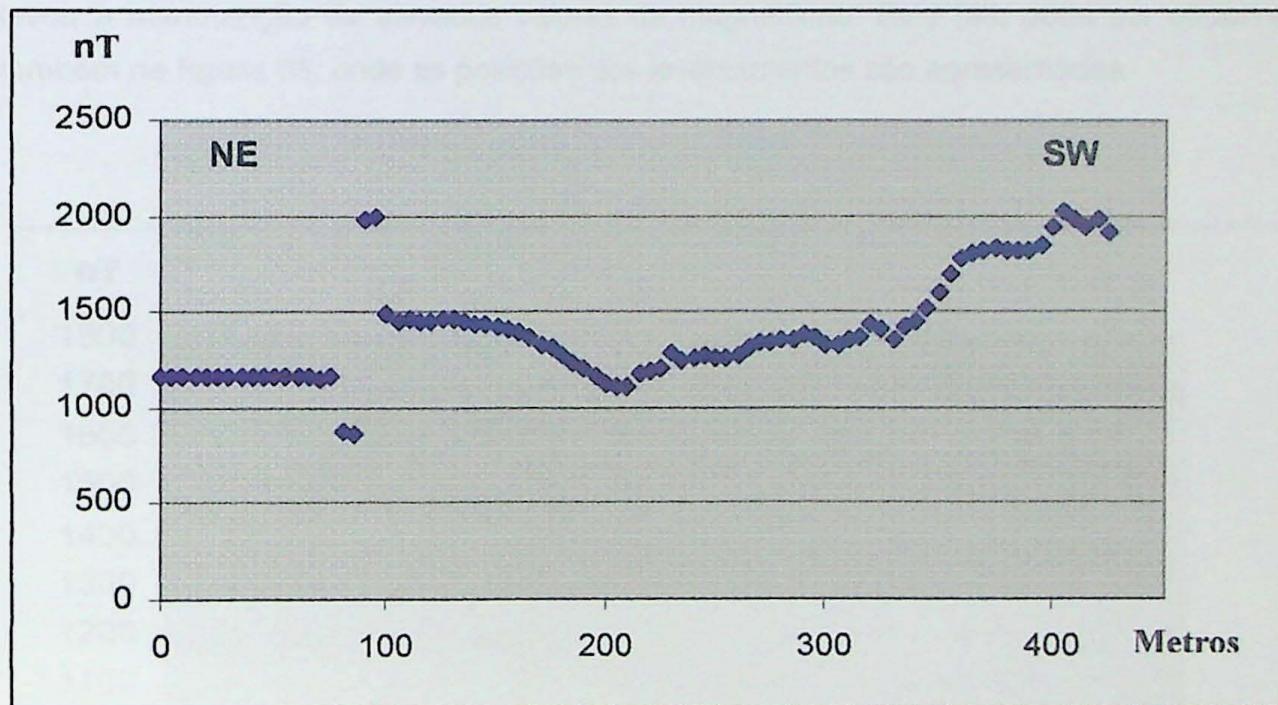


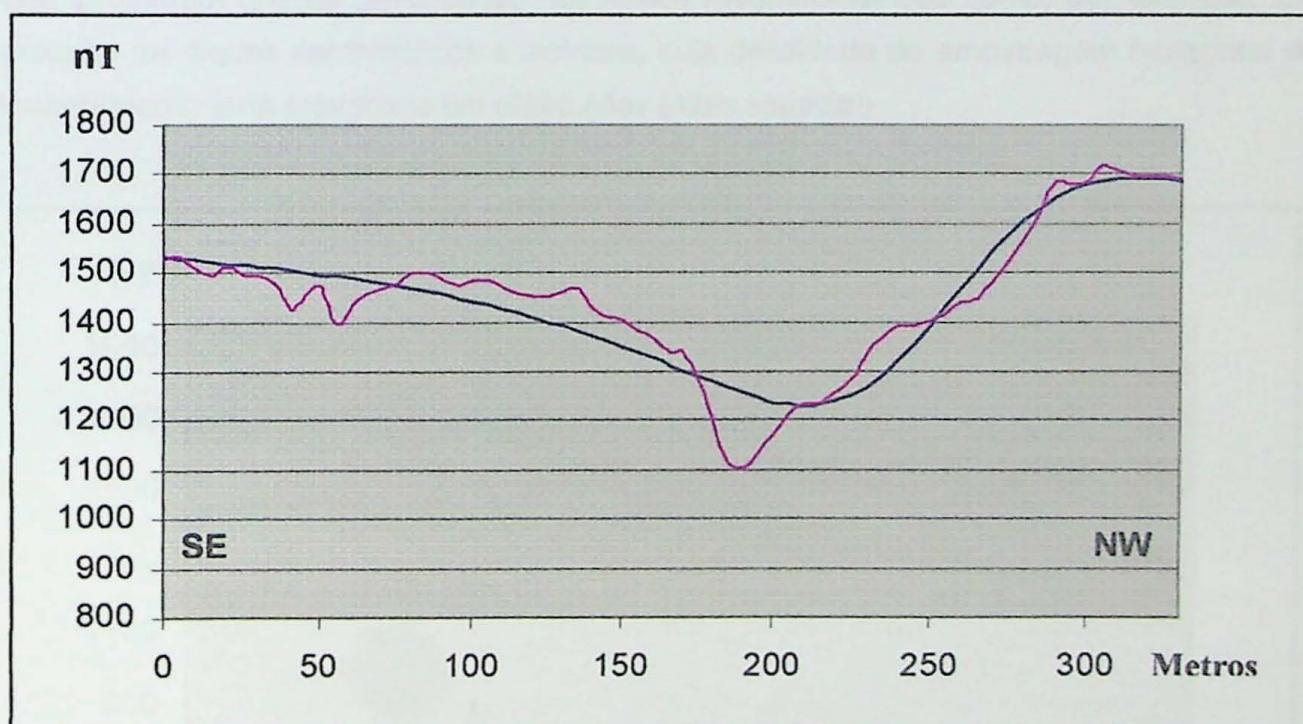
Figura 10 – medidas obtidas no levantamento da linha 01.

Podemos observar nos dados apresentados na figura 10, dados estes levantados em campo, sem a respectiva modelagem, que ocorre uma pequena anomalia no começo do perfil, que envolve os pontos 17, 18, 19 e 20 e trata-se de uma anomalia negativa passando a positiva, típica de dique, porém de escala reduzida devido ao ângulo em que foi executado o levantamento.

## Linha 02

Levantamento executado no mesmo corpo da linha anterior (linha 01), porém a sudoeste desta. Os dados são apresentados na **figura 10**. Corresponde a uma assinatura bem característica de dique, com uma anomalia negativa seguida de uma anomalia positiva. Temos em rosa o levantamento feito em campo e em azul o modelo ajustado; trata-se de um dique de grande dimensão, aproximadamente 20m de espessura e a 60 metros de profundidade. A anomalia apresenta grande dimensão o que pode ser interpretado, segundo o modelo geológico e da interpretação da anomalia, como uma maior profundidade da fonte, no caso um dique (**figura 12**). Este dique é subvertical com pequeno mergulho aparente para SE.

Apesar da anomalia apresentar uma forma um pouco diferente das demais, características de diques, este fato deveu-se à direção em que foi efetuado o levantamento em campo, ou seja, apesar do cruzamento no corpo ter sido praticamente perpendicular, as continuações da linha seguiram um caminho aproximadamente paralelo ao corpo o que levou à manutenção de elevados valores de magnetismo. Este fato pode ser observado também na **figura 06**, onde as posições dos levantamentos são apresentadas.



**Figura 11 - medidas obtidas no levantamento da linha 02.**

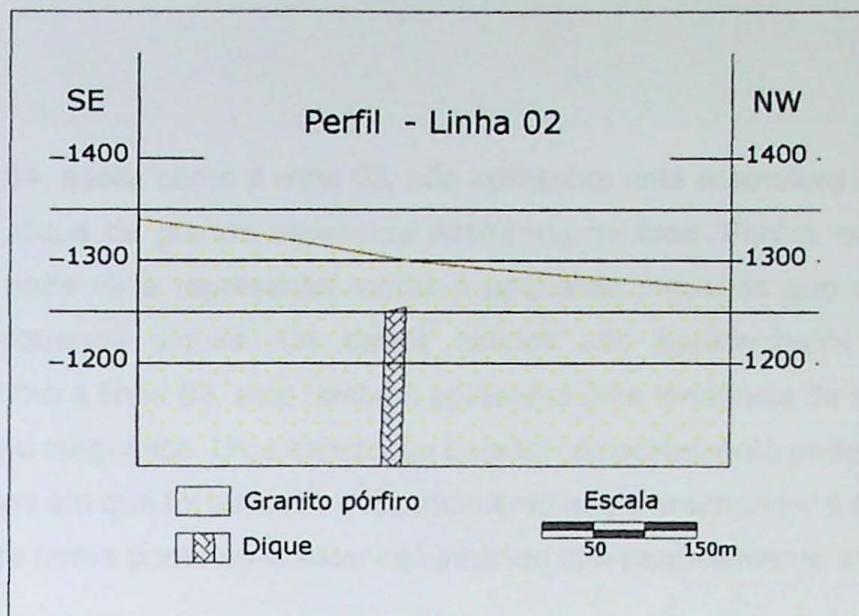


Figura 12 – Perfil linha 02.

### Linha 03

A linha 03, cujos dados são apresentados na figura 13, mostra dados bastante variáveis e não apresenta assinatura que caracterizaria a presença de diques espessos na região, portanto, não foi possível construir um modelo condizente com os dados obtidos em campo. No entanto, não se descarta a possibilidade de haverem várias pequenas intrusões que causariam grande perturbação nos dados magnetométricos como, por exemplo, um enxame de diques centimétricos a métricos, cuja densidade de amostragem horizontal do levantamento teria provocado um efeito Alias (Alias espacial).

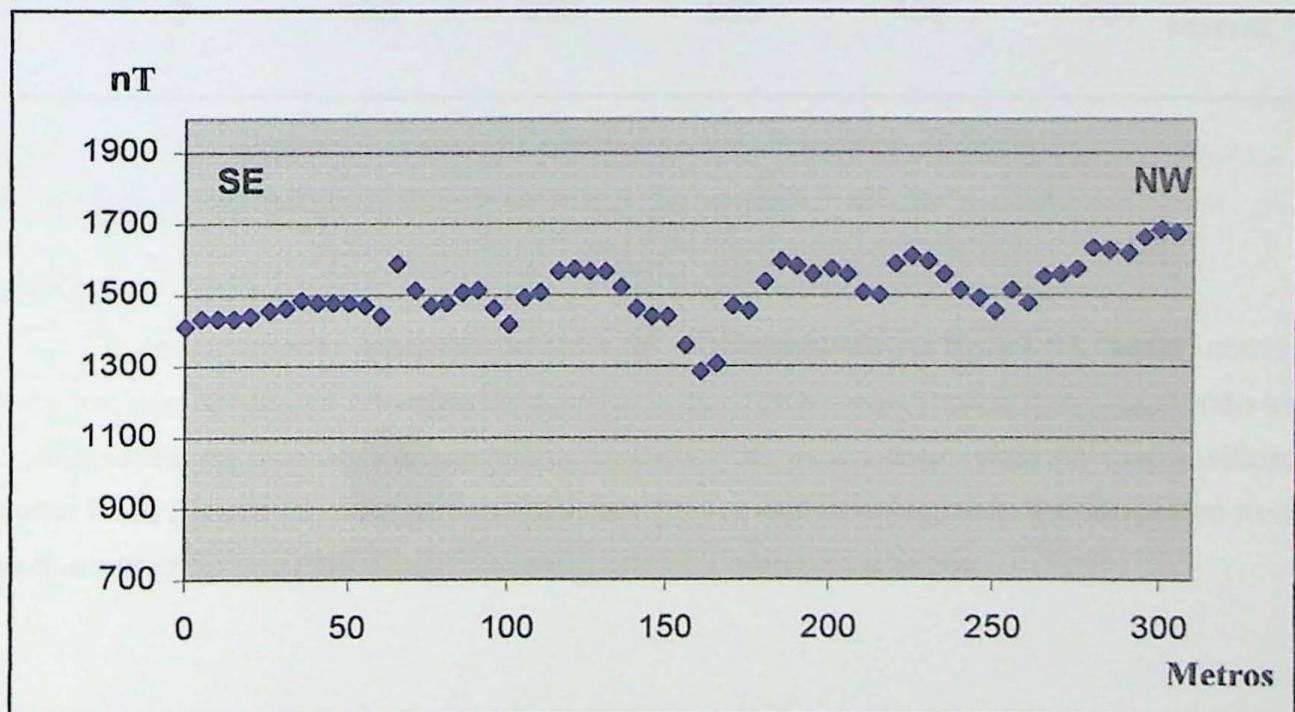


Figura 13 - medidas obtidas no levantamento da linha 03.

## Linha 04

A linha 04, assim como a linha 03, não apresenta uma assinatura de anomalia que caractere um dique de grande espessura ocorrendo na área. Porém, como já discutido anteriormente, pode vir a representar várias e pequenas intrusões que caracterizem um enxame de pequenos diques. Os dados obtidos são apresentados na figura 14.

Assim como a linha 03, esta também apresenta uma tendência de ascendência nos valores do campo magnético. Uma explicação para tal comportamento poderia ser a locação do dique no mapa em que foi baseado o levantamento não corresponder à sua situação real no campo. Desta forma poder-se-ia estar caminhando sub-paralelamente ao corpo.

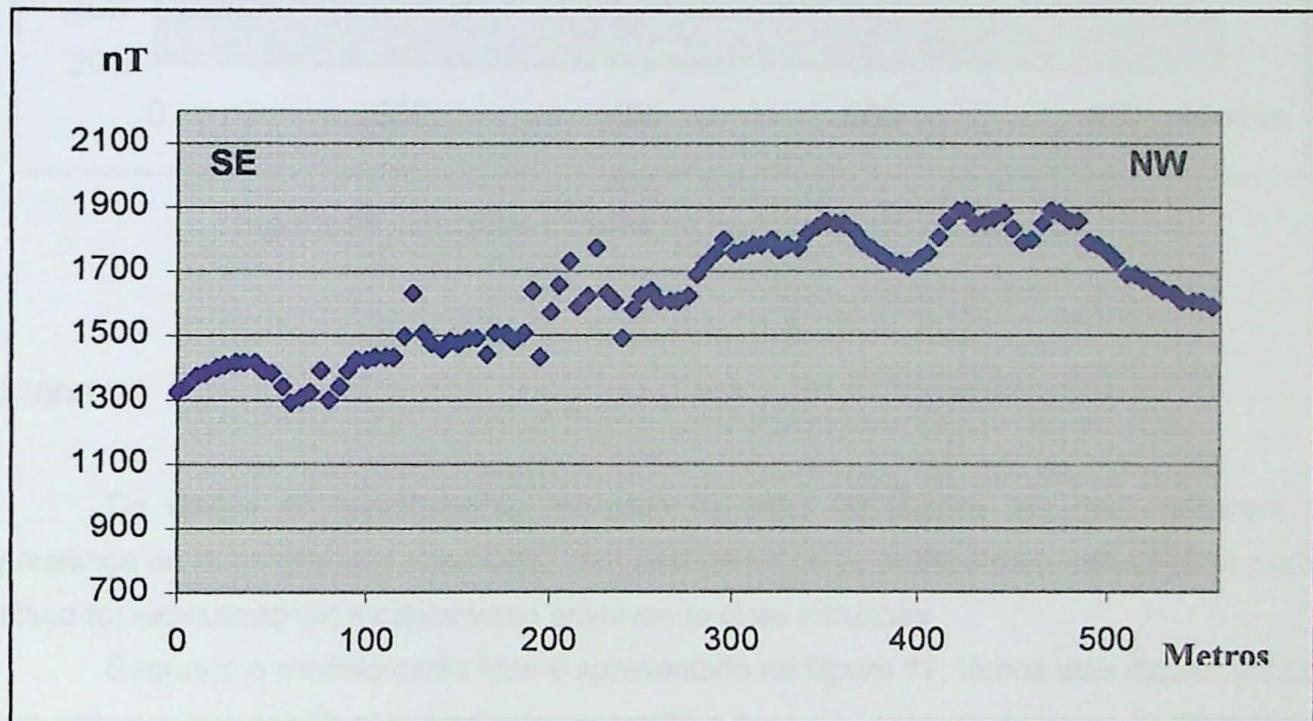


Figura 14 - medidas obtidas no levantamento da linha 04.

## Linha 05

O levantamento realizado na linha 05 é apresentado na figura 15, assim como o anterior, não apresenta anomalia característica de diques o que implica que o dique não tem continuidade na direção SW, ver mapa na Figura 05, assim como visto no mapa utilizado como base (figura 02) para os trabalhos. Isto implica que não ocorrerão mudanças no mapa já que este não assinala diques na região onde foi efetuada a seção.

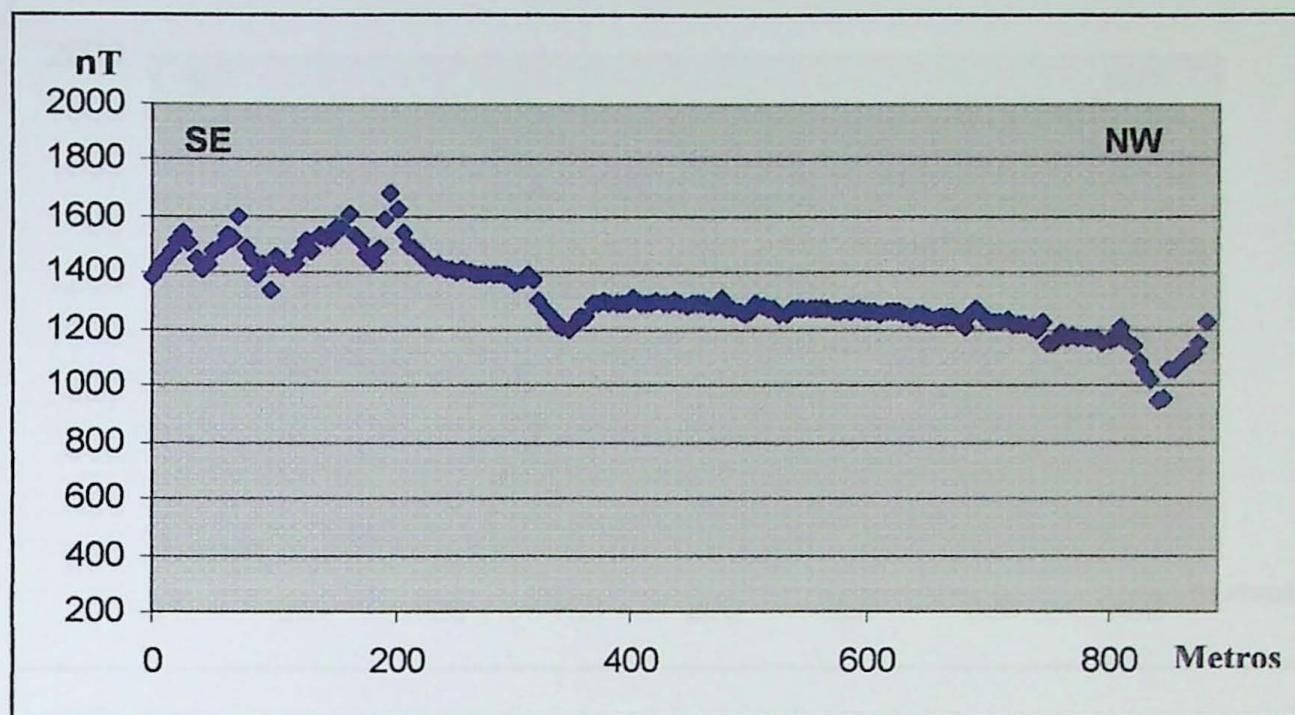


Figura 15 - Medidas obtidas no levantamento da linha 05.

### Linha 06

Os dados do levantamento realizado na linha 06 (figura 16) nos indicaram a presença de duas grandes anomalias, com assinatura característica para intrusões. A partir disso foi executado um modelamento envolvendo duas intrusões.

Segundo o modelamento feito e apresentado na figura 17, temos dois diques sendo um primeiro que condiz com a primeira anomalia e possui espessura de cerca de 30 metros e ocorre a uma profundidade de aproximadamente 15m da superfície. O segundo dique, que é ilustrado no gráfico abaixo como a segunda anomalia e, portanto, de maior valor do campo magnético. Representa segundo o modelo proposto, de um dique de espessura de cerca de 20 metros a uma profundidade de aproximadamente 2 metros da superfície do terreno, ver perfil linha 06 abaixo (figura 17).

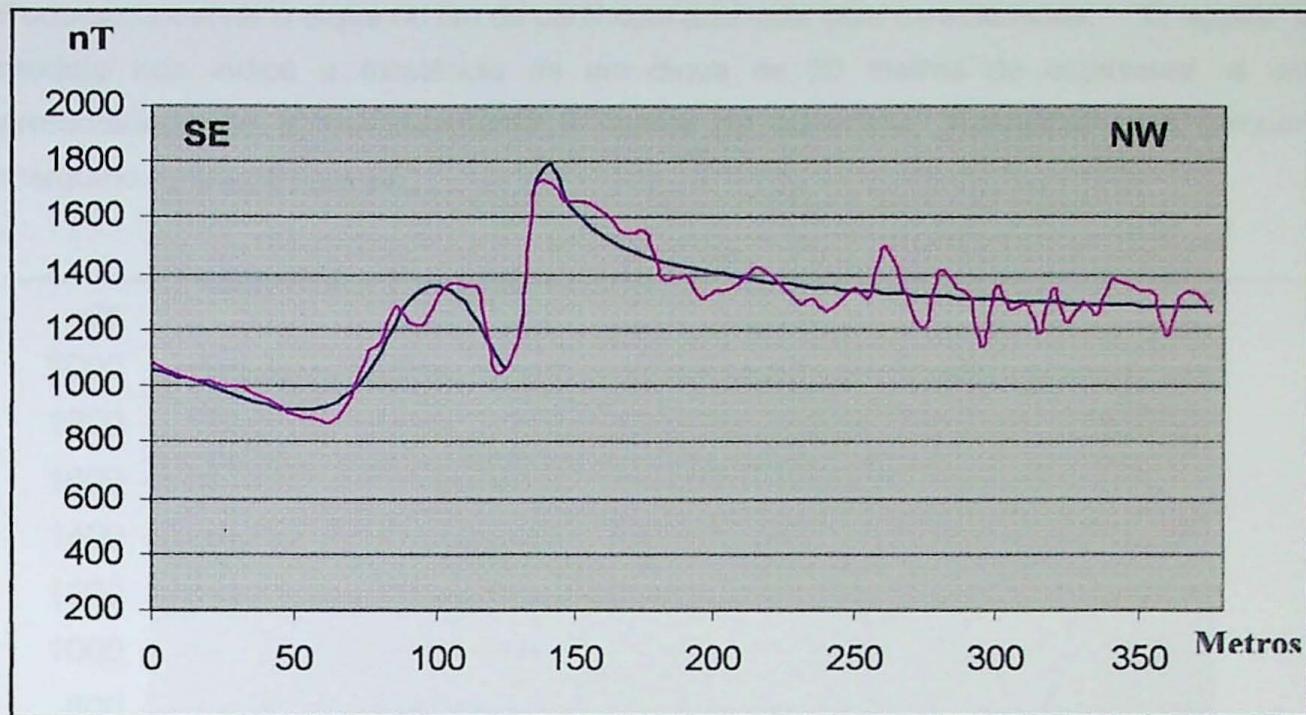


Figura 16 - Medidas do levantamento linha 06, em rosa e modelo ajustado, em azul.

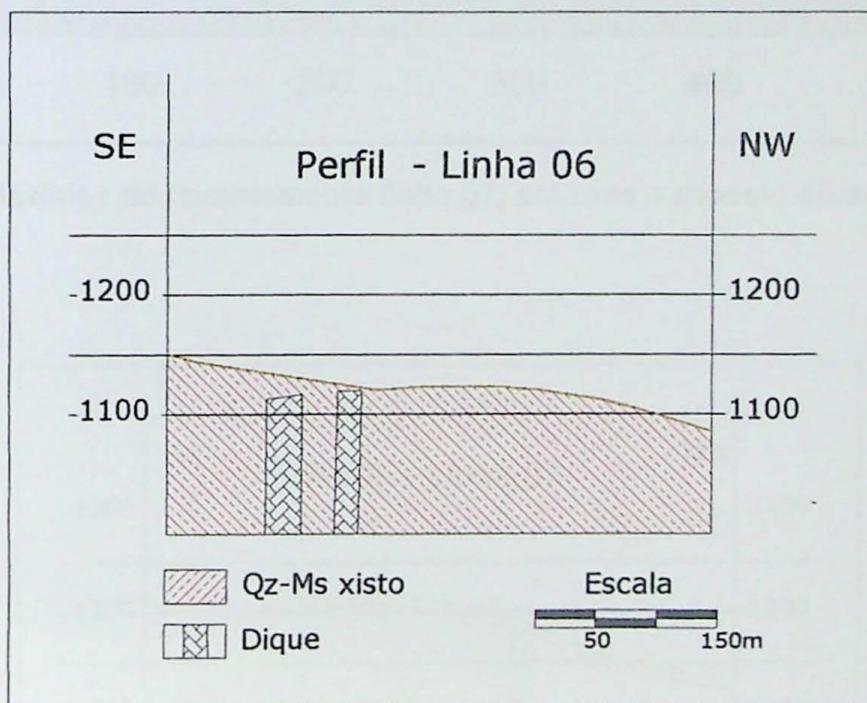
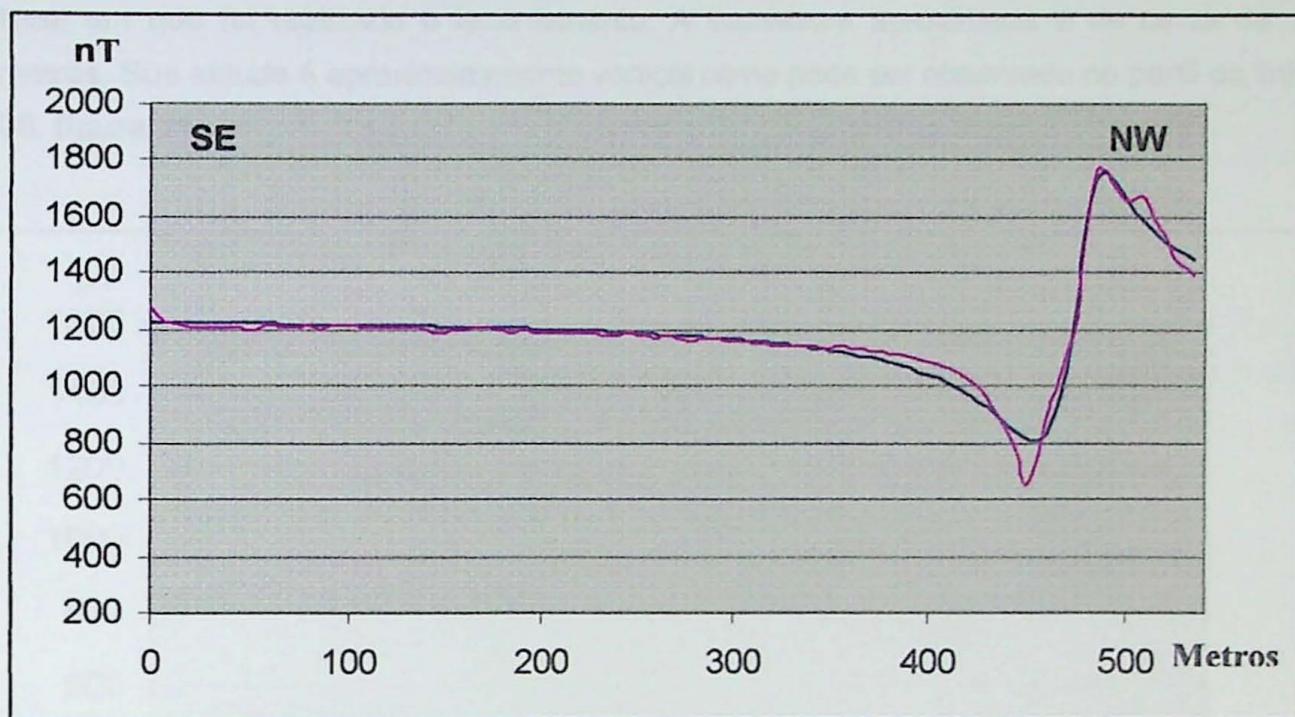


Figura 17 – Perfil linha 06.

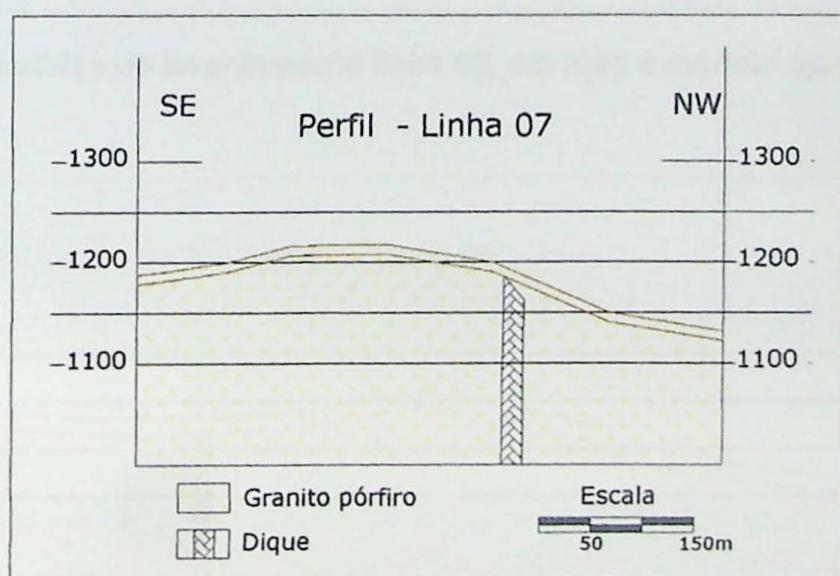
### Linha 07

Os dados obtidos no levantamento da linha 7 são mostrados na figura 18. A anomalia obtida nesse levantamento nos indica a presença de um dique próximo ao fim do perfil. A partir dessa informação foi realizada uma modelagem que se encontra ilustrada na

**figura 19.** Temos em azul o modelo ajustado e em rosa o levantamento feito em campo. Pode-se observar o dique no fim do perfil com anomalia bem característica. O ajuste do modelo nos indica a existência de um dique de 20 metros de espessura, a uma profundidade de aproximadamente 9 metros da superfície, subvertical com pequeno mergulho aparente para SE.



**Figura 18 -** Medidas do levantamento linha 07, em rosa e modelo ajustado, em azul.



**Figura 19 –** Perfil linha 07.

## Linha 08

A Figura 20 apresenta os dados de campo (em rosa) e os dados gerados pelo modelamento (em azul) obtidos para a Linha 8. O modelamento executado nos dados levantados nessa linha nos indica que ocorre um corpo intrusivo aproximadamente no meio da seção levantada e encontra-se a cerca de 16 metros de profundidade da superfície no local em que foi realizado o levantamento. A espessura aproximada é de cerca de 10 metros. Sua atitude é aproximadamente vertical como pode ser observado no perfil da linha 08, figura 21.

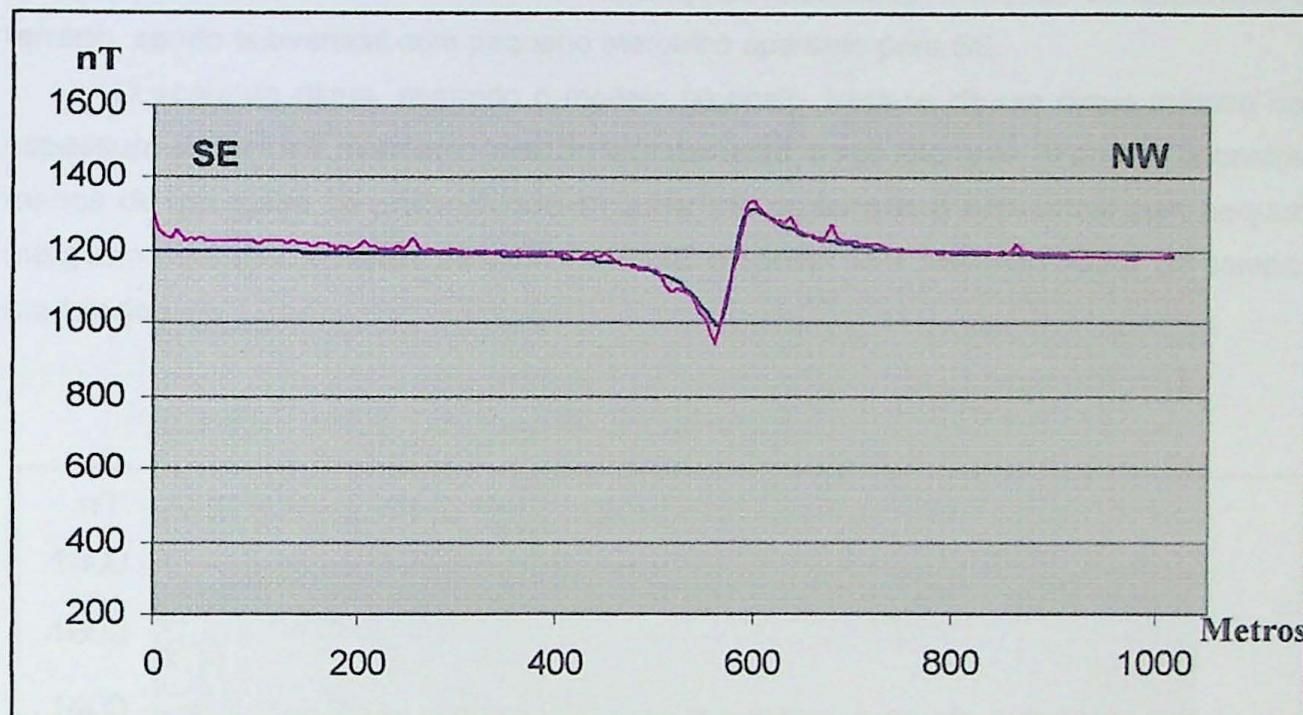


Figura 20 - Medidas do levantamento linha 08, em rosa e modelo ajustado, em azul.

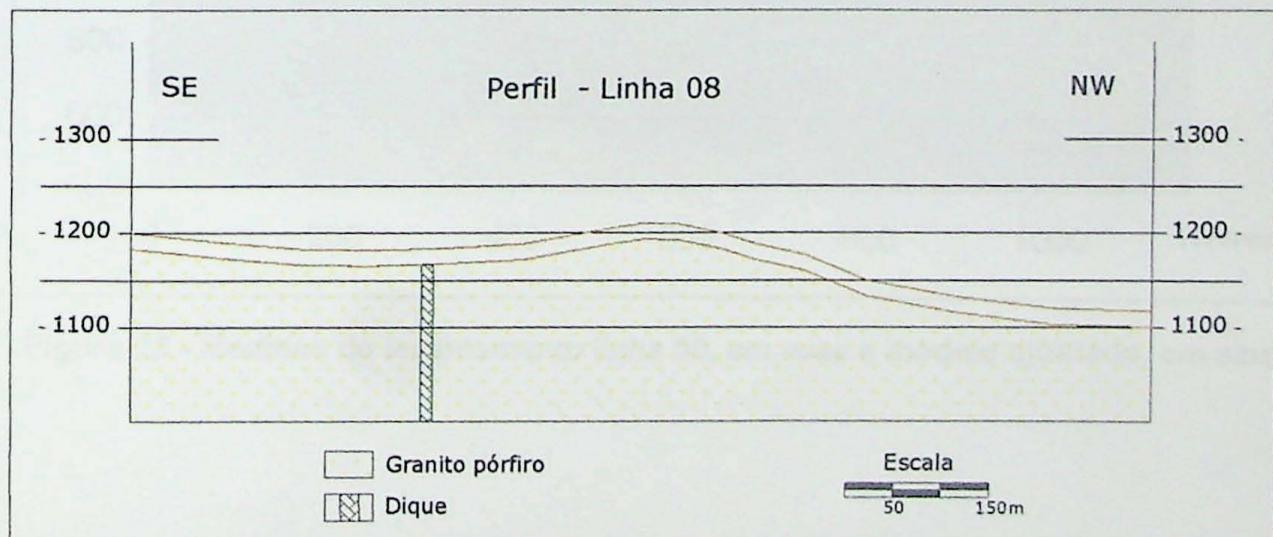


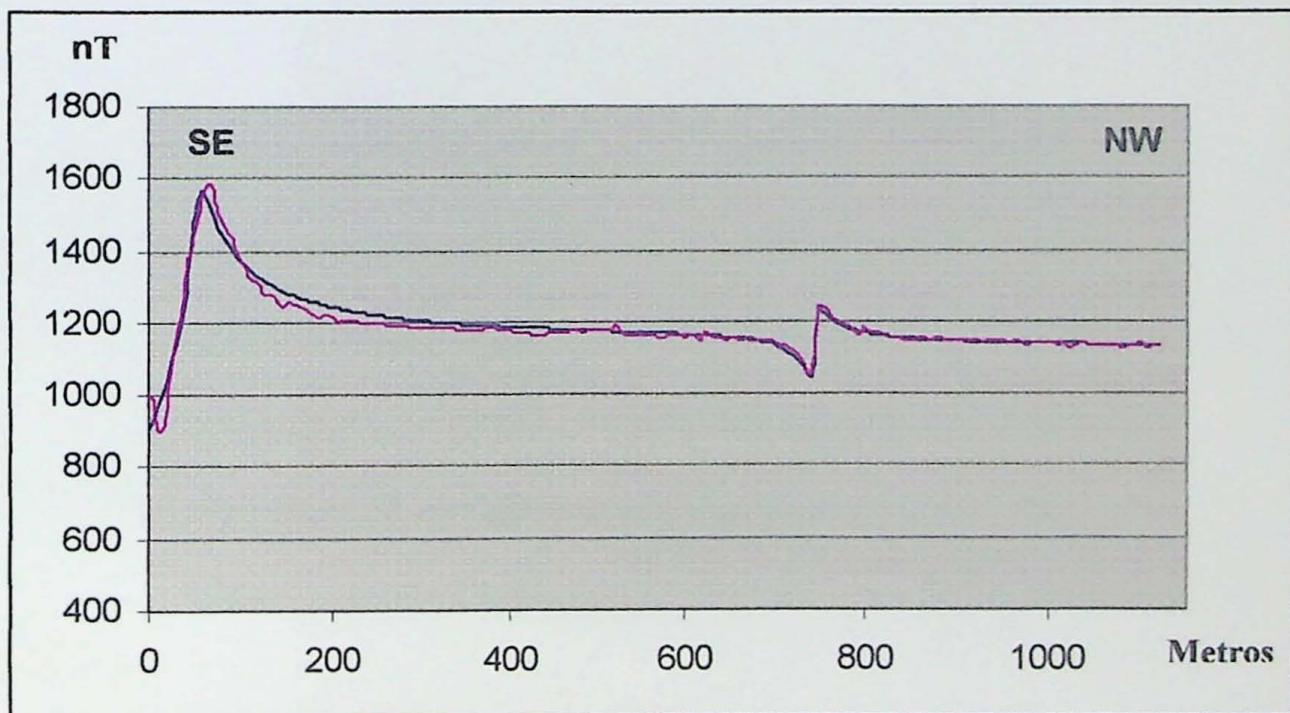
Figura 21 – Perfil linha 08.

## Linha 09

O levantamento realizado na linha 09 nos indicou a presença de dois diques na seção levantada como pode ser observado na **figura 22**, onde em rosa temos o levantamento de campo e em azul o modelo ajustado. As duas anomalias que indicam a presença de um dique de grande espessura no início do perfil e outro, este de menor espessura, que se encontra aproximadamente na parte central da linha levantada.

O modelo nos retornou como resposta para as anomalias dadas dois diques de espessuras diferentes. O primeiro, que se encontra no início do perfil, possui espessura aproximada de 80 metros e encontra-se a aproximadamente 8 metros da superfície do terreno, sendo subvertical com pequeno mergulho aparente para SE.

O segundo dique, segundo o modelo proposto, trata-se de um dique métrico com espessura entre 1 e 2 metros no local do levantamento; é sub aflorante, já que se encontra a menos de um metro de profundidade da superfície do terreno e subvertical com pequeno mergulho para NW. A **figura 23** mostra a seção proposta com base nos dados de campo e modelados.



**Figura 22** - Medidas do levantamento linha 08, em rosa e modelo ajustado, em azul.

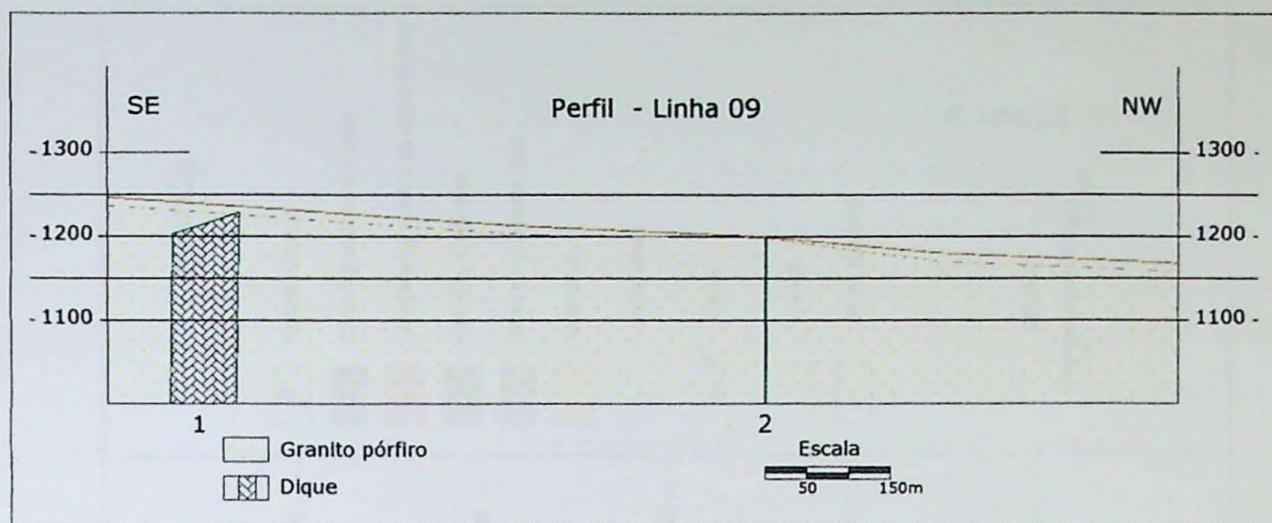


Figura 23 – Perfil linha 09.

Considerando-se os dados obtidos e os resultados dos modelos efetuados, foi elaborado um mapa geológico da área de estudo, ou seja, o mapa base proposto por Basei & Vlach, 1981 ajustado com os resultados obtidos neste estudo, o qual é apresentado na **figura 24**.

Segue anexo mapa final em escala maior, anexo 01.

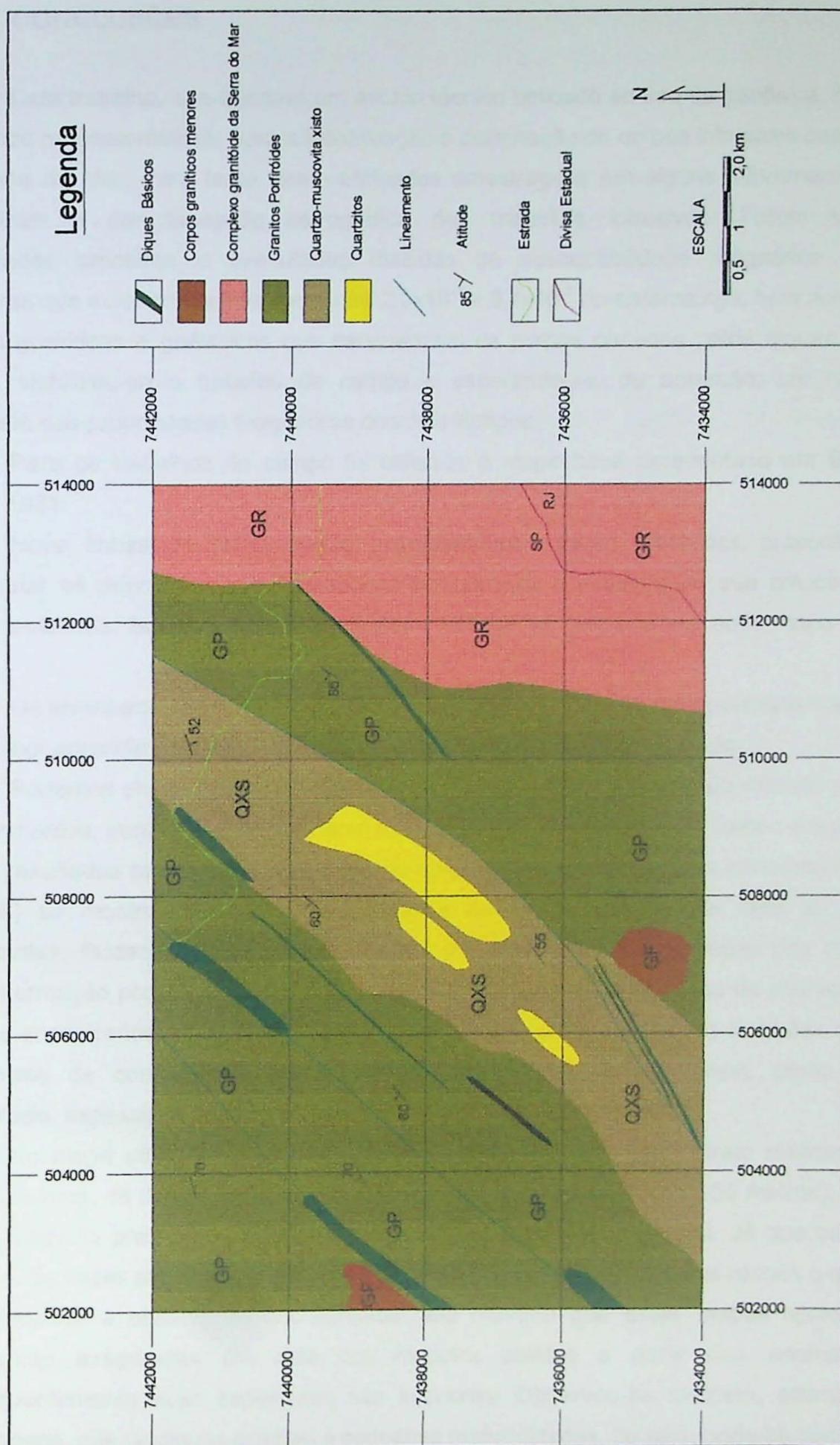


Figura 24 – Mapa geológico ajustado.

## 10. CONCLUSÕES

Este trabalho, que buscava um estudo técnico aplicado ao uso de geofísica, no caso o método magnetométrico, para a identificação e delimitação de corpos intrusivos ocorrentes na Serra do Mar. Para tanto foram efetuadas amostragens em alguns afloramentos que permitiram a caracterização petrográfica dos materiais intrusivos. Foram também preparadas amostras e executadas medidas de susceptibilidade magnética dessas amostras que evidenciaram valores entre  $2,3 \times 10^{-2}$  e  $3,4 \times 10^{-3}$  no sistema cgs, bem acima das rochas graníticas e gnáissicas que caracterizam os corpos cortados pelos diques. Desta forma, viabilizou-se o trabalho de campo e esperando-se, de antemão, um razoável contraste das propriedades magnéticas dos dois litotipos.

Para os trabalhos de campo foi utilizado o mapa base apresentado em Basei & Vlach, 1981.

Nove linhas de levantamento magnetométrico foram efetuadas procurando-se interceptar os principais diques mapeados e confrontar a exatidão de sua colocação na região estudada. Baseando-se nos resultados obtidos foi proposto um novo mapa para a região.

Os levantamentos magnetométricos e respectivos modelamentos permitiram se obter um melhor entendimento de como ocorrem as intrusões na região estudada.

Podemos chegar a esta conclusão considerando que a escolha do método para os levantamentos, frente ao comportamento magnético das rochas tomadas para o estudo, nos trouxe resultados satisfatórios já que as anomalias geradas pelos corpos intrusivos (diques básicos) se mostraram bem características e de marcante contraste com as rochas encaixantes. Pudemos através disso, realizar um modelamento satisfatório dos corpos. Esta informação pode ser dada já que na área, em razão do elevado grau de alteração dos litotipos encontrados, os mapas existentes para a região onde ocorrem as intrusões contêm inferências de como esses diques comportam-se e de apresentarem, como agora constatado, espessuras exageradas para os diques da área em questão.

No mapa utilizado como base para a escolha do local onde foram realizados os levantamentos, os diques, apareciam com centenas de metros (100 a 150 metros), e com uma espessura praticamente constante para todos os diques da região. Já que estas na maioria das vezes são inferidas frente ao já citado estado de alteração das rochas o que por vezes impede a observação dos contatos. Isto mostrou que estes mapas apresentam espessuras exageradas em vista dos modelos obtidos a partir das anomalias e consequentemente suas espessuras são inferiores. Observou-se também, através das modelagens, que os diques ocorrem a pequenas profundidades, ou seja, pode-se considerar que a profundidade de ajuste dos modelos seja coincidente com as espessuras do manto de intemperismo que encobrem os diques mapeados.

Podemos também fazer inferências a respeito de como estas intrusões se deram, já que muitos autores citam esses diques, de idade mesozóica, como intrusões ocorrentes durante o processo de separação dos continentes Sul Americano e Africano. Esta afirmação ser justificada pela natureza das intrusões, que ocorrem em sua maior parte como corpos subverticais, com sutil mergulho para sudeste, o que concorda com a natureza dos falhamentos regionais, que apresentam caráter normal, por vezes transcorrentes, com estrutura concordante com as intrusões. Isso indica que os diques provavelmente intrudiram nas descontinuidades das rochas encaixantes durante o processo de rifteamento ocorrente na região.

Frente a essas informações podemos justificar o uso de métodos indiretos na interpretação de como se comportam as rochas de determinada região, e de como pode ser importante o uso da geofísica como ferramenta para mapeamentos geológicos de detalhe.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

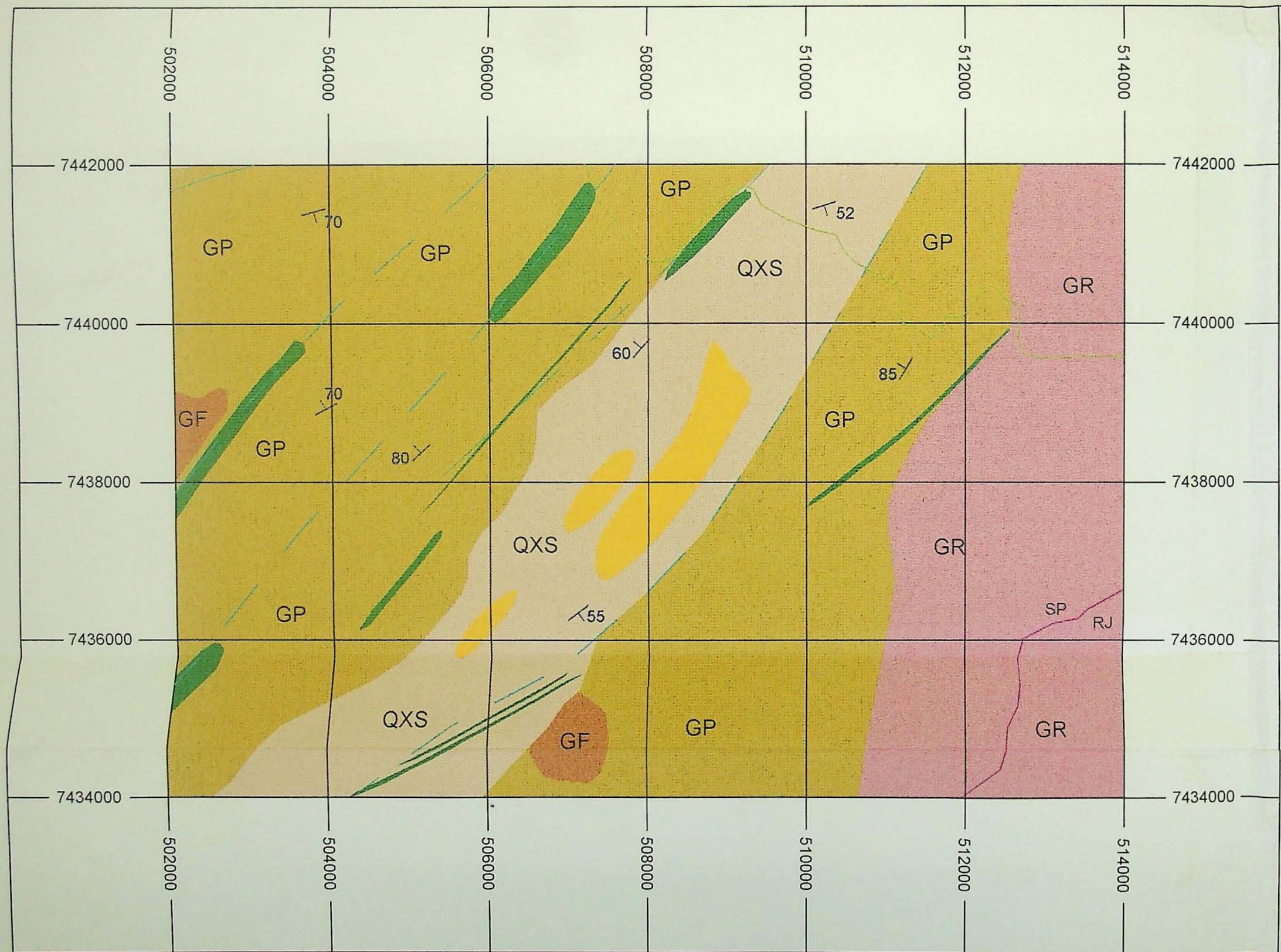
- AMARAL, G.; CORDANI, U. G.; KAWASHITA, K.; REYNOLDS, J. H. – 1966 – Potassium argon dates of basaltic rocks from Southern Brazil. *Geoch. Cosm. Acta*, 31: 117-142.
- ALMEIDA, F, F M. - 2004 - *Geologia do Continente Sul Americano: Evolução da obra de Fernando F. M. de Almeida*, primeira edição, capítulo XIII – pg 203-234.
- ALMEIDA, F, F M. 1986 – *Distribuição regional e relações tectônicas do magmatismo pós-paleozóico no Brasil*. Revista Brasileira de Geociências, vol. 16: 325 – 349.
- BASEI, M.A.S. & VLACH, R.F. 1981. O enxame de diques da região de Cunha e Lagoinha – S.P. In: Simpósio Regional de Geologia, 3, Curitiba. *Atas*. Curitiba, Sociedade Brasileira de Geologia, SP-PR, v.1, p. 305-309.
- BREINER, S. 1973. *Applications Manual for Portable Magnetometers*, Geometrics, California, U.S.A.
- DAMASCENO, E. C. 1966. – Estudo preliminar dos diques de rochas básicas e ultrabásicas da região de Ubatuba, Estado de São Paulo. *Anais Academia Brasileira de Ciências*, 38: 293 – 304.
- FERRARI, A.L. 2001. *Evolução tectônica do Graben da Guanabara*. São Paulo, 412p. (Tese de doutoramento, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo).
- FILHO, C. V. P.; FERREIRA, F. J. F.; RAPOSO, M. I. B. e STRUNGALE, M. *Estimativa da extensão crustal do Arco de Ponta Grossa com base em modelagens aeromagnéticas na região de Apucarana-PR*.
- FODOR, R. V.; MCKEE, E. H. & ASMUS, H. E. 1983. K – Ar ages and the opening of the South Atlantic ocean: basaltic rocks from Brazilian margin. *Marine Geology*, 54.
- HALL, A. 1996. Igneous Petrology. Prentice Hall, second edition.
- LE MAITRE, R. W. 2003. – Igneous Rock – A classification an glossary of terms, 2n edition. Cambridge University Press.

- LUIZ, J.G. & SILVA, L.M.C. 1995. *Geofísica de Prospecção*. Universidade Federal do Pará.
- RAPOSO, M. I. B & ERNESTO, M. 1999. *Fluxos de Magma no enxame de Diques Santos-Rio de Janeiro: Resultados preliminares de ASM*. Simpósio sobre o Cretáceo do Brasil, UNESP – Rio Claro – pg. 39 – 44.
- USSAMI, N.; KOLISNYK, A.; RAPOSO, M. I. B.; FERREIRA, F. J. F.; MOLINA, E. C. e ERNESTO, M. 1991. *Detectabilidade magnética de diques do Arco de Ponta Grossa: Um estudo integrado de magnetometria terrestre/aérea e magnetismo de rocha*. Revista Brasileira de geociências, 21: 317 – 327.
- WILSON, M. 2000. – Igneous Petrogenesis – A global tectonic approach, second edition.

## **Anexo**

## Legenda

- Diques Básicos
- Corpos graníticos menores
- Complexo granítóide da Serra do Mar
- Granitos Porfiróides
- Quartzo-muscovita xisto
- Quartzitos
- Lineamento
- Atitude
- Estrada
- Divisa Estadual



N

ESCALA  
0,5 1 2,0 km

## Apêndice

**1. Curva de Histerese** – Fenômeno magnético que ocorre apenas nos materiais ferromagnéticos, trata-se da magnetização de um material ferromagnético não magnetizado, por meio da presença de um campo magnético externo  $H$ , cuja intensidade é aumentada gradativamente a partir do zero. O aumento no campo magnético  $H$  causa um aumento do campo magnético induzido  $B$ , segundo relação não linear, que é representada pela curva OAC (figura 25). Ao atingir o ponto C, o material está saturado magnéticamente por um campo  $B_s$ . Diminuindo-se gradativamente a intensidade de  $H$ , o valor de  $B$  não decresce seguindo o caminho inverso, mas seguindo a curva CDEF; esse novo caminho é devido a irreversibilidade parcial do movimento dos domínios magnéticos (Purcel, 1963). Observando esse novo percurso percebe-se que quando  $H = 0$ , ou seja, o campo magnético externo é retirado, o material continua magnetizado com um campo residual  $B_r$ , passa então a apresentar magnetização residual espontânea. Somente quando o campo magnético  $H$  tem o seu sentido invertido, assumindo o valor  $H_c$  (valor coercitivo), o material é desmagnetizado ( $B = 0$ ). No ponto F da curva, o material está magnetizado com um valor igual a  $-B_s$ , sentido contrário a saturação  $B_s$ . Decrescendo-se novamente o valor absoluto do campo  $H$ , a intensidade de  $B$  varia, agora, segundo a curva FGJC, completando o ciclo.

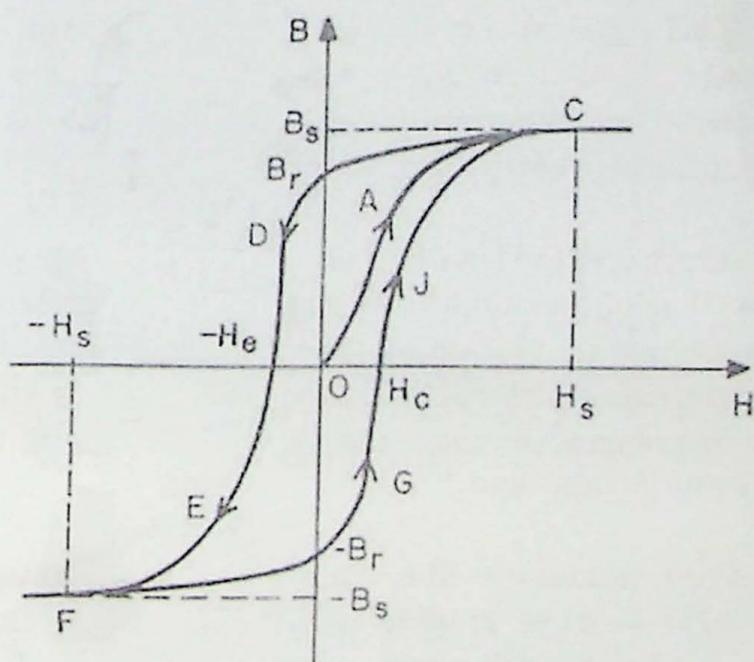
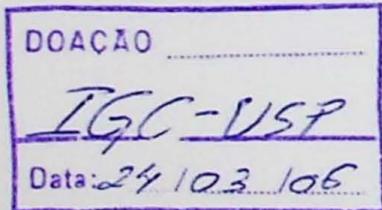


Fig. 25 – Curva de Histerese



**2. Temperatura de Curie** – Temperatura a partir da qual um material perde a sua característica ferromagnética e passa a se comportar como paramanético. Isto se da em função de alguns materiais apresentarem uma interação muito forte entre os átomos que o constituem, favorecendo o alinhamento do momento magnético do spin, a interação é tão forte que, geralmente, apenas em temperaturas bem acima da ambiente a agitação térmica consegue destruir o alinhamento do spin magnético.

