



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

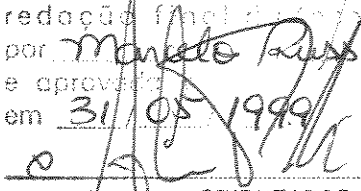
PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS
Área de Metalogênese

MARCELO RUSSO BENDELAK

**INTEGRAÇÃO DE DADOS GEOLÓGICOS, LANDSAT E
AEROGEOFÍSICOS NO ESTUDO DAS MINERALIZAÇÕES
AURÍFERAS DA REGIÃO DE LAVRAS DA MANGABEIRA,
CEARÁ**

Dissertação apresentada ao Instituto de Geociências
como parte dos requisitos para obtenção do título de
Mestre em Geociências, Área de Metalogênese.

Orientador: Professor Doutor Álvaro Penteado Crósta

Este exemplar corresponde à
redação final da dissertação defendida
por Marcelo Russo Bendelak
e aprovada em 31/05/1999
em 31/05/1999

ORIENTADOR

CAMPINAS - SÃO PAULO

Abril - 1999



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS

Área de Metalogênese

AUTOR: MARCELO RUSSO BENDELAK

**INTEGRAÇÃO DE DADOS GEOLÓGICOS, LANDSAT E
AEROGEOFÍSICOS NO ESTUDO DAS MINERALIZAÇÕES
AURÍFERAS DA REGIÃO DE LAVRAS DA MANGABEIRA,
CEARÁ.**

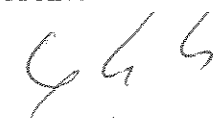
ORIENTADOR: ÁLVARO PENTEADO CRÓSTA

Aprovada em: ____/____/____

PRESIDENTE:

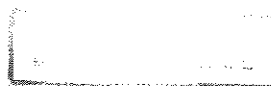
EXAMINADORES:

Prof. Dr. ALVARO PENTEADO CRÓSTA  -- Presidente

Prof. Dr. EMANUEL FERREZ JARDIM DE SA 

Prof. Dr. ELISABETE MARIA PESCHOLETI 

Campinas, 08 de abril de 1999



9916394

UNIDADE	BC
N.º CHAMADA	
V.	
TOMBO BC	38595
PROC.	229/99
	☐ ☐ ☒
PREÇO	R\$ 11,00
DATA	31/08/99
N.º CPO	

CM-00125871-9

Bendelak, Marcelo Russo
B432i Integração de dados geológicos, Landsat e aerogeofísicos no estudo das mineralizações auríferas da região de Lavras da Mangabeira, Ceará / Marcelo Russo Bendelak - Campinas, SP: [s.n.], 1999.

Orientador: Álvaro Penteado Crósta
Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Geociências.

1. Ouro - Lavras da Mangabeira. 2. Geologia=Processamento de Dados. 3. Processamento Digital de Imagens 4. Satélite Artificial em Sensoriamento Remoto. I. Crosta, Álvaro Penteado. II. Universidade Estadual de Campinas. Instituto de Geociências. III. Integração de dados geológicos, Landsat e aerogeofísicos no estudo das mineralizações auríferas da região de Lavras da Mangabeira, Ceará.



UNICAMP

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS

Área de Metalogênese

**INTEGRAÇÃO DE DADOS GEOLÓGICOS , LANDSAT E AEROGEOFÍSICOS
NO ESTUDO DAS MINERALIZAÇÕES AURÍFERAS DA REGIÃO DE LAVRAS
DA MANGABEIRA, CEARÁ.**

RESUMO

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

MARCELO RUSSO BENDELAK

São conhecidas mineralizações de ouro, que ocorrem associadas a zonas de cisalhamento e cortam as rochas do Paleoproterozóico no Estado do Ceará, Nordeste do Brasil. O posicionamento geológico regional destas ocorrências não está bem esclarecido e os mapeamentos geológicos disponíveis para área estão em escalas de 1:250,000 a 1:100,000.

Este projeto teve como enfoque principal, a região de Lavras Mangabeira onde duas das ocorrências de ouro são conhecidas, nas localidades de Fortuna e Outeiros, ambos em zonas miloníticas. A ocorrência de Fortuna está associada a veios de quartzo com pirita, encaixados em sericita-quartzo-xistos. A ocorrência de Outeiros está associada com veios de quartzo em paragneisses, associados a falhas transcorrentes.

Dados geológicos regionais disponíveis para esta área, incluem mapas geológicos em escala 1:100,000 e 1:250,000, mapa metalogenéticos produzidos pela CPRM, dados aerogeofísicos do Projeto Iguatu, (gamaespectrometria e magnetometria), e dados de sensoriamento remoto multiespectral do satélite Landsat Thematic Mapper (órbita/ponto 216/65 e 217/65).

O objetivo deste projeto era o de fazer uma análise integrada destes dados para exploração de ouro e procurar evidências de áreas potenciais. Para alcançar estes objetivos, informações texturais e litológicas foram extraídas de imagens Landsat/TM, como também informações espectrais relacionadas à ocorrência de alteração de hidrotermal afetando as rochas da área. Dados gamaespectrométricos forneceram informações sobre a variação composicional das rochas e definiram assim as principais litologias e unidades tectônicas. Dados magnetométricos foram utilizados para definir as principais características estruturais da região, pela análise de lineamentos magnéticos.

A informação obtida através destes dados, foi integrada utilizando métodos digitais, que permitiram uma avaliação do uso combinado deles e caracterizar áreas de maior potencial para mineralizações auríferas na região de Lavras de Mangabeira, na forma de um mapa digital integrado.



UNICAMP

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS

Área de Metalogênese

**INTEGRAÇÃO DE DADOS GEOLÓGICOS , LANDSAT E AEROGEOFÍSICOS
NO ESTUDO DAS MINERALIZAÇÕES AURÍFERAS DA REGIÃO DE LAVRAS
DA MANGABEIRA, CEARÁ.**

ABSTRACT.

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

MARCELO RUSSO BENDELAK

Gold mineralization is known to occur associated with shear zones cutting Early Proterozoic rocks in Ceará State, Northern Brazil. The regional geologic setting of these occurrences is not well established and the only available geologic mapping is generally at a scale of 1:250,000 to 1:100,000.

This project focus on the region of Lavras da Mangabeira, where two of these gold occurrences are known, at places named Fortuna and Outeiros, both in milonitic zones. The Fortuna occurrence is associated with quartz veins with pyrite, hosted by sericite-quartz schists. The Outeiros occurrence is associated with quartz veins in paragneiss, along a strike-slip fault.

Available regional geological data for this area include 1:100,000 geologic maps and 1:250,000 metallogenetic map produced by CPRM, airborne geophysics of the Iguatu Project, including gammaspectrometry and magnetometry, and Landsat Thematic Mapper multispectral remote sensing data (path/row 216/65 and 217/65).

The objective of this project was to carry out an integrated analysis of these data for gold exploration, looking for evidences of potential areas. To pursue this objective, textural and lithologic information was extracted from Landsat/TM, as well as spectral information related to the occurrence of hydrothermal alteration affecting the rocks. Gamma-ray data provided information on the compositional variation of the rocks, thus defining the main lithological and tectonic units. Magnetic data was used to define the main structural features of the region, through the analysis of magnetic lineaments.

The information obtained from this dataset was then integrated using digital methods, allowing an assesment of their combined use and characterizing areas of greater potential in the Lavras da Mangabeira region, presented as an integrated digital map.

AGRADECIMENTOS

Muitas pessoas e entidades apoiaram a realização deste trabalho. A todos meu muito obrigado. Em especial agradeço:

Ao Prof. Dr. Alvaro Penteado Crósta pela orientação e viabilização do trabalho realizado, apoio, incentivo e amizade.

Ao Prof. Dr. Aderbal C. Corrêa pelo incentivo e amizade.

Ao CNPQ pela bolsa e auxílio financeiro para o desenvolvimento do projeto

À CODECE - CE pelo auxílio para compra das Imagens LANDSA 5/TM.

À CPRM – RJ e a CNEN pelo fornecimento dos dados geofísicos.

À CPRM – CE pelo apoio de campo e pelos mapas e projetos fornecidos.

Ao Prof. Dr. Michael H. Arthoud - UFC pela orientação e ajuda no trabalho de campo.

Ao Geólogo Antônio Maurílio Vasconcelos agradeço pelas discussões e sugestões sobre a geologia da área na etapa de campo, além do auxílio para a viabilização da mesma junto a CPRM-CE.

Aos professores do IG-UNICAMP, em particular à Prof. Dra. Elisabete M. Pascholati e ao Prof. Dr. Carlos Roberto S. Filho pelas discussões realizadas.

Aos analistas de sistemas Patrícia C. Leite, Moacir Cornetti e Ricardo Passanezi.

À Valdirene Pinotti da SPG e à Dora da Biblioteca

Aos amigos: Silvia Rolim, Neivaldo Castro, Renato Passos, Rigoberto Cainzos, Mary Anne, Alexandre Jorge e Gutemberg.

A minha família, **Teo, Celeste e Michelle** pela força durante o desenvolvimento do meu trabalho e pela confiança.

A **Nilma** pela sua paciência e pelo amor, além da confiança e força durante inúmeras horas desde o início até a concretização deste trabalho

Índice

1 – Introdução	2
1.1 - Considerações gerais	2
1.2 – Objetivos e justificativas	3
1.3 - Área de estudo	4
1.4 – Aspectos fisiográficos	4
2 – Contexto geológico e geotectônico	8
2.1 - Estratigrafia	8
2.1.1 - A coluna estratigráfica	8
2.2 - Geologia local da área de estudo	11
2.2.1 - Complexo Granjeiro	11
2.2.2 - Complexo Ceará	12
2.2.3 - Rochas metaplutônicas do Paleoproterozóico	13
2.2.4 - Grupo Orós	14
2.2.5 - Granitóides do Neoproterozóico	15
2.2.6 - Grupo Iguatu	15
2.2.7 - Diques básicos Mesozóicos	17
2.2.8 - Formação Moura	18
2.2.9 - Coberturas colúvio-eluviais	18
2.2.10 - Aluviões	18
2.3 - Geologia estrutural	19
2.3.1 - Considerações gerais	19
2.3.2 - Estruturas locais	19
a) Falhamentos	20
b) Dobramentos	21
c) Feições planares	21
2.4 - Modelo tectônico e evolução	21
2.5 - Mineralizações	22
3 – Materiais e métodos	26
3.1 – Materiais utilizados	26
3.2 – Metodologia	27
3.2.1-Processamento dos dados Landsat 5/TM	28
3.2.2 Processamento dos dados Aerogeofísicos	33
3.2.3 – Etapa de campo	36
4 – Resultados e discussões	39
4.1 - Mapas digitais	39
4.2 – Imagens multiespectrais do Landsat 5/TM	39
4.2.1 - Composições coloridas	39
4.2.2 - Técnica Crosta ou Feature - Oriented Principal Component Selection	44
4.2.3 - Interpretação dos lineamentos extraídos das imagens	48
4.3 – Interpretação das imagens aerogeofísicas gamaespectrométricas	50
4.3.1 – Canais radiométricos de U, Th e K	50
4.3.2 - Razão entre os canais radiométricos	51
4.3.3 – Diferenciação litológica utilizando dados aerogamaespectrométricos	54
a) Contagem Total	54
b) – Composição colorida dos canais do K, U e Th em RGB	57
c) Classificação não supervisionada dos canais radiométricos e suas razões (U, K, Th, CT, U/Th, K/Th e U/K)	57
4.4 - Dados magnetométricos	58
4.4.1 - Imagem do campo magnético residual em Pseudocor	58
4.4.2 - Filtros de continuação para cima	61
4.4.3 – Filtro de redução ao Equador	62
4.4.4 - Filtros de derivadas verticais	62
4.5 - Integração de dados geológicos, informações aerogeofísicas e de imagens de satélite Landsat5-TM	65

4.5.1 - Interpretação das imagens e elaboração de mapa fotogeológico.....	65
4.5.2 - Integração da imagem de satélite com os dados aeromagnetométricos.....	66
4.5.3 – Integração entre dados gamaespectrométricos e Landsat-5/TM.....	66
4.5.5 – Integração de dados magnetométricos, gamaespectrométricos e Landsat 5/TM.....	73
5 – Conclusões.....	77
6 - Bibliografia.....	81

Lista de Figuras

Figura 1.1 – Mapa de contorno do Estado do Ceará, com a localização geográfica da área de estudo representada pelo modelo digital de elevação combinado com a banda 7 do TM.	5
Figura 2.1 – Mapa geológico simplificado da Folha Iguatu (modificado de CPRM, no prelo).	10
Figura 2.2 – Mapa mostrando as estruturas com maiores influências regionais da área de estudo. Modificado de Medeiros, (1992).	22
Figura 3.1 - Fluxograma representando as etapas de desenvolvimento do trabalho.	27
Figura 4.1 - Mapa Geológico modificado de Prado et al. (1980).	40
Figura 4.2 – Gráfico representando a combinação entre as bandas e o valor do OIF (Optimum Index Factor).	41
Figura 4.3 – Composição colorida 431 RGB, demonstrando os contatos litológicos com linhas de contorno na cor azul, elaborados a partir da interpretação fotogeológica das composições coloridas utilizadas neste trabalho, e as áreas com possíveis concentrações de óxidos de ferro contornadas por verde.	42
Figura 4.4– Composição colorida resultante da Técnica Crosta (Feature Oriented Principal Component Selection) mostrando áreas com zonas de concentrações de minerais ricos na molécula hidroxila contornados em vermelho, concentrações de óxidos e hidróxidos de ferro em azul e as áreas de possíveis alteração hidrotermal em amarelo.	46
Figura 4.5 – Lineamentos, zonas de falha e dobras retirados da banda 4.	49
Figura 4.6 – Diagrama em roseta representativo dos lineamentos contidos na área de estudo.: A – Zonas de falhamento com influência regional, B – Foliação principal com direção NE-SW, C – Foliação secundária com direção NW-SE, D – Todas as estruturas	50
Figura 4.7 – A) Imagem em pseudocor do canal de Urânio em ppm. B) Imagem em pseudocor do canal de Tório em ppm. C) Imagem em pseudocor do canal de Potássio em %. As Imagens dos canais radiométricos estão divididas em três domínios de acordo com a intensidade das anomalias. O Domínio 1 (D1) com os valores mais baixos, o Domínio 2 (D2) com valores anômalos intermediários e o Domínio 3 (D3) com valores altos indicando grandes concentrações destes elementos.	52
Figura 4.8 - A) Razão entre os canais radiométricos de Urânio e Potássio B) Razão entre os canais radiométricos de Tório e Urânio C) Razão entre os canais radiométricos de Potássio e Tório indicando os pontos de maior interesse para prospecção de ouro.	55
Figura 4.9 A) Imagem em pseudocor do canal radiométrico de Contagem Total com o mapa de isolinhas superposto. B) Composição colorida em RGB dos canais radiométricos de U, K e Th. C) Classificação não supervisionada utilizando os canais radiométricos de U, K, Th, Contagem Total e as razões U/K, Th/U e K/Th, combinada às principais feições estruturais e aos contatos geológicos extraídos das imagens de satélite.	59
Figura 4.10 - A) Campo magnético residual em pseudocor combinado com as principais feições estruturais observadas na área. B) Imagem do campo magnético residual com filtro de continuação para cima, apresentando as medidas com 1000m de profundidade. C) Imagem do campo magnético residual com filtro de redução ao equador. Estas imagens foram divididas em domínios magnéticos de acordo com a intensidade das anomalias: Domínio 1 (D1) – Anomalias magnéticas negativas. Domínio 2 (D2) – Anomalias magnéticas intermediárias. Domínio 3 (D3) – Anomalias magnéticas positivas.	63
Figura 4.11 - Campo magnético residual com filtro de primeira derivada.	65
Figura 4.12 – Mapa Geológico elaborado com a interpretação das imagens de satélite integrada aos dados aerogeofísicos. (Ver Anexo 2)	67
Figura 4.13 – Campo magnético residual combinado aos lineamentos retirados da imagens Landsat 5-TM	69
Figura 4.14 – Vista em perspectiva mostrando o modelo digital de elevação, combinado com o campo magnético residual em pseudo cor e com os lineamentos retirados da área.	69
Figura 4.15 – Composição colorida dos canais U, K e Th em RGB, combinada com a Pc1 no canal de intensidade. As áreas demarcadas nas imagens de satélite demonstrando as concentrações de minerais ricos em óxido de Ferro, argilo minerais e os dois em conjunto.	71
Figura 4.16 – Composição colorida dos canais U, K e Th em RGB, combinada com os contatos litológicos e as mega-estruturas da área, sendo superposto o modelo digital de elevação.	71
Figura 4.17 – Composição colorida RGB dos canais de U, K e Th superposto ao campo magnético residual no canal de intensidade.	72

<i>Figura 4.18 - Composição colorida RGB dos canais de U, K e Th, combinada ao campo magnético residual no canal de intensidade, tendo superpostos os lineamentos e os contatos geológicos integrados ao modelo digital de elevação.....</i>	<i>72</i>
<i>Figura 4.19 – Modelo digital de elevação combinado com a classificação não supervisionada dos canais radiométricos e suas respectivas razões, com os lineamentos retirados das imagens de satélite e magnetométricas, além dos contatos litológicos obtidos pelas imagens de satélite e gamaespectrométricas.</i>	<i>74</i>

Lista de tabelas

<i>Tabela II.I - Coluna estratigráfica proposta por CPRM (no prelo)</i>	9
<i>Tabela II.II –Evolução tectônica proposta para Folha Iguatu - CPRM (No prelo)</i>	24
<i>Tabela III.I – Parâmetros estatísticos da imagem Landsat5-TM da órbita 217, ponto 65 de 24 de agosto de 1992.</i>	29
<i>Tabela III.II - Dados estatísticos da gamaespectrometria e magnetometria da área de estudo sem correções.</i>	34
<i>Tabela III.III - Dados estatísticos dos valores “semi-quantitativos” dos canais de K, U, Th e das razões U/K, K/Th e U/Th para área de estudo.</i>	35
<i>Tabela IV-I – Coeficientes de autovetores para as bandas 1, 3, 4 e 5 (resposta espectral de óxidos e hidróxidos de Fe³⁺).</i>	45
<i>Tabela IV-II – Coeficientes de autovetores para as bandas 1; 4, 5 e 7 (resposta espectral dos minerais portadores da molécula hidroxila.)</i>	45

Capítulo 1

Introdução

1 – Introdução

1.1. - Considerações gerais

O conhecimento sobre as ocorrências de ouro do Estado do Ceará é ainda limitado, necessitando de pesquisas sobre sua distribuição, gênese e forma de ocorrência. Existem poucas informações sobre mineralizações de ouro primário e as investigações nos depósitos detríticos são superficiais e em áreas muito restritas. Apesar de vários indícios e faixas mineralizadas conhecidas, o Estado do Ceará tem se mostrado pouco atrativo para a mineração de ouro, devido ao elevado grau metamórfico das rochas do seu embasamento cristalino, bem como ao precário conhecimento geológico deste embasamento, nas escalas 1:100.000 a 1:50.000.

No Estado do Ceará é comum a ocorrência de faixas contendo anfibolitos e metabasitos, com evidências de agentes concentradores de minerais com importância econômica, como metassomatismo e hidrotermalismo. Estas ocorrências muitas vezes estão associadas a falhamentos de caráter regional. Tais características reforçam a idéia do potencial favorável para mineralizações auríferas, potencial este atestado pelas várias ocorrências de ouro em municípios da região. Esse conjunto de fatores justifica uma pesquisa mais aprofundada focalizando as mineralizações auríferas neste estado.

As tecnologias de sensoriamento remoto multiespectral, aplicadas ao estudo dos recursos minerais, vêm sendo utilizadas e desenvolvidas desde o início dos anos 70. Os sensores remotos que operam nas faixas do visível, infravermelho próximo e termal do espectro eletromagnético são capazes de produzir informações espectrais e texturais sinópticas em âmbito regional, possibilitando desta forma a interpretação da geologia e geomorfologia das superfícies imageadas.

Os dados geofísicos obtidos por sensores aerotransportados vêm sendo utilizados em conjunto com as informações de sensores remotos, contribuindo significativamente para o mapeamento geológico de grandes áreas, auxiliando nos trabalhos exploratórios para metais básicos e preciosos.

A literatura apresenta diversos trabalhos utilizando dados de sensores remotos e aerogeofísicos (magnetométricos e/ou aerogamaespectrométricos) de forma integrada como subsídio a estudos geológicos. Entre eles se encontram Isles *et al.* (1990), Liu J.G.

(1991) Valente e Veneziani (1993), Rolim *et al.* (1993), Duarte (1998), Castro (1997), Cainzos *et al.* (1997), Klein *et al.* (1997), Osako *et al.* (1997), Castro *et al.* (1997), Oliveira e Rodrigues (1997), Davis *et al.* (1997), Soriga *et al.* (1997), Garcia *et al.* (1998) e Osako e Amaral (1998). Muitos desses estudos vêm demonstrando o valor da integração destes dados na localização de estruturas em terrenos de diversas naturezas (Anderson e Nash, 1997; Leber e Häusler, 1997; Bullock e Isles, 1994; Lima, 1993), no estudo de mineralizações auríferas (Soriga op. cit.; Nash, 1994; Dow e Gemuts, 1967; Dentith *et al.* 1993) e no mapeamento de seqüências vulcano-sedimentares do Proterozóico (Nash *et al.* 1996.)

Os melhores resultados na aplicação de imagens multiespectrais de satélite em mapeamentos geológicos são geralmente obtidos em áreas de clima árido, uma vez que a vegetação é geralmente esparsa e de pequeno porte, não encobrindo excessivamente os afloramentos rochosos. (Gonzalez e Wintz, 1987)

1.2 – Objetivos e justificativas

Este trabalho tem como objetivo identificar e analisar áreas favoráveis à ocorrência de mineralizações auríferas, utilizando como área de estudo a região próxima à cidade de Lavras da Mangabeira, Estado do Ceará. É abordada a utilização conjunta de três tipos de informações (geológicas, aerogeofísicas e Landsat – TM), com enfoque principal no estudo da distribuição de zonas de alteração com possíveis mineralizações auríferas.

São analisados tanto os aspectos estruturais, possíveis condicionantes das mineralizações auríferas, através da análise das informações texturais das imagens Landsat/TM e dados aeromagnetométricos, quanto os litológicos/mineralógicos. Utilizando as informações tonais das imagens Landsat/TM e dados aerogamaespectrométricos, com o intuito de identificar evidências de possíveis “assinaturas” das zonas favoráveis a mineralizações auríferas, expressas nesses dados.

Nos últimos anos o conhecimento geológico do Brasil sofreu um considerável avanço, graças aos diversos levantamentos de prospecção geoquímica e geofísica e mapeamentos geológicos em diferentes escalas. O presente trabalho visa a extração da maior quantidade possível de informações a partir desses dados preexistentes, aplicando e testando técnicas modernas de processamento e análise, visando a otimização de custos em

eventuais campanhas prospectivas para ouro na região e buscando contribuir para o conhecimento geológico da área.

1.3 - Área de estudo

Para este estudo foi selecionada uma área onde são conhecidas algumas ocorrências minerais de ouro, situada no sul do Estado do Ceará, junto às cidades de Lavras da Mangabeira e Várzea Alegre. Esta área é delimitada pelas coordenadas: 39°30'00W'' / 6°33'16S''; 39°30'00W'' / 6°55'40S''; 38°51'49W'' / 6°33'16S''; 38°51'49W'' / 6°55'40S''. (Figura 1.1)

A área de estudo foi mapeada pela CPRM em 1980, através do Projeto Lavras da Mangabeira, realizado em convênio com o DNPM, nas escalas de 1:250.000 e 1:100.000, com algumas sub-áreas detalhadas em 1:50.000. Ainda em fase de conclusão, está sendo realizado pela CPRM um novo mapeamento da Folha Iguatu na escala 1:250.000, que fará parte do novo Mapa Geológico do Ceará em escala 1:1.000.000, tendo sido os resultados preliminares do mesmo cedidos pela CPRM-CE. A existência desses dados de mapeamento propiciou uma base de comparação entre os dados preexistentes e os resultados obtidos neste trabalho.

A região de Lavras da Mangabeira apresenta características favoráveis à utilização de técnicas de sensoriamento remoto, devido ao seu clima árido e reduzida cobertura vegetal (caatinga).

1.4 – Aspectos fisiográficos

A área estudada encontra-se localizada na região fisiográfica do sertão nordestino, cujo clima dominante é o semi-árido, com duas estações bem definidas: uma chuvosa com precipitações pluviométricas de janeiro a maio (com máximas nos meses de março e abril) e a outra seca no restante do ano. Normalmente, as chuvas são irregulares, principalmente nas regiões mais planas. As precipitações médias anuais oscilam em torno de 800mm, sendo que nas zonas de elevada altitude superam os 1.000 mm anuais. A temperatura na região estudada oscila entre 20° e 34°C, com médias de 27° e 28°C. O vento na região é predominantemente Leste-Oeste, atingindo maior velocidade no mês de outubro e menor no mês de abril.

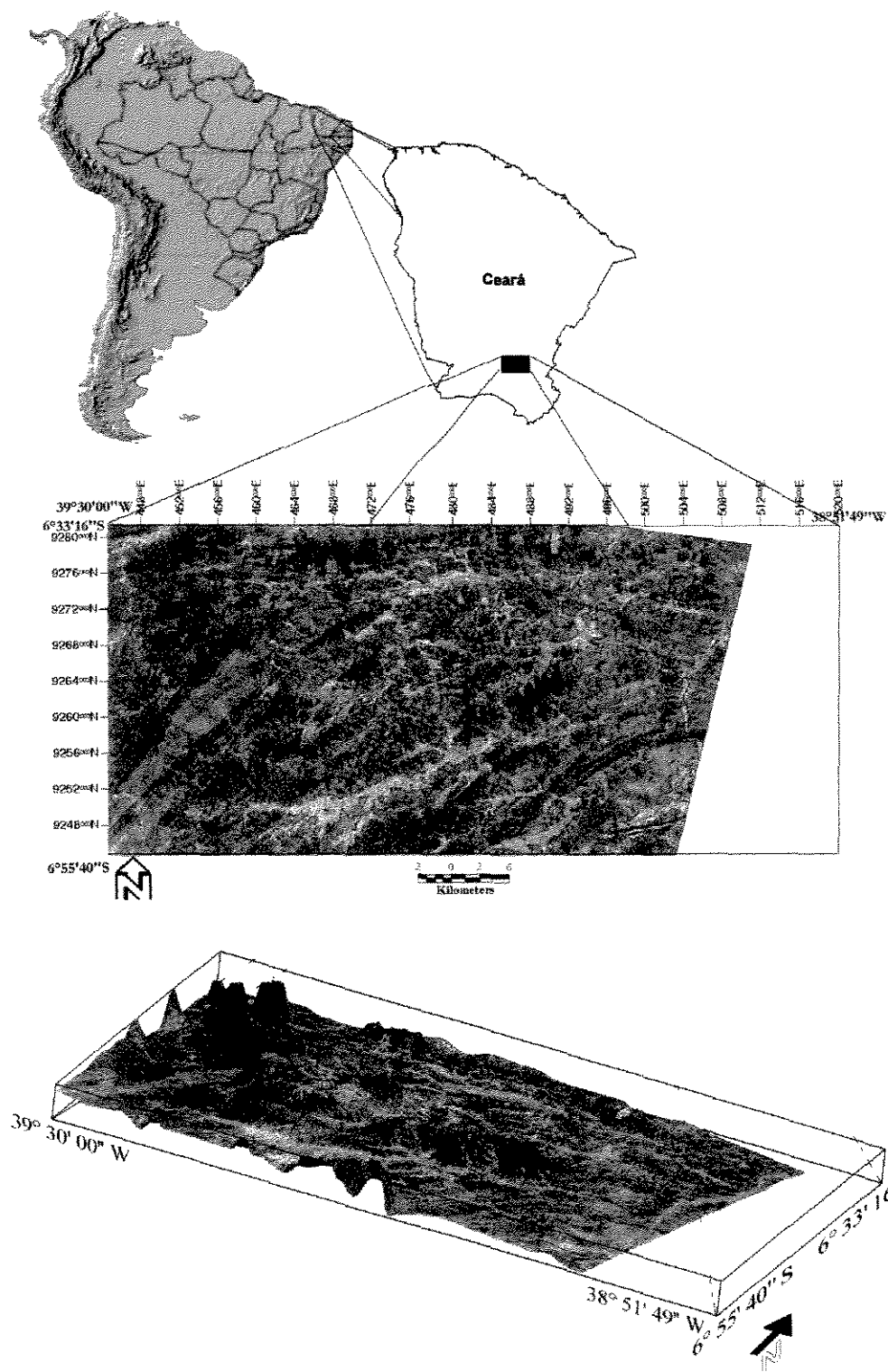


Figura 1.1 – Mapa de contorno do Estado do Ceará, com a localização geográfica da área de estudo representada pelo modelo digital de elevação combinado com a banda 7 do TM.

A vegetação predominante na região é a caatinga, típica do semi-árido nordestino, com domínio de cactáceos e remanescentes arbóreos de médio porte.

A drenagem dominante é do tipo dendrítica, bastante densa em função da impermeabilidade dos terrenos cristalinos. A carência de recursos hídricos está diretamente ligada ao tipo de clima semi-árido, cuja escassez de chuvas contribui para que os cursos d'água sejam intermitentes, irregulares e, conseqüentemente, de fraquíssimo potencial energético.

Na região, o solo está diretamente condicionado à litologia onde predominam as rochas cristalinas do tipo gnaisses, migmatitos e granitos, os solos assumem tonalidades claras e composição arenosa e/ou areno-argilosa; Já, os solos derivados de filitos e micaxistos são argilosos, com coloração avermelhada, apresentando óxido de ferro e cascalhos de variada granulometria, oriundos, em geral, da desagregação de veios de quartzo, nos aluviões, principalmente nos sedimentos contendo argila, bem como sobre rochas básicas e ultrabásicas, o solo assume coloração cinza e marrom escuro, respectivamente, e conteúdo altamente argiloso.

Capítulo 2

Contexto geológico e geotectônico

2 – Contexto geológico e geotectônico

2.1 - Estratigrafia

2.1.1 - A coluna estratigráfica

A estratigrafia utilizada para a área de estudo foi baseada no trabalho realizado por CPRM (no prelo). No caso da Folha Iguatu SB.24-Y-B em escala 1:250.000, as informações básicas ligadas à geologia estrutural, geofísica, litoquímica e geocronologia são restritas. Os dados de CPRM (op. cit.) basearam-se predominantemente nas observações de campo realizadas na área e em informações contidas em trabalhos recentes em áreas próximas, com constituição litológica similar. Foi proposto então um novo quadro geológico, que chega a ser de certa forma conflitante com as teorias desenvolvidas por outros autores em trabalhos pretéritos, sendo porém mais coerente com modelos mais modernos propostos para a evolução geológica da área, como os sugeridos por Parente e Arthaud (1995) e Sá *et al.* (1995).

A interpretação geológica proposta por CPRM (op. cit.) (Tabela II.I e Figura 2.1) foi adotada neste trabalho por ser a mais recente para a área de estudo.

O quadro litostratigráfico proposto por CPRM (op. cit.), está dividido em:

- **Arqueano:** rochas representadas pelo Complexo Cruzeta, com evidências de retrabalhamento nos ciclos Transamazônico e Brasileiro constituídas por ortognaisses tonalíticos a granodioríticos, associadas a metabasitos e metaultrabasitos.

- **Paleoproterozóico:** formado por rochas do Complexo Granjeiro, uma sequência vulcanossedimentar exalativa; Complexo Ceará, composto por metassedimentos de médio a alto grau e magmatitos plutônicos, compostos por ortognaisses calcialcalinos típicos de arco magmático e por ortognaisses graníticos a granodioríticos ligados a eventos pré a sin-colisionais.

- **Mesoproterozóico:** composto pelo Grupo Orós, uma sequência metapelítico-psamítica, com vulcanismo bimodal associado, depositada em ambiente de rifte intracontinental.

Tabela II.I - Coluna estratigráfica proposta por CPRM (no prelo)

FANEROZÓICO	CENOZÓICO	QUATERNÁRIO	FORMAÇÕES SUPERFICIAIS ALUVIÕES: Areias grossas e cascalhos, podendo incluir areias finas a médias, areias argilosas e horizontes argilosos nos baixos cursos dos rios maiores.
	CENOZÓICO	TÉRCIÁRIO	FORMAÇÃO MOURA: Sedimentos inconsolidados e/ou com fraca diagênese, incluindo cascalhos, areias e argilas. COBERTURAS COLÚVIO-ELUVIAIS: Sedimentos inconsolidados, localmente laterizados de constituição essencialmente areno-siltico-argilosa.
	MESOZÓICO	JURO-CRETÁCEO	DISCORDÂNCIA GRUPO IGUATU UNIDADE SUPERIOR: Arenitos finos na base, evoluindo para fácies mais grossa a conglomerática com níveis intercalados de siltitos e folhelhos. UNIDADE MÉDIA: Siltitos argilosos e argilitos com cimento calcífero, folhelhos, margas, calcarenitos e calcário. UNIDADE INFERIOR: Arenitos médios a grossos com níveis conglomeráticos para o topo ocorrem níveis subordinados de siltitos folhelhos e margas. Camadas de rocha básica intercaladas nos arenitos basais.
	PALEOZÓICO	CAMBRO-ORDOVICIANO	DISCORDÂNCIA GRUPO RIO JUCÁ FORMAÇÃO MELANCIA: Conglomerados polimícticos com níveis de arenitos finos, siltitos e folhelhos avermelhados. FORMAÇÃO COCOCI: Ardósias, folhelhos, argilitos e siltitos calcíferos avermelhados com intercalações subordinadas de arenitos grossos e conglomeráticos. FORMAÇÃO ANGICO TORTO: Brechas, microbrechas, conglomerados polimícticos, arenitos arcoseanos, às vezes calcíferos no topo, com intercalações subordinadas de arenitos finos, siltitos e argilitos.
PROTEROZÓICO	NEO		DISCORDÂNCIA GRANITOS PÓS-TECTÔNICOS: Granitos, monzonitos, granodioritos e sienitos de coloração variando de avermelhada a acinzentada, médios a grossos, equigranulares e diques ácidos (riolitos e dacitos). GRANITÓIDES TARDI A PÓS-TECTÔNICOS: Biotita granito, quartzo monzodiorito, monzodiorito, granulação fina a média, isotrópicos a incipientemente orientados, de origem crustal. GRANITÓIDES CEDO A SIN-TECTÔNICOS: Granito, granodiorito, monzonito, tonalito e sienito, granulação média a grossa (porfiróide), com fácies deformada, notadamente nas bordas, com enclaves básicos e das encaixantes, calcialcalino, de provável origem mantélica. Diorito e quartzo diorito, granulação grossa a porfiróide.
	MESO		DISCORDÂNCIA GRUPO ORÓS E GRUPO CACHOEIRINHA GRUPO ORÓS: Seqüência plutono-vulcano-sedimentar formada por hornblenda-biotita gnaiss e biotita gnaiss; micaxistos com granada, estauroлита e sericita; incluindo lentes de quartzito, metacalcários, localmente com magnetita, associados a metavulcânicas ácidas a básicas, metabasaltos amigdaloidais e a corpos de ortognaisses porfiríticos.
	PALEO		DISCORDÂNCIA GRANITÓIDES CEDO A SIN-COLISIONAIS: Biotita ortognaisses, com ou sem anfibólio, cinzentos, de composição granítica a granodiorítica, que evoluem para leucogranitoides gnaissificados, finos a médios, de origem crustal (tipo S). GRANITÓIDES PRÉ-COLISIONAIS: Ortognaisses a hornblenda e biotita, cinzentos, de composição tonalítica a granodiorítica, raramente trondhjemitica associados a diques e <i>sheets</i> de leucogranitos. Quimicamente, são compatíveis com ambiência de arco magmático. COMPLEXO CEARÁ Seqüência essencialmente paraderivada, formada por duas associações principais: uma xisto-quartzito-carbonática representada pela alternância de moscovita-biotita xistos e quartzitos micáceos, biotita gnaisses e gnaisses a duas micas, com ou sem granada, sillimanita, cianita e turmalina. Incluindo ainda, lentes de metacalcários e calcissilicáticas; e outra, gnáissico-migmatítica, com biotita gnaisses e gnaisses a duas micas, migmatizados ou não, com granada e sillimanita, localmente com lentes de material grafitoso, micaxistos, quartzitos e <i>sheets</i> de leucogranitoides e pegmatitos. COMPLEXO GRANJEIRO Associação vulcano-sedimentar exalativa constituída essencialmente por alternância de anfibolitos, metassedimentos, gnaisses leucotonalíticos, contendo frações subordinadas de metabásicas mais grossas, metaultramáficas e metavulcânicas ácidas, corpos lenticulares de Quartzitos, metacalcários, metacherts, metabasaltos toleíticos e formações feríferas bandadas.
ARQUEANO			DISCORDÂNCIA COMPLEXO CRUZETA (INDIVISO) Ortognaisses cinzentos, localmente bandados, de composição tonalítica a granodiorítica, muito raramente, granítica, associados a corpos de metabasaltos anfibolitizados e, em menor proporção, de metaultrabasitos.

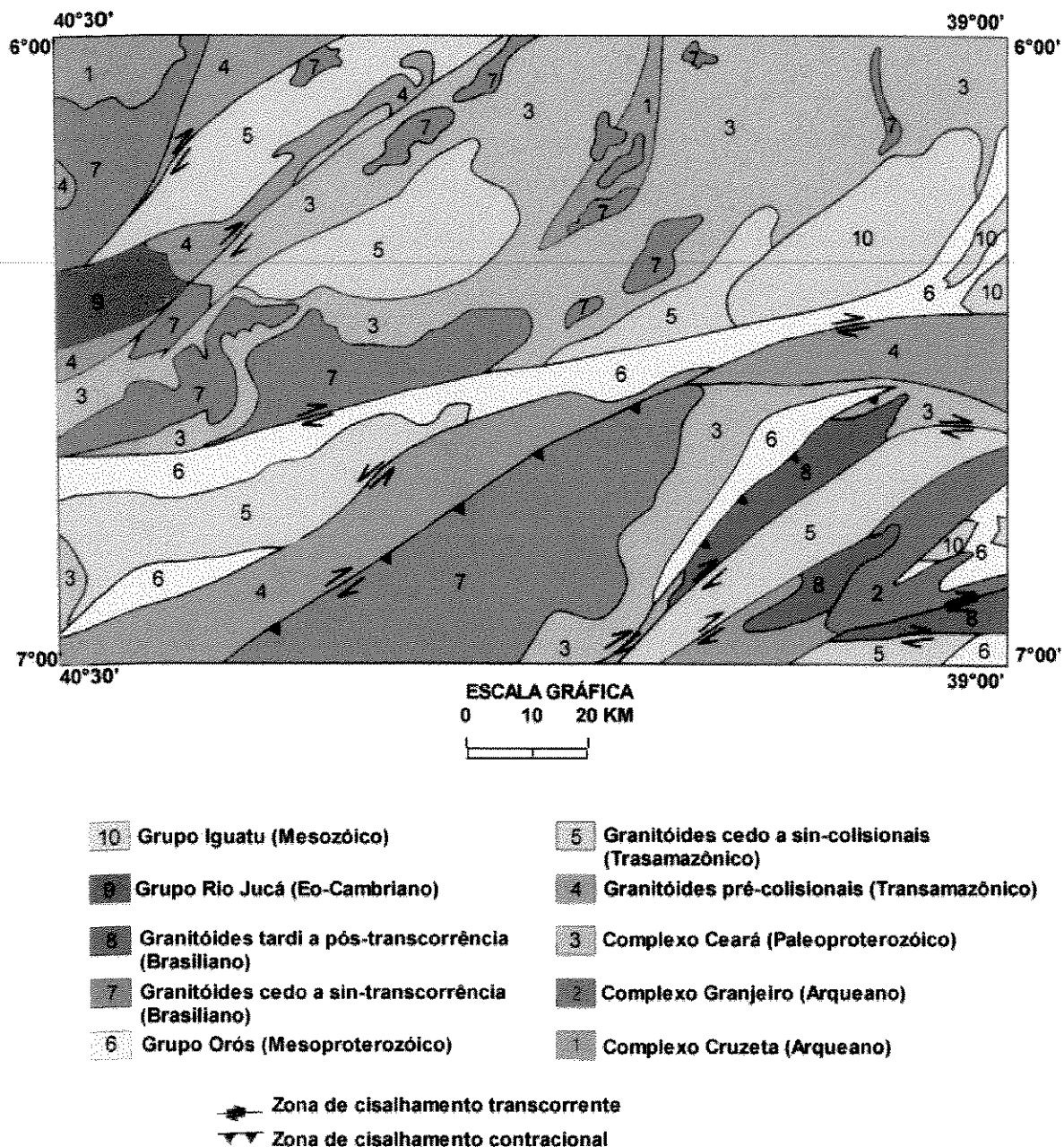


Figura 2.1 – Mapa geológico simplificado da Folha Iguatu (modificado de CPRM, no prelo).

- **Neoproterozóico a Cambro-Ordoviciano (Ciclo Brasiliano):** são representados por granitóides calcialcalinos e alcalinos, relacionados a um regime transcorrente; por sedimentos anqui-metamórficos do Grupo Rio Jucá, subdividido nas Formações Angico

Torto, Cococi e Melancia, que preenchem a Bacia Transtensiva de Cococi; por corpos ígneos, menores, representando as últimas manifestações tectono-magmáticas desse ciclo.

- **Mesozóico:** Grupo Iguatu formado por coberturas sedimentares (unidades Inferior, Média e Superior) e rochas básicas representadas por diques de diabásios e microgabros, relacionados, em parte, ao magmatismo Ceará Mirim.

- **Formações superficiais cenozóicas:** cartografadas como coberturas colúvio-eluviais e Formação Moura, do Terciário-Quaternário e aluviões recentes do Quaternário.

2.2 - Geologia local da área de estudo

2.2.1 - Complexo Granjeiro

Esta unidade é formada por metabasitos anfibolitizados, tufos máficos, félsicos e metaultrabasitos associados a xistos, quartzitos, metacalcários, metacherts e formações ferríferas bandadas, caracterizando uma associação vulcanossedimentar portadora de horizontes químico-exalativos. Campos (1976) e Prado *et al.* (1980) consideraram-na como parte integrante do embasamento Arqueano, correlacionando-a a porções do Complexo Caicó. Santos e Brito Neves (1984) posicionaram esses litotipos como constituintes da seção inferior do Complexo Lavras da Mangabeira, de provável idade do Paleoproterozóico. Silva *et al.* (1993) consideram-na como remanescente de crosta oceânica antiga, denominando-a de Complexo Granjeiro.

Seu posicionamento no Paleoproterozóico é baseado na provável correlação com a porção inferior do Grupo São Vicente, na região do Seridó, de idade em torno de 2.15 Ga. (Hackspacher *et al.*, 1990), obtida pelos métodos U/Pb e Sm/Nd. Brito Neves (1975) obteve uma idade isocrônica de 1.25 a 1.9 Ga. para gnaisses dioríticos intrusivos nesse Complexo, nas proximidades da cidade de Várzea Alegre.

As rochas constituintes dessa associação são intrudidas por corpos de biotita granito com idade do Neoproterozóico, localmente assimiladas por ortognaisses de composição tonalítica a granodiorítica e sobrepostas discordantemente, através de contatos tectônicos, por metassedimentos do Grupo Orós.

Estas rochas foram observadas nos pontos 18, 35, 36, 37, 41, 42 e 43 representados no mapa de pontos (Anexo 1), apresentando-se bastante deformadas e localmente muito intemperizadas. No ponto 18 os gnaisses de alto grau apresentam foliação

com mergulho sub-vertical de 85° para 303° e lineação de estiramento mergulhando 20° para 254° sendo este um afloramento de rochas representantes do embasamento da região.

2.2.2 - Complexo Ceará

O Complexo Ceará é considerado uma seqüência essencialmente paraderivada, englobando quartzitos, xistos pelíticos a semipelíticos, metagrauvacas e gnaisses de diferentes graus metamórficos, afetados ou não por mobilização e migmatização, com intercalações de rochas carbonáticas. Seus contatos com a base do Grupo Orós são do tipo tectônico, marcado por zonas de cisalhamento dúctil e apresenta-se localmente intrudido por corpos granitóides de diferentes idades e estágios de deformação.

O Complexo Ceará tem idade atribuída ao Paleoproterozóico, baseada em informações geocronológicas obtidas através de vários métodos, como Rb/Sr, U/Pb e Sm/Nd (Macedo et al. 1988; Sá, 1991) e devido seu posicionamento estratigráfico subjacente ao Grupo Orós do Mesoproterozóico.

Os diferentes tipos litológicos que compõem o Complexo Ceará foram agrupados na área mapeada por CPRM (no prelo) em duas associações litológicas maiores, conforme descritas a seguir.

A associação xisto-quartzito-carbonática, composta por micaxistos e quartzitos com gnaisses a duas micas, contendo intercalações de metacalcários e lentes de rochas calcissilicáticas, é caracterizada como uma típica seqüência de ambiente deposicional marinho plataformar. A segunda associação gnáissico-migmatítica é composta por ortognaisses pré a sin-colisionais, de composição granítica a granodiorítica, apresentando gnaisses a duas micas com diferentes graus de migmatização.

A paragênese das rochas constituintes é compatível com um metamorfismo regional de fácies anfibolito, de grau médio a superior (Winkler, 1977) podendo atingir localmente a anatexia.

O grau de deformação observado no Complexo Ceará é intenso e complexo, com um complicado arranjo de blocos imbricados lateral e verticalmente, associados a dobras apertadas e extensas e intensivas zonas de cisalhamento dúctil, verticalizadas e levemente inclinadas, com caráter dextral. Segundo Medeiros *et al.* (1989) e Medeiros (1993) a

interpretação do processo evolutivo de deformação é dificultada devido às complicações causadas pelo amplo e diversificado plutonismo granitóide.

O ponto 53 foi o único ponto visitado que representa as rochas do Complexo Ceará, sendo constituído por xistos com silimanita e grãos milimétricos de granada. Neste ponto a foliação apresenta direção preferencial mergulhando 65° para 148°.

2.2.3 - Rochas metaplutônicas do Paleoproterozóico

As rochas de idade paleoproterozóica são compostas por dois tipos litológicos: granitóides pré-colisionais, que reúnem ortognaisses tonalíticos a granodioríticos, e granitóides pré a sin-colisionais, representados por ortognaisses de composição granodiorítica a granítica. Os granitóides pré-colisionais observados nos pontos 12 e 13 do mapa de pontos (Anexo 1) formam faixas estreitas e alongadas e ocupam regiões de relevo acidentado, podendo apresentar-se também em terrenos com ondulações mais suaves. Apresentam relações de contato que variam desde gradacionais a tectônicas marcadas por zonas de cisalhamento dúctil. Trabalhos anteriores consideraram estes granitóides pré-colisionais como pertencentes ao embasamento Arqueano retrabalhado no Proterozóico, recebendo denominações diversas, como: Complexo Caicó (Campos, 1976), Complexos Nordeste e Trindade (Gomes *et al.* 1981) e como parte integrante da Unidade Mombaça, do Complexo Cruzeta (Medeiros *et al.* 1989, 1993).

Os granitóides Pré-colisionais tem idade Paleoproterozóica e são intrusivos em litotipos dos Complexos Granjeiro e Ceará, proposição feita com base nos dados geocronológicos encontrados para litologias similares aflorantes na região do Seridó segundo Hackspacher (1990), com valores que variam de 1.9 Ga. a 2.1 Ga. (Complexo Caicó)

Os granitóides Pré-colisionais correspondem, em parte, ao mapeado por Medeiros *et al.* (1989, 1993) como Unidade Mombaça. O seu caráter intrusivo em metassedimentos do Complexo Ceará foi comprovado pela presença de enclaves dos litotipos desse Complexo nos ortognaisses.

Geralmente estes corpos granitóides pré a sin-colisionais ocupam áreas com feições morfológicas suaves a pouco onduladas, com raras exceções, onde chegam a atingir cotas com valores em torno de 600 m. Suas relações de contato com os ortognaisses tonalíticos e

com rochas do Complexo Ceará são tectônicas e, em alguns locais, gradacionais de difícil delimitação. Com relação aos granitos do Neoproterozóico, seus contatos são do tipo intrusivo-discordante. A litologia caracteriza-se por uma complexa associação de rochas, com feições variando desde homogêneas a fortemente heterogêneas, representando típicos terrenos gnáissico-migmatíticos, próximo às regiões de contato com metassedimentos do Complexo Ceará.

2.2.4. - Grupo Orós

Santos e Brito Neves (1984) denominaram de Complexo Orós a associação de xistos, filitos, quartzitos, metacherts e calcários encontrados na faixa compreendida entre as cidades de Orós e José de Alencar. Devem-se a Braga & Mendonça (1984) os primeiros registros de rochas metavulcânicas a subvulcânicas associadas a metassedimentos na região de Orós, caracterizando uma seqüência metavulcanossedimentar intrudida por granitos Sintranscorrência. Cavalcante (1987) justifica o emprego da unidade litoestratigráfica "Grupo", para essa seqüência, reconhecendo-a como Grupo Orós, termo proposto adotado por Sá *et al.* (1988).

Na última década, estudos relacionaram este Grupo ao ambiente de deposição de rifte intracontinental, onde as atividades iniciais de extensão estariam relacionadas a processos de relaxamento pós-orogênico no Mesoproterozóico.

As relações de contato do Grupo Orós com outras unidades se dão através de discordâncias tectono-metamórficas, marcadas por bandamentos metamórficos e fenômenos de anatexia, comuns nas rochas do embasamento e ausentes nesta unidade. As rochas formadoras do Grupo Orós são metassedimentares formadas por gnaisses, micaxistos, quartzitos e metacalcários, rochas metavulcânicas representadas por metarriolitos e metadacitos, seguidos de metandesitos e anfibolitos. As rochas plutônicas são compostas por ortognaisses porfíricos, bastante grosseiros, com pórfiros de feldspato potássico de dimensões centimétricas, fortemente foliados.

As rochas desta unidade foram submetidas a três fases de deformação, conforme Sá *et al.* (1988). A primeira exibe uma foliação incipiente com dobras dificilmente identificadas e se desenvolveu sob condições de fácies xisto verde. A segunda, responsável pela principal foliação metamórfica impressa, gerou dobras isoclinais a recumbentes,

desenvolveu-se sob condições metamórficas variando de fácies xisto verde, com granada e biotita, até fácies anfibolito, com estauroлита e andaluzita. A última fase está relacionada às zonas de cisalhamento dúcteis, de caráter dextral, que obliteraram totalmente as estruturas pretéritas, tendo atingido o fácies xisto verde.

O Grupo Orós tem representação nos pontos 15 e 16 (Anexo 1) sobre o Sinclinal do Caipú com ritimitos com fácies finos e milonitizados e localmente transpostos, com foliação mergulhando 75° para 136°. Nos pontos 15 e 16, além dos mica-xistos, puderam ser observadas rochas vulcânicas básicas com foliação mergulhando 45° para 168°.

2.2.5 - Granitóides do Neoproterozóico

As rochas plutônicas relacionadas ao Ciclo Brasileiro foram agrupadas em três categorias principais: granitóides Pré a Sin-tectônicos, granitóides Tardi a Pós-tectônicos e os granitóides Pós-tectônicos

Os granitóides Pré a Sin-tectônicos constituem os tipos de maior expressão aflorante na região, com extensas áreas de exposição (Pontos 32, 34, 48a, 49, 50, 51 e 52, Anexo 1.).

Os granitóides Tardi a Pós tectônicos formam corpos de dimensões variadas, formas predominantemente ovaladas e extremamente alongadas, alinhados preferencialmente segundo a direção NE-SW, paralelos às principais direções das zonas de cisalhamento. São intrusivos em distintos litotipos das Unidades do Paleoproterozóico e localmente podem se apresentar como diques, concordantes ou não à foliação impressa na rocha encaixante. Nas bordas externas dos seus corpos intrusivos exibem uma foliação incipiente, representada pela orientação dos minerais. Já nas partes internas, apresentam-se bastante homogêneos, representados principalmente por biotita granitos equigranulares, com granulação fina a média. (Pontos 10, 14, 19 e 30, Anexo 1)

Os granitóides Pós-tectônicos são intrusivos em ortognaisses do Neoproterozóico. São perfeitamente correlacionáveis aos granitos do tipo Meruoca, de idade estimada em torno de 512m.a., fazendo parte portanto, do evento magmático que marca o final do Ciclo Brasileiro.

2.2.6 - Grupo Iguatu

Ghignone *et al.* (1986) subdividiu o Grupo Iguatu, em três sub-unidades (Inferior, Média e Superior) semelhante à proposta de Srivastava (1990). Os litotipos dessas unidades preenchem bacias isoladas, de dimensões variadas, conhecidas como: Iguatu, Lima Campos, Malhada Vermelha e Lavras da Mangabeira, implantadas num contexto de rochas pré-cambrianas da Província Borborema. Constituem um conjunto de pequenas bacias do tipo *pull-apart*, de formação relacionada à reativação mesozóica da Plataforma Sul-Americana, através da retomada de movimentos ao longo de zonas de cisalhamento proterozóicas, sofrendo assim um basculamento geral para SE, de aproximadamente 10°. Estes sedimentos tem idade variando entre Jurássico Superior e o Cretáceo Inferior. Gomes *et al.* (1981) consideraram esta unidade como sendo juro-cretácica.

A Unidade Inferior tem um contato discordante com as rochas do embasamento cristalino, marcado por falhas normais, passando para gradacional com a unidade sobrejacente. É formada, na sua seção basal, por arenitos médios e finos intercalados por níveis grosseiros a conglomeráticos com uma passagem gradacional para o topo, onde esses arenitos se tornam mais finos e intercalados com horizontes de argilitos e siltitos, apresentando localmente leitos de margas calcíferas e fossilíferas.

Na bacia de Lavras da Mangabeira, Priem *et al.* (1978) detectaram a presença de uma camada de rocha básica, classificada como basalto, com contatos concordantes com a estratificação dos sedimentos. Segundo Srivastava (1990), duas fácies deposicionais se destacam, a unidade leque aluvial distal, representada pelos níveis conglomeráticos, e fluvial *braided*, predominante.

A Unidade Média ocorre nas bacias de Iguatu, Lima Campos e Malhada Vermelha. Sua composição litológica está representada na base, por sedimentos pelíticos e psamíticos, siltitos puros a argilosos, com horizontes de margas carbonáticas variegadas, intercalados por arenitos finos e calcíferos, formando pequenos bancos maciços, com laminações cruzadas e marcas de ondas. Na sua porção intermediária, predominam argilitos e folhelhos, alternados com siltitos e arenitos finos, sugerindo ambiente deposicional mais profundo, sob condições redutoras, com uma passagem gradacional para o topo onde ocorrem arenitos finos e siltitos arenosos, variegados, finamente laminados, que vão gradando progressivamente para mais grosseiros, caracterizando um sistema flúvio-lacustre. Nesta unidade foram observados fósseis de ostracóides, conchaostráceos,

fragmentos de vertebrados e vegetais, concentrados nas camadas mais argilosas e calcíferas.

A Unidade Superior é formada por termos psamíticos e seu contato com a Unidade Média é gradacional. Ela aflora nas bacias de Lima Campos, Iguatu, e de Malhada Vermelha com espessura de até 300m, na bacia de Lima Campos. Esta unidade apresenta arenitos finos a médios na base passando de forma gradacional para grosseiros a conglomeráticos. No topo há predominância de arenitos grosseiros e conglomerados, com estratificação cruzada tabular e acanalada. Localmente são encontrados horizontes de arenitos finos, siltitos e argilitos variegados.

Srivastava (1990), baseado na textura, estruturas sedimentares e composição mineralógica reconheceu três litofácies predominantes: de leque aluvial, fluvial *braided* e de planície de inundação.

A evolução tectono-sedimentar do Grupo Iguatu atribui para as bacias mesozóicas do Médio Jaguaribe períodos de intensa instabilidade tectônica, caracterizando intervalos de regime torrencial, que depositaram sedimentos grosseiros a conglomeráticos, típicos de sistemas deposicionais de leques aluviais e fluvial *braided*. Segundo Silva Filho (1992) a alternância destes períodos com outros mais estáveis formam depósitos flúvio-lacustres e lacustres.

2.2.7 - Diques básicos Mesozóicos

Os diques básicos ocorrem preenchendo zonas de fraturas de rochas básicas, (diabásio e microgabro), relacionados ao magmatismo Ceará Mirim. Um destes diques está no ponto 47 (Anexo 1).

Medeiros *et al.* (1989, 1993) chamam a atenção para a disposição de vários desses corpos, constituindo um alinhamento de direção aproximada NE-SW, com extensão de vários quilômetros, iniciando-se nas proximidades do Riacho Tamanduá, a SW, passando pelas localidades de Flamengo e São Paulo, e prosseguindo até próximo à Serra do Moita, a NE. Os diques são constituídos por rochas de granulação fina a média, homogêneas, faneríticas, exibindo uma constituição mineralógica à base de anfibólio, piroxênio e plagioclásio, localmente contendo cristais de sulfetos metálicos.

2.2.8 - Formação Moura

É formada por depósitos sedimentares inconsolidados, iniciando-se por um conglomerado basal, polimítico de matriz arenosa grosseira, com seixos e calhaus de diâmetros de até 25cm, formados por quartzo, quartzito e rochas cristalinas diversas. Apresenta-se fracamente cimentado por material silto-arenoso, de coloração ligeiramente avermelhada. Os seixos variam de sub-angulosos a sub-arredondados. Esta unidade basal pode atingir, localmente, até 8m de espessura. Seguem-se camadas de areias, siltitos e argilas de coloração avermelhada, em bancos maciços, muitas vezes com intercalações de areias grosseiras e conglomerados.

A Formação Moura tem sua idade atribuída ao Terciário, por estar correlacionada à Superfície de Aplainamento Velhas (King, 1956, apud CPRM, no prelo).

2.2.9 - Coberturas colúvio-eluviais

Estas coberturas são representadas geomorfologicamente por amplos tabuleiros, limitados por escarpas íngremes, com padrão de drenagem radial e por coberturas niveladas ao substrato cristalino, formando manchas isoladas. Estas feições foram definidas por Oliveira et al. (1974) como manto de alteração das rochas cristalinas, transformadas em material areno-silto-argiloso, inconsolidado, localmente laterizado. Desta forma, estes depósitos formam um pacote maciço, friável, formado basicamente por grãos de quartzo angulosos a sub-angulosos, fracamente cimentados por material silto-argiloso. Próximo ao topo, ocorrem fragmentos de laterita dispersos na massa rochosa. Tem sua idade atribuída ao Terciário por estar correlacionada à Superfície de Aplainamento Velhas (King, 1956, apud CPRM, op. cit.).

2.2.10 - Aluviões

Os aluviões nas áreas de relevo mais acidentado ficam restritos a estreitas faixas preenchidas por areias grosseiras a cascalhos, com constante presença de blocos rolados. Nos médios e baixos cursos dos rios, são formados por areias de granulação fina a média, areias argilosas e muitas vezes contendo horizontes de argilas.

Na região de Iguatu os aluviões ocupam expressiva área, onde se desenvolveram lagoas residuais temporárias ao longo da planície de inundação, originando depósitos de material argiloso.

2.3 - Geologia estrutural

2.3.1 - Considerações gerais

Mello (1976) correlacionou as estruturas regionais próximas à área estudada com os Cinturões Móveis do Pré-Cambriano do Sudoeste Africano, tomando por base principalmente as similaridades tectono-geológicas (grau de metamorfismo, feições estruturais e associação litológica). Posteriormente, Mello (1979) subdividiu o Escudo do Nordeste Brasileiro em três sub-províncias estruturais: o Cinturão Sergipano, ao sul do Lineamento Pernambuco, o Cinturão Caririano, localizado ao norte do Lineamento Patos e o Cinturão Transversal, localizado entre os outros dois cinturões, onde está posicionada a área de estudo, compreendendo um pequeno segmento crustal da Província Borborema (Almeida *et al.* 1977). A Zona Transversal é atualmente considerada uma ampla faixa orogênica formada pela aglutinação de distintos terrenos alóctones durante o Ciclo Brasileiro (800 a 600 Ma.) (Vasconcelos *et al.* 1997).

Jardim de Sá (1994) e Medeiros *et al.* (1996) sustentaram, para a mega-estruturação brasileira do Domínio da Zona Transversal, um modelo em dominó, em que os cisalhamentos Brasileiros com direção NE-SW corresponderiam à transcorrências sinistrais, e os de direção EW a cisalhamentos dextrais.

2.3.2 - Estruturas locais

Foram observados, no campo, extensos falhamentos longitudinais originalmente transcorrentes, representados no plano horizontal por linhas arqueadas com concavidades voltadas para sul, concordantes, portanto com o Lineamento Patos. Esses falhamentos limitam ou cortam indistintamente as unidades lito-estratigráficas e exercem forte controle na geometria dos traços estruturais. Essas falhas direcionais relacionam-se a esforços compressivos, cronologicamente distintos dos que originaram os pequenos falhamentos transcorrentes, transversais à estruturação regional e a falha de empurrão que separa os granitóides dos gnaisses no extremo norte da Folha de Cajazeiras. Os falhamentos

gravitacionais, tem traços coincidentes ou não com os falhamentos transcorrentes regionais, são abundantes e representam reativações de estruturas pretéritas (Prado *et al.* 1980).

Os dobramentos da região são em sua maior parte lineares e contínuos por toda área e assumem uma posição secundária em relação aos falhamentos. São comuns distúrbios localizados, subordinados aos falhamentos, representados por encurvamento, deslocamento e truncamento dos elementos estruturais (Prado *et al.* op.cit.).

a) Falhamentos

Os falhamentos longitudinais compartimentam a área em fatias alongadas segundo o “trend” regional mantêm um certo paralelismo entre si, configurando um sistema global ligeiramente arqueado em conformidade com o traço principal do Lineamento Patos ou seja a Falha de Tatajuba (Prado *et al.* op.cit.).

A falha próxima à cidade de Lavras da Mangabeira apresenta traço retilíneo com direção E-W. Remobilizações verticais com abatimento de blocos ao longo de várias destas falhas, geraram pequenas bacias e fossas tectônicas de formas irregulares, limitadas por falhas verticais e preenchidas por sedimentos (Prado *et al.* op.cit.). Estas falhas desenvolveram estreita zona cataclástica ao longo da qual dominam rochas intensamente deformadas, de estrutura e composição variáveis (Prado *et al.* op.cit.).

Na porção norte da área estudada localiza-se a Falha de Tatajuba, que compreende um conjunto de falhas transcorrentes reativadas por empurrão e gravidade. Tem a forma de uma grande arco de curvatura acentuada para sul, cortando a área de leste para oeste. A Falha de Tatajuba é considerada como sendo um dos principais elementos do mega-sistema Lineamento Patos, constituindo uma linha tectônica estanque, que define duas províncias estruturais com diferenças marcantes nos “*trends*” estruturais internos e estilo tectônico (Figura 2.2) (Prado *et al.* op.cit.).

Grande parte das estruturas das regiões próximas às cidades de Lavras da Mangabeira e Várzea Alegre sofreram um arqueamento no mesmo sentido da Falha de Tatajuba. Outra mega falha da região é a continuação da Falha de Farias Brito, caracterizada como inversa ou de empurrão e limitando o Sinclinal de Caipú descrito a seguir, na sua porção sudeste no contato com os corpos graníticos (Prado *et al.* op.cit.).

b) Dobramentos

O Sinclinal de Caipú tem forma semelhante a uma lente convexa com a sua borda sul plana, limitada pela Falha de Farias Brito. Consiste em uma dobra revirada assimétrica, com superfície axial, mergulhando para SE, tendo seu eixo orientado na direção SW. Seu flanco invertido apresenta mergulhos mais acentuados e no extremo SW, está seccionado e com um pequeno deslocamento provocado por uma falha transcorrente de direção EW (Figura 2.2).

Outra feição de grande importância na área é o Sinclinório de Lavras da Mangabeira, segmentado em duas porções com características estruturais distintas pela falha homônima. A parte superior, mais a norte, é composta por dobras menores e sinclinais normais mergulhando de 10° a 20° para SW e eixo axial encurvado concordantemente com a estruturação regional, mais ao sul esta feição tem como características o plano axial da dobra mergulhando para S-SE e eixo com duplo caimento, sendo limitada pela Falha Transcorrente do Iborepi.

c) Feições planares

Os elementos estruturais planares medidos nas superfícies de foliação, apresentam-se com direção preferencial para SW e seus pólos distribuídos nos quadrantes NE e NW em torno da linha norte-sul, com mergulhos variando entre 30° e 70° com máximo entorno de 45° para S, SSE e SSW. Outras medidas encontradas representam dobras localizadas. O evento de deformação responsável pelos dobramentos foi tão intenso que apagou em grande parte as marcas impressas em fases anteriores. (Prado *et al.* 1980)

2.4 - Modelo tectônico e evolução

O modelo tectônico proposto por Mello (1979) para área ainda é aceito por muitos autores que realizaram estudos recentes na região, como Torres (1997), Ribeiro e Vasconcelos (1991) e Vauchez *et al.* (1995). Este modelo considera que o Lineamento Patos segmenta uma grande área em dois blocos estruturalmente discordantes.

Na região localizada a sul deste lineamento situa-se a Zona Transversal, constituída de rochas metamórficas de alto grau, corpos graníticos concordantes com a estruturação regional e rochas de baixo grau metamorfizadas na fácies xisto verde,

representados por quartzitos, xistos filitos e meta-carbonatos, caracterizando uma sequência sedimentar transgressiva, depositada em estruturas sinformais ou calhas na Unidade Inferior.

Ao norte desta descontinuidade estrutural está localizado o Cinturão Caririano, formando um conjunto de rochas metamorizadas no fácies anfibolito, constituído por gnaisses e migmatitos dominantes, incluindo corpos granitos.

Uma síntese da evolução tectono-estrutural proposta para área está representada pela Tabela II.II.

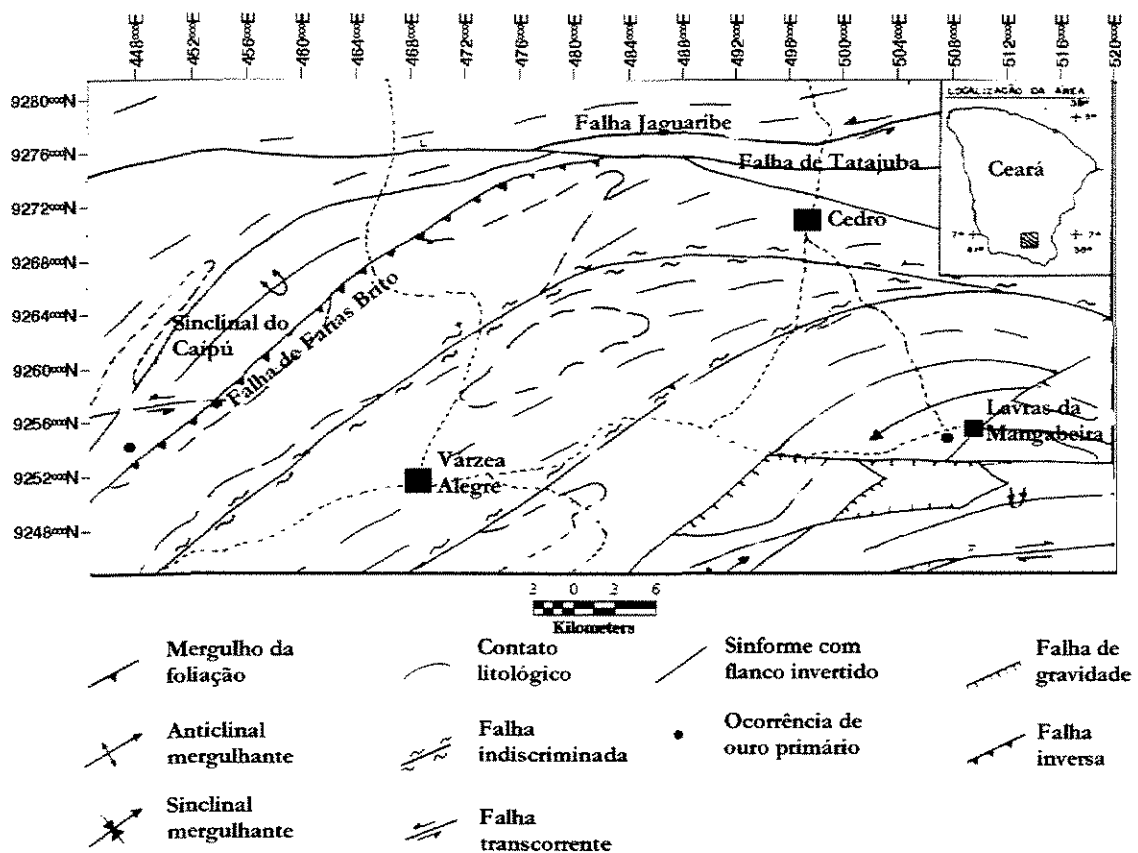


Figura 2.2 – Mapa mostrando as estruturas com maiores influências regionais da área de estudo. Modificado de Medeiros, (1992).

2.5 - Mineralizações

A exploração de ouro na cidade de Lavras da Mangabeira iniciou-se em 1782, com o mineral sendo encontrado associado a rochas do Grupo Ceará.

Devido ao intenso aplainamento morfológico da região e ao baixo índice pluviométrico, as condições para formação de depósitos de ouro nos aluviões recentes são bem restritas.

Vários são os fatores que podem ter contribuído para a concentração de ouro na região. Dentre eles podemos citar:

- terrenos com idade variando entre o Arqueano e o Mesoproterozóico com fácies metamórficas variando de anfibolito até granulito; que estes terrenos sofreram, posteriormente, retrometamorfismo do fácies xisto verde (Gorayeb & Abreu, 1989; Prado *et al.* 1979, 1980; Hackspacker e Legrand, 1989).

- as características estruturais das áreas junto às zonas de cisalhamento, têm um caráter compressivo e localmente distensivo, de regime dúctil e rúptil-dúctil, com idade provável do Paleoproterozóico (Vauchez *et al.* 1992). Ainda segundo Vauchez (op. cit.) as zonas de cisalhamento foram preenchidas por magmas sin-tectônicos.

- a percolação de fluidos mineralizantes teve seu auge no Ciclo Brasileiro, e ocorreu vinculada à formação e à reativação de zonas de cisalhamento. Isto é evidenciado pela grande quantidade de veios de quartzo, mobilizados aplíticos e pegmatíticos e lentes micáceas e anfibolitizadas associadas a estas zonas. Ainda não foram realizados estudos específicos sobre a origem destes fluidos mas, segundo Medeiros (1992), eles podem ser resultantes de plumas granitóides e magmatismo ou metamorfismo regional.

- devido à variedade litológica e composição heterogênea das rochas cristalinas infracrustais e a tectônica regional associada, vários trechos da área ficaram preservados da atuação do metamorfismo regional de alto grau, gerando ambientes propícios para a concentração de mineralizações de ouro de origem hidrotermal. Isso foi favorecido pelo fato da pressão e temperatura serem mais baixas nestes bolsões, permitindo assim a percolação e alojamento de fluidos mineralizantes.

As mineralizações auríferas ocorrem em zonas milonitizadas, nas localidades dos Sítios Fortuna e Oiteiros. Em Fortuna estas mineralizações estão associadas a veios de quartzo com sulfetos, encaixados em sericita-quartzo-xisto (Prado *et al.* 1980.). Não há estudos petrográficos sobre a paragénese mineral, mas a associação do ouro com sulfetos é evidenciada nas frentes de lavra.

No sítio Oiteiros o ouro ocorre em diminutos grãos (pepitas), disseminados em veios de quartzo leitoso, encaixados em paragneisses e distribuídos numa faixa de até 10m de largura associada a um feixe de falhas transcorrentes. As cavidades deixadas pela oxidação dos sulfetos (“*box works*”) servem de guia para prospecção do ouro e os minerais da ganga são representados pelo quartzo e pirita.

O volume expressivo de mobilizados de quartzo e de faixas com minerais neoformados justificam também estudos para pesquisa de ouro nas falhas de Farias Brito, Iara e Granjeiro, nesta mesma região.

Tabela II.II –Evolução tectônica proposta para Folha Iguatu - CPRM (No prelo)

Evolução Tectônica	
Períodos de deformação	Características principais
Período 1	Modificou as características primárias das superfícies de acamamento das rochas sedimentares preexistentes que evoluíram para metassedimentos Regime tectônico essencialmente compressivo. Metamorfismo termodinâmico de fácies xisto verde. Manifestações vulcânicas de natureza ácida a intermediária Formação de extensos falhamentos transcorrentes e dobramentos regionais Formação de clivagem penetrativa (clivagem plano axial bem desenvolvida), bandamento gnaissico e xistosidade. Culminou com o arqueamento das estruturas regionais e inclinação de algumas dobras concordantemente com o Lineamento Patos
Período 2	Caracter eminentemente ruptural inicialmente provocados por esforços compressivos. Reativação de zonas de fraqueza preexistentes gerando falhas transcorrentes de pequeno porte com direção NE. Truncamento e deslocamento de elementos estruturais e litológicos mais antigos. Implementação de foliação cataclástica ao longo dos planos de falha e clivagem de crenulação nos quartzitos e filitos. Fim dos esforços compressivos. Início de um regime distensivo com movimentos verticais ao longo de planos de falhas transcorrentes longitudinais formando “<i>meio-grabens</i>”. Preenchimento de depressões por conglomerados epi-metamórficos brechoides e meta-arenitos finos. Atuação de um leve metamorfismo sem alteração sensível nas características primárias. Magmatismo ácido com características pós-metamórficas provocando pequenas deformações e em áreas isoladas um metamorfismo termal.
Período 3	Tectonismo de natureza tafrogênica, marcada por reativações gravitacionais dos grandes falhamentos transcorrentes e por derrame fissural de basalto formando um dique com orientação EW próximo a cidade de Lavras da Mangabeira. Deposição de sedimentos imaturos em depressões esculpidas em rochas metamórficas pré-cambrianas.

Capítulo 3

Materiais e métodos

3 – Materiais e métodos

3.1 – Materiais utilizados

Os dados utilizados na realização deste trabalho foram:

- bases cartográficas geradas pelo Serviço Geográfico do Exército e Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE) sendo estas as Folhas Cedro (SB.24-Y-B-VI) e Cajazeiras, (SB.24-Z-A-IV), em escala 1:100.000, adquiridos da SUDENE.
- Mapas Geológicos das Folhas Cedro e Cajazeiras, em escala 1:100.000 e a Carta Metalogenética da Folha Iguatu (SB-24-Y-B), em escala 1:250.000, integrantes do Projeto Lavras da Mangabeira realizado em 1980 pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM) e o Mapa da Folha Iguatu, em escala 1:250.000, integrante do novo mapeamento geológico do Ceará, em escala 1:500.000, ainda em confecção, cedidos pela CPRM – CE.
- imagens obtidas pelo sensor ótico *Thematic Mapper* (TM) do satélite Landsat 5, identificadas pelas órbitas, pontos e datas de aquisição: 216 / 65 de 22 de agosto de 1988 e 217 / 65 de 24 de agosto de 1992. As imagens digitais do Landsat/TM foram adquiridas junto ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) pela Companhia de Desenvolvimento do Ceará (CODECE) e cedidas para realização deste trabalho.
- dados aerogamaespectrométricos e aeromagnéticos fornecidos pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM-RJ), com a autorização da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN). Os dados fazem parte do Levantamento Aerogeofísico Projeto Iguatu (NUCLEBRÁS) e têm como características principais: perfis aerogeofísicos com direção NW-SE, espaçamento entre as linhas de vôo de 1,0 km, linhas de controle espaçadas a cada 20km com direção NE-SW, altura média de vôo estabelecida em 150m e distância entre os pontos de amostragem de 100m.

3.2. – Metodologia

As etapas de desenvolvimento do trabalho empregadas estão representadas no fluxograma da Figura 3.1

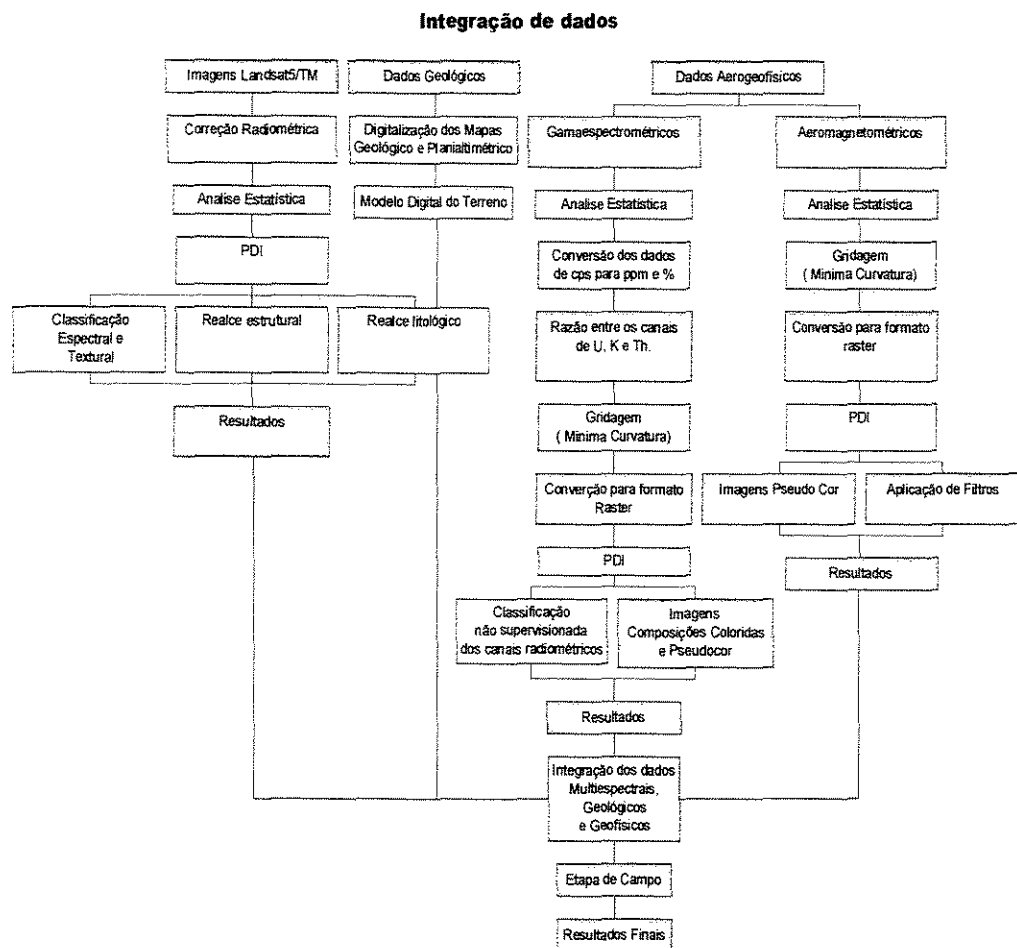


Figura 3.1 - Fluxograma representando as etapas de desenvolvimento do trabalho

Para o desenvolvimento da pesquisa foram propostas 5 etapas:

- a elaboração de uma síntese sobre informações geológicas previamente disponíveis.
- confecção de um mapa geológico digital integrado da região estudada, com base nos mapas geológicos e metalogenéticos existentes; este mapa em formato digital foi usado como base para os estudos da área, possibilitando a comparação dos dados prévios com os obtidos nas imagens multiespectrais. O mapa geológico citado anteriormente e o mapa de drenagem, relevo e de pontos (ANEXOS 1 e 2) foram gerados no CAD (*Computer Aided Design*) obedecendo o sistema de coordenadas UTM. Com os mapas de relevo e de drenagem convertidos para o formato digital foi realizada a confecção do modelo digital de elevação para a área de estudo, utilizado para estabelecer as relações dos litotipos com suas respectivas feições morfológicas.

- pré-processamento das informações Landsat/TM, através da utilização de algoritmos para correções radiométricas e remoção de ruídos. Esta etapa incluiu também o registro das imagens e o geo-referenciamento. O geo-referenciamento é essencial para que uma imagem seja fundida ou integrada a outra imagem ou outros tipos de dados.
- processamento das imagens do satélite Landsat 5/TM com o objetivo de realçar a litologia e texturas e identificar estruturas, utilizando técnicas como aumento de contraste, filtragem, composições coloridas, razão entre bandas, entre outras.
- trabalhos de campo com o intuito de averiguar as informações obtidas a partir dos dados digitais e constatar a veracidade destas informações, através da coleta de amostras e da verificação dos tipos litológicos observados na imagem.

3.2.1-Processamento dos dados Landsat 5/TM

Como primeiro passo no processamento dos dados, foi realizada a correção geométrica na imagem Landsat-5/TM órbita 217 e ponto 65, transformando-a do sistema de projeção *Space Oblique Mercator* (SOM) para o de coordenadas *Universal Transverse Mercator* (UTM). Esta correção foi realizada utilizando pontos de controle no terreno (*GCPs - Ground Control Points*), com fácil visualização nas imagens multiespectrais obtidos através das cartas plani-altimétricas Folhas Cedro (SB.24-Y-B-VI) e Cajazeiras (SB.24-Z-A-IV) em escala 1:100.000. Estes pontos são, em sua maioria, cruzamentos e bifurcações de estradas, barragens de açudes, cruzamentos entre rios, estradas e pontes. Uma precaução tomada na escolha dos pontos foi a de que eles ficassem distribuídos de forma homogênea pela imagem.

O erro de posicionamento gerado neste procedimento foi calculado a partir da raiz média quadrada (*Root Mean Square - RMS*) e para isso foram utilizados 25 pontos de controle, obtendo como resultado um erro total de 3,45m.

Como as cartas plani-altimétricas utilizavam o *datum* SAD69 e a projeção UTM Zona 24 Sul, estes valores foram adotados na retificação da imagem, tornando possível a integração dos dados já digitalizados anteriormente com as imagens multiespectrais e os dados aerogeofísicos.

Com esta correção foi possível selecionar somente a área de estudo, recortando-a em suas coordenadas exatas, direcionando assim o processamento dos dados apenas para a

porção da imagem correspondente à área de estudo. Com a imagem retificada e recortada, foi realizada uma análise estatística das bandas espectrais originais. Os parâmetros obtidos são apresentados na Tabela III.I.

Tabela III.I – Parâmetros estatísticos da imagem Landsat5-TM da órbita 217, ponto 65 de 24 de agosto de 1992.

Bandas	Banda 1	Banda 2	Banda 3	Banda 4	Banda 5	Banda 7
Parâmetros						
Mínimo	55	20	2	4	5	1
Máximo	208	186	227	206	255	255
Média	69,267	33,438	45,679	50,240	118,335	42,341
Mediana	69	31	43	49	115	40
Desvio Padrão	4,376	4,168	8,122	8,295	22,850	11,213
Correlação	Banda 1	Banda 2	Banda 3	Banda 4	Banda 5	Banda 7
Banda 1	1	0,868	0,872	0,583	0,764	0,783
Banda 2	0,868	1	0,942	0,745	0,775	0,794
Banda 3	0,872	0,942	1	0,691	0,830	0,844
Banda 4	0,583	0,745	0,691	1	0,603	0,534
Banda 5	0,764	0,775	0,830	0,603	1	0,932
Banda 7	0,783	0,794	0,844	0,534	0,932	1

Pode-se observar nesta tabela que as bandas 1 e 2 apresentam altos valores de DN mínimo, devido a influência do espalhamento atmosférico que atua sobre as bandas na região do visível. Também podem ser observados os valores da matriz de correlação entre as bandas, que representa a quantidade de informações espectrais que se repete entre cada par de bandas.

A metodologia de processamento dos dados Landsat 5/TM consistiu na aplicação de técnicas de aumento de contraste, utilizadas para realçar as diferenças litológicas e estruturais existentes na área. Outra técnica empregada foi a filtragem de frequências espaciais, com o objetivo principal de diminuir ruídos das imagens e melhorar a visualização das informações. A filtragem para retirada de ruídos em imagens multiespectrais Landsat 5/TM tem sido utilizada para melhorar a qualidade dos dados. (Souza Filho *et al.* 1997)

Crippen (1988) mostrou a importância de ajustes nos dados TM para efeitos atmosféricos na construção de razões entre bandas. Campos-Marqueti e Rockwell (1989) e Gilabert et al. (1994) descreveram processos que auxiliam na correção de dados TM com influências atmosféricas, melhorando a interpretação dos mesmos.

As composições coloridas foram utilizadas para uma melhor visualização regional da área de estudo e no intuito de obter diferenciações e detalhes na litologia da região. Segundo Crippen (1989) na composição RGB entre as bandas 1, 4 e 7 pode-se obter a máxima diferenciação das litologias em terrenos áridos, mas a combinação 1, 5 e 7 RGB torna-se útil em regiões com predominância de minerais portadores de hidroxilas.

A combinação das bandas 1, 4 e 7 escolhida com base em análises de correlação, foi considerada útil na discriminação de litologias por outros autores como Eriksen e Cowan (1989), Frei e Jutz (1989), Torres *et al.* (1989), Re Kühl (1992), e Trefois *et al.* (1993). Para Crósta e Moore (1989) a composição RGB das bandas 4, 3 e 1, serviu para discriminar solos ricos em óxido de ferro relacionados a gossans de sulfetos maciços na região sudeste do Brasil. Davidson *et al.* (1993) usando a composição RGB 1, 3 e 5 conseguiram diferenciar contatos litológicos do Maciço de Troodos em Cyprus.

Outra técnica é a razão entre bandas, utilizada na discriminação de litologias e de outros tipos de coberturas em uma cena. Neste processo a radiação do terreno e o albedo são suprimidos e a variação de radiância atribuída à reflectância espectral dos materiais geológicos é realçada. Crippen (1988) utilizou a razão entre as bandas 4/1 em uma imagem da mina de ferro de *Eagle Mountain* na Califórnia, e obteve imagens com brilho anômalo e com expressões topográficas bastante reduzidas. A seleção das bandas para este processo depende das propriedades espectrais dos materiais de interesse na superfície e de sua abundância relativa a outros tipos de materiais.

Para regiões áridas, uma combinação entre bandas do VNIR (TM 1 a 4), do SWIR (TM 5 e 7) e uma combinação entre bandas dos dois grupos produzem a melhor discriminação para materiais geológicos (Crippen, 1989). A razão TM 3/1 discrimina melhor o óxido de ferro, a TM 5/7 carbonatos e minerais portadores da molécula hidroxila, a TM 4/3 acentua o “*red edge*” na vegetação e a TM 5/4 realça zonas silicificadas de alteração (Brickey 1986; Hutsinpillar 1988; Kowalczyk e Logan 1989; Re Kühl 1992; Bennett 1993; Sabins e Miller 1994). Soriga *et al.* (1997) utilizaram a subtração entre

bandas para diminuir a influência da vegetação nas imagens TM , mapeando com sucesso áreas portadoras de minerais hidratados.

Muito da variação do fluxo espectral radiante medido em um sensor depende da irradiância solar e do albedo da superfície, sendo que muito pouco desta variação provem da reflectância espectral da superfície dos materiais. A análise por principais componentes é uma poderosa ferramenta para suprimir efeitos de irradiância presentes em todas as bandas, possibilitando que a reflectância espectral de interesse geológico da superfície dos materiais seja examinada. Essa informação pode então ser utilizada na redução de dimensionalidade dos dados multiespectrais eliminando a correlação geralmente alta entre as bandas.

A PC1 é praticamente livre de ruídos e produz uma boa representação topográfica da área, por conter informações do sombreamento topográfico e do albedo superficial. Nas PCs de número mais elevado aparecem o ruído e a reflectância espectral dos materiais superficiais. A técnica de análise por principais componentes têm sido utilizada para extração de informações sobre rochas hospedeiras, mineralizações e alteração hidrotermal em imagens Landsat/TM. (Mouat *et al.* 1986; Amos e Greenbaum, 1987; Eriksen e Cowan, 1989; Frei e Jutz, 1989; Crósta e Moore 1989; Loughlin, 1991; Rodriguez e Glass, 1991; Bennett, 1993).

A técnica FPCS (*Feature Oriented Principal Component Selection*) foi utilizada neste trabalho com o intuito de destacar espectralmente áreas de ocorrência de minerais portadores da molécula hidroxila e de minerais do tipo oxi-hidróxidos de ferro, baseada principalmente na análise estatística da covariância de autovetores, onde as PCs com informações espectrais são associadas ao tipo de coberturas secundárias das áreas alvos (Crósta e Moore, op. cit. ; Loughlin, op. cit.). Estes minerais são de grande importância na pesquisa de ouro, por serem produtos superficiais derivados das assembléias mineralógicas de zonas de alteração hidrotermal, como os sulfetos (oxi/hidróxidos de Fe) e argilas de alteração hidrotermal (minerais contendo a molécula de hidroxila), (Nash e Wright, 1994; Biondi, 1990).

Imagens coloridas podem ser descritas em sistemas de coordenadas polares representando intensidade (brilho), matiz (tonalidade) e saturação (pureza da cor), conhecidos como IHS. A transformação IHS tem duas principais aplicações em

sensoriamento remoto geológico: a decorrelação e contraste de imagens e a integração de dados de vários tipos. Tanaka e Segal (1989) utilizaram a transformação IHS em Nevada e conseguiram discriminar vegetação das alterações argilosas. Com a mesma técnica Yamaguchi *et al.* (1989) identificaram áreas de alteração alunítica, enquanto Legg (1992) combinou uma imagem de satélite filtrada com um mapa geológico e um modelo digital do terreno em uma mesma imagem para identificar possíveis zonas mineralizadas na região de Chichester, Inglaterra.

As imagens do Landsat 5/TM fornecem também boas informações para caracterização de estruturas. Esta caracterização pode ser realizada com base nos lineamentos observados nas imagens, que por sua vez expressam as feições estruturais dúcteis e rúpteis. Leber e Häusler (1997) utilizaram as interpretações feitas através de imagens Landsat TM, combinadas com modelos digitais do terreno, para mapear a geologia e a geomorfologia de uma área no estudo de regiões no sudoeste do Tibete.

No presente estudo, a extração de lineamentos foi realizada na banda 4 do TM, (canal do infravermelho próximo). Esta banda foi selecionada por fornecer uma boa impressão do relevo, por conter pouco ruído e por realçar as informações estruturais representadas pelas formas morfológicas e pelo sombreamento topográfico. Após a extração dos lineamentos da imagem estes foram sobrepostos ao modelo digital do terreno para auxiliar na interpretação geológica da área.

Os resultados obtidos foram representados na forma de composições coloridas, imagens em tons de cinza e mapas de lineamentos.

3.2.2 Processamento dos dados Aerogeofísicos

Recentemente, com a introdução de técnicas de levantamento aerogeofísicos de alta resolução, seu potencial para mapeamento geológico e exploração mineral vem aumentando consideravelmente (Nash *et al.* 1996; Pendock e Nedeljkovic, 1996; Eberle, 1988; Groves *et al.* 1984)

Os dados utilizados neste trabalho, sofreram um pré processamento feito pelo quadro de geofísicos da CPRM-RJ. Os dados gamaespectrométricos foram previamente submetidos a correções para atenuação atmosférica, efeito Compton e remoção do

background. Nos dados magnetométricos foram corrigidas as variações diurnas e de nivelamento das medidas do campo magnético total.

Cientistas australianos tem utilizado dados aerogeofísicos, para prospecção de ouro, especialmente em áreas de grande importância econômica, como nos depósitos da província de Yilgarn, Austrália. Isles *et al.* (1989, 1990) e Bullock e Isles (1994). Spector e Lawer (1995), mapearam uma área de 3000 Km² no centro do Estado de Minnessota nos EUA, com um bom resultado na avaliação do potencial de minerais economicamente viáveis a partir de dados magnetométricos.

Os dados aerogamaespectrométricos foram utilizados por Castro (1997) para detectar a variabilidade composicional das rochas no sul do Brasil e identificar lineamentos estruturais da região. Nash *et al.* (1996), utilizou a integração de dados geofísicos aerotransportados com de sensoriamento remoto para definir contatos geológicos e feições estruturais do HCMB (*Halls Creek Mobile Belt*) na Austrália, conseguindo identificar e mapear com esta metodologia 6 novas litologias.

Cainzos *et al.* (1997) utilizaram a aerogamaespectrometria com o intuito de discernir as principais unidades estruturais e tectônicas em Cuba, e com isso definiu dois domínios magnéticos, correlacionáveis estruturalmente ao *host* de Camagüey e ao *graben* Cauto-Nipe. Duarte *et al.* (1997), com o auxílio dos dados aerogamaespectrométricos, subdividiram uma área localizada no Quadrilátero Ferrífero no Estado de Minas Gerais em quatro grandes domínios com diferentes níveis radiométricos, diretamente vinculados às diferentes litologias. Além disto, estes autores identificaram as principais feições estruturais utilizando dados magnetométricos e, a partir do sombreamento sintético da imagem do campo magnético residual, evidenciaram melhor lineamentos já definidos.

Eberle (1995), Doyle (1990) e Reed (1989) utilizaram indicações indiretas observadas nos dados geofísicos para selecionar alvos em áreas com possíveis mineralizações auríferas na África e na Austrália.

Os dados aerogeofísicos utilizados neste trabalho são parte do Projeto Iguatu, realizado pela NUCLEBRAS em 1976, que está subdividido em quatro áreas, sendo utilizada apenas a área Iguatu 1 com as seguintes características: composto por 195 linhas de vôo com direção N45W e pontos amostrais a cada 100m, resultando em 126.628 pontos coletados.

A área de estudo abrange apenas uma parte dos dados do Projeto Iguatu 1. Por este motivo, foi feito um corte utilizando as coordenadas exatas da área de interesse. Como resultado, foi gerado um novo banco de dados contendo 20.340 pontos amostrais cujos dados estatísticos são apresentados na Tabela III.II.

Tabela III.II - Dados estatísticos da gamaespectrometria e magnetometria da área de estudo sem correções.

Canais	U (CPS)	Th (CPS)	K (CPS)	CT(CPS)	MAG(nT)
Valores estatísticos					
Valor Mínimo	0	0	0	0	-574,4800
Valor Máximo	32	163	101	1282	441,8100
Desvio Padrão	3,4367	14,2227	15,4142	140,7087	69,7298
Média	5,5726	21,8168	31,0414	243,9143	-19,0455

Com a área selecionada, foi então feita a transformação dos dados que estavam em contagem por segundo, para valores em percentual para o canal do potássio e em ppm para os canais do tório e urânio. Esta conversão foi realizada utilizando os parâmetros de volume do cristal de 1024cm³ que coletou os dados, relacionado com a altura de vôo que foi de 150m e o grau de sensibilidade do cristal para os canais de U, K e Th de acordo com a metodologia proposta por Amaral e Pascholati (1998) e IAEA-(1991). Como resultado foram obtidas as constantes 20,846 para o potássio, 2,474 para o urânio e 1,545 para o tório com as quais foram realizadas as transformações para ppm e %. Após a divisão dos canais por estas constantes, pode-se realizar as razões entre os canais, U/K, K/Th e U/Th para a caracterização de áreas alteradas por processos metassomáticos e hidrotermais.

Ainda segundo Amaral e Pascholati (1998), a utilização dos dados transformados tem permitido sensível melhora em projetos de análise metalogenética regional e análise integrada de dados.

Os dados estatísticos dos canais transformados e das respectivas razões estão demonstrados na Tabela III.III.

Após esta conversão, foi realizado o processo de geração de malhas regulares ou gridagem dos dados aerogeofísicos, que transformam as linhas de vôo em um formato matricial regular. Nesta etapa do processamento foram seguidas as informações contidas nos trabalhos de Hansen (1993), Vasconcelos *et al.* (1994), Stevanato *et al.* (1995) e Castro *et al.* (1997) para a seleção do algoritmo interpolador e a dimensão das células a serem geradas na confecção do grid. Para isto utilizou-se o programa Surfer através de um interpolador baseado no método de mínima curvatura. Outros tipos de interpoladores foram testados krigagem, vizinho próximo e o de triangulação com interpolação linear, mas não forneceram resultados satisfatórios.

Tabela III.III - Dados estatísticos dos valores “semi-quantitativos” dos canais de K, U, Th e das razões U/K, K/Th e U/Th para área de estudo.

Canais	U (ppm)	Th (ppm)	K (%)	U/K	K/Th	U/Th
Valores estatísticos						
Valor Mínimo	0	0	0	0	0	0
Valor Máximo	12,9345	105,5016	4,8448	84,2643	229,3845	3,1225
Desvio Padrão	1,3891	9,2056	0,7394	2,5970	9,7072	0,1497
Média	2,2525	14,1209	1,4890	1,9584	10,8790	0,1989

Conforme proposto por Vasconcellos *et al.* (1994), foram geradas células entre 1/4 e 1/8 do valor do espaçamento original das linhas de vôo, tendo melhor representatividade as células de 125 por 125m que correspondem a 1/8 desse espaçamento. O resultado foi a geração de grids com 33152 células para cada canal.

Após a gridagem dos dados aerogeofísicos, os ruídos preexistentes são na maioria dos casos realçados. Foram então constatados ruídos provocados principalmente pelas linhas de vôo com direção N45W, em alguns casos agravados por deslocamentos destas na direção NW e outras para SE. Foram aplicadas filtragens para supressão de ruído nestes dados, mas que não apresentaram bons resultados. Como estes ruídos foram facilmente identificados com direção NW e as principais feições estruturais da área estão dispostas

perpendicularmente ao ruído, estes foram então desconsiderados na interpretação visual das imagens utilizadas.

Com os dados gridados, foi feita a importação e conversão dos mesmos para o formato de imagens raster e atribuídos a eles os mesmos Datum (SAD 69) e projeção cartográfica (UTM S 24), das imagens do Landsat 5/TM e dos mapas digitais. Isto possibilitou a integração entre eles, permitindo também a aplicação de técnicas de processamento digital de imagens e a comparação com os mapas geológicos.

Foi realizada uma classificação digital não supervisionada dos dados gamaespectrométricos, com o objetivo principal de caracterizar todos os pixels e separá-los em classes distintas na imagem, as quais podem ser relacionadas aos tipos de coberturas mediante a associação com dados de referência terrestre.

Esses dados foram utilizados na forma de imagens em pseudocor. Para os canais radiométricos de U, K e Th foi feita uma composição colorida RGB e a classificação não supervisionada, buscando definir o domínio de cada mineral na área e correlacioná-los com a geologia.

Para os dados magnéticos, foram utilizados filtros que atuam no domínio espacial, para destacar e modelar a forma dos corpos magnéticos. Os principais filtros utilizados foram os direcionais do tipo Sobel, Redução ao Equador e 1º e 2º Derivada Vertical. Os dados magnetométricos foram combinados com o modelo digital do terreno para facilitar a interpretação da relação entre as principais feições estruturais e a resposta magnética das rochas.

3.2.3 – Etapa de campo

Para um melhor entendimento da geologia da área, após o processamento dos dados, foi necessária uma etapa de campo, no sentido de comparar os resultados obtidos no processamento digital com a realidade encontrada na região.

Nesta etapa foram visitados pontos previamente demarcados nas imagens, para a identificação de possíveis áreas de alteração hidrotermal e de minerais ricos em ferro. Nas áreas favoráveis a concentração de mineralizações auríferas foram observados minerais portadores da molécula hidroxila como a sericita e a actinolita. Nesta etapa de campo, não

foi possível visitar os garimpos de ouro tendo em vista que os mesmos estão abandonados desde 1982 e os acessos foram fechados para evitar invasões de posseiros.

As diferenças litológicas observadas na imagem foram constatadas no campo. Medidas estruturais foram levantadas para uma comparação com as feições estruturais observadas nas imagens em laboratório e para auxiliar a interpretação da evolução da área.

Finalmente, foram integrados os três tipos de informações, compostos pela base geológica, dados aerogeofísicos e imagens Landsat TM5 em forma de dados digitais, objetivando avaliar o uso conjunto das mesmas, no sentido de caracterizar as áreas propícias a mineralizações auríferas.

Capítulo 4

Resultados e discussões

4 – Resultados e discussões

Nesta parte do trabalho são apresentados e discutidos os resultados obtidos através do processamento digital das imagens Landsat-5/TM, dos dados aerogeofísicos (magnetométricos e gamaespectrométricos) e da integração digital dos mesmos.

4.1 - Mapas digitais

Utilizou-se as cartas plani-altimétricas para extrair informações sobre o relevo e a hidrografia da área. Foi então confeccionado um mapa em formato digital, que contem os cursos de água e vias de acesso além dos pontos de afloramentos visitados. Este mapa está apresentado no Anexo 1.

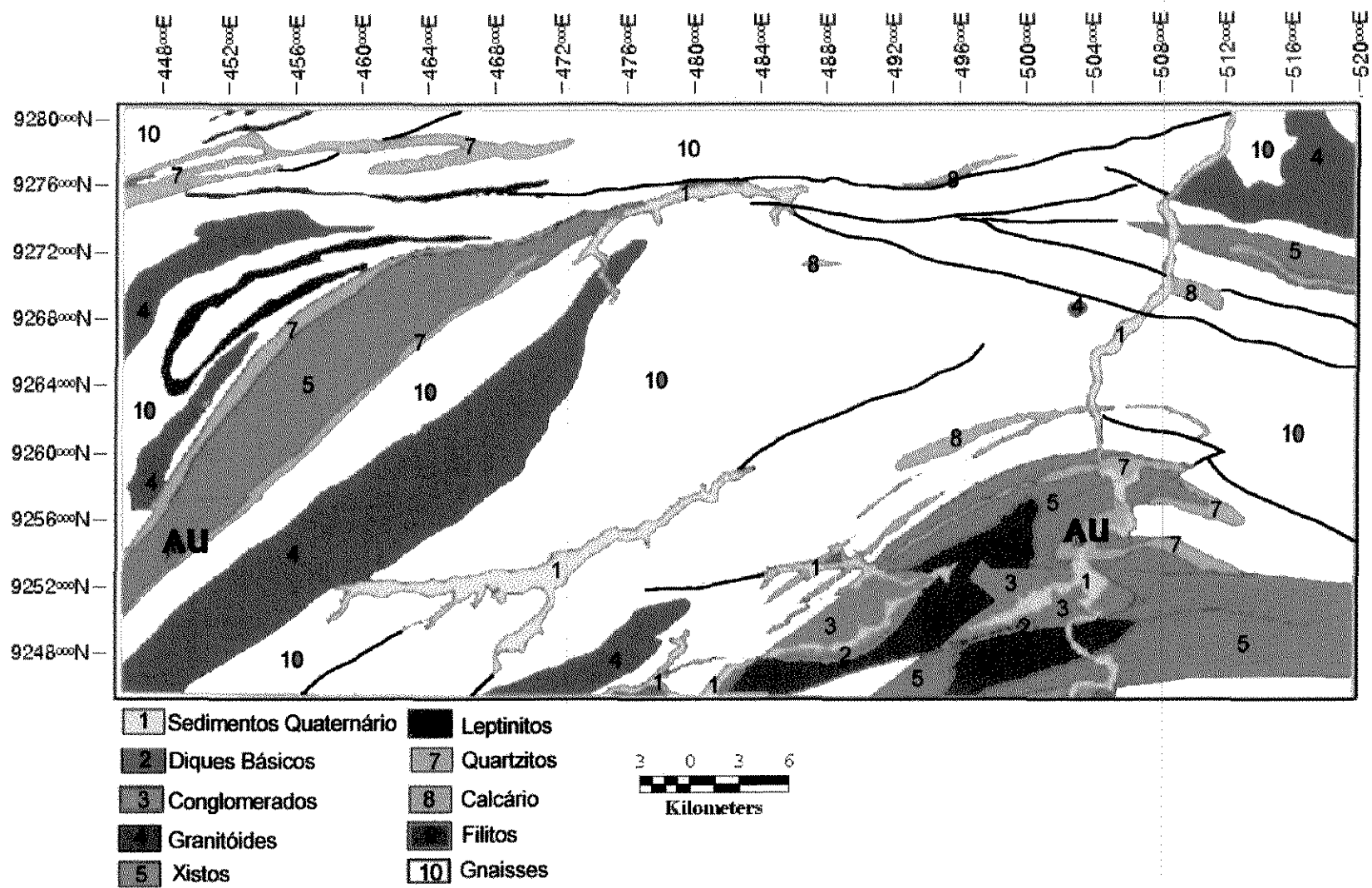
Com os mapas geológicos do Projeto Lavras da Mangabeira (Prado *et al.* 1980) em escala 1:100.000 e o da Folha Iguatu em escala 1:250.000 (CPRM, no prelo), foram convertidos em formato digital, servindo como base para as primeiras observações sobre a geologia da área. A sobreposição do mapa geológico digital, confeccionado a partir do de Prado *et al.* (op cit.) (Figura 4.1), aos dados aerogeofísicos e as imagens do Landsat-5/TM, observou-se que algumas linhas dos contatos geológicos estavam mal posicionadas e alguns corpos poderiam ter composição litológica diferente da proposta pelo mapa. Essa combinação do mapa com os dados de sensoriamento remoto facilitou a interpretação e a avaliação dos resultados obtidos pelas técnicas de processamento digital de imagens, e com a adição de um modelo digital de elevação (MDE) houve a melhora da visualização e interpretação das relações entre os diversos tipos de rocha e o relevo.

4.2 – Imagens multiespectrais do Landsat 5/TM

4.2.1 - Composições coloridas

Para a escolha das três bandas espectrais a serem visualizadas em uma única imagem na forma de composições coloridas RGB, foi utilizado o índice OIF (*Optimum Index Factor*), desenvolvido por Chavez *et al.* (1982) (Figura 4.2). Estatisticamente pelo índice OIF, o triplete TM457 é considerado com a maior quantidade de informações espectrais não correlacionáveis entre as 6 bandas estudadas, auxiliando assim na interpretação e no traçado dos contatos geológicos observados na área.

Figura 4.1 - Mapa Geológico modificado de Prado *et al.* (1980).



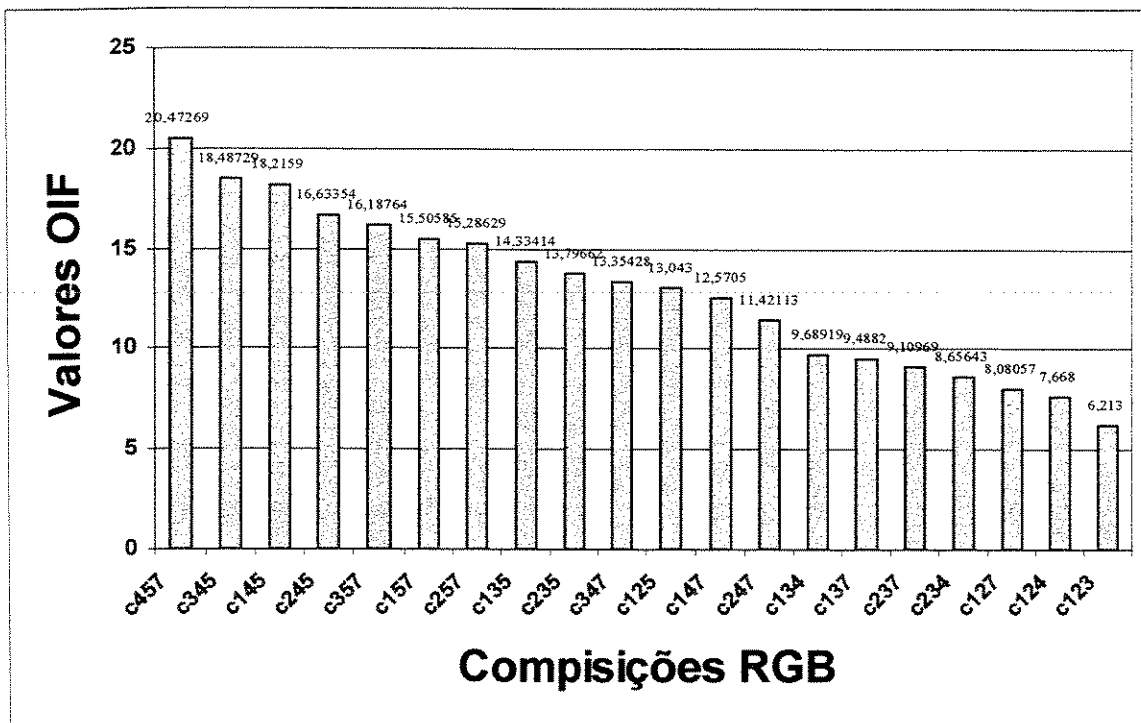


Figura 4.2 – Gráfico representando a combinação entre as bandas e o valor do OIF (*Optimum Index Factor*).

A Figura 4.3 representa uma composição colorida em RGB com as bandas 4, 3 e 1. Nesta imagem foram adicionadas as linhas de contato entre os litotipos, obtidas através das imagens de satélite com a utilização de várias composições coloridas com o objetivo de diferenciar a litologia e elaborar um mapa lito-estratigráfico mais preciso.

Como as rochas com um alto teor de óxidos e hidróxidos de ferro absorvem nas bandas 1 e 4 e refletem na banda 3, são representadas na composição colorida 431 em RGB pela cor verde e áreas cobertas por vegetação em vermelho. Devido ao fato da região ter um clima árido, a vegetação se torna escassa e concentra-se junto aos cursos dos rios e em áreas de maiores altitudes.

As ocorrências de concentrações de óxidos e hidróxidos de ferro estão espalhadas por quase toda a área de estudo, com boas repostas sobre as rochas dos Complexos Granjeiro e Ceará, dos Grupos Orós e Iguatu e corpos granitóides sin-colisionais, onde estão correlacionadas aos meta-cherts e formações ferríferas bandadas encontradas na região.

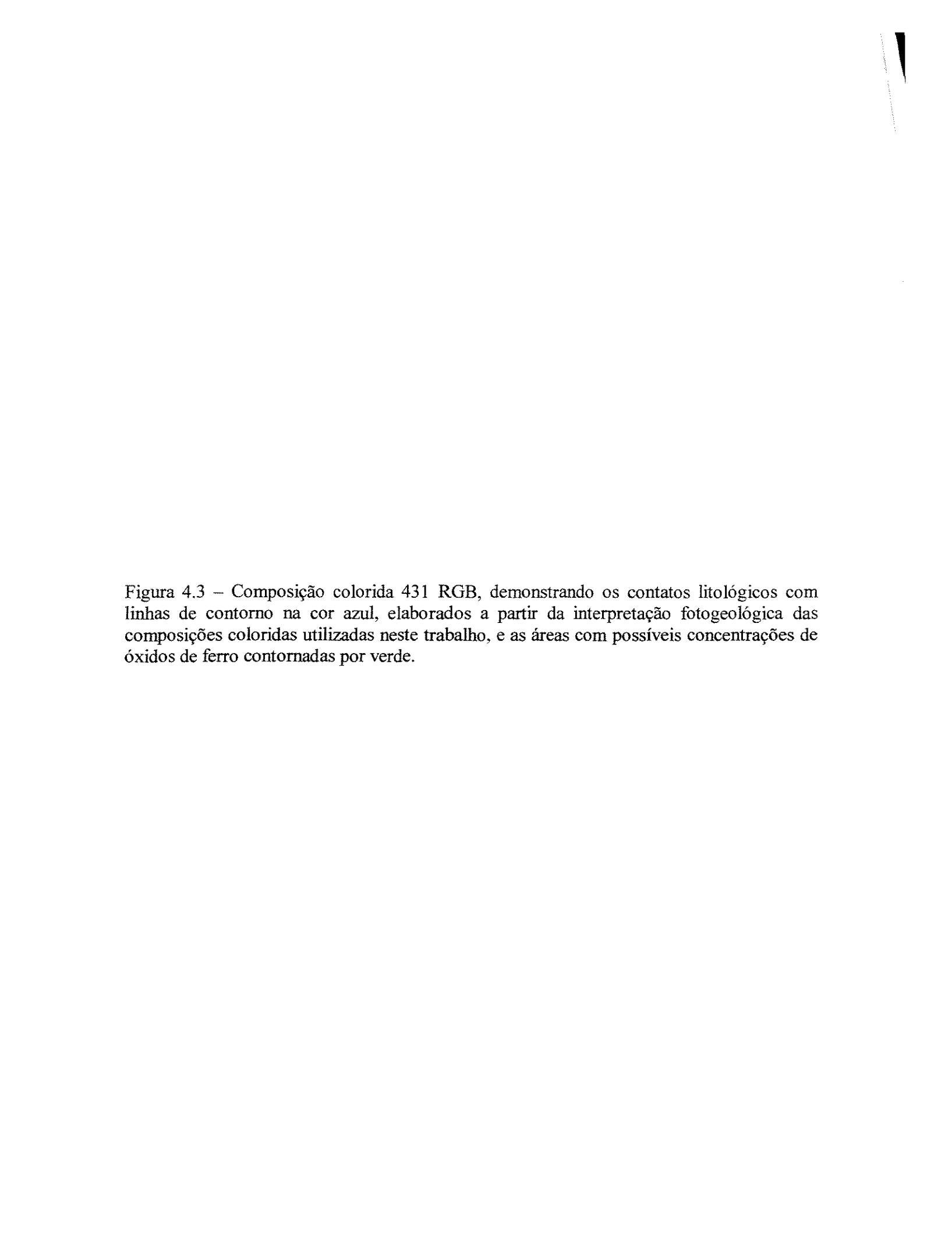
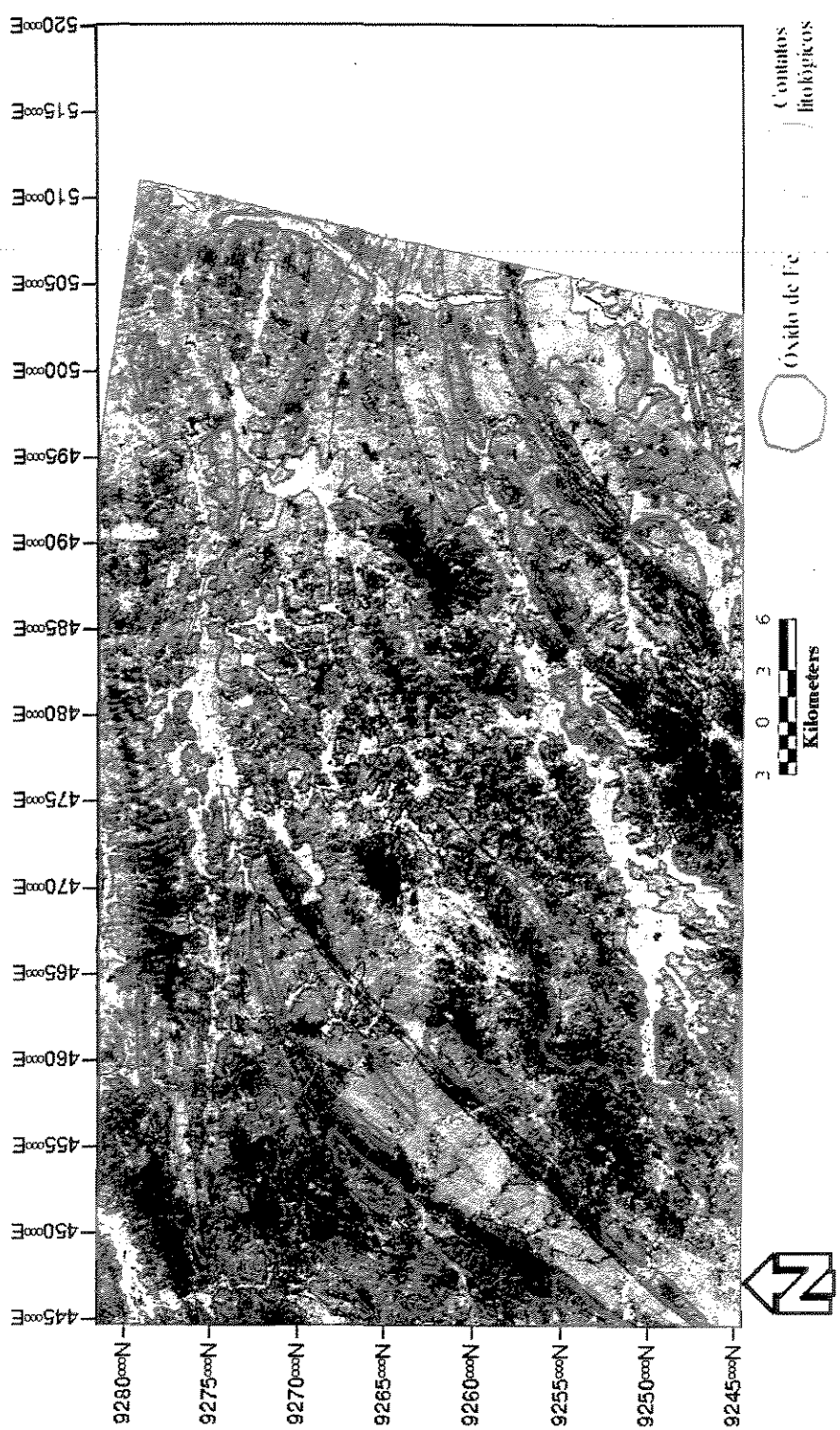


Figura 4.3 – Composição colorida 431 RGB, demonstrando os contatos litológicos com linhas de contorno na cor azul, elaborados a partir da interpretação fotogeológica das composições coloridas utilizadas neste trabalho, e as áreas com possíveis concentrações de óxidos de ferro contornadas por verde.



Na composição colorida 531 utilizou-se a técnica de BCET (*Balanced Contrast Enhancement Technique*), desenvolvida por Liu (1991) para o aumento do contraste de cor de uma forma balanceada. Com isso, buscou-se ressaltar as relações entre os corpos ricos em óxido de ferro e as áreas ricas em argilominerais

As concentrações de óxidos e hidróxidos de ferro estão representadas pelas cores amarela, azul e verde na imagem devido o óxido de ferro ter comportamento espectral distinto, onde o ferro absorve na banda 1 e reflete na banda 3 e os corpos com minerais ricos em hidroxila por magenta, pela reflexão alta nas bandas 5 e 1. As áreas onde o ferro e a hidroxila ocorrerem conjuntamente deverão apresentar tons bem claros ou uma coloração esbranquiçada, uma vez que estes dois grupos de minerais refletem nestas três bandas

Os óxidos e hidróxidos de ferro estão concentrados na região próxima aos corpos quartzíticos do Complexo Granjeiro e nas rochas dos Grupos Iguatu e Orós, além de estar presente no leito dos rios.

Os minerais portadores da molécula hidroxila estão concentrados nos corpos granitóides Pós-transcorrência junto as zonas de falha. Os sedimentos quaternários têm resposta espectral com cores claras e esbranquiçadas, devido estes depósitos serem formados por material oriundo dos diversos tipos litológicos da região, formando uma concentração de diversos minerais e com respostas espectrais nas três bandas da composição colorida.

Devido aos resultados obtidos com este processamento serem próximos aos da técnica a ser descrita no tópico 4.2.2, optou-se por apresentar os resultados finais, com as áreas de concentração de minerais portadores de hidroxila, óxidos e hidróxidos de Fe e possíveis áreas de alteração hidrotermal na Figura 4.4.

4.2.2 - Técnica Crosta ou *Feature - Oriented Principal Component Selection*

Esta técnica é utilizada para realçar espectralmente concentrações de assembléias minerais ricas em óxido e hidróxido de ferro e minerais portadores da molécula hidroxila, através do uso direcionado da análise por principais componentes (Crósta e Moore, 1989).

O primeiro passo a ser realizado é a análise estatística por Principais Componentes (PCs) de dois grupos de bandas Landsat: 1, 3, 4 e 5, que representarão a resposta espectral do ferro, e 1, 4, 5 e 7, para análise das respostas de minerais portadores da molécula hidroxila. (Loughlin, 1991)

Nas tabelas IV.I e IV.II são apresentados os coeficientes dos auto vetores de cada componente, que representam a contribuição individual de cada banda TM na formação das principais componentes.

Com base nos autovetores, observa-se que a PC 4 tem as maiores contribuições modulares com sinais opostos das bandas 3 e 1. Uma vez que o ferro absorve a radiação eletromagnética na banda 1 e reflete na banda 3, essa imagem da PC4 irá conter a informação espectral correspondente aos minerais portadores do ion Fe^{3+} em tons claros.

Tabela IV-I – Coeficientes de autovetores para as bandas 1, 3, 4 e 5 (resposta espectral de óxidos e hidróxidos de Fe^{3+})

Autovetores	PC1	PC2	PC3	PC4
Banda1	0,298	0,075	-0,446	-0,841
Banda3	0,555	0,007	0,637	0,535
Banda4	0,410	-0,864	0,281	-0,080
Banda5	0,659	0,497	0,564	-0,020

Tabela IV-II – Coeficientes de autovetores para as bandas 1, 4, 5 e 7 (resposta espectral dos minerais portadores da molécula hidroxila.)

Autovetores	PC1	PC2	PC3	PC4
Banda1	0,324	0,044	0,928	-0,177
Banda4	0,454	-0,883	-0,105	0,059
Banda5	0,764	0,411	-0,353	-0,350
Banda7	0,325	0,222	0,051	0,918

No caso do grupo de bandas 1, 4, 5 e 7 também foi utilizada a PC4, mas observou-se que há uma inversão nos sinais visto que a hidroxila reflete na banda 5 e absorve na banda 7. Para que a informação espectral correspondente aos minerais de interesse seja representada na imagem PC4 em tons claros, ela é multiplicada por -1.

Com as PCs geradas, foi então confeccionada uma composição colorida RGB, utilizando a componente hidroxila em vermelho, a componente do óxido de Fe em azul, e para a cor verde foi elaborada uma PC1 entre as duas realçando as diferenças entre elas.

Na Figura 4.4 as áreas de ocorrências de minerais portadores de hidroxila são representadas pela cor vermelho-alaranjada, estando associadas aos corpos granitóides

e Sin-colisionais e as faixas de quartzitos e leptinitos na região oeste da área. Os corpos ricos em óxidos e hidróxidos de ferro estão representados em azul e se concentram nas rochas do Grupo Iguatu e Complexo Granjeiro, nas rochas do Grupo Orós e nos granitóides Pré-colisionais junto a Falha de Tatajuba.

Nesta imagem as regiões de coloração branca representam a ocorrência conjugada da hidroxila e dos óxidos e hidróxidos de ferro. Essas regiões podem indicar áreas com resposta espectral de possíveis zonas de alteração hidrotermal, favoráveis à concentração de mineralizações auríferas. Dois pontos podem ser considerados de maior interesse para futuros trabalhos de prospecção, o primeiro está localizado junto a Falha de Farias Brito, que separa as rochas do Grupo Orós dos granitóides Pós-transcorrência e o outro próximo aos quartzitos relacionados as rochas do Grupo Orós e Complexo Granjeiro.

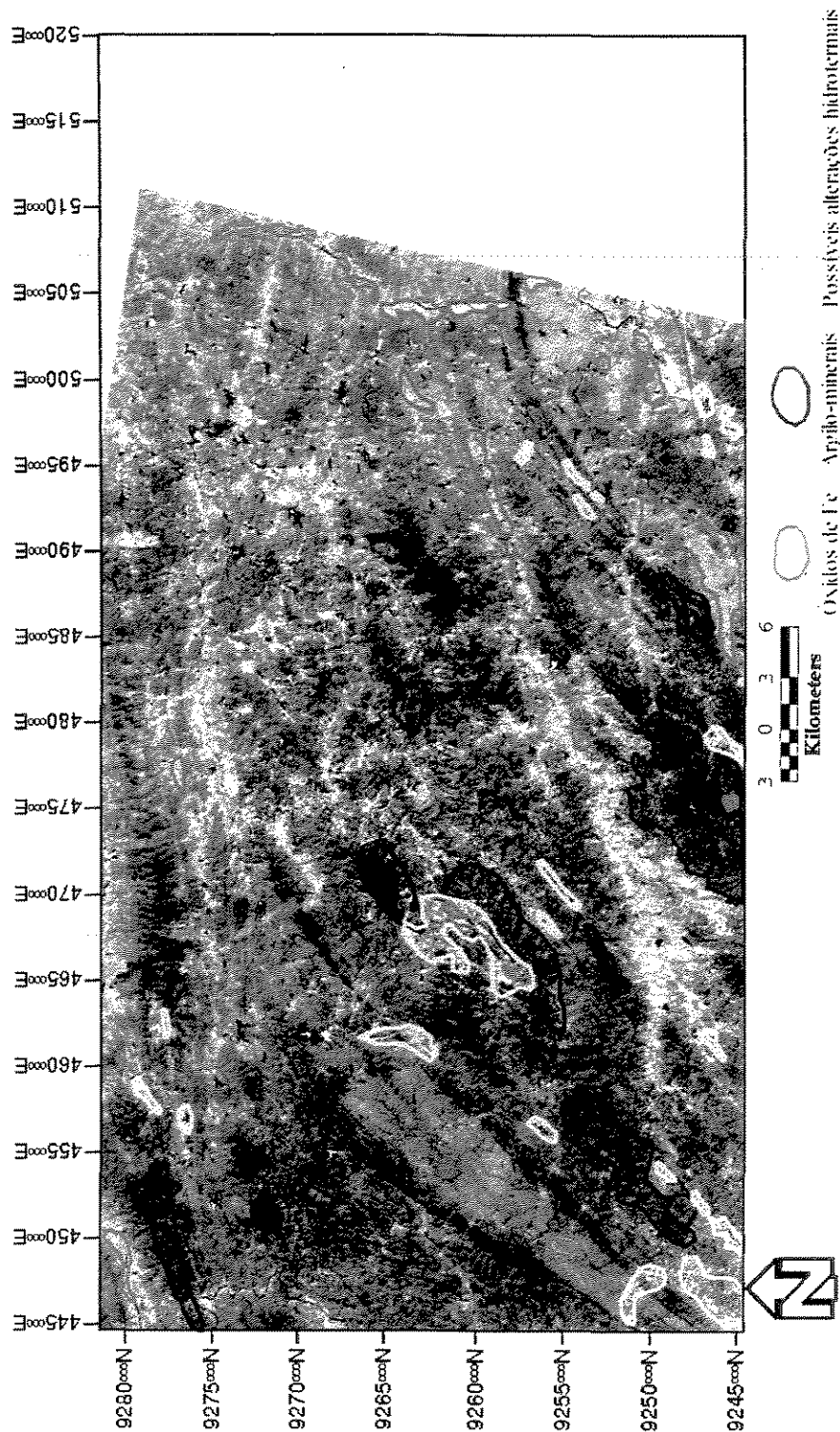
4.2.3 - Interpretação dos lineamentos extraídos das imagens.

Para interpretação dos traços estruturais da área foi utilizada a banda 4 do TM combinada à PC1 das bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7 no canal de intensidade, para destaque do relevo e um maior realce às estruturas da área.

A Figura 4.5 apresenta os lineamentos resultantes da interpretação fotogeológica, das imagens de satélite, auxiliando na interpretação em escala de detalhe e tentando representar as tendências da foliação regional e de zonas de falha de maior porte. O trend regional dos lineamentos concorda com as estruturas maiores que cortam a área na direção E-W, como a Falha de Tatajuba, localizada na parte superior da imagem, e na direção NE-SW, como a Falha de Farias Brito, com comportamento compressional no limite sudeste do Sinclinal de Caipú. Entre os corpos granitóides Sin-colisionais e os Pós-transcorrência, existe uma falha transcorrente com movimentação dextral.

Com os lineamentos retirados sobre a imagem, foram confeccionados gráficos em roseta representativos das estruturas da área (Figura 4.6).Os diagramas foram divididos em 3 classes: traços da foliação principal, com direção preferencial NE-SW concordando com as estruturas originadas no Ciclo Brasileiro, traços de uma foliação secundária representada por feições mais recentes com direção preferencial para NW-SE e muitas vezes truncando a foliação principal, e a terceira classe representando as zonas de falhamentos de âmbito

Figura 4.4— Composição colorida resultante da Técnica Crosta (*Feature Oriented Principal Component Selection*) mostrando áreas com zonas de concentrações de minerais ricos na molécula hidroxila contornados em vermelho, concentrações de óxidos e hidróxidos de ferro em azul e as áreas de possíveis alteração hidrotermal em amarelo. (Ver Anexo 3)



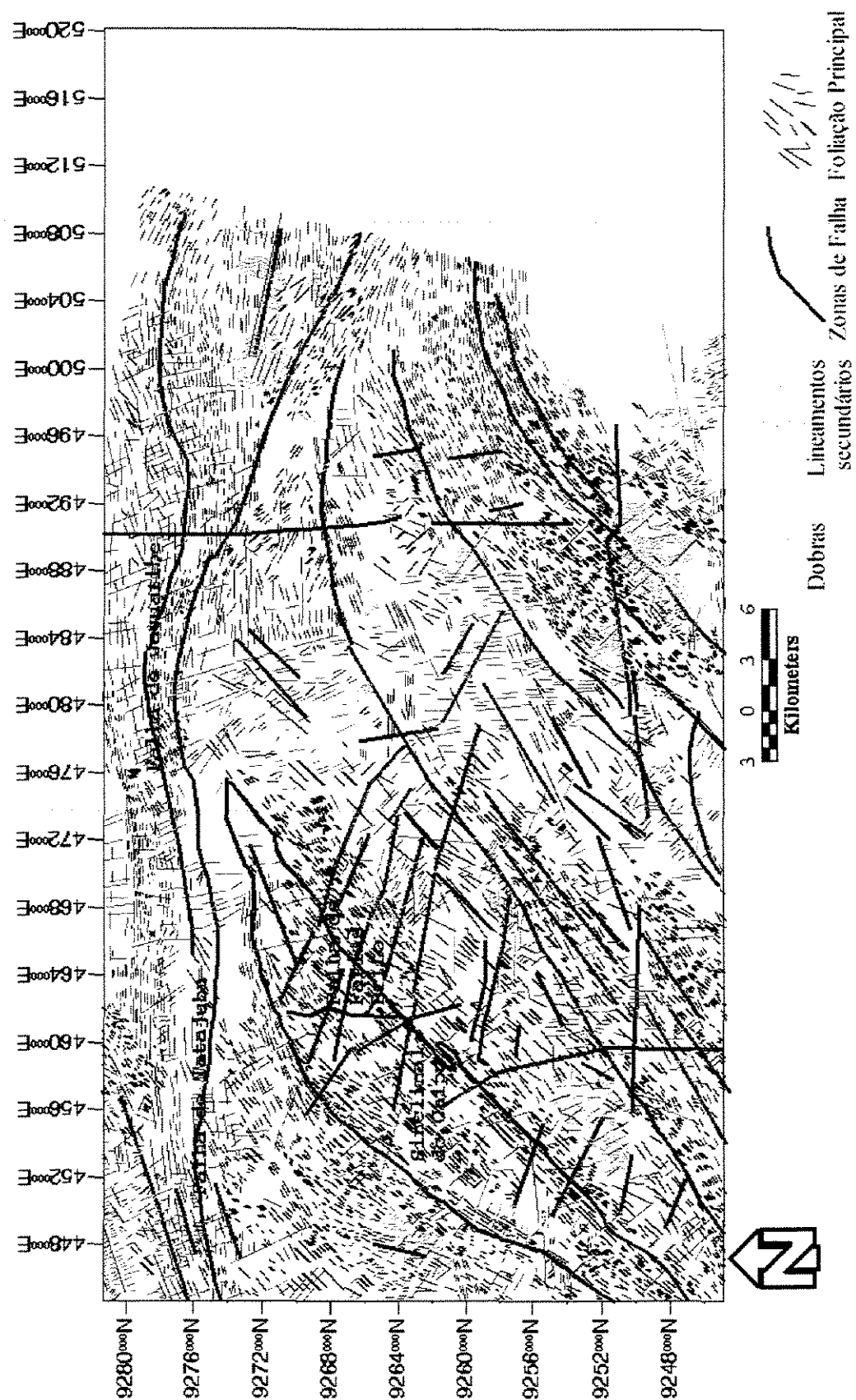


Figura 4.5 – Lineamentos, zonas de falha e dobras retirados da banda 4.

regional, estas ultimas facilmente identificáveis na imagem e exercendo influência nas menores. Um quarto diagrama foi confeccionado contendo todas as estruturas observadas na imagem Landsat 5/TM. Neste diagrama as atitudes predominantes tem direção N45E, concordando com o trend regional conhecido na literatura como Zona Transversal.

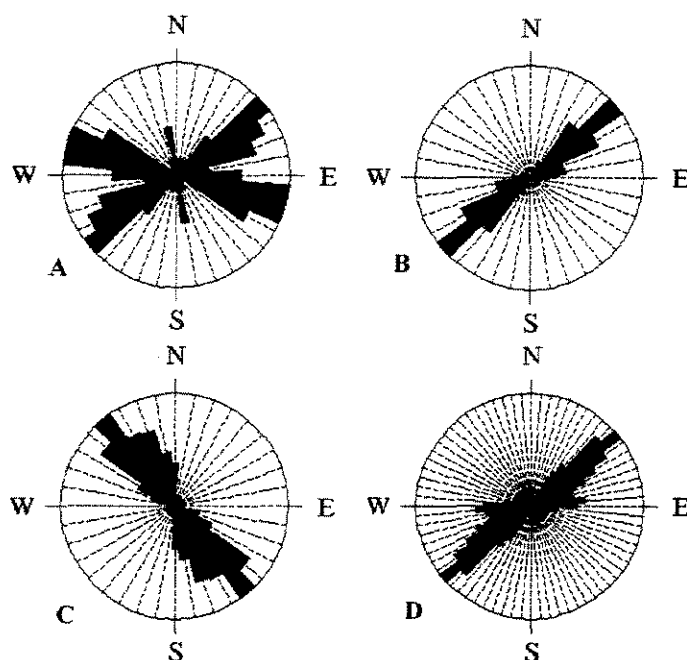


Figura 4.6 – Diagrama em roseta representativo dos lineamentos contidos na área de estudo.: A – Zonas de falhamento com influência regional, B – Foliação principal com direção NE-SW, C – Foliação secundaria com direção NW-SE, D – Todas as estruturas

4.3 – Interpretação das imagens aerogeofísicas gamaespectrométricas

Nesta etapa do trabalho as imagens em pseudocor dos canais radiométricos e das razões entre os canais receberam um contraste linear, onde foi aproveitado apenas 99% dos dados dispostos no histograma da imagens. Este procedimento realça as áreas de maior interesse, melhorando o contraste entre as informações existentes nos dados de cada canal, visto que descarta os valores anômalos muito altos e muito baixos.

4.3.1 – Canais radiométricos de U, Th e K

Para permitir uma melhor visualização das repostas do canal radiométrico do U, foi utilizada uma imagem em pseudocor (Figura 4.7 A), onde os maiores teores coincidem

com as regiões dos granitóides Pós-transcorrência e dos granitóides Sin-colisionais (Domínio 3 – D3). Os teores intermediários são observados em todos os corpos de composição granítica da área (Domínio 2 – D2). As rochas dos Grupos Orós e Iguatu e dos Complexos Ceará e Granjeiro tem valores baixos de urânio (Domínio 1 – D1).

Na imagem em pseudocor do canal de Th (Figura 4.7 B), os teores baixos de tório estão sobrepostos as rochas do Complexo Ceará, Complexo Granjeiro, Grupo Orós e Grupo Iguatu (Domínio 1 – D1). Os teores intermediários formados na imagem pelas cores ciam e verde (Domínio 2 – D2) são relacionados aos corpos graníticos Sin-colisionais, Sin e Pós-transcorrência e aos corpos quartzíticos. Nas porções centrais destes corpos graníticos são encontradas as maiores concentrações do radioelemento, principalmente nos granitóides sin-colisionais e pós-transcorrência na região central da imagem (Domínio 3 - D3).

Na imagem do canal de K (Figura 4.7C), observa-se a predominância de valores intermediários de potássio, caracterizando o Domínio 2 (D2). Essa ampla distribuição reflete as características dos corpos granitóides pós-transcorrência, sin-transcorrência, sin-colisionais e pré-colisionais. Os sedimentos quaternários, as rochas dos Grupos Orós e Iguatu e dos Complexos Ceará e Granjeiro, apresentam teores variando entre médios e baixos de potássio, sugerindo uma deposição do tipo aluvionar, onde os sedimentos seriam oriundos dos granitos.

Os teores mais baixos de K (Domínio 1 – D1) estão posicionados sobre as rochas do Grupo Orós, Complexo Granjeiro, Grupo Iguatu e parte do Complexo Ceará, com um leve enriquecimento nas bordas. Os maiores teores podem ser encontrados nas regiões centrais dos granitóides Pós-transcorrência (Domínio 3 – D3). Estes valores anômalos dentro dos corpos graníticos e próximos a zonas de cisalhamento (Falha de Farias Brito), podem indicar possíveis zonas de alteração dentro dos corpos graníticos ou a concentração e a percolação de fluidos mineralizantes, e portanto possíveis alvos para estudo de mineralizações auríferas.

4.3.2 - Razão entre os canais radiométricos.

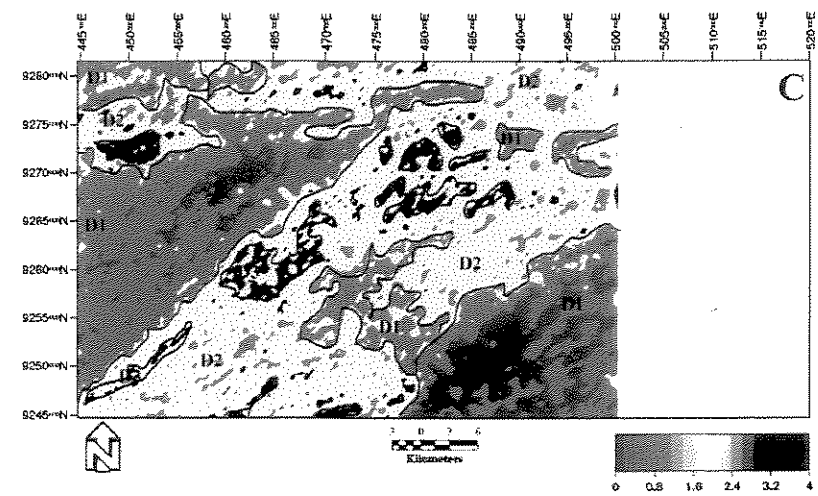
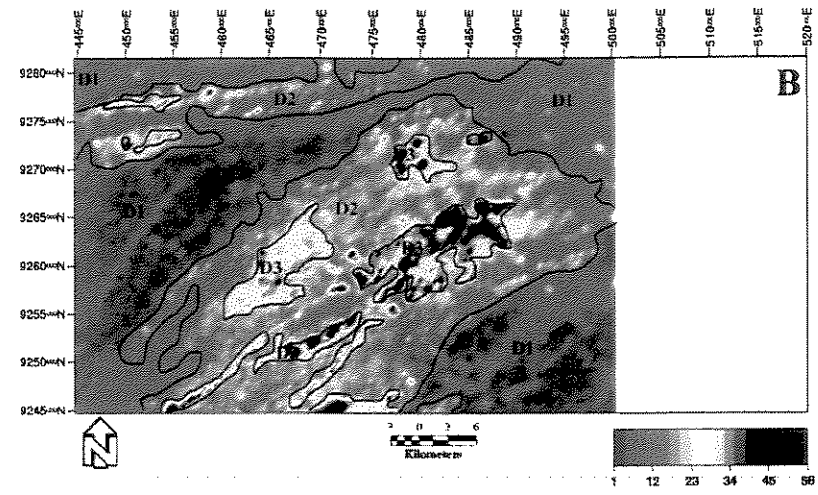
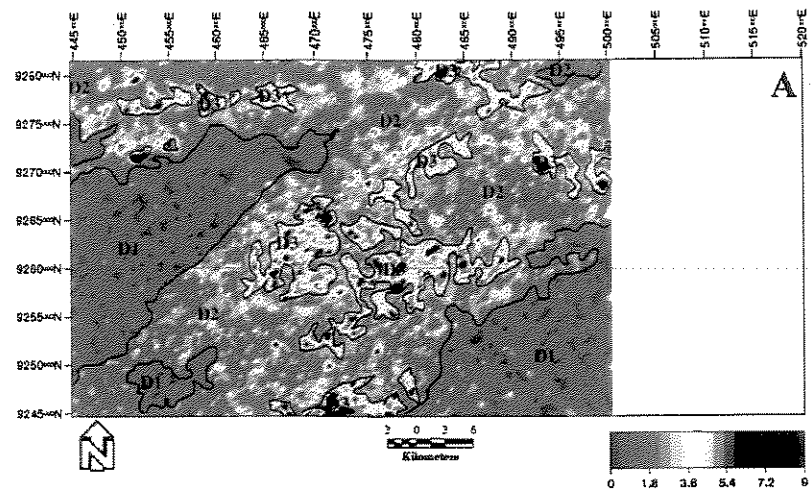
A Figura 4.8 A, é uma imagem em pseudocor da razão U/K. Esta razão apresenta baixos valores anômalos, os maiores teores estão localizados na porção sudeste da área e são diretamente relacionados às rochas do Complexo Granjeiro e dos Grupos Orós e Iguatu.

Figura 4.7 – A) Imagem em pseudocor do canal de Urânio em ppm.

B) Imagem em pseudocor do canal de Tório em ppm.

C) Imagem em pseudocor do canal de Potássio em %.

As Imagens do canais radiométricos estão divididas em três domínios de acordo com a intensidade das anomalias. O Domínio 1 (D1) com os valores mais baixos, o Domínio 2 (D2) com valores anômalos intermediários e o Domínio 3 (D3) com valores altos indicando grandes concentrações destes elementos.



Pequenas anomalias distribuídas sobre o Sinclinal do Caipú e em suas bordas estão sobre corpos quartzíticos com teores de K muito baixos.

A razão Th/U está representada pela Figura 4.8 B, onde a imagem em pseudocor mostra regiões onde há predominância da cor vermelha, indica áreas de enriquecimento de urânio em relação ao tório, isto pode caracterizar distúrbios nos corpos graníticos e possíveis zonas de alteração hidrotermal. Estas anomalias estão localizadas junto a zona de falha que divide os corpos graníticos Sin-colisionais dos corpos Pós-transcorrência.

Na figura 4.8 C, é uma imagem em pseudo cor da razão K/Th, que apresenta valores anômalos baixos. Nesta imagem foram observados cinco faixas com anomalias maiores, representadas pelos números de 1 a 5. Duas destas faixas, a 1 e a 5, estão posicionadas sobre regiões com pontos de ocorrência de mineralizações auríferas já exploradas. A Faixa 1 fica sobre a Falha de Farias Brito no contato entre os granitóides Pós-transcorrência e o Sinclinal do Caipú formado por rochas do Grupo Orós.

A Faixa 3 está localizada sobre a Falha de Tatajuba, entre os contatos dos corpos granitóides Pré-colisionais e as rochas do Grupo Ceará. Pequenas anomalias distribuídas sobre o Sinclinal do Caipú e em suas bordas estão relacionadas a corpos quartzíticos com teores de K muito baixos.

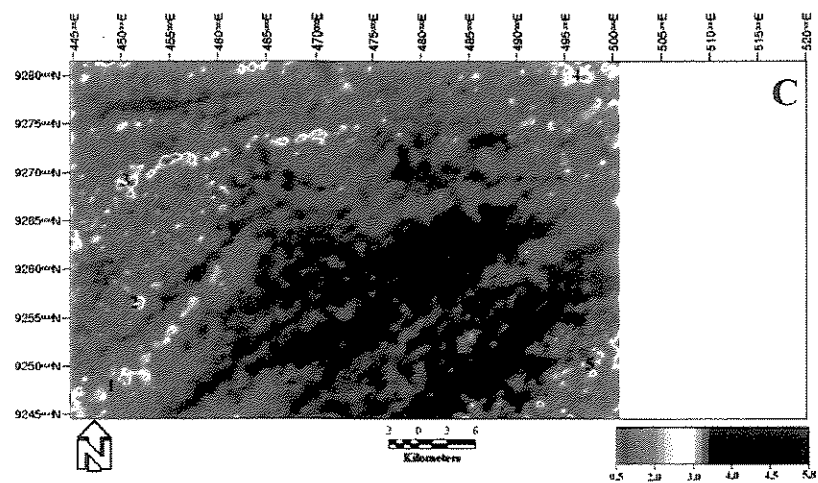
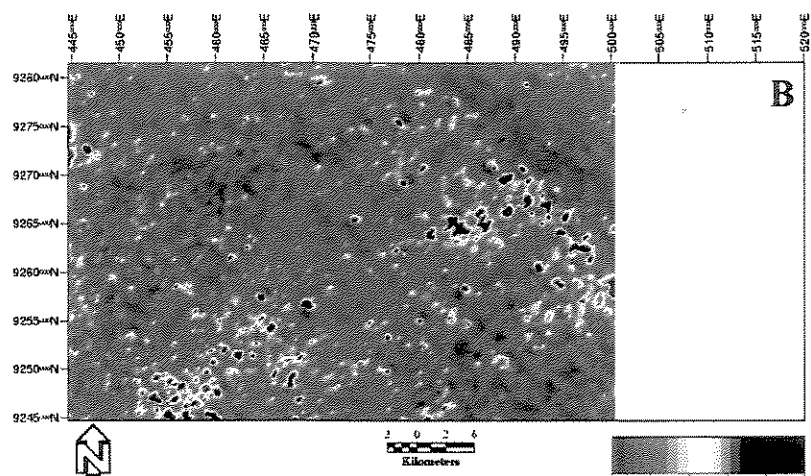
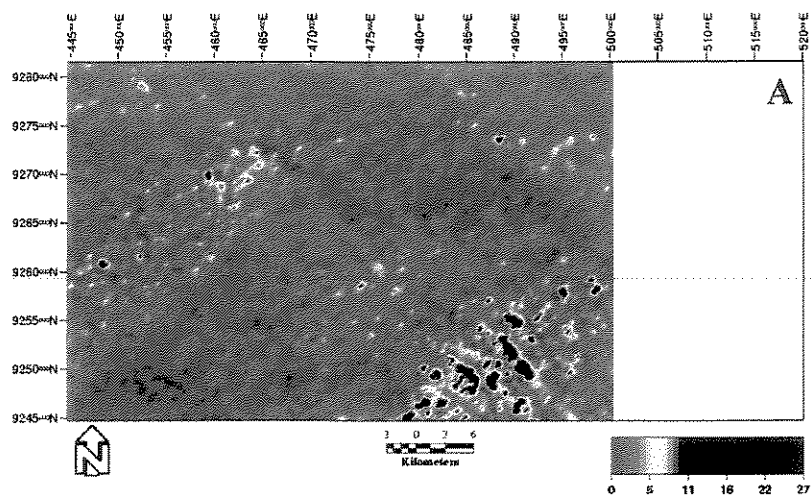
4.3.3 – Diferenciação litológica utilizando dados aerogamaespectrométricos

Com a utilização dos canais radiométricos de U, K e Th em conjunto e o canal de contagem total foi possível delimitar os contatos entre os litotipos de diferente composição da área de estudo.

a) Contagem Total

A imagem em pseudocor do canal de Contagem Total, pode ser utilizada para delimitar as unidades litológicas de acordo com a composição mineralógica (Figura 4.9 A). As áreas onde os teores de contagem total tem valores elevados, estão relacionadas aos corpos graníticos Pós-transcorrência e Sin-colisionais na região central da imagem. Os valores de contagem total baixos estão dispostos nas rochas dos Complexos Ceará e Granjeiro e nos Grupos Orós e Iguatu. Com a utilização dos mapas de isolinhas fica mais fácil limitar os contatos entre as unidades litológicas, possibilitando assim a subdivisão e a melhor demarcação destes.

Figura 4.8 A) Razão entre os canais radiométricos de Urânio e Potássio
B) Razão entre os canais radiométricos de Tório e Urânio
C) Razão entre os canais radiométricos de Potássio e Tório indicando os pontos de maior interesse para prospecção de ouro.



b) – Composição colorida dos canais do K, U e Th em RGB

A técnica de composição colorida utilizando os canais radiométricos K, U e Th consiste em atribuir uma das cores primárias para cada canal, realçando a distribuição simultânea dos três radioelementos na região (Figura 4.9 B).

Para facilitar a interpretação da composição colorida foi adicionada à imagem um diagrama ternário, onde em cada um de seus vertices foi colocado um canal radiométrico com a respectiva cor na composição colorida RGB e no seu interior as possíveis combinações entre estes canais e as cores resultantes.

A ausência ou baixos teores destes três elementos na imagem resulta na cor preta, que pode ser observada nas regiões dos Grupos Óros e Iguatu e nos Complexos Ceará e Granjeiro. Os pontos avermelhados no interior destas áreas indicam uma concentração de urânio em locais restritos. Observa-se a predominância da cor verde, indicando que os corpos apresentam grande quantidade de potássio, relacionados aos granitóides da região.

As cores azuladas representam regiões ricas em tório e estão concentradas sobre os granitos Pós-transcorrência e Sin-colisionais, com maior concentração na zona de falha que divide os dois corpos e também combinadas com o urânio, representando a cor rosa claro. Na região nordeste da área, o potássio está associado a corpos com teores de urânio, sendo estas áreas representadas pela cor laranja, nos domínios dos granitos pré-colisionais. A cor branca indica a ocorrência conjunta de altos valores dos três radioelementos. A concentração dos três elementos K, U e Th, é visível em três pontos da área estudada e estão posicionados junto aos corpos granitóides Pós-transcorrência, nestes pontos as imagens Landsat 5/TM mostraram anomalias espectrais com indicações de possíveis áreas de alteração hidrotermal.

c) Classificação não supervisionada dos canais radiométricos e suas razões (U, K, Th, CT, U/Th, K/Th e U/K).

A utilização desta técnica, visou uma separação com base em dados estatísticos de classes semelhantes dentro do conjunto de dados, compostos pelos teores dos canais de U, K e Th de contagem total e entre as razões. O objetivo foi o de determinar estatisticamente as assinaturas gamaespectrométricas presentes nessa área, relacionando-as à geologia. Foi

utilizada então a classificação não supervisionada baseada no algoritmo Isoclass (Isodata). No procedimento, foram fixados os parâmetros "numero de classes" em 10 e o número máximo de 1000 interações. Estabeleceu-se que as interações seriam feitas até que 99,9% dos dados não fossem mais movidos de uma classe para outra.

Pode-se observar na Figura 4.9 C que as classes resultantes são inteiramente correlacionáveis às litologias da área, separando os corpos graníticos dos demais Grupos e coberturas sedimentares, além da possibilidade de identificação das principais feições estruturais.

4.4 - Dados magnetométricos

Os dados magnéticos do Projeto Iguatu apresentaram alguns problemas de aquisição de dados, representados por ruídos direcionais, dificultando o processamento e a interpretação dos mesmos. Os ruídos foram realçados pelo processo de gridagem, o que ressaltou as linhas de vôo com direção NW. Cinco destas linhas apresentavam-se deslocadas em relação às suas coordenadas geográficas verdadeiras, tanto na direção NW-SE como na SE-NW. Outro problema destas linhas de vôo é que algumas delas não estavam regularmente espaçadas em 1Km, provocando o aparecimento de falsas anomalias e o deslocamento de estruturas da área, o que pode dar uma falsa idéia da existência de falhamentos transcorrentes. Como é possível distinguir visualmente o ruído, das estruturas existentes na área, este foi desconsiderado na fase de interpretação visual.

4.4.1 - Imagem do campo magnético residual em Pseudocor.

A Figura 4.10 A mostra a imagem do campo magnético residual em pseudocor, com aumento linear de contraste. Por convenção, os valores magnéticos positivos são representados pela cor vermelha e os negativos pela cor azul.

Com esta imagem pode-se dividir a área em três domínios magnéticos:

- Domínio 1, com os teores mais elevados, vinculados aos copos granitóides pré colisionais e pós transcorrência;
- Domínio 2, representando os valores intermediários com cores verde e amarela, diretamente relacionados as rochas do Complexo Ceará e aos Grupos Iguatu e Orós;

- Domínio 3, com os valores mais baixos, associados a granitóides sin-tectônicos, rochas do Complexo Granjeiro e aos corpos quartzíticos localizados nas bordas do Sinclinal de Caipú.

Os altos valores encontrados na área estão vinculados a falhamentos como o de Farias Brito e a Falha de Tatajuba, que limitam os corpos graníticos dos corpos de composição litológica diferente. A principal anomalia está vinculada a um alto estrutural delimitado por uma falha que divide os corpos granitóides Pós-transcorrência e Sin-colisionais, com direção NE-SW.

Os granitóides Pré-colisionais, localizados na parte superior da área, apresentam valores anômalos, indicando um falhamento (Falha de Tatajuba) que separa dois domínios magnéticos diferentes, com os valores positivos voltados para o norte e os negativos para o lado sul da estrutura.

As estruturas de grande porte identificadas através desta imagem, tem direção preferencial NE concordando com o *trend* de deformação regional. Pode-se delinear facilmente as grandes falhas, como é o caso das Falhas de Farias Brito e Tatajuba. O contato entre os granitóides Sin-colisionais e Pós-transcorrência está bem definido por uma mega falha representada pelos dados magnéticos de maior contraste entre os valores mais altos e mais baixos da região.

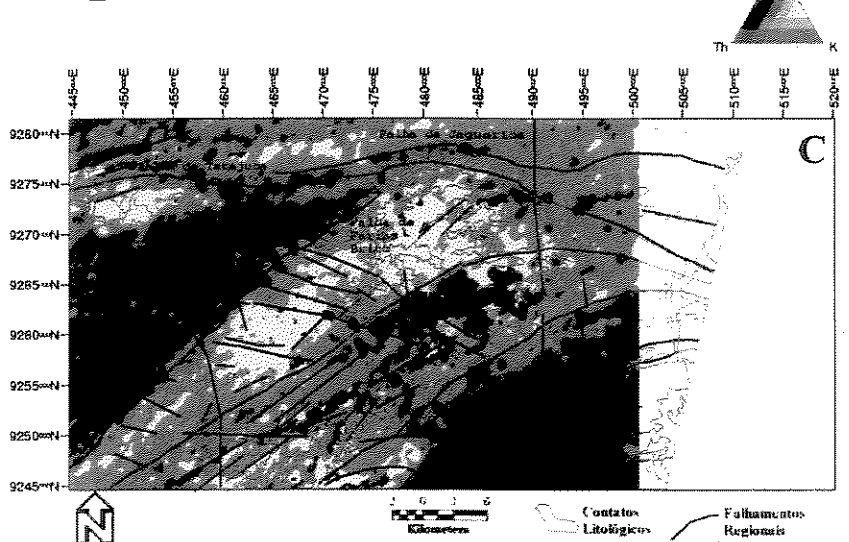
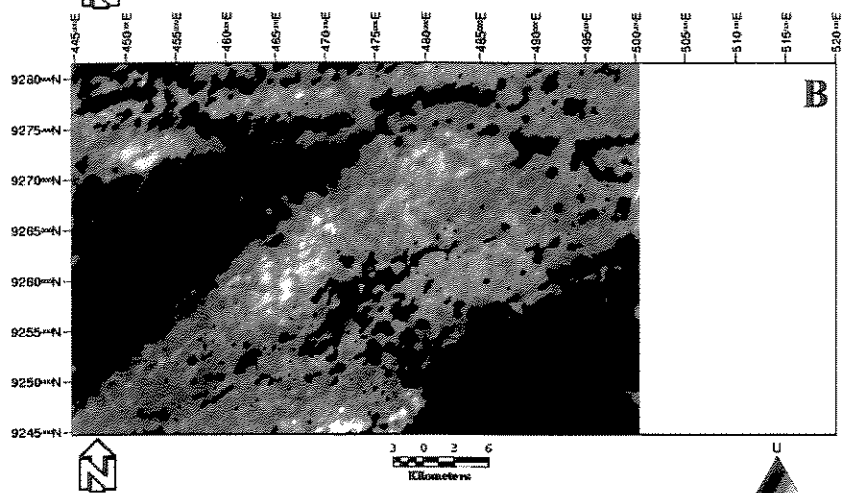
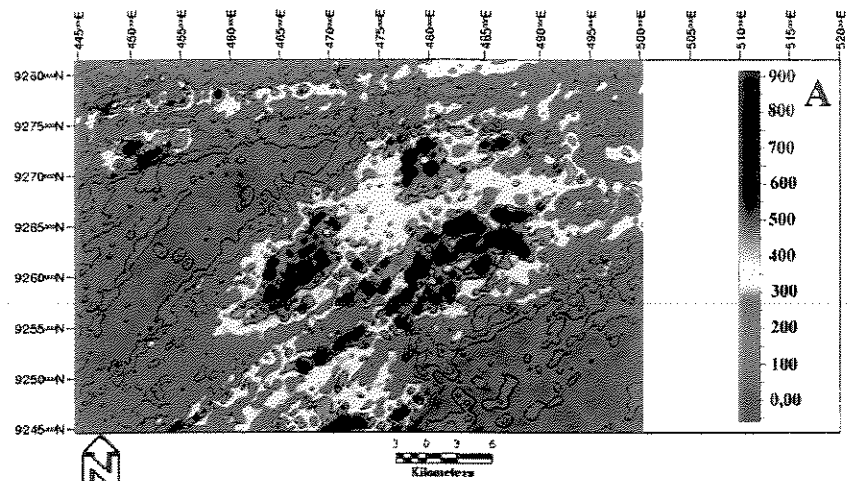
4.4.2 - Filtros de continuação para cima

Com a utilização do filtro de continuação para cima houve atenuação das feições provocadas por fontes mais rasas, realçando os corpos mais profundos e mostrando assim as componentes magnéticas regionais. Com isso foi retirada uma parte da influência provocada pelos ruídos das linhas de vôo. Foi gerada uma imagem, com 1000m de profundidade em relação a superfície. (Figura 4.10 B).

Esta área pode ser dividida em três domínios magnéticos:

- Domínio 1 os valores positivos em vermelho.
- Domínio 2 abrangendo a maior parte da área, com valores intermediários com cores representativas em verde, amarelo e marrom claro.

- Figura 4.9
- A) Imagem em pseudocor do canal radiométrico de Contagem Total com o mapa de isolinhas superposto.
 - B) Composição colorida em RGB dos canais radiométricos de U, K e Th.
 - C) Classificação não supervisionada utilizando os canais radiométricos de U, K, Th, Contagem Total e as razões U/K, Th/U e K/Th, combinada às principais feições estruturais e aos contatos geológicos extraídos das imagens de satélite.



- Domínio 3 representado pelos valores negativos em azul

Nesta imagem pode-se observar que, a grandes profundidades, as maiores anomalias magnéticas positivas estão diretamente relacionadas aos corpos graníticos Pré-colisionais na região norte da área, e aos granitóides Pós-transcorrência no centro da imagem. Os valores de baixos magnéticos a 1000m de profundidade, estão vinculados à estrutura que limita o contato entre o Complexo Granjeiro e os corpos granitóides Sin-colisionais.

4.4.3 – Filtro de redução ao Equador.

O filtro de redução ao equador foi utilizado nos dados do campo magnético residual com o intuito de melhor definir os limites de corpos geológicos. Este filtro foi escolhido pela área estuda estar praticamente sobre a linha do equador magnético. Este procedimento facilitou a interpretação da imagem, visto que quando as anomalias são transformadas ao equador acrescentam sutis diferenças na imagem resultante, propiciando assim uma melhor visualização dos limites dos corpos magnéticos e também um aprimoramento no traçado das estruturas presentes na imagem. (Figura 4.10 C)

4.4.4 - Filtros de derivadas verticais

Devido as derivadas verticais amplificarem os comprimentos de onda curto, aos custos da informação do comprimento de onda longo, há a acentuação das bordas de fontes magnéticas rasas, indicando esboços de blocos individuais de rochas mais profundas ou as extremidades de perturbações supra embasamento (Dobrin e Savit, 1988). Estas imagens são mais precisas e auxiliaram na interpretação das linhas de falha e na identificação de falhas de âmbito regional na área. (Figura 4.11)

Com a utilização destes filtros foi acentuado o ruído provocado pelas linhas de vôo, interferindo um pouco na interpretação das mesmas. Na imagem de 1º derivada vertical pode-se limitar o Sinclinal de Caipú perfeitamente, além de auxiliar na identificação de estruturas regionais com direção NE.

Figura 4.10 A) Campo magnético residual em pseudocor combinado com as principais feições estruturais observadas na área.

B) Imagem do campo magnético residual com filtro de continuação para cima, apresentando as medidas com 1000m de profundidade.

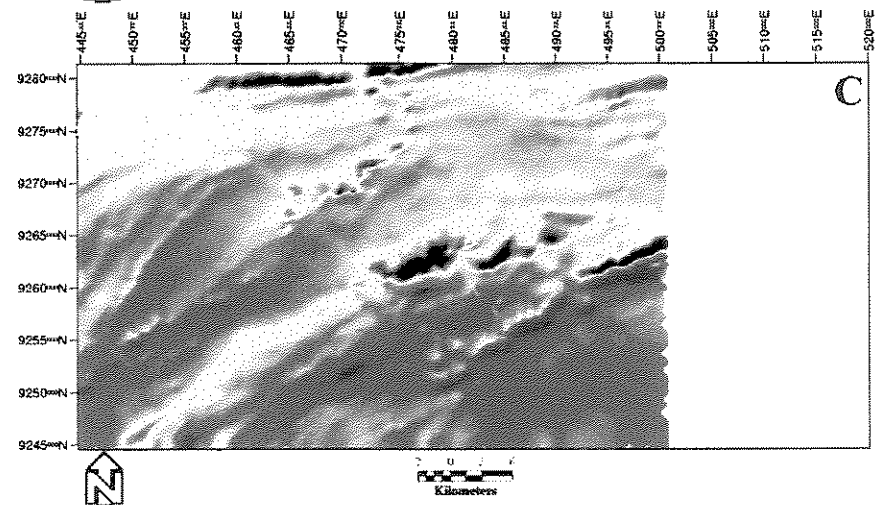
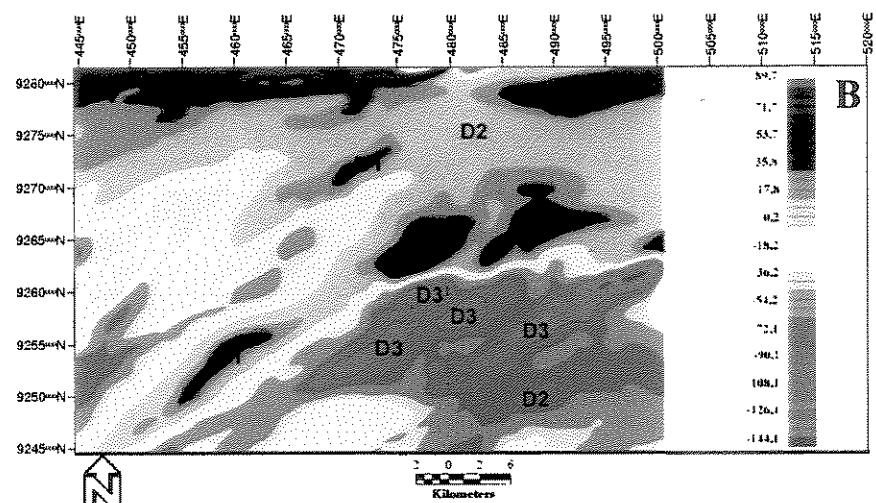
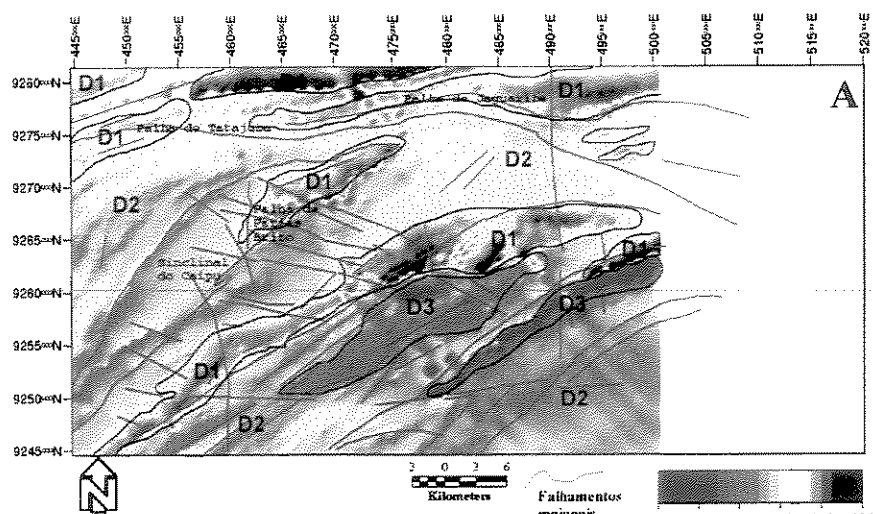
C) Imagem do campo magnético residual com filtro de redução ao equador.

Estas imagens foram divididas em domínios magnéticos de acordo com a intensidade das anomalias:

Domínio 1 (D1) – Anomalias magnéticas negativas.

Domínio 2 (D2) – Anomalias magnéticas intermediárias.

Domínio 3 (D3) – Anomalias magnéticas positivas.



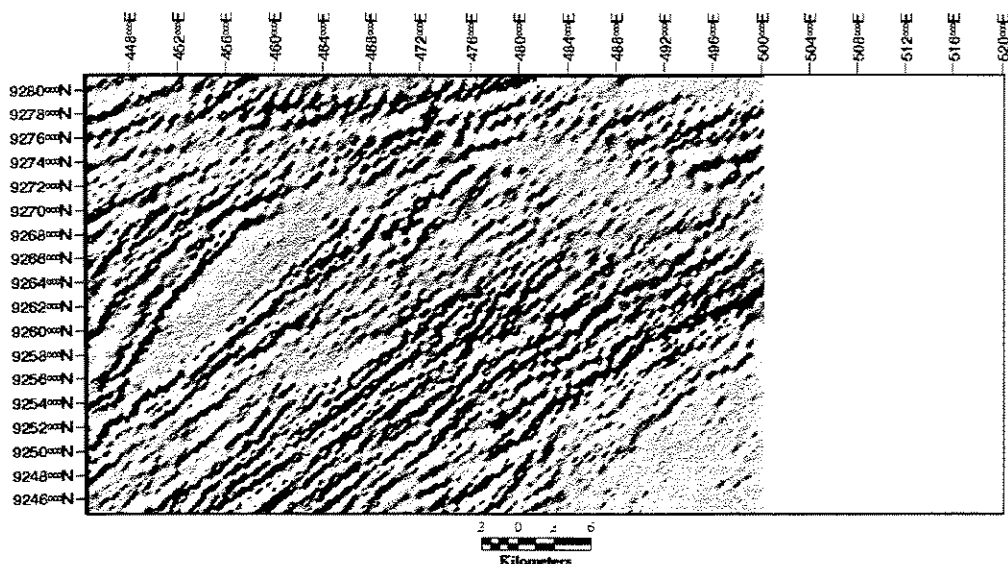


Figura 4.11 - Campo magnético residual com filtro de primeira derivada

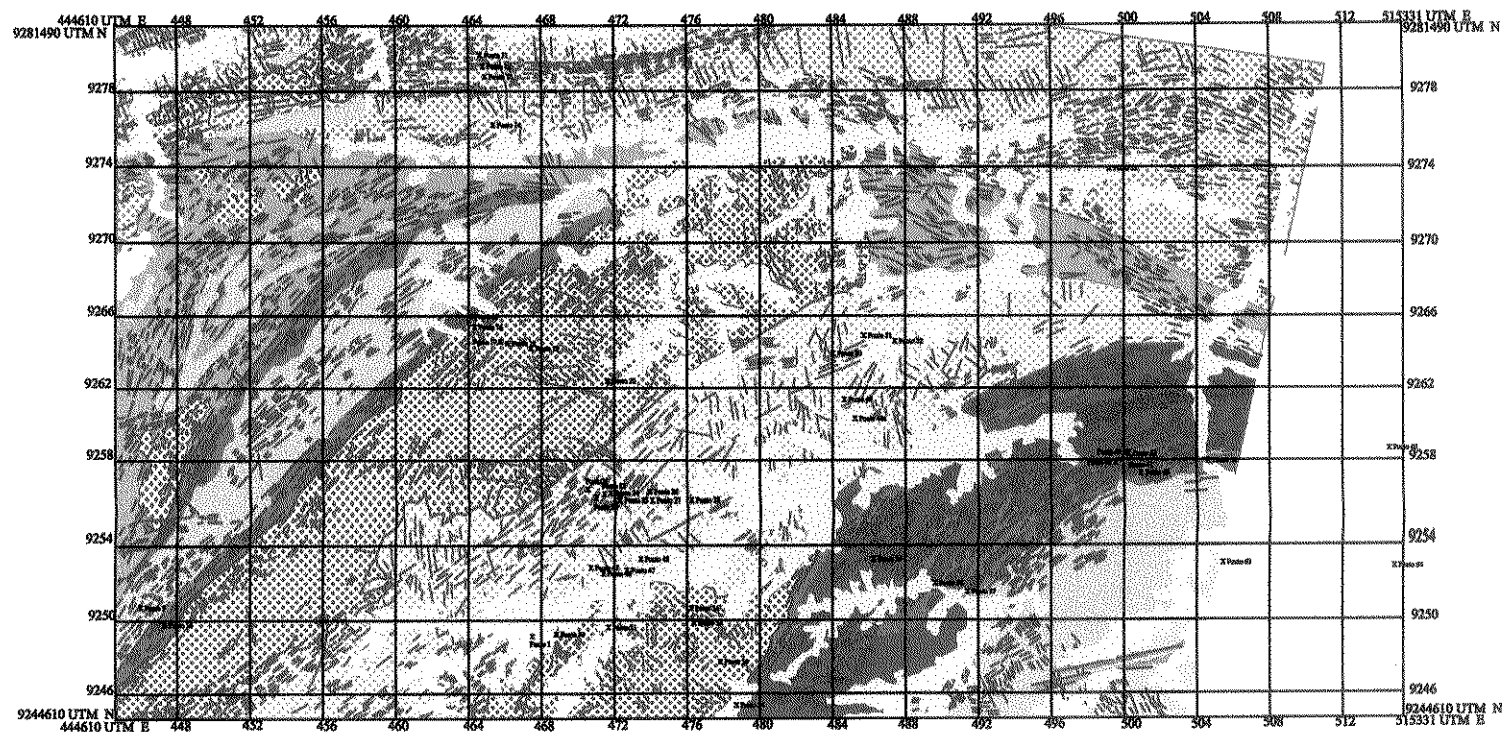
4.5 - Integração de dados geológicos, informações aerogeofísicas e de imagens de satélite Landsat5-TM

Nesta etapa do trabalho os mapas topográficos e geológicos, convertidos para o formato digital, foram integrados com os resultados obtidos pelas técnicas de processamento digital das imagens Landsat-5/TM e dos dados aerogeofísicos. Com isso foi possível definir áreas com potencial para formação de concentrações de ferro combinadas a possíveis alterações, com características hidrotermais vinculadas a zonas de cisalhamento. Estes fatores colaboram para a concentração de fluidos mineralizantes, selecionando assim possíveis áreas alvo para a prospecção de ouro.

4.5.1 - Interpretação das imagens e elaboração de mapa fotogeológico

Após a aplicação das técnicas de processamento digital de imagens e do processamento dos dados aerogeofísicos, foi confeccionado um mapa contendo uma síntese de toda a interpretação dos diversos dados utilizados (Figura 4.12), onde foram delimitadas as diferentes unidades litológicas. Uma comparação deste mapa, com o mapa proposto por Prado *et al.* (1980) (Figura 4.1) mostra que foi possível redefinir alguns dos limites entre os tipos de rocha e identificar várias litologias diferentes, antes apenas descritas como gnaisses, contribuindo assim para a interpretação da evolução geológica da área.

Figura 4.12 – Mapa Geológico elaborado com a interpretação das imagens de satélite integrada aos dados aerogeofísicos. (Ver anexo 2)

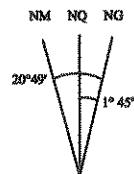


Articulação da Folha

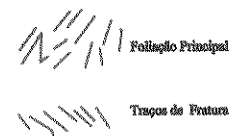
42°00'	40°30'	39°00'	38°30'
-5°00'	Cuiabá SB24-V-C	Quixeramobim SB24-V-D	Morinda Nova SB24-Y-B
-6°00'	Valença do Piauí SB24-Y-A	Iguatu SB24-Y-B	Sousa SB24-Z-A
-7°00'	Picos SB24-Y-C	Junqueiro do Norte SB24-Y-D	Serra Talhada SB24-Z-C
-8°00'			



Declinação magnética 1967 e convergência meridiana do centro da folha.



- Legenda
- Sedimentos (Quaternário)
 - Diques Básicos (Terciário)
 - Grupo Igatu (Mesozóico)
 - Granitóides pós-transcorrência (Brasiliano)
 - Granitóides sin-transcorrência (Brasiliano)
 - Grupo Orós (Mesoproterozóico)
 - Granitóides sin-collisionais (Transamazônico)
 - Granitóides pré-collisionais (Transamazônico)
 - Calcários (Paleoproterozóico)
 - Lepidólitos (Paleoproterozóico)
 - Quartzitos (Paleoproterozóico)
 - Complexo Ceará (Paleoproterozóico)
 - Complexo Granjeiro (Arqueano)



4.5.2 - Integração da imagem de satélite com os dados aeromagnetométricos.

A Figura 4.13 apresenta os lineamentos extraídos nas imagens do Landsat-5/TM sobrepostos à imagem magnética em pseudocor, mostrando a relação entre estes lineamentos com as feições magnéticas e os limites entre as anomalias positivas e negativas. As falhas delimitadas através das imagens de satélite possuem resposta magnética expressiva e limitam de forma discordante alguns corpos litológicos da área. Este é o caso da Falha de Farias Brito, que separa o Sinclinal do Caipú dos corpos granitóides pós-transcorrência. Uma evidência nítida do tectonismo que atuou sobre a área está presente nos corpos granitóides sin-tectônicos, onde são encontradas as maiores anomalias magnéticas e grandes concentrações de estruturas. Estas ocorrem na porção sudeste da área, no limite com as rochas do Complexo Granjeiro, evidenciada pela mega feição estrutural com direção NE-SW, separando as anomalias magnéticas positivas a noroeste e negativas a sudeste.

Na Figura 4.14 pode-se observar a integração entre os dados magnetométricos, lineamentos e o MDE, facilitando assim a interpretação dos lineamentos com as feições magnéticas, vistos em perspectiva

A Falha de Tatajuba, localizada na porção norte da área, separando as rochas do Complexo Ceará dos granitóides Pré-colisionais, está representada por valores magnéticos suaves sem grandes contrastes. Contudo, observam-se anomalias positivas para norte e negativas para sul sobre esta falha, em uma estrutura concordante com a foliação regional. Na porção sudeste da área no contato entre as rochas dos Grupos Orós e Iguatu com as do Complexo Granjeiro, ocorre um falhamento de grande porte, onde se alinham corpos quartzíticos com pouca representatividade magnética.

4.5.3 – Integração entre dados gamaespectrométricos e Landsat-5/TM

Nesta imagem foram localizados valores anômalos no canal de urânio sobre o Sinclinal de Caipú. Sobre os granitóides Sin-tectônicos há uma mistura de tório e urânio, com os teores de tório prevalecendo. Nas rochas do Complexo Ceará estes teores são invertidos, com o urânio representando os teores mais altos. O potássio é o mais abundante devido à composição granítica das rochas predominantes na área.

Sobre os corpos quartzíticos, observa-se a ausência de cor, comprovando a sua composição mineralógica, uma vez que o quartzo não tem assinatura gamaespectrométrica. Em alguns pontos localizados sobre os granitóides Pós-transcorrência, a cor branca indica a presença dos três radioelementos, podendo ocorrer também nos sedimentos quaternários compostos pela desagregação das rochas vizinhas.

Na Figura 4.15 foram utilizados os canais do U e Th em ppm e do K em %, para gerar a composição colorida em RGB. À esta imagem foram combinados os pontos favoráveis a possíveis zonas de alteração hidrotermal, zonas com concentrações de minerais com a molécula hidroxila e óxidos de ferro retirados das imagens Landsat 5/TM.

Na composição resultante, observa-se que as rochas da área tem um predomínio de K, em sua composição mineralógica, diretamente relacionado aos corpos graníticos encontrados na área. Observou-se também que nas áreas demarcadas na imagem de satélite como sendo possíveis zonas de alteração hidrotermal, estão relacionadas as maiores concentrações de potássio.

A Figura 4.16 mostra uma vista em perspectiva com a mesma composição colorida combinada com o MDE, mostrando a relação entre os corpos graníticos e as altas altitudes da área, além de facilitar a interpretação das correlações entre os dados.

A ausência dos 3 radioelementos foi constatada em áreas, sobre o Sinclinal de Caipú e nas bordas do Complexo Granjeiro na porção SE da área de estudo. A concentração dos três elementos radiométricos foi observada em regiões onde a imagem de satélite também demonstra anomalias espectrais, para possíveis zonas de alteração com concentração tanto de óxidos de Fe como de minerais portadores da molécula hidroxila.

As maiores concentrações de Th e U estão sobre rochas do Complexo Granjeiro e assumem coloração azul escuro e magenta na região SE da área. Na região central, nas uma concentração do três elementos em regiões com anomalias magnéticas de valores medianos. Nos corpos granitóides sin-tectônicos onde há uma grande concentração de estruturas com direção NE-SW, os teores de tório são elevados e, combinados aos falhamentos, ocorrem concentrações de urânio e tório. Na porção leste da área, a concentração dos três elementos está vinculada a uma anomalia com valores positivos para NW e negativos para SE.

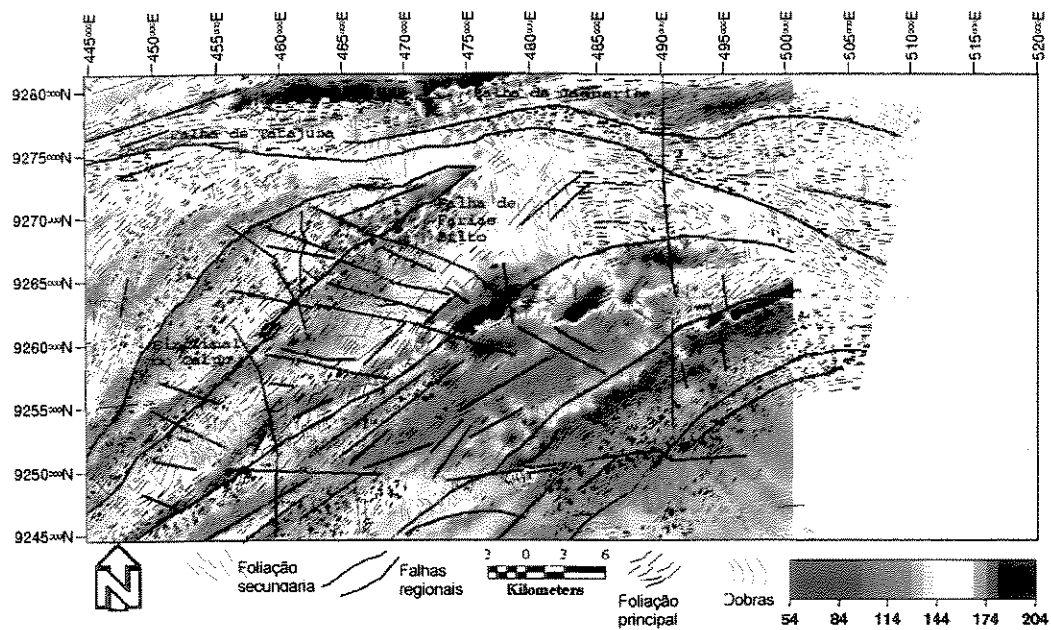


Figura 4.13 – Campo magnético residual combinado aos lineamentos retirados da imagens Landsat 5-TM

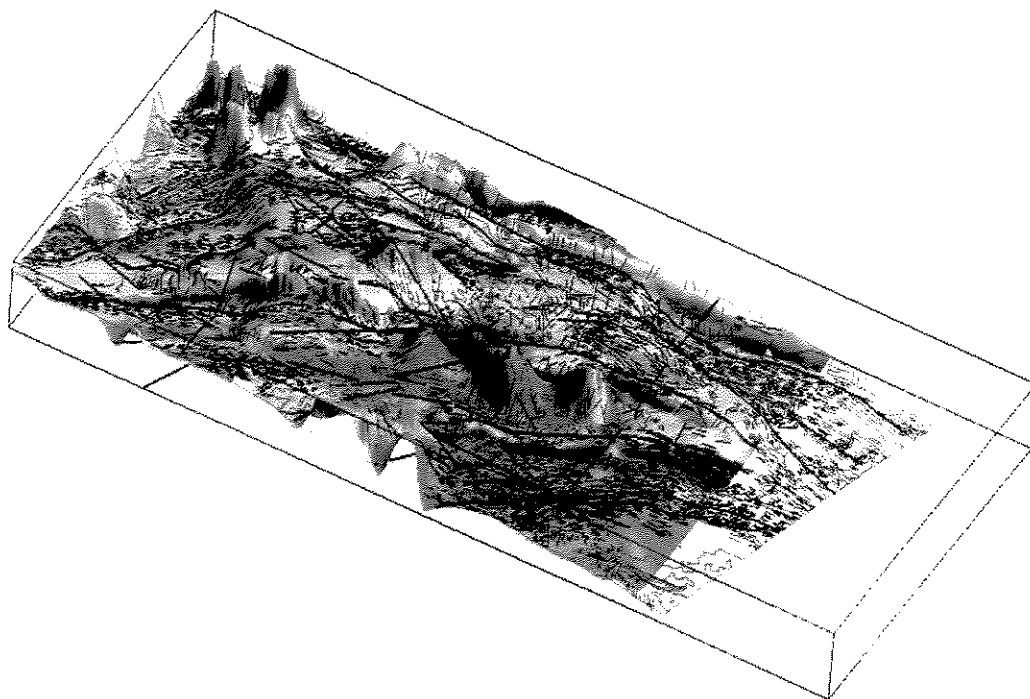


Figura 4.14 – Vista em perspetiva mostrando o modelo digital de elevação, combinado com o campo magnético residual em pseudo cor e com os lineamentos retirados da área.

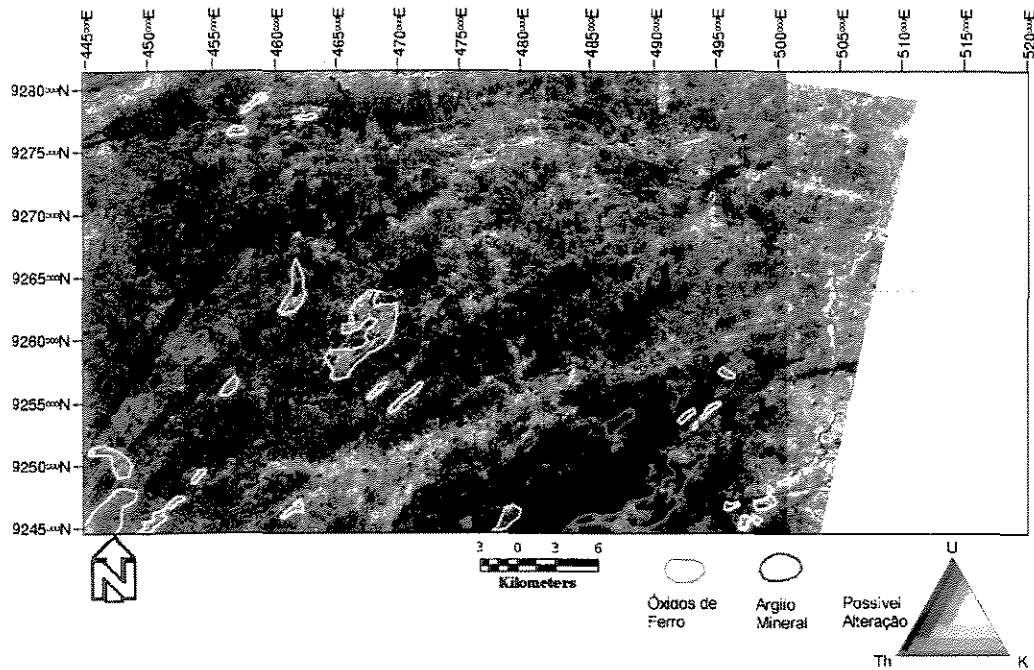


Figura 4.15 – Composição colorida dos canais U, K e Th em RGB, combinada com a Pci no canal de intensidade. As áreas demarcadas nas imagens de satélite demonstrando as concentrações de minerais ricos em óxido de Ferro, argilo minerais e os dois em conjunto.

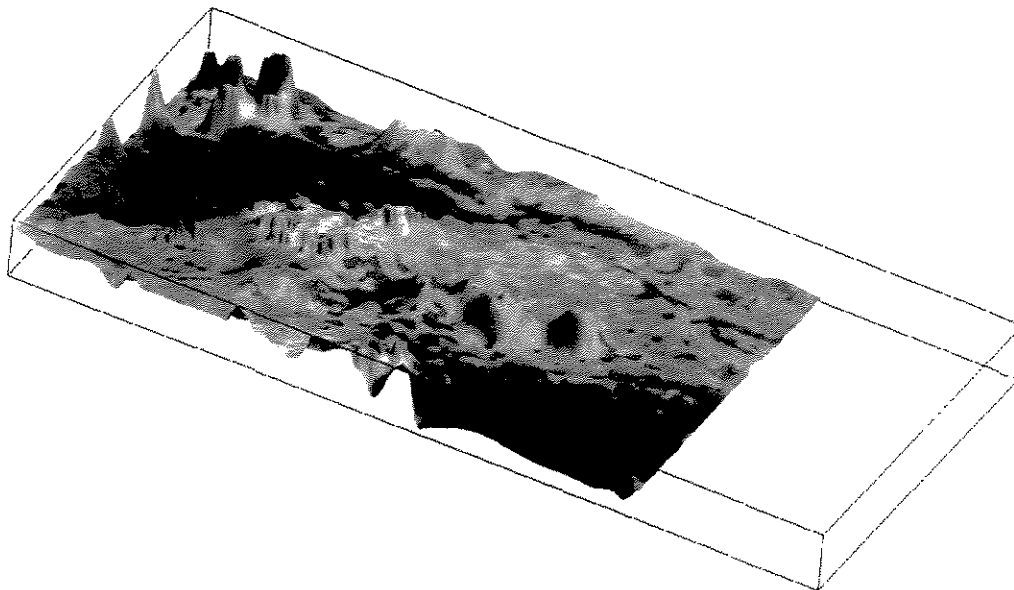


Figura 4.16 – Composição colorida dos canais U, K e Th em RGB, combinada com os contatos litológicos e as mega-estruturas da área, sendo superposto o modelo digital de elevação.

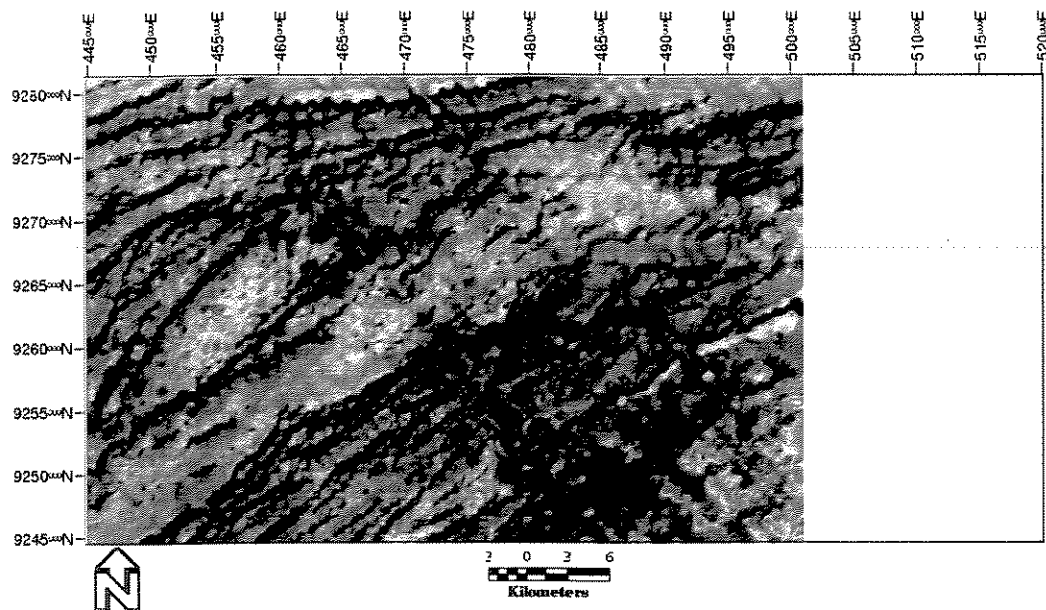


Figura 4.17 – Composição colorida RGB dos canais de U, K e Th superposto ao campo magnético residual no canal de intensidade.

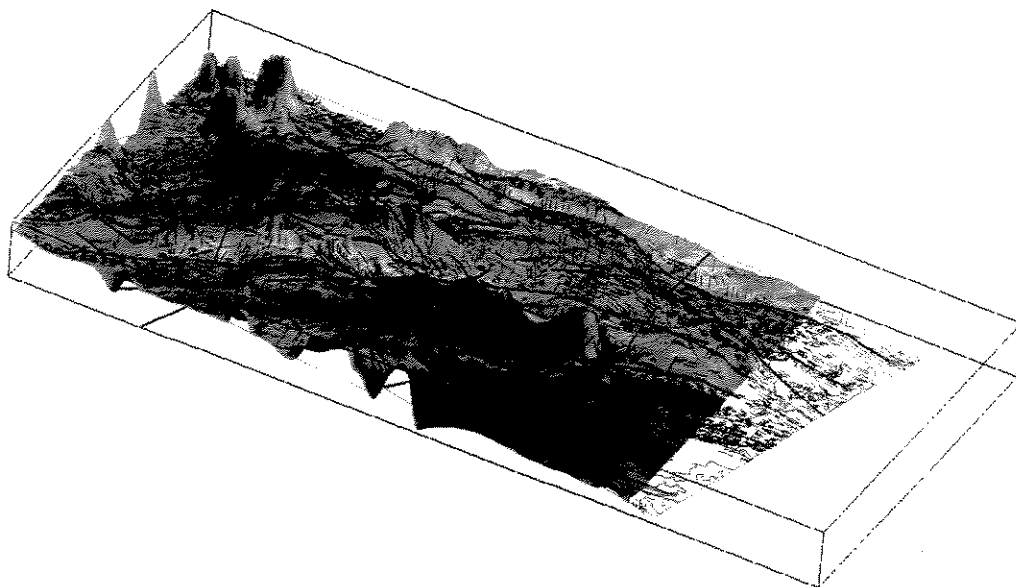


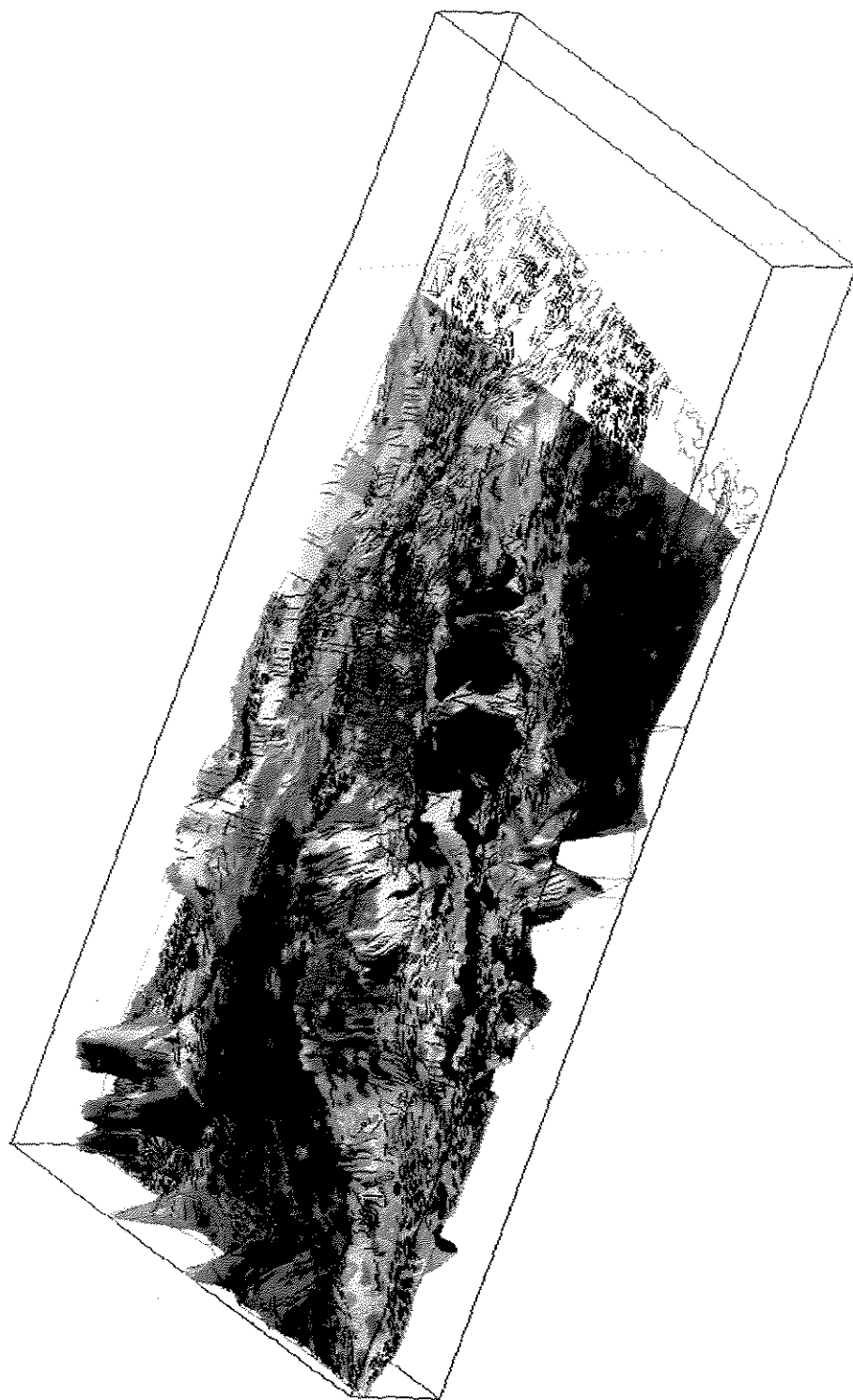
Figura 4.18 - Composição colorida RGB dos canais de U, K e Th, combinada ao campo magnético residual no canal de intensidade, tendo superpostos os lineamentos e os contatos geológicos integrados ao modelo digital de elevação.

4.5.5 – Integração de dados magnetométricos, gamaespectrométricos e Landsat 5/TM

Na Figura 4.19 a imagem resultante da classificação não supervisionada dos canais radiométricos e suas razões, foi combinada ao MDE e comparada aos contatos litológicos e aos lineamentos estruturais retirados da imagem Landsat 5/TM. Nesta imagem foi constatada que as rochas de composição granítica tem composição espectral semelhante, sendo assim representadas pelas cores vermelho, laranja e amarelo, enquanto que as rochas constituintes do Complexo Granjeiro, Grupo Iguatu e Orós estão representados pela cor azul escuro.

Nesta classificação, a Falha de Farias Brito destaca o contato das rochas formadoras do Sinclinal do Caipú com os corpos granitóides Pós-transcorrência. Na porção superior da imagem a Falha de Tatajuba está demarcando o contato entre os granitóides Pré-colisionais e as rochas do Grupo Ceará.

Figura 4.19 – Modelo digital de elevação combinado com a classificação não supervisionada dos canais radiométricos e suas respectivas razões, com os lineamentos retirados das imagens de satélite e magnetométricas, além dos contatos litológicos obtidos pelas imagens de satélite e gamaespectrométricas (Ver Anexo 4).



Capítulo 5

Conclusões

5 – Conclusões

Nesta dissertação de mestrado, procurou-se aplicar e avaliar as técnicas de processamento de dados aerogeofísicos (magnetométricos e gamaespectrométricos) e de dados multiespectrais das imagens do satélite Landsat5/TM, integradas às informações geológicas disponíveis para área próxima a cidade de Lavras da Mangabeira, com enfoque principal em zonas de alteração hidrotermal com possíveis mineralizações auríferas

Devido às grandes dimensões da área de estudo, com cerca de 2.849 Km², estes métodos são os mais viáveis para trabalhos de prospecção mineral a nível regional, possibilitando a delimitação de áreas-alvo para estudos mais detalhados.

As principais conclusões são descritas a seguir:

- Com a geração do modelo digital do terreno, foi evidenciado o controle litológico na morfologia do terreno, exercido principalmente pelos corpos granitóides, onde se concentram as maiores altitudes da região.
- O processamento digital da imagem Landsat5-TM apresentou bons resultados devido à ausência de cobertura vegetal provocada pelo clima árido da região. Com esta imagem foi possível limitar e delinear os contatos entre as diferentes litologias da área, além de identificar feições estruturais .
- Com a utilização de composições coloridas foi possível identificar áreas com respostas espectrais favoráveis a concentrações de ferro, argilominerais e as duas em conjunto, que podem representar possíveis áreas de alteração hidrotermal. Com a Técnica Crosta estas mesmas áreas também foram identificadas mostrando uma semelhança nos dois tipos de processamento, com isso foram demarcadas as regiões com melhor resposta espectral indicando possíveis alvos para prospecção mineral de ouro.

➤ Os corpos de composição quartzítica e os leptinitos que ocorrem na área são facilmente identificados nas imagens. No canto inferior direito da cena Landsat 5/TM, dois diques básicos descritos por Prado *et al.* (1980) sobre as rochas do Complexo Granjeiro, são evidenciados e se destacam dos outros corpos na imagem.

➤ Com a banda 4 em nível de cinza, combinada com a primeira principal componente das 6 bandas espectrais, no canal de intensidade, pode-se extrair os lineamentos mostrando a estruturação com direções preferenciais N45E, e seguindo o trend regional que é influenciado pela mega falha Lineamento Patos.

➤ Os dados aerogeofísicos do Projeto Iguatu mostraram-se de boa qualidade, com um problema de deslocamento de algumas das linhas de vôo, prejudicando um pouco as interpretações magnéticas da área.

➤ Com a composição colorida em RGB dos canais de U, K e Th foi possível delimitar as áreas aproximadas e os limites das unidades geológicas, constatar a constituição mineralógica destes litotipos e identificar pontos de valores elevados para cada radioelemento. O canal de contagem total em pseudocor mostrou resultados semelhantes.

➤ Para uma avaliação dos domínios espectrais dos canais radiométricos, foi realizada uma classificação não supervisionada utilizando os canais radiométricos e suas razões. Como resultado foram obtidas dez classes, inteiramente correlacionáveis às litologias da região.

➤ Como resultado da interpretação dos dados gamaespectrométricos, observou-se que os altos teores de urânio e tório estão concentrados nos corpos granitóides Sin-colisionais, localizados na porção central da área e vinculados a estruturas com direção NE-SW.

➤ Como a área é constituída por diversos corpos granitóides, há uma predominância do K, com os maiores teores relacionados às possíveis zonas de alteração hidrotermal identificadas nas imagens de satélite.

➤ Com a utilização da razão K/Th, foram identificadas faixas anômalas, uma junto a falha de Farias Brito que divide os corpos granitóides pós-transcorrência das rochas do Grupo Orós, e a outra localizada próxima a Falha de Tatajuba, junto as rochas do Complexo Ceará. Estas anomalias podem representar possíveis zonas mineralizadas por terem respostas semelhantes nas imagens de satélite e estarem sobre os pontos com mineralizações auríferas já encontradas e exploradas na área, representando assim os locais mais favoráveis para se realizar uma campanha de prospecção para extração de ouro na região.

➤ Apesar dos problemas encontrados nos dados magnéticos, eles serviram para a caracterização de feições estruturais e para o estabelecimento da relação entre as unidades litológicas com as fontes magnéticas.

➤ Com a integração dos dados, foi possível comparar as respostas dos diferentes dados e corrigir pequenas distorções, como por exemplo o limite entre as diferentes litologias.

.....

Capítulo 6

Bibliografía

6 - Bibliografia

- ALMEIDA, F. F. M. de; HASSUI, Y.; NEVES B.B. de B.; FUCK R.A. –1981-*Brasilian Structural Provinces. Earth Sciences Review. Vol17 n°1 p. 1-29.*
- AMARAL, G. E PASCHOLATI E.M. 1998 – Transformação dos dados aerogeofísicos do projeto Rio das Velhas para o uso em integração de dados. In: XL Congresso Brasileiro de Geologia, Belo Horizonte, MG; Resumos expandidos, P396
- AMOS, B.J. E GREENBAUM, D. 1987, Alteration detection using TM imagery – the effects of supergene weathering in an arid environment, in proceedings, 21st Symp. on Rem. Sens. of environment: Ann Arbor, Environmental Research Institute of Michigan, p.795.
- ANDERSON, H. E NASH, C. 1997. – Integrated Lithostructural mapping of the Rössing Área, Namibia Using High resolution Aeromagnetic, Radiometric, Landsat Data and Aerial Photographs Exploration Geophysics, v. 28 p185-191.
- BARBOSA, O. – 1964 – Geologia Econômica da parte da região do médio São Francisco, Nordeste do Brasil. Recife, SUDENE. Div. Geol.. 64p. il.
- BENNETT, S.A. 1993, Use of Thematic Mapper imagery to identify mineralization in the Santa Teresa district, Sonora, México: International Geology Review, v. 35, p. 1009-1029.
- BEURLEM, K. - 1963 – Geologia e Estratigrafia da Chapada do Araripe. In: Anais do XVII Congresso Brasileiro de Geologia. Recife. Soc. Bras. Geologia.. P. 1-47.
- BIONDI, J.C. – 1990 – Metalogenias dos depósitos minerais em zonas de cisalhamento. Anais XXXIII. Cong. Bras. Geol., Rio de Janeiro, SBG, v.3, PP: 1267 – 1274.
- BRAGA, A. de P. G. E MENDONÇA, J. C. G. de S. Sequências vulcanossedimentares de Orós e Jaguaribe - Folha SB.24-Z-A-I - Região sudeste do estado do Ceará. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 33, Rio de Janeiro, 1984. *Anais do ...* Rio de Janeiro, SBG, 1984. v.5, p.2512 - 2526.
- BRAUN, O.P.G. - 1966 – Estratigrafia dos Sedimentos da parte Interior da Região Nordeste do Brasil. Rio de Janeiro, DNPM/DGM,. 76 p. (Boletim, 236)
- BRICKEY, D.W., 1986, The use of thematic mapper imagery for mineral exploration in the sedimentary terrain of the Spring Mountains, Nevada, in Proceedings, 5th Thematic Conference on Geologic Remote Sensing: Ann Arbor, Environmental Research Institute of Michigan, p. 607-613.
- BRITO NEVES, B. B. de. *Regionalização geotectônica do Pré-Cambriano nordestino*. São Paulo, USP, Inst. Geoc., 1975. 198p. (Tese Doutorado).
- BULLOCK, S.J. E ISLES, D.J., - 1994 – Airbone geophysics in Western Australia. In:

- DENTITH, M.C. *et al.*, eds., Geophysical Signatures of Western Australian Mineral Deposits. Geol. and Geophys. Dept. & UWA Extension, Univ. of Western Australia, Publ. 26, 85-103.
- CALDASSO, A. L. da S. - 1967- Geologia da quadricula E-094, Folha Crato. Recife, SUDENE, Div. Doc. , 35p. (Brasil. SUDENE. Série Geologia Regional, 3)
- CAINZOS, R.L.P., PASCHOLATI, E.M., E AMARAL, G., 1997. Processamento Digital de Dados Aerogeofísicos (Magnetometria e Gamaespectrometria) da Folha Bayamo, SW de Cuba, 1997. V Congresso Internacional da Sociedade Brasileira de Geofísica. São Paulo, SP; - Resumos Expandidos vol.I, p.588.
- CAMPOS-MARQUETTI, R. E ROCKWELL, B., 1989, Quantitative lithologic mapping in spectral ratio feature space: volcanic, sedimentary and metamorphic terrain's, *in* Proceedings, 7th Thematic Conference on Remote Sensing for Exploration Geology, Volume I: Ann Arbor, Environmental Research Institute of Michigan, p. 471-484.
- CAMPOS, M. - 1976 - Projeto Rio Jaguaribe - Relatório Final. Recife, DNPM/CPRM.. V.1,3 e 4.293p.
- CASTRO, N.A. - 1997 - Contribuição ao conhecimento geológico metalogenético associado aos granitóides intrusivos no Grupo Brusque (SC) com base em informações geológicas, aerogamaespectrométricas e Landsat/TM5. Dissertação de Mestrado. IG/Unicamp. 139 p.
- CASTRO, N.A., FERREIRA, F.J.F., E PASCHOLATI, M., 1997. Filtragem Direcional Melhorando a Qualidade da Gamaespectrometria do Projeto Aerogeofísico Serra do Mar Sul na Região do Grupo Brusque. V Congresso Internacional da Sociedade Brasileira de Geofísica. São Paulo, SP; - Resumos Expandidos vol.I, p.584.
- CAVALCANTE, J. C. *et al.* - 1987 - Estratigrafia das folhas Mombaça e Catarina uma proposta. CPRM/REFO, 15p. il. (Relatório Interno).
- CPRM -1995- Catálogo geral de produtos e serviços. Geologia. Levantamentos Aerogeofísicos. Base de dados AERO. CPRM, Rio de Janeiro, 359p.
- CPRM - Projeto Mapa Geológico do Estado do Ceará - escala 1:1.000.000 em preparação.
- CRIPPEN, R.E., 1988, The dangers of underestimating the importance of data adjustments in band rationing: International Journal of Remote Sensing, v. 9, p. 767-776.
- CRIPPEN, R.E., 1989, Selection of Landsat TM band and band-ratio combinations to maximize lithologic information in color composite displays, *in* Proceedings, 7th Thematic Conference on Remote Sensing for Exploration Geology, Volume II: Ann Arbor, Environmental Research Institute of Michigan, p. 917-921.
- CRÓSTA, A.P., E MOORE, J.M., 1989, Enhancement of Landsat thematic mapper imagery for residual soil mapping in SW Minas Gerais state, Brazil: a prospective case history

- in Greenstone Belt terrain, *in* Proceedings, 7th Thematic Conference on Remote Sensing for Exploration Geology, Calgary: Ann Arbor, Environmental Research Institute of Michigan, p. 1173-1187.
- CRÓSTA, Á. P. 1992 - Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto - Campinas, SP: IG/UNICAMP, 1992. 170p.
- CRÓSTA, A.P. E RABELO, A. 1993. Assessing Landsat/TM for hydrothermal alteration mapping in Central-Western Brazil. In: IX Thematic Conference on Geologic Remote Sensing, Pasadena, Proceedings...Pasadena, Califórnia, USA. ERIM. 9p.
- DAVIDSON, D., BRUCE, B., E JONES, D., 1993, Operational remote sensing mineral exploration in a semi-arid environment: the Troodos Massif, Cyprus, *in* Proceedings, 9th Thematic Conference on Geologic Remote Sensing, Volume II: Ann Arbor, Environmental Research Institute of Michigan, p. 845-859.
- DAVIS, P.A.; BERLIM, G.L.; E MULLINS, K.F. - 1997 – Discrimination of Rocks Units in the Painted Desert, Arizona, Using Landsat TM Data. Proceedings of the Twelfth International Conference on Applied Geologic Remote Sensing. vol. 1 p.37 Denver, Colorado, USA.
- DENTITH, M.C.; TRENCH, A. E JONES, M. – 1993 – Geophysical exploration for Archean gold: A case study from the southern cross Greenstone Belt, western Australia. *Journal of Applied Geophysics*, vol. 30; pag 175-186
- DNPM - 1983 - Mapa Geológico do Estado do Ceará - Min. das Minas e Energia. Escala 1:500.000.
- DOBRIN, M.B. E SAVIT, C.H. -1988- Introduction to Geophysical Prospecting. Ed. McGraw-Hill Book Company. 867p.
- DOYLE, H.A. – 1990 – Geophysical exploration for gold. *A review geophysics* nº 55, pag. 133-146.
- DOW, D.B. E GEMUMTS, I. 1967. "Dixon Range, W.A. – 1:250.000 Geological Series" Australian Bureau of Mineral Resources, Geology and Geophysics., Explanatory Notes SE52/6, P15.
- DUARTE, M.I.M., AMARAL G., E PASCHOLATI E.M., 1997. Aplicação de Técnicas de Processamento Digital de Imagens na Interpretação de Dados Aerogeofísicos da Folha Santa Bárbara, Minas Gerais. V Congresso Internacional da Sociedade Brasileira de Geofísica. São Paulo, SP; - Resumos Expandidos vol.I, p.591.
- DUARTE, M.I.-1998- Análise integrada de dados aplicada a geologia do Super Grupo Rio das Velhas (Ne do Quadrilátero Ferrífero); Dissertação de Mestrado IG/Unicamp.80 p.
- EBERLE, D.G. – 1988 – Basic geophysical aspects of gold prospecting in Nyasian Greenstone Belts of Tanzania. Tanzania – German Technical Cooperation Open File Report, 86

p. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hanover.

EBERLE, D.G. – 1995 – Geophysical mapping in Archean Greenstone belts of Tanzania, as an aid for gold prospecting, *First Break*, Vol. 13, nº 9, September. P 357-367.

ERIKSEN, A.S., E COWAN, D.R., 1989, Further development and application of GIS technology and geostatistics to assist in the exploration for uranium in western North America, *in Proceedings, 7th Thematic Conference on Remote Sensing for Exploration Geology*, Volume II: Ann Arbor, Environmental Research Institute of Michigan, p. 1285-1307.

FERREIRA, J.A.M. – 1967 – Considerações sobre a nova estratigrafia do Seridó. *Eng. Miner. Metal.* Rio de Janeiro, PP. 25 a 28,.

FERREIRA, J.A.M. E ALBUQUERQUE, J. P.T. - 1969 – Sinopse da geologia da folha Seridó. Recife, SUDENE – Div. de Geologia.. 25 p. il. (Brasil, SUDENE. Série Geologia Regional, 18)

FERREIRA F.J.F.; de ZOUZA, J.L. ; da ROCHA, H.O. E MANTOVANI, L.E. – 1997 – Airborne gamma ray spectrometry and remote sensing to map uranium accumulation in soils from long- continued applications of fertilizers in Araras Region, Brazil. 12TH Thematic Conference and Workshops on Applied geologic remote sensing, Denver, Colorado, vol. – I pag – 323-330.

FREI, M., E JUTZ, S.L., 1989, Use of Thematic Mapper data for the detection of gold bearing formations in the eastern desert of Egypt, *in Proceedings, 7th Thematic Conference on Remote Sensing for Exploration Geology*, Volume II: Ann Arbor, Environmental Research Institute of Michigan, p. 1157-1172.

GARCIA, M.A.T., CROSTA, A.P. E SOUZA F^o., C.R. – 1998 – Integração de dados multiespectrais e geofísicos na identificação de áreas favoráveis à ocorrências de ouro na Chapada Diamantina Bahia, IX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. – Santos. Anais...

GHIGNONE, J. I.; COUTO, E. A. do E ASSINE, M. L. Estratigrafia e estrutura das bacias do Araripe, Iguatu e Rio do Peixe. In: XXXIV Congresso Brasileiro de Geologia, Goiânia, 1986. *Anais do ...* Goiânia, SBG, 1986. v.1, p.272 - 282.

GILABERT, M.A., CONESE, C., E MASELLI, F., 1994, An atmospheric correction method for the automatic retrieval of surface reflectance's from TM images: *International Journal of Remote Sensing*, v. 15, p. 2065-2086.

GOMES, J. R. de C. *et al.* Geologia. apud: PROJETO RADAMBRASIL. Folhas SB.24/25, Jaguaribe/Natal; geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso da terra. Rio de Janeiro, 1981. 741p. v. 23. p. 27 - 176.

GORAYEB, P.S.S. E ABREU, F.A.M.; - 1989 – A faixa de auto grau de Cariré – CE .

- Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos. Snet, Fortaleza. Anais... SBG p. 261-264.
- GROVES, D.I ; HO, S.E. E HOUSTON, S.M. 1984. The nature of Archean gold deposit in western Australia with particular emphasis on parameters relevant to geophysical exploration. Geophysical Exploration for Pré-Cambrian Gold Deposit, Doyle H.A (ed.) Geology Department and University Extension, University of Western Australia, Nedlands, W.A.
- HACKSPACHER, P. C. ; E LEGRAND, J. M. – 1989 – Microstructural and metamorphic evolution of the Portalegre Shear Zone, Northeastern Brazil. Ver. Bras. Geoc., 19(1): 63-75, março de 1989
- HACKSPACHER, P. C. ; VAN SCHMUS, W. R. E DANTAS, E. L. Um embasamento transamazônico na Província Borborema. In: XXXVI Congresso Brasileiro de Geologia, Natal, 1990. *Anais do ...* Natal, SBG, 1990. v. 6 p. 2683 - 2696.
- HANSEN, R.O. – 1993 – Interpretative Griding by anisotropy kriging. Geophysics, 58. nº10. Pag. 1491-1497.
- HUTSIMPILLER, A., 1988, Discrimination of hydrothermal alteration mineral assemblages at Virginia City, Nevada, using the airborne imaging spectrometer: Remote Sensing of the Environment, v. 24, p. 53-66.
- IAEA - INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY – 1991 – Airborne Gamma Ray Spectrometer Surveying. Technical Reports Series., Vienna. n .323, p. 97.
- ISLES, D.J., HARMAN, P.G., E CUNNEEM, J.P., - 1989 – The contribution of high resolution aeromagnetic to Archean gold exploration in the Kalgoorlie Region, Western Australia. In: KEAYS, R.R., *et al.*, eds., The Geology of Gold Deposits: the Perspective in 1988. Econ. Geol. Monogr., 6, 389-397.
- ISLES, D.J., COOKE, A.C., E HALBERG, J.A., - 1990 – Aeromagnetic Evaluation. In: HO, S.E., GROVES, D.I. E BENNETT. J.M., eds., Gold Deposits of the Archean Yilgarn Block, Western Australia. Univ. of Western Australia, Univ. Extension Publ., 20.
- JARDIM DE SÁ, E.F. – 1984 - A Evolução Proterozóica da Província Borborema. In: XI Simpósio de Geologia do Nordeste, Recife, Atas...1, P. 297-316.
- KLEIN M.A., A.F.U. COSTA, L.A.D. FERNADES, 1997. Integração de Dados Gamaespectrométricos com Imagens TM/LANDSAT 5 Aplicada ao Mapeamento Geológico na Quitéria-Várzea do Capivarita RS, . V Congresso Internacional da Sociedade Brasileira de Geofísica. São Paulo, SP; - Resumos Expandidos vol.I, p.580.
- KING, L. C. A geomorfologia do Brasil Oriental. *Rev. Bras. Geografia*, Rio de Janeiro. 18 (2): 147 - 256, abril/junho. 1956.
- KOWALCZYK, P., E LOGAN, K., 1989, TM processing for routine use in mineral exploration, *in* Proceedings, 7th Thematic Conference on Remote Sensing for

Exploration Geology, Volume I: Ann Arbor, Environmental Research Institute of Michigan, p. 323-329.

LEBER, D. E HÄUSLER, H. – 1997 – Remote sensing and digital terrain modeling to map the geology and geomorphology of Southern Tibet. – 12TH Thematic Conference and Workshops on Applied geologic remote sensing, Denver Colorado, vol. – II pag 67-74.

LEGG, C.A., 1992, Remote Sensing and Geographic Information Systems: Geologic Mapping, Mineral Exploration and Mining: Chichester, Ellis Harwood, Ltd., 256 p.

LIMA M.I.C., - 1993 - Integração sensoriamento remoto geofísica na interpretação do Embasamento da sineclise do Parnaíba: dados preliminares. VII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Curitiba . PP 234 a 241 vol.3.

LIU, J.G. -1991- Balance contrast enhancement technique and its application in image colour composition. International Journal Remote Sensing, v. 12, n. 10, 2133-2151.

LOUGHLIN, W.P., 1991, Principal Component analysis for alteration mapping: Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, v. 57, p. 1163-1170.

MACEDO, M. H. de F.; SÁ, J. M. E KAWASHITA, K. A. Idade da faixa Orós: dados preliminares. *Revista Brasileira de Geociências*, 18 (3): 362 - 368, 1988.

MARES, S. -1984- Introduction to Applied Geophysics. Ed. D. -Reidel Publ. Comp. 581p.

MEDEIROS, M. de F.; CAVALCANTE, J. C. E SOUZA, E. M. de. 1989 - *Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil*; carta geológica, carta metalogenética/previsional - escala 1:100.000 (folha SB.24-Y-B-II; Catarina) estado do Ceará. Brasília, DNPM/CPRM,. 170 p. il. (Minuta revisada)

MEDEIROS, M. de F.; *Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil*; carta geológica, carta metalogenética/previsional - escala 1:100.000 (folha SB.24-Y-B-II; Catarina) estado do Ceará. Brasília, DNPM/CPRM, 1993. 170 p. il.

MEDEIROS, V.C. - 1992 – Geologia de uma área a NW de Paramirim PE. UFRN, relatório de graduação. 90 p. il.

MEDEIROS, V.C. – 1996 – Fotolineamentos e granitóides brasileiros do Domínio da Zona Transversal, NE do Brasil. In Cong. Brasil. de Geologia., 39. Salvador. Anais. vol. 1, p. 87 -89

MELLO, A A. de - 1976 – Características Geológicas e Metalogenéticas dos Cinturões Móveis do Nordeste Oriental. Recife, CPRM,. 82p.

MORAES, J.F.S - 1976.– Projeto Santana. Relatório Final da Etapa I. Recife, DNPM/CPRM,. 8v.

MOUAT, D.A., MYERS, J.S., E MILTON, N.M., 1986, An integrated approach to the use

- of Landsat TM data for gold exploration in west-central Nevada, *in* Proceedings, 5th Thematic Conference on Geologic Remote Sensing: Ann Arbor, Environmental Research Institute of Michigan, p. 431-443.
- NASH, C.R. - 1994 – Integrated Image Interpretation for Mineral exploration. Australian Mineral Foundation, Adelaide. Course notes n° 892/94.
- NASH, C.; LEEMING, P. ; KOTSEK, H. E CAREY, R. – 1996 – Integrated interpretation of imaged airborne geophysical survey and remote sensing data with the aid of vectored CAD/GIS coverage's: Halls Creek Mobile Belt, Australia. –11th Thematic Conference and Workshops on Applied geologic remote sensing, Las Vegas, Nevada, February 1996 vol. - I
- NASH, G.D., E WRIGHT, P.M., 1994, The use of simple GIS techniques to create improved hydrothermal alteration maps from TM data, Steamboat Springs and Virginia City quadrangles, Nevada, USA, *in* Proceedings, 10th Thematic Conference on Geologic Remote Sensing, Vol. II: Ann Arbor, Environmental Research Institute of Michigan, p. 132-141.
- OSAKO L.S., AMARAL G., E PASCHOLATI E.M., 1997. – Imagens Geofísicas do K, U e Th da Província Uranífera de Lagoa Real, com Base no Levantamento Aerogamaespectrométrico do Projeto São Timóteo. V Congresso Internacional da Sociedade Brasileira de Geofísica. São Paulo, SP; - Resumos Expandidos vol.I, p.574.
- OSAKO, L.S. E AMARAL, G. 1998 – Extração de informações espectrais do Landsat-5/TM na Província Uraninífera de Lagoa Real (BA) – IX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. –Santos. Anais.
- OLIVEIRA, J. C. et al. *Projeto Cococi*. Relatório final. Recife, DNPM/CPRM, 1974. 5v. il.
- OLIVEIRA, A. A. – 1979 - Projeto Chapada do Araripe – Relatório final. Recife, DNPM/CPRM,. 5v. il.
- OLIVEIRA J. F., E RODRIGUES J. C., 1997. Contribuições Magnéticas para a Carta Geológico - Metalogenética da Folha Jaguaribe (SB.24-V) Estado do Ceará, V Congresso Internacional da Sociedade Brasileira de Geofísica. São Paulo, SP; - Resumos Expandidos vol.I, p.610.
- PARENTE, C.V. E ARTHAUD, M.H.; - 1995 – O sistema Orós-Jaguaribe no Ceará, Ne do Brasil – Revista Brasileira de Geociências, n° 25(4) Pag 297-301.
- PENDOCK, N. E NEDELJKOVIC, V.; 1996 – Integrating Geophysical data sets using probabilistic methods, 11TH Thematic Conference and Workshops on Applied geologic remote sensing, Las Vegas, Nevada, February vol. - II
- PRADO, F. da S.; OLIVEIRA, A.A. de; LEITE, E.A.; GOMES, F.E.M.; SILVA, F.P. da; E COLARES, J.Q. dos S. – 1980 – Projeto Lavras da Mangabeira. Relatório Final.

- DNPM/CPRM 9SUREG-FO, Fortaleza. 120p., Il.
- PRADO, F da S.; MENDONÇA, J.C.G. de ; MORAES, J.B.A. de; MEDEIROS, M. de F.; ASSUNÇÃO, P.R.S. de; E , ANDRADE, V.A. de – 1979 – Projeto Martinópolis. Relatório Final. Fortaleza. DNPM/CPRM (REFO). 298 p. il.
- PRIEM, H. N. A. *et al.* K/Ar dating of a basaltic layer in the sedimentary Lavras basin, northeastern Brasil. *Revista Brasileira de Geociências*. 8: 262 - 269, 1978.
- REED, L.E. – 1989 – Geophysics in gold exploration – some examples. Proceedings of exploration 87, Garland ed. Ontario Geological Survey, Spec. Vol. – 3, Toronto .
- RE KÜHL, G.E., 1992, Landsat Thematic Mapper Band Ratio Discrimination of Altered and Unaltered Volcanic Rocks in the Andes of Argentina, Bolivia and Chile: Unpublished M.S. Thesis, Cornell University. 169 p.
- REEVES, C.V. – 1985 – Airbone geophysics for geological mapping and regional exploration. ITC Journal – Vol. 3; pag.147-161.
- RIBEIRO, J.A. E VASCONCELOS, A.M. 1991. – Levantamentos geológicos básicos do Brasil; carta geológica, carta metalogenética previsional escala 1:100.000 (Folha SB.24.Y-C-VI Simões) Brasília, DNPM/CPRM 124 p. il.
- RODRIGUES, E.P., E GLASS, C.E., 1991, Digital analysis for mineral exploration at the Puerto Libertad area, Sonora, Mexico, *in* Proceedings, 8th Thematic Conference on Geologic Remote Sensing, Volume II: Ann Arbor, Environmental Research Institute of Michigan, p. 851-862.
- ROLIM, S.B.A., PARADELLA, W.R., VASCONCELLOS, R.M. E AZEVEDO, M.L.V. – 1993 - Metodologia para a geração de imagens de Geofísica: Uma contribuição a integração de dados na pesquisa Geológica. VII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto Curitiba . PP 234 a 241 Vol.3.
- SÁ, J. M. ; BEZERRA, F. H. R.; MACEDO, M. H. de F. E PEREIRA, R. - 1988 - Middle Proterozoic supracrustals and Brasiliano Orogeny in the southeast Ceará state: a monocyclic evolution. In: VII Congresso Latino-Americano de Geologia, Belém,. *Anais do ...* Belém, SBG, 1988. v. 1, p. 35 - 48.
- SÁ, J. M. - 1991 - Evolution Geodynamique de La Ceinture Proterozoique D'Oros, Nord-Est du Bresil. France, Universite de Nancy I., 177p. (Tese Doutorado).
- SÁ, J.M. ; McREATH, I. E LETTERIER, J. – 1995 – Petrology, geochemistry and geodynamic setting of Proterozoic igneous suites of the Orós Fold Belt (Borborema Province, Northeast Brazil) *J. South America Earth Sc.*, 8(3/4):299-314.
- SABINS, F.F., E MILLER, R.M., 1994, Resource assessment - Salar de Uyuni and vicinity, Bolivia, *in* Proceedings, 10th Thematic Conference on Geologic Remote Sensing, Vol. I: Ann Arbor, Environmental Research Institute of Michigan, p. 92-103.

- SANTOS, E. J dos E BRITO NEVES, B. B. de. Província Borborema. In: ALMEIDA, F. F. M. de & HASUI, Y. (Coord.). *O Pré – Cambriano do Brasil*. São Paulo, Edgard Blucher, 1984. 378 p. il. p. 123 - 186.
- SILVA FILHO, W. F. da. Mapeamento geológico da porção SW da bacia de Lima Campos (Icó - CE) e embasamento Pré - Cambriano adjacente. Fortaleza, UFC, Departamento de Geologia, 1992. 165 p. il. (Relatório de Graduação).
- SILVA, L. C. *et al.* 1993 - Petrologia e evolução dos gnaisses de alto grau na folha Iguatu - CE
- SORIGA, A.; MOORE, J.McM.; E LIU, J.G. – 1997 – Hydrated mineral reconnaissance in the Ethiopian Rift Valley using TM imagery. 12th International Conference and Workshops on Applied Geologic Remote Sensing, Denver, Colorado vol.1 p.85-92
- SOUZA Fº., C.R.; DENISS, A.M. E CASTRO, N.A. – 1997 – Practical methods for periodic noise suppression of remote sensing digital imagery. – 12th International Conference and Workshops on Applied Geologic Remote Sensing, Denver, Colorado.
- SPECTOR, A. E LAWER, T.L. - 1995 – Application of aeromagnetic data to mineral potential evaluation in Minnesota, Geophysics Vol. 60, nº 6 Nov/Dec.
- SRIVASTAVA, N. K. Aspectos geológicos e sedimentológicos das bacias de Iguatu, Lima Campos e Malhada Vermelha (Ceará). In: Simpósio Sobre a Bacia do Araripe e Bacias Interiores do Nordeste), 1, Crato, 1990. *Atas do ...Crato*, SBG, 1990. p. 209 - 222.
- STEVANATO, R.; FERREIRA,F.J.F.; SOARES, P.C.; E SILVA, F.V. – 1995 – Desenvolvimento de métodos de interpolação espacial na composição de mapas aerogeofísicos. In: Cong. Inter. da Soc. Bras. de Geofísica, IV. Rio de Janeiro, vol. 1, p 252-255.
- TANAKA, S.M., E SEGAL, D.B., 1989, Integrated remote sensing/vector - based GIS technology for gold exploration, Round Mountain district, Nevada, USA, *in* Proceedings, 7th Thematic Conference on Remote Sensing for Exploration Geology, Volume II: Ann Arbor, Environmental Research Institute of Michigan, p. 1269-1283.
- TORRES, P.F.M. – 1997 – Novo enfoque da cinemática do domínio da zona transversal, NE do Brasil. XVII Simpósio de Geologia do Nordeste – Fortaleza – Ceará, Anais..., pag. 131-136.
- TORRES, V., VINCENT, R.K., E ETZLER, P.J., 1989, Integrated mineral exploration in northern Mexico using Landsat, aerial photography and ground work, *in* Proceedings, 7th Thematic Conference on Remote Sensing for Exploration Geology, Volume II: Ann Arbor, Environmental Research Institute of Michigan, p. 1227-1237.
- TREFOIS, P., VOLON, C. E ZAKI, M., 1993, Targeting cobalt mineralizations by remote sensing in the district of Bou - Azzer El Graara (Anti Atlas, Morocco), *in* Proceedings, 9th

Thematic Conference on Geologic Remote Sensing, Volume I: Ann Arbor, Environmental Research Institute of Michigan, p. 183-194.

VALENTE, C.R. E VENEZIANI, P. – 1993 – Integração dos dados LANDSAT, SLAR, geofísicos e geoquímicos para elaboração de modelos de evolução tectônica e prospecção na região de Manicó – Palmeirópolis (GO/TO). VII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto Curitiba . PP 234 a 241 vol.3.

VASCONCELOS, A.M. – 1993 – Mapa geológico/ metalogenético – Folha Iguatu (SB-24-Y-B), Esc.1:250.000. Revisão e atualização. Fortaleza, CPRM.

VASCONCELLOS, R.M.; METELO, M.J.; MOTTA, A.C. E GOMES, R.D. - 1994- Geofísica em levantamentos geológicos no Brasil. CPRM, Rio de Janeiro. 165p.

VASCONCELOS, A.M.; CAMPOS I.P. E MOURA A.V. – 1997 – Granitoides sintangenciais da região centro sul do Estado do Ceará – Nordeste do Brasil. XVII Simpósio de Geologia do Nordeste – Fortaleza – Ceará, Anais...; pag 138-139.

VAUCHEZ, A.; NEVES, S.; CABY,R.; CORSINI, M. EGYDIO-SILVA, M.; ARTHAUD, M. E AMARO,V. – 1995 – The Borborama Shear Zone System, NE Brazil. J. South America Earth Sc. 8(3/4):247-266.

VAUCHEZ, A.; AMARAL, V.; ARCHANJO, C.; ARTHAUD, M.; BOUCHEZ, J.L.; GABY,R.; CORSINI, M.; EGIDIO SILVA, A.M.; JARDIM DE SÁ, E.F.; NEVES,S.P.; SÁ, J.M.; E SIAL, A.N. – 1992 – The Borborema Shear Zone System: A Tectonic Model. In: Cong. Bras. de Geol., 37,São Paulo, Resumos, p.371 a 373.

VEIGA, P.M. DE O. – 1966 – Geologia da Quadrícula Juazeiro do Norte (E-082), Folha Crato. Recife, SUDENE, Div. de Documentação,. 56p. (Brasil. SUDENE. Série Geologia Regional).

YAMAGUCHI, Y., URAI, M. E HONEY, F.R., 1989, Application of Geoscan AMSS MkI data to lithologic mapping in Queensland, Australia, in Proceedings, 7th Thematic Conference on Remote Sensing for Exploration Geology, Volume I: Ann Arbor, Environmental Research Institute of Michigan, p. 395-409.

WINKLER, H. G. E. *Petrogênese de rochas metamórficas*. Porto Alegre, Edgard Blücher, 1977.

Anexos

Erratas

Na página 4, segundo parágrafo, linhas 3, 4 e 5 em lugar de coordenadas “xx’xxW’’ e xx’xxS’’” leia-se “xx’xx’’W e xx’xx’’S.”

Na página 4, no fim do quinto parágrafo a citação é de Prado *et al.* (1980).

Na página 6, no segundo parágrafo linha 2, onde esta escrito os solos assumem, leia-se assumindo.

Na página 26, no item 3.2 em vez de “Metodologia” leia-se “Métodos”

Na página 39, no início do 3º onde esta escrito “Com os mapas”, leia-se “Os mapas”.

Na página 51 onde o texto citar “corpos graníticos” leia-se “corpos granitóides”.

Na página 54, 4º parágrafo, linha 3 após Sinclinal do Caipú acrescente: “representados pelo ponto 2 na figura 4.8 C”.

Na página 62, no 1º parágrafo do item 4.4.4, na linha 3 onde está escrito “blocos individuais de rochas mais profundas ou as extremidades de perturbações supra embasamento”, leia-se “blocos individuais de rochas mais rasas (Dobrin e Savit, 1988).”

Na página 63 na descrição da figura 4.10 B ao invés de “1000M de profundidade” leia-se “1000M de altura”.

Na página 63 na descrição da figura 4.10 os domínios estão com polaridades invertidas, sendo o domínio magnético 1 (D1) de anomalias positivas e o Domínio magnético 3 (D3) de anomalias negativas.

Na página 79, no segundo parágrafo linha 6, após “já encontradas na área”, acrescente “e três outros pontos com resposta semelhante podendo ser observados na figura 4.8 C.”