



Universidade Federal do Pará



Faculdade de Geologia



Instituto de Geociências

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

VERENA BISPO TORRES

Cartografia geológica digital da Folha SA-24-Y-C-VI-4,
NW do Ceará, a partir de dados geológicos/geofísicos
primários e secundários

GEOCIÊNCIAS
U F P A

BELÉM - PARÁ

JUNHO - 2011

VERENA BISPO TORRES

CARTOGRAFIA GEOLÓGICA DIGITAL DA FOLHA SA-
24-Y-C-VI-4, NW DO CEARÁ, A PARTIR DE DADOS
GEOLÓGICOS/GEOFÍSICOS PRIMÁRIOS E
SECUNDÁRIOS

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Faculdade de
Geologia da Universidade Federal do
Pará – UFPA, em cumprimento às
exigências para obtenção do grau de
Bacharel em Geologia.

Orientador: Prof. Dr. Francisco de
Assis Matos de Abreu.

BELÉM

2011

Espaço reservado a ficha catalográfica

VERENA BISPO TORRES

CARTOGRAFIA GEOLÓGICA DIGITAL DA FOLHA SA-
24-Y-C-VI-4, SE DA FOLHA FRECHEIRINHA, COM
DADOS PRIMÁRIOS E SECUNDÁRIOS.

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Faculdade de
Geologia da Universidade Federal do
Pará – UFPA, em cumprimento às
exigências para obtenção do grau de
Bacharel em Geologia.

Data de aprovação: ____/____/____

Conceito: _____

Banca examinadora:

Prof. Francisco de Assis Matos de
Abreu - Orientador
Doutor em Geologia
Universidade Federal do Pará

Prof. Mauricio da Silva Borges
Doutor em Geologia
Universidade Federal do Pará

Dedico esse trabalho aqueles que são mais importantes na minha vida: Maria Telma Torres, João Batista Torres. A vocês que, realmente, sabem quem eu sou e que tantas vezes foram usurpados de minha presença, mas não do meu amor.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço aquele que é Autor da minha vida, sem Ele não estaria aqui, não teria o ar que todos os dias eu respiro, tampouco a Terra que estudo, Deus, é a você o meu mais profundo agradecimento. Mais do que me criar, deu propósito à minha vida e me deu forças pra continuar essa caminhada de cinco anos, que não foi fácil. Vem dEle tudo o que sou, o que tenho e o que espero.

Sou profundamente grata a meus pais, que me proporcionaram uma boa educação, formaram os fundamentos do meu caráter, me apontaram um caminho pela verdade, sem passar por cima de ninguém, que foram as pessoas que mais investiram em mim. Vocês foram essenciais em tudo, nos momentos felizes e de lágrimas, sempre recorria ao colo de vocês. Obrigada por serem a minha referência de tantas maneiras e valores.

Os meus amados irmãos, Viviani e Vinicius, por tantas vezes me colocarem pra cima, pelas risadas, amizade e amor. A minha irmã, que divide o quarto comigo, por me deixar manter a luz do quarto ligada pelas madrugadas, porque estava estudando para uma prova, trabalho, tcc, etc. E por agüentar o meu celular despertando nas madrugadas porque iria acordar para estudar.

Ao meu lindo e amado Leandro Bentes, por toda a paciência, carinho, amor, incentivo... por me ajudar em todos os momentos, sejam bons ou ruins, por me dar o apoio necessário para eu continuar, ainda que assim eu tenha que me manter distante por algum tempo. Seu incentivo me motiva a querer sempre crescer, mais e mais.

Ao meu orientador, professor Francisco Matos, pelos ensinamentos e discussões relevantes que contribuíram para a concretização deste trabalho.

Meus co-orientadores, Márcia Valadares e Osmar Guedes, sem a dedicação e amizade de vocês, esse trabalho não seria possível. Obrigada pela força no momento mais difícil dessa caminhada.

A todos da turma de geologia 2006 que de alguma forma contribuíram e me ajudaram no decorrer da caminhada, em especial aos meus amigos: César, Rafael, Raquel, Renan, Rudson, pelos bons momentos de risadas e companheirismo; a, Camila Alves, Débora Aguiar, Erika Lobato, Hudson Santos, Paulo Henrique (PH), por toda a irmandade.

As colegas do curso: Joseana Santos, Kamilla Amorim, Kellen Katucha, Camila Marques, Carla Matos, Indy, pelos ótimos momentos de diversão e muitas risadas.

Aos amigos, tios, primos e avó, de perto e de longe, pelo amor e preocupação demonstrados através de ligações, visitas, orações e e-mails. Obrigada, vocês que aliviaram minhas horas difíceis, me alimentando de certezas, força e alegria. Que entenderam as minhas ausências, porque eu tinha uma viagem de campo, uma prova, ou um seminário no mesmo ou no outro dia.

A Universidade Federal do Pará, da qual me orgulho de fazer parte.

Muito obrigada nunca será suficiente para demonstrar a grandeza do que recebi de todos vocês. Peço a Deus que os recompense à altura.

Construí amigos, enfrentei derrotas, venci
obstáculos, bati na porta da vida e disse-
lhe: Não tenho medo de vivê-la.

Augusto Cury

RESUMO

A utilização de programas de processamento de imagens digitais e de sistemas de informações geográficas que admitem a importação e exportação de inúmeros formatos de apresentação de dados, aliado a modernos equipamentos de computação, tem tornado a integração de dados, de diferentes sensores, um auxílio ao mapeamento. Neste contexto, esse trabalho resulta da análise da integração de dados de sensoriamento remoto, aerogeofísica e dados pré-existentes, objetivando a identificação e caracterização litológica e estrutural de folha SA-24-Y-C-VI-4, localizada a sudeste da folha Frecheirinha. A primeira etapa consistiu na catalogação e análise dos dados pré-existentes; a segunda etapa consistiu do processamento, análise e interpretação das imagens individuais Landsat-TM e análise e interpretação das imagens de aeromagnetometria e aerogamaespectrometria. Os produtos obtidos neste trabalho permitiram delimitar diferentes unidades litológicas, reconhecer os principais sistemas estruturais a partir da extração e análise de lineamentos, e por fim, a confecção de um mapa geológico na escala de 1: 50.000 da folha SA-24-Y-C-VI-4 e de sua nota explicativa. Os resultados comprovam a eficácia do emprego de técnicas de integração de dados digitais, para finalidade de mapeamento geológico.

Palavra-chave: cartografia geológica, Frecheirinha, Ceará.

ABSTRACT

The use of digital images processing programs and geographic information systems those consider the import and export of many presenting data, combined to modern computing devices, has made data integration, from many sensors, a support to mapping. In this context, this work is a result from the data integration analysis of remote sensing, airborne and pre existing data, aiming the identification and litho logical and structural characterization of the SA-24-Y-C-VI-4 sheet, southeast located from Frecheirinha thicket. Our first step was centered on cataloging and analyzing pre existing data; our second step was centered on processing, analyzing and rendering individual Landsat-TM images and analyzing and rendering aeromagnetic and aerogammaspectrometry images. The outcome of this work allowed delimiting different lithological units, recognizing the mainly structural systems from the extraction and lineaments analyzing, and, at last, making a SA-24-Y-C-VI-4 sheet geologic map scale 1: 50.000 and its explaining note. The results guarantee the effectiveness of the use of digital data integration techniques to geologic mapping. The use of digital images processing programs and geographic information systems those consider the import and export of many presenting data, combined to modern computing devices, has made data integration, from many sensors, a support to mapping.

Key words: geologic cartography, Frecheirinha, Ceará.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01	Localização da área de trabalho	19
Figura 02	Mapa geológico da folha Frecheirinha (1: 100.000)	20
Figura 03	Imagem retirada no site do <i>Global Land Cover Facility</i>	22
Figura 04	Imagens de sensor TM, mostrando suas diferentes resoluções. Fonte: INPE (2008).	23
Figura 05	Página do site http://glcfapp.umiacs.umd.edu:8080/esdi/index.jsp , de onde se adquire imagens Landsat e do Radar SRTM	23
Figura 06	Mapa Geológico 1: 25.000 (Estágio Pacujá/Subárea V) repassado para meio digital, ajustados aos vetores da folha SA-24-Y-C-VI-4.	25
Figura 07	Imagem planialtimétrica da folha Frecheirinha, com a área da folha SA-24-Y-C-VI-4 e a área recoberta pelos mapas geológicos dos Estágios de Campo II.	26
Figura 08	Mapa de pontos dos afloramentos na região de Mucambo	27
Figura 09	Base planialtimétrica do IBGE	28
Figura 10	Imagem do mosaico Geocover 2000	28
Figura 11	Fluxograma do processamento das imagens Landsat-TM	29
Figura 12	a) Imagem da banda 05 sem correção atmosférica e b) Imagem da banda 05 com a aplicação da correção atmosférica.	30
Figura 13	a) Imagem da banda 05 sem contraste e em b) A banda 05 com realce de contraste	31 e 32
Figura 14	Composição colorida R: 7, G: 4; B:3, com filtro linear 2%	33
Figura 15	Razão 3/1 - 4/2 - 5/7, com filtro linear 2%	34
Figura 16	Imagem da transformação IHS com realce	35

Equalization

Figura 17	Fluxograma do tratamento das imagens aerogeofísicas	36
Figura 18	Exemplo da imagem do canal de potássio separado em domínios	37
Figura 19	Estruturação do banco de dados confeccionados no programa <i>Microsoft Excel</i>	38
Figura 20	Estrutura geral de um Sistema de Informações Geográficas (CÂMARA, 1995).	40
Figura 21	Localização das bacias hidrográficas do estado do Ceará	43
Figura 22	Vista panorâmica do Açude Aires de Souza.	43
Figura 23	Províncias estruturais brasileiras	45
Figura 24	Localização dos domínios estruturais, com os lineamentos que os separam e os núcleos arqueanos.	47
Figura 25	MDT da Folha Frecheirinha, com os principais compartimentos geomorfológicos.	50
Figura 26	Pixel e resolução na imagem digital. Em a) 1200 x 1200 pixels com muitos níveis de cinza que a figura b) Possui 200 x 200 pixels.	53
Figura 27	Exemplos de imagens com resolução espacial (Pereira, 2009).	53
Figura 28	Mapa geológico do estágio de campo 1999 de Pacujá/subárea V, com a litologia (em amarelo) representada no mapa.	59
Figura 29	Mapa de dados estruturais do estágio de campo de Pacujá 1999 /subárea III, com as estruturas (em amarelo) representadas no mapa	60
Figura 30	Banda 04 do Landsat-TM	61
Figura 31	Banda 05 do Landsat-TM.	62

Figura 32	Banda 07 do Landsat-TM	62
Figura 33	Banda 07 do Landsat-TM com realce linear 2%	63
Figura 34	Composição colorida RGB-543 com filtro linear 2%. Essa composição resalta a faixa NE-SW no centro da área	64
Figura 35	Composição colorida R-5, G-4, B-2	65
Figura 36	Composição colorida RGB-752 com filtro linear 2%.	65
Figura 37	Imagem da composição colorida RGB-531	66
Figura 38	Imagem de composição colorida RGB-753	67
Figura 39	Imagem RGB (5/1, 7/1, 3/1).	68
Figura 40	Imagem RGB (3/1, 7/1, 5/1).	69
Figura 41	Imagem RGB (7/1, 5/1, 3/1).	69
Figura 42	Imagem de transformação IHS das bandas 413	70
Figura 43	Imagem de transformação IHS das bandas 413 com filtro <i>Equalization</i>	71
Figura 44	a) Imagem do campo magnético anômalo da folha SA-24-Y-C-VI-4 e b) Domínios magnéticos com valores	72
Figura 45	Mapa da Derivada Vertical (Z)	73
Figura 46	a) Imagem de amplitude do sinal analítico da folha SA-24-Y-C-VI-4 e b) Domínios magnéticos com valores	74
Figura 47	Mapa de lineamentos magnéticos e rosácea mostrando a direção preferencial dos lineamentos magnéticos	75
Figura 48	Mapa radiométrico do canal K	77
Figura 49	Mapa radiométrico do canal K com os domínios	77
Figura 50	Mapa radiométrico do canal U separado em domínios	78
Figura 51	Mapa radiométrico do canal U separado em domínios	79
Figura 52	Mapa radiométrico do canal Th	80

Figura 53	Mapa radiométrico do canal Th separado em domínios	80
Figura 54	(A) Mapa radiométrico do canal CT; (B) Mapa radiométrico do canal CT com domínios e (C) Com alinhamentos de relevo	81
Figura 55	Imagem ternária K-Th-U	83
Figura 56	Mapa integrado dos lineamentos gamaespectrométricos	84
Figura 57	Mapa integrado dos lineamentos magnéticos e gamaespectrométricos	85
Figura 58	Imagem da sobreposição da imagem do canal de CT com a imagem Landsat-TM razão 3/1-7/1-5/1, sendo a imagem que o granito Mucambo é melhor visualizado	87
Figura 59	Imagem da sobreposição da imagem DZ com a imagem Landsat-TM com a razão 7/1-5/1-3/1 com filtro linear 2%, com a falha Café-Ipueiras (F.C.I.) e Lineamento Sobral Pedro II (L.S.P.II). Sendo esta imagem a melhor visualização do grupo Jaibaras	88
Figura 60	Imagem da sobreposição da imagem CT com a imagem Landsat-TM com a razão 3/1-4/2-5/7, com a Formação Ipú em destaque. Sendo esta imagem a melhor visualização dessa Formação	89
Figura 61	Imagem resultante da sobreposição do canal de K com a imagem HSV (4-1-3) com filtro Equalization, com as unidades geológicas destacadas	90
Figura 62	Imagem Landsat-TM razão 7/1-5/1-3/1 com filtro linear 2% integrada com o canal Th, com as unidades geológicas destacadas	91

Figura 63	Mapa integrado de contagem total e landsat-TM composição colorida 753, com as linhas em vermelho identificando ocorrências da Suíte Parapuí	92
Figura 64	Imagem da sobreposição da imagem do canal de CT com a imagem Landsat-TM razão 5/1-7/1-3/1. Delimitação da faixa de hornfels que ocorre na Formação Trapiá	93
Figura 65	Imagem da sobreposição da imagem do canal de CT com a imagem Landsat-TM composição 5-4-2 (RGB) com filtro gaussiano, com as unidades geológicas destacadas	94
Figura 66	Mapa de domínios geomorfológicos da folha SA-24-Y-C-VI-4	96
Figura 67	Mapa de drenagem com as zonas homólogas	98
Figura 68	(A) Mapa dos alinhamentos de drenagem e (B) rosácea dos principais alinhamentos de drenagem	99
Figura 69	(A) Mapa de relevo sombreado com os alinhamentos do relevo e (B) rosácea dos principais alinhamentos do relevo	100
Figura 70	A) Bloco diagrama da fusão MDT (Modelo Digital de Terreno) e imagem Geocover e B) Bloco diagrama do MDE (Modelo Digital de Elevação) sobreposto com a rede de drenagem	101
Figura 71	Coluna litoestratigráfica proposta para a folha SA-24-Y-C-VI-4 a partir da integração de dados pré existentes e aplicação de geotecnologias	103
Figura 72	(A) Afloramento natural de muscovita – biotita gnaiss da Unidade Canindé . (B) Faixas milonitizadas em muscovita-biotita-gnaiss	107
Figura 73	Vista geral do afloramento de muscovita-biotita-gnaiss	108
Figura 74	Contato brusco, de aleitamento tectônico dos	108

	enderbitos (seta vermelha) com as granada-sillimanita gnaiss (seta azul), da Unidade Independência	
Figura 75	Vale do riacho Cajazeira, mostrando uma forma comum de afloramentos de metarenitos da Formação Trapiá	110
Figura 76	Afloramento natural de metarenitos da Formação Trapiá	110
Figura 77	Contato intrusivo entre o Granito Mucambo e arenitos da Formação Trapiá, gerando uma faixa de hornfels	111
Figura 78	Lentes de quartzito nas ardósias da Formação Caiçaras	112
Figura 79	(A) Lajedo de metacalcário da Formação Frecheirinha, intensamente venulado por calcita. (B) Bloco de metacalcário da Formação Frecheirinha, venulado por carbonato	113
Figura 80	Brecha composta de fragmentos de arenito arcoseanos imersos em uma matriz arcoseana	114
Figura 81	Arenito arcoseano com estratificação cruzada da Formação Pacujá	115
Figura 82	Arenito da Formação Pacujá	116
Figura 83	Intercalação de arenitos e siltitos da Formação Pacujá, próximo ao Riacho do Macaco. A estrutura predominante é a estratificação plano paralela	119
Figura 84	Intercalação de arenitos e siltitos da Formação Pacujá, próximo ao Riacho do Macaco. A estrutura predominante é a estratificação plano paralela	121
Figura 85	(A) Granito Mucambo com enclave de gnaiss de forma tabular e (B) Enclave de forma arredondada, granulometria fina, coloração cinza escuro, encontrado no Granito Mucambo, em afloramento de lajedos	121
Figura 86	Afloramento tipo lajedo do Granito Mucambo	122
Figura 87	Bloco conglomerado da Formação Aprazível	122

Figura 88	Grade petrogenética modificada para metassedimentos pelíticos com $P=PH_2O$ segundo Carmichael (1978) <i>in</i> Yardley (<i>op.cit.</i>). Em destaque no retângulo vermelho está a faixa compatível com a paragênese encontrada na folha SA-24-Y-C-VI-4. Fonte: Modificado de Yardley <i>op.cit.</i>	129
Figura 89	Diagrama de fácies metamórficas (Yardley, 1989). As paragêneses aqui descritas estão plotadas no domínio da fácies xisto verde, anfíbolito, anfíbolito alto e granulito	131
Figura 90	Mapa de lineamentos extraído das imagens aerogeofísicas	134
Figura 91	(A) Projeção estereográfica das medidas de foliação, ilustrando os contornos de pólos, com mergulho principal no sentido SE; (B) Relação entre foliação e lineação média da região, demonstrando um rake de 15°	135
Figura 92	(A) Afloramento com rochas apresentando Microdobras; (B) Estereograma de contorno dos pólos, desenhando uma dobra aberta. Guirlanda demonstrando o caimento do eixo em torno de 12° no sentido NE	136
Figura 93	Elipsóide de deformação proposto para a região de estudo, de acordo com as estruturas dúcteis	137
Figura 94	Falha direcional, com movimentação dextral	137
Figura 95	Rosáceas ilustrando o Trend regional NE-SW, nos principais grupos de rochas encontrados na área mapeada; A- Fraturas referentes ao Granito Mucambo; B- Fraturas referentes ao Grupo Jaibaras e C- Fraturas referentes ao Grupo Serra Grande	138
Figura 96	(A) Rosácea gerada a partir de medidas geradas em laboratório baseadas em imagens geofísicas, com trend estrutural NE-SW; (B) ilustração de campo mostrando o padrão de intenso fraturamento nas rochas da área.	139
Figura 97	Elipsóide de deformação proposto para a região de estudo, de acordo com as estruturas rúpteis.	139

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
2	OBJETIVOS	18
2.1	GERAL	18
2.2	ESPECÍFICOS	18
3	LOCALIZAÇÃO DA ÁREA	19
4	MATERIAIS E MÉTODOS	20
4.1	MATERIAIS	20
4.2	MÉTODOS	24
4.2.1	Sensoriamento Remoto	29
4.2.2	Aerogeofísica	35
4.2.3	Banco de Dados	37
5	SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA (SIG) E BANCO DE DADOS	39
5.1	SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA (SIG)	39
5.2	GEOBANK	40
6	ASPECTOS FISIAGRÁFICOS E SÓCIO-ECONÔMICOS DE MUCAMBO	42
6.1	ASPECTOS FISIAGRÁFICOS	42
6.1.1	Clima	42
6.1.2	Vegetação	42
6.1.3	Hidrografia	42
6.2	ASPECTOS SÓCIO-ECONÔMICOS	44
7	CONTEXTO GEOMORFOLÓGICO/GEOLÓGICO REGIONAL	45
7.1	GEOLOGIA REGIONAL	45
7.1.1	Província Borborema	45
7.1.2	Arcabouço Tectônico da Província Borborema	46
7.1.3	Domínios Litoestruturais	46
7.1.3.1	Domínio Médio Coreaú (DMC)	47
7.1.3.2	Domínio Ceará Central (DCC)	48
7.1.4	Geomorfologia do Noroeste do Ceará	48
7.1.4.1	Planície litorânea	48
7.1.4.2	Superfície Sertaneja	49

7.1.4.3 Planalto da Ibiapaba	49
7.1.4.4 Planaltos Residuais	49
8 REFERENCIAL TEÓRICO	51
8.1 SENSORIAMENTO REMOTO	51
8.1.1 Estrutura das imagens de Sensoriamento Remoto	51
8.1.1.1 Resolução	52
8.2 AEROGEOFÍSICA	53
8.2.1 Aeromagnetometria	55
8.2.2 Aerogamaespectrometria	56
8.2.3 Geoprocessamento	57
8.2.4 Cartografia Digital	57
9 RESULTADOS	59
9.1 RESULTADO DA INTEGRAÇÃO DOS MAPAS PRÉ-EXISTENTES	59
9.2 RESULTADO DO PROCESSAMENTO DAS IMAGENS LANDSAT-TM	60
9.2.1 Bandas Individuais	60
9.2.2 Composições Coloridas	63
9.2.3 Razões entre bandas	67
9.2.4 Imagens IHS	70
9.3 RESULTADO DOS DADOS AEROGEOFÍSICOS	71
9.3.1 Aeromagnetometria	71
9.3.2 Aerogamaespectrometria	75
10 INTEGRAÇÃO DE DADOS	86
11 CARTOGRAFIA DA FOLHA SA-24-Y-C-VI-4	95
11.1 GEOMORFOLOGIA	95
11.1.1 Elementos de Drenagem	97
11.1.2 Elementos do Relevo	100
11.2 CARACTERIZAÇÃO DAS UNIDADES GEOLÓGICAS	102
11.2.1 Domínio Ceará Central	106
11.2.2 Domínio Médio Coreaú	109
12.3 MAGMATISMO	124
12.4 METAMORFISMO	126

12.5	GEOLOGIA ESTRUTURAL	133
12.6	EVOLUÇÃO GEOLÓGICA	140
13	CONCLUSÃO	145

1 INTRODUÇÃO

A folha SA-24-Y-C-VI-4, no corte cartográfico internacional, na escala 1: 50.000, correspondendo a parte sudeste da folha Frecheirinha, encontra-se sobre influência do Lineamento Sobral-Pedro II, que é uma estrutura geológica que separa dois domínios tectônicos, respectivamente Médio Coreaú e Ceará Central, que estão inseridos no contexto geológico da Província Borborema. A Província continuamente está sendo estudada por diversos pesquisadores e seu conceito foi introduzido pela primeira vez por Almeida et al. (1977), como sendo um retalho de terrenos de diferentes litologias separados por falhas e lineamentos importantes. Segundo Brito Neves e Van Schmus (2001) é em sua maior parte formada por um embasamento cristalino, apresentando, contudo, importantes seqüências sedimentares.

O acervo geológico pré-existente (relatórios e mapas) da disciplina Estágio de Campo II, oferecida pela Faculdade de Geologia, foi catalogado, vetorizado, analisado e reinterpretado, com objetivo de disponibilizá-lo em formato digital.

O desenvolvimento nas últimas décadas de programas de processamento de imagens digitais e de georreferenciamento de dados estabeleceram um novo conceito na pesquisa geológica básica, no que se refere à extração, manipulação e análise de informações integradas provenientes das diferentes áreas das geociências.

Neste trabalho demonstra-se que a utilização de produtos de sensoriamento remoto, em conjunto com dados geológicos, cartográficos e aerogeofísicos, integrados via Sistemas de Informações Geográficas (SIG), permitem a confecção de imagens e mapas temáticos, os quais possibilitam, por exemplo, definir domínios geomorfológicos, unidades lito-estruturais e padrões de distribuição de elementos radiogênicos em superfície.

Para este propósito foram utilizadas imagens digitais do sensor Thematic Mapper (TM) do satélite Landsat – 5, correspondentes às bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7; imagens geradas a partir de dados geofísicos de aerogamaespectrometria, canais de K, U, Th e CT, equivalentes aos radioisótopos de potássio, urânio e tório, e contagem de radiação total; imagens formadas a partir de dados geofísicos de magnetometria, correspondentes à intensidade de campo magnético total.

2 OBJETIVOS

2.1 GERAL

Elaborar a cartografia geológica, em base digital, da folha SA-24-Y-C-VI-4 na escala de 1: 50.000 com dados geológicos primários e secundários.

2.2 ESPECÍFICOS

- Integrar na escala de 1: 50.000 informações geológicas pré-existentes dos trabalhos de campo da disciplina Estágio de Campo II;
- Compilar banco de dados em meio digital, dos mapeamentos geológicos realizados na área de interesse desse trabalho;
- Processar digitalmente imagens de sensores remotos óticos Landsat-TM e radar SRTM, com a finalidade de remover degradações e distorções, inerentes aos processos de aquisição, transmissão e visualizações imperceptíveis ao sistema visual humano, facilitando a extração de informações a partir destas imagens;
- Extrair informações dos dados aerogeofísicos do projeto Rio Acaraú, de interesse para a área de trabalho;
- Montar um SIG para facilitar a busca por informações referentes ao contexto geológico da Folha Frecheirinha;
- Produzir e descrever mapa geológico da folha em questão, a fim de disponibilizar suas informações.

3 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA

A área de estudo está inserida na porção sudeste da Folha Frecheirinha (SA-24-Y-C-VI) 1: 100.000. É limitada pelas coordenadas $40^{\circ}45'0''$ e $40^{\circ}30'0''$ de longitude oeste e $4^{\circ}0'0''$ e $3^{\circ}45'0''$ de latitude sul, respectivamente (FIGURA 01).

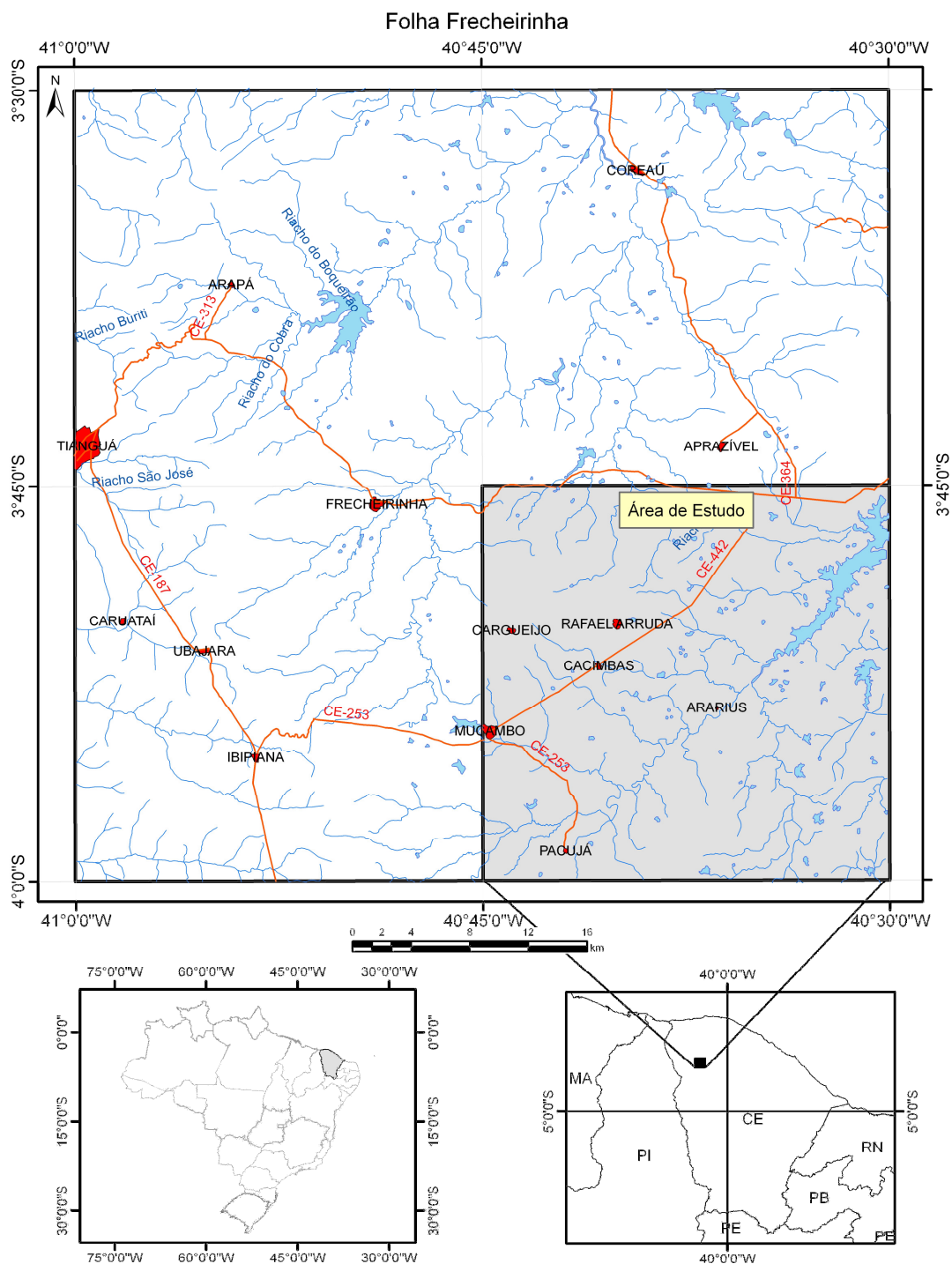


FIGURA 01 – Localização da área de trabalho. Fonte: Base de dados Atlas Ceará – CPRM (2003).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 MATERIAIS

Foram utilizados mapas da folha Frecheirinha 1: 100.000 confeccionado pela CPRM (2007) (FIGURA 02), entretanto, as informações utilizadas nessa escala foram restritas e mapas em escalas 1: 25.000, provenientes de mapeamentos geológicos realizados pelo Instituto de Geociência (IG), precisamente na disciplina Estágio de Campo II.

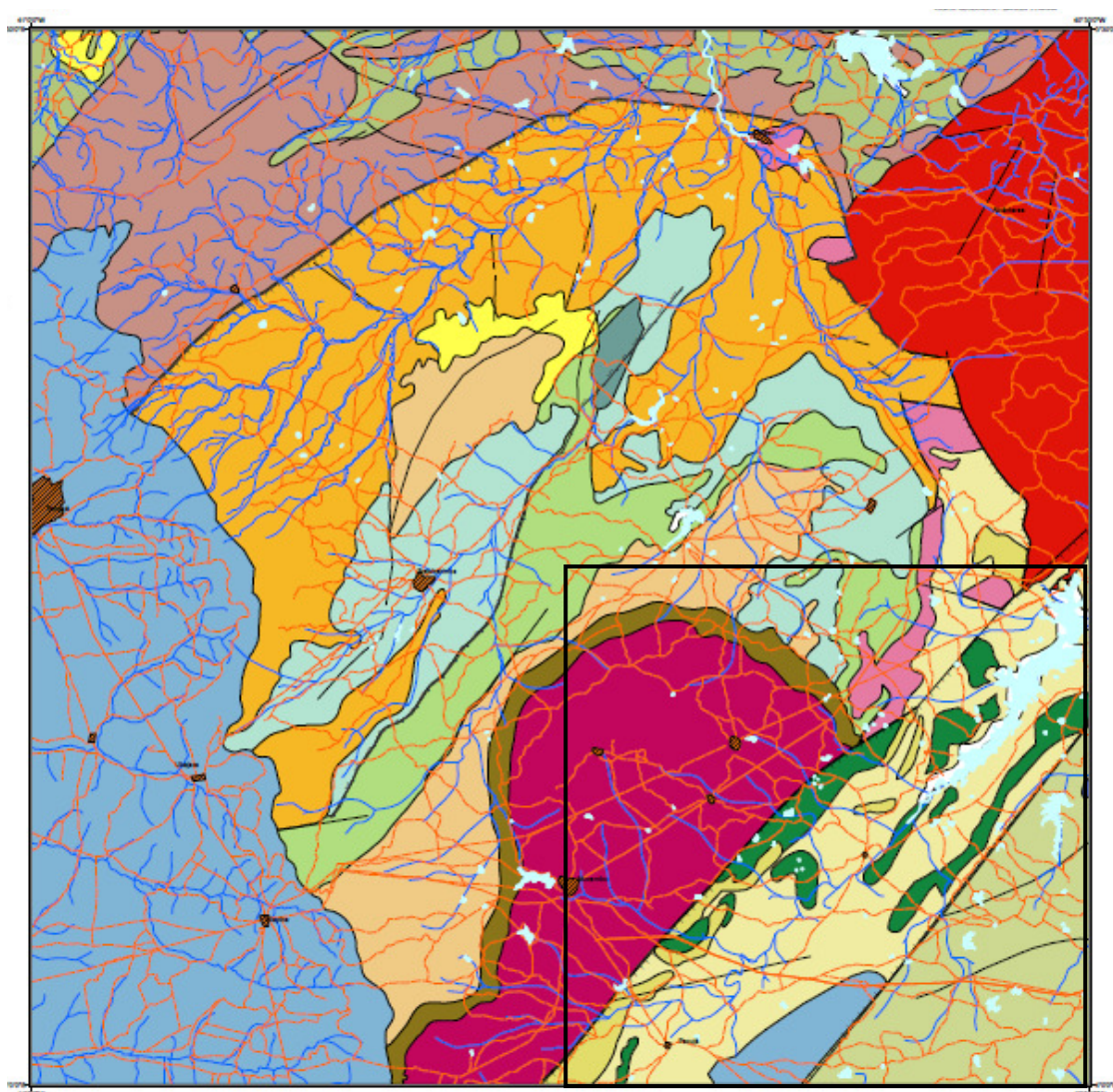


FIGURA 02 – Mapa geológico da folha Frecheirinha (1: 100.000), delimitando a área de estudo. Fonte: CPRM (2007).

O acervo técnico da disciplina Estágio de Campo II (TABELA 01), que ocorreram nos anos de 1988, 1993 e 1999, foram catalogados para esse trabalho. Além dos relatórios, foram resgatados mapas geológicos, geomorfológicos, estrutural, de amostragem e de drenagem (TABELA 02).

TABELA 01 – Relação dos relatórios dos Estágios de Campo II executados na folha Frecheirinha resgatados.

ESTÁGIO DE CAMPO	QUANTIDADE	SUBÁREA
COREAÚ (1988)	7	I, II, III, IV, V, VI, VII
MUCAMBO (1993)	7	III, IV, V, VI, VIII, X, XI, XIV
PACUJÁ (1999)	8	I, II, III, IV, V, VI, VI

TABELA 02 - Tabela com a relação dos mapas geológicos, amostragem, drenagem e geomorfologia/estrutural resgatados dos Estágios de Campo II que ocorreram na folha SA-24-Y-C-VI-4.

ESTÁGIOS DE CAMPO	COREAÚ (1988)	MUCAMBO (1993)	PACUJÁ (1999)
MAPA GEOLÓGICO	VI	VII, XIV, XII	I, II, III, IV, V, VI, VI
MAPA DE AMOSTRAGEM	I, II, III, IV, IX, X	X, XII, XIV	I
MAPA DE DRENAGEM	I, II, III, IV, V, VI, VI VIII, IX	IV, VII	-
MAPA DE GEOMORFOLOGIA/ ESTRUTURAL	-	I, II, III, IV, VII, VIII, X, XI, XIII, XIV	-

Foi utilizada a base planialtimétrica do IBGE, da folha Frecheirinha do ano de 1978, na escala 1: 100.000, disponível em formato digital para *download* no site do IPECE.

As imagens do Mosaico Geocover 2000, fazem parte do mosaico ortorretificado de imagens do satélite Landsat-7 resultante da fusão das bandas 7, 4, 2 com a banda 8. Essas imagens foram coletadas no período de 1999/2000, apresentam resolução espacial de 14,25 m e estão disponíveis para *download* no site da Nasa.

As imagens ópticas, do satélite Landsat-TM (Land Remote Sensing Satellite), corresponde a cena WRS 2: 218/062, foram obtidas gratuitamente no site *Global Land Cover Facility* (FIGURA 03), de 29 de maio de 2009, capturada as 23:24:49 horas.

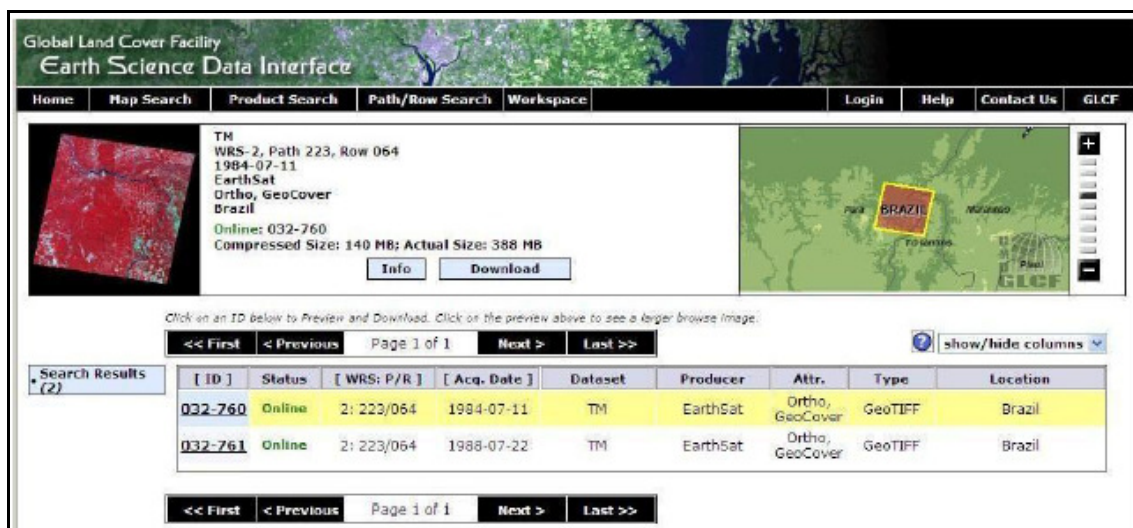


FIGURA 03 – Imagem retirada no site do *Global Land Cover Facility*.

A geração de satélites Landsat, da qual fazem parte os satélites Landsat 4 (lançado em 16 de julho de 1982) e Landsat 5 (lançado em 1 de março de 1984), teve as câmaras RBV (Return Beam Vidicon) substituídas por um novo explorador de varrimento, denominado TM (*Thematic Mapper*), especialmente desenhado para a cartografia temática, que continha um maior número de detectores por bandas (16 para canais não térmicos). A resolução espacial do TM é de 30 m nos canais 1, 2, 3, 4, 5 e 7 e de 120 m no canal 6. A resolução radiométrica é de 8 *bits* – 256 níveis digitais.

Os satélites TM tem suas características detalhadas na TABELA 03.

TABELA 03 - Características das imagens Landsat-TM.

BANDA	TAMANHO DA IMAGEM	ÓRBITA	RESOLUÇÃO ESPECTRAL	RESOLUÇÃO ESPACIAL	TAMANHO DA CENA	ALTITUDE
1	56586318 bytes	Polar, circular e heliossíncrina.	0,45 a 0,52 μm	30 m	185 x 185 km	705 km
2	56586318 bytes		0,50 a 0,60 μm			
3	56586318 bytes		0,63 a 0,69 μm			
4	56586318 bytes		0,76 a 0,90 μm			
5	56586318 bytes		1,55 a 1,75 μm			
7	56586318 bytes		2,08 a 2,35 μm			

Fonte: Disponível no site da Embrapa CNPM.

Na FIGURA 04 é possível observar a diferença na resolução das bandas.

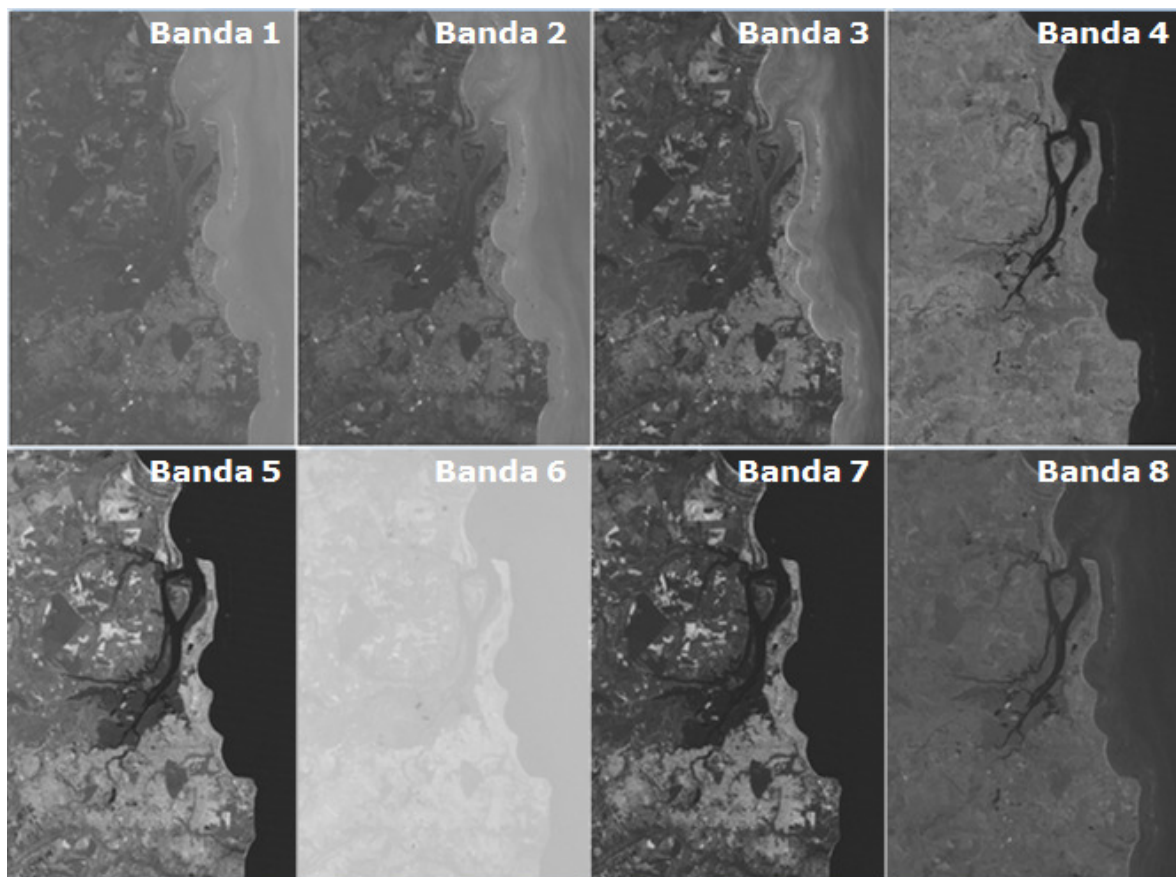


FIGURA 04 – Imagens de sensor TM, mostrando suas diferentes resoluções. Fonte: INPE (2008).

No mesmo site anterior, está disponível um mosaico de imagens SRTM da América do Sul no formato *Tiff* (*Tagged Image File Format* – é uma formato de arquivo *raster* para imagens) (FIGURA 05).

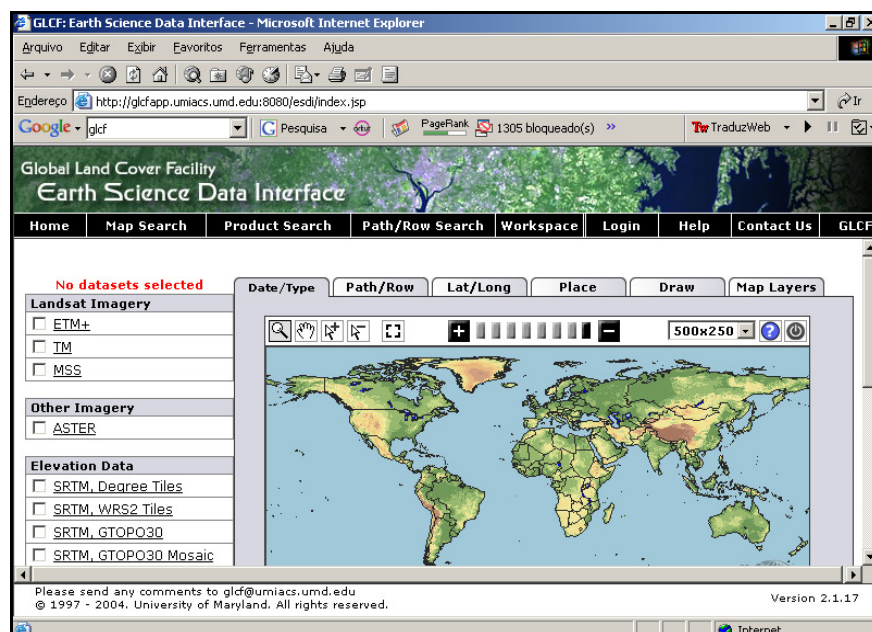


FIGURA 05 – Página do site Global Land Cover, de onde se adquire imagens Landsat e do Radar SRTM.

Os dados aerogeofísicos são do Projeto Rio Acaraú (1974), realizado na região NW do Ceará, onde foram levantados um total de 103.720.000 km de perfis a uma altura de vôo de 150m controlada por radar-altímetro. As linhas de vôo deste projeto tem direções N-S, com espaçamentos entre linhas de 1000 e 500 metros e linhas de controle perpendiculares (E-W), com espaçamentos de 20 km. A área total dos levantamentos foi de aproximadamente 59.000 km² (TABELA 04). Essa base de dados encontrava-se em forma de arquivo digital XYZ, onde X e Y correspondem as coordenadas UTM e Z as medidas de magnetometria e gamaespectrometria.

TABELA 04—Síntese das principais características do aerolevantamento. Fonte: Site da CPRM.

PROJETO	RIO ACARAÚ
Método	Magnetometria e Gamaespectrometria
Contratante	CPRM
Contratado	PROSPEC S.A.
Contrato	213/DA/74 – 05/08/74
Período	08 a 12/1975
01	01
Total de Perfis	23.720 km
Intervalo de Amostragem	2 s
Altura de Vôo	150 metros
Área Total	21.000 km
Direção da Linha de Vôo	N-S
Espaçamento da Linha de Vôo	1000 metros
Direção da Linha de Controle	E-W
Espaçamento da Linha de Controle	20 km
Tempo de Integração Gama	2
Produtos	Registros analógicos; filmes de rasteiro; fotomosaicos com posicionamento dos perfis; fitas magnéticas de campo.

4.2 MÉTODOS

O trabalho compreendeu a revisão bibliográfica, catalogação de acervo técnico, obtenção dos dados, passando pelo pré-processamento e processamento das imagens de sensoriamento remoto, análise das imagens aerogeofísicas e elaboração do mapa preliminar. Em seguida ocorreu a integração dos dados digitais, até a fase final de discussão dos resultados, construção do banco de dados digital e a elaboração do mapa geológico final.

Todas as imagens foram georreferenciadas em coordenadas UTM e *datum* WGS 84, recortadas para a área de trabalho e as suas informações vetorizadas (*shapefile*) e analisadas no ArcGis 9.3.

Os mapas na escala 1: 25.000, analógicos, foram *scanerizados*, georreferenciados e em seguida tiveram suas informações vetorizadas (FIGURA 06).

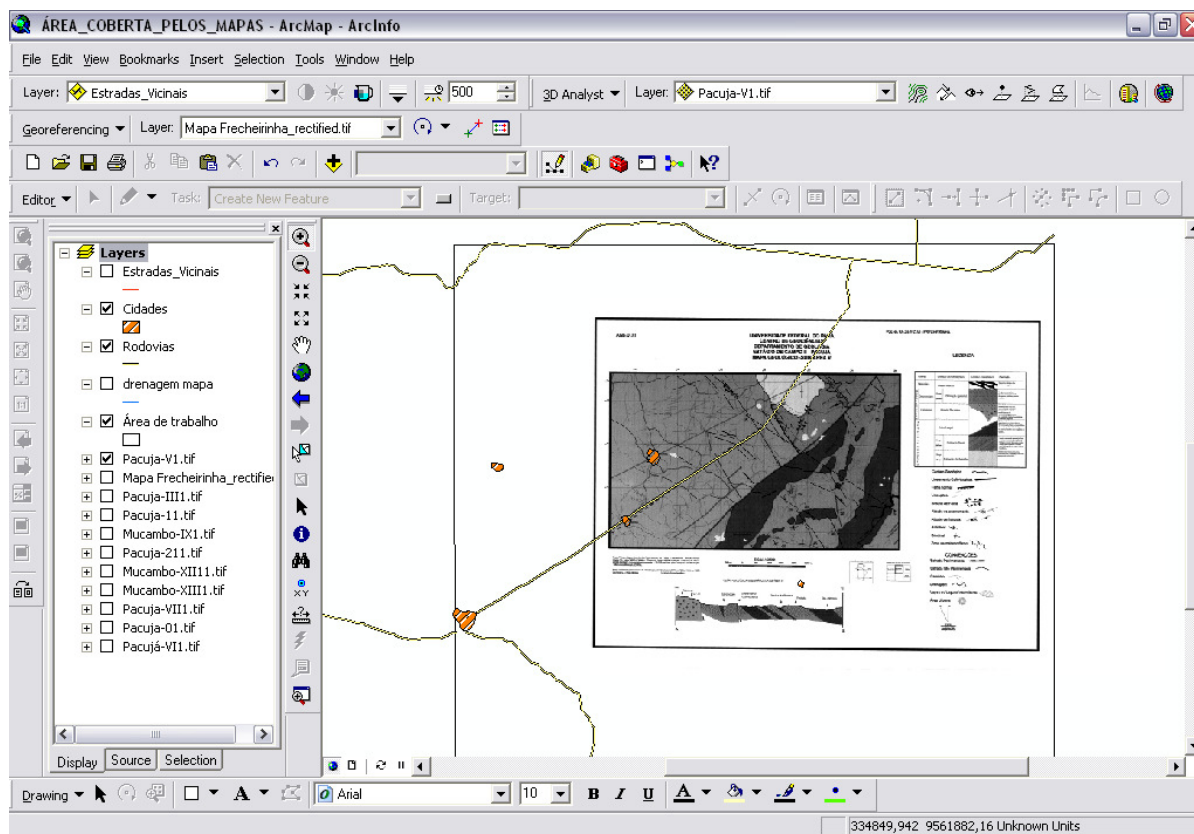


FIGURA 06 - Mapa Geológico 1: 25 000 (Estágio Pacujá/Subárea V) repassado para meio digital, ajustados aos vetores da folha SA-24-Y-C-VI-4.

A partir desse procedimento foi possível definir a área total recoberta pelos estágios de campo II na área de estudo (FIGURA 07).

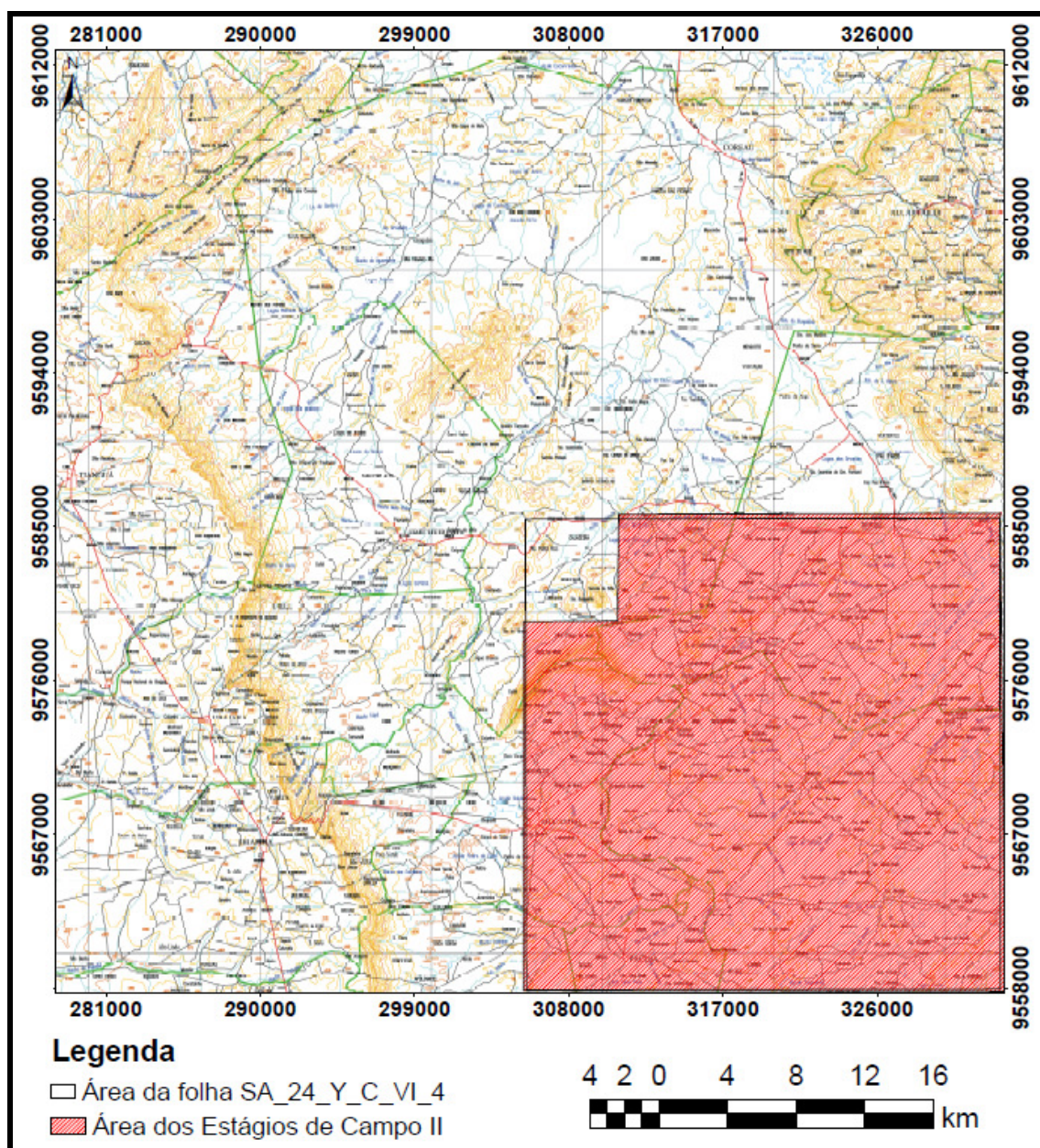


FIGURA 07 – Imagem planialtimétrica da folha Frecheirinha, com a área da folha SA-24-Y-C-VI-4 e a área recoberta pelos mapas geológicos dos Estágios de Campo II.

Com as informações obtidas através da catalogação do acervo técnico foi elaborado um mapa de pontos da área de trabalho (FIGURA 08), para a melhor caracterização do mapa geológico.

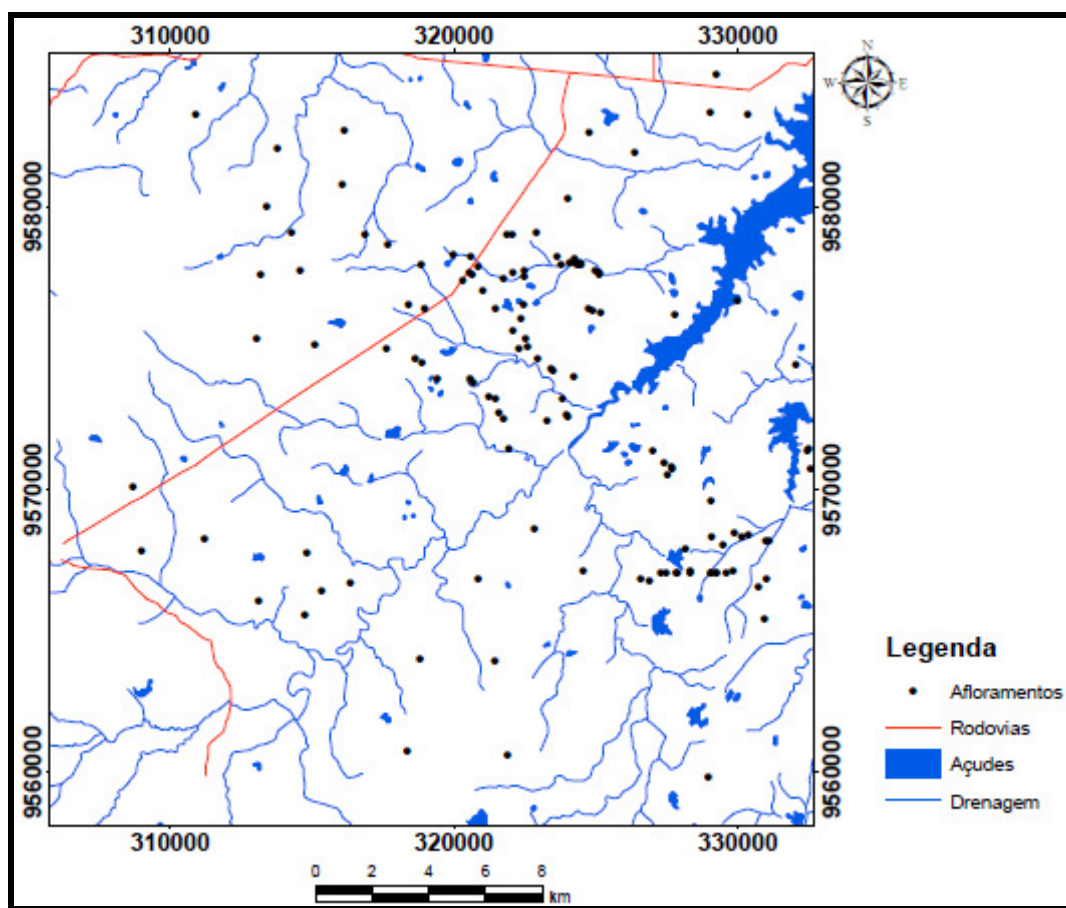


FIGURA 08 - Mapa de pontos dos afloramentos na região de Mucambo. Recorte da área de trabalho.

Após utilizar os mapas do acervo técnico na vetorização, os vetores tais como rodovias, estradas, drenagens, açudes, entre outros, foram digitalizados sobre a base planialtimétrica e mosaico geocover 2000, escala 1: 100.000, da folha Frecheirinha (FIGURA 09 e FIGURA 10), para a melhor definição dos mesmos.



FIGURA 09 - Base planialtimétrica do IBGE. Recorte da área de trabalho.

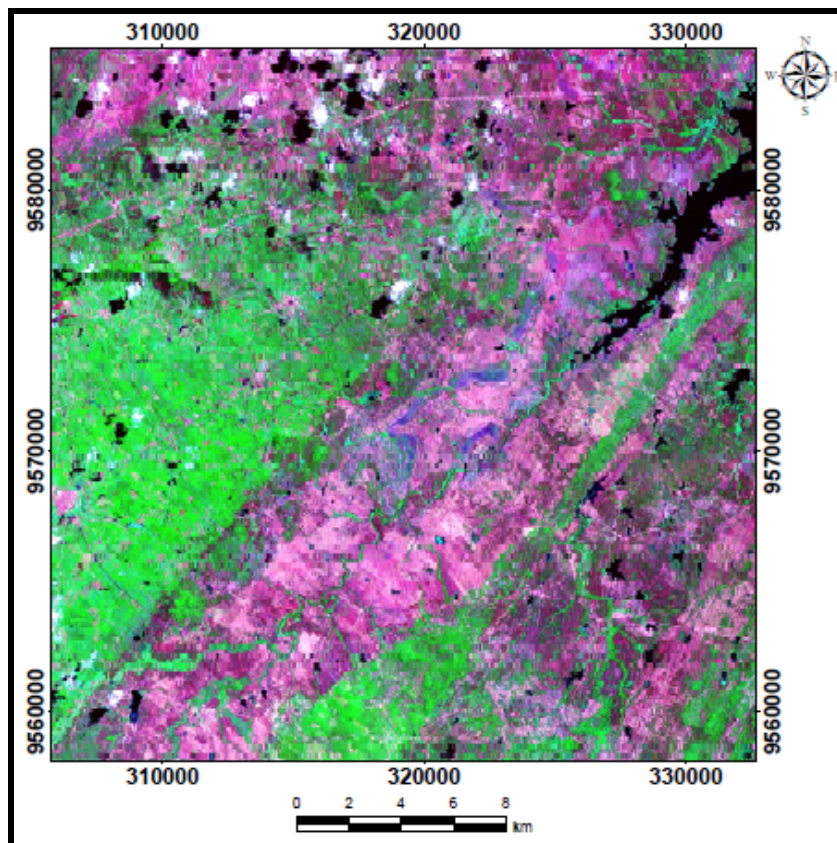


FIGURA 10 – Imagem do mosaico Geocover 2000. Recorte da área de trabalho.

4.2.1 Sensoriamento Remoto

Os produtos de sensoriamento remoto, como imagens do satélite Landsat-TM, do radar SRTM e fotografias aéreas, foram utilizadas como base cartográfica e topográfica, auxiliando na delimitação de unidades geológicas. São necessárias algumas correções nas imagens Landsat-TM objetivando a remoção de distorções, para obter uma melhor interpretação. O processamento digital das imagens de sensoriamento remoto é feita em duas etapas: o pré-processamento e o processamento (FIGURA 11).

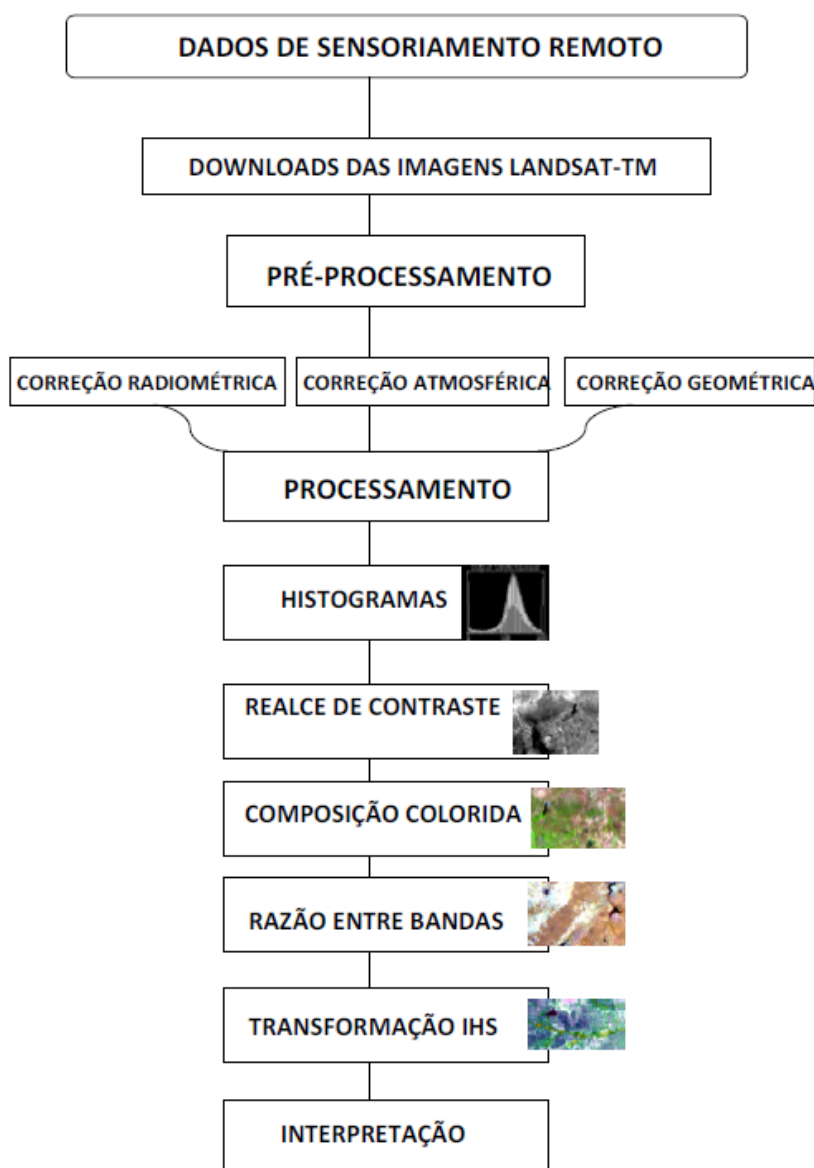


FIGURA 11 – Fluxograma do processamento das imagens Landsat-TM.

I. Pré-processamento

Consiste na preparação dos dados de satélites para a classificação. Nesta fase empregam-se técnicas visando melhorar a qualidade dos dados.

As imagens na forma em que são recebidas originalmente dos satélites, apresentam degradações radiométricas devido a desajustes na calibração dos detetores, erros esporádicos na transmissão dos dados, influências atmosféricas e distorções geométricas. Todas estas imperfeições, se não corrigidas, podem comprometer os resultados e produtos derivados das imagens. O pré-processamento é a etapa preliminar do tratamento digital de imagens (FIGUEIREDO, 2005). Na FIGURA 12 é apresentado o exemplo da imagem Landsat-TM na banda 05.

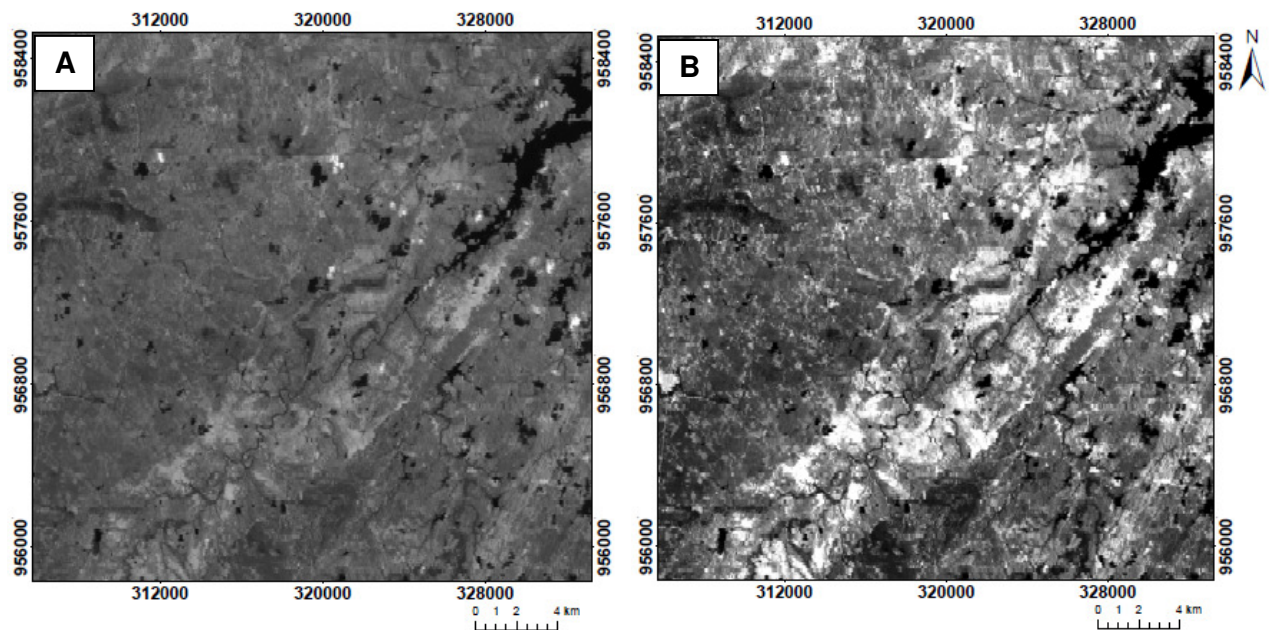


FIGURA 12 – a) Imagem da banda 05 sem correção atmosférica e b) Imagem da banda 05 com a aplicação da correção atmosférica. Observa-se que houve uma melhora na luminosidade da imagem, aprimorando a análise das principais feições. Recorte da área de trabalho.

As filtragens são muito utilizadas para realçar bordas, feições lineares e padrões de textura. Isso é feito através da supressão ou realce de determinadas frequências espaciais (IBGE, 2001). Consiste de operações espaciais que “filtram” determinadas frequências no sentido de suavizar ou realçar a diversidade.

As técnicas de filtragem espectral objetivaram a caracterização espectral e radiométrica das litologias presentes na área. A manipulação de contraste das diferentes bandas TM foi implementada através da manipulação linear de contraste e *equalization*.

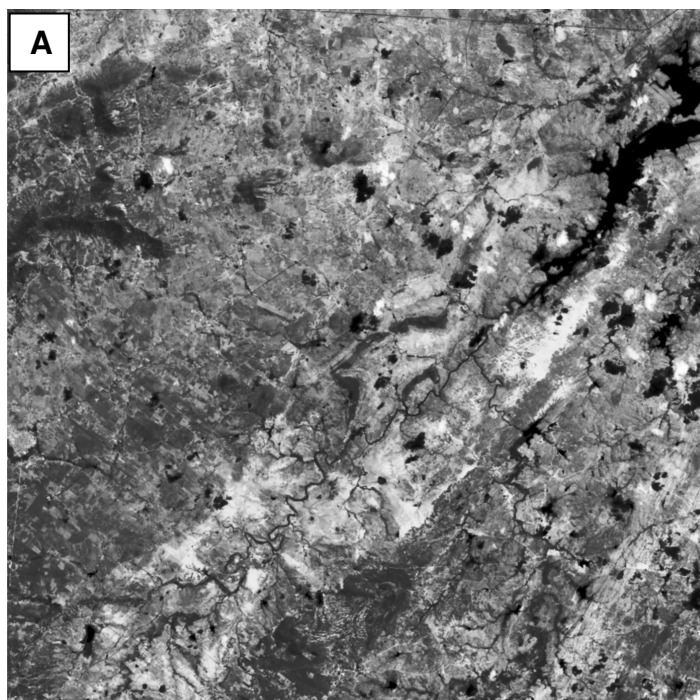
II. Processamento

Realce de Contraste

A principal função do contraste é apresentar, de forma mais clara, a informação contida nos dados originais, para uma melhor interpretação humana. O aumento de contraste é uma das mais importantes técnicas de processamento para extração de informações das imagens de sensores remotos, entretanto deve-se ter clareza dos motivos que se vai aplicar o contraste, visto que o processamento poderá alterar o resultado das operações subseqüentes, pois parte das informações podem ser perdidas, dependendo de como vai ser feito o aumento do contraste (SANTOS, 2002).

As principais causas de um baixo contraste de uma imagem são: presença de bruma atmosférica; má iluminação; desempenho deficiente do sensor e próprias características da cena.

Em todas as imagens da área de estudo esse procedimento foi feito e após a correção houve uma melhora significativa na qualidade das imagens na FIGURA 13 observa-se o exemplo da imagem Landsat-TM na banda 05. O corpo que está na porção noroeste da área, é pouco visível na imagem (a), porém após o realce do contraste, esse corpo ficou mais visível, podendo até ser delimitado (b).



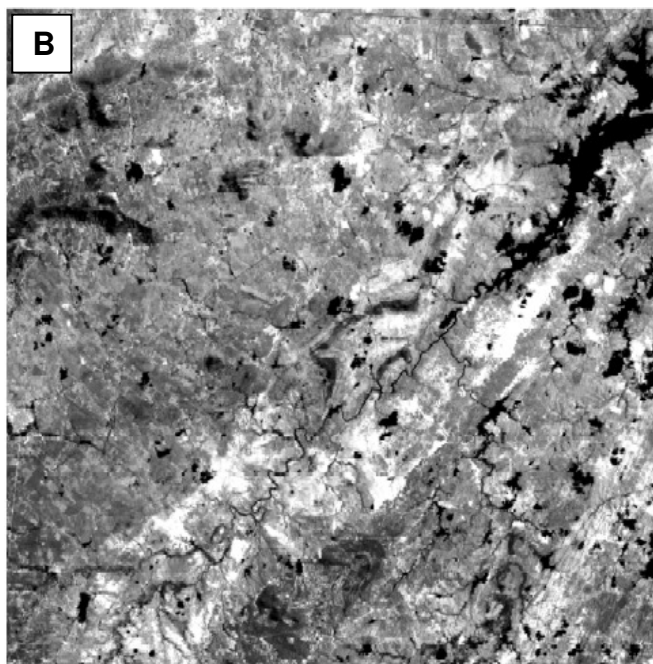


FIGURA 13 – a) Imagem da banda 05 sem contraste e em b) A banda 05 com realce de contraste. Recorte da área de trabalho.

Composição Colorida

Trata-se de um dos artifícios de maior utilidade na interpretação das informações do SR. Ela é fundamental para uma boa identificação e discriminação dos alvos terrestres. As composições coloridas possibilitam a visualização de feições menos perceptíveis em escala de cinza. É produzida na tela do computador, ou em outro dispositivo qualquer, atribuindo-se as cores primárias (vermelha, verde e azul), a três bandas espectrais quaisquer. Este artifício é também conhecido como composição RGB (do inglês: Red, Green, Blue). As cores são obtidas a partir da apresentação de três bandas, correspondentes a intervalos espectrais distintos, como a utilização de um sistema aditivo de cores de modo que a cada banda é atribuída uma das cores primárias. A combinação de três bandas codificadas por essas cores resulta em uma imagem colorida (FIGUEIREDO, 2005). Todas as composições coloridas foram feitas com o objetivo de ressaltar a geologia da região.

A composição colorida 743 (R: 7, G: 4; B:3), com filtro linear 2%, ressaltou uma faixa de direção NE-SW, de cor esbranquiçada, no centro da imagem. Essa faixa corresponde às unidades que ficam entre a falha Café-Ipueiras e o lineamento Sobral-Pedro II (FIGURA 14).

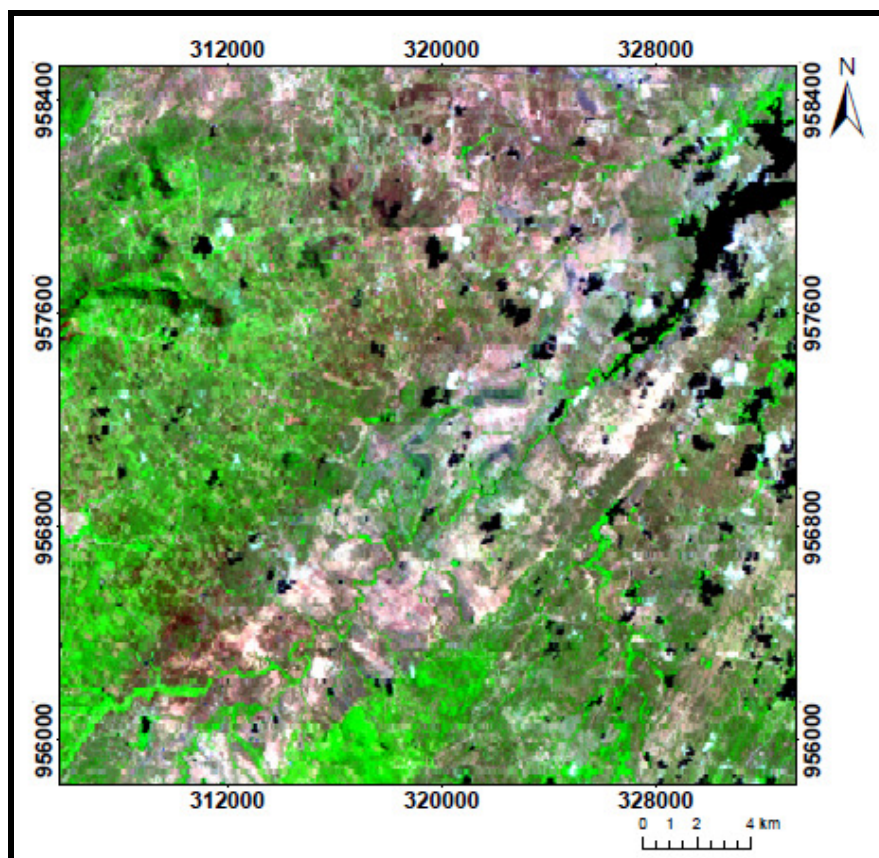


FIGURA 14 – Composição colorida R: 7, G: 4; B:3, com filtro linear 2%. Recorte da área de trabalho.

Razão entre Bandas

A operação matemática razão entre bandas permite discriminar sutis diferenças existentes no comportamento espectral de diferentes alvos, pois em bandas originais apenas diferenças grosseiras são observadas. Assim, observando o comportamento espectral dos alvos de interesse, para a aplicação da razão, as bandas são selecionadas visando seus valores máximos e mínimos de reflectância, afim de que se expressem os gradientes da curva espectral dos objetos de interesse, proporcionando o realce destes alvos (SESTINI, 1999).

Na FIGURA 15 tem-se o exemplo da razão entre bandas RGB (3/1 - 4/2 - 5/7), feito para a área de estudo. Nesta imagem é possível destacar a malha rodoviária com a visibilidade da CE-442, malha urbana com cidade de Mucambo e rede de drenagem, que assumiu coloração clara e o açude Aires de Souza que assumiu coloração escura. Ainda é possível destacar a área do Granito Mucambo e da Formação Ipú (Grupo Serra Grande), que assumiu coloração azul na porção sul.

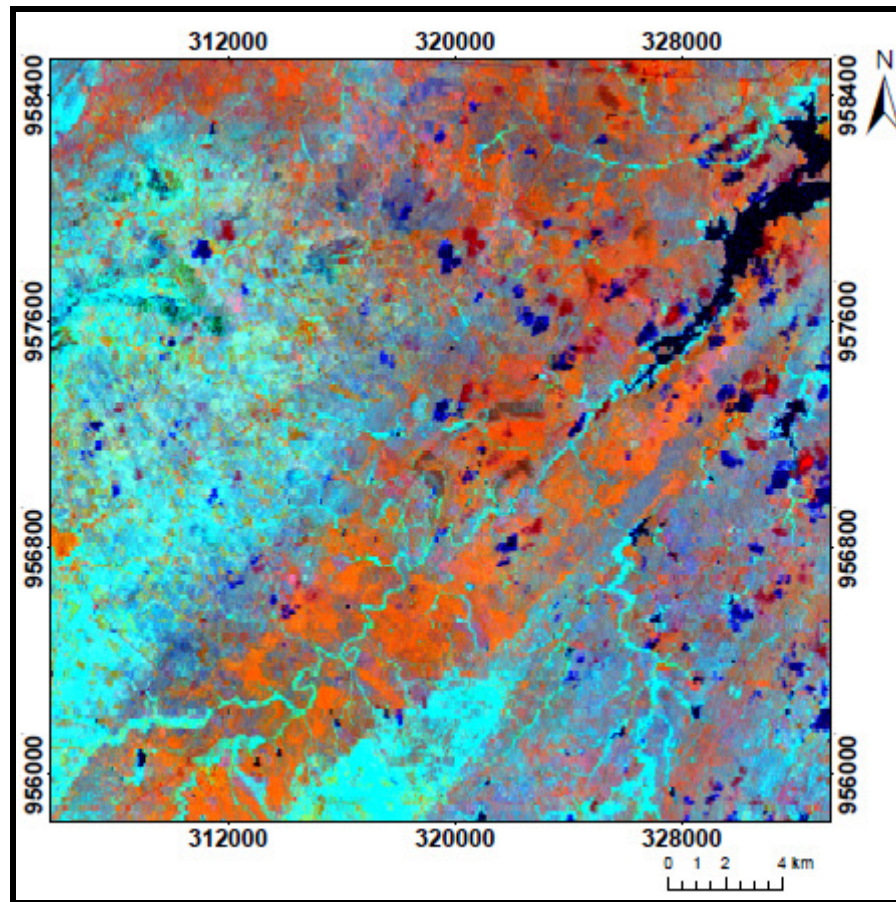


FIGURA 15 - Razão 3/1 - 4/2 - 5/7, com filtro linear 2%.

Transformação IHS

A cor do objeto, em uma imagem, é representada pelas intensidades das componentes vermelho R, verde G e azul B, no sistema de cores RGB, ou pela intensidade I, pela cor ou matiz H e pela saturação S no espaço IHS. O espaço de cores IHS pode ser graficamente representado por um cone. Na transformação RGB para IHS, escolhem-se três bandas de uma imagem e associa cada banda a um dos componentes RGB. Assim, cada "*pixel*" na imagem de saída possuirá uma correspondência a um ponto no espaço IHS. O resultado é um conjunto de três novas imagens: uma de intensidade, uma de matiz e outra de saturação. Estas imagens podem ser realçadas, expandindo o intervalo de intensidade e saturação através de contraste, e, quando convertidas de IHS para RGB, permitem melhor separação das cores e das feições que se deseja observar (SANTOS, 2009).

Na FIGURA 16, composta para a área de estudo, é possível observar como se apresenta a imagem RGB-413 após a transformação IHS com realce Equalization. Essa imagem, mais uma vez, ressaltou a geologia da área.

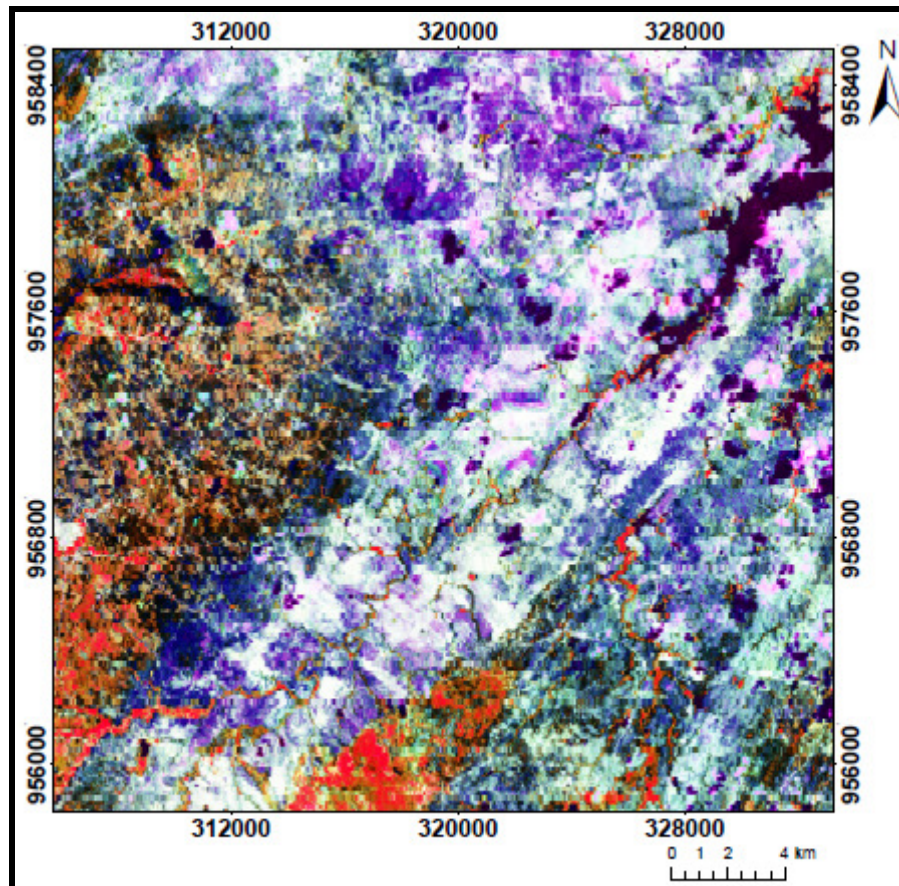


FIGURA 16 – Imagem da transformação IHS com realce *Equalization*.

4.2.2 Aerogeofísica

As imagens aerogeofísicas foram processadas por Santos (2009), tendo as etapas resumidas no fluxograma da FIGURA 17. Essas imagens foram separadas em domínios (FIGURA 18). Os lineamentos magnetométricos e gamaespectrométricos foram extraídos e posteriormente analisados. Essas imagens forneceram informações sobre o comportamento regional, em superfície e sub-superfície das feições geológicas presentes.

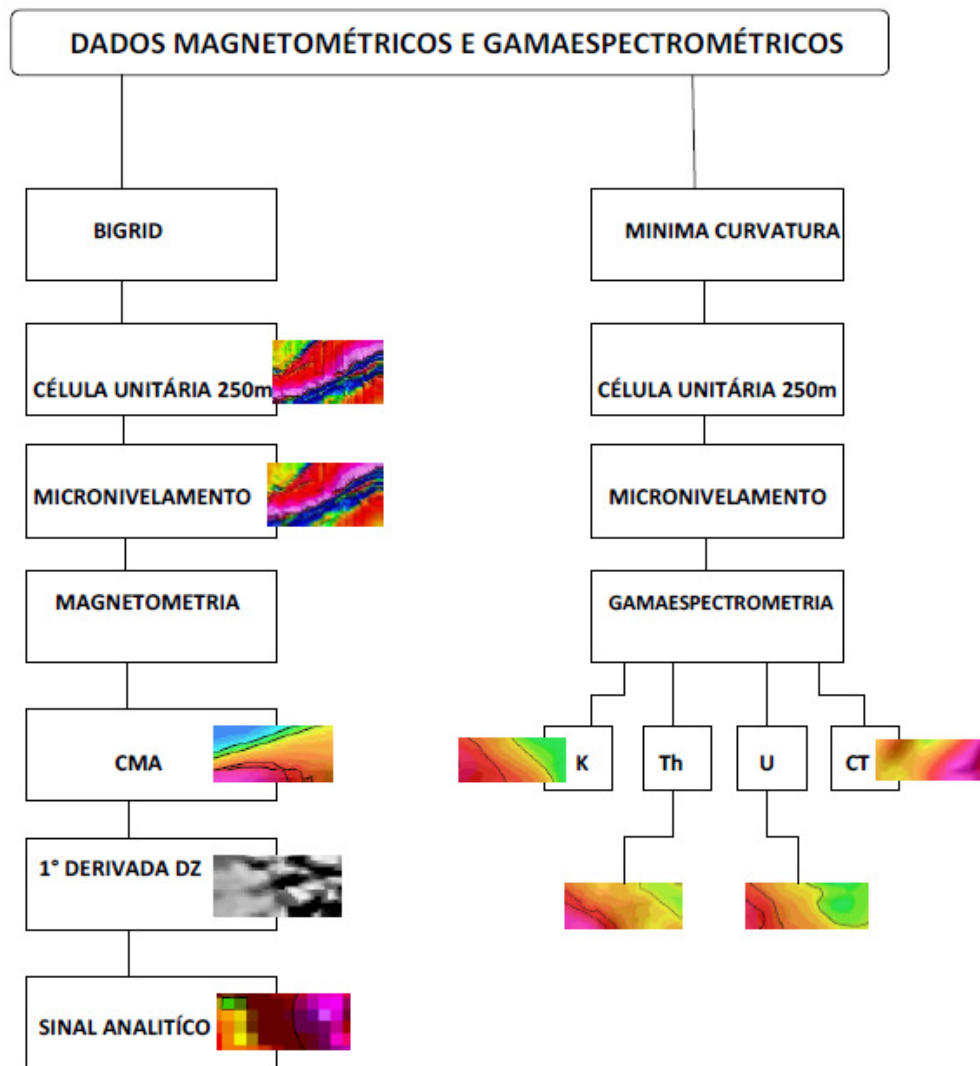


FIGURA 17 – Fluxograma do tratamento das imagens aerogeofísicas.

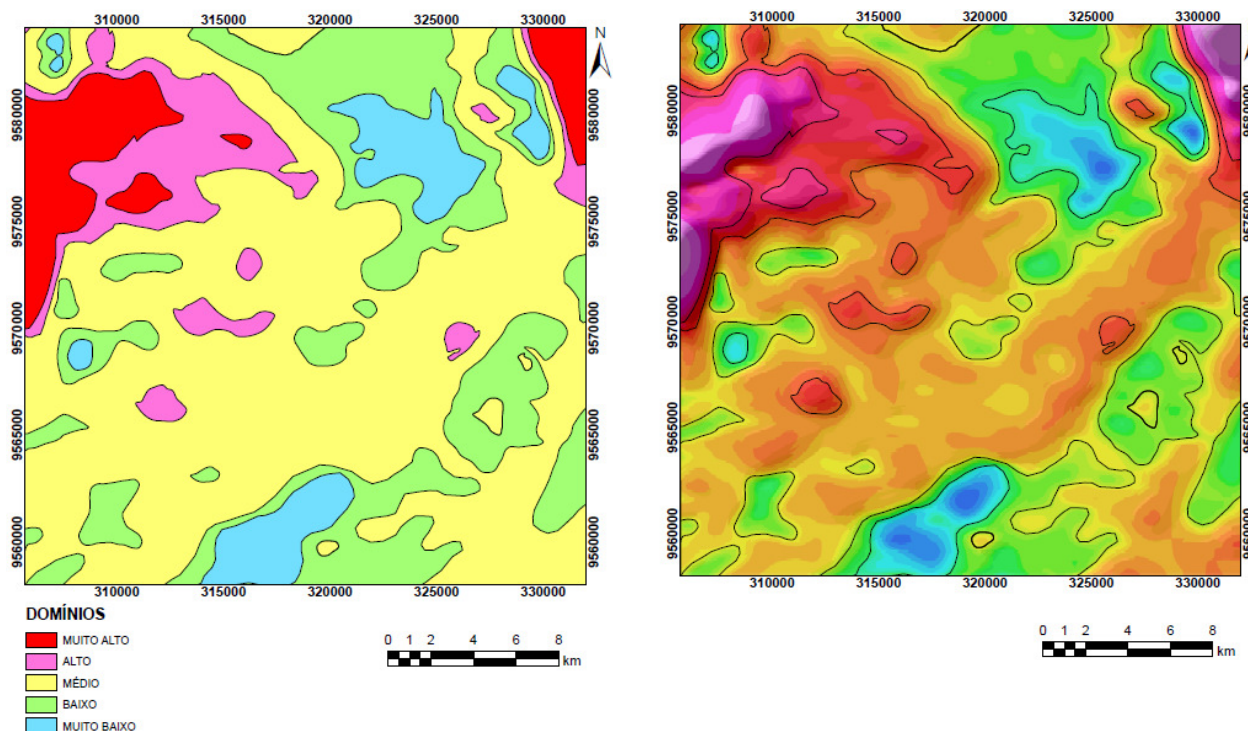
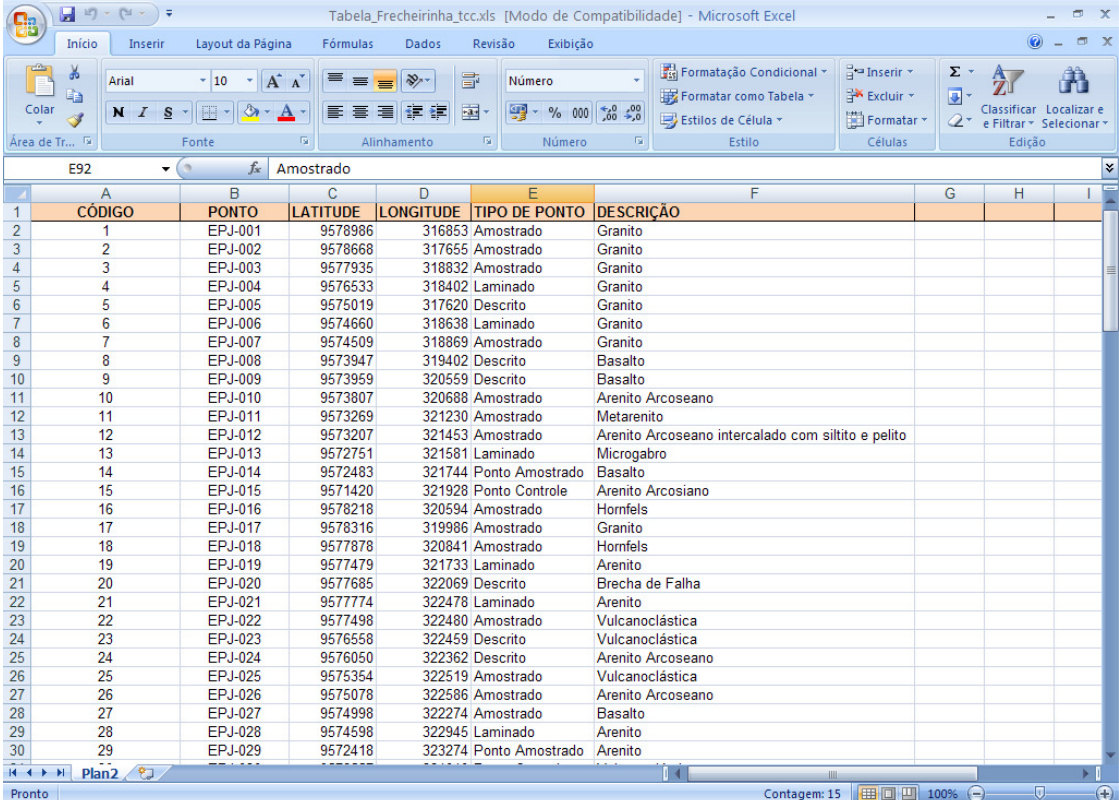


FIGURA 18 - Exemplo da imagem do canal de potássio separado em domínios. Recorte da área de trabalho.

Para a integração dos dados geofísicos foi realizada, primeiramente, a sobreposição dos mapas interpretados para os dois métodos utilizado. Como as imagens de cada método foram geradas a partir de dados de dois campos físicos referentes a fontes distintas, a superposição dessas informações foi realizada de maneira criteriosa. A utilização das informações dos dados magnéticos foi baseada nas unidades de caráter mais superficial como, por exemplo, as imagens da derivada vertical e da amplitude do sinal analítico. Dessa forma foi gerada a composição dos dois temas (gamaespectrometria e magnetometria).

4.2.3. Banco de Dados

A integração das informações objetivou a construção de um banco de dados em meio digital sobre a região em questão, no Base Aflora, programa desenvolvido pela CPRM, tornando os dados de domínio público. Primeiramente é feito a tabela no *Microsoft Excel* (FIGURA 19), para depois esses dados serem repassados para ambiente SIG, com a finalidade de fornecer informações dos trabalhos de campo.



The screenshot shows a Microsoft Excel spreadsheet titled 'Tabela_Frecheirinha_tcc.xls [Modo de Compatibilidade] - Microsoft Excel'. The spreadsheet contains a table with 6 columns: A (CÓDIGO), B (PONTO), C (LATITUDE), D (LONGITUDE), E (TIPO DE PONTO), and F (DESCRIÇÃO). The data is organized into 29 rows, each representing a specific geological point. The table is structured as follows:

	A	B	C	D	E	F
	CÓDIGO	PONTO	LATITUDE	LONGITUDE	TIPO DE PONTO	DESCRIÇÃO
1	1	EPJ-001	9578986	316853	Amostrado	Granito
2	2	EPJ-002	9578668	317655	Amostrado	Granito
3	3	EPJ-003	9577935	318832	Amostrado	Granito
4	4	EPJ-004	9576533	318402	Laminado	Granito
5	5	EPJ-005	9575019	317620	Descrito	Granito
6	6	EPJ-006	9574660	318638	Laminado	Granito
7	7	EPJ-007	9574509	318869	Amostrado	Granito
8	8	EPJ-008	9573947	319402	Descrito	Basalto
9	9	EPJ-009	9573959	320559	Descrito	Basalto
10	10	EPJ-010	9573807	320688	Amostrado	Arenito Arcoseano
11	11	EPJ-011	9573269	321230	Amostrado	Metarenito
12	12	EPJ-012	9573207	321453	Amostrado	Arenito Arcoseano intercalado com siltito e pelito
13	13	EPJ-013	9572751	321581	Laminado	Microgabro
14	14	EPJ-014	9572483	321744	Ponto Amostrado	Basalto
15	15	EPJ-015	9571420	321928	Ponto Controle	Arenito Arcosiano
16	16	EPJ-016	9578218	320594	Amostrado	Hornfels
17	17	EPJ-017	9578316	319986	Amostrado	Granito
18	18	EPJ-018	9577878	320841	Amostrado	Hornfels
19	19	EPJ-019	9577479	321733	Laminado	Arenito
20	20	EPJ-020	9577685	322069	Descrito	Brecha de Falha
21	21	EPJ-021	9577774	322478	Laminado	Arenito
22	22	EPJ-022	9577498	322480	Amostrado	Vulcanoclástica
23	23	EPJ-023	9576558	322459	Descrito	Vulcanoclástica
24	24	EPJ-024	9576050	322362	Descrito	Arenito Arcoseano
25	25	EPJ-025	9575354	322519	Amostrado	Vulcanoclástica
26	26	EPJ-026	9575078	322586	Amostrado	Arenito Arcoseano
27	27	EPJ-027	9574998	322274	Amostrado	Basalto
28	28	EPJ-028	9574598	322945	Laminado	Arenito
29	29	EPJ-029	9572418	323274	Ponto Amostrado	Arenito

FIGURA 19 - Estruturação do banco de dados confeccionados no programa *Microsoft Excel*.

Esse banco de dados geológicos contém informações úteis para o conhecimento da área de estudo, com dados de: Planimetria: rede de drenagens, rede de transportes (malha viária, ferroviária, portos, aeroportos e campos de pouso), limites geográficos/políticos (internacionais, interestaduais e municipais), topônimos e malha geográfica; Geologia (unidades litoestratigráficas e estruturas) compatível com a escala do Projeto; Gráficos, perfis, seções geológicas e blocos diagramas digitais; Modelo Digital do Terreno SRTM – (*Shuttle Radar Topography Mission*) com resolução de 90m e 30m; Mosaico das Imagens de Satélite Geocover 2000; Arquivos *raster* em formatos *geotif* dos mapas geofísicos e arquivos em formato *shapefile* das interpretações dos dados, quando existentes; Arquivo *raster* georreferenciado (p.ex. formato *geotiff*) do produto da Fusão Digital da Geologia com as Imagens Geocover e/ou Geofísica e/ou Modelo Digital do Terreno; Fotografias dos diversos temas cadastrados no visualizador do projeto; Unidades e feições tectônicas.

Por fim, realizou-se uma análise visual do conjunto das imagens geradas, com todas as informações obtidas através da integração das informações geológicas, aerogeofísicas e de sensores, finalizando com a construção do mapa geológico em ambiente SIG e nota explicativa da folha SA-24-Y-C-VI-4.

5 SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA (SIG) E BANCO DE DADOS

5.1 SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA (SIG)

Esse termo é aplicado para sistemas computacionais que manipulam dados geográficos. A palavra *sistema* deve-se ao fato do SIG ser composto por vários componentes interrelacionados. A palavra *informação* deve-se ao fato do SIG permitir a conversão de dados em informações a partir de manipulações e consultas interativas sobre os dados armazenados. A palavra *geográfica* implica que os dados possuem localizações conhecidas ou podem ser calculadas em termos de coordenadas geográficas (Tutorial do INPE, 2008).

É um importante recurso para o estudo do espaço geográfico. Um SIG é um sistema computacional composto por *hardwares*, *softwares*, dados e pessoas para ajudar na manipulação, análise e apresentação de informações espacializadas.

Esse sistema permite inserir e integrar, em uma única base de dados (banco de dados), informações espaciais provenientes de diversas fontes, como: cartografia, imagem de satélites, dados censitários, etc (MOREIRA, 2003).

Esta ferramenta vem sendo aplicada a uma gama muito extensa de áreas tecnológicas ou não. Os modelos de análise espacial desenvolvidos em Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) visam combinar dados espaciais para descrever e analisar interações, de modo a fazer previsões por meio de modelos prospectivos empíricos, que forneçam apoio para a definição de sítios de maior potencial para a ocorrência de depósitos minerais, ou de outros fenômenos geológicos (SOUZA FILHO; CRÓSTA, 2003).

Os componentes básicos de um SIG são: Interface com usuário, Entrada e Integração de Dados, Consulta e Manipulação, Saída de Dados e Sistema de Gerência de Banco de Dados (FIGURA 20). Cada sistema de informações geográficas, em função de seus objetivos e necessidades, implementa estes componentes de forma distinta, mas todos estão presentes em um SIG (Câmara Neto, 1995).

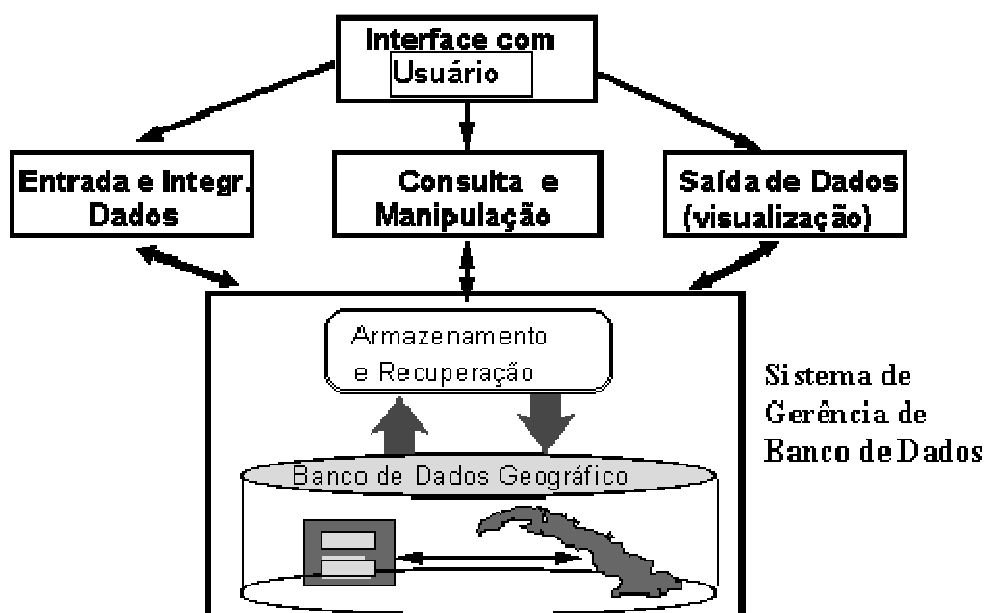


FIGURA 20 – Estrutura geral de um Sistema de Informações Geográficas (CÂMARA, 1995).

5.2 GEOBANK

O Banco de Dados de Informação Geocientífica - GEOBANK é um poderoso instrumento de ação governamental e ao mesmo tempo um ilimitado repositório de informações geocientíficas disponibilizado na Internet. É um banco de dados que vem ganhando visibilidade como modelo para o acesso da comunidade geocientífica nacional e internacional, possibilitando a obtenção de geoinformações atualizadas.

O Geobank foi projetado e desenvolvido em plataforma Oracle®, para atender às pesquisas de dados geocientíficos dinamicamente. Sua operacionalidade e possibilidades tecnológicas o fazem um ilimitado depósito de informações através de suas bases de dados e mapas.

O banco contém dados de várias modalidades. Através do Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados (SGBD), os dados das bases são armazenados de forma integral e consistente com seus modelos. O banco de dados é o armazém do negócio nele depositado e contém o dado histórico e o atual, podendo constantemente ser alimentado/atualizado. Ele está localizado fisicamente em uma máquina servidora num local único e é administrado pelos especialistas de banco de dados do Serviço Geológico do Brasil (CPRM).

Um SIG, Sistema de Informações Geográficas, retira dados do banco de dados e os transforma em informação, retratando aquele instante do banco de dados. Caso a informação precise ser atualizada, deve-se voltar ao banco de dados e retirar novos dados, pois o banco de dados é dinâmico e o SIG é estático. Um SIG

também permite a confecção de novos produtos através de análises e modelagens matemáticas e estatísticas. Todas as informações foram extraídas do Manual do Geobank, disponível no site da CPRM.

Dessa forma os dados da folha SA-24-Y-C-VI-4 foram inseridos no Geobank, através do Base Aflora, estando disponível para uso em diversas finalidades.

6 ASPECTOS FISIAGRÁFICOS E SÓCIO-ECONÔMICOS DE MUCAMBO

6.1 ASPECTOS FISIAGRÁFICOS

O principal município da área de estudo é Mucambo, portanto, este será utilizado como referência para todos os aspectos fisiográficos e sócio-econômicos. Esse município integra a microrregião de Sobral, ficando a 298,3 km da capital Fortaleza e possui área total de 190,538 km² e sua população é estimada em 14.007 habitantes (IPECE, 2010).

O estado do Ceará está situado na região Nordeste. Sua área total é de 148.825,6 km² ou 9,57% da área pertencente a região Nordeste e 1,74% da área do Brasil. Tem uma população estimada de 8.547.809 habitantes (IBGE, 2009).

6.1.1. Clima

O clima é predominantemente tropical quente semi-árido com chuvas de janeiro a maio. A temperatura média é alta, em torno de 36°C (IPECE, 2010).

6.1.2. Vegetação

A vegetação é de caatinga arbustiva aberta, floresta caducifolia espinhosa e floresta subcaducifolia tropical pluvial (IPECE, 2010).

6.1.3. Hidrografia

A rede hidrográfica tem uma importância única, pois reflete as condições climáticas da região, que possui rios e riachos intermitentes fluindo apenas durante a época chuvosa.

A área de trabalho fica localizada em duas bacias hidrográficas do Coreaú e do Rio Acaraú, mas a maior parte pertence à segunda (FIGURA 21). O principal recurso hídrico do município é o açude Aires de Souza (FIGURA 22). Outros pequenos açudes são encontrados por toda a área de estudo. Os cursos d'água possuem caráter tipicamente torrencial e temporário. Os níveis mais altos das águas são atingidos entre janeiro e maio, coincidindo com a época de maior pluviosidade (IPECE, 2010).

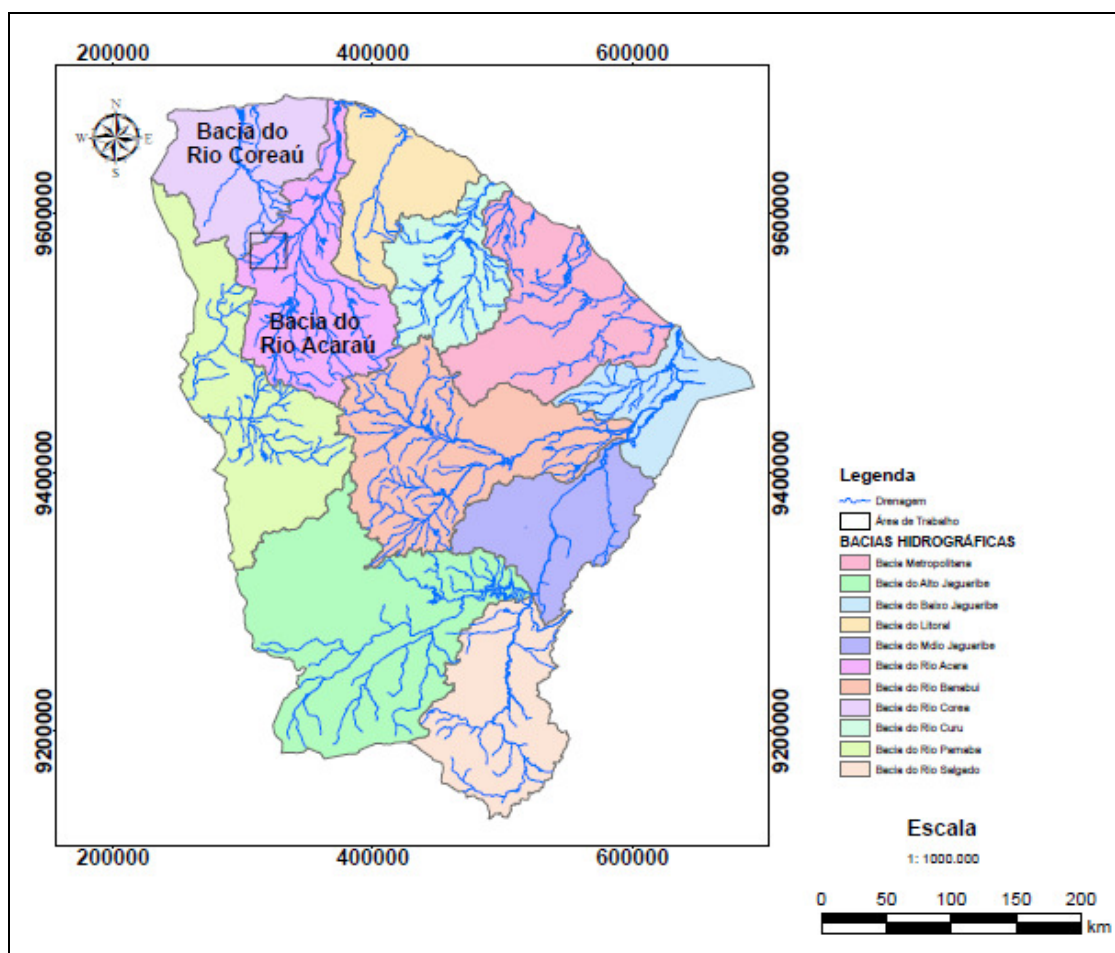


FIGURA 21 – Localização das bacias hidrográficas do estado do Ceará, com destaque para a bacia do rio Coreau e bacia do rio Acaraú, onde está localizada a área de trabalho.



FIGURA 22 – Vista panorâmica do Açude Aires de Souza.

6.2. ASPECTOS SÓCIO-ECONÔMICOS

A economia do Ceará é uma das que mais cresceu nos últimos anos, entre os estados do Nordeste. No setor urbano a industrialização (principalmente de calçados e beneficiamento de produtos agrícolas), turismo, hotelaria, restaurantes, artesanatos, etc, são os que mais se destacam.

No sertão, basicamente, a economia é movida pela agricultura e pecuária. A economia do município de Mucambo é mais relacionada a serviços prestados e um pouco com a agropecuária (IPECE, 2010).

7 CONTEXTO GEOMORFOLÓGICO/GEOLÓGICO REGIONAIS

7.1 GEOLOGIA REGIONAL

A região NW do Ceará está inserida no contexto geológico da Província Borborema (FIGURA 23), denominação introduzida por Almeida et al. (1977), e aplicado para a parte leste da região nordeste da Plataforma Sul-Americana.

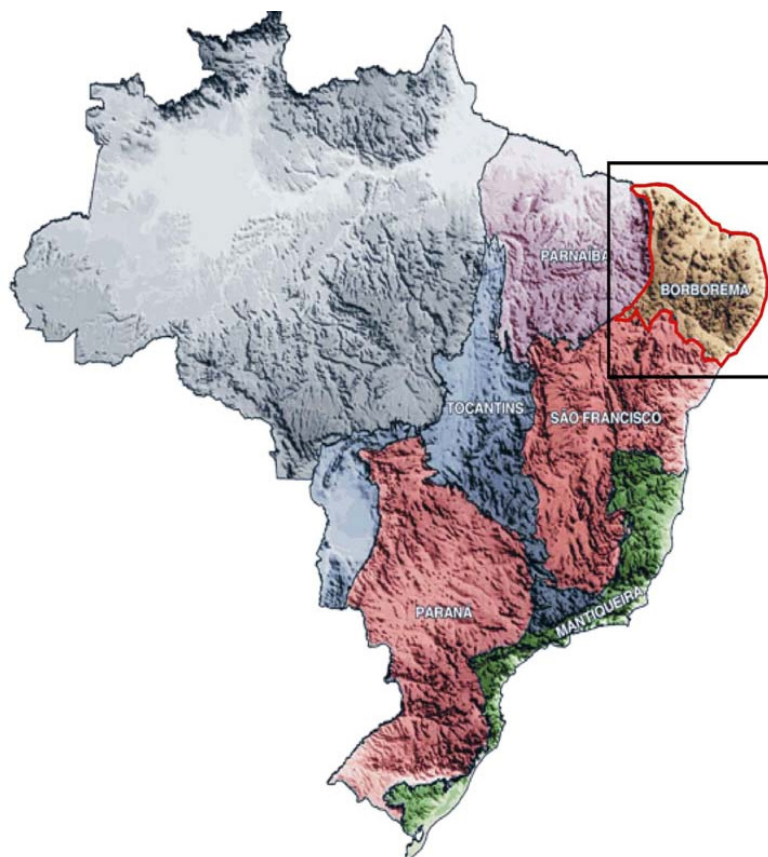


FIGURA 23 - Províncias estruturais brasileiras (Tocantins, São Francisco, Paraná, Mantiqueira e Borborema), com destaque à Província Borborema (Modificado de Almeida et al., 1977).

7.1.1 Província Borborema

A Província Borborema está localizada no Nordeste Oriental do Brasil. Compreende uma vasta região geológica de idade pré-cambriana. Abrange aproximadamente 450.000 km², cobrindo desde o norte da Bahia e nordeste do Piauí, onde se inclui a região noroeste do Ceará (Almeida et al., 1977). É, em sua maior parte, formada por um embasamento cristalino, apresentando, contudo, importantes seqüências sedimentares de cobertura.

Esta província é um retalho de terrenos de diferentes litotipos, separados por falhas e lineamentos importantes. Sua evolução está relacionada à convergência e

aglutinação dos crátons Oeste-Africano, Amazônico e São Francisco-Congo, durante a formação da porção ocidental do Gondwana (TROMPETTE, 1994).

O panorama litoestrutural e tectônico da província é bem definido. As estruturas e litotipos desenvolveram-se principalmente durante a evolução de dois diferentes ciclos termo-tectônicos: a Orogenia Cariris Velhos, do Mesoproterozóico Superior ao Neoproterozóico Inferior, e a Orogenia Brasiliana, do Neoproterozóico Superior. A Orogenia Brasiliana retomou *trends* estruturais e crosta retrabalhada, formadas no início da Orogenia Cariris Velhos. Adicionalmente, no embasamento da Província há outros aspectos litológicos e tectônicos atribuídos a estágios importantes de amalgamação continental, durante a orogênese Transamazônica do Paleoproterozóico Médio (colagem), e também eventos tectônicos do Arqueano (Brito Neves *et. al.* 2001).

7.1.2 Arcabouço Tectônico da Província Borborema

A separação e caracterização de conjuntos, por vezes, limitados por zonas de cisalhamento, tem levado à divisão da Província Borborema em domínios que refletem, de forma global, diferentes histórias evolutivas (Amaral, 2007). O lineamento Patos divide grandes blocos tectônicos, o Domínio Norte e o Domínio Sul (Van Schmus *et al.*, 1977). No Domínio Tectônico Norte, o Lineamento Transbrasiliano e o Lineamento Senador Pompeu subdividem esta porção em três unidades crustais conhecidas por Domínio Médio Coreaú, Domínio Ceará Central (onde está inserida a área de trabalho) e o Domínio Rio Grande do Norte.

Além desses, ao sul do lineamento Patos, se fazem presentes o Domínio Central ou Zona de Domínio Transversal e Domínio Sul.

7.1.3 Domínios Litoestruturais

A Folha Frecheirinha majoritariamente está inserida no contexto do domínio Médio Coreaú e uma pequena porção (leste) está inserida no Domínio Ceará Central (FIGURA 24).

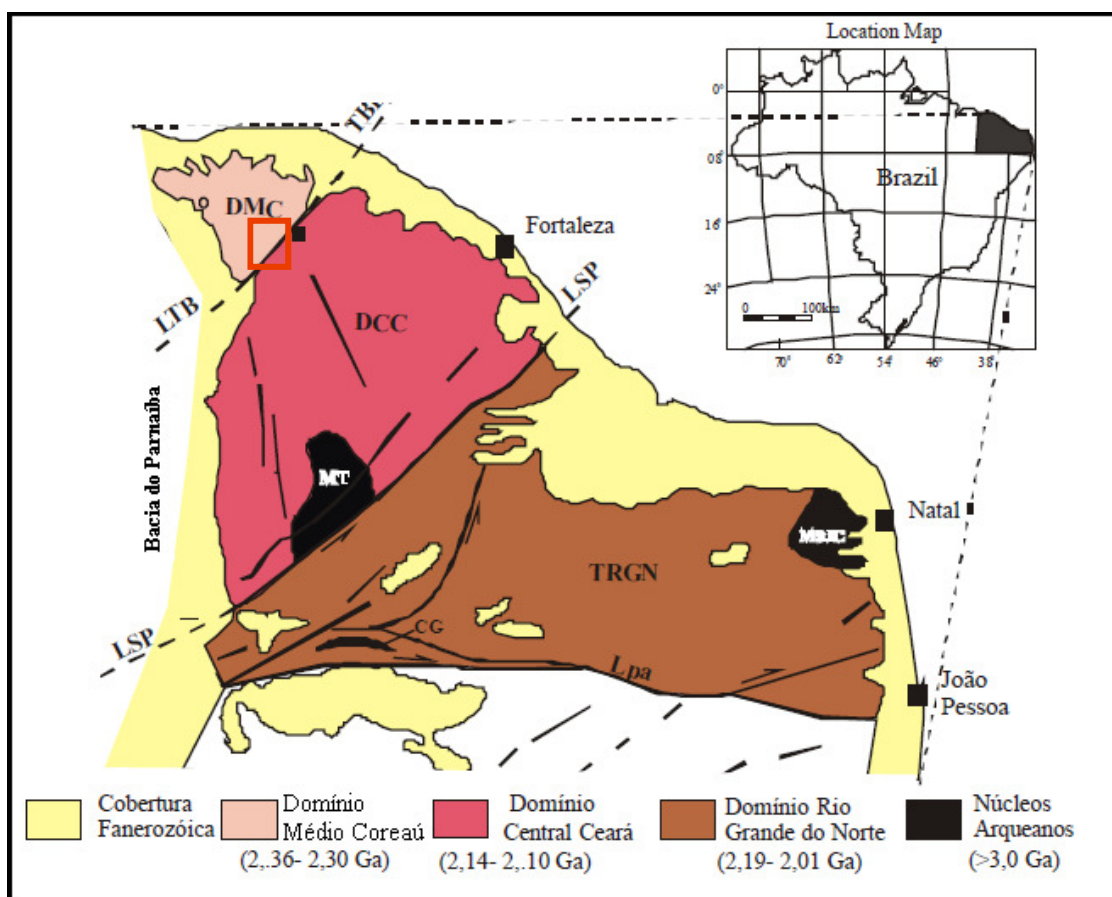


FIGURA 24 – Localização dos domínios estruturais, com os lineamentos que os separam e os núcleos arqueanos. No quadrado vermelho a área da folha Frecheirinha. Fonte: Modificado de Fetter et al., 2003.

7.1.3.1 Domínio Médio Coreau (DMC)

Situa-se na parte noroeste do Estado do Ceará e nordeste do Estado do Piauí, entre a margem retrabalhada do Cráton São Luis-Oeste Africano e o Lineamento Transbrasiliano.

O DMC consiste de um embasamento composto de rochas metamórficas de alto grau, com idades de 2.35 Ga (pré-transamazônico), segmentos capturados de cinturões vulcano-sedimentares (Grupo Martinópolis) e pelíticos carbonáticos (Grupo Ubajara) Neoproterozóicos, que podem ser partes separadas do cinturão móvel principal Trans-Sahariano. Ao longo do Lineamento Transbrasiliano ocorre uma série de bacias transtensionais e plútons pós-orogênicos, alguns deste parcial ou totalmente cobertos pelas rochas sedimentares da Bacia do Parnaíba (BRITO NEVES, 2001).

7.1.3.2 Domínio Ceará Central (DCC)

É a mais extensa unidade geotectônica da porção norte da Província Borborema e alcança grande parte do Estado do Ceará. É limitado a NW pela zona de cisalhamento Sobral-Pedro II (lineamento Transbrasiliano) e a SE pela zona de cisalhamento Senador Pompeu, sendo encoberto a SW-W pelos sedimentos da Bacia do Parnaíba. As suas características essenciais são o estilo estrutural não linear, coerente com a predominância da infra-estrutura migmatítica-granítica; amplas exposições de um embasamento pré-Brasiliano, com abundância de rochas máfica e ultramáfica e presença de relíquias metamórficas de características litológicas peculiares. A estruturação regional é marcada por um padrão de faixas alongadas de rochas de diferentes idades e formadas em diferentes níveis crustais. A manifestação explícita desse arranjo são as várias faixas de rochas granulíticas que vem sendo descritas como marcadores de significativos alçamentos de níveis crustais profundos, já prenunciados pelos dados gravimétricos do mapa bouguer, (Beltrão, 1985) configurando expressivos movimentos de massa.

Consiste de embasamento gnáissico, formado durante a colagem transamazônica, com a inclusão de um importante núcleo arqueano (Maciço Tróia-Tauá), além de conter uma série de seqüências supracrustais Neoproterozóica, remanescentes de cinturões de dobramentos (quartzitos, pelitos, unidades carbonáticas menores), e plutonismo brasileiro expressivo (Neoproterozóico Superior) (SANTOS, 2009).

7.1.4 Geomorfologia do Noroeste do Ceará

A região noroeste do Ceará foi compartimentada em quatro unidades geomorfológicas, das quais três (Planalto Residual, Superfície Sertaneja e Planalto da Ibiapaba) estão representadas na folha Frecheirinha. Essas unidades foram individualizadas com base em aspectos gerais como forma, altitude e dimensão das unidades de relevo, bem como diferenças e homogeneidades na vegetação e na drenagem (MOREIRA; GATTO, 1981). Essas unidades são as seguintes:

7.1.4.1 Planície litorânea

Representa toda a parte litorânea do Ceará, estendendo-se até aos litorais do Maranhão e do Piauí. É basicamente formada por planícies flúvio-marinhas e dunas eólicas dispostas sobre uma faixa praticamente contínua de mais de dois quilômetros

de largura. Caracteriza-se por apresentar uma drenagem anastomótica de canais largos, apresentando, inúmeras ilhas na foz de grandes rios como o Acaraú, com vegetação de mangue (ambiente estuarino).

7.1.4.2 Superfície Sertaneja

Corresponde a maior unidade, sendo também a unidade de menores cotas de relevo (médias de 190m e máximas de 330m). Subdivide-se em duas subunidades: área conservada, predominantemente plana e área dissecada, levemente dissecada e um pouco mais elevada que a anterior.

A área conservada abrange a maior extensão territorial da Superfície Sertaneja e apresenta uma superfície pediplanada. Possui uma drenagem com baixa densidade e à medida que se intensifica surgem setores de relevos dissecados que interrompem seu prolongamento.

A área dissecada apresenta um relevo arrasado, ou seja, menos elevado, com aproximadamente 100m de altitude, com a formação de setores dissecados do interior e da faixa sublitorânea.

7.1.4.3 Planalto da Ibiapaba

Esta unidade geomorfológica é representada pela borda leste da Bacia do Parnaíba (Serra da Ibiapaba), com altitudes de 700m e formas arredondadas e aplainadas, localmente angulosas e com vertentes retilíneas, côncavo-convexas e côncavas. Devido a marcantes diferenças altimétricas foram identificados dois subcompartimentos de relevo: o Planalto Oriental e o Planalto Ocidental, o primeiro apresenta cerca de 700m de altitude, com o reverso estrutural da Serra da Ibiapaba e orientação geral para N-S; o segundo apresenta altitude média de 120m está localizado a oeste da Serra da Ibiapaba e corresponde a relevos tabulares estruturais e agrupamentos de *inselbergs*.

7.1.4.4. Planaltos Residuais

Ocorrem a leste da Serra da Ibiapaba, truncando vez ou outra a Superfície Sertaneja. São subdivididos em dois subdomínios: um com altitudes superiores a 700m (Serra do Meruoca, Serra do Pajé e Serra do Barriga); e um com altitudes menores que variam de 300m a 700m (Serra do Camutim e Serra da Penanduba).

A folha Frecheirinha situa-se no sopé da Serra da Ibiapaba e possui formas de relevo bem definidas que se relacionam a: Superfície Sertaneja, que é a unidade de maior expressão territorial dentro da compartimentação geomorfológica da área e Planalto da Ibiapaba que é representado pela borda leste da Bacia do Parnaíba (Serra da Ibiapaba), com altitudes de 700m e formas arredondadas e aplainadas, localmente angulosas e com vertentes retilíneas, côncavo-convexas e côncavas (FIGURA 25).

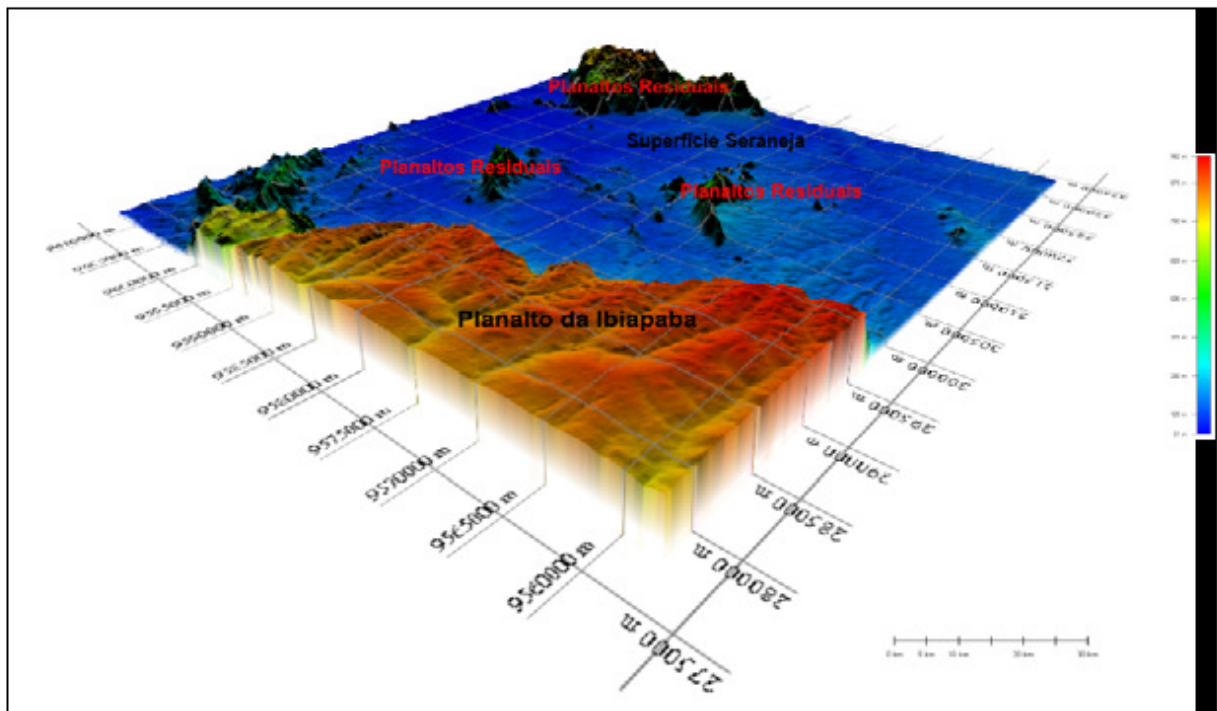


FIGURA 25 – MDT da Folha Frecheirinha, com os principais compartimentos geomorfológicos.

8 REFERENCIAL TEÓRICO

Para facilitar o entendimento do trabalho em termos dos assuntos abordados, serão apresentados os conceitos sobre temas e metodologias que foram importantes para a confecção do mesmo e que serviram como base teórica para a preparação do mapa geológico e sua descrição detalhada.

8.1 SENSORIAMENTO REMOTO

Sensoriamento Remoto apresenta vários conceitos dentre os quais podemos destacar o seguinte: “Sensoriamento Remoto é a utilização de sensores na obtenção de informações sobre determinados objetos ou fenômenos sem que haja contato direto entre eles. Os sensores são equipamentos que coletam energia proveniente dos objetos, os convertem em sinais passíveis de serem registrados e apresentados de forma adequada à extração de informação” (NOVO, 1989).

A definição clássica do termo sensoriamento remoto refere-se a um conjunto de técnicas destinado à obtenção de informações sobre objetos, sem que haja contato físico com eles (MOREIRA, 2003).

A técnica de sensoriamento remoto obtém informações sobre objetos pela análise de dados colecionados por instrumentos especiais que não estão em contato físico com os objetos de investigação, não necessitando submergir ou tocar os objetos que estão sendo medidos (SANTOS, 2006).

8.1.1 Estrutura das imagens de Sensoriamento Remoto

Uma imagem digital pode ser considerada como sendo uma matriz quando os índices de linhas de colunas identificam um ponto na imagem e o correspondente valor do elemento da matriz identifica o nível de cinza naquele ponto, conhecido como DN (Digital Number). Os elementos dessa matriz digital são chamados comumente de “pixel”. O DN de uma imagem representa a intensidade de energia eletromagnética (refletida ou emitida) medida pelo sensor, para a área da superfície da Terra correspondente ao tamanho de um pixel. O Dn corresponde sempre à média da intensidade da energia refletida ou emitida por diferentes materiais presentes nesse pixel (SANTOS, 2002).

8.1.1.1 Resolução

A resolução de uma imagem se divide em três diferentes parâmetros:

a) resolução espectral é um conceito relacionado às imagens multiespectrais de sensoriamento remoto. É definida pelo número de bandas espectrais de um sistema sensor e pela largura do intervalo de comprimento de onda por cada banda. Todo o princípio do sensoriamento remoto baseia-se na premissa de que os alvos da superfície terrestre se diferem quanto ao comportamento espectral. Em outras palavras, cada alvo reflete a energia diferente do outro. Entretanto quando se trata de alvos semelhantes à diferença no comportamento espectral pode não ser tão marcante a ponto de ser percebida nas imagens de satélites (MOREIRA, 2003). Quanto maior o número de bandas e menor a largura do intervalo, maior é a resolução espectral de um sensor.

Algumas vezes no próprio sistema sensor há diferentes resoluções espectrais, como é o caso do sensor Thematic Mapper (TM) do Landsat (TABELA 05).

TABELA 05 – Características espectrais e espaciais do sensor TM. Fonte: Moreira (2003).

BANDA	▲nm*	REGIÃO ESPECTRAL
TM1	70	Azul
TM2	80	Verde
TM3	60	Vermelho
TM4	140	IV próximo
TM5	200	IV médio
TM6	2100	IV termal
TM7	270	IV médio

Legenda: ▲nm* é a resolução espectral de cada sensor.

Se um sistema sensor possui detetores operando em mais de uma faixa espectral, ele é denominado multiespectral, porque registra a radiação eletromagnética proveniente dos alvos em várias faixas espectrais. Por exemplo o sistema sensor ETM+ do Landsat-7, que opera em oito bandas espectrais (MOREIRA, 2003).

b) resolução radiométrica é dada pelo número de níveis digitais, representando níveis de cinza, usados para expressar os dados coletados pelo

sensor. Quanto maior o número de níveis de cinza, maior é a resolução radiométrica (FIGURA 26).

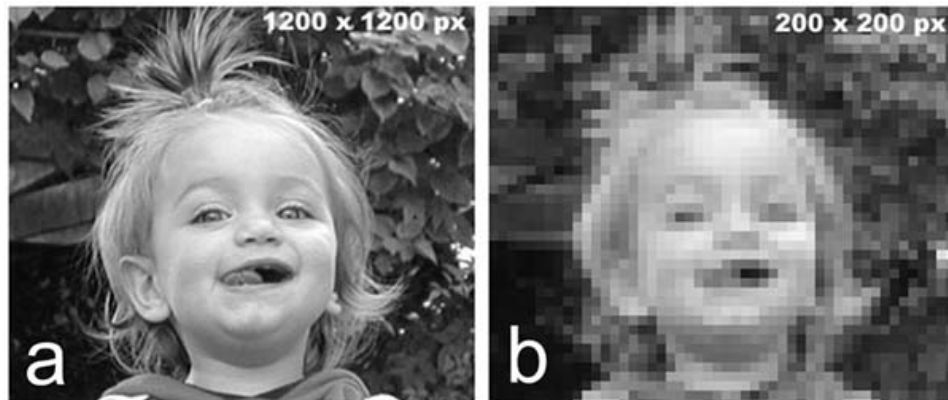


FIGURA 26 - Pixel e resolução na imagem digital. Em a) 1200 x 1200 pixels com muitos níveis de cinza que a figura b) Possui 200 x 200 pixels. Fonte: Tutorial do INPE (2002).

c) resolução espacial (FIGURA 27) é a capacidade do sistema sensor captar a imagem de objetos na superfície terrestre. Quanto menor o objeto capturado pelo sensor melhor sua resolução espacial (CRÓSTA, 1993).



FIGURA 27 – Exemplos de imagens com resolução espacial (Pereira, 2009).

8.2 AEROGEOFÍSICA

As tecnologias aerogeofísicas surgiram na segunda metade da década de 1940, com a disponibilização do primeiro sistema aeromagnético (tipo fluxgate), construído pela Gulf Research and Development Co., a partir de equipamento desenvolvido na 2ª Guerra Mundial para detecção aérea de submarinos (HILDENBRAND, 2004).

O estudo geológico da superfície de um terreno e sua relação no espaço e no tempo é de importância indiscutível para o entendimento das rochas em

subsuperfície e para a localização de depósitos minerais. No entanto, nem sempre as rochas estão disponíveis sob a forma de afloramentos ou permitem inferências seguras sobre o que ocorre em profundidade. As informações geofísicas são ferramentas que auxiliam e complementam o estudo em superfície. Todavia, pode não ser suficiente a coleta de dados e a simples representação espacial da propriedade física ou química. Técnicas estatísticas ou determinísticas como operações matemáticas, filtragens, modelamentos, interpolações, integrações ou a combinação de duas ou mais dessas técnicas podem ser bastante úteis na interpretação.

Cada técnica estatística deve ser escolhida com cuidado, de acordo com o tipo de dado a ser tratado (magnético, gravimétrico ou gamaespectrométrico) e com a posição do objeto procurado na superfície ou em profundidade na crosta. A natureza dos dados também implica em diferentes tipos de resposta e diferentes tipos de influência (TABELA 06).

TABELA 06 – Avaliação de parâmetros geológicos (BLUM, 1999).

Método/ Parâmetro	Influência Lateral	Influência Vertical	Tipo de Resposta
Magnetometria	Alta	Alta	Profunda – influência da topografia
Gamaespectrometria	Baixa	Baixa	Superficial – influência do intemperismo

É um dos ramos das geotecnologias que experimentou um dos maiores desenvolvimentos nos últimos anos, com contribuições importantes para o avanço do conhecimento geológico e a exploração mineral em todos os tipos de terreno (SOUZA FILHO; CRÓSTA, 2003).

Os levantamentos aerogeofísicos são normalmente feitos ao longo de uma série de linhas de vôo espaçadas paralelamente. De maneira geral para mapeamento as linhas de vôo são orientadas N-S ou E-W, ou podem variar dependendo do padrão geológico. Com relação ao espaçamento das linhas de vôo, ele é determinado pelo grau de detalhe do mapeamento que se deseja fazer ou do tamanho do alvo a ser explorado, além de ser limitado também pelos recursos

financeiros disponíveis para o levantamento (HORSFALL, 1997).

O campo magnético da Terra decresce aproximadamente com o inverso do quadrado da distância da fonte magnética e o sinal do raio gama da fonte de radioatividade decresce exponencialmente com a distância, devido à atenuação dos raios gama na coluna de ar. Assim, para registrar pequenas variações nestes campos, os vôos precisam ser bem próximos às fontes, ou seja, bem próximo ao terreno.

Recentemente tem se usado altura de vôo de 100m para linhas de vôo com espaçamento de 400m. Levantamentos com espaçamento de linha de 200m são geralmente voados a 80m, aqueles com 100m de espaçamento são voados a 60m. Para vôos nessa altitude é necessário que o terreno seja bem plano. Alturas menores de 60m não são permitidas por leis governamentais. Em regiões montanhosas é viável a utilização de helicópteros.

8.2.1 Aeromagnetometria

Os conceitos físicos e geológicos encontrados na aeromagnetometria estão ligados a natureza do magnetismo terrestre e sobre os sistemas de aquisição de dados magnéticos e radiométricos aéreos (RIBEIRO, 2002).

O método da magnetometria mede anomalias locais no campo magnético terrestre geradas pela concentração de minerais magnéticos nas rochas ou a zonas de falha (DRANSFIELD et al., 1994).

Este levantamento foi o primeiro método geofísico aéreo desenvolvido. Teve um grande desenvolvimento em sua trajetória com o impulso dado pela aquisição de dados de alta resolução espacial. Isto foi motivado pela aplicação (mineral e ambiental) que foi beneficiada por um maior mapeamento de detalhe das características das superfícies magnéticas rasas. Para se adquirir dados com uma média de altura de vôo menor e linhas de vôos mais fechadas, foi necessário, em alguns casos, a adoção do “crop duster”, tipo de aeronave não tripulada capaz de voar em alturas inferiores a 40 m em terrenos com condições adequadas para este tipo de vôo, no caso, terreno plano e pouco vegetado (THOMSON *et. al.* 2007).

O magnetismo pode se originar de vários modos, e em épocas diferentes da história da rocha. A mais comum, intensa e estável componente permanente é a magnetização termo-remanescente que é adquirido quando o material magnético é resfriado abaixo de sua temperatura Curie (temperatura acima da qual uma

substância ferromagnética perde o ferromagnetismo e passa a paramagnética) na presença do campo magnético.

A susceptibilidade magnética é a medida do grau a qual uma substância pode ser magnetizada por indução no campo magnético terrestre.

Cordani (2005) sugere que nos levantamentos aeromagnéticos feitos no Brasil, a direção das linhas de vôo seja a própria direção da declinação magnética local ou no mínimo, levando em consideração adicional todos os outros critérios (gamaespectrométricos, logísticos, direção das estruturas geológicas, etc.), mais próximo possível dessa direção, devido o Brasil estar em baixas latitudes magnéticas.

8.2.2 Aerogamaespectrometria

Os trabalhos de Minty (1997) apud Ribeiro (2002) serviram de subsidio para o entendimento da aerogamaespectrometria, que exhibe boa correlação com as unidades geológicas mapeadas.

Alguns isótopos na natureza são instáveis e desintegram-se se transformando em isótopos mais estáveis, por meio da emissão de radiação. São os chamados isótopos radioativos. Os três tipos principais de radiação produzidos pelo decaimento radioativo são as partículas alfa, beta e raios gama. Ao se emitir uma partícula alfa ou beta o átomo fica em estado excitação e o excedente de energia é emitido na forma de radiação eletromagnética denominada raios gama, sendo um tipo de radiação muito penetrante por não possuir massa ou carga. Os raios gama podem penetrar até 30cm de rocha e centenas de metros de ar e, portanto são o único tipo de radiação disponível para o sensoriamento da radioatividade terrestre.

O K, U, Th são os únicos elementos na natureza com radioisótopos que produzem raios gama com energia e intensidade suficientes para serem medidos na altitude em que são feitos os levantamentos aéreos.

Qualquer radiação não originária do solo é considerada como radiação de fundo uma vez que não tem significado geológico e necessita ser removida das medidas efetuadas. Existem quatro fontes de radiação de fundo: a) Radônio atmosférico; b) radiação cósmica; c) radiação da aeronave; e d) resíduos de explosões atômicas e acidentes nucleares.

8.3. Geoprocessamento

O geoprocessamento pode ser entendido como a utilização de técnicas matemáticas e computacionais para tratar dados obtidos de objetos ou fenômenos geograficamente identificados ou extrair informações desses objetos ou fenômenos, quando eles são observados por um sistema sensor (MOREIRA, 2003).

8.4. Cartografia Digital

Harley (1968) *apud* Vieira e Oliveira (2004), apresentando uma metodologia para avaliação de mapas antigos, salientava que o computador poderia prestar grande ajuda na tarefa de superpor mapas antigos e modernos, verificando distorções. Os recursos computacionais evoluíram muito e, junto com eles a Cartografia Digital.

O avanço da informática possibilitou a criação de diversos *softwares* que auxiliam na cartografia geológica. As tecnologias estão disponíveis para serem utilizadas em diversas áreas das ciências. O gerenciamento de dados dominam as atividades relacionadas à cartografia, devido a facilidade em manipular grandes volumes de informação cartográfica (CINTRA, 2009).

A Informática empregou seus avanços tecnológicos no âmbito da Cartografia Digital e SIGs para captura, armazenamento, manipulação e saída dos dados. O desenvolvimento rápido na área computacional promoveu uma adaptação dos sistemas cartográficos, colaborando fortemente nestes avanços. Processadores estão mais rápidos, custo de processamento mais baixo e periféricos gráficos dotados de maior precisão. A cartografia digital é uma ferramenta que auxilia o mapeamento, guardando as informações de forma efetiva e eficaz (VIEIRA; OLIVEIRA, 2004).

As tecnologias da Cartografia Digital, do SIG e da integração com a WEB crescem com a proliferação dos computadores cada vez mais poderosos e com custo cada vez mais reduzido (CINTRA, 2009).

Segundo o autor supracitado o termo geotecnologia refere-se a um grupo de tecnologias de informação geograficamente referenciado, onde podemos situar GPS, SIG, levantamentos aéreos, etc. As geotecnologias são todas as tecnologias relacionadas à informação. Esse conceito abrange a aquisição, processamento, interpretação (ou análise) de dados ou informações espacialmente referenciadas.

O mapa geológico contém informações de superfície (mapa geológico) e sub-superfície (mapa topográfico). Ocorre uma grande procura pelos mapas geológicos, pois auxiliam em diversas atividades como: recursos hidrogeológicos, prevenção de catástrofes naturais, extração de recursos minerais, entre outros.

A utilização da cartografia digital permite a geração de produtos cartográficos que possibilitam um melhor entendimento dos processos morfogenéticos deflagrados ou acelerados pela intervenção antrópica.

As facilidades oferecidas pela cartografia digital são potencializadas com a utilização de SIG como ambiente de trabalho, o que requer cuidados especiais quanto à precisão dos dados que representam o terreno, bem como quanto à relação da escala de abordagem.

9 RESULTADOS

9.1 RESULTADO DA INTEGRAÇÃO DOS MAPAS PRÉ-EXISTENTES

O material disponibilizados pelos estágios de campo II, que foram utilizados como base de informações para este trabalho, permitiram a extração de informações sobre os afloramentos estudados, sobre a litologia da área, estrutural, drenagem e logística. As informações foram analisadas, juntamente com as imagens de satélite, mapa planialtimétrico e mapas de escala 1:100.000.

Como exemplo podemos observar o mapa geológico da subárea V (FIGURA 28), do estágio de campo II realizado nas redondezas da cidade de Pacujá em 1999, que está inserida na área de trabalho. Este mapa foi analisado concomitantemente com os mapas de outras subáreas e imagens de satélites, para observar se sua litologia estava correta.

Na análise destes mapas foi observado que a maioria encontravam-se corretamente descritos de acordo com a litologia, entretanto os nomes das unidades, em sua maioria, estavam diferentes, pois alguns nomes de Unidades, Formação e Grupo, ainda não eram utilizados no período em que o estágio ocorreu ou foi inserida em outra unidade.



FIGURA 28 – Mapa geológico do estágio de campo 1999 de Pacujá/subárea V, com a litologia (em amarelo) representada no mapa.

A análise dos mapas estruturais, como exemplo tem o mapa de dados estruturais do estágio de campo II de Pacujá 1999 (FIGURA 29) foram muito úteis, pois os mesmos enriqueceram o mapa geológico final com informações sobre foliação, acamamento, zona de cisalhamento, falhas, etc. Quando ocorria divergências entre as informações analisava o mapa sobreposto com as imagens de satélite.

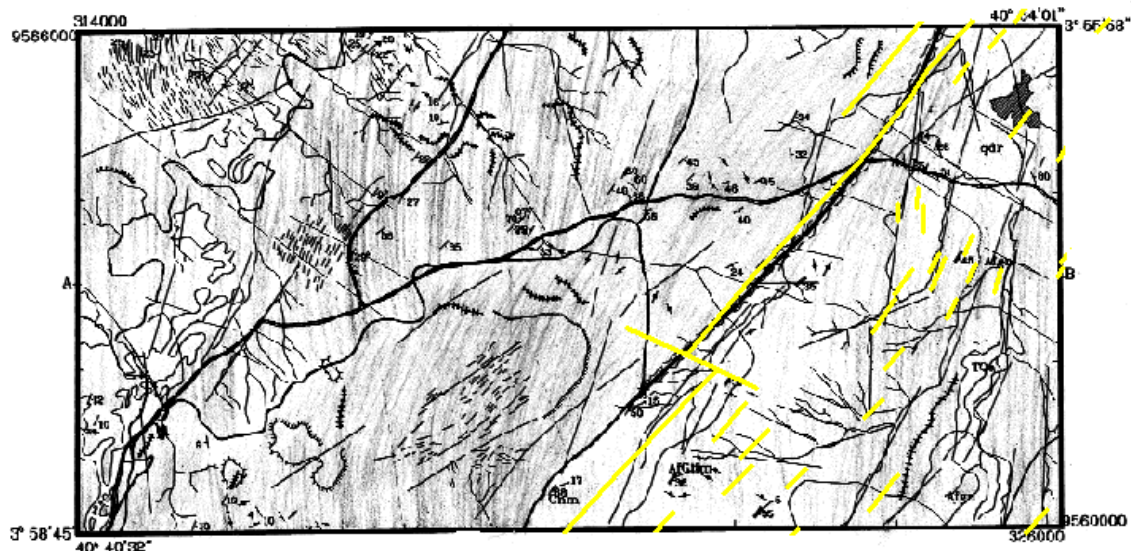


FIGURA 29 – Mapa de dados estruturais do estágio de campo de Pacujá 1999 /subárea III, com as estruturas (em amarelo) representadas no mapa.

9.2 RESULTADO DO PROCESSAMENTO DAS IMAGENS LANDSAT-TM

O processamento de imagens digitais de SR para a discriminação espectral de unidades litológicas é uma tendência muito eficaz em regiões áridas e semi-áridas, com pouca densidade de cobertura vegetal. Neste trabalho optou-se pela utilização das imagens Landsat-TM, por essas não apresentarem muitas nuvens e após as correções nas imagens, serem as que melhor colaboraram na identificação das feições existentes na área.

9.2.1 Bandas Individuais

A análise isolada das bandas permitiram uma discriminação visual inicial das principais feições geológicas presentes nessa região. As bandas utilizadas foram a 4, 5 e 7, por serem as mais indicadas em aplicações geológicas. Ao observar as mesmas de forma discriminada, são perceptíveis suas particularidades, diferença de textura e tonalidade (FIGURAS 30, 31 e 32).

Com a análise das imagens é possível observar que ocorre repetições texturais e estruturais nas mesmas, possibilitando uma correlação com a geologia da área.

Em quase todas as imagens a Serra do Carnutim, localizada no extremo noroeste da área, possui uma alta resposta espectral. Essa serra corresponde a unidade geológica do granito Mucambo. As vias urbanas, o açude Aires de Sousa que assume coloração preta e a drenagem que assume coloração branca, também são visíveis nas imagens.

A imagem que tem a melhor resposta espectral para as rochas correspondente a basaltos amigdaloidais, riolitos, etc, da Suíte Parapuí, é a banda 5, assim como a faixa de direção NE-SW, correspondente ao gráben Ubajara-Jaibaras na porção central e na porção sul, a faixa correspondente a arenitos conglomeráticos da Formação Ipú.

Aplicando o realce linear 2% na banda 07, observou-se que os morros residuais da área ficaram mais evidentes, bem como a faixa NE-SW (FIGURA 33).

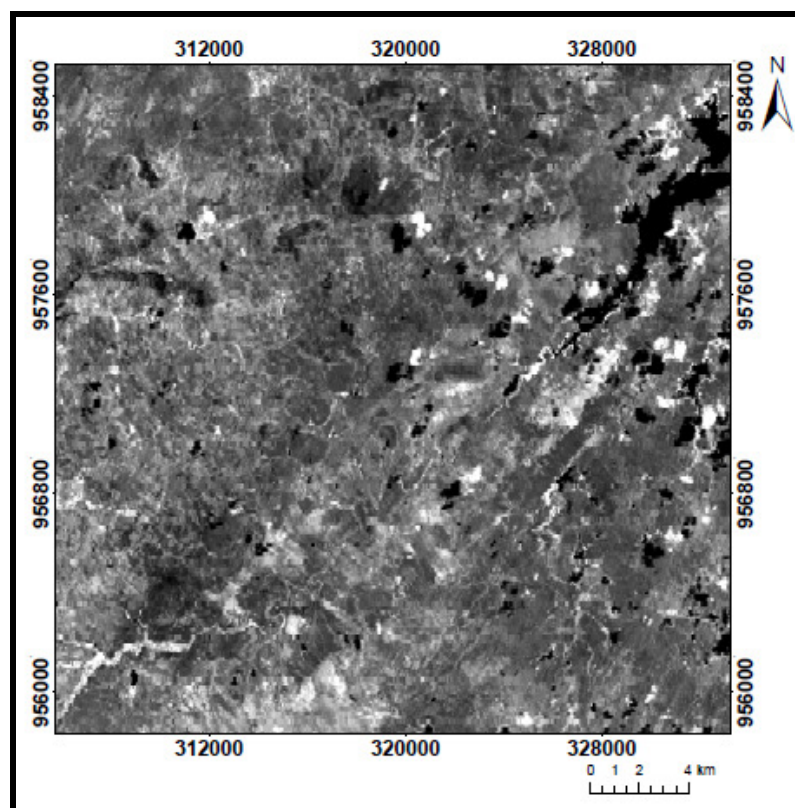


FIGURA 30 - Banda 04 do Landsat-TM.

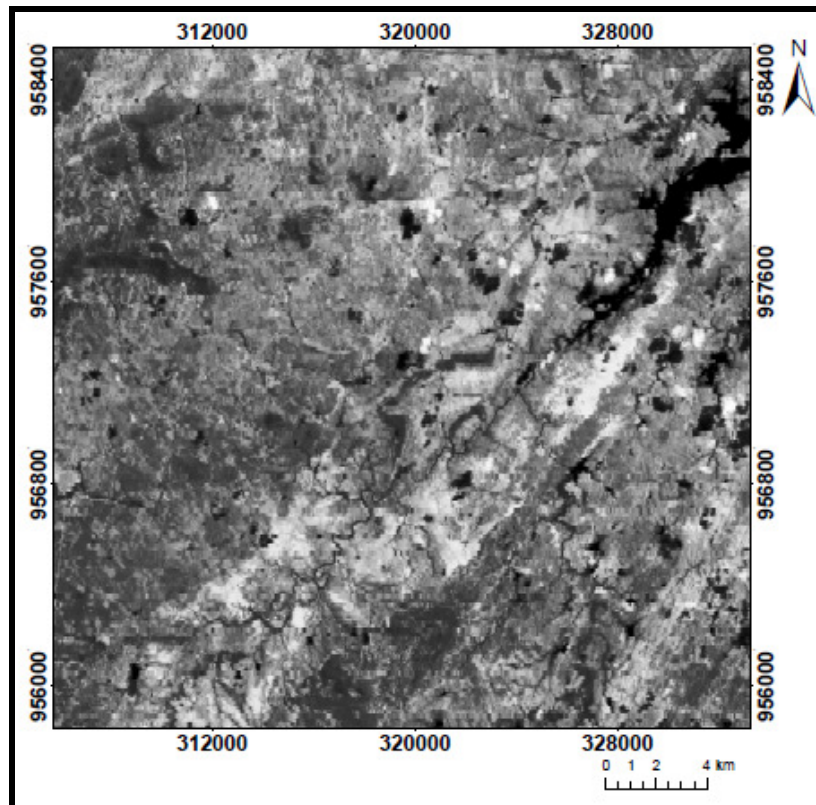


FIGURA 31 - Banda 05 do Landsat-TM.

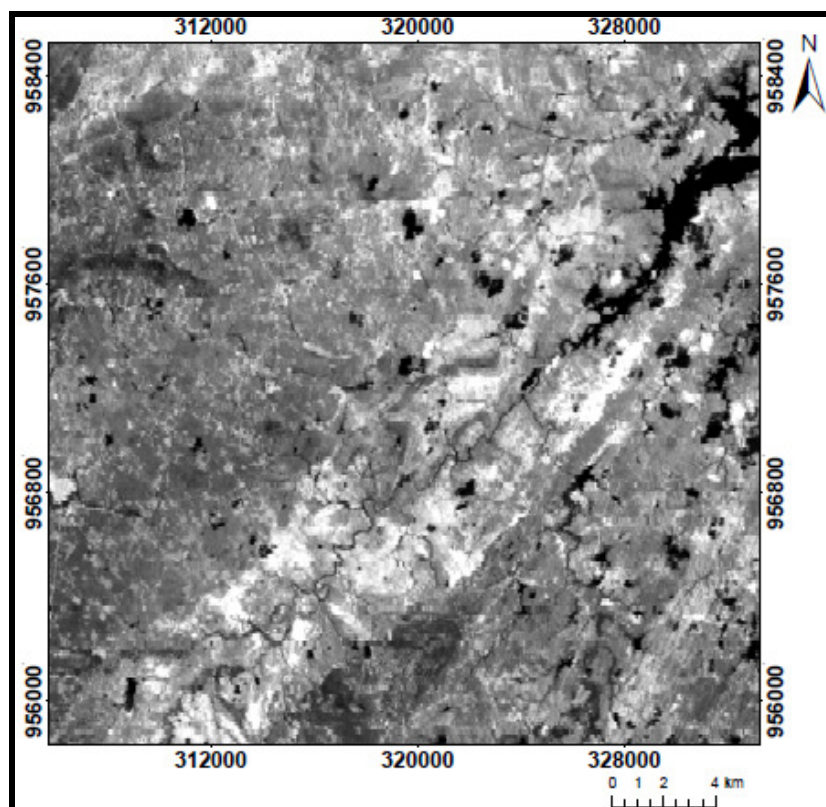


FIGURA 32 - Banda 07 do Landsat-TM.

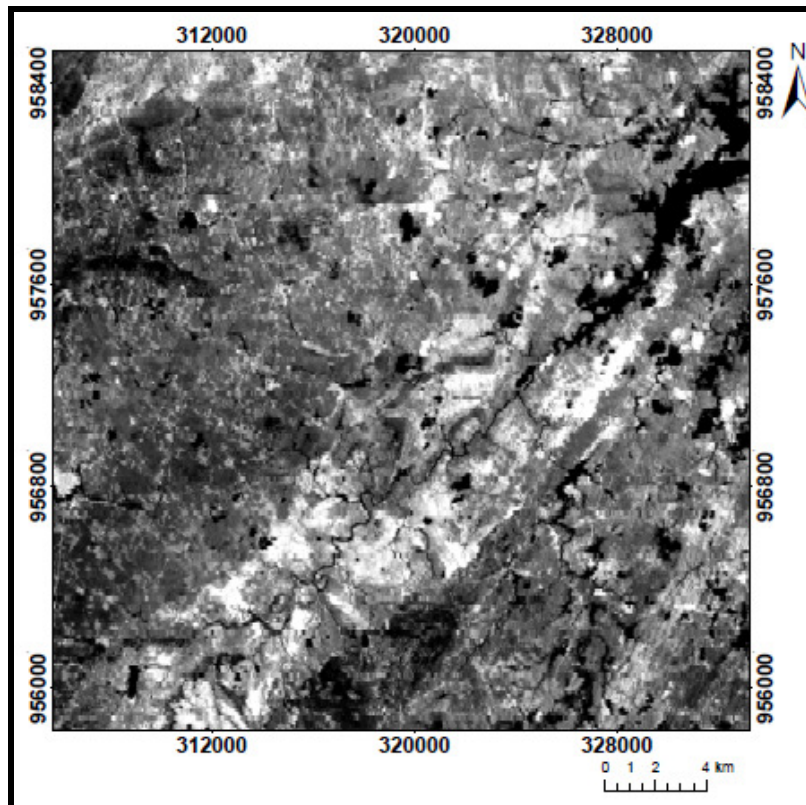


FIGURA 33 - Banda 07 do Landsat-TM com realce linear 2%.

9.2.2 Composições Coloridas

As composições coloridas efetuadas na área de trabalho foram RGB_543, RGB_542, RGB_752, RGB-531 e RGB-753, aos quais foram implementadas ajuste lineares de contraste e não lineares de contraste (Gaussiano).

Em todas as imagens é possível notar uma grande unidade geológica na porção extremo noroeste da área, com feição circular correspondente ao granito Mucambo e grande estruturação na porção centro leste, que indica lineamento.

A composição colorida RGB-543 (FIGURA 34) com filtro linear 2% ressalta a faixa NE-SW no centro da área. A rede de drenagem assume coloração verde, com exceção do Açude Aires de Sousa que assume cor preta. Na porção extremo sudeste é possível observar que as litologias estão dispostas em uma direção NE-SW, com incipiente foliação.

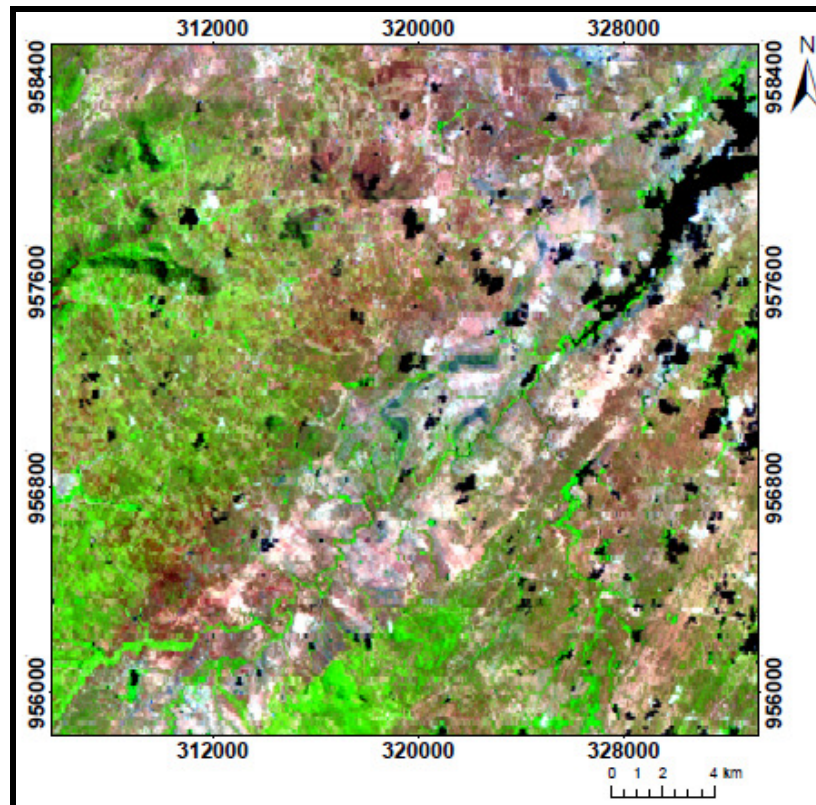


FIGURA 34 – Composição colorida RGB-543 com filtro linear 2%. Essa composição ressalta a faixa NE-SW no centro da área.

A composição colorida RGB-542 e RGB-752 (FIGURA 35 e 36), com filtro linear 2%, ressaltam a Serra do Carnutim, com suas quebras negativas e positivas. Na composição RGB-542 algumas porções com topografia mais elevada, de composição sedimentar, assumem cor azul nas quebras negativas e na composição RGB-752 essas porções assumem cor roxa e ainda nessa imagem, uma parte próxima ao açude possui essa cor também.

Nas duas composições a rede de drenagem possui uma alta resposta espectral. Na primeira assume cor verde, com exceção do Açude Aires de Sousa que assume cor preta. Enquanto que na composição RGB-752, a rede de drenagem assume cor preta e a malha rodoviária é bem visível.

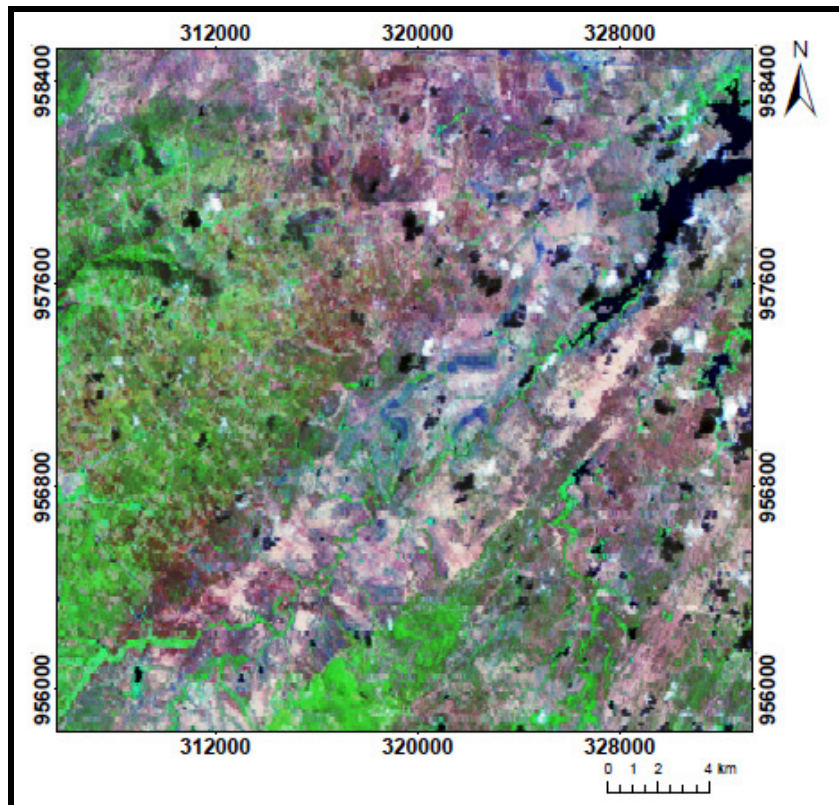


FIGURA 35 – Composição colorida R-5, G-4, B-2.

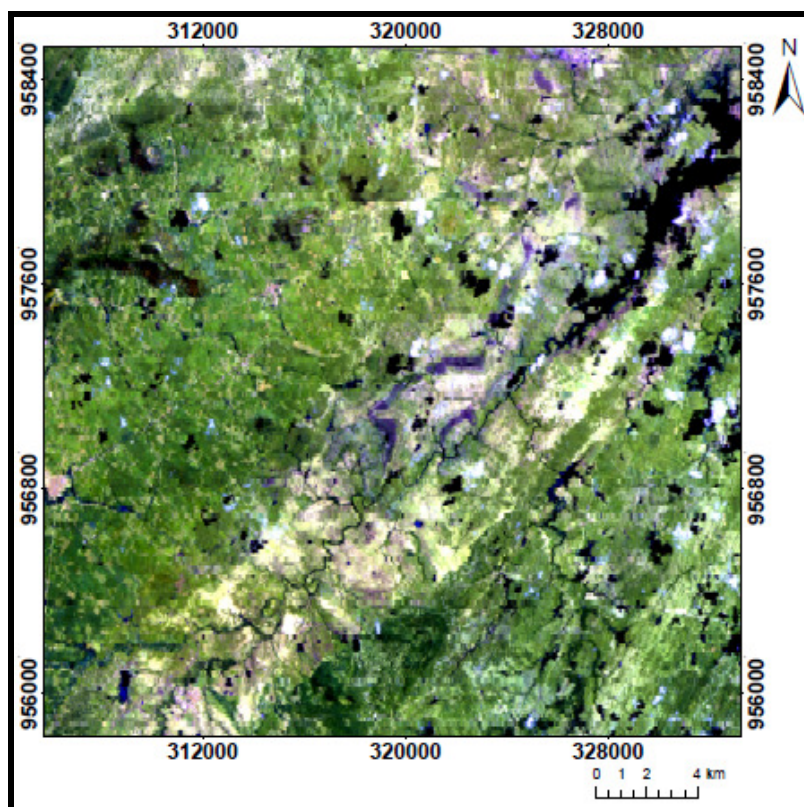


FIGURA 36 – Composição colorida RGB-752 com filtro linear 2%.

Na imagem de composição colorida RGB-531 (FIGURA 37), pode-se observar a faixa de direção NE-SW de tonalidade esbranquiçada no centro do mapa, que é formada pelo Grupo Jaibaras. Essa tonalidade é devido à resposta espectral de sua litologia, que é composta por arenitos, conglomerados, entre outros. Na porção extremo SE é perceptível uma grande estruturação de direção NE-SW, igual à anterior, com uma tonalidade rosa claro, essa resposta espectral é devido à litologia ter corpos graníticos alongados e gnaisses milonitizados, correspondendo ao Complexo Ceará.

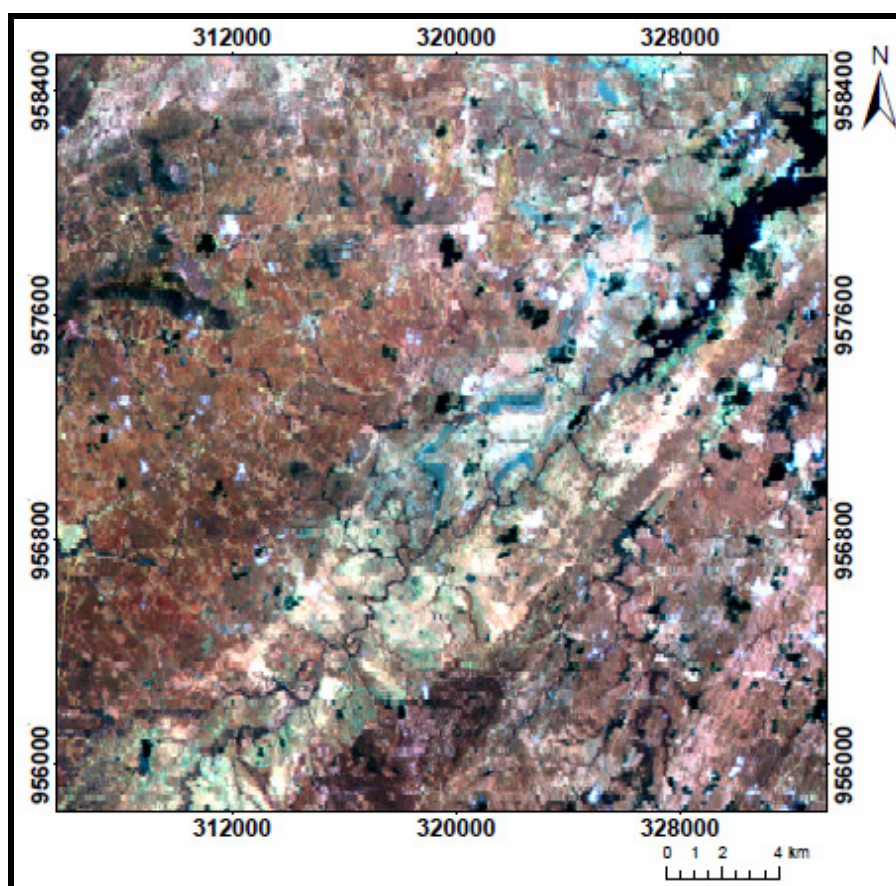


FIGURA 37 – Imagem da composição colorida RGB-531.

Na FIGURA 38 a composição colorida RGB-753, contém no centro do mapa a faixa NE-SW que é distinguível nas imagens anteriormente analisadas. Nessa faixa é possível observar uma feição de relevo expressivo, de formato convexo e com porções mais alongadas de direção N-S, correspondendo litologicamente aos basaltos da suíte Parapuú. No eixo oeste é possível observar uma feição de bases retas e topos arredondados, com morros residuais perceptíveis na porção norte deste corpo, correspondendo ao granito Mucambo. Na porção norte da área, ocorre

uma feição estirada e pouco arredondada, que corresponde aos metacalcários, metassiltitos, quartzitos e lentes de conglomerados da Formação Frecheirinha. Na porção centro sul, de tonalidade verde escuro e partes de cor branca, com na direção NE-SW, corresponde aos arenitos de granulometria variável da Formação Ipú.

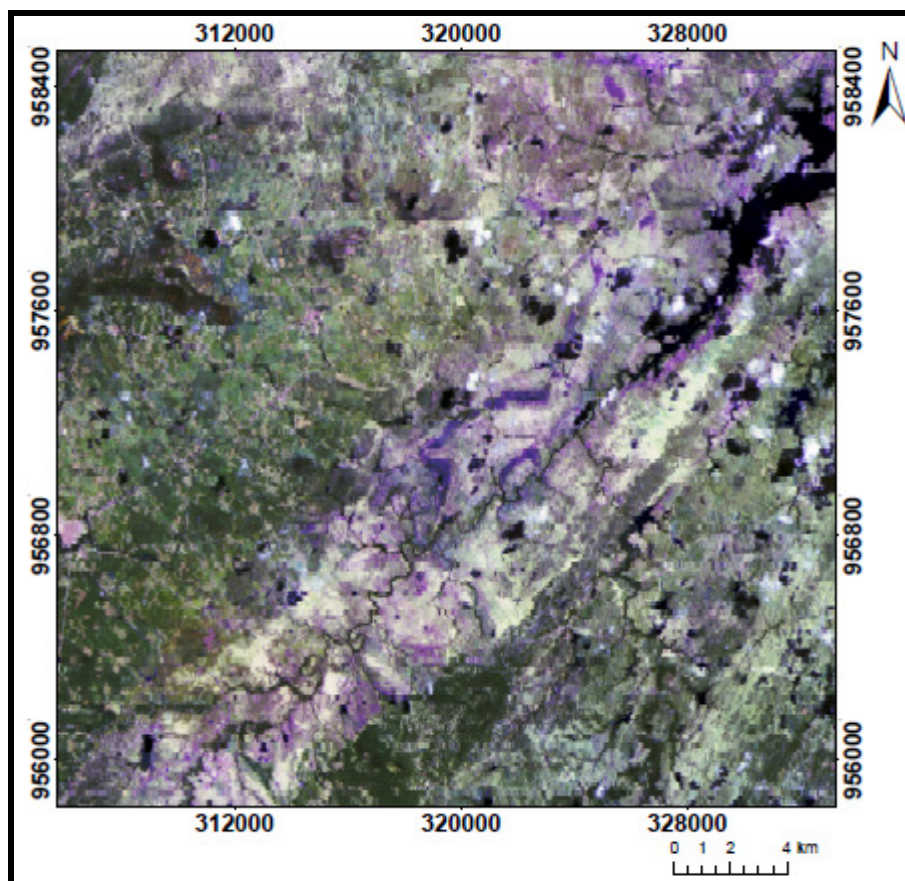


FIGURA 38 – Imagem de composição colorida RGB-753.

9.2.3 Razões entre bandas

As razões entre as bandas RGB (5/1, 7/1, 3/1), (7/1, 5/1 e 3/1) e (3/1, 7/1, 5/1) foram implementadas neste trabalho com o intuito de atenuar os valores de brilho relacionados à topografia, gerando uma melhor distinção entre as diferenças espectrais dos alvos (FIGURAS 39, 40 e 41).

No caso da folha SA-24-Y-C-VI-4 essas imagens forneceram bons resultados na distinção das grandes unidades litológicas, apesar dessas feições terem sido anteriormente diferenciadas. O corpo litológico do extremo noroeste, correlacionado ao granito Mucambo é muito bem ressaltado nas imagens. É possível distinguir uma faixa de direção NE-SW, que corresponde ao Gráben de Jaibaras-Ubajara, um corpo no eixo extremo sul e a malha rodoviária é bem visualizada em todas as razões. Na

FIGURA 41, na porção extremo sudeste observa-se foliações nas imagens que correspondem aos gnaisses, rochas calcissilicáticas, anfibolitos, entre outros das unidades Canindé e Independência do Complexo Ceará e dos granulitos da Faixa Cariré e ainda nesta razão foi possível fazer a distinção da região do colúvio, que são solos transportados do Serrote Pão de Açúcar, que corresponde a Formação Ipú do Grupo Serra Grande.

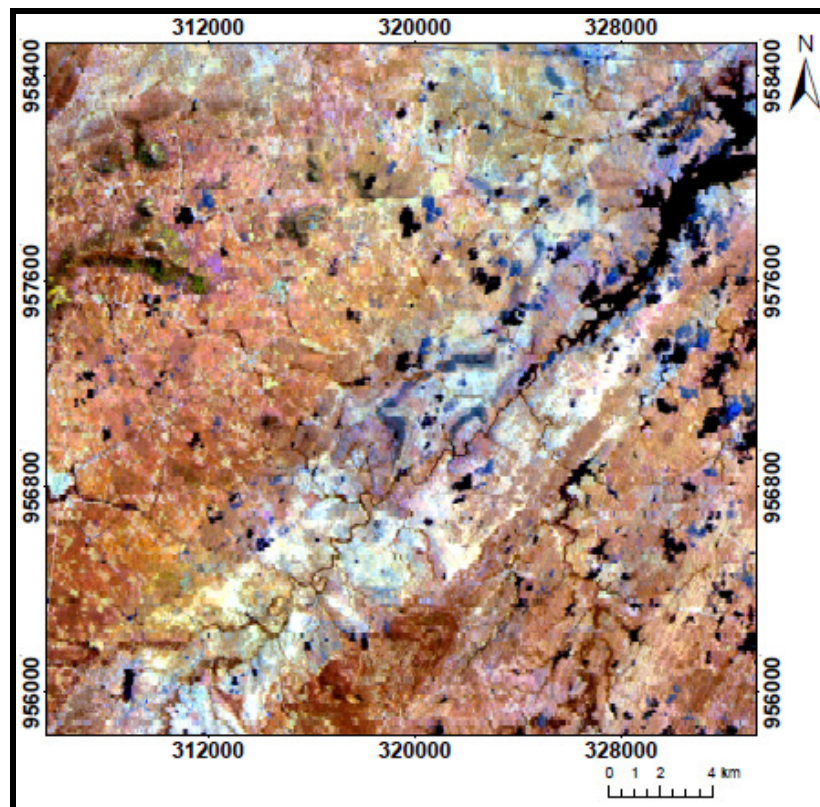


FIGURA 39 – Imagem RGB (5/1, 7/1, 3/1).

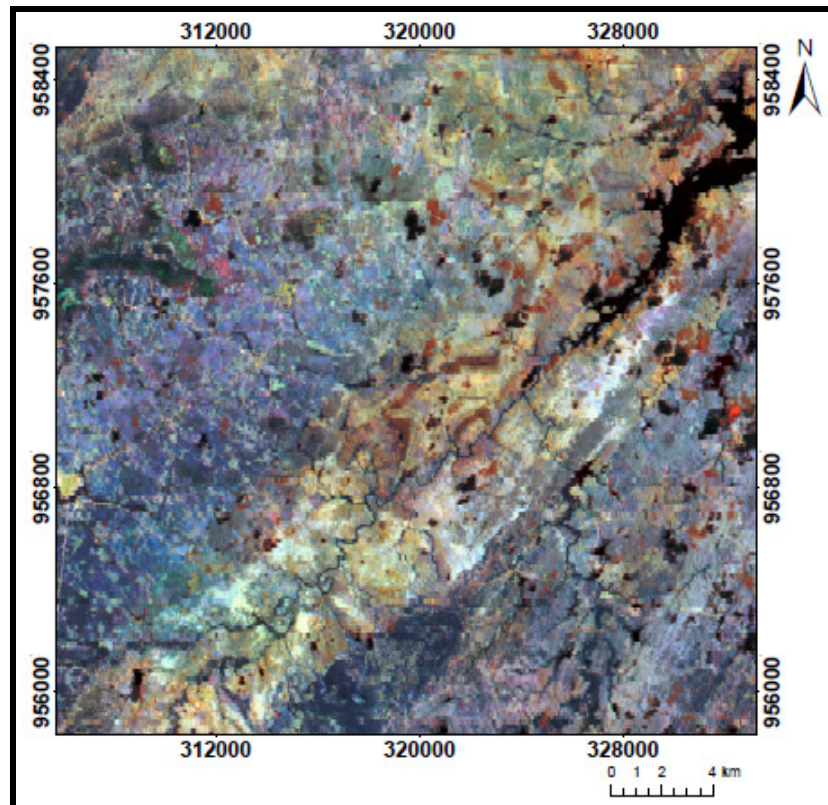


FIGURA 40 – Imagem RGB (3/1, 7/1, 5/1).

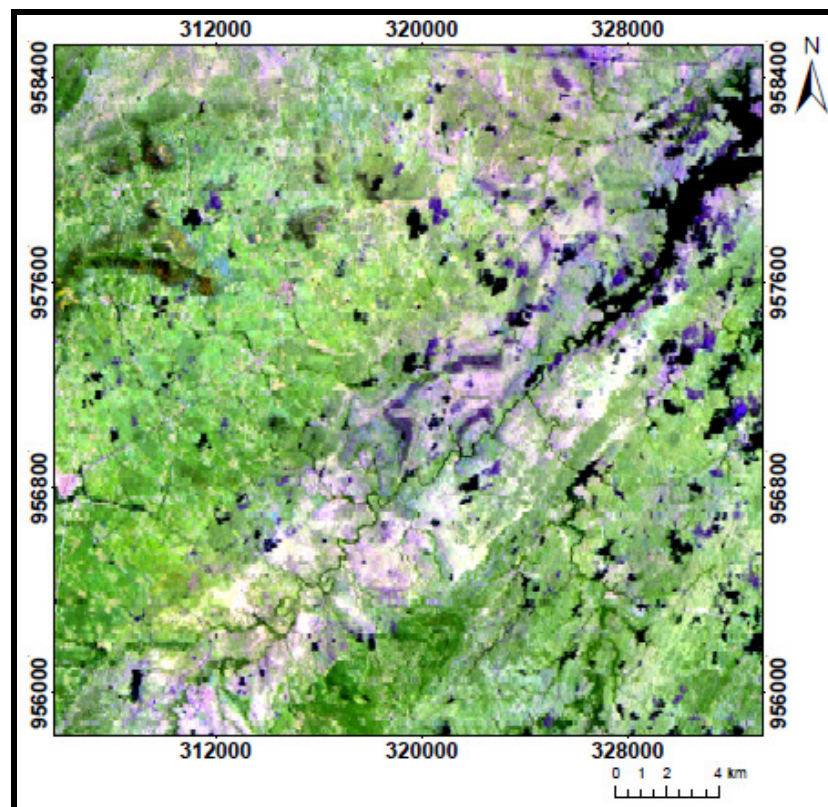


FIGURA 41 – Imagem RGB (7/1, 5/1, 3/1).

9.2.4 Imagens IHS

Neste trabalho inicialmente foi realizada a transformação IHS das composições RGB 413 e 413 com *equalization* (FIGURA 42 e 43), que ressaltaram os aspectos geológicos da área de trabalho, coincidindo com o mapeamento pré-existente.

A Serra do Carnutim na porção extremo noroeste e a faixa de direção NE-SW que segue a drenagem, estão bem ressaltadas nessas imagens. Além disso, a FIGURA 43 resalta a diferença de composição na porção extremo noroeste da área, em relação as outras, apesar da Serra do Carnutim ser o ponto mais alto, é possível observar que toda essa parte tem a mesma composição e corresponde a mesma unidade litológica, o Granito Mucambo. Essas imagens auxiliaram principalmente na integração com os dados geofísicos e geológicos.

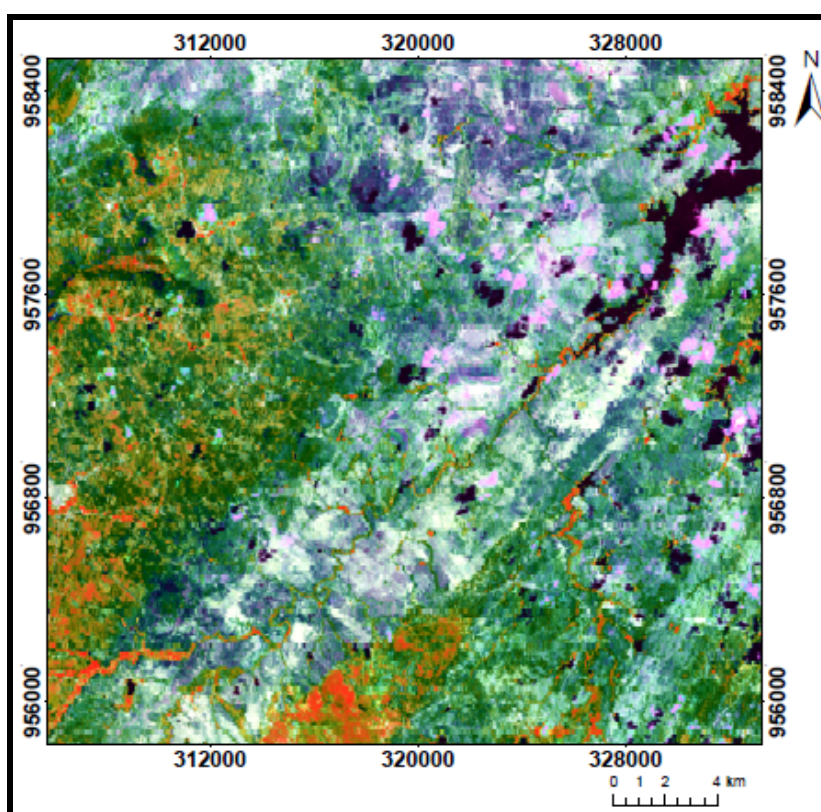


FIGURA 42 – Imagem de transformação IHS das bandas 413.

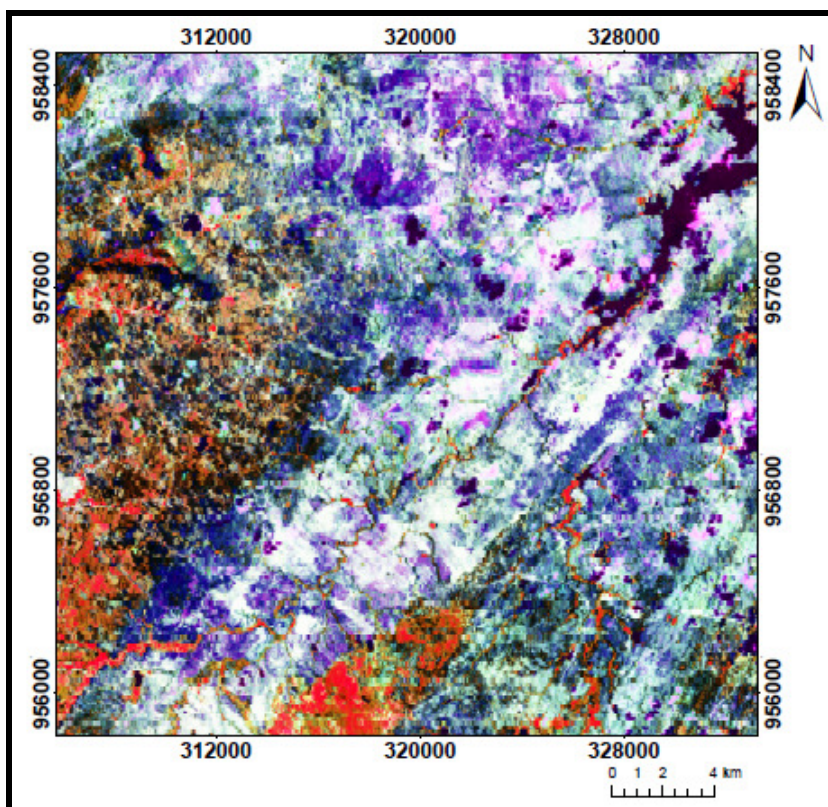


FIGURA 43 – Imagem de transformação IHS das bandas 413 com filtro *Equalization*.

9.3 RESULTADOS DOS DADOS AEROGEOFÍSICOS

A utilização de mapas aerogeofísicos teve como finalidade contribuir, principalmente, para a melhor caracterização do arcabouço estrutural. Os resultados estão dispostos a seguir.

9.3.1 Aeromagnetometria

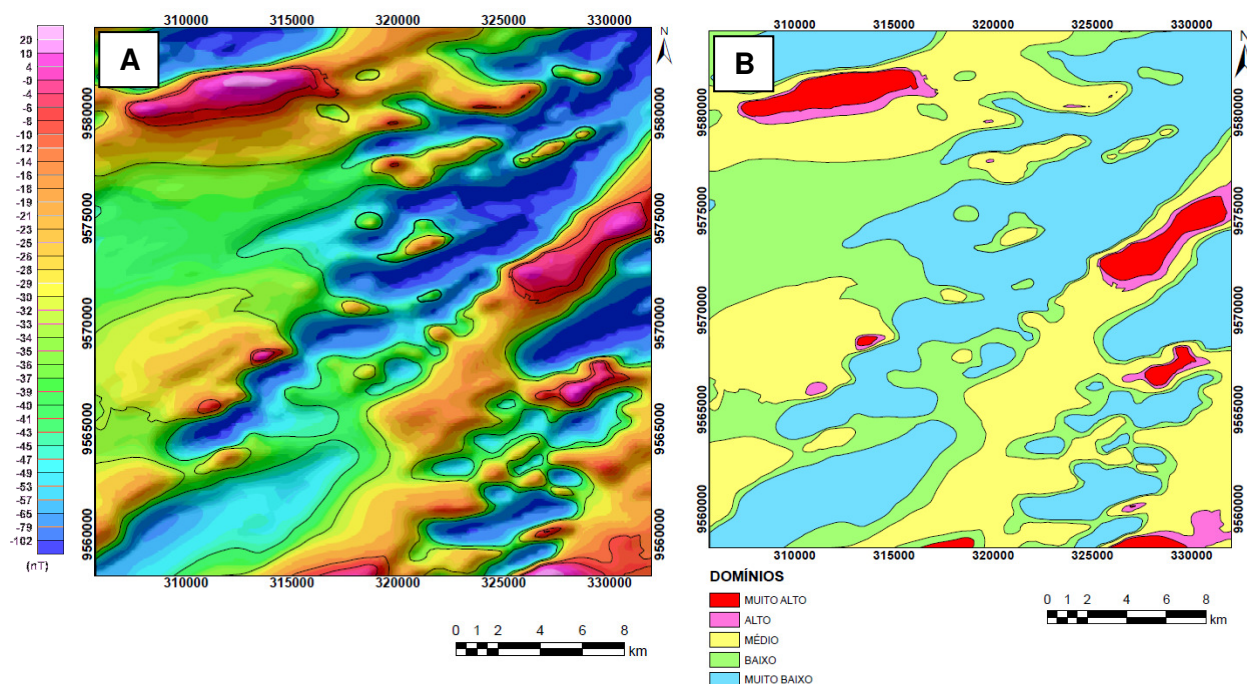
No caso dos dados magnéticos foi possível a identificação de dois tipos de feições: unidades magnéticas e descontinuidades lineares. As unidades magnéticas compreendem corpos geológicos com magnetismo característico ou uniforme. Elas não coincidem necessariamente com as unidades geológicas. As descontinuidades lineares, geralmente, são evidentes e representam falhas ou fraturas. Vale ressaltar que as respostas magnéticas são mais características de um grupo de rochas do que de litotipos individuais.

As imagens magnetométricas foram individualizadas em cinco domínios que variam de muito alto a muito baixo. Esses domínios foram definidos através da unidade de medida nanotesla (nT) que é a unidade que mede o campo magnético e estão descritos na TABELA 07.

TABELA 07 – Intervalos dos domínios magnetométricos limitados por valores.

VALORES	DOMÍNIOS
-4 a 20 nT	Muito Alto
-10 a -6 nT	Alto
-32 a -12 nT	Médio
-43 a -33 nT	Baixo
-102 a -45 nT	Muito Baixo

A imagem do campo magnético anômalo teve como finalidade a análise dos sinais que compunham o relevo do campo magnético anômalo, que auxiliam na interpretação da estruturação geral da área de estudo. Assim, foi possível demarcar padrões que individualizassem unidades com comportamentos distintos (FIGURA 44).

**FIGURA 44** – a) Imagem do campo magnético anômalo da folha SA-24-Y-C-VI-4 e b) Domínios magnéticos com valores.

A complexidade dos sinais magnéticos dessa imagem podem ser bem observadas. Notam-se alternâncias de valores magnéticos muito baixo (azul) a muito alto (rosa) com arranjo espacial refletindo a combinação complexa dos sinais provenientes de fontes magnéticas de dimensões e profundidades diferentes.

Na porção noroeste predominam valores baixos (verde), com anomalias positivas de direção E-W. Na porção nordeste predomina os valores médios

(amarelo), com anomalias positivas de direção NE-SW. Na porção central revelam-se valores muito baixos (azul) e valores médios (amarelo) com a direção NE-SW.

A imagem da derivada vertical (dz) foi utilizada no intuito de realçar componentes de alta frequência de feições rasa, normalmente associados a falhas, fraturas e contatos litológicos (FIGURA 45).

Nessa imagem observa-se que as porções escuras a SE, com direção NE-SW, é da Unidade Independência e Faixa Granulítica de Cariré, marcando o contato entre a Unidade Independência e Formação Massapê, assim como o lineamento Sobral-Pedro II. A outra parte escura, com a mesma direção anterior, ocorre na porção NE, marcando o contato entre a Formação Pacujá e Massapê. Na porção extremo NW esta marca o contato da Formação Trapiá com o Granito Mucambo e no eixo central marca o contato deste granito com a Suíte Parapuí.

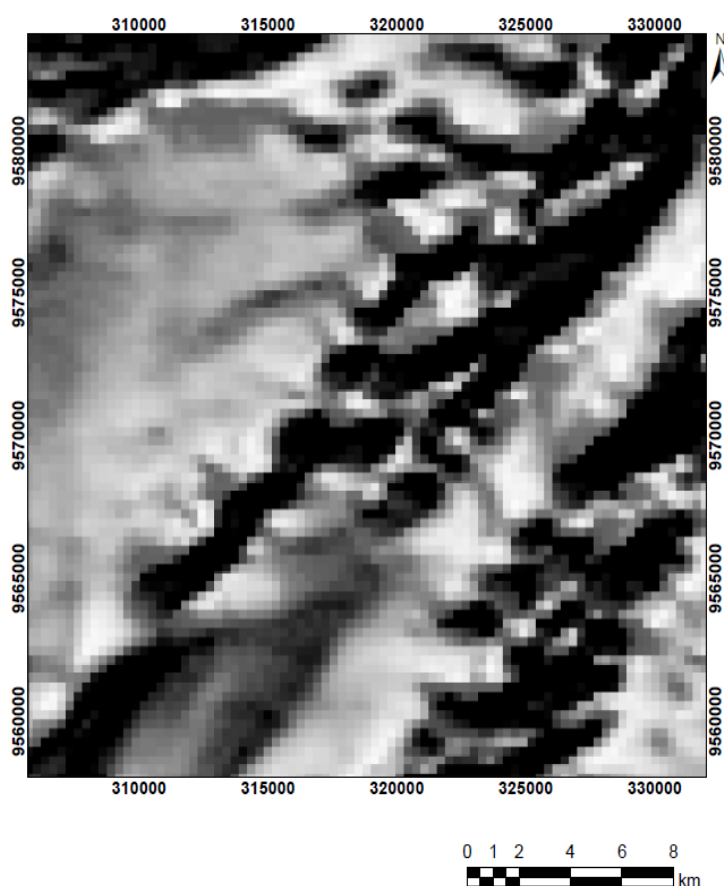


FIGURA 45 - Mapa da Derivada Vertical (Z).

O mapa de amplitude do sinal analítico também ressaltava as estruturas magnéticas (FIGURA 46), realçando as bordas em corpos largos e o centro em corpos estreitos. Observa-se que a maioria dos valores muito altos estão estirados na direção NE-SW e são justamente o centro de corpos menores presente na área.

Essa imagem corrobora também na observação da porção extremo NW, a qual pertence a área de abrangência do granito Mucambo, apresentando valores muito baixos no centro do corpo e altos na sua borda.

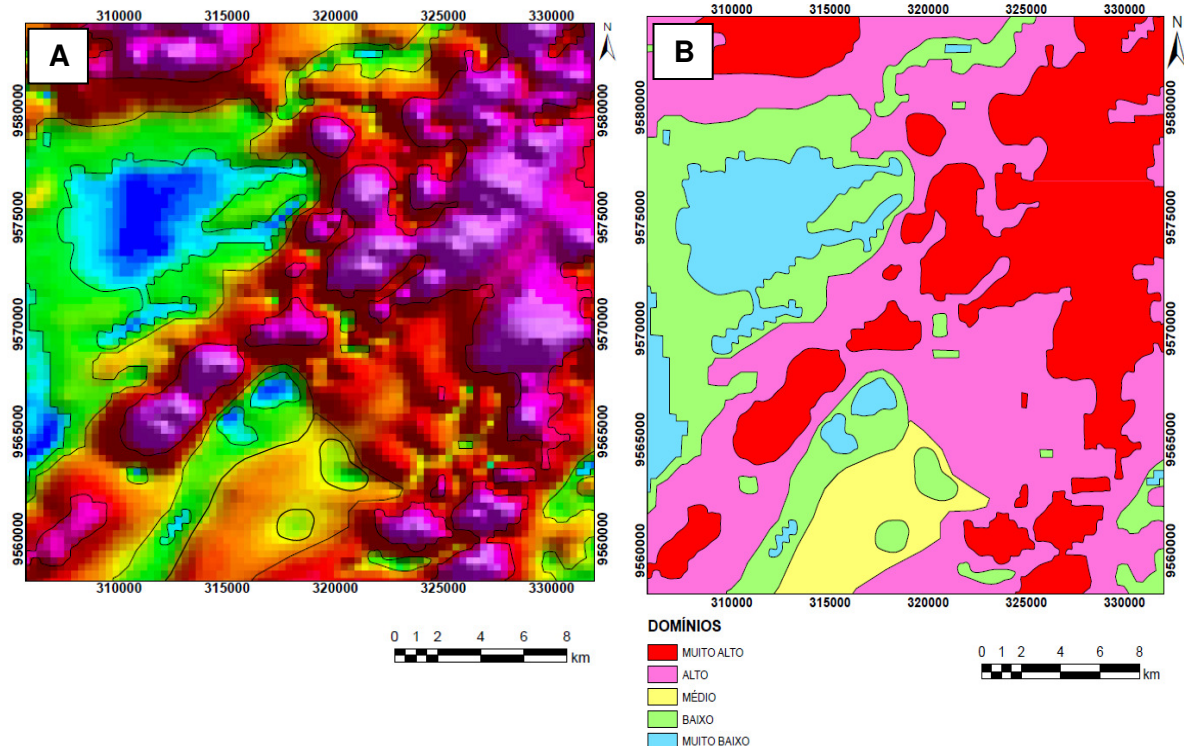


FIGURA 46 - a) Imagem de amplitude do sinal analítico da folha SA-24-Y-C-VI-4 e b) Domínios magnéticos com valores.

A utilização principal das imagens magnetométricas é em relação aos alinhamentos magnéticos. O mapa de lineamentos magnéticos (FIGURA 47) mostrou que a tendência dos lineamentos da área é estarem na direção NE-SW, com outras direções em menor proporção. Isso ocorre devido a influência da zona de cisalhamento Sobral-Pedro II, que ocorre na área de trabalho.

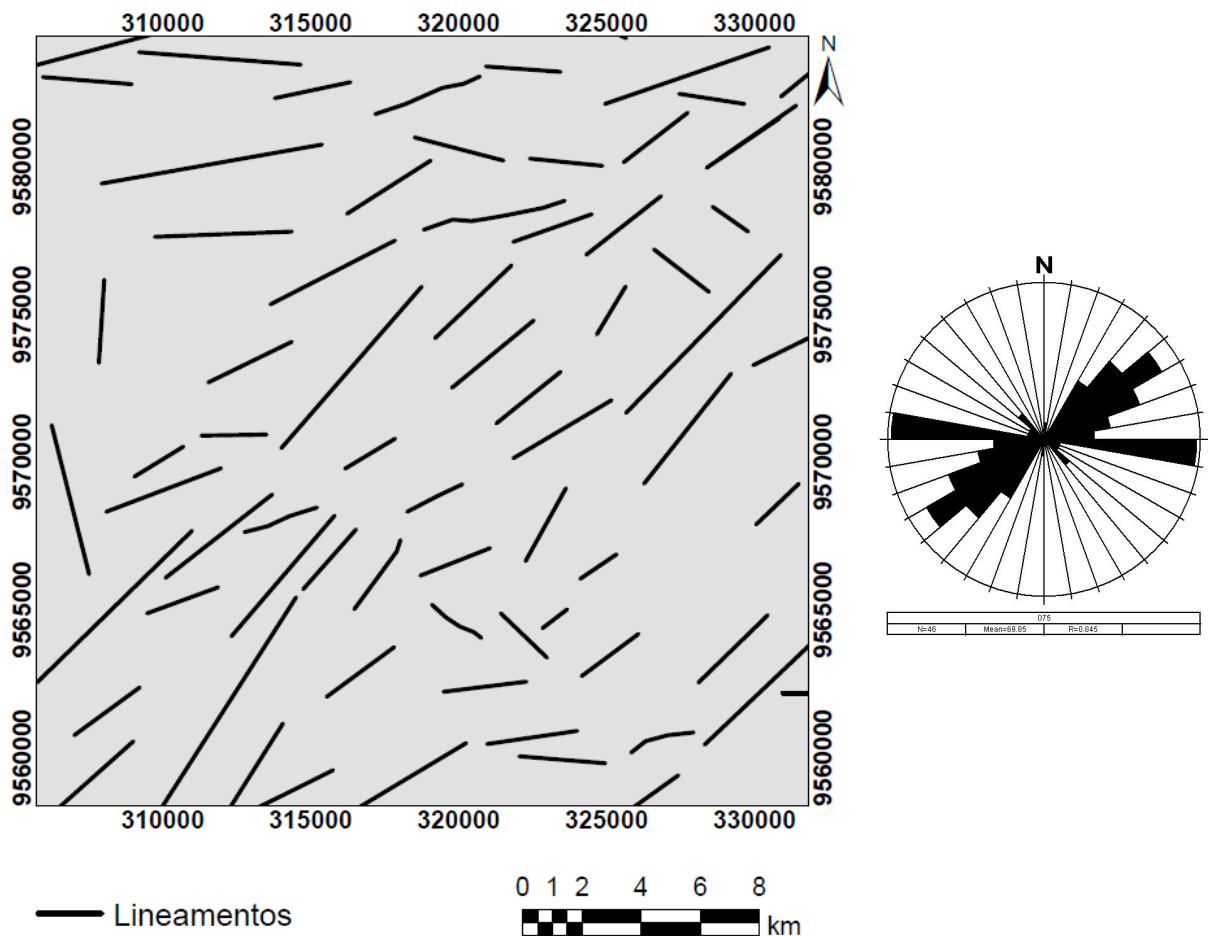


FIGURA 47 - Mapa de lineamentos magnéticos e rosácea mostrando a direção preferencial dos lineamentos magnéticos.

9.3.2 Aerogamaespectrometria

A análise das imagens gamaespectrométricas auxiliam na delimitação das principais unidades lito-estruturais, através do reconhecimento de áreas enriquecidas ou empobrecidas em radioelementos.

O elemento potássio, em rochas félsicas, como granitos, é alto e em rochas máficas é ausente. De acordo com Dickson e Scott (1997), existe uma tendência de enriquecimento de K, através de soluções hidrotermais, em áreas graníticas, sendo um critério usual de diagnóstico geofísico de associações mineralizadas.

Essas imagens auxiliam na delimitação das unidades e de estruturas superficiais do mapeamento geológico. Assim como as imagens aeromagnetométricas, houve a separação em domínios definidos através da unidade de medida nanotesla (nT), para cada imagem utilizada.

Os cinco domínios particularizados na imagem de canal de potássio foram: muito baixo (0.59 a 1.03 nT/m), baixo (1.07 a 1.37 nT/m), médio (1.46 a 2.52 nT/m), alto (2.76 a 3.41 nT/m) e muito alto (3.95 a 15.90 nT/m).

O elemento potássio, em rochas félsicas, como granitos, é alto e em rochas máficas é ausente. A imagem do canal de potássio (FIGURAS 48 e 49) mostra áreas com concentrações muito elevadas desse elemento, nas porções extremo noroeste e nordeste da imagem, as quais correspondem ao Granito Meruoca e ao Granito Mucambo. Os valores no Granito Mucambo variam de alto a muito baixo, deve-se esse comportamento as diferentes rochas que compõem este corpo. É importante esclarecer que em relação as rochas diferentes, a escala de trabalho não permite a distinção das mesmas, pois as imagens aerogeofísicas tem espaçamento das linhas de vôo de 1km.

Valores médios, que correspondem a faixa NE-SW, da área são encontrados sobre rochas do Grupo Ubajara. Sobre as rochas do Complexo Ceará, a SE da área de trabalho, são encontrados valores baixos a médios de K. Na porção que corresponde a Unidade Canindé, os valores baixos são maiores, isso ocorre por essa unidade ser constituída de rochas gnáissicas miloníticas, e o valor K em rochas miloníticas é baixo devido a perda deste elemento, durante sucessivos estágios deformacionais que atuaram sobre a rocha original. Os valores muito baixo deste canal correspondem a arenitos, conglomerados e siltitos, que correspondem a Formação Ipú e a ortoconglomerado brechóide da Formação Aprazível. O conteúdo de K é baixo em rochas sedimentares por refletirem o conteúdo pobre desse elemento da área fonte e destruição/substituição pelos processos de intemperismo.

Com relação à estruturação, observa-se uma tendência NE-SW para corpos, além de lineamentos seguindo esse mesmo padrão.

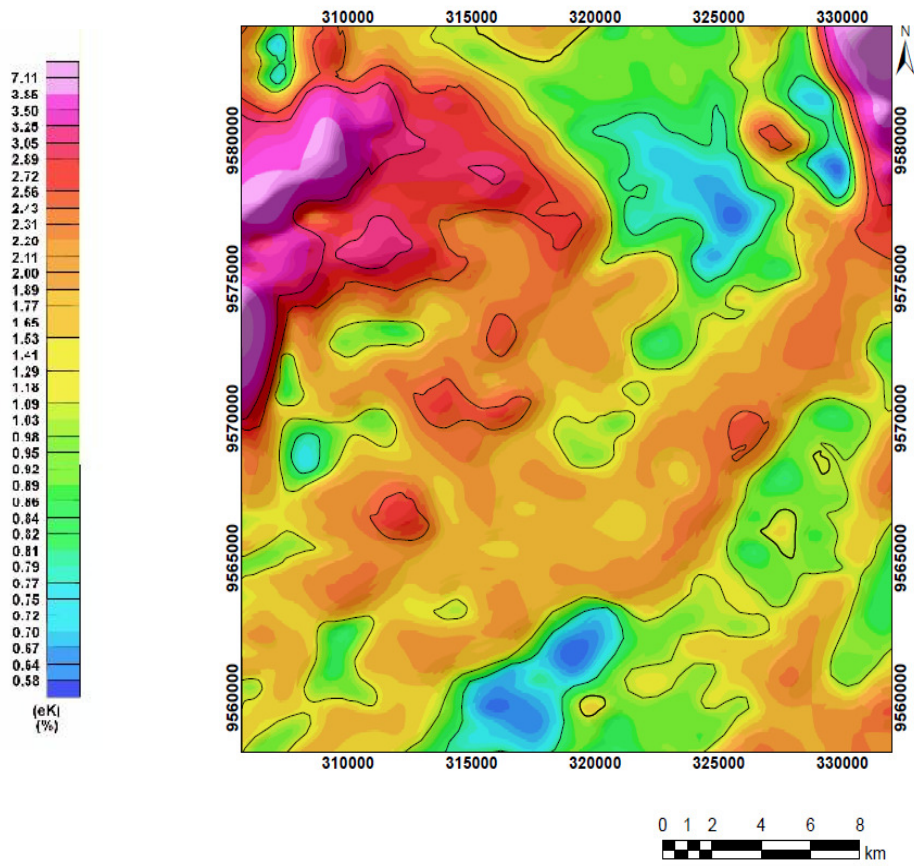


FIGURA 48 - Mapa radiométrico do canal K.

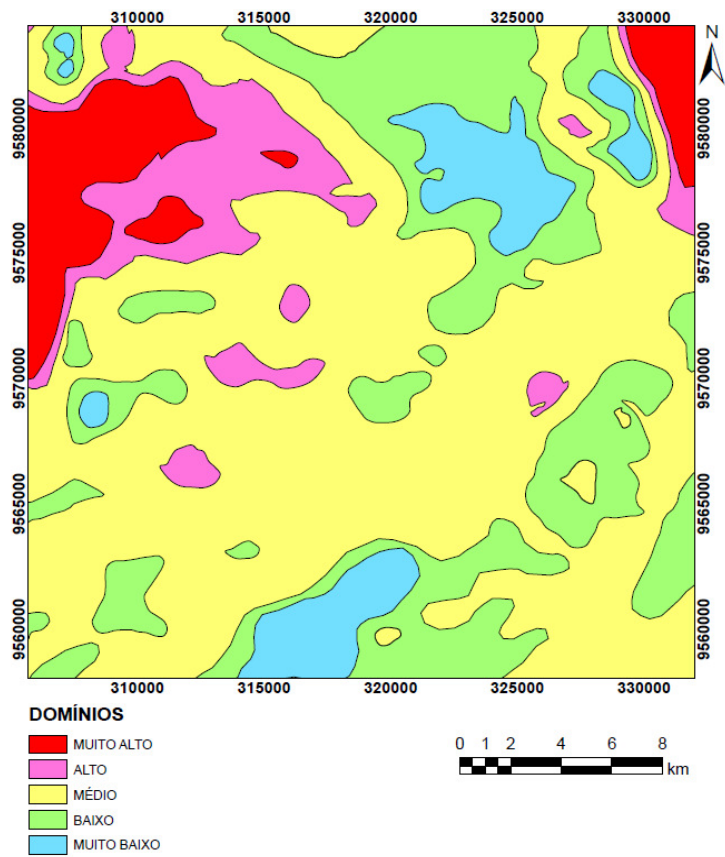


FIGURA 49 - Mapa radiométrico do canal K com os domínios.

Os cinco domínios particularizados na imagem de canal de urânio foram: muito baixo (1.04 a 1.41 nT/m), baixo (1.44 a 1.65 nT/m), médio (1.72 a 2.77 nT/m), alto (3.00 a 3.63 nT/m) e muito alto (4.14 a 12.91 nT/m).

O urânio possui grande mobilidade, permanecendo em locais com topografia arrasada ou próximo de drenagens. Na imagem de canal de urânio da área de trabalho (FIGURAS 50 e 51), isso é perceptível, pois a grande concentração de urânio ocorre próximo ao açude Aires de Sousa.

A resposta radiométrica sobre os granitos, referente ao canal U, podem ser oriundos da maior exposição de afloramentos rochosos, particularmente sobre o Granito Mucambo.

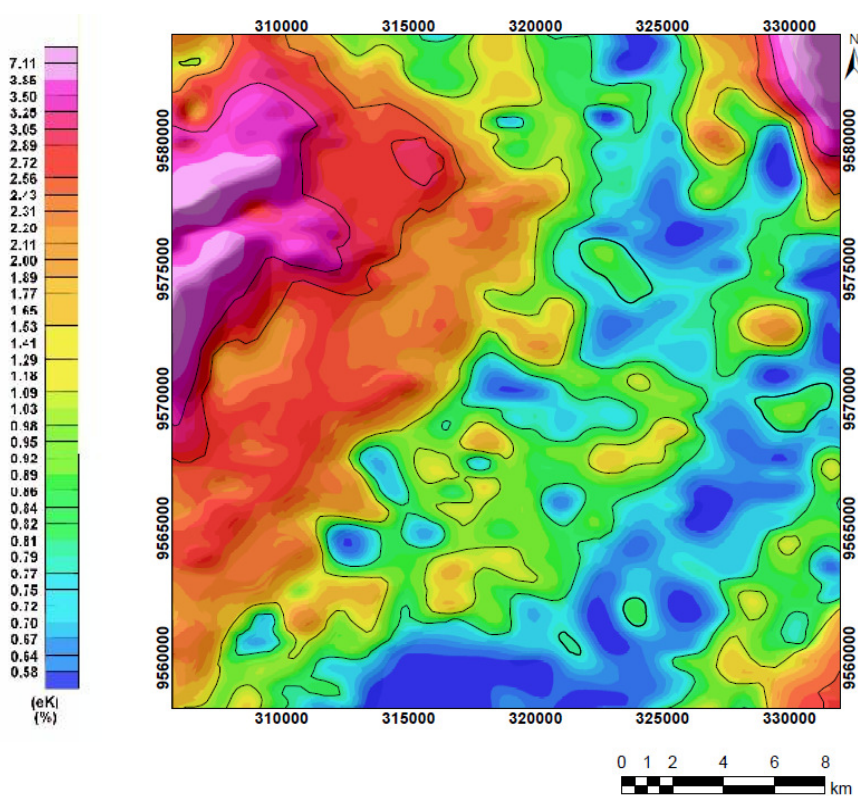


FIGURA 50 - Mapa radiométrico do canal U separado em domínios.

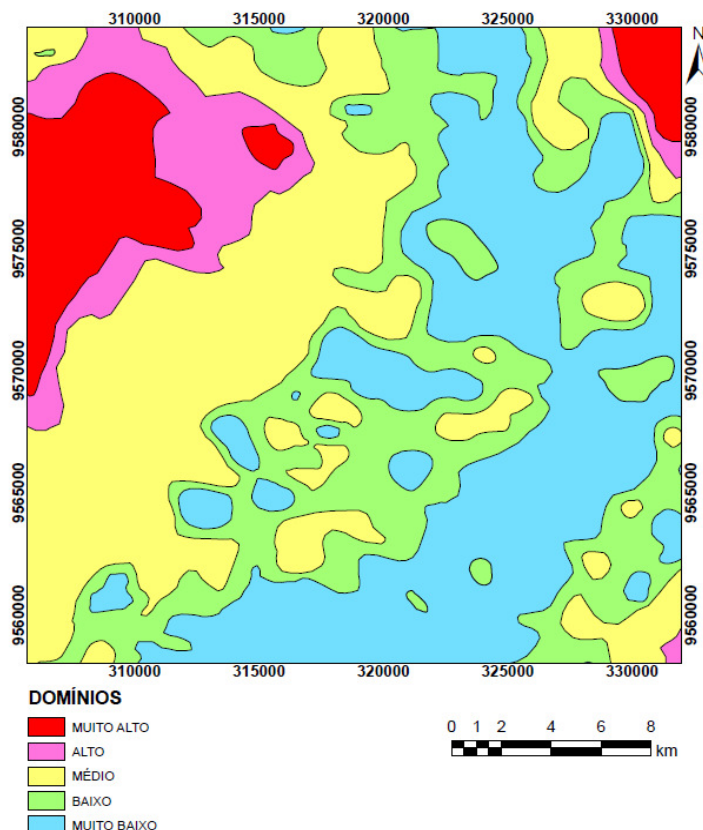


FIGURA 51 - Mapa radiométrico do canal U separado em domínios

Para as imagens do canal de tório os cinco domínios particularizados foram: muito baixo (5.87 a 8.73 nT/m), baixo (8.97 a 10.64 nT/m), médio (10.87 a 16.19 nT/m), alto (17.23 a 21.53 nT/m) e muito alto (23.09 a 35.75 nT/m).

Grande parte da área é caracterizada pela baixa contribuição do tório, excetuando-se apenas as porções noroeste, nordeste e sudeste, as quais se caracterizam por valores muito altos para este elemento (FIGURAS 52 e 53).

A análise dos valores de Th mostra que, as maiores concentrações deste elemento, ocorrem nas áreas com topografia mais elevada, devido a menor mobilidade do mesmo. Os limites do corpo correspondente ao Granito Mucambo é perfeitamente definido. Esta distribuição de radiação no granito é controlada sobretudo pela presença de minerais portadores de Th. Portanto, para um dos propósitos deste trabalho, que é mapeamento geológico com uso de geofísica, o canal de tório foi o mais eficiente, por permiti a delineação dos limites do Granito Mucambo.

Forte feição estrutural é observada nesta imagem, os quais muitas vezes delimitam as grandes unidades separadas no mapeamento de superfície e apresentam orientação preferencial NE-SW.

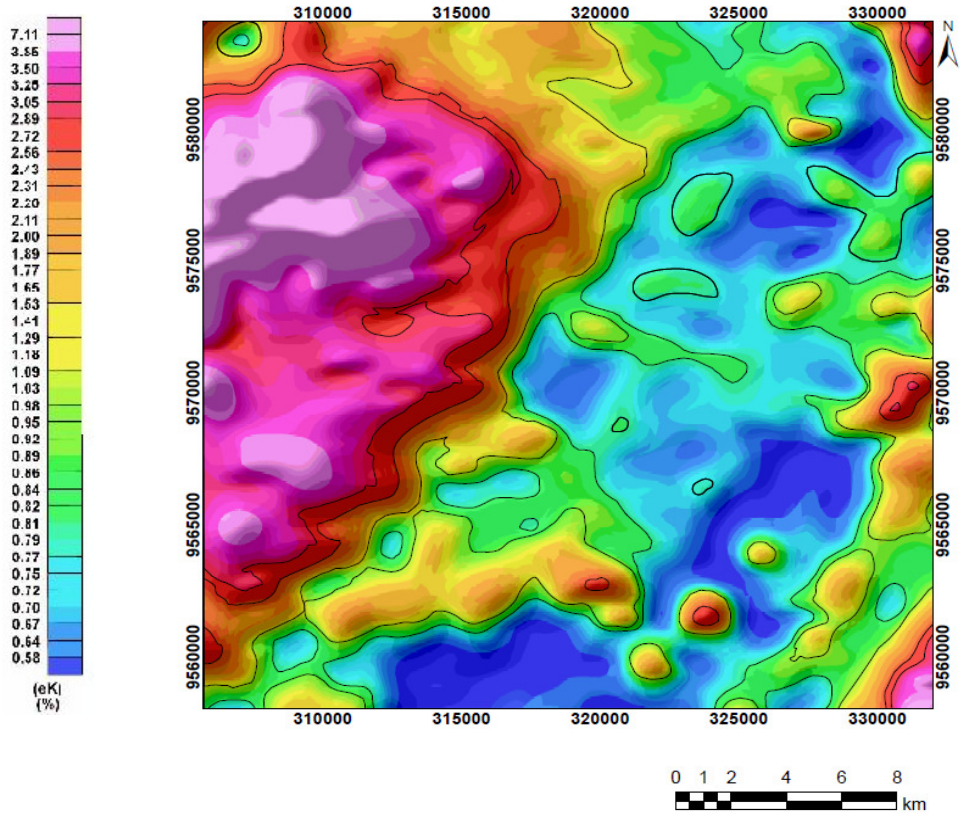


FIGURA 52 - Mapa radiométrico do canal Th.

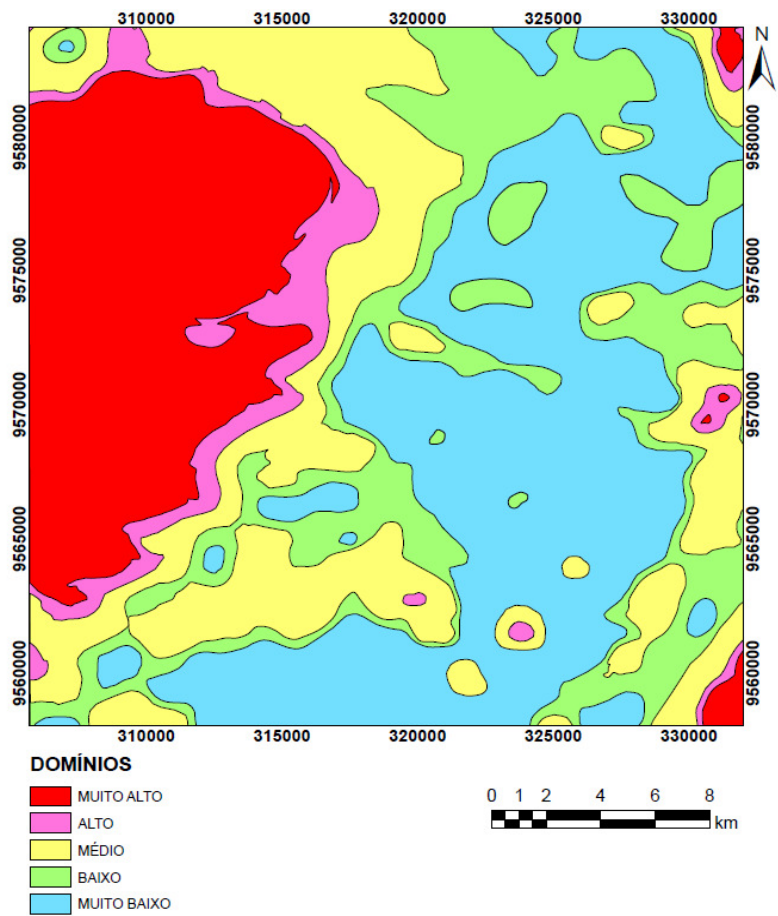


FIGURA 53 - Mapa radiométrico do canal Th separado em domínios.

No canal de contagem total, assim como os canais anteriores, foram particularizados cinco domínios foram: muito baixo (2.82 a 4.13 nT/m), baixo (4.23 a 5.03 nT/m), médio (5.27 a 8.34 nT/m), alto (8.95 a 10.34 nT/m) e muito alto (11.25 a 17.06 nT/m). A imagem de contagem total possibilitou uma definição do arranjo do arcabouço gamaespectrométrico regional. Nesta imagem foi possível observar que os grandes lineamentos delimitam várias unidades de mapeamento. Dentre elas, se destacam o lineamento no centro do mapa de direção NE-SW que secciona a área de trabalho (FIGURA 54).

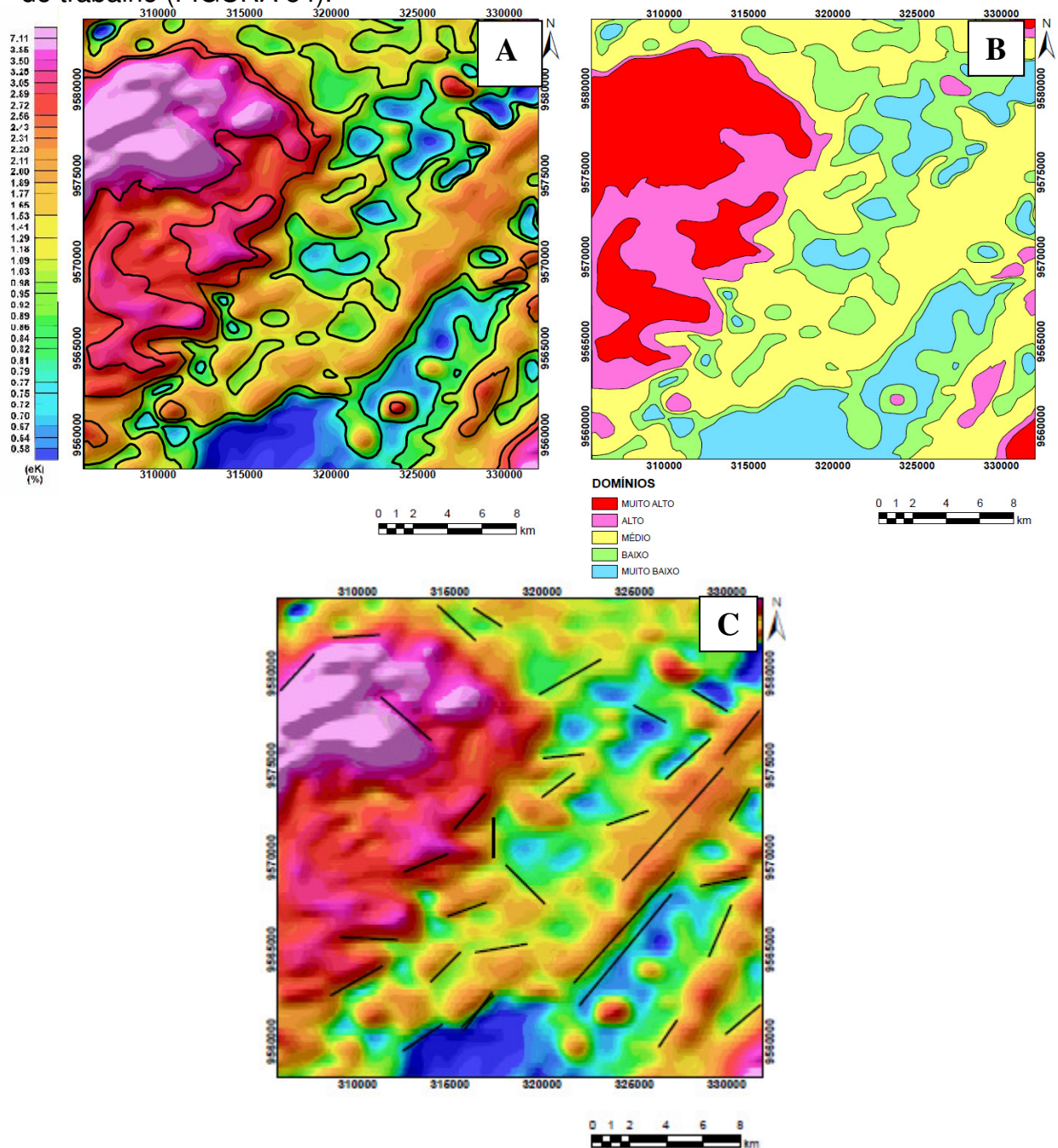


FIGURA 54 – (A) Mapa radiométrico do canal CT; (B) Mapa radiométrico do canal CT com domínios e (C) Com alinhamentos de relevo

A imagem RGB (K-Th-U) (FIGURA 55) mostra que as maiores concentrações dos três rádio-elementos ocorrem de cor branca, no extremo oeste da área, correspondendo ao Granito Mucambo; no extremo sudeste, correspondendo à Unidade Canindé e no extremo nordeste, correspondendo ao Granito Meruoca. Significa que esses elementos ocorrem nas fases minerais das rochas que compõem esses corpos e essa unidade. O urânio está presente em minerais acessórios como zircão e ainda pode ser absorvido por argilas e precipitados, enquanto que o tório está presente em monazita e pode se acumular nas argilas ou em óxidos de ferro e titânio *in situ* ou no local da deposição, mesmo sendo mais inerte. O potássio ocorre no k-feldspato do granito, do granito monzonítico e subalcalino.

Em relação ao potássio, foram observadas concentrações a sul, que pertencem a depósitos coluvionares formados por blocos desagregados da Formação Ipú, devido processos intempéricos e de transporte, que permitiram a concentração do potássio na estrutura dos argilo-minerais formados nesses blocos, dispostos no sopé do Serrote Pão de Açúcar.

A cor preta representa a ausência ou um menor valor desses três rádio-elementos. Na imagem para área em questão, a cor preta ocorre em um pequeno núcleo, a sul da área, correlacionada a Formação Ipú, do Grupo Serra Grande. Entretanto, devido à extensão dessa formação, ainda ocorre concentrações de potássio, urânio e tório. Essa diversidade é acarretada pelo fato da Formação Ipú ser formada por conglomerados e arenitos, em parte feldspáticos, com intercalação de siltitos e folhelhos. Os arenitos não possuem grandes concentrações de potássio, enquanto que os arenitos feldspáticos e os siltitos possuem quantidades elevadas. Já os folhelhos são ricos no elemento urânio e o tório ocorre em minerais acessórios.

Concentrações isoladas de tório ocorrem em algumas porções, bem como concentrações de urânio em menor proporção.

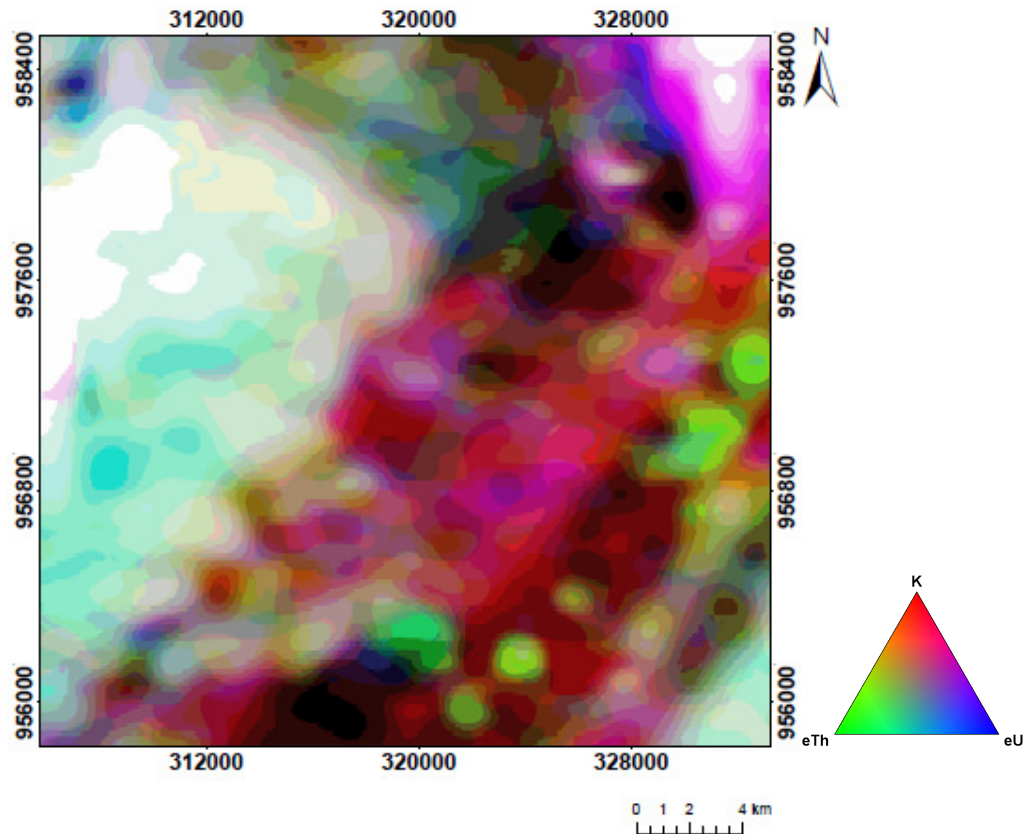


FIGURA 55 – Imagem ternária K-Th-U.

As imagens aerogeofísicas forneceram informações preliminares sobre o comportamento regional, em superfície e sub-superfície das feições geológicas presentes na área de trabalho. A partir das imagens aerogamaespectrométricas foi possível identificar os *trends* principais orientados NE-SW (FIGURA 56). Essas imagens permitiram a visualização das diferentes respostas radiométricas e a correlação com as unidades geológicas da área de trabalho.

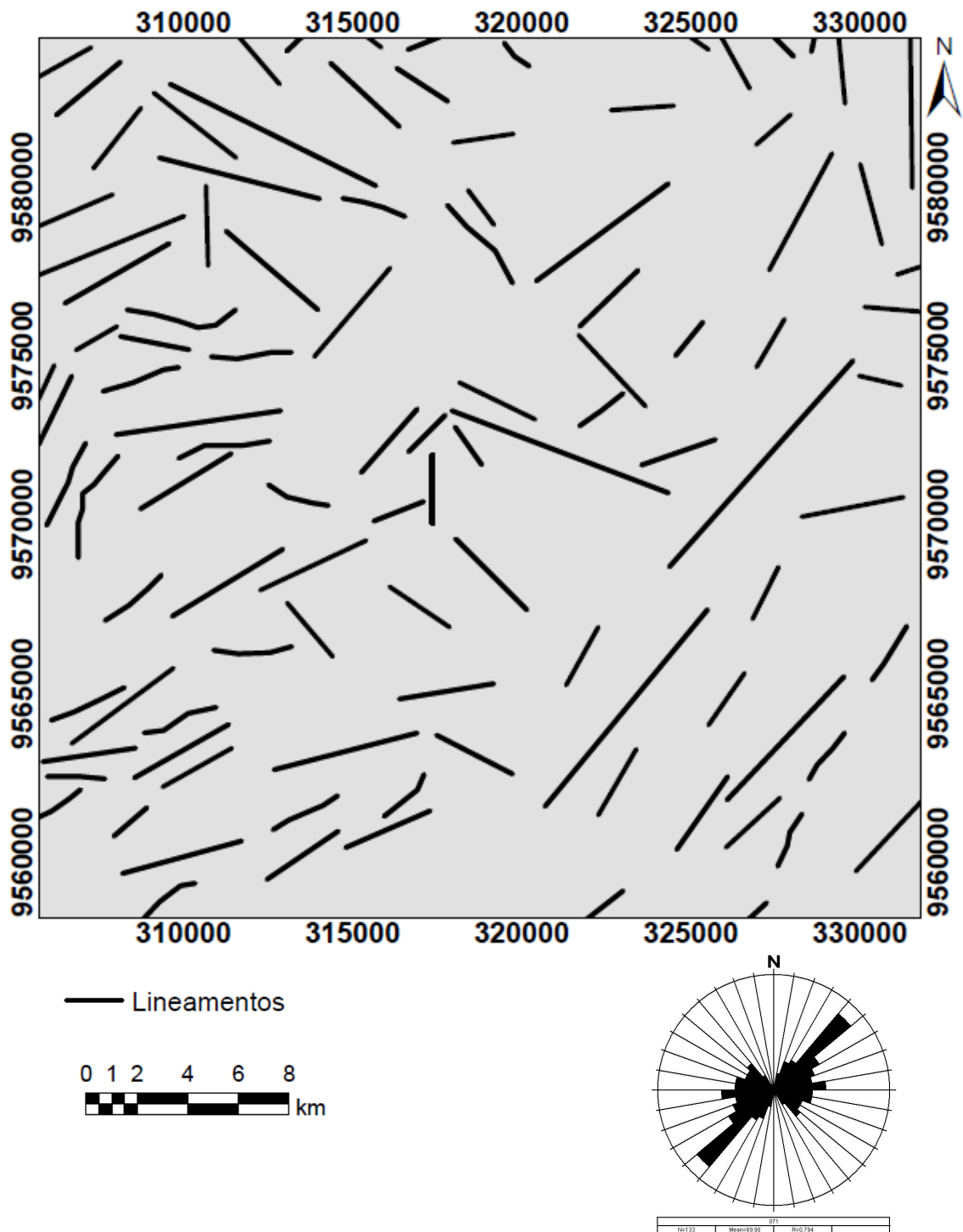


FIGURA 56 – Mapa integrado dos lineamentos gamaespectrométricos.

O mapa dos lineamentos gamaespectrométricos e magnetométricos integrados (FIGURA 57), mostra que a direção preferencial é NE-SW, coincidindo na direção do lineamento Sobral-Pedro II e da falha Café-Ipueiras, os quais atravessam a área de estudo. Os lineamentos que ocorrem em direção NW-SE são em menor proporção e a maior parte pertence às imagens magnetométricas.

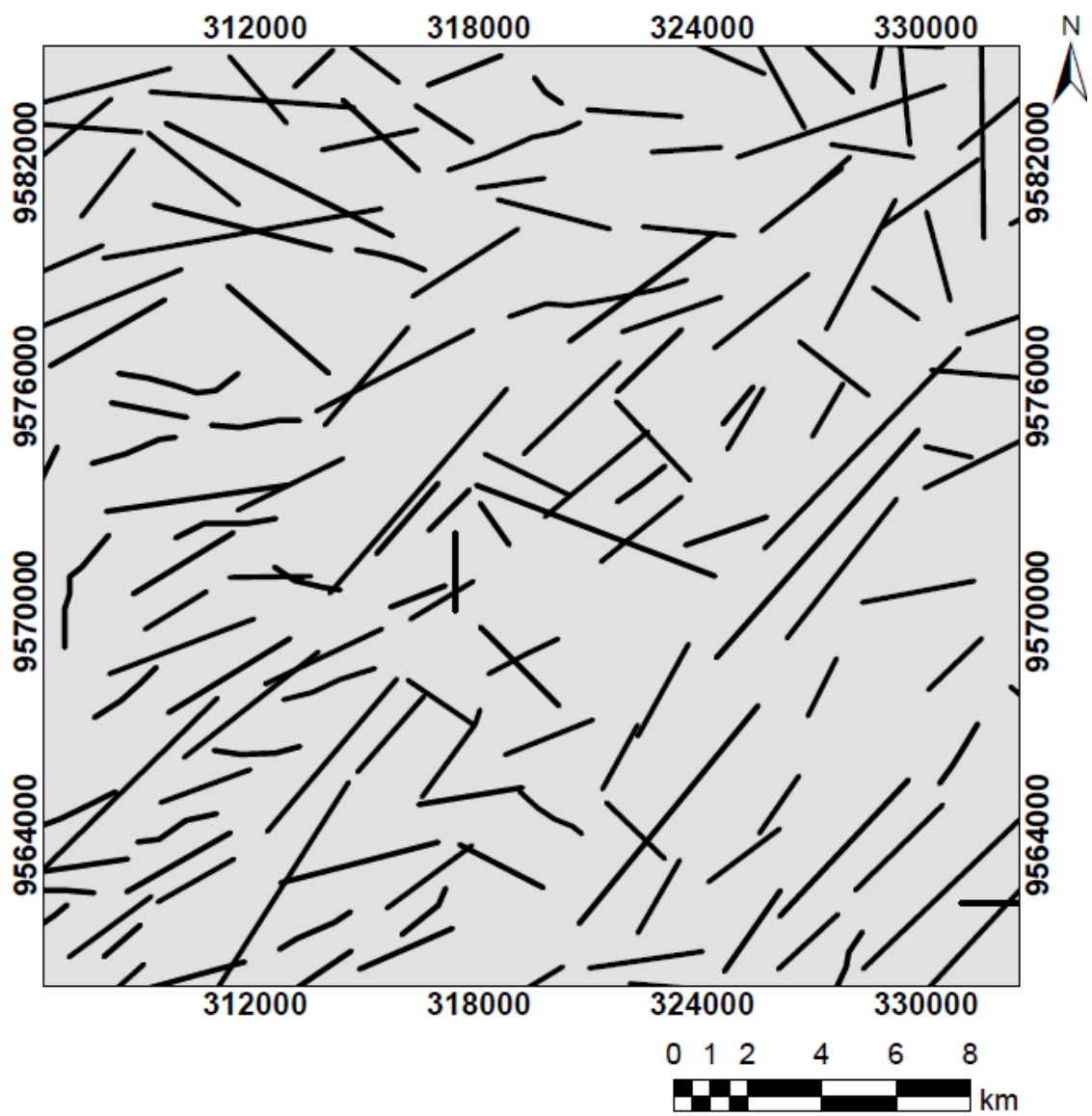


FIGURA 57 – Mapa integrado dos lineamentos magnéticos e gamaespectrométricos.

11 INTEGRAÇÃO DE DADOS

A integração é o processo de combinar diferentes dados espacialmente distribuídos, e prepará-los para armazenamento, recuperação, análise e apresentação.

Para a integração foram utilizadas imagens gamaespectrométrica (contagem total, tório, potássio), derivada vertical (DZ), Landsat-TM e dados pré-existent da geologia da área.

Devido a geologia ser complexa, geralmente as imagens não ressaltam todas as unidades geológicas existentes. Assim cada imagem irá apresentar alguns aspectos litológicos e/ou estruturais da área de estudo. Para melhor entendimento das interpretações obtidas, separou-se a área em sete domínios, levando em consideração cor, textura, tonalidade e estrutura, estes domínios foram bastante coincidentes com o mapeamento geológico. Na TABELA 08 é mostrada a relação entre esses domínios separados nas imagens e a sua correlação geológica.

TABELA 08 – Relação entre os domínios, a descrição e a correlação geológica.

SEQUÊNCIA	DESCRIÇÃO	CORRELAÇÃO GEOLÓGICA
1	Granito Sienítico e Monzonítico, subordinadamente com Granito Sub-Alcalino	Granito Mucambo
2	Arenitos, Siltitos e Conglomerado Polimitico	Grupo Jaibaras
3	Conglomerados e Arenitos, em parte feldspáticos, com intercalação de Siltitos e Folhelhos	Formação Ipú
4	Paragnaisses, Calcissilicáticas, Anfibolitos e Quartzitos	Complexo Ceará
5	Metacalcário, Metassiltitos, Quartzitos, Conglomerados, Ardósias e Metarenitos	Grupo Ubajara
6	Albita Ortoclásio Granito, Biotita Hornblenda Granito, Microgranitos e Hornfels	Suíte Intrusiva Meruoca
7	Basaltos, diques de Diabásio, Riolitos, Andesitos,	Suíte Parapuí

A integração da imagem de contagem total com a imagem de razão 3/1-7/1-5/1 (FIGURA 58), obteve altos valores na Serra do Carnutim, fornecendo a melhor

delimitação da área que corresponde litologicamente ao Granito Mucambo. Observa-se uniformidade nos teores de elementos radiométricos, diminuindo para as bordas, fato que é confirmado com os dados de campo, pois no centro deste corpo ocorre granitos em sua maioria sub-alcálico e nas bordas rochas mais sieníticas e monzoníticas.

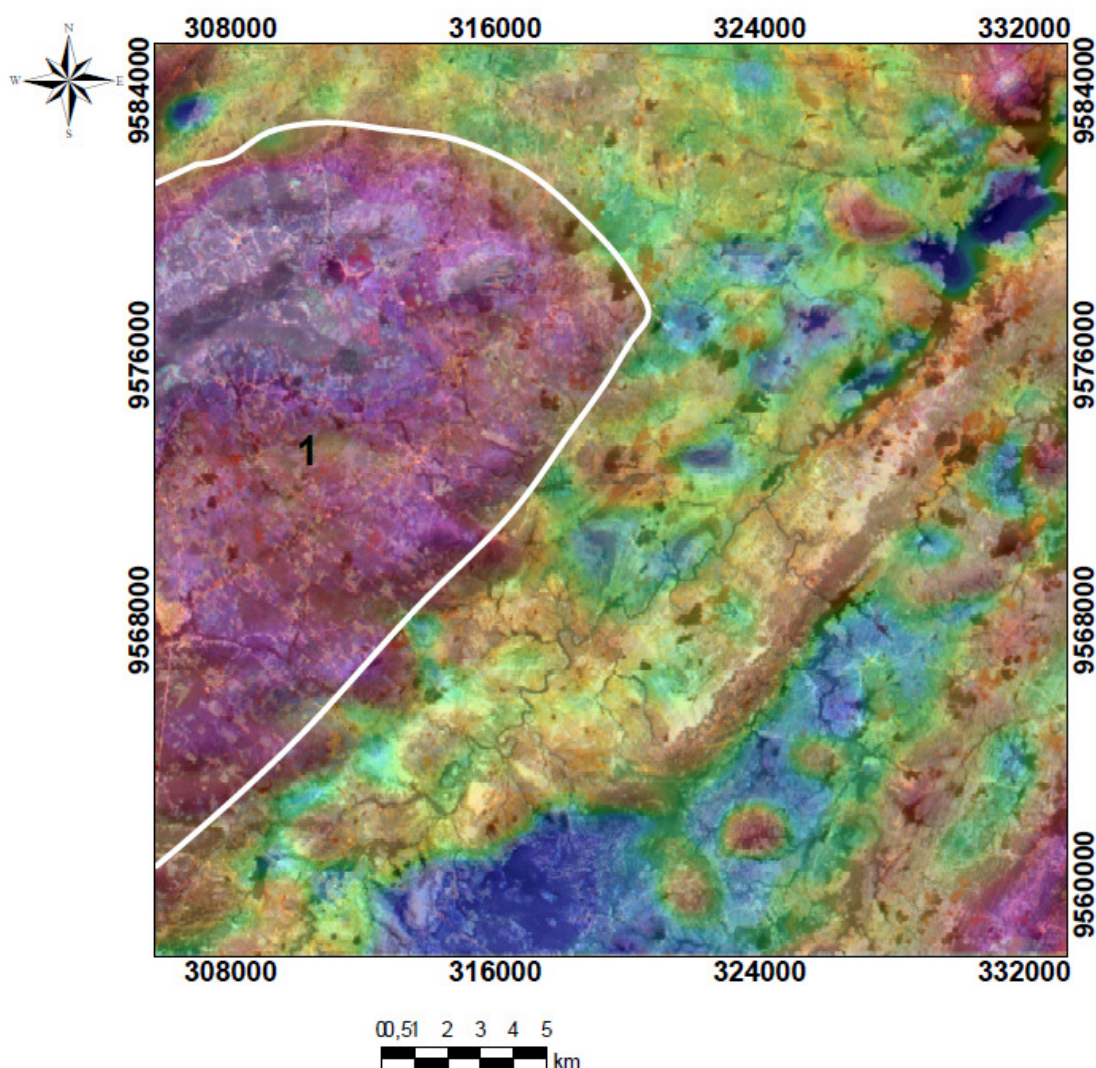


FIGURA 58 - Imagem da sobreposição da imagem do canal de CT com a imagem Landsat-TM razão 3/1-7/1-5/1, sendo a imagem que o granito Mucambo é melhor visualizado.

No produto integrado, derivada vertical (DZ) e landsat-TM razão 7/1-5/1-3/1 (FIGURA 59), o Grupo Jaibaras é melhor identificado, sendo expressivo a estruturação NE-SW, consequência do Lineamento Sobral-Pedro II (L.S.P.II) e falha Café-Ipueiras (F.C.I).

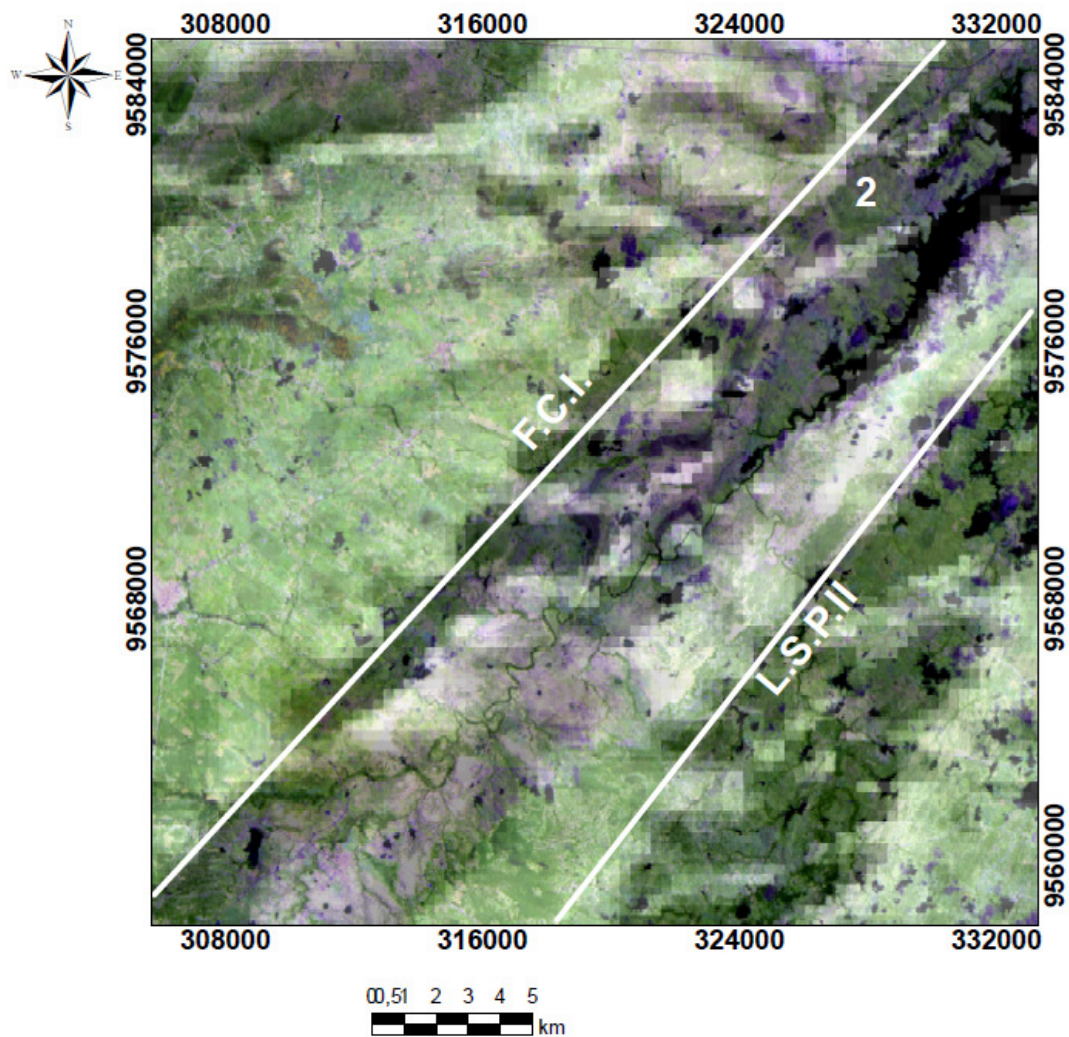


FIGURA 59 - Imagem da sobreposição da imagem DZ com a imagem Landsat-TM com a razão 7/1-5/1-3/1 com filtro linear 2%, com a falha Café-Ipueiras (F.C.I.) e Lineamento Sobral Pedro II (L.S.P.II). Sendo esta imagem a melhor visualização do grupo Jaibaras.

A integração da imagem de CT com a imagem Landsat-TM de razão 3/1-4/2-5/7 (FIGURA 60), permitiu uma demarcação da faixa de direção NE-SW referente aos conglomerados e arenitos da Formação Ipú, do Grupo Serra Grande.

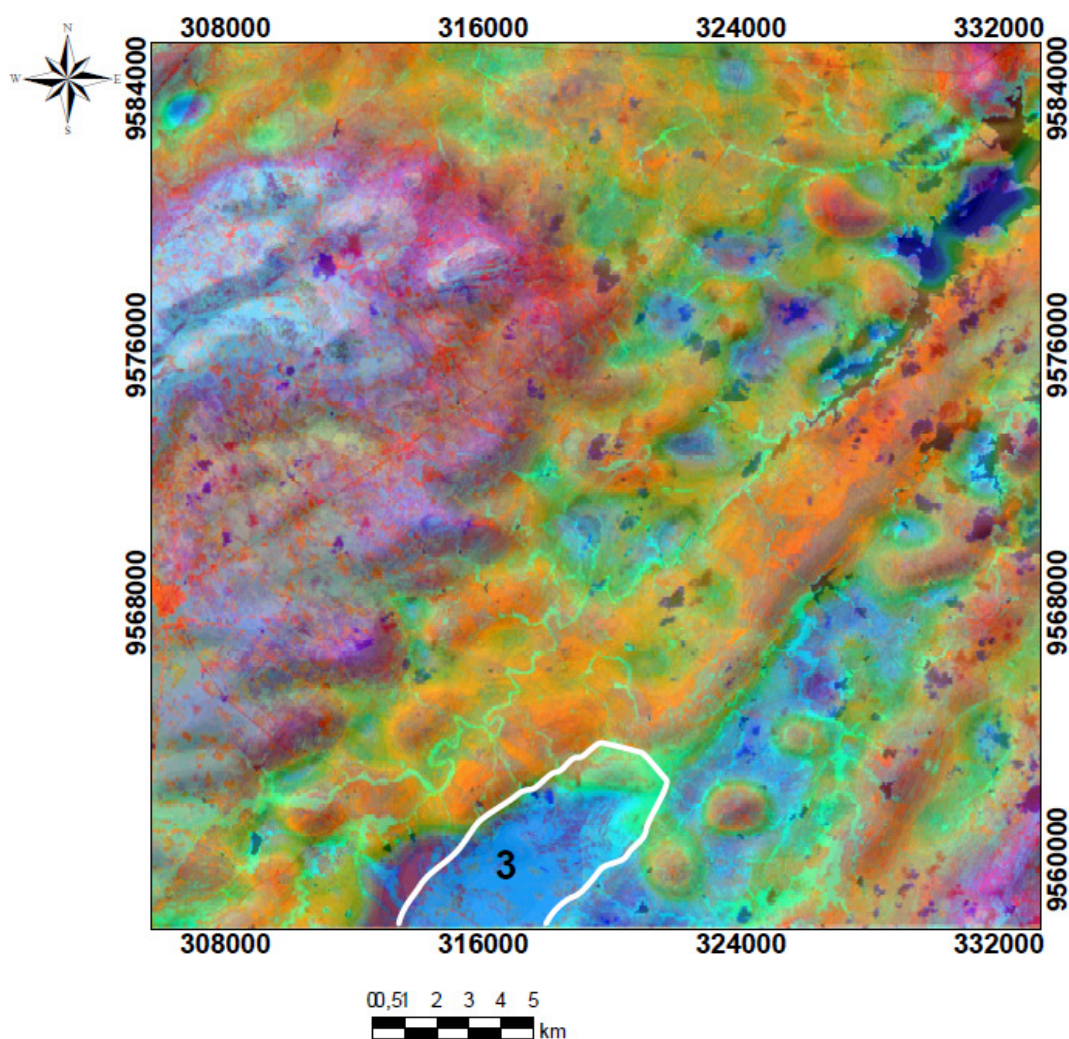


FIGURA 60 - Imagem da sobreposição da imagem CT com a imagem Landsat-TM com a razão 3/1-4/2-5/7, com a Formação Ipú em destaque. Sendo esta imagem a melhor visualização dessa Formação.

A integração da imagem canal de K com a imagem HSV (4-1-3) com filtro *Equalization* (FIGURA 61), indica elevada concentração na parte noroeste e nordeste, devido ao Granito Mucambo, Meruoca e Formação Aprazível. Entretanto, essa elevada concentração do elemento potássio sobre as rochas granitóides, faz com que a resposta radiométrica seja difusa, espalhando-se por toda área de ocorrência dos mesmos, não permitindo a distinção entre granitos ou granitos gnaisses.

Os baixos valores ocorrem principalmente sobre as rochas sedimentares, o que pode ser decorrente da influência da composição da rocha fonte; e sobre as rochas que sofreram processos de deformação físico-químicas intensas, alterando a sua composição e estrutura original.

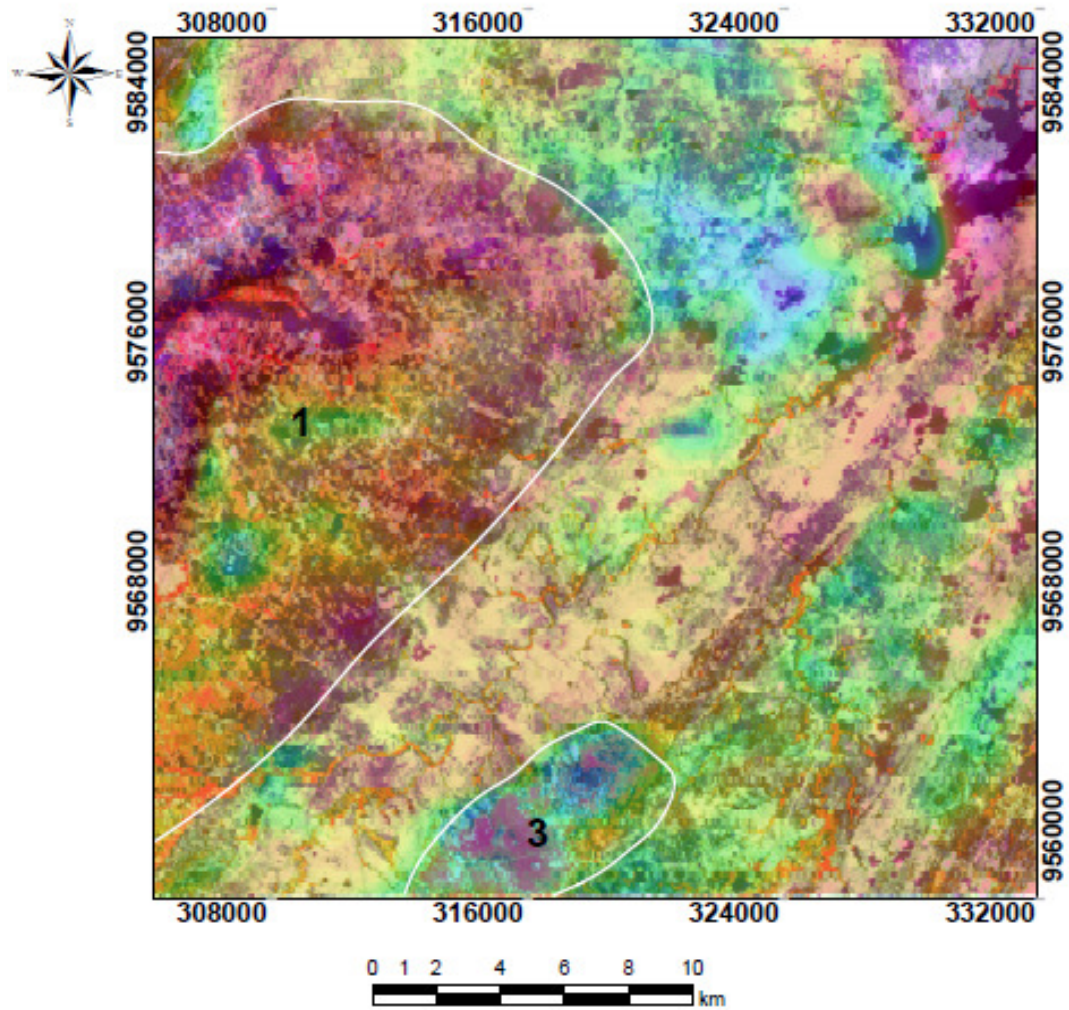


FIGURA 61 - Imagem resultante da sobreposição do canal de K com a imagem HSV (4-1-3) com filtro Equalization, com as unidades geológicas destacadas.

A imagem Landsat-TM razão 7/1-5/1-3/1 com filtro linear 2% integrada com o canal Th (FIGURA 62), mostra enriquecimento neste elemento das bordas para o centro do corpo do Granito Mucambo, sendo indicativo da existência de fácies composicionais distintas nesse granito.

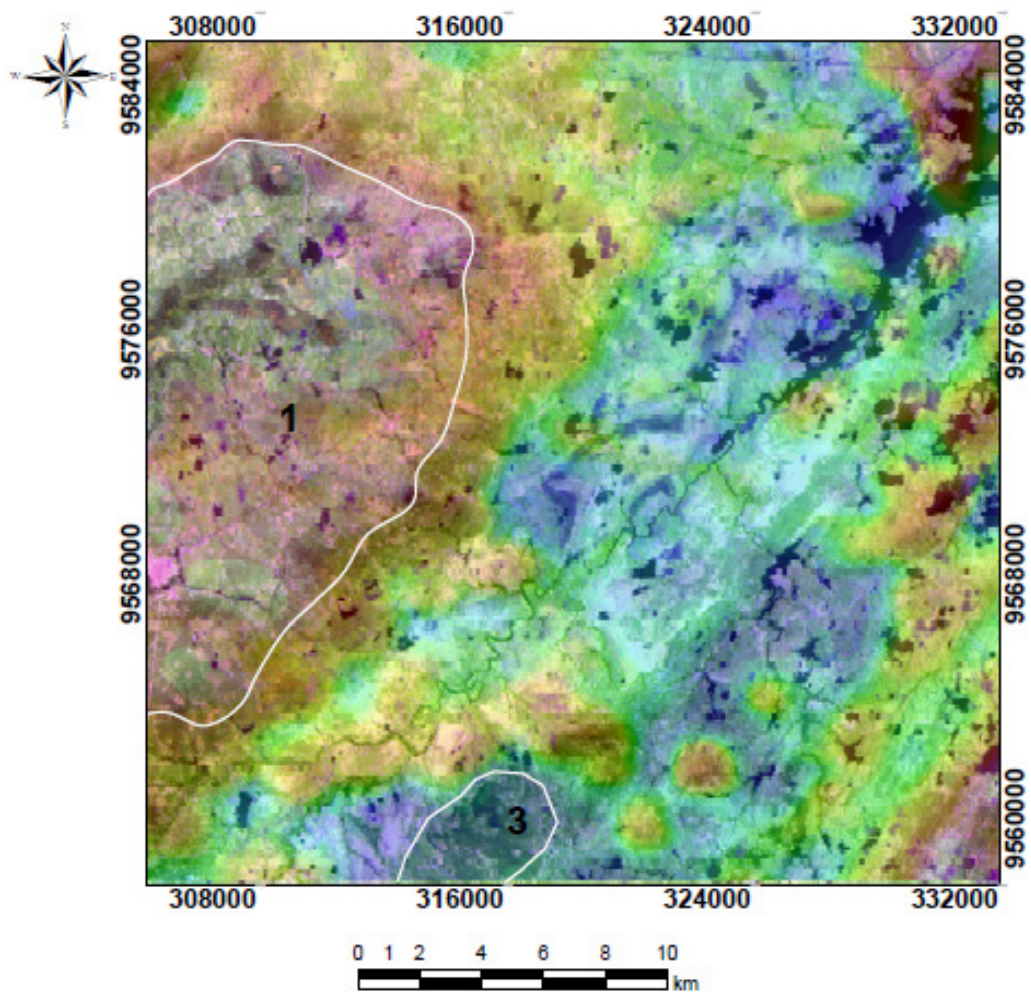


FIGURA 62 - Imagem Landsat-TM razão 7/1-5/1-3/1 com filtro linear 2% integrada com o canal Th, com as unidades geológicas destacadas.

O mapa integrado de contagem total e landsat-TM R-7/G-5/B-3 (FIGURA 63) possibilitou a identificação de ocorrências da Suíte Parapuí e também uma porção pertencente a essa suíte estava mapeada como Formação Massapê, nos mapas anteriores, entretanto, através da análise das imagens foi possível identificar que pertence a Suíte Parapuí.

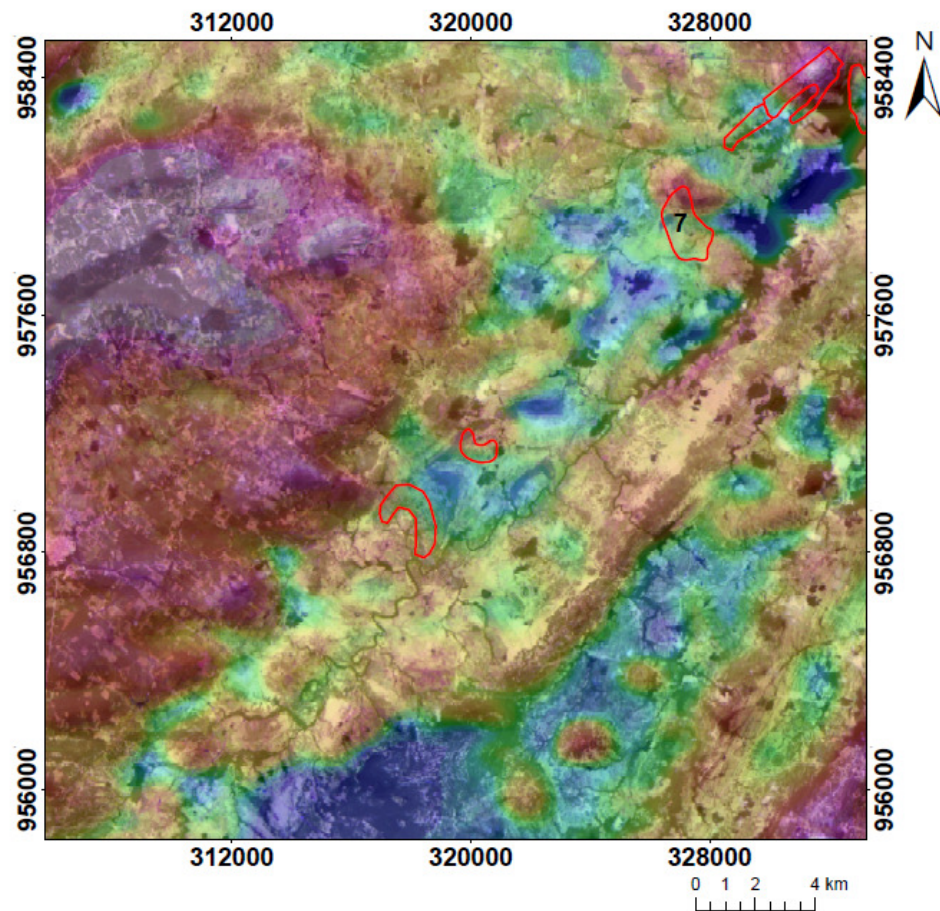


FIGURA 63 – Mapa integrado de contagem total e landsat-TM composição colorida 753, com as linhas em vermelho identificando ocorrências da Suíte Parapuí.

Na imagem integrada de CT e Landsat-TM razão 5/1-7/1-3/1 (FIGURA 64), é possível diferenciar a faixa de hornfels da Formação Trapiá. O metamorfismo termal, decorrente da intrusão do Granito Mucambo, é perceptível nesta formação do Grupo Ubajara. Quanto mais próximos da borda norte do granito, mais escuros e consistentes se tornam os arenitos. É uma faixa de hornfels que tem extensões de 500m a 2km, com resposta radiométrica de médios valores no CT. No mapa geológico final não haverá separação dessa zona, então a referência a essa zona é para justificar as respostas espectrais e radiométricas das imagens.

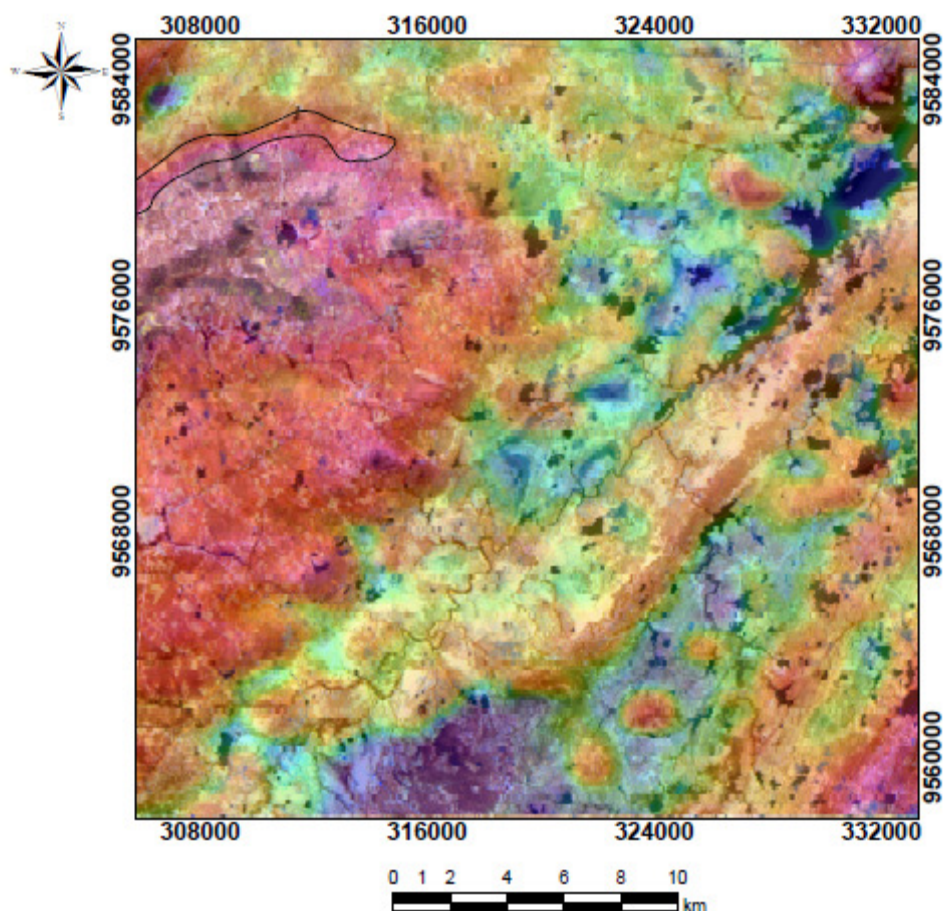


FIGURA 64 - Imagem da sobreposição da imagem do canal de CT com a imagem Landsat-TM razão 5/1-7/1-3/1. Delimitação da faixa de hornfels que ocorre na Formação Trapiá.

A imagem obtida da sobreposição da imagem do canal de CT com a imagem Landsat-TM composição 5-4-2 (RGB) com filtro gaussiano (FIGURA 65), permitiu a nítida delimitação das intrusões graníticas que ocorrem na área, principalmente o granito Mucambo e suíte intrusiva Meruoca, sendo possível também delimitar as outras litologias presentes na área. Como a imagem de CT é a radioatividade total obtida através da medida de todos os raios gama que entram no gamaespectrômetro dentro da janela energética, alguns valores anômalos de radiação gama são perceptíveis em alguns pontos da imagem.

Duas grandes estruturas NE-SW são observadas, uma mais a oeste conhecida como Falha Café-Ipueiras (F.C.I.) e outra mais a leste que é o Lineamento Sobral-Pedro II (L.S.P.II).

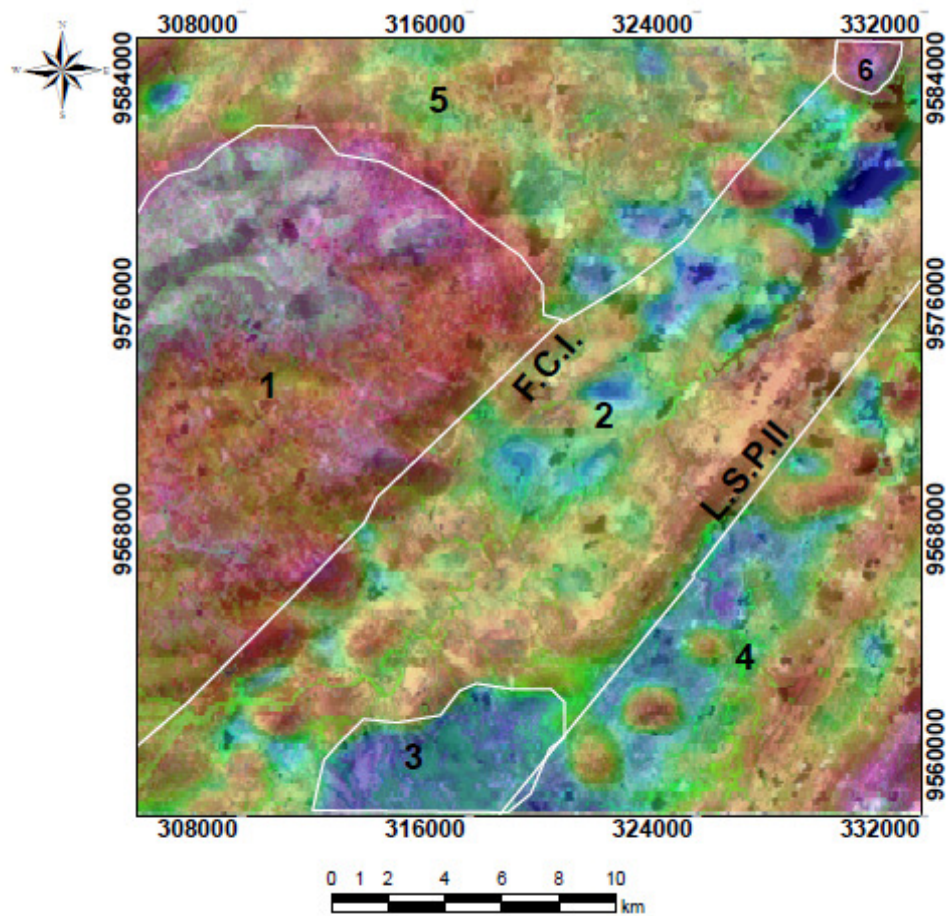


FIGURA 65 - Imagem da sobreposição da imagem do canal de CT com a imagem Landsat-TM composição 5-4-2 (RGB) com filtro gaussiano, com as unidades geológicas destacadas.

As respostas espectrais e radiométricas, obtidas nas imagens híbridas, refletindo informação das bandas TM e geofísicas facilitaram o entendimento das relações espaciais e espectrais entre as unidades geológicas e os alvos não geológicos da área de estudo.

A unidade do Grupo Serra Grande em mapas anteriores estava como Formação Tianguá, mas através das análises feitas neste trabalho é possível afirmar que a unidade é a Formação Ipú, podendo observar nas imagens feições que indicam litologia conglomerática.

Os lineamentos interpretados nas imagens aerogeofísicas mostram o comportamento das estruturas da área de trabalho, ajudando na composição do mapa geológico e na interpretação dos dados estruturais da área de trabalho.

12 CARTOGRAFIA DA FOLHA SA-24-Y-C-VI-4

Neste capítulo serão apresentados aspectos geomorfológicos e geológicos dessa folha, com o objetivo de dar ênfase aos aspectos descritivos do mapa que será apresentado.

12.1 GEOMORFOLOGIA

Na folha SA-24-Y-C-VI-4 as formas de relevo são bem definidas, e podem ser correlacionados à proposta de Moreira e Gatto (1981): (a) Superfície Sertaneja, que é a unidade de maior expressão territorial dentro da compartimentação geomorfológica da área e (b) Planalto Residual que trunca a Superfície Sertaneja com formas arredondadas e aplainadas, localmente angulosas e com vertentes retilíneas, côncavo-convexas e côncavas (FIGURA 66).

A Superfície Sertaneja é a unidade geomorfológica que representa cerca de 80% da área estando subdividida em duas subunidades: área conservada, que é predominantemente plana e área dissecada.

Área conservada: abrange a menor extensão territorial da Superfície Sertaneja com cerca de 30% e com altitude média de 80m a 130m. Possui topografia plana, drenagem com densidade média, assimetria forte e sinuosidade mista. Seu prolongamento é interrompido pelos relevos dissecados.

Área dissecada: abrange a maior extensão territorial da Superfície Sertaneja e da área de estudo com cerca de 50%. Essa área apresenta um relevo arrasado com uma altitude variando entre 140m e 260m. A drenagem tem densidade alta, assimetria forte e sinuosidade mistas. É levemente dissecada e um pouco mais elevada que a anterior. Possui capacidade de sulcamento da drenagem diferenciada no comportamento geomorfológico das rochas. Está localizada principalmente nas bordas do Granito Meruoca e da Serra do Camutim.

Planalto Residual: ocorre principalmente a oeste da área de estudo, truncando a Superfície Sertaneja. Representa 20% da área. Apresenta morfologias de topos aguçados e pequenas manchas dissecadas em formas convexas. A maior altitude é na Serra do Camutim, na porção mais oeste da área, com cerca de 740m. A menor altitude é de 270m no Serrote Comprido. Apresenta drenagem em geral multidirecional, com padrão dendritico. Entretanto, em alguns planaltos residuais não é possível visualizar drenagem. Geologicamente esta unidade geomorfológica corresponde ao Granito Mucambo.

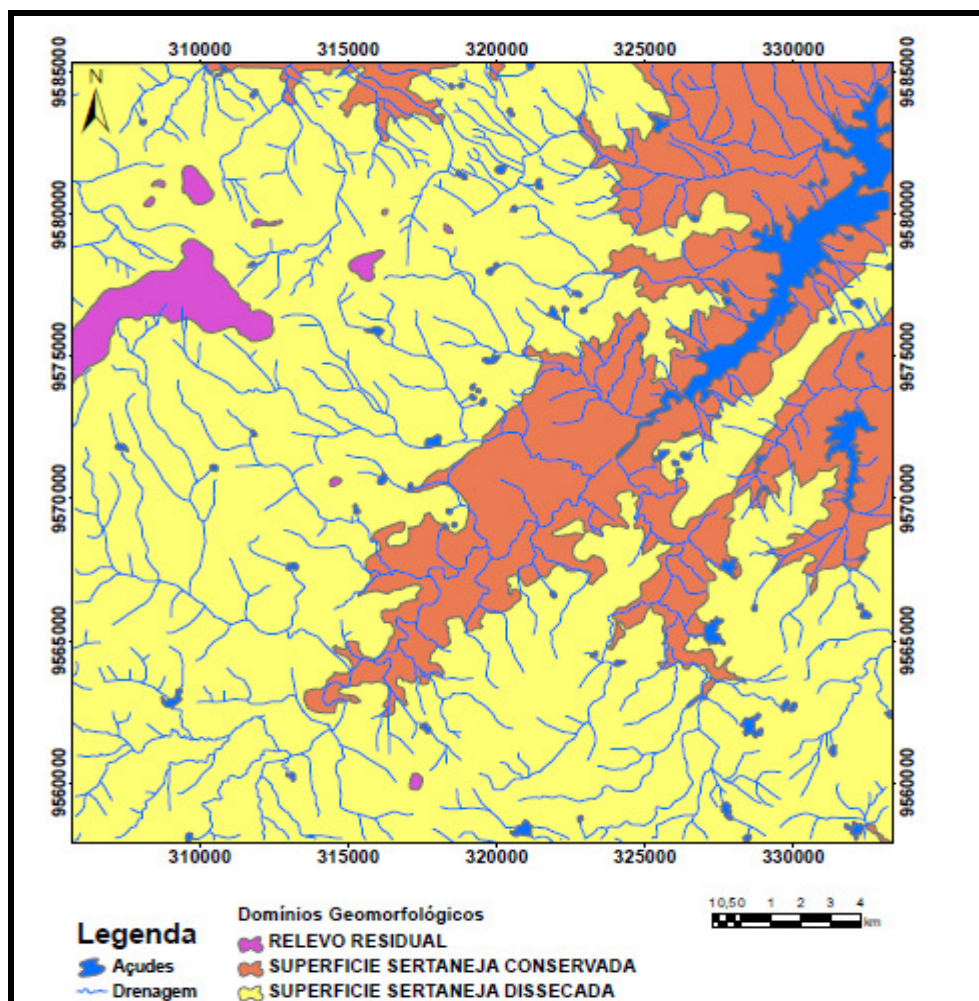


FIGURA 66 – Mapa de domínios geomorfológicos da folha SA-24-Y-C-VI-4.

Para a análise da rede de drenagem e de elementos de relevo utilizou-se a metodologia de Soares e Fiori (1976). Segundo esses autores, as propriedades mais importantes a serem analisadas na rede de drenagem são: densidade de textura de drenagem, sinuosidade dos elementos texturais, angularidade, tropia, assimetria, formas anômalas e lineações de drenagem. As principais propriedades de textura e estrutura de relevo são: densidade de textura de relevo, quebra positiva, quebra negativa, assimetria do relevo, lineações de relevo, alinhamentos de relevo e forma das encostas.

Depois de todos os dados de relevo e drenagem caracterizados propostos no procedimento da fotoanálise, são indicados os fatores controladores da textura e estrutura dos mesmos, sendo que os principais fatores que controlam a textura e estrutura da imagem são: fatores morfogênicos, fatores litológicos e fatores deformacionais.

12.1.1 – Elementos de Drenagem

As propriedades supracitadas permitiram a individualização de seis zonas homólogas de drenagem (Z.H.) na área que podem ser visualizadas no mapa de drenagem (FIGURA 67).

Z.H. 1: Está localizada na porção norte da área em estudo, apresentando densidade de textura de drenagem baixa a média, com sinuosidade mista, angularidade variando de baixa a média, tropia multidirecional e assimetria forte. Segundo o mapeamento realizado, esta configuração está proeminente nas formações Trapiá, Massapê e Frecheirinha e no Granito Mucambo.

Z.H. 2: Localiza-se na porção noroeste da área, apresentando densidade de textura de drenagem baixa, com sinuosidade mista, angularidade variando de baixa a média, tropia multidirecional e assimetria forte.

Z.H. 3: Localizada na porção centro oeste e leste da área de estudo, apresenta densidade de textura de drenagem média a alta, com sinuosidade mista, angularidade baixa, tropia multidirecional e assimetria forte. É fortemente afetada pelo Lineamento Sobral-Pedro II (direção NE-SW). A direção da drenagem é contrária ao lineamento em questão e está estabelecida na direção SE-NW.

Z.H. 4: Situa-se na porção centro leste da área, com densidade de textura de drenagem alta, sinuosidade mista, angularidade média, tropia tridirecional, assimetria forte e forma anômala de cotovelo. Assim como a zona homóloga 3, é fortemente afetada pelo lineamento Sobral-Pedro II, a direção da drenagem é NW-SE.

Z.H. 5: Localiza-se na porção sudeste da área, apresenta densidade de textura de drenagem baixa, com sinuosidade mista, angularidade média, tropia tridirecional e assimetria fraca.

Z.H. 6: Localiza-se na porção sul da área, apresenta densidade de textura de drenagem baixa, com sinuosidade mista, angularidade baixa, tropia bidirecional e assimetria forte.

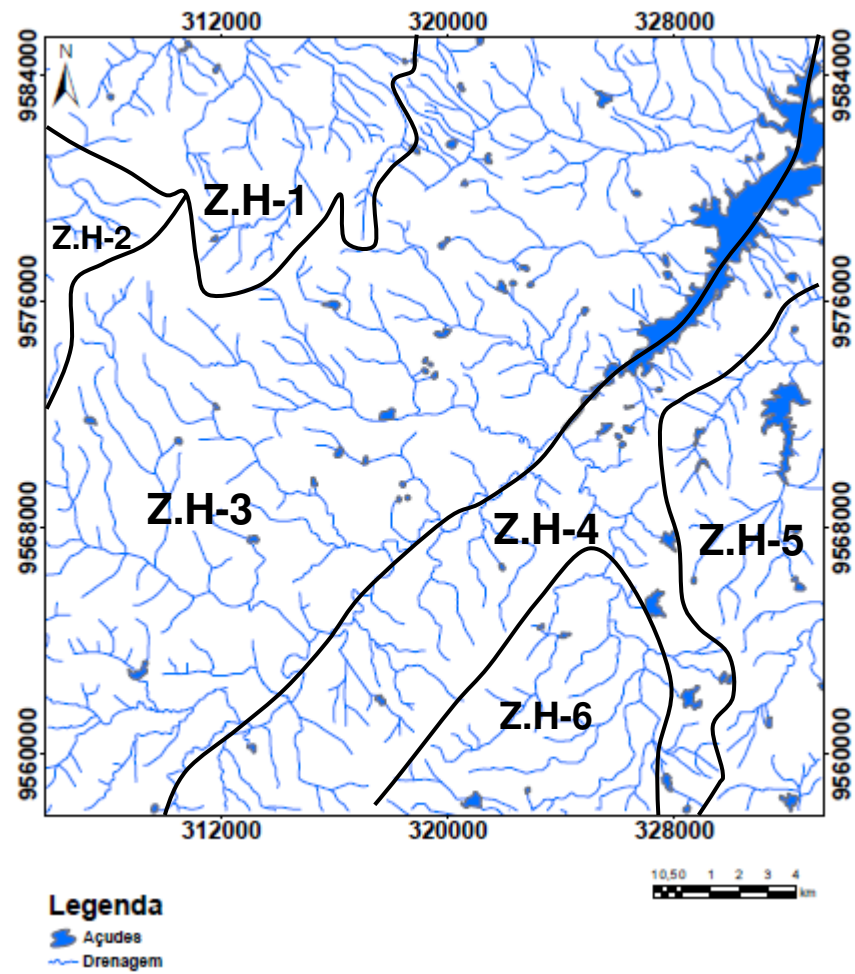


FIGURA 67 – Mapa de drenagem com as zonas homólogas.

A rosácea contendo os alinhamentos da rede de drenagem, mostrou que a principal direção dos alinhamentos é NW-SE, com subordinadas direções NE-SW (FIGURA 68).

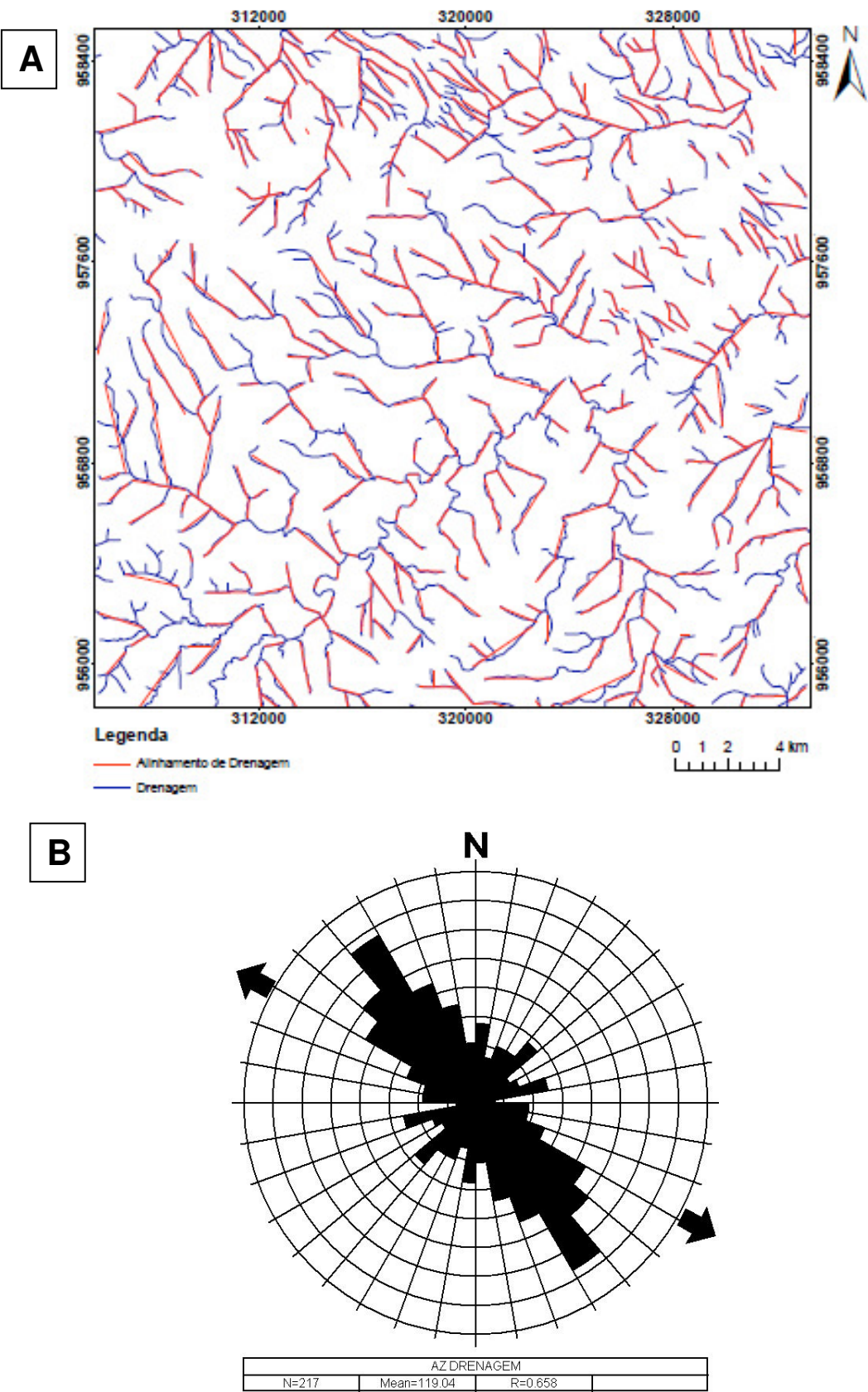


FIGURA 68 – (A) Mapa dos alinhamentos de drenagem e **(B)** rosácea dos principais alinhamentos de drenagem.

12.1.2 Elementos do Relevo

Da mesma forma, da imagem de relevo sombreado retirou-se as principais direções de alinhamento do relevo que compuseram uma rosácea com direção preferencial leste-oeste, e direções subordinadas NE-SW em grandes quantidades (FIGURA 69). Essas direções são as mesmas do Lineamento Sobral-Pedro II e da falha Café-Ipueiras, presentes na área.

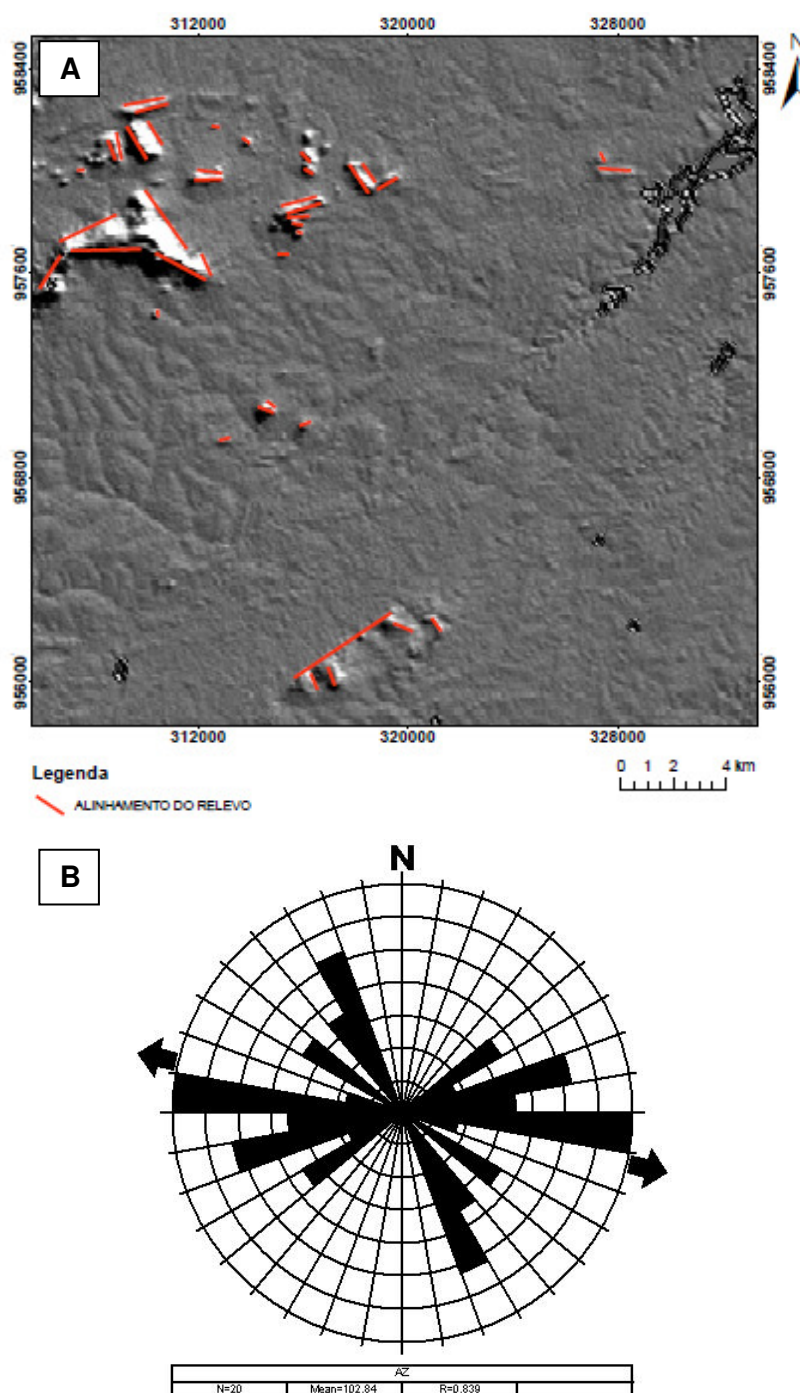


FIGURA 69 – (A) Mapa de relevo sombreado com os alinhamentos do relevo e **(B)** rosácea dos principais alinhamentos do relevo.

Para a melhor visualização do relevo utilizou-se a fusão da imagem geocover com o Modelo Digital de Terreno (MDT) e a rede de drenagem sobreposta ao Modelo Digital de Elevação (MDE). Assim é possível visualizar a área em 3D conforme mostrado na FIGURA 70.

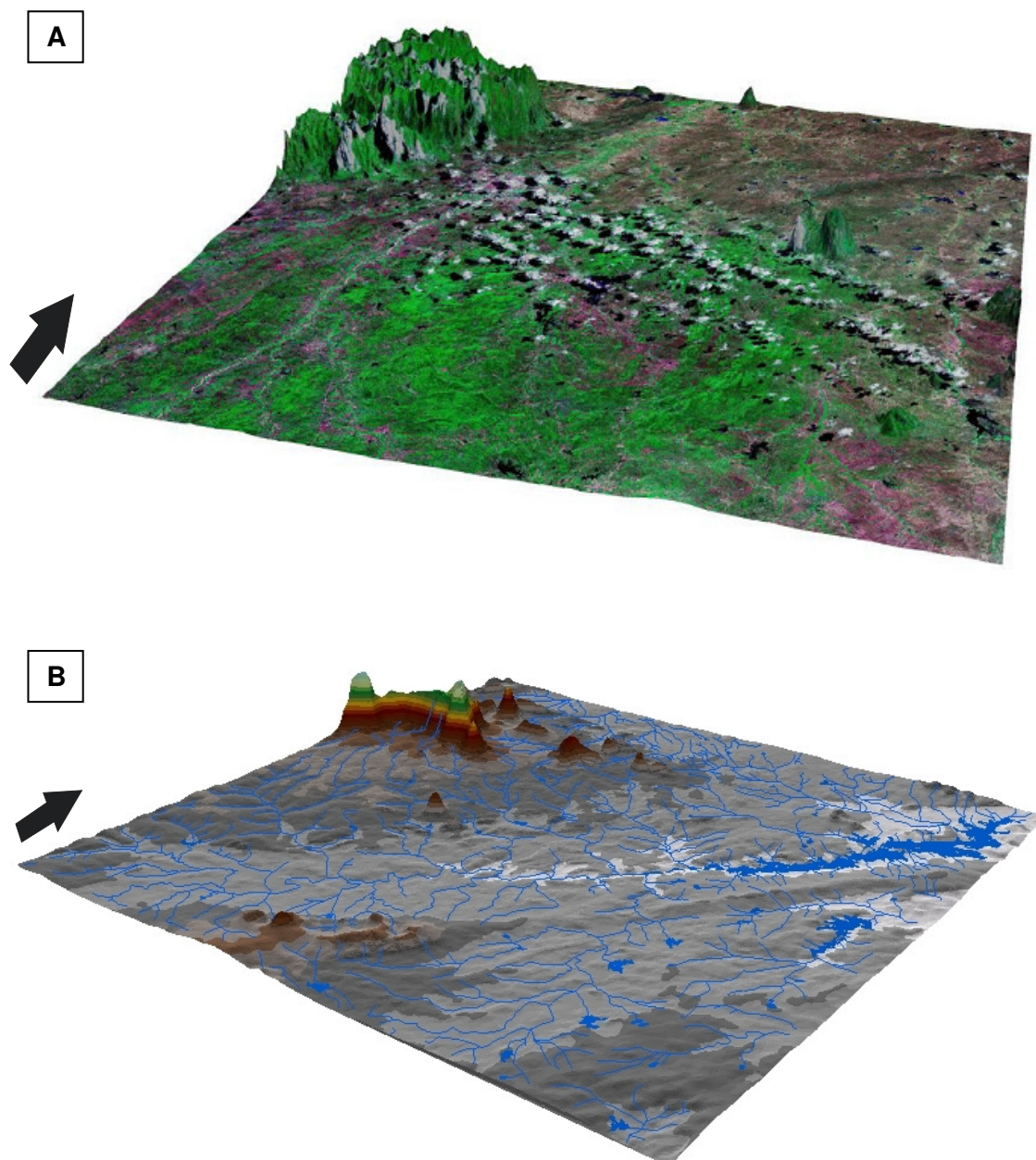


FIGURA 70 – A) Bloco diagrama da fusão MDT (Modelo Digital de Terreno) e imagem Geocover e **B)** Bloco diagrama do MDE (Modelo Digital de Elevação) sobreposto com a rede de drenagem.

No bloco diagrama MDE foi possível diferenciar os níveis do relevo na área de trabalho. A porção noroeste é a região que tem maior expressão de relevo, onde fica a Serra do Camutim, correspondendo, geologicamente ao Granito Mucambo.

A cota mais alta é representada pela cor verde, que é constituído por granito monzonítico e granito sub-alcálico. O segundo nível de cor marrom, nas partes que envolvem a Serra do Camutim é constituído ainda por granitos, entretanto na porção sul corresponde a folhelhos e arenitos, intercalados com siltitos, correspondente a formação Tianguá e na porção norte é constituído por metarenitos, metacalcários, metassiltitos e ardósias das formações Frecheirinha, Caiçaras e Trapiá.

12.2 CARACTERIZAÇÃO DAS UNIDADES GEOLÓGICAS

As unidades litoestratigráficas da folha SA-24-Y-C-VI-4 pertencem ao Domínio Médio Coreaú (DMC) e Ceará Central (DCC), da Província Borborema e uma parte da área é ocupada por rochas sedimentares pertencentes a Bacia do Parnaíba.

As rochas mapeadas e estudadas da folha SA-24-Y-C-VI-4, estão agrupadas em unidades litoestratigráficas (FIGURA 71).

ÉON	ERA	UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS		SIMBOLOGIA	DESCRIÇÃO
FANEROZÓICO	CENOZÓICO (QUATERNÁRIO)	DEPÓSITOS COLUVIONARES		Q2a	Deposito sedimentar inconsolidados relacionados a compartimentos em encostas de morros e serras constituído de argilas, areias, seixos e matacões.
	PALEOZÓICO	GRUPO SERRA GRANDE	FORMAÇÃO IPU	Ssgi	Conglomerados e arenitos, em parte feldspáticos, com intercalações de siltitos e folhelhos.
		FORMAÇÃO APRAZÍVEL		eOja	Ortoconglomerado brechóide polimitico, eventualmente com lentes de arenitos médios a grossos, heterogêneo e mal selecionado, com seixos de tamanhos variados, angulosos, mal selecionados, levemente imbricados e matacões de natureza variada; andesito, riolito, granito, rochas pelíticas, arenitos,metarenitos, arcoseo, milonito, gnaiss, metacalcários, filitos, quartzitos, xistos e vulcânicas. Estão envolvidos em matriz média a grossa, mal selecionada, arcossiana, constituída essencialmente de grãos de quartzo feldspatos.
		SUÍTES INTRUSIVAS	GRANITO MERUOCA	eg 4m	Possui três fácies petrográficas: albita-ortoclásio granito; biotita-hornblenda-ortoclásio granito e microgranitos. Próximo ao contato com os hornfels a rocha torna-se mais fina e assume tonalidades cinza escuro, além de destacarem injeções de veios graníticos, centimétricos a decimétricos, concordantes e discordantes com a estrutura interna da rocha.
			GRANITO MUCAMBO	eg 4m	Granito sienítico e monzonítico, com hornblenda e biotita, subordinadamente apresenta granito sub-alcaino.
		GRUPO JAIBARAS	FORMAÇÃO PACUJÁ	eOjp	Arenitos micáceos de coloração cinza, granulação muito fina, bem selecionado, coesos e de composição arcossiana com estratificação plano paralela, cruzada tabular angular, estratificação cruzada tangencial e acanalada, de médio porte, definidas principalmente pelos minerais pesados, marcas onduladas e laminação convoluta, siltito de correlação marrom avermelhada, micáceo com laminação plano-paralela, milimétrica a centimétrica.
			SUÍTE PARAPUÍ	eOjpa	Basaltos maciços, porfíricos amigdaloidais, microgabros e diques de diabásio, riolitos, intercalados com rochas vulcanoclásticas e sedimentares.
			FORMAÇÃO MASSAPÉ	eOjm	Conglomerado polimitico brechóide, com grãos constituintes do arcabouço com dimensões que variam desde seixos até matacões e com grau de arredondamento variando de angulosos a sub-angulosos. Os clastos são de composição variada, representados por fragmentos de gnaisses, microgranitos, xisto, calcissilicáticas, além de seixos de quartzo e feldspato, os quais estão imersos de forma aleatória numa matriz arenosa, de granulação fina de composição arcossiana e coloração vermelho-carne.
		NEOPROTEROZÓICO	GRUPO UBAJARA	FORMAÇÃO FRECHEIRINHA	Npuf
	FORMAÇÃO CAIÇARAS			Npuca	Ardósias roxa a vermelha, extremamente foliada, podendo em algumas partes grada até metassiltito amarelado.
	FORMAÇÃO TRAPIÁ			Nput	Metarenitos arroxeados com tonalidades esverdeada; metassiltitos subordinados e raras lentes de conglomerados.
PROTEROZÓICO	PALEOPROTEROZÓICO	COMPLEXO CEARÁ	UNIDADE INDEPENDÊNCIA	Ppci	Sequência de rochas de paraderivação, comporta por granada-sillimanita micaxisto, muscovita-biotita gnaiss, granada-muscovita-biotita gnaiss, rochas calcissilicáticas com lentes de anfibolitos, calcissilicáticas com lentes de anfibolitos, mármores e quartzitos.
			UNIDADE CANINDÉ	Ppcc	Gnaisses milonitizados com feições migmatíticas (granada-biotita-gnaiss, biotita-muscovita-gnaiss, muscovita-biotita-gnaiss), rochas metabásicas, metagabros, metaultramáficas, metacalcários, anfibólio gnaiss e anfibolitos, calcissilicáticas, ortognaiss de composição granítica alongados.
			FAIXA GRANULÍTICA DE CARIRÉ	Ppgc	Enderbitos de coloração escura com leves tons esbranquiçados, granulação fina a média e bandamento.

FIGURA 71 – Coluna litoestratigráfica proposta para a folha SA-24-Y-C-VI-4 a partir da integração de dados pré existentes e aplicação de geotecnologias.

Na área de trabalho estão presentes o Lineamento Sobral-Pedro II (LSP-II) e a falha Café-Ipueiras, atestando grande movimentação tectônica vertical no limite Proterozóico-Paleozóico, e estando também inserida no sistema de grábens Ubajara-Jaibaras (é limitada pelo lineamento e falha supracitadas). Como referências importantes tem as cidades de Mucambo e Pacujá, além do açude Aires de Souza e do Rio Jaibaras.

As unidades litoestratigráficas estão dispostas em faixas orientadas NE-SW, na mesma direção do LSP-II e correspondem a seqüências de origem e idades distintas.

As rochas da porção leste do Gráben Jaibaras fazem contato com as unidades mais antigas da região, de idade Paleoproterozóica que formam a Faixa de Alto Grau de Cariré (GORAYEB; ABREU 1989). As rochas estão fortemente estruturadas segundo orientação geral NE-SW. Representa um conjunto de rochas supracrustais de paraderivação e rochas infracrustais ortoderivadas submetidas as condições das fácies anfibolito de alto grau e granulito.

Na porção oeste da área a unidade principal é o Grupo Ubajara representado por uma seqüência metassedimentar do Neoproterozóico que é truncada pelo Granito Mucambo. Neste setor o Grupo Ubajara é representado essencialmente por metassiltitos, metarenitos e metacalcáreos que formam camadas intercaladas e dobradas, mergulhando para sudeste e noroeste. O Granito Mucambo de idade em torno de 527 Ma (U-Pb em zircão SANTOS et al. 1999) apresenta composição predominantemente sieno-monzonítica com fayalita e clinopiroxênio, bordas com microgranitos, abundância de enclaves de variados tamanho e natureza, veios pegmatíticos graníticos com muscovita e turmalina. Este corpo plutônico impôs efeitos termais significativos nos metassedimentos do Grupo Ubajara e delineia uma ampla auréola de metamorfismo de contato.

O Gráben Jaibaras aprisiona seqüências Neoproterozóicas que engloba o Grupo Jaibaras e a Suíte Parapuí, além de sedimentos da Formação Aprazível.

O Grupo Jaibaras constitui uma seqüência formada por arenito-arcosianos, siltitos, argilitos, ardósias e conglomerados polimíticos, com acamamento com direção geral NE-SW e mergulhos variando entre 10° e 50° preferencialmente para SE. Contudo, a seqüência pode apresentar-se dobrada suavemente com eixos na direção NE-SW, de modo que os mergulhos variam para NW e SE. Este grupo apresenta conglomerados polimíticos brechóide e intercalações rítmicas de arenitos

finos e siltitos, na forma de bancos decimétricos tabulares, lateralmente contínuos, exibindo base abrupta e gradação para siltitos em direção ao topo. Os arenitos-arcosianos podem ser maciços ou estratificados (laminação plano-paralela, estratificação cruzada) e os siltitos apresentam laminação plano-paralela e marcas onduladas.

A Suíte Parapuí é formada predominantemente por derrames de basaltos em menor proporção derrames de riolito, *sills* de diabásio e leitos de rochas vulcanoclásticas. Estes derrames ocorrem em geral como camadas e no mapa dispõem-se de forma alongada na direção NE-SW intercalados aos arenitos arcosianos. O conjunto está dobrado e falhado o que dificulta a correlação entre as diferentes camadas. Contudo, a tendência estrutural geral deste conjunto é formar camadas basculadas para E-SE.

Neste setor as rochas vulcânicas basálticas são representadas por duas maiores expressões em mapa, posicionadas respectivamente a leste da Vila de Camundongo e na borda ocidental do Açude Aires de Souza. Elas formam extensos derrames com espessuras entre 40 e 60m e acompanham a direção das principais linhas estruturais da região. O derrame a leste de Camundongo está seccionado pela Falha Café-Ipueiras e apresenta uma extensão 8 km. Nas proximidades de Arariús, Angico e Fazenda Camuciata, estreita para uma extensão de 500m. Estes derrames correspondem a basaltos porfiríticos com matriz de granulação fina que gradam para níveis amigdaloidais no topo.

Na porção NNE da área está presente uma parte do Granito Meruoca, que não tem expressão topográfica, mas que é delimitado pelo LSP-II e faz contato intrusivo com as rochas das Formações Pacujá e Aprazível.

A Formação Aprazível possui ampla distribuição neste setor. Ocorre em geral preenchendo pequenos grábens que acompanham as principais linhas de falhas, algumas vezes sendo truncadas por pequenas falhas direcionais, ocupando uma faixa em torno de 12 km recobrando o conjunto metavulcanossedimentar do Grupo Jaibaras e Suíte Parapuí.

12.2.1 Domínio Ceará Central

No contexto do DCC ocorrem na área em consideração unidades Paleoproterozóicas a seguir descritas.

Complexo Ceará (Paleoproterozóico)

Na porção sudeste do lineamento Sobral-Pedro II, ocorrem três unidades litoestratigráficas: a Faixa Granulítica do Cariré; e as Unidades Independência e Canindé, as quais compõem o Complexo Ceará. Esse complexo tem orientação preferencial NE-SW, com traços bem marcados de foliação.

a) Unidade Canindé

A unidade Canindé é composta por gnaiss milonitizados com feições migmatíticas (granada-biotita-gnaiss; biotita-muscovita-gnaiss; muscovita-biotita-gnaiss), rochas metabásicas, metagabros, metaultramáficas, metacalcários, anfibólio gnaiss e anfibolitos, calcissilicáticas, ocorre ainda nessa unidade corpos de ortognaiss de composição graníticas alongados (FIGURA 72). Esta unidade possui resposta espectral nos canais de contagem total, tório e urânio muito altos na porção extremo sudeste e baixo no centro da unidade. Enquanto que a resposta espectral no canal de potássio varia de baixa a média.

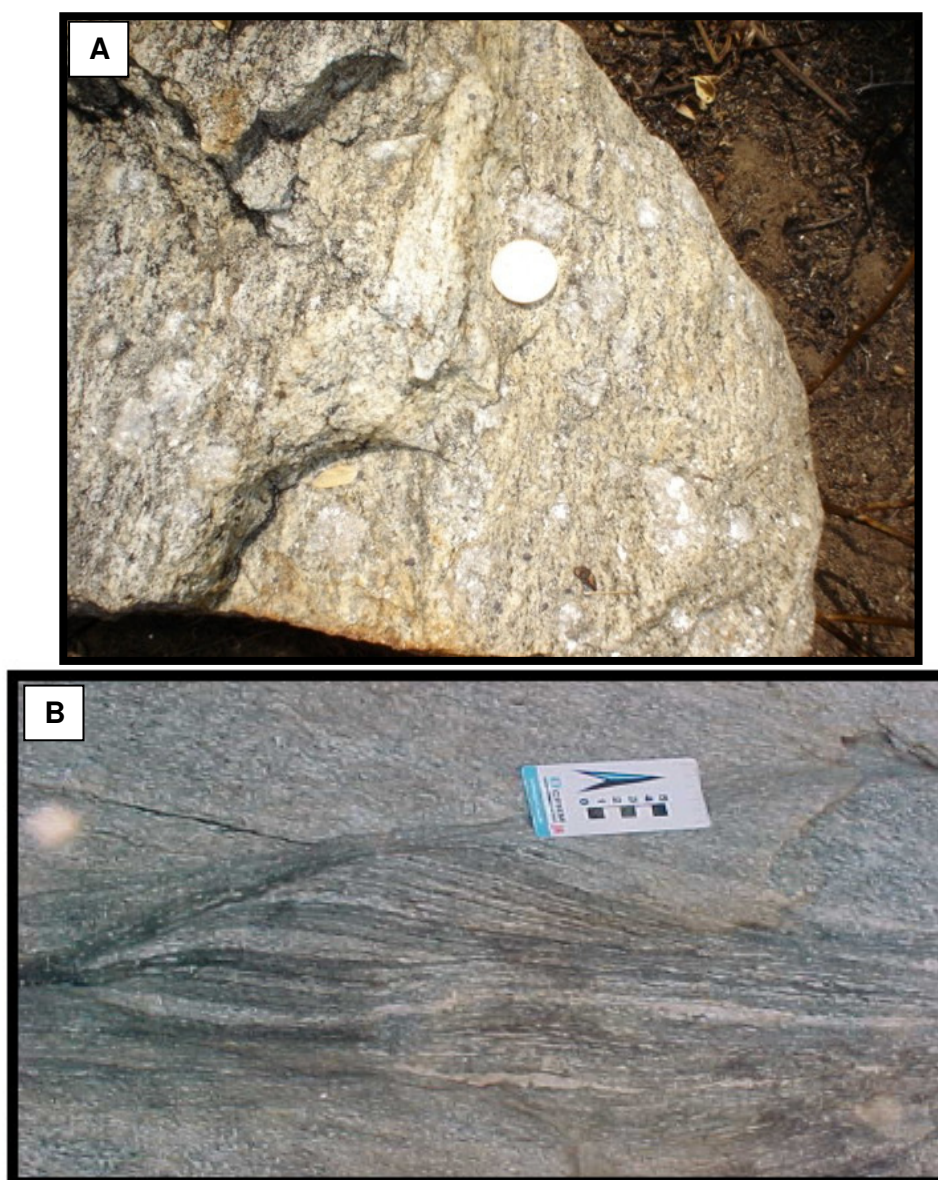


FIGURA 72 – (A) Afloramento natural de muscovita – biotita gnaiss da Unidade Canindé . (B) Faixas milonitizadas em muscovita-biotita-gnaiss.

b) Unidade Independência

A unidade independência é uma seqüência de rochas paraderivadas, composta por granada-sillimanita micaxisto, muscovita, biotita gnaiss, granada-biotita gnaiss, granada-muscovita-biotita gnaiss, rochas calcissilicáticas, com lentes de anfibolitos, mármore e quartzitos (FIGURA 73). A resposta espectral para esta unidade no canal de urânio é muito baixo, nos canais de tório e contagem total a resposta espectral varia entre muito baixo a alto e a resposta espectral no canal de potássio varia entre baixo a médio.



FIGURA 73 - Vista geral do afloramento de muscovita-biotita-gnaiss.

c) Faixa Granulítica de Cariré

A porção leste do Gráben Jaibaras faz contato brusco com as unidades mais antigas da região, de idade Paleoproterozóica que formam a Faixa de Alto Grau de Cariré (GORAYEB; ABREU, 1989). Essa faixa é composta por enderbitos que apresentam coloração cinza escuro com leves tons esbranquiçados, granulação fina a média e bandamento, definidos por bandas milimétricas de coloração branca, ricas em minerais félsicos (quartzo, feldspato) que se intercalam com as bandas escuras dominantes, constituídas de minerais máficos (piroxênio e/ou anfibólio) (FIGURA 74).



FIGURA 74 – Contato brusco, de aleitamento tectônico dos enderbitos (seta vermelha) com as granada-sillimanita gnaiss (seta azul), da Unidade Independência.

A resposta espectral dessa faixa no canal de potássio varia de baixo a médio, nos canais de contagem total e tório varia de muito baixo a alto e no canal de urânio varia entre muito baixo e baixo.

12.2.2 Domínio Médio Coreaú

O feixe de falhas do Lineamento Sobral-Pedro II estabeleceu a separação entre os domínios DCC e DMC e controla o desenvolvimento de grábens NE-SW presentes na parte central dessa folha. Desse limite para NW são encontradas as rochas do Grupo Ubajara, bem como corpos graníticos e no contexto dos grábens tem manifestações magmáticas extrusivas e vulcanoclásticas a seguir descritas.

Grupo Ubajara (Neoproterozóico)

Na porção centro-oeste da área a unidade principal é o Grupo Ubajara representado por uma seqüência metassedimentar que é truncada pelo Granito Mucambo. As formações do Grupo Ubajara compreendem quatro unidades litoestratigráficas distintas, das quais apenas três estão presente na área de estudo assim organizadas, da base para o topo: Formação Trapiá, Formação Caiçaras e Formação Frecheirinha.

a) Formação Trapiá

Ocupa a porção norte da área de trabalho, próximo ao vilarejo São José do Torto. Os afloramentos desta formação ocorrem geralmente como leitos de rios, colinas de baixa altitude e afloramentos artificiais expostos por corte de estrada (FIGURA 75).



FIGURA 75 – Vale do riacho Cajazeira, mostrando uma forma comum de afloramentos de metarenitos da Formação Trapiá.

As relações de contato observadas desta, com a Formação Caiçaras e Frecheirinha, é gradacional, e intrusivo com o Granito Mucambo.

Esta formação é composta por metarenitos arroxeados com tonalidades esverdeadas, metassiltitos subordinados e raras lentes de conglomerados.

Os metarenitos apresentam em sua maior parte granulometria fina, conferindo às rochas aspecto bastante compactado. São mineralogicamente constituídos por grãos de quartzo sub-arredondados envolvidos por uma matriz também quartzosa (FIGURA 76).



FIGURA 76 – Afloramento natural de metarenitos da Formação Trapiá.

A principal estrutura sedimentar observada é a estratificação plano-paralela dos metarenitos, que define acamamentos de aproximadamente 5 cm de espessura, dispostos por vezes em posição horizontal, com mergulhos verticais (em porções próximas ao contato com o Granito Mucambo) ou com baixos mergulhos. Na extensão de toda área, essas rochas estão seccionadas por várias famílias de juntas. Ocasionalmente, mais próximo ao contato intrusivo essas fraturas são preenchidas por veios de quartzo. O contato com Granito Mucambo gera uma faixa de hornfels nessa formação (FIGURA 77).



FIGURA 77 – Contato intrusivo entre o Granito Mucambo e arenitos da Formação Trapiá, gerando uma faixa de hornfels.

A resposta espectral dessa formação em todos os canais varia de muito baixo a muito alto. Em todos os canais os valores aumentam a medida que a formação se aproxima do Granito Mucambo.

b) Formação Caiçaras

Ocorre próximo ao vilarejo de Cajazeira, na porção extremo noroeste da área e próximo a São José do Torto, na porção norte. Esta formação compõe afloramentos artificiais de corte de estrada, principalmente ao longo da CE-442, saindo da cidade de Mucambo.

É composta por ardósias roxas a vermelho, extremamente foliada, podendo em algumas partes gradar até metassiltito amarelado. A rocha é de granulação fina,

com fraturas que por vezes estão preenchidas por veios de quartzo. Sua composição é essencialmente constituída por argilo-minerais, quartzo e micas (FIGURA 78).

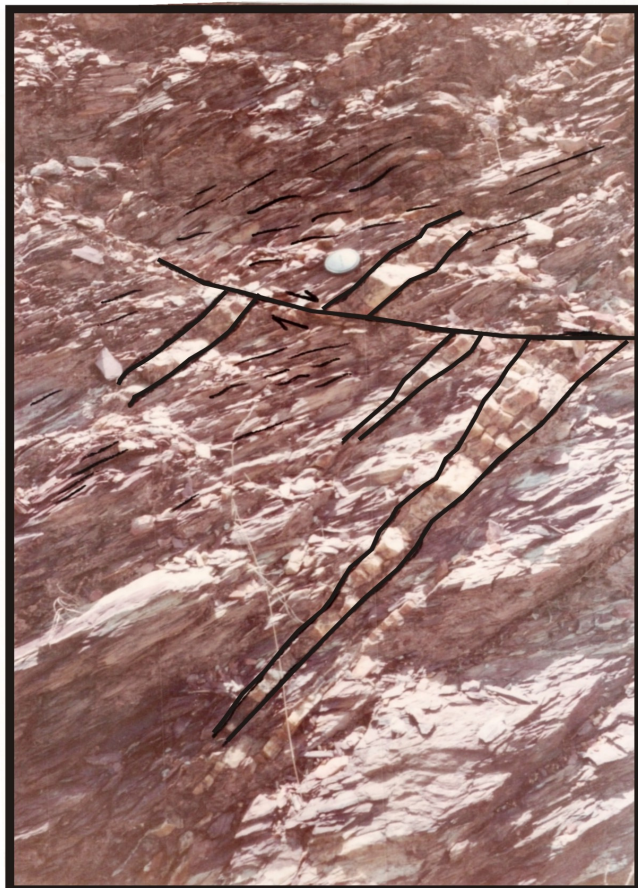


FIGURA 78 - Lentes de quartzito nas ardósias da Formação Caiçaras.

Microscopicamente as ardósias apresentam textura granoblástica, localmente com porções lepidoblásticas, definidas pela orientação dos minerais micáceos. A mineralogia do arcabouço é constituída por quartzo, plagioclásio, muscovita, clorita, biotita, carbonato e sericita.

A resposta espectral dessa formação em todos os canais varia de muito baixo a médio.

c) Formação Frecheirinha

Ocorre próximo ao vilarejo de Formoso, na porção norte da área de trabalho. O arcabouço é representado por metacalcário cinza escuro a azulados, de granulação fina. Geralmente ocorre em blocos maciços e impuros ou na forma de lajedos (FIGURA 79). Na sua base tem metassiltitos, quartzitos e lentes de

conglomerados Apresenta contato intrusivo com o Granito Mucambo, que é representado por metacalcários.



FIGURA 79 – (A) Lajedo de metacalcário da Formação Frecheirinha, intensamente venulado por calcita. (B) Bloco de metacalcário da Formação Frecheirinha, venulado por carbonato.

Ocorreu em ambiente marinho raso, plataformar, depositado como uma sequência tipicamente transgressiva (Gorayeb *et al.*, 1988).

A Formação Trapiá começa com um ciclo de deposição transgressivo dos sedimentos de elevado grau de maturidade que em termos regionais apresentam um marcado zoneamento granulométrico.

A resposta espectral dessa formação em todos os canais varia de muito baixo a alto.

Grupo Jaibaras (Paleozóico)

Este grupo é constituído pela Formação Massapê e Pacujá, apresentando intercalações rítmicas de arenitos finos e siltitos, na forma de bancos decimétricos tabulares, lateralmente contínuos, exibindo base abrupta e gradação para siltitos em direção ao topo. Os arenitos-arcosianos podem ser maciço ou estratificado e os siltitos apresentam laminação plano-paralela e marcas onduladas. As duas formações apresentam direção preferencial NE-SW.

A Formação Massapê é composta por conglomerado polimitico brechóide, com grãos constituintes do arcabouço com dimensões que variam desde seixos até matacões, com arredondamento variando entre anguloso a sub-anguloso. Os clastos são de composição variada, representados por fragmentos de gnaisses, microgranitos, xisto, cálcio-silicáticas, além de seixos de quartzo e feldspato, os quais estão imersos de forma aleatória numa matriz arenosa, de granulação fina, de composição arcoseana e coloração vermelho (FIGURA 80).



FIGURA 80 - Brecha composta de fragmentos de arenito arcoseanos imersos em uma matriz arcoseana.

A resposta radiométrica dessa formação nos canais de tório e urânio varia de muito baixo a médio; no canal de potássio entre baixo a médio e no canal de contagem total entre muito baixo a alto.

O arcabouço da Formação Pacujá é formado por arenitos micáceos, de coloração cinza, granulação muito fina a fina, bem selecionado, coesos e de composição arcossiana, com estratificação plano-paralela, cruzada tabular angular, estratificação cruzada tangencial e acanalada, de médio porte, definidas principalmente pelos minerais pesados, marcas onduladas e laminação convoluta. A estratificação plano paralela dos arenitos possui espessura milimétrica a decimétrica, definida pela variação composicional e da granulometria dos estratos (FIGURA 81 e 82).



FIGURA 81 – Arenito arcoseano com estratificação cruzada da Formação Pacujá.



FIGURA 82 – Arenito da Formação Pacujá.

A fácies siltito tem coloração marrom avermelhada, micáceo, com laminação plano-paralela, milimétrica a centimétrica (FIGURA 83). A relação de contato dessa formação com o Granito Meruoca e Mucambo é intrusivo. Intercalam-se às rochas vulcânicas da Suíte Parapuí, alojam-se sobre os ortoconglomerados polimiticos da Formação Aprazível de forma erosiva e a SE da área mantém contato discordante com a Formação Serra Grande.



FIGURA 83 – Intercalação de arenitos e siltitos da Formação Pacujá, próximo ao Riacho do Macaco. A estrutura predominante é a estratificação plano paralela.

A resposta espectral dessa formação para todos os canais variou de muito baixo a muito alto, sendo que o valor muito alto ocorre próximo a porção correspondente ao Granito Meruoca.

A presença de estratificação plano-paralela associado com laminação cruzada por onda e a ocorrência de siltes no fácies arenito com laminação cruzada, indicam uma deposição tanto por tração quanto por suspensão em ambiente subaquoso, com grande influxo de sedimentos. A ocorrência de laminação cruzada por onda corresponde ao resultado de deposição por migração de marcas onduladas geradas por ondas.

Admite-se que os arenitos (arcósios) da Formação Pacujá foram depositados em um corpo d'água extenso e raso, permitindo que os sedimentos fossem retrabalhados por ação de ondas. A existência de uma discordância erosiva entre os sedimentos da Formação Pacujá e os metacalcários da Formação Frecheirinha, além de ocorrência de sedimentos tipicamente continentais sobrejacentes, sugerem para a Formação Pacujá um ambiente deposicional continental.

A fácies com estratificação cruzada acanalada indicam ambiente de águas rasas com energia variando entre média e baixa, onde grãos de areia fina são transportados e retrabalhados através de migração de marcas onduladas e correntes, evidenciadas por algumas marcas preservadas.

O aparecimento de estratificações plano-paralela indica um fluxo maior, com energia alta. Areias finas a médias, quando transportadas a alta velocidade de fluxo, geram laminações internas dispostas paralelamente. Os sedimentos continuam sendo depositados por processos trativos.

São identificados pulsos mais fortes, depositando arenitos finos, que intercalam-se com este siltito mostrando estratificação plano-paralela, com características de transporte tracional em influência de lâmina de corrente fortes, com grande influxo de sedimentos.

Os arenitos com estratificação cruzada tangencial são gerados por correntes trativas, tendo algumas feições de formação por corrente, sendo que seus grãos mostram um bom arredondamento.

As intercalações de arenito com siltitos descritas no fácies arenito-siltico, com a presença de pequenas laminações cruzadas são interpretadas como tendo sido originadas por suspensão em águas rasas, evidenciados por pulsos quase nulos de energia, onde há a deposição de materiais mais finos em suspensão em deposição de tempo normal.

As estruturas de origem tracionais e oscilatórias desta formação, nos levam a acreditar em duas hipóteses para a geração destes sedimentos: a primeira de origem continental, possivelmente lacustre de água rasa, que seria agitado freqüentemente por pequenas tempestades, ou em um ambiente marinho do tipo plataformal raso, próximo à linha de costa, onde também seria perfeitamente normal a deposição influenciada por tração e oscilação. É passível de observação que a formação ocorreu essencialmente em um ambiente sub-aquoso, onde houveram algumas manifestações de fluxo-magmático, que deram origem a Suite Parapuí.

É possível supor que esta formação se encaixa em um ambiente típico de leque aluvial, com as partes mais proximais formando conglomerados e as partes mais distais formando intercalações de arenito/conglomerado e arenitos. Nas porções mais distais tem seqüências típicas de ambiente lacustre, nos levando a crer que a deposição de leque aluvial migra para um ambiente lacustrino. Pode-se imaginar uma deposição com migração de depocentro da bacia. Isto pode explicar também as seqüências intercaladas de arenito/conglomerado, onde acontece um espessamento das camadas de arenito e um adelgaçamento das camadas de conglomerados, da base para o topo.

Os leques aluviais formam-se na base de regiões elevadas, de onde emergem descendentemente corpos de sedimentos espalhando-se de vários pontos, cuja coalescência origina uma planície aluvial. São caracterizados por sedimentos imaturos, cuja granulometria decresce a partir da fonte, estando relacionada com a inclinação da encosta. Segundo Suguio (1980), os leques aluviais freqüentemente se desenvolvem em áreas tectonicamente ativas, ao longo de planos de falhas, podendo ser preservados como fácies marginal de uma bacia deposicional, exatamente como se observa na área de estudo, onde essa formação encontra-se bordejando o lineamento Sobral-Pedro II.

Verificam-se ainda que entre as formações Massapê e Pacujá, há uma passagem transicional, sendo consideradas formações de um sistema deposicional único.

Suíte Parapuí

Ocorre na área de trabalho ao longo da borda sudeste do Granito Mucambo, em uma faixa continua de direção NE-SW, sendo que na extensão nordeste a mesma vai desaparecendo. Em alguns locais as rochas dessa suíte ocorrem intercalados com as rochas da Formação Pacujá. Seus afloramentos ocorrem principalmente na forma de blocos, ao longo de corte de estradas, em lajedos e na calha do rio Jaibaras (FIGURA 84).

A Suíte Parapuí é formada predominantemente por derrames de basaltos e em menor proporção derrames de riolito, sills de diabásio e leitos de rochas vulcanoclásticas. Estes derrames ocorrem em geral como camadas de forma alongada na direção NE-SW, intercalados aos arenitos arcóseos.

Macroscopicamente são rochas porfíricas com matriz afanítica. Os pórfiros

presentes são de álcali-feldspato e ripas de plagioclásio. Ainda é possível observar amígdalas preenchidas por epídoto e calcita.

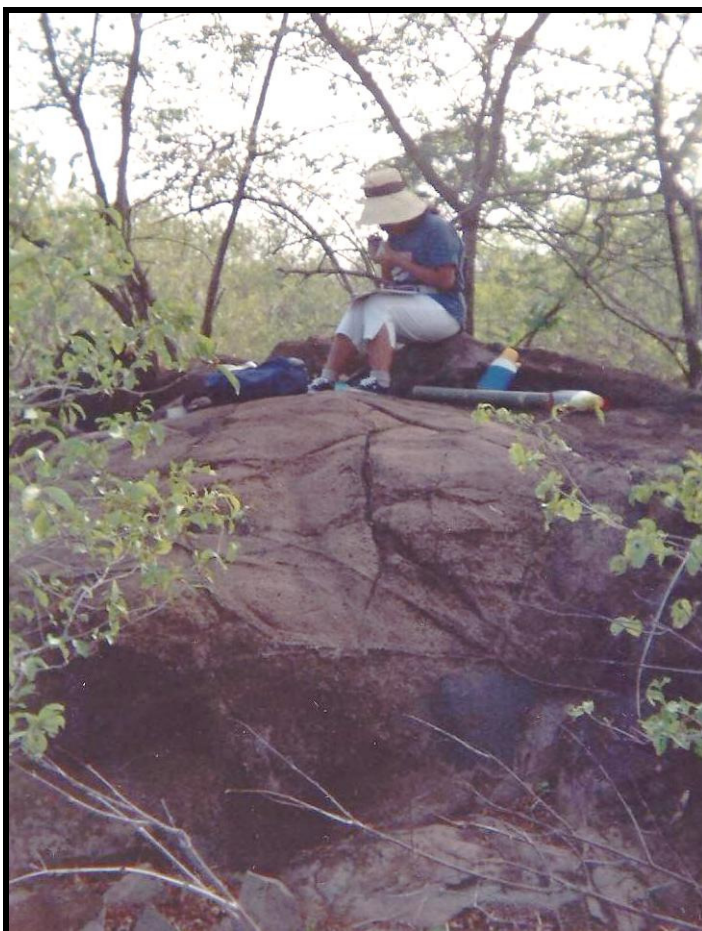


FIGURA 84 – Basalto correlacionado com a Suíte Parapuí.

A resposta espectral dessa suíte nos canais de contagem total e potássio variam de baixo a alto, onde os valores mais altos ocorrem em rochas próximas aos granitos Mucambo e Meruoca. Os canais de tório e urânio possuem resposta espectral para essa suíte muito baixa.

Suítes Granítica Meruoca-Mucambo (Cambriano)

Essa nomenclatura foi designada por GORAYEB et al. (1988), englobando o Granito Meruoca e o Granito Mucambo. Os dois estão expostos na região estudada e serão descritos a seguir.

a) Granito Meruoca

O Granito Meruoca de idade Rb-Sr de 512 ± 10 Ma (NASCIMENTO; GAVA; PIRES; TEXEIRA, 1979), localiza-se no extremo NE da área de trabalho, próximo a fazenda Angiquinho, tem direção preferencial NE-SW sendo distinguíveis três fácies petrográficas: albita-ortoclásio granito, biotita-hornblenda-ortoclásio granito e microgranitos.

Próximo ao contato onde se desenvolvem os hornfels a rocha torna-se mais fina e assume tonalidade cinza escuro, além de se destacarem injeções de veios graníticos, centimétricos a decimétricos, concordantes e discordantes com a estrutura da rocha.

A resposta radiométrica desse granito nos canais de potássio e contagem total é muito alta, enquanto que nos canais de urânio e tório varia de baixo a muito alto.

b) Granito Mucambo

O Granito Mucambo, de idade em torno de 527 Ma (U-Pb em zircão SANTOS et al. 1999), ocorre na porção oeste da área de trabalho. Apresenta uma expressiva auréola de contato localizado na porção SE da área de trabalho, próximo da cidade de Mucambo. É delimitado pela Falha Café-Ipueiras seguindo a direção NE-SW. No extremo noroeste da área mapeada ocorrem as maiores exposições desta unidade na Serra do Carnutim, com altitude aproximada de 600m.

Apresenta composição predominantemente sieno-monzonítica com hornblenda e biotita, bordas com microgranitos, abundância de enclaves de variados tamanhos (FIGURA 85) e natureza, alguns ainda conservam a estrutura primária, veios pegmatíticos graníticos com muscovita e turmalina. Este corpo plutônico impôs efeitos termais significativos nos metassedimentos do Grupo Ubajara, com aparecimento de hornfels na Formação Trapiá.

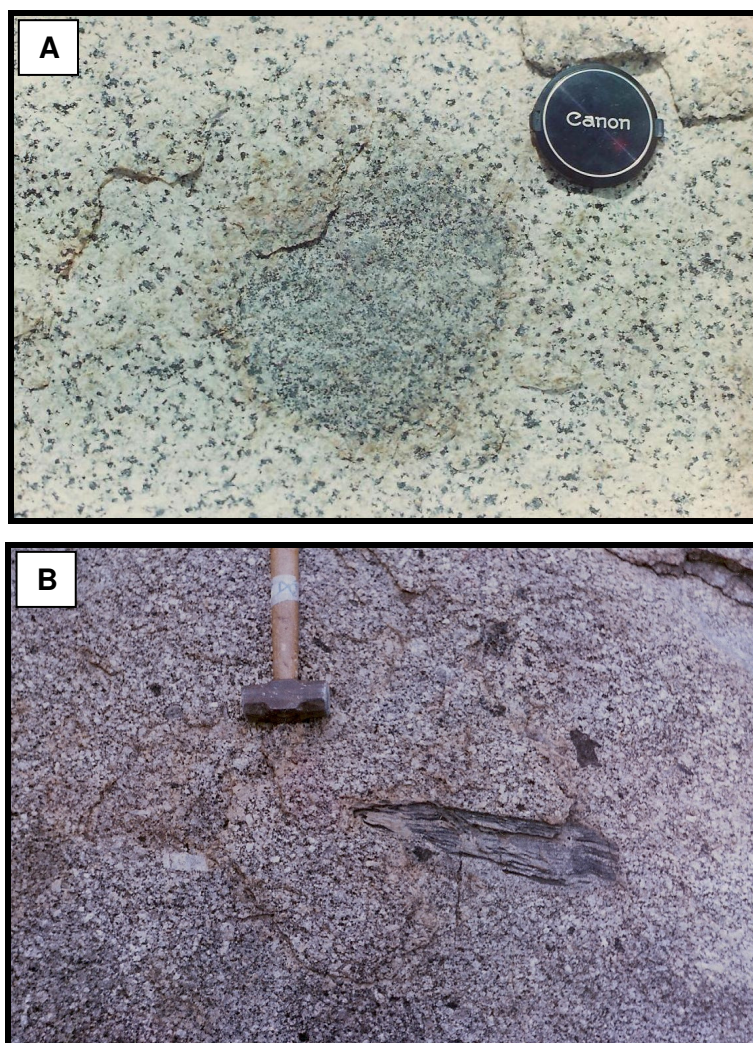


FIGURA 85 – (A) Granito Mucambo com enclave de gnaiss de forma tabular e **(B)** Enclave de forma arredondada, granulometria fina, coloração cinza escuro, encontrado no Granito Mucambo, em afloramento de lajedos.

As rochas encontram-se aflorando em blocos de pequenas dimensões ou em forma de lajedos (FIGURA 86) com dimensões quilométricas, de coloração róseo acinzentado, com granulação grossa, textura fanerítica e equigranular. Essas rochas encontram-se bastante fraturadas. A mineralogia é de plagioclásio, quartzo, k-feldspato, anfibólio, muscovita e biotita.



FIGURA 86 – Afloramento tipo lajedo do Granito Mucambo.

A resposta radiométrica desse granito variou nos canais de potássio, tório e urânio de baixa a muito alta, onde o valor mais alto ocorre próximo e na Serra do Carnutim. No canal de contagem total, a resposta espectral é muito alta para esse corpo.

Formação Aprazível

Está presente na porção norte da área de trabalho, próximo ao vilarejo de Pedra de Cal. Ocorre em uma faixa alongada de direção NE-SW e apresenta contornos irregulares. Os afloramentos constituem pequenos morrotes que por vezes atingem altura de 5 metros e blocos, próximos a Falha Café-Ipueiras.

É formada por ortoconglomerados polimíticos constituídos, fundamentalmente, por matacões, blocos e seixos de gnaisses. São mal selecionados, com grãos sem orientação preferencial, acamamento pouco visível, predominando o aspecto maciço. É formada também por arenitos, basaltos e riolitos em matriz de granulação grossa formada por quartzo, feldspatos e fragmentos líticos (FIGURA 87).

Estas rochas jazem sobre os metassedimentos do Grupo Jaibaras e foram depositadas, após a colocação do granito Meruoca.



FIGURA 87 – Bloco conglomerado da Formação Aprazível.

A matriz apresenta textura bimodal com arcabouço fechado, mal selecionado, feldspática, com grãos angulosos e subarredondados. O arcabouço mineralógico

microscópico é de 36% de fragmentos de rochas e 22% de matriz, contendo quartzo, 34% de feldspatos e 8% de minerais acessórios.

A resposta espectral dessa formação varia nos canais de potássio e urânio entre muito baixa a alta, próximo ao Granito Meruoca, enquanto que nos canais de contagem total e tório varia de muito baixa a média.

A presença de brechas conglomeráticas associadas com arenitos finos a médios, nessa formação, implica na seleção do tamanho dos clastos através da diminuição da energia do fluxo durante a deposição e sugerem processos deposicionais pulsantes.

O caráter polimítico e a ocorrência de seixos angulosos nas brechas conglomeráticas sugerem transporte para esses clastos, evidenciando áreas de fontes distintas e próximas.

A fácies conglomerado arenoso pode ser explicado com um regime de fluxo superior onde ocorre a deposição de rochas conglomeráticas, esporadicamente ocorrem registros de arenitos devido a diminuição de energia. Essa diminuição de energia cessaria o transporte dos seixos, dando origem a deposição dos sedimentos arenosos que são transportados por tração e saltação. Foi notado também um caráter polimodal dos seixos deste fácies, o que pode indicar também uma diversificação na distancia de origem destes sedimentos, já que seixos mais arredondados sofrem uma abrasão maior.

Essa fácies tem como principal característica a predominância maciça dos conglomerados. Propõem-se que a deposição destes sedimentos ocorreu em um ambiente tracional, com influência aquosa, onde o nível de energia é identificado por pulsos maiores, que conseguem transportar os seixos, e alguns intervalos com pulsos menores que, com a diminuição de energia, transporta somente o material que era transportado por suspensão e alguns por tração. Os pulsos de energia podem ser originados de atividades tectônicas (reativação de bacias) ou variações climáticas (NILSEN, 1982).

Grupo Serra Grande – Formação Ipú (Ordoviciano)

Caputo e Lima (1984) dividiram o Grupo Serra Grande em três formações: Ipú, Tianguá e Jaicós, sendo que na área de estudo a única formação deste grupo é a Formação Ipú, que é a seqüência mais basal da Bacia do Parnaíba.

O Grupo Serra Grande está localizado na parte sul da área de trabalho, próximo a cidade de Pacujá, com direção NE-SW, sendo uma unidade expressiva.

Na área de trabalho está sendo representada por conglomerados e arenitos, em parte feldspáticos, com intercalações de siltitos e folhelhos, depositados em ambiente fluvial e marinho raso, com contribuições glaciais. Quanto à estruturação, não apresentam orientação preferencial.

A resposta espectral dessa formação nos canais de contagem total, potássio e urânio é muito baixa, por outro lado no canal de tório varia de muito baixa a alta.

Com base nas características faciológicas desta formação admite-se um ambiente deposicional continental do tipo fluvial, onde a grande quantidade de sedimentos com granulometria grossa evidencia transporte predominantemente sob forma de carga de fundo. Tal característica é de canais anastomosados, relacionados a gradientes elevados, com cargas de fundo predominantemente de tração e elevada taxa de migração lateral (MENDES, 1984).

O fácies arenito conglomerático com estratificação cruzada acanalada é interpretado como uma seqüência sedimentar incompleta de barra de canal anastomosado (os sedimentos finos do topo da seqüência não foram preservados). Esses depósitos mostram decréscimo ascendente de granulometria, iniciando-se cada ciclo por sedimentos grosseiros, compostos por seixos arredondados dispostos em camada inclinadas, sendo seguidos por sedimentos de granulação mais fina (areias finas a médias), depositados pela diminuição do fluxo, também apresentando estratificações cruzadas. Segundo o autor supracitado as estratificações cruzadas são formadas como resultados do avanço lateral e frontal (rio abaixo) da barra de canal.

Depósitos Coluviais

Consiste em blocos, seixos, matacões e fragmentos de rochas. Esses depósitos ocorrem principalmente na porção sul da área de trabalho, proveniente da desagregação da Formação Serra Grande.

As respostas radiométricas dos diversos canais são de valores muito baixos.

12.3 MAGMATISMO

As rochas ígneas aflorantes na área são caracterizadas por plútons graníticos e rochas vulcânicas, evidenciando diferentes estágios da evolução geológica da

Província Borborema, que ocorreram no Paleoproterozóico (Evento Transamazônico) e no Neoproterozóico (Evento Brasileiro).

O magmatismo desta área está relacionado principalmente a processos tectono-termais, a partir de estágios de anatexia e fusão de crosta, provavelmente decorrentes do evento de subducção que provocou o surgimento do arco magmático, representado pelo Complexo Tamboril-Santa Quitéria, segundo Fetter et al. (2003).

Na área foram identificados dois eventos magmáticos. O primeiro de caráter intermediário, causando desenvolvimento de rochas vulcanoclásticas, derrames vulcânicos e *sills* de diabásio. O segundo, de caráter ácido, relacionado à intrusão dos corpos batolíticos Mucambo e Meruoca.

O primeiro evento corresponde a um magmatismo intermediário relacionado à falhamentos profundos ligados a processos extensionais, onde o magma ascendeu através de fissuras e cristalizou-se em subsuperfície e em superfície. Tais rochas podem ter sido geradas em épocas muito próximas, condicionadas a própria situação geotectônica de geração de grábens, relacionada a várias pulsações e reativações geradas pelo Lineamento Sobral-Pedro II.

O magmatismo da Suíte Parapuí tem composição básica e ambiência vulcânica a sub-vulcânica, é intracontinental subaéreo com efusões e explosões. Essa manifestação magmática está intimamente relacionada à instalação do Gráben Jaibaras, estritamente fissural, com movimentação de material através de falhas e fraturas pré-existentes (NASCIMENTO; GORAYEB, 2004). A presença de amígdalas e uma granulação muito fina (afanítica) evidenciam um resfriamento muito rápido.

O segundo evento é caracterizado por um magmatismo ácido, que é representado pelos granitos Mucambo e Meruoca. Esses corpos graníticos estão associados a zonas de cisalhamento e possuem natureza alcalina a peralcalina, passando por termos subalcalinos (SIAL, 1987; LAFON et al., 1992; GORAYEB et al., 1991).

Eles estão posicionados ao longo da Falha Café-Ipueiras e o evento de formação desses granitos está ligado às últimas movimentações durante o Brasileiro, relacionado à fase de distensão máxima dos falhamentos ocorridos no início do Paleozóico e proveniente de altas taxas de estiramento litosféricos (GORAYEB et al., 1993).

O Granito Mucambo é um corpo epizonal, evidenciado pelas suas rochas encaixantes de natureza sedimentar e pouco metamorfizadas, indicativas de baixa profundidade, pela auréola de contato produzida na sua encaixante e pela presença abundante de enclaves de variados tamanhos e formas. Apesar de ser um corpo raso, sua cristalização iniciou em grandes profundidades, com temperaturas entre $900 \pm 50^\circ\text{C}$ e pressão em torno de 10 a 8 Kb (GALINDO, 1993). Esta temperatura foi inferida a partir da presença de minerais como olivina e piroxênio, encontrados como minerais traços e as fases hidratadas como hornblenda e biotita, encontrados como minerais varietais. As fases anídricas iniciaram sua cristalização nas condições de pressão e temperatura supracitadas. Nestas condições, a atividade da água no líquido magmático é bastante limitada, não sendo possível a cristalização de fases hidratadas. Com a ascensão do magma, as condições de pressão tornaram-se menos intensas, aumentando a atividade da água, levando a cristalização de minerais como hornblenda e biotita, causando ainda feições de desequilíbrio nos minerais cristalizados inicialmente, evidenciado pela textura em coroa da olivina.

12.4 METAMORFISMO

De acordo com as observações na área de trabalho a presença de minerais índices, feições de migmatização e algumas estruturas de deformação de caráter dúctil (foliações, lineações, dobras, etc), possibilitaram fazer importantes considerações a respeito das condições de pressão e temperatura sob as quais ocorreram os eventos tectono-metamórficos registrados nesta área.

O metamorfismo atuante nos litotipos da folha SA-24-Y-C-VI-4, é considerado como regional, dinamo-termal com alto grau geotérmico, estabilizando assembléias minerais que variam desde o fácies hornblenda-hornfels até o fácies anfibolito alto a granulítico, formando extensas zonas metamórficas, evidenciado por intensas transformações mineralógicas e texturais nas rochas.

No que diz respeito as unidades aflorantes, o Complexo Ceará, Grupo Ubajara, Formação Massapê, Formação Aprazível, Granito Mucambo e Meruoca, fornecem informações sobre o metamorfismo. Os granitos produziram auréola de contato nas rochas encaixantes.

Dentre os minerais índices observados, destacam-se a sillimanita e a granada. Além das associações formadas por estes minerais, outro indicativo das

condições de pressão e temperatura são as feições de migmatização encontradas. Tais evidências auxiliam na identificação e caracterização das fácies metamórficas e do tipo de metamorfismo ocorrido na área. É importante analisar o metamorfismo sobre a condição de pressão e temperatura que atuaram nas rochas.

A associação para definir o fácies granulito foi estabelecida sobre os enderbitos da Faixa Granulítica do Cariré (Paleoproterozóico), resumidas na paragênese: hiperstênio + andesina (An_{38}) + anfibólio + quartzo + biotita, que segundo Winkler (1976) indicam condições de $P_{H_2O} \ll P_{total}$ sendo a última pressão de média a alta e temperatura entre 650° a 850 °C.

O Complexo Ceará é formado por unidades supracrustais que atingiram a fácies anfibolito sendo definidas pelos seguintes litotipos: granada-biotita gnaisses, sillimanita-biotita gnaisses e biotita gnaisses. Essas rochas apresentam-se parcialmente migmatizadas, sendo esta feição resultado de processos de anatexia, devido ao aumento da temperatura e que gerou fusão parcial destas rochas. Em escala de afloramento, foi possível detectar a ocorrência de falhas e fraturas que indicam os esforços em que a rocha foi submetida pela tectônica regional, modificando assim, sua estruturação.

Os gnaisses da área de trabalho estão presentes nas rochas do Complexo Ceará e apresentam como principal feição o bandamento gnáissico, representado pelas alternâncias de bandas félsicas e máficas. As bandas félsicas são caracterizadas pela textura granoblástica e freqüentemente granoblástica poligonal, de composição quartzo feldspática. As bandas máficas apresentam a textura lepidoblástica composta geralmente por biotita.

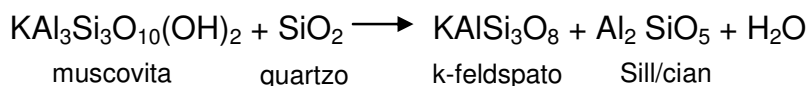
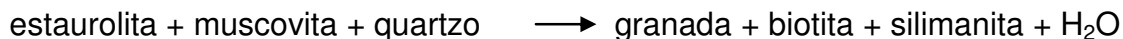
Paragênese I: granada + sillimanita + quartzo + andesina (An_{42}) + biotita + epidoto.

Fácies: anfibolito médio a alto.

Isógrada: sillimanita.

Esta paragênese é marcada pela presença da granada, que indica a sua formação a altas pressões e moderadas temperaturas sob fácies anfibolito, com temperaturas de 500° a 650° C e pressão de 2 a 10 kbar. É marcada também pela sillimanita que indica alta temperatura (WINKLER, 1977).

De acordo com Yardley (1989), é provável que a maior parte da silimanita seja produzida a partir da destruição de outros minerais, como, por exemplo, nas reações abaixo:



Os anfibolitos encontrados nessa área ocorrem como corpos lenticulares concordantes à estruturação dos gnaisses. Suas gêneses não são bem conhecidas, podendo ser derivados de protólitos ígneos (rochas básicas) ou sedimentares (sedimentos carbonáticos).

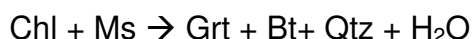
Paragênese II: granada-biotita gnaisses: plagioclásio andesina (An_{36}) + quartzo + biotita + muscovita + granada.

Fácies: anfibolito.

Isógrada: granada.

Esta paragênese é caracterizada principalmente pela presença da granada e da biotita. A coloração marrom avermelhado dos cristais de biotita indica um elevado teor de Ti, formação a altas temperaturas e fases iniciais de recristalização (Turner, 1968; Zussman, 1967).

A formação da granada pode se dar pela seguinte reação:



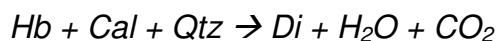
Onde se tem clorita e muscovita dando origem a granada, biotita e quartzo.

A alta concentração de minerais ricos em alumínio indica uma paraderivação com protólito de origem pelítica (FIGURA 88). Ainda, segundo Yardley (1989) a presença de granada comumente é associada à pelitos verdadeiros.

A presença de diopsídio juntamente com a hornblenda, associada com plagioclásio cálcico indica que o metamorfismo ocorreu nos domínios da fácies anfibolito. Uma comparação entre as zonas metamórficas em pelitos e em rochas calcissilicáticas foi feita por Kennedy (1949) *in* Yardley, (*op. cit.*), mostrando que a zona da sillimanita equivale à zona do diopsídio nas mesmas condições de P e T (T = 650°C – 750°C e P = 5,5 - 6,5 kbar).

Algumas evidências de desequilíbrio entre o clinopiroxênio (diopsídio) e o anfibólio (hornblenda) foram encontradas, em que esta última é formada, provavelmente por reações de hidratação.

Segundo Yardley (1989) a paragênese citada é característica do grau mais elevado de metamorfismo de rochas calcissilicáticas, zona do diopsídio. Representada pela reação abaixo, a hornblenda com calcita e quartzo gerando diopsídio e líquido rico em CO₂.



De acordo com Sheahan & Cherry (1993) rochas calcissilicáticas podem ser formadas durante metamorfismo regional ou de contato por uma variedade de processos metassomáticos, envolvendo fluidos de origem magmática, metamórfica, meteórica e/ou marinha.

Paragênese V: Hyperstênio + Diopsídio + Plagioclásio + Hornblenda.

Fácies: granulito.

O enderbita da Faixa Granulítica de Cariré, é caracterizado por ortopiroxênio, e possui paragênese típica de granulitos de baixa pressão.

Quanto ao quartzito, pode-se dizer que sua composição quartzo-feldspática com muscovita evidencia o metamorfismo de arcósios. Apesar de sua ocorrência restrita, este litotipo corrobora a hipótese de uma forte influência sedimentar na geração dos protólitos das rochas metamorfas encontradas atualmente na área.

No Grupo Jaibaras atuaram condições metamórficas de grau incipiente até xisto verde baixo, indicando leve subsidência das unidades litológicas. A preservação de estruturas sedimentares primárias, recristalização de alguns minerais e o desenvolvimento de uma incipiente foliação nas rochas denotam indícios de metamorfismo em condições de baixo grau.

No diagrama de fácies metamórficas da FIGURA 89, está plotado cada parágênese descrita.

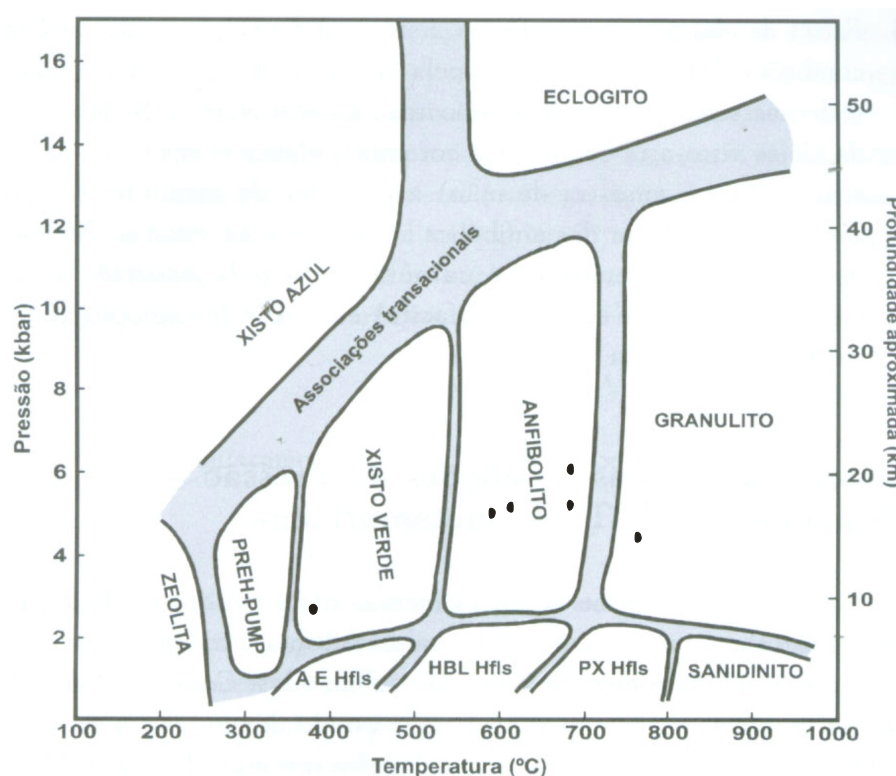


FIGURA 89 - Diagrama de fácies metamórficas (Yardley, 1989). As paragéneses aqui descritas estão plotadas no domínio da fácies xisto verde, anfibolito, anfibolito alto e granulito.

Discussões

De um modo geral, no Complexo Ceará o metamorfismo atingiu a fácies anfibolito alto, com temperaturas variando de 650-700°, de acordo com as assembléias minerais e fácies metamórfica definidas para a área.

Segundo Arthaud e Torquato (1989) sobre parte do embasamento do Domínio Ceará Central, ocorrem seqüências supracrustais monocíclicas, compostas predominantemente por rochas paraderivadas metamorfasadas em grau alto e comumente migmatizadas, gnaisses e xistos com sillimanita e/ou cianita e granada, além de quartzitos e rochas carbonáticas. Estas rochas pertencem ao Complexo Ceará.

Com base nas paragéneses e texturas observadas nas rochas da folha SA-24-Y-C-VI-4 pode-se dizer que o metamorfismo evoluiu associado à atuação de eventos tectônicos ocorridos em escala regional.

A presença de minerais como a biotita, muscovita, granada e sillimanita nos paragneisses sugerem que tais rochas foram geradas pelo metamorfismo de rochas com alto teor de aluminossilicatos, como é o caso de rochas pelíticas. Segundo Bizzi et al. (2003), tais protólitos sedimentares formavam seqüências supracrustais típicas de ambiente plataformais de margem passiva, que foram posteriormente submetidos a ambientes profundos em zonas de subducção.

As condições metamórficas em que as rochas do primeiro evento foram submetidas devem estar associadas à fase de deformação e metamorfismo, decorrentes da fase de geração de crosta do Ciclo Transamazônico (2,2 - 1,8 Ga).

As feições miloníticas atestam o fato da deformação ter acontecido em regime dúctil, sob pressões e temperaturas moderadas a altas, e são caracterizadas pela presença de agregados cristalinos de plagioclásio e quartzo amendoados e muitas vezes contornados por minerais micáceos, localmente encurvados.

Inicialmente as rochas mais antigas foram colocadas em condições de média a alta temperatura atingindo o fácies anfibolito alto a granulito.

Todos estes litotipos descritos anteriormente foram submetidos; possivelmente acompanhando a fase final do metamorfismo, a uma tectônica de alçamentos, que provocou a ascensão destas, junto a litotipos supracrustais de níveis mais superiores, promovendo a estabilização de assembléias minerais metamórficas nestes litotipos que alcançaram desde o fácies xisto verde até o fácies anfibolito ao mesmo tempo que as rochas de alto grau metamórfico (infracrustais) foram desequilibradas retrometamorficamente nestas condições, a partir de deformações seguidas de manifestações fluídas.

Nos Grupos Ubajara e Jaibaras, Gorayeb, Abreu, Moura (1988) observam que as condições metamórficas se situaram em gradientes de temperatura baixa a moderada, que estabilizaram paragêneses em fácies albita-hornfels e localmente anfibólio-hornfels. A preservação de estruturas sedimentares primárias, recristalização de alguns minerais e desenvolvimento de uma incipiente foliação nas rochas denotam indícios de metamorfismo em condições de baixo grau (GORAYEB op cit.).

Enquanto que nas áreas referentes aos contatos entre as unidades supracitadas e as intrusões plutônicas (Suíte Intrusiva Mucambo-Meruoca), pode-se observar que a auréola de contato metamórfica alcança temperaturas correspondentes à fácies hornblenda-hornfels.

A coexistência de assembléias minerais de condições de pressão e temperatura diferentes sugere que logo após o metamorfismo regional progressivo, ocorreu o retrometamorfismo, desequilibrando assembléias minerais de alta temperatura para condições de mais baixa temperatura, associado geralmente à zona de cisalhamento.

12.5 GEOLOGIA ESTRUTURAL

A folha SA-24-Y-C-VI-4, onde foi realizado o trabalho atual, encontra-se inserida na região estruturalmente influenciada pelo Lineamento Sobral Pedro II (LSP II). Esse lineamento separa dois dos cinco domínios geotectônicos em que se compartimenta a Província Borborema: Médio Coreaú e Ceará Central.

A porção de transição entre os dois domínios é fortemente marcada por uma zona de cisalhamento. Na porção noroeste, encontra-se um conjunto de Grábens dos quais os mais expressivos são os de Ubajara e Jaibaras; na porção sudeste do LSP II está presente três unidades litoestratigráficas: a Faixa Granulítica de Cariré; e as Unidades Independência e Canindé, as quais compõem o Complexo Ceará.

O *trend* estrutural desse conjunto é NE-SW, valendo ressaltar que, por se tratar de uma zona de cisalhamento os mergulhos das estruturas planares são mais acentuados nas proximidades do LSP II, mergulhando preferencialmente no sentido SE. Em arranjo semelhante se comporta a intensidade do processo de milonitização que devido à movimentação tectônica também é mais intenso às proximidades do LSP II, e gradativamente diminui até configurarem-se em foliação milonítica na porção distal (Abreu, informação verbal).

A Falha Café – Ipueiras é uma das descontinuidades do LSP II, localizada no Domínio Médio Coreaú. Adjacente a ela tem lugar uma grande variedade de rochas metassedimentares que compõem o Grupo Ubajara; granitos da Suíte Intrusiva Mucambo e metassedimentos do Grupo Jaibaras. Sendo o alinhamento geral dos corpos quilométricos metassedimentares, influenciados pelo *trend* regional NE-SW.

O Granito Mucambo, de idade eoproterozóica – neoproterozóica, ocupa uma área de aproximadamente 180 km², edifica um relevo com cotas que podem alcançar 800m. Na porção sudoeste do mapa estabelece um contato intrusivo com o Grupo Ubajara e desenvolve uma auréola de contato com até 3km de largura. Por ser um corpo intrusivo isotrópico não possui estruturas dúcteis.

As discontinuidades do LSPII funcionando com rejeitos verticais, em falhas normais e oblíquas, criam uma estrutura regional de abatimento denominada Grabén Jaibaras. Essa macroestrutura domina a porção central da folha, estando presentes também bordejando o Granito Meruoca na porção NNE do mapa.

Na porção centro-sul do mapa, formando expressões de relevo, destaca-se o Grupo Serra Grande, que é a unidade litoestratigráfica basal da Bacia do Parnaíba, como um testemunho de erosão com forte controle estrutural.

Para o melhor entendimento da área extraiu-se a partir de imagens aerogeofísicas (FIGURA 90), lineamentos estruturais que foram somados às medidas de campo, possibilitando a compreensão da geometria das rochas, e a cinemática que atuou na região.

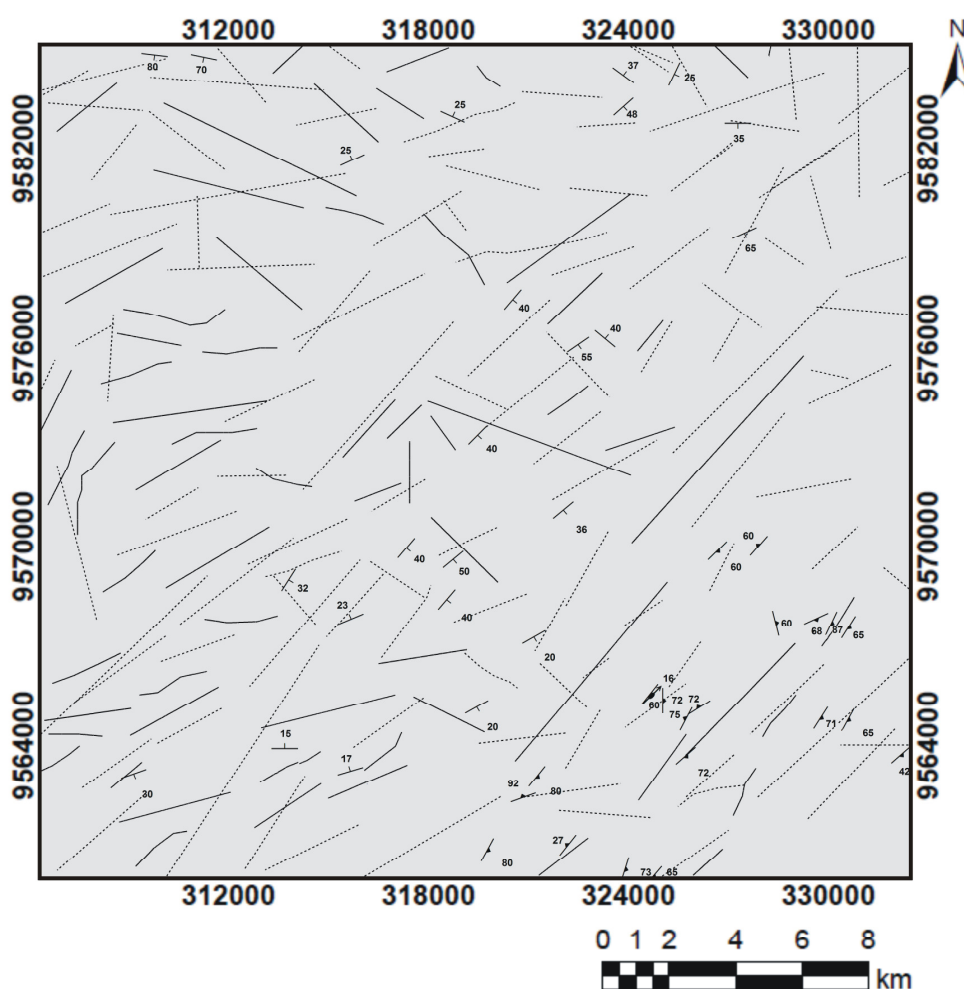


FIGURA 90 – Mapa de lineamentos extraído das imagens aerogeofísicas.

A área como um todo encontra-se estruturalmente inserida em movimentações de transcorrência dextral dos lineamentos Brasileiros.

As foliações encontram-se orientadas na direção NE-SW, com mergulhos altos variando entre 30° até subverticais, sendo a grande maioria no sentido SE (FIGURA 94 A), assinalando uma pequena rotação do pacote rochoso aprisionado no gráben, (Abreu, informação verbal). As lineações são ressaltadas pela orientação e estiramento mineral, orientadas predominantemente NE-SW com mergulhos baixos em média de 15° .

Foram medidas as orientações médias de ambas as estruturas supracitadas, obtendo-se para a foliação o plano $74^\circ/121^\circ\text{Az}$ e para lineação uma orientação $16^\circ/45^\circ\text{Az}$, que ao serem analisadas em projeções estereográficas, nos revelaram um *rake* de 15° , o que indica uma movimentação fortemente transcorrente (FIGURA 91).

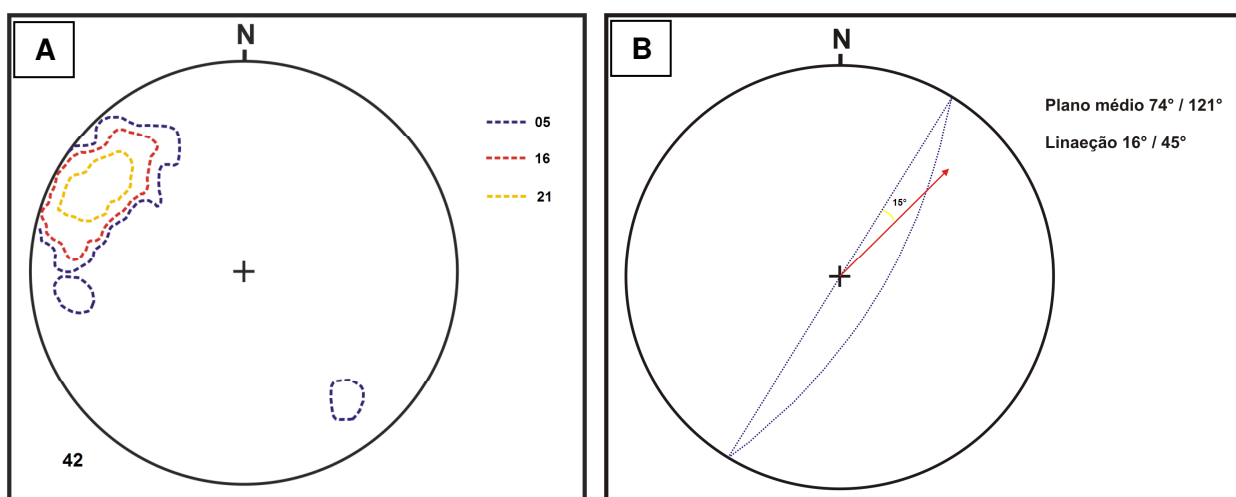


FIGURA 91 - (A) Projeção estereográfica das medidas de foliação, ilustrando os contornos de pólos, com mergulho principal no sentido SE; **(B)** Relação entre foliação e lineação média da região, demonstrando um *rake* de 15° .

No campo e no tratamento das foliações observou-se a presença de dobras, evidenciadas por fortes ondulações refletidas na superfície do terreno e pela disposição dos pólos em projeções estereográficas que desenhavam uma dobra assimétrica aberta. Os mergulhos são predominantes no sentido SE, porém observa-se pólos que indicam mergulho no sentido NW, configurando uma guirlanda cujo eixo apresenta caimento NE, com baixos valores de mergulho em torno de 12° , (FIGURA 92).

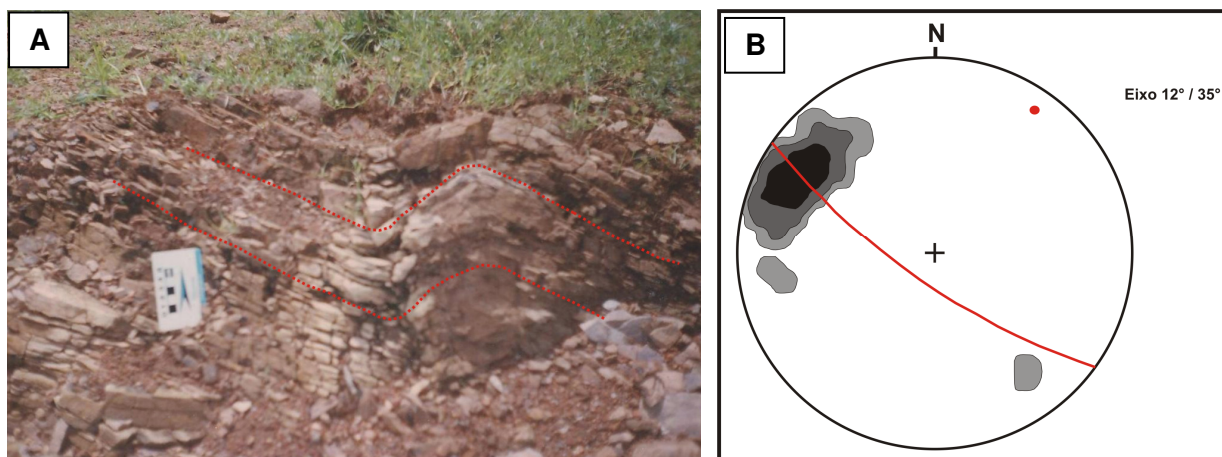


FIGURA 92 - (A) Afloramento com rochas apresentando Microdobras; (B) Estereograma de contorno dos pólos, desenhando uma dobra aberta. Guirlanda demonstrando o caimento do eixo em torno de 12° no sentido NE.

Após o tratamento e análise detalhada das mediadas de campo, torna-se viável a orientação do elipsóide de tensão e deformação que indica a orientação dos principais agentes causadores da geometria atual, strain e stress, facilitando a compreensão dos eventos recorrente na área em estudo.

O elipsóide define a atuação predominante de um campo de tensões de cisalhamento simples. Dentro deste sistema o elipsóide de tensão ficou orientado da seguinte maneira, o eixo σ_1 que corresponde a direção da tensão principal, juntamente com o eixo Z de menor deformação, localizam-se na direção NW-SE, oblíquos ao *Trend* principal NE-SW; o eixo σ_3 indica a menor tensão, e o eixo X a maior deformação, estão localizados paralelamente a lineação mineral, ou seja a direção do estiramento; o eixo σ_2 , e o Y indicam situações intermediárias da tensão e deformação respectivamente, estando paralelo ao plano das foliações, (FIGURA 93).

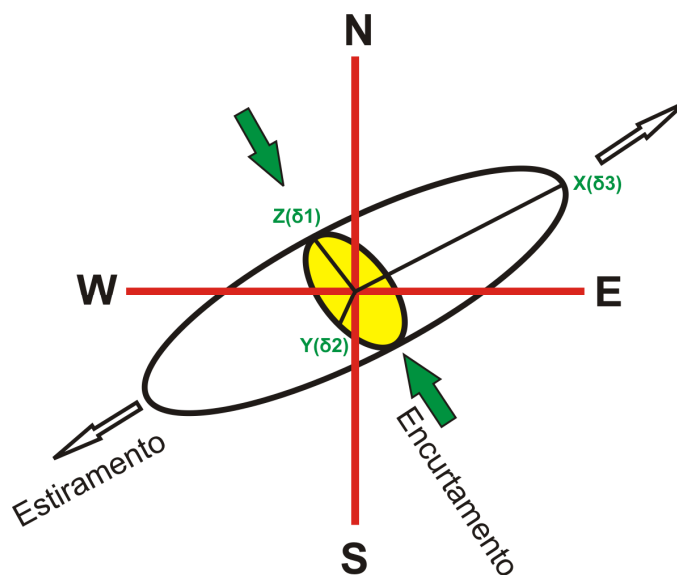


FIGURA 93 - Elipsóide de deformação proposto para a região de estudo, de acordo com as estruturas dúcteis.

Entre as estruturas rúpteis observou-se em campo falha direcional no Granito Mucambo com direção N30E/vertical, mostrando a movimentação de um xenólito evidenciando deslocamento dextral, e rejeito de 10 cm, sendo possível individualizar estrias sub-horizontais, caracterizando movimentação predominantemente transcorrente (Figura 94).

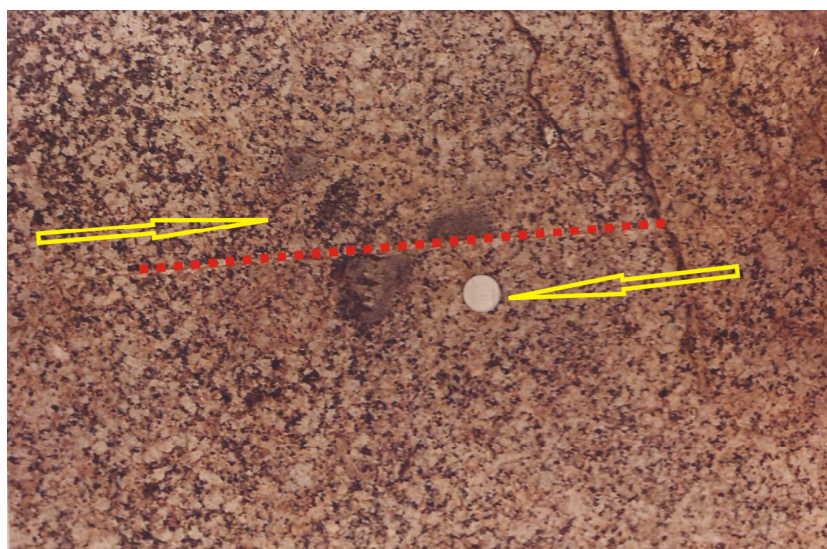


FIGURA 94 – Falha direcional, com movimentação dextral.

As fraturas são facilmente encontradas por toda a área mapeada, com um comportamento similar entre elas, evidenciando a influência do LSP II, pois em todos os grupos litológicos encontra-se orientados preferencialmente na direção NE-SW, com

mergulhos subverticais e médios (75° - 40°). Pode-se observa tal semelhança nas rosáceas a seguir (FIGURA 95).

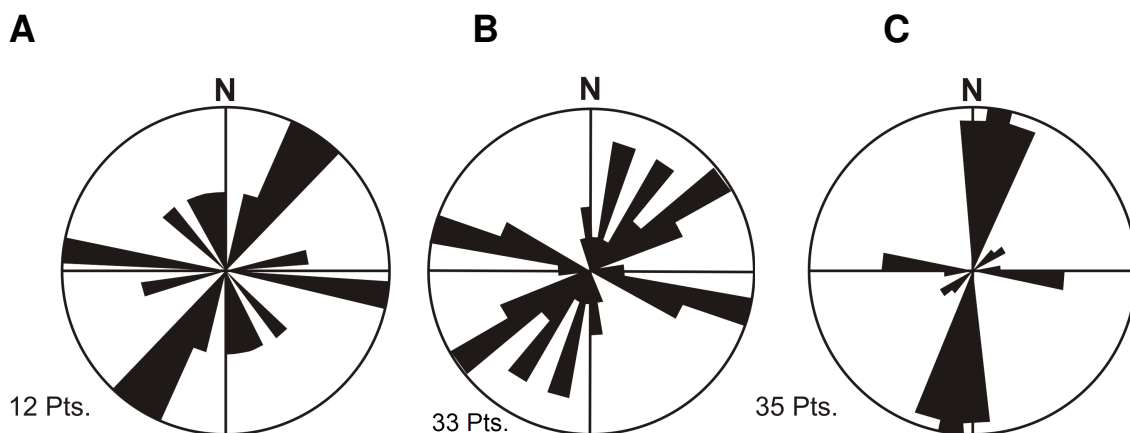


FIGURA 95 - Rosáceas ilustrando o Trend regional NE-SW, nos principais grupos de rochas encontrados na área mapeada; A- Fraturas referentes ao Granito Mucambo; B- Fraturas referentes ao Grupo Jaibaras e C- Fraturas referentes ao Grupo Serra Grande.

As Famílias de juntas de direção NE-SW e NW-SE, funcionaram como planos de movimentação transcorrentes dextrais e sinistrais de acordo com observações realizadas em trabalhos de campo.

Com os lineamentos extraídos das imagens de sensores remotos, posteriormente com os strikes de cada segmento e análise em rosácea (FIGURA 96), concluiu-se que a orientação preferencial regional do *trend* estrutural encontra-se na direção NE-SW, e observou-se medidas em menores proporções, orientadas para NW-SE. Considerando que a movimentação tectônica seja de cisalhamento simples, os alinhamentos NE-SW corresponderiam a fratura principal, e os alinhamentos NW-SE seriam as fraturas de cisalhamento conjugado representado pela letra R' no diagrama de Riedel.

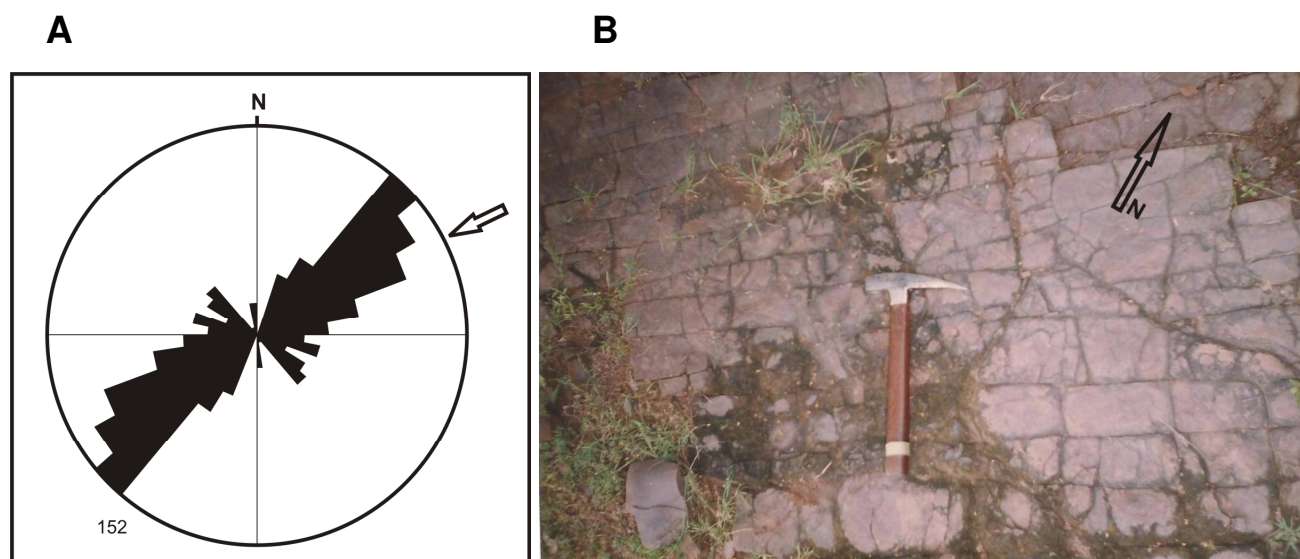


FIGURA 96 - (A) Rosácea gerada a partir de medidas geradas em laboratório baseadas em imagens geofísicas, com trend estrutural NE-SW; (B) ilustração de campo mostrando o padrão de intenso fraturamento nas rochas da área.

O elipsóide de deformação gerado a partir das estruturas rúpteis (fraturas) define a atuação de um campo de tensões de cisalhamento não-coaxial, na qual o eixo X (estiramento) está na direção NE-SW e o eixo Z (encurtamento) está na direção NW-SE (FIGURA 97).

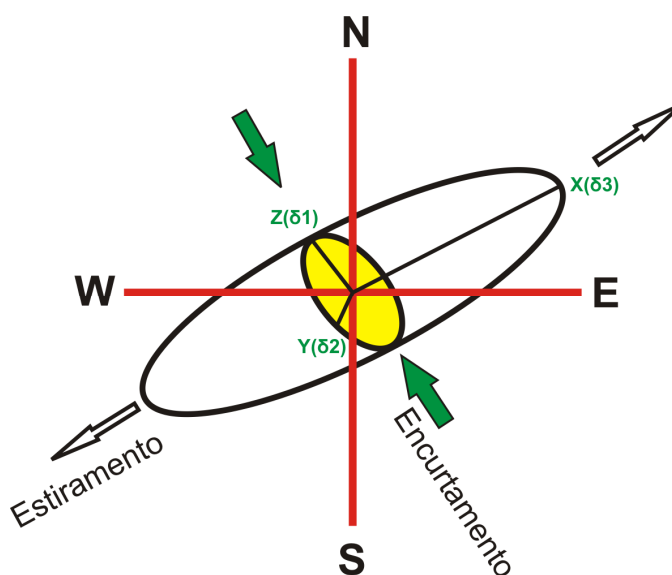


FIGURA 97 - Elipsóide de deformação proposto para a região de estudo, de acordo com as estruturas rúpteis.

A área como um todo apresenta o mesmo comportamento estrutural, concluindo-se que os conjuntos de rochas da região tenham sido submetidas ao mesmo evento tectônico, o Brasileiro que deu origem a um feixe de falhas

denominado Sobral Pedro II, onde insere-se um importante lineamento da área de estudo, denominado Café –Ipueiras.

Os ajustamentos isostáticos relacionados a Reativação Wealdeniana movimentaram recorrentemente descontinuidades pré-existentes, bem como geraram outras novas estabelecendo um padrão estrutural que controlam fortemente o padrão de drenagem regional.

12.6 EVOLUÇÃO GEOLÓGICA

Na crosta primitiva existente no Arqueano, o alto grau geotérmico existente permitia a lenta e gradual fusão e refusão total de rochas básicas a ultrabásicas que compunham essa crosta. Na parte mais externa da Terra, houve a diminuição da temperatura, fazendo com a fusão se torne parcial, formando, assim, magmas com tendências mais félsicas, que se consolidaram e formaram os primeiros núcleos “graníticos” da crosta continental, compostos em grande parte por corpos de composição tonalítica, das denominadas suítes TTG.

No início do Paleoproterozóico ocorreu um processo de colisão de duas placas oceânicas (formadas pela aglutinação de blocos arqueanos e crosta simática) que foi o responsável pela formação de diversos arcos magmáticos, comuns na região mencionada, além de bacias de *back* arco e *fore* arco. A partir do momento em que o processo de colisão é contínuo, os blocos subductados geram fusões parciais e um magmatismo híbrido, com magma de composição toleítica, que por diferenciação resulta em granitóides tonalíticos a granodioríticos, conhecidos como suítes TTG. É provável que nesse processo de subducção, alguns fragmentos de crosta oceânica, compostos de rochas máficas e ultramáficas, tenham sido elevados para o topo das massas dos blocos (obducção) e se misturado às rochas de níveis crustais mais rasos.

A litogênese dos gnaisses de composição tonalítica do Complexo Granja (protólitos com idades entre 2.4-2.3 Ga) e os ortognaisses de Forquilha (2.11 Ga e 2.3 Ga) devem ter acontecido nesse contexto e foram metamorfisados no Ciclo Transamazônico.

O Terreno Granja faz parte de um evento acrescionário (Complexo Granja) de idade U-Pb. 2,35 Ga (SANTOS, 1999), que ocorre a oeste da Faixa Martinópolis–Ubajara, com retrabalhamento nos eventos orogênicos do Riachão e Brasiliano. Naquele período deve ter sido formada uma grande massa continental

com a união dos atuais domínios Médio Coreaú, Ceará Central e Rio Grande do Norte.

Os ortognaisses da região de Forquilha foram datados por Fetter et al. (1995) pelo método U/Pb em zircão e Sm/Nd e rocha total, que obtiveram, respectivamente as idades de 2,11 Ga e 2,3 Ga. Baseado nesses resultados os autores sugerem que esse segmento crustal consiste de uma mistura de material Riachão e crosta mais antiga, sem relação genética com o Bloco NW do Ceará, Domínio Médio Coreaú, confirmando assim as especulações de Abreu (1993).

Deposições sedimentares devem ter acontecido na interface núcleos “graníticos” x litosfera oceânica consumida, os quais foram os protólitos das rochas Paleoproterozóicas de paraderivação encontradas na região noroeste do Ceará, seja no Domínio Médio Coreaú seja no Domínio Ceará Central. Pelo menos duas zonas de subducção que originaram os protólitos dos gnaisses de Granja e Forquilha, separados por domínios oceânicos intra-arcos, além de materiais sedimentares que originaram as rochas de paraderivação associadas a esses ortognaisses, ocorrem na área em consideração.

Como se trata da formação de um arco magmático, no contexto de uma zona de subducção de crosta oceânica, a geração do magma nessas áreas está ligada principalmente a processos que envolve a interação da placa em subducção, com o manto subjacente. Os magmas gerados neste ambiente de arco magmático ascendem dentro de crosta continental ou oceânica, onde eles resfriam e sofrem cristalização fracionada. O magma quente interage quimicamente com a crosta. Estes processos produzem uma grande diversidade na composição química dos magmas, que variam desde basaltos, passando por andesitos, até riolitos (SANTOS, 2009).

O acelerado soerguimento crustal promoveu a decompressão isobárica durante esta deformação, evidenciada através de reações minerais e texturais nos metapelitos (Complexo Ceará) e enderbitos (Faixa Granulítica de Cariré), indicando uma rápida decompressão para a região (SANTOS, op cit.).

O consumo dos domínios oceânicos, além do aumento dos terrenos ortognaissicos levou a interação dos mesmos em uma grande colagem durante o Transamazônico, ocorrido entre 2.200 a 1.800 G.a (Brito Neves et al, 1996), cujo resultado final foi a composição do super-contidente Atlântica (partes da América do

Sul e África), uma grande massa continental, a qual reuniu os domínios Médio Coreá, Ceará Central e Rio Grande do Norte (FERREIRA e SANTOS, 2000).

O Ciclo Transamazônico imprimiu nas rochas nele envolvidas feições estruturais marcantes, representadas por estruturas planares e lineares. Essas se configuram em um contexto que associam movimentações de massas em cavalgamentos e transcorrências com cinemática predominantemente dextral, em um quadro claro de partição da deformação (SANTOS, 2009).

Evidência desses cavalgamentos pode ser a presença da Faixa Granulítica de Cariré que mostra o alçamento de porções infracrustais. Os enderbitos dessa faixa granulítica foram datados por Fetter (1999) pelo método U/Pb em zircões, tendo sido obtidas idades de 2.095 ± 11 e 2.110 ± 66 Ga que correspondem a época de geração da rocha pré-metamórfica. Essas mesmas rochas foram datadas por Nogueira Neto (2005) com resultados TDM de 2,23 Ga e 2,31 Ga.

O Complexo Ceará apresenta uma certa homogeneidade, tanto de estilo tectônico como de condições de metamorfismo, caracterizada pela presença de forte tectônica tangencial sublinhada por zonas de cisalhamento inversas e metamorfismo do fácies anfibolito, com freqüente início de anatexia, atingindo, localmente, condições do fácies granulito (ARTHAUD e TORQUATO, 1989).

A articulação desses grandes conjuntos litoestruturais (Médio Coreá e Ceará Central) formou suturas e descontinuidades importantes, entre elas a Proto Zona de Cisalhamento Sobral-Pedro II, a qual mais tarde também separou esses dois grandes domínios, cujas idades se diferenciam em aproximadamente 200-300 Ma.

No Neoproterozóico uma nova distensão foi instalada, levando a formação de um novo domínio oceânico ou de um rift bastante evoluído, e em suas margens teriam se depositado as rochas supracrustais que viriam a constituir os grupos Martinópolis-Ubajara.

O Ciclo Brasileiro (640 a 580 Ma) durante o qual a Província Borborema foi cratonizada (CABY et al., 1990), retrabalhou grande parte das sequências litológicas antigas e foi responsável pela formação do Gondwana entre 800 e 500 Ma (TEIXEIRA et al., 2001). Esse super-continente compreenderia as massas continentais que hoje representam a África, América do Sul, Austrália, Índia e Antártida (TROMPETTE, 1994) amalgamadas, em uma colisão oblíqua do tipo himalaiana (CABY et al, 1995) a qual produziu nas zonas limítrofes dos blocos em

colagem um amplo sistema de deformação e dobramentos que deu origem ao que Almeida et. al. (1977) denominou “Província Borborema”.

No Vendiano, os sedimentos de Massapê-Pacujá foi espalhado por extensas áreas e concomitante a este, nas zonas de articulação de blocos e sobre descontinuidades intrabloco, instalam-se, em contexto distensivo, movimentações predominantemente normais, resultante de colapso da estrutura crustal, relacionadas a adelgaçamento litosférico, possibilitando a subida das isotermas, que forneceram calor para a crosta e possibilitaram a fusão de rochas da base desta e/ou do manto litosférico. Essas zonas de extensão se evidenciam pela formação de bacias marginais, sobretudo no Domínio Médio Coreaú.

Esses fenômenos teriam acontecido no final do Brasiliano e deles decorreria a implantação do chamado Gráben Jaibaras (Abreu et al. 1993). A subsidência nesse grabén permitiu o aprisionamento dos sedimentos do Grupo Jaibaras, representados pelos conglomerados da Formação Massapê, nas porções proximais de leques aluviais. Seguiu-se depois a deposição dos sedimentos da Formação Pacujá, e simultaneamente as manifestações magmáticas básicas de caráter vulcânico a sub-vulcânico da Suíte Parapuí.

O estiramento e adelgaçamento crustal que culminaram na instalação do Gráben Jaibaras permitiu também a colocação intrusiva de plútons como Meruoca e Mucambo. Durante a colocação do plúton, o Gráben Jaibaras sofreu fraca inversão (Abreu et. al., 1993), comprovada pela presença de estruturas dúcteis e rúpteis decorrentes de esforços compressivos, como dobras, e falhas inversas de movimentação oblíqua. Esse modelo, portanto, repetiria, de forma mais restrita, o modelo de formação da seqüência Martinopóle-Ubajara, onde os afastamentos seriam bem menores e não se formaria um rift e muito menos um domínio oceânico (Santos, 2009). A intrusão do Granito Mucambo nos sedimentos do Grupo Ubajara, propiciou uma auréola de metamorfismo de contato bem marcada na Formação Trapiá.

A Formação Aprazível apresenta uma área de deposição mais restrita, fortemente controlada pelas zonas de cisalhamento Sobral-Pedro II e Café Ipueiras. A movimentação das principais linhas de fraqueza permitiram a deposição de conglomerados polimíticos, sob clima seco, em ambiente de leque/planície aluvial e lacustre, que ocorreu depois da deposição da seqüência Massapê-Pacujá e das intrusões dos granitos da Suíte Meruoca, os quais serviram de áreas-fonte, e antes

da deposição dos sedimentos do Grupo Serra Grande da Bacia do Parnaíba (QUADROS, 1996).

Como último evento geológico, tem-se o soerguimento da área, com a conseqüente redução do nível de base, provocando a remoção do relevo e culminando com a morfologia atual da área. Segundo Costa *et al.*, (1979), o início dos processos que culminaram na paisagem morfológica atual do noroeste do Ceará estão provavelmente relacionados com a denominada “reativação Wealdiana” da Plataforma Sulamericana, caracterizada por arqueamentos e falhamentos, e desencadeou-se uma vigorosa fase de dissecação em função dos desníveis topográficos criados e perdurou até o Mioceno, quando a região alcançou um período de completa pediplanação.

13 CONCLUSÃO

A realização desse trabalho demonstrou que a utilização de técnicas de processamento digital de imagens e sistemas de informações geográficas (SIG) consistem em uma ferramenta muito útil para integração de dados na geração de mapas para aplicações geológicas.

Os dados aqui integrados possibilitaram realizar e disponibilizar em meio digital a cartografia geológica da folha SA-24-Y-C-VI-4, correspondente a porção sudeste da Folha Frecheirinha, localizada no NW do Ceará. O que facilita o acesso às informações sobre essa folha.

A utilização de produtos de sensoriamento remoto, em particular imagens TM, permitiram tecer considerações sobre as orientações dos sistemas de lineamentos predominantes e da litologia da área em questão.

As imagens de gamaespectrometria permitiram o detalhamento da ocorrência em superfície das rochas presentes na área de trabalho. Essas imagens ofereceram boas correlações entre os traçados representativos de contatos entre corpos e unidades geológicas presentes na área e os arranjos definidos nos produtos cartográficos pré-existent, emprestando as mesmas, uma maior e melhor definição espacial. As imagens de aeromagnetometria foram de grande utilidade para a retirada de alinhamentos estruturais que muito ajudaram no entendimento dos sistemas estruturais, sobretudo aqueles relacionado a tectônica rúptil.

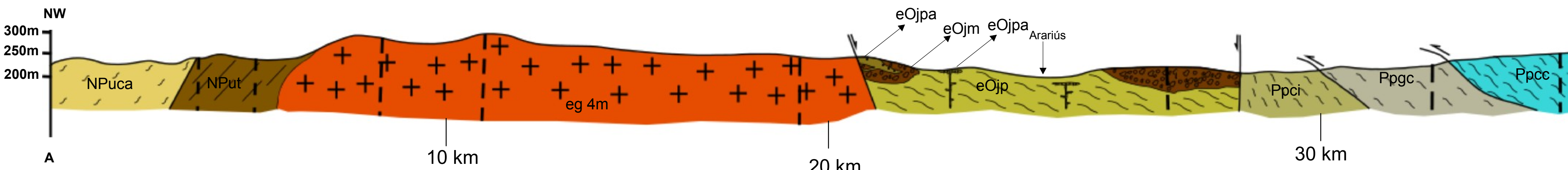
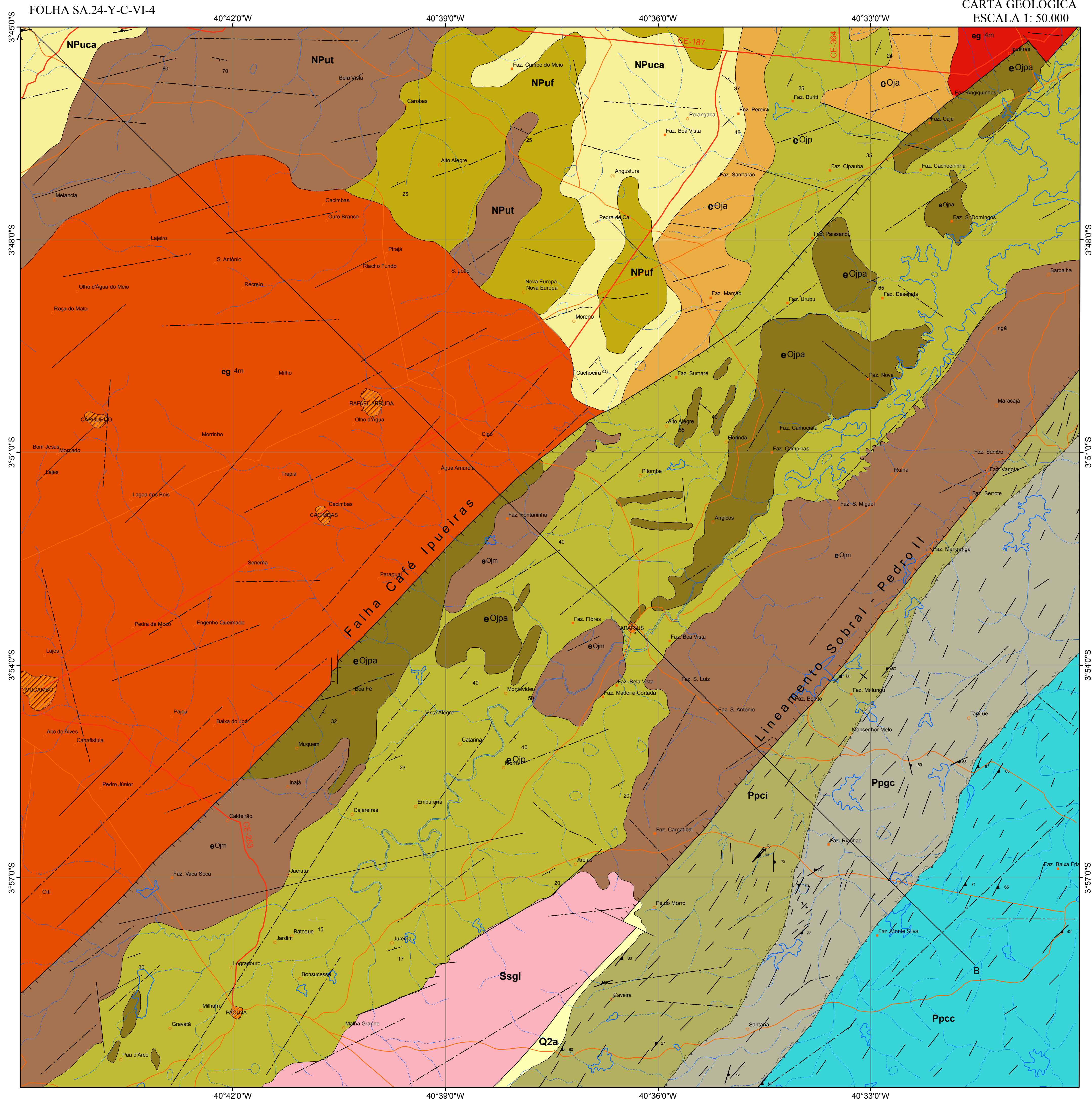
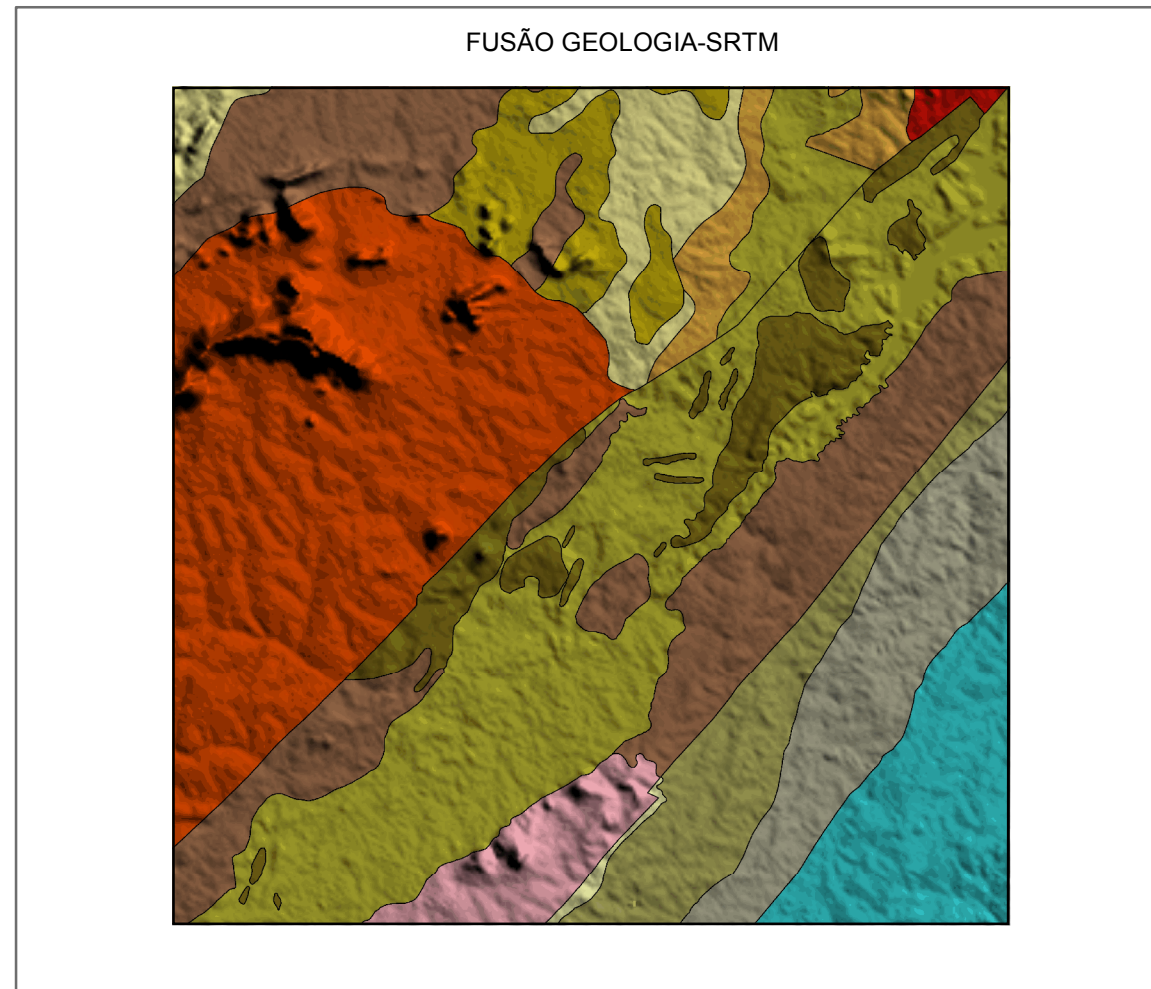
As respostas espectrais e radiométricas, obtidas nas imagens integradas, refletindo informação das bandas TM e do processamento da aerogeofísica, respectivamente, facilitaram a definição de contatos e o entendimento das relações espaciais entre as unidades geológicas e os alvos não geológicos da área de estudo.

De tudo isso resultou um mapa geológico de melhor qualidade e nota explicativa, além da organização e sistematização de dados antes dispersos em um SIG, o que muito contribui para ensejar o avanço do conhecimento geológico sobre a área.

Na organização litoestratigráfica da área compreendeu uma sequência de litotipos encaixados no Complexo Ceará, Grupo Ubajara e Jaibaras, Suítes intrusivas, Meruoca e Mucambo, Suíte Parapuí, Formação Aprazível, Formação Ipú.

O uso das geotecnologias foram de grande importância para a confecção de um mapa geológico de confiabilidade e credibilidade, pois a grande parte das litologias encontradas nos dados pré-existentes puderam ser visualizadas nas imagens utilizadas.

SEÇÃO GEOLÓGICA A-B

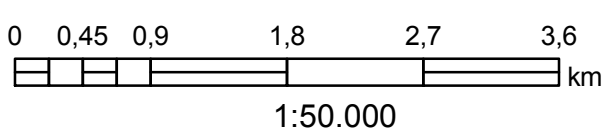


DESCRIÇÃO DAS UNIDADES

[illegible]

CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

-  Propriedade Rural
-  Localidades
-  Vila
-  Curso de água intermitente
-  Curso de água perene
-  Açudes
-  Lagoa intermitente
-  Lagoa perene
-  Estradas Vicinais
-  Rodovia Pavimentada
-  Cidades



PROJEÇÃO UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR
Origem da quilometragem UTM: equador e Meridiano Central -39°
acrescidas as constantes: 10.000Km e 500Km, respectivamente
Datum horizontal: WGS84
Declinação magnética do centro da folha em 1969: 20 23'W
Cresce 5,6" anualmente para W

Autora: Verena Bispo Torres