



Universidade de Brasília
Instituto de Geociências

AEROGEOFÍSICA APLICADA À COMPREENSÃO DO SISTEMA DE EMPURRÕES DA SEQUENCIA SANTA TEREZINHA DE GOIÁS, BRASIL CENTRAL.

DIOGO ALVES DE SORDI

Dissertação de mestrado em Geologia n.º 236

BRASÍLIA
2007



Universidade de Brasília
Instituto de Geociências

Aerogeofísica aplicada à compreensão do sistema de empurrões da Seqüência Santa Terezinha de Goiás, Brasil Central.

DIOGO ALVES DE SORDI

Dissertação de mestrado em Geologia n.º 236

Orientadores

Prof. Dr. Augusto César Bittencourt Pires (UnB) – Orientador
Prof. Dr. Reinhardt Adolfo Fuck (UnB) – Co-orientador
Prof. Dr. Elton Luiz Dantas (UnB) – Co-orientador

BRASÍLIA-DF
2007

SUMÁRIO

1. Introdução	1
1.1. Apresentação e objetivos	2
1.2. Localização da área e aspectos geomorfológicos	3
1.3. Materiais e métodos	6
1.3.1. Levantamentos geológicos e base bibliográfica	6
1.3.2. Projeto levantamento aerogeofísico do estado de Goiás	6
1.3.3. Mapeamento básico	7
2. Geologia regional	8
2.1. Contexto geológico regional	8
2.2. O arcabouço geotectônico	11
2.3. Aerogeofísica	12
3. Geologia de Santa Terezinha de Goiás	16
3.1. Núcleo arqueano	16
3.2. Seqüências vulcano-sedimentares	18
3.2.1. Seqüência Mara Rosa	18
3.2.2. Seqüência Santa Terezinha de Goiás	20
3.3. Suíte plutônica do Arco Magmático de Goiás	25
3.2. Geologia Estrutural	31
4. Aerogeofísica	38
4.1. Magnetometria	38
4.2. Gamaespectrometria	39
4.3. Conceitos teóricos da aquisição, pré-processamento e processamento	40
4.3.1. conceitos teóricos da aquisição	40
4.3.2. Testes e calibrações	42
4.3.3. Pré-processamento de campo e correções	46
4.3.4. Pré-processamento no escritório	47
4.4. Processamento	48
4.4.1. Técnicas de tratamento dos dados aeromagnéticos e produtos	52
4.4.2 técnicas de tratamento dos dados gamaespectrométricos e produtos	57
5. Interpretações e integração	63
5.1. Interpretações dos dados aerogamaespectrométricos	63
5.2. Interpretações dos dados aeromagnéticos	66
5.2.1. Domínios magnéticos interpretados	67
5.2.2. Lineamentos magnéticos interpretados	72
5.3. Integração dos dados geofísicos e geológicos	76
5.3.1. Integração dos dados gamaespectrométricos	76
5.3.1.1. Normalização dos dados	79
5.3.2. Integração dos dados magnetométricos	79
5.3.2.1. Lineamentos magnéticos (empurrão x transcorrência)	84
5.3.2.2. Aplicação da deconvolução de Euler para o entendimento das falhas de empurrão e zonas de cisalhamento	86
5.3.3 diferenciação das seqüências metasedimentares de santa Terezinha de Goiás e Mara Rosa	93
5.3.4. Separação das escamas tectônicas	95
5.3.5. Separação das suítes plutônicas do arco de Mara rosa e corpos graníticos	97
5.3.6. Aerogeofísica para as mineralizações - ultramáficas da sinclinal Rio do Peixe	98
6. Discussões e conclusões	102
7. Bibliografia	107

Lista de Figuras

- Figura 1.1 – Figura 1.4 - Localização da Folha Santa Terezinha de Goiás ----- 02
- Figura 1.2 - Imagem de satélite adquirida pelo programa *Google Earth Pro*, com perspectiva em três dimensões da região de estudo com as principais cidades e feições geomorfológicas da área-----03
- Figura 1.3 – Vista da área do limite norte para o sul, mostrando o relevo arrasado-----03
- Figura 1.4 – Mapa geológico esquemático da Faixa Brasília, com delimitação da área de Santa Terezinha de Goiás-----05
- Figura 1.5 - Mapas de localização do levantamento aerogeofísico de Goiás de Mara Rosa ----- 07
- Figura 2.1 – Mapa geológico da região de Campos Verdes (, mostrando a localização dos Clorita Talco Xisto mineralizados-----14
- Figura 2.2 – Mapa geológico do PRONAGEO (Fuck et al. 2006 modificado e simplificado) ----- 15
- Figura 3.1– Mapa delimitando os núcleos arqueanos ----- 17
- Figura 3.2 –Afloramento de blocos métricos de Biotita Tonalito no sudeste da área ---17
- Figura 3.3 –Fotomicrografia em nicois paralelos e cruzados de muscovita-biotita gnaisse do domo Serra de Santa Cruz, apresentando textura milonítica, com sigmóides bem-pronunciados ----- 18
- Figura 3.4 – Mapa separando a seqüência Santa Terezinha de Goiás da seqüência Mara Rosa ----- 20
- Figura 3.5 – a) Afloramento de anfibólio xisto dobrado no rio Crixás-Açu; b) Fotomicrografia em nicois paralelos de sigmóide em anfibólio xisto apresentando textura milonítica e estiramento dos minerais e estruturas sc e c' e representa a escama sudoeste de Santa Terezinha, no sistema de nappes -----21
- Figura 3.6 – a) Foto de afloramento de Biotita-granada-muscovita xisto com porfiroblastos milimétricos de granada; b) Fotomicrografia de Presença de granadas estiradas com foliação interna concordante com a externa ----- 22

- Figura 3.7 – Mapa mostrando a separação das escamas da seqüência de Santa Terezinha de Goiás ----- 23
- Figura 3.8 – a) Foto de afloramento de muscovita xisto com estrutura sigmoidal, como mica fish; b) Fotomicrografia de muscovita xisto de textura milonítica, com muscovita bem-orientada, formando estruturas sigmoidais ----- 23
- Figura 3.9 – a) Camada métrica de formação ferrífera bandada, sendo bem diferenciada da intercalação nos saprolitos de xisto; b) Detalhe da formação ferrífera --- 25
- Figura 3.10 – Fotomicrografica em nicois paralelo a) de Granada-epidoto anfibolito com textura granoblástica equigranular cristais de ortopiroxênio reliquias, fraturados, alterando nas bordas para anfibólio e epidoto; b) de Hornblenda anfibolito apresentando textura nematoblastica com aspecto milonítico, com hornblenda muito estirada, observando-se sigmóides ----- 27
- Figura 3.11 – Carbonato esteatito com boxwork de carbonato e magnetita ----- 28
- Figura 3.12 – Mapa separando duas as suítes plutônicas do arco ----- 29
- Figura 3.13 – Afloramento de Biotita-muscovita Augen gnaiss granítico de granulação muito grossa, essencialmente granoblástica, com biotita e muscovita levemente orientadas; b) Fotomicrografia de porfiroclastos centimétricos de microclínio da mesma rocha, atentar para as muscovitas dispersas na lamina - ----- 30
- Figura 3.14 – a) Bloco rolado da Serra das Araras e b) fotomicrografia de Cianitito de granulometria grossa, bem-orientada, apresentando prismas euédricos a subédricos de cianita ----- 30
- Figura 3.15 – Mapa das principais unidades geológicas da região de Santa Terezinha de Goiás ----- 31
- Figura 3.16 – Lineação de estiramento em Granada-clorita-quartzo xisto composta de quartzo e feldspato estirados na direção NW-SE e granada rotacionada de carácter sin-tectônico ----- 33
- Figura 3.17 – a) Dobra em bengala em biotita gnaiss com caimento de eixo de 50NE e vergência para SE. b) Dobra com eixo sub-horizontal e vergência para sudeste em biotita gnaiss no rio Crixás-Açu, 8 km a sudoeste de Santa Terezinha de Goiás ----- 34

Figura 3.18 a) Foliação milonítica S-C, indicando movimentação com topo para SE. b) Crenulação com direção E-W -----	36
Figura 3.19. - Dobra aberta em anfibolito com linha de charneira de atitude 10°/025°, rio Crixás-Açu, 1,6 km a noroeste de Santa Terezinha de Goiás -----	36
Figura 3.20 – Fotomicrografias de ultramilonito da zona de cisalhamento Varalzinho; a) apresentando dobras intrafoliais, indicando intensa transposição de dobras na zona de cisalhamento e alta intensidade de deformação. Predomina processo de recristalização de quartzo. b) Após o processo de dobramento ocorreu abertura com duas direções preferenciais: uma perpendicular e outra formando ângulo com a foliação. Granulação muito fina e presença rara de cristais de granada -----	37
Figura 3.21 – Mapa estrutural da região de Santa Terezinha de Goiás -----	37
Figura 4.1. - Tempestade magnética e ventos solares interagindo com o campo magnético terrestre (ESA, 2005) -----	42
Figura 4.2 – Espectros de radiação gama mostrando as posições da janela de energia para cada elemento (I.A.E.A. 2003) -----	43
Figura 4.3 – relação das manobras realizadas no teste e tabela de calculo do teste de compensação magnética dinâmica realizado no dia 06/10/2004 pela aeronave PT-WQT (Lasa, 2004) -----	45
Figura 4.4 – teste de amostras sendo realizado em solo, no interior de uma aeronave (Navajo) da empresa Fugro/Lasa antes de um vôo de produção -----	46
Figura 4.5 - Espectro de potência radial médio do campo magnético anômalo da área estudada -----	47
Figura 4.6.1 – Imagem do Campo magnético anômalo em pseudo-color -----	56
Figura 4.6.2 – Imagem da deconvolução de Euler (i2j7T15) -----	57
Figura 4.7 – Imagem da amplitude do sinal analítico – ASA -----	60
Figura 4.8 – Imagem da amplitude do gradiente horizontal total – AGHT -----	60
Figura 4.9 – Imagem da primeira derivada vertical – 1DV -----	60

Figura 4.10 – Imagem da inclinação do sinal analítico – ISA -----	60
Figura 4.11 – Imagem AcISA ASAcolor ISApb -----	60
Figura 4.12 – Imagem AcISA ASAcolor ASApb -----	60
Figura 4.12 – Imagem do canal de contagem total - CT -----	61
Figura 4.13 – Imagem do gradiente de contagem total - GCT -----	61
Figura 4.14 – Imagem do canal de Torio – Th -----	61
Figura 4.15 – Imagem do canal de Urânio – U -----	61
Figura 4.16 – Imagem do canal de Potássio - K -----	61
Figura 4.17 – Imagem da composição ternária RGB (KThU) -----	61
Figura 4.18 – Imagem do Potássio Normalizado - Kn -----	62
Figura 4.19 – Imagem do Urânio Normalizado - Un -----	62
Figura 4.20 – Imagem do Torio Normalizado – Thn -----	62
Figura 4.21 – Imagem da Razão U/Th -----	62
Figura 4.22 – Imagem da Razão Th/K -----	62
Figura 4.23 – Imagem da Razão UK -----	62
Figura 5.1 - Mapa de lineamentos gamaespectrométricos da imagem de Tório -----	64
Figuras 5.2 – Imagem CMY com domínios gamaespectrométricos definidos -----	65
Figura 5.3 – Roseta dos lineamentos tório, mostrando a forte expressão dos lineamentos transbrasiliano e as principais direções preferenciais da área – NS, EW, NW e N70E -----	66
Fig. 5.4 - Perfis rebatidos do Campo Magnético Anômalo da área, mostrando as zonas de cisalhamento realçadas por baixos valores magnéticos -----	67
Figura 5.5 – Imagem do Campo Magnético anômalo – CMA em pseudo-cor, sobreposto por lineamentos e domínios magnéticos interpretados -----	69
Figura 5.6 – Imagem ASA com domínios magnéticos delimitados -----	72

Figura 5.7 – Imagem AGHT com lineamentos magnéticos delimitados -----	73
Figura 5.8 – Imagem da primeira derivada com os domínios magnéticos delimitados -	74
Figura 5.9 – Imagem ISA com os lineamentos magnéticos e estruturas magnéticas interpretados -----	76
Figura 5.10 – Lineamentos e estruturas magnéticas interpretados -----	77
Figura 5.11 – roseta dos lineamentos da inclinação sinal analítico, mostrando à forte influencia dos lineamentos Transbrasiliano -----	78
Figura 5.12 – Mapa de domínios gamaespectométricos -----	80
Figura 5.13 – imagem de composição ternária CMY com as escamas de empurrão delimitadas pelo contraste da coloração, indicando a alternância entre escamas de rochas plutônicas e supracrustais -----	80
Figura 5.14 – Fotomicrografia de ultramilonito da zona de cisalhamento Varalzinho -	83
Figura 5.15 – mapa integrado de interpretação dos lineamentos e domínios magnéticos - -----	85
Figura 5.16 – Mapa integrado de interpretações magnéticas e gamaespectométricas --	86
Figura 5.17 – Comparação entre o mapa estrutural e o mapa ISA x MDT (modelo digital de terreno) -----	87
Figura 5.18 – Imagem da deconvolução de Euler (i2j7T15) sobreposto pelos lineamentos e Zonas de cisalhamento -----	89
Figura 5.19 – Imagem RGB utilizando a derivada vertical (Dz) intensificando a cor vermelha (Red), a derivada horizontal (Dx) marcando a verde (Green) e para a cor azul (Blue) a derivada horizontal Dy com a delimitação das subáreas que foram aplicadas a técnica da deconvolução de Euler 3D -----	90
Figura 5.20 – Perfis 3D da imagem da deconvolução de Euler (i2j7T15) das subáreas 1 e 2 respectivamente, mostrando o comportamento das Zonas de cisalhamento e das escamas de empurrão -----	91
Figura 5.21 – Campo magnético anômalo reduzido IGRF com a localização dos perfis Euler 2D -----	92

Figura 5.22 – Perfis da deconvolução Euler 2D (EUDEPH) -----	93
Figura 5.23 – Imagem da deconvolução de Euler sobre o mapa geológico (Fuck et al. 2006) -----	94
Figura 5.24 – Mapa do inverso da Contagem total delimitando a seqüência metavulcano sedimentar de Mara Rosa em todo o arco magmático de Mara Rosa (Chiarini 2007) -----	96
Figura 5.25 – a) garimpo de esmeralda na cidade de Campos Verdes; b) Garimpo de Ouro, abandonado no sudeste da área -----	98
Figura 5.26 – foto de dobra em bainha impressa em xistos nas proximidades de Campos Verdes -----	99
Figura 5.27 -t a) mapa geológico (Fuck et al.2006); b) AGHT com lineamentos; c) ASA com lineamentos na região do garimpo; CMY mostrando curvatura da sinclinal Rio do Peixe; CT mostrando os LM-7 com direção NS e f) Imagem do canal do K normalizado, mostrando mais duas prováveis áreas mineralizadas -----	100

RESUMO

A presente dissertação empregou dados do recente Levantamento Aerogeofísico do Estado de Goiás (2004), que apresenta amostragem gamaespectrometria de 1s e amostragem de 0,1s para a magnetometria a uma altura de vôo de 100m, coletados em linhas de produção NS, com espaçamento de 500m e amarrados a linhas de controle com espaçamento de 5000m.

As técnicas utilizadas desde a etapa de aquisição ao processamento dos dados estão descritas neste trabalho. No processamento foi utilizado o algoritmo da mínima curvatura para os dados radiométricos e o algoritmo bidirecional (bigrid) para os magnéticos com célula de interpolação de 125m. Os dados foram micronivelados a fim de suavizar a distribuição espacial para a confecção dos produtos transformados do campo magnético anômalo.

A metodologia aplicada se baseia na integração dos produtos magnetométricos e gamaespectrométricos de alta resolução, com o conhecimento adquirido no mapeamento geológico em escala 1:100.000, o que permitiu obter informações preciosas para a compreensão do arcabouço estrutural de Santa Terezinha de Goiás.

A área de estudo apresenta estruturação complexa, formando uma série de escamas de empurrão, originando um sistema de *nappes*, limitadas por várias zonas de cisalhamento compressionais. A região é caracterizada pela alternância de faixas alongadas ou côncavas de rochas da suíte plutônica do arco magmático e rochas supracrustais.

Foi utilizada a técnica de deconvolução de Euler 2D, que estima a profundidade dos topos das fontes magnéticas e, juntamente com os vários produtos geofísicos, incluindo as diversas formas de visualização da própria técnica da deconvolução de Euler, foi possível determinar que a área investigada é caracterizada por fontes rasas. As escamas de empurrões da seqüência Santa Terezinha de Goiás mostram profundidade aproximada entre 700 e 1000m. Tais informações auxiliaram a delimitação e caracterização da geometria e do comportamento das *nappes*, das zonas de cisalhamento e dos corpos plutônicos. Os novos dados resultaram em modificações nos mapas geológicos existentes, além de permitir a identificação de áreas com provável potencial econômico.

Apesar da região já ter sido tema de diversos outros trabalhos, este apresenta como inovação a qualidade dos dados geofísicos do recente aerolevantamento e as novas técnicas aplicadas, que permitiram aperfeiçoar o conhecimento sobre o Arco Magmático de Goiás.

ABSTRACT

Recent Airborne Survey data from the Goiás state was processed and interpreted in the present dissertation. Radiometric data was acquired sampling between 1 s and 0.1 s for magnetometry, flying at a height of 100 meters, with spacing of 500m and tied with control lines with spacing of 5000m, collected throughout NS production lines.

We describe the techniques used from the acquisition stage until the processing of the data. The processing algorithm was used in the minimum curvature radiometric data and bi-directional algorithm (bigrid) in magnetic cells to generate interpolation of 125m. The data were microleveled in order to soften the spatial distribution for the manufacture of processed products of anomalous magnetic field.

The integration and interpretation of high resolution magnetometric and radiometric products, with the knowledge acquired in geological mapping in 1:100.000 scale, permit better understanding the structural framework of the Mara Rosa magmatic Arc.

The study area in the Santa Terezinha de Goiás region, presents complex deformation pattern, forming a series of nappe system of faults, limited by several compressional shear zones. The region is characterized by alternating bands of elongated or concave plutonic rocks intercalated with supracrustal metasedimentary rocks .

It used the technique of Euler deconvolution 2D and 3D, to estimate the depth of the tops of the magnetic sources of magnetic anomalies. Various geophysical products, including various forms of display of the technique of Euler deconvolution, was investigated and the results suggested shallow sources. The nappes of the Santa Terezinha de Goiás sequence show depth approximately between 700 and 1000m. This information helped the delineation and characterization of the geometry and the behaviour of nappes. The new data resulted in modifications to the existing geological maps, in addition to enabling the identification of areas with likely economic potential. Although the region has been subject of several other works, this present, innovates as the quality of the recent airborne survey data and new techniques applied, which have improved the knowledge of the Magmatic Arc of Goiás.

AGRADECIMENTOS

Meus sinceros agradecimentos a todos que contribuíram para esta dissertação de mestrado:

Às entidades:

Instituto de Geociências da Universidade de Brasília (IG/UnB).

Laboratório de Geofísica Aplicada – LGA.

Laboratório de Geocronologia.

CPRM por conceder os dados aerogeofísicos.

CAPES e PRONEX (193.000.106.2004), pela bolsa de mestrado nos primeiros meses e auxílio financeiro para as etapas de campo.

Fugro / LASA engenharia e prospecções S.A.

Às pessoas:

Ao orientador Professor Doutor Augusto Cesar Bittencourt Pires, pelas sugestões e apoio.

Aos co-orientadores: Professores Doutores Reinhardt Adolfo Fuck, pelo conhecimento geológico e incentivo e Elton Luiz Dantas por total apoio e orientação. Sem os conselhos desse grande amigo as dificuldades seriam bem maiores.

Aos amigos Marcus Flavio Chiarini e Caroline Joffily por me acompanharem em agradáveis dias no campo;

Aos Professores: Roberto de Moraes, Adalene Moreira Silva, Claudinei Golveia e José Soares pelo material e pelas ótimas idéias;

Aos colegas de mestrado e doutorado: Glorinha, Loiane, Andréia, Cristiane pelas discussões e aos amigos Marcelo Toiço e Marcão pelos insight's geofísicos etílicos;

As futuras geólogas Jackeline pelo trabalho com as laminas e Melina pelo apoio gráfico e visual;

Aos funcionários do Laboratório de Geofísica Aplicada: Osmar, pela colaboração, Fátima, por manter o ambiente sempre limpo e organizado e ao amigo Stefan, por ter ajudado a manter as maquinas voando;

Aos motoristas Ziba e Correia;

Aos funcionários do Laboratório de Geocronologia, Sergio e a todos que fazem daquele local um excelente ambiente de estudo;

Aos funcionários do IG, sempre prestativos.

Aos amigos geológicos, em especial a turma de 1998, galera do TF-Porangatu 2004 e os Biba's;

Aos colegas da Fugro/LASA, Jorge, Braga, Albary, Filipa, César, Marcio, Márcia, todos no Rio e aos muitos e grandes amigos de campo que formaram comigo nesses quase dois anos uma família;

Aos meus grandes amigos, Carlinhos, Lucas (Caxa), Serginho, Lafeta e vários outros, porem não menos importantes;

Em especial, aos meus pais, Neide e Zezão, pelo amor, apoio que me deram durante todos os momentos de minha vida e por sempre acreditarem tanto em mim.

Aos meus irmãos Lucas e Mateus e prima Tatá pela grande amizade e carinho.

E a mãe natureza, juntamente com a Geologia.

Cum mente et malleo