



UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS
DEPARTAMENTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA

INTEGRAÇÃO DE IMAGENS LANDSAT-7/ETM+ E DADOS
AEROGEOFÍSICOS COMO AUXILIAR EM PROGRAMAS DE
MAPEAMENTO GEOLÓGICO NA REGIÃO DA FOLHA VILA DE
TEPEQUÉM (NA.20-X-A-III), 1: 100.000 - ESTADO DE RORAIMA.

MARCOS ANTONIO SOARES MONTEIRO

Manaus

2004

MARCOS ANTONIO SOARES MONTEIRO

INTEGRAÇÃO DE IMAGENS LANDSAT-7/ETM+ E DADOS
AEROGEOFÍSICOS COMO AUXILIAR EM PROGRAMAS DE
MAPEAMENTO GEOLÓGICO NA REGIÃO DA FOLHA VILA DE
TEPEQUÉM (NA.20-X-A-III), 1: 100.000 - ESTADO DE RORAIMA.

Dissertação apresentada ao programa de
Pós-graduação em Geociências da
Universidade Federal do Amazonas,
como requisito parcial para obtenção do
Título de Mestre em Ciências. Área de
concentração: Geologia Regional

Orientador: Prof. Dr. ALBERTINO DE SOUZA CARVALHO

Manaus

2004

MARCOS ANTONIO SOARES MONTEIRO

INTEGRAÇÃO DE IMAGENS LANDSAT-7/ETM+ E DADOS
AEROGEOFÍSICOS COMO AUXILIAR EM PROGRAMAS DE
MAPEAMENTO GEOLÓGICO NA REGIÃO DA FOLHA VILA DE
TEPEQUÉM (NA.20-X-A-III), 1: 100.000 - ESTADO DE RORAIMA.

Dissertação apresentada ao programa de
Pós-graduação em Geociências da
Universidade Federal do Amazonas,
como requisito parcial para obtenção do
Título de Mestre em Ciências. Área de
concentração: Geologia Regional

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Albertino de Souza Carvalho – Orientador
Universidade Federal do Amazonas

Prof. Dr. Stélio Soares Tavares Jr.
Universidade Federal de Roraima

Prof^ª. Dr^ª. Adalene Moreira da Silva
Universidade Estadual de Campinas

Manaus

2004

DIGITALIZAÇÃO DE IMAGENS, ILUSTRAÇÕES E DESENHOS.
© Marcos Antonio Soares Monteiro

Monteiro, Marcos Antonio Soares

Integração de Imagens Landsat-7/Etm+ e Dados Aerogeofísicos como auxiliar em programas de mapeamento geológico na região da folha Vila de Tepequém (NA.20-X-A-III), 1: 100.000 - Estado de Roraima

Manaus, 2004.

p. ilustr.

1. Geologia Regional – Roraima 2. Sensoriamento Remoto – Integração Digital de Imagens I. Título.

Á memória de meus pais Gracinda e Elias, minhas avós Purificação e Dejanira e a minha tia Filomena, pelo amor, pelos ensinamentos e pela compreensão que sempre me dedicaram.

A minha esposa Ednize e aos meus filhos Hannah e Thiago, razão de meu viver.

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Dr. Albertino de Souza Carvalho, pela orientação, colaboração e discussão em todas as fases da elaboração desse trabalho.

Ao Dr. Fernando Pereira de Carvalho, superintendente de Manaus e atual Diretor de Relações institucionais da CPRM, pelo apoio, incentivo e liberação dos dados geofísicos utilizados.

A minha esposa Ednize pelo estímulo, paciência e amor dedicados durante a execução do trabalho e pela revisão deste texto.

Aos amigos da Superintendência de Manaus da CPRM: Marcelo Almeida, Amaro, Nelson Reis, Mário Sérgio, Marco Oliveira pelas discussões, orientações e pelo estímulo durante a execução deste trabalho.

Aos amigos da DIARMI, Maísa Abram, José Domingos e Maria Angélica pelo apoio nas fases finais de redação deste trabalho.

A CPRM – Serviço Geológico do Brasil pela liberação dos dados geofísicos e pela cessão dos equipamentos utilizados durante este estudo.

A ENGESAT pela disponibilização das imagens LANDSAT utilizadas na elaboração deste trabalho.

Ao Laboratório de Sensoriamento Remoto da Universidade Federal do Amazonas pela cessão dos equipamentos utilizados durante esta pesquisa.

O mais nobre emprego da mente humana é o estudo das obras de seu Criador.

Para aquele a quem a ciência da natureza é uma alegria, cada objeto representa uma prova de Deus; e tudo que isto prova é motivo de adoração.

A vós confio.

Sumário

1	INTRODUÇÃO, OBJETIVOS, LOCALIZAÇÃO E ASPECTOS FISIAGRÁFICOS.....	1
1.1	INTRODUÇÃO	1
1.2	OBJETIVOS	3
1.3	LOCALIZAÇÃO	5
1.4	ASPECTOS FISIAGRÁFICOS: CLIMA, HIDROGRAFIA, VEGETAÇÃO E GEOMORFOLOGIA.....	6
1.4.1	Clima.....	6
1.4.2	Hidrografia.....	6
1.4.3	Vegetação	6
1.4.4	Geomorfologia	7
2	CONTEXTO GEOTECTÔNICO E GEOLOGIA REGIONAL	10
2.1	A PLATAFORMA SUL AMERICANA	10
2.2	O CRÁTON AMAZÔNICO	10
2.3	GEOLOGIA REGIONAL.....	15
2.4	GEOLOGIA LOCAL.....	18
2.5	CARACTERIZAÇÃO ESTRUTURAL	23
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	25
3.1	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E MATERIAIS UTILIZADOS	25
3.1.1	Imagens de Satélite	25
3.1.2	Dados Geofísicos	31
3.1.3	Mapas Topográficos	44
3.1.4	Mapa Geológico.....	44
3.1.5	Softwares e Hardwares	44
3.2	MÉTODOS UTILIZADOS.....	44
3.2.1	Processamento dos dados de Magnetometria e Gamaespectrometria	44
3.2.2	Processamento das imagens digitais LANDSAT 7 ETM+	49
3.2.3	A concepção e as metodologias de integração de dados com produtos de sensores remotos	50
4	APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS	59
4.1	IMAGENS GEOFÍSICAS	60
4.1.1	Interpretação das imagens geofísicas.....	64
4.2	IMAGENS LANDSAT.....	78
4.3	INTEGRAÇÃO DAS IMAGENS.....	79
4.4	COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS COM O CONHECIMENTO GEOLÓGICO ATUAL	85
5	CONCLUSÕES.....	89
6	BIBLIOGRAFIA.....	91

Lista de Tabelas

Tabela 3.1	Comparação entre os sensores TM e ETM +	29
Tabela 3.2	Principais características e aplicações da radiação correspondente a cada uma das bandas do 'TM' do LANDSAT.	30
Tabela 3.3	Susceptibilidade magnética de alguns minerais e rochas (TELFORD, GELDART E SHERIFF, 1990).	38
Tabela 3.4	Características das emissões radioativas.	40
Tabela 3.5	Minerais radioativos e suas associações litológicas. Modificada de TELFORD, GELDART, SHERIFF (1990).	42
Tabela 4.1	Unidades litoestratigráficas fotointerpretadas e suas características gamaespectrométricas.	86

Lista de Fluxogramas

Fluxograma 1	Os Dados Aerogeofísicos	48
Fluxograma 2	Imagens LANDSAT-7 ETM+	51
Fluxograma 3	Metodologia de Integração Digital dos Produtos	57
Fluxograma 4	Fluxograma de Trabalho Integrado	58

Lista de Figuras

Figura 1.1	Área do <i>Projeto Aerogeofísico Província Mineral Parima-Urariqüera</i> .	2
Figura 1.2	Localização da área de estudo no Estado de Roraima - Folha 1:100.000 NA.20-X-A-III (Vila de Tepequém).	5
Figura 1.3	Unidades Morfoestruturais – Fonte: Projeto Radambrasil Vol. 8.	8
Figura 2.1	Divisão tectônica da Plataforma Sul-americana. Fonte: ALMEIDA <i>et al.</i> (1976) a partir de SCHOBENHAUS <i>et al.</i> (1984).	11
Figura 2.2	Mapa esquemático do Cráton Amazônico, com a distribuição das províncias geocronológicas. Fonte: DARDENE E SHOBENHAUS , 2001; a partir de TEIXEIRA <i>et al.</i> , 1989, TASSINARI, 1996; TASSINARI E MACAMBIRA, 1999.	12
Figura 2.3	Mapa esquemático do Cráton Amazônico, com a distribuição das províncias geocronológicas modificado por SANTOS (2000).	14
Figura 2.4	Blocos crustais da Região Amazônica. Fonte: SENA COSTA & HASUI (1997).	15
Figura 2.5	Esboço Geológico do estado de Roraima (Reis e Fraga, 2000).	17
Figura 2.6	Mapa geológico da folha Vila de Tepequém extraído do Mapa Geológico da Folha Boavista / Roraima – REIS, FARIA & ALMEIDA (2002).	18
Figura 3.1	Elementos da fase de aquisição e trajetória da REM na atmosfera.	26
Figura 3.2	Imagem LANDSAT 7 / ETM+ Bandas 5, 4 e 3 em RGB utilizando ampliação linear de contraste. - Corte da Folha - NA-20-X-A-III – Escala: 1: 500.000	31
Figura 3.3	Ilustrações de Padrões de Relevô Magnético	37
Figura 3.4	Espectro dos raios-gama de amostras de K, U e Th, e de um afloramento de rocha granito-gnáissica - Fonte TELFORD, GELDART, SHERIFF (1990).	43
Figura 3.5	Grade Regular	46
Figura 4.1	Imagem geofísica do campo magnético com resolução espacial de 125m referente à folha NA.20-X-A-III. - Escala aproximada 1:500.000	60
Figura 4.2	Imagem geofísica do canal de contagem total em CPS. - Escala 1:500.000	61
Figura 4.3	Imagem geofísica do canal de Potássio em CPS. - Escala 1:500.000	61
Figura 4.4	Imagem geofísica do canal de Tório em CPS. - Escala 1:500.000	62
Figura 4.5	Imagem geofísica do canal de Urânio em CPS. - Escala 1:500.000	62
Figura 4.6	Imagem do canal de Potássio em Percentil. - Escala 1:500.000	63
Figura 4.7	Imagem do canal de Tório em PPM. - Escala 1:500.000	63
Figura 4.8	Imagem do canal de Urânio em PPM. - Escala 1:500.000	64
Figura 4.9	Fatiamento Normal	65
Figura 4.10	Fatiamento Equidistribuído	65
Figura 4.11	Fatiamento em Arco-íris	65
Figura 4.12	Imagem de magnetometria classificada através do Fatiamento Normal	66
Figura 4.13	Histograma da imagem de magnetometria com Fatiamento Normal. Valor inicial = 27 - Valor final = 165 - Cada Classe \approx 27 níveis de cinza	66
Figura 4.14	Perfil Magnético sentido NW-SE, valores em nT/m.	67
Figura 4.15	Imagem Magnética classificada através do fatiamento Arco-íris. Os tons de azul representam os valores mais baixos, enquanto os tons de vermelho, os valores mais altos.	67
Figura 4.16	Histograma da imagem de magnetometria com fatiamento Arco-íris. Valor inicial = 27 / Valor final = 165	68
Figura 4.17	Imagem Magnética sombreada, azimute 135° N-, inclinação 45° e exagero vertical de 2x.	69
Figura 4.18	Imagem Magnética sombreada, azimute 225° N-, inclinação 45° e exagero vertical de 2x.	70
Figura 4.19	Imagem gamaespectrométrica do canal de Contagem Total, segmentada utilizando-se o fatiamento Normal	72

Figura 4.20	Histograma da imagem de gamaespectrometria do canal de contagem total com fatiamento Normal. Valor inicial DN = 7 – Valor final DN = 214 – Cada Faixa \approx 41 Níveis de Cinza	72
Figura 4.21	Imagem gamaespectrométrica do canal de contagem total classificada através do fatiamento Arco-íris. Os tons de azul representam os valores mais baixos, enquanto os tons de vermelho os valores mais altos.	73
Figura 4.22	Imagem gamaespectrométrica do canal de Tório, segmentada utilizando-se o fatiamento Normal.	74
Figura 4.23	Imagem gamaespectrométrica do canal de Tório classificada através do fatiamento Arco-íris. Os tons de azul representam os valores mais baixos, enquanto os tons de vermelho os valores mais altos.	74
Figura 4.24	Imagem gamaespectrométrica do canal de Urânio, segmentada utilizando-se o fatiamento Normal.	75
Figura 4.25	Imagem gamaespectrométrica do canal de Urânio classificada através do fatiamento Arco-íris. Os tons de azul representam os valores mais baixos, enquanto os tons de vermelho os valores mais altos.	75
Figura 4.26	Imagem gamaespectrométrica do canal de Potássio, segmentada utilizando-se o fatiamento Normal.	76
Figura 4.27	Imagem gamaespectrométrica do canal de Potássio classificada através do fatiamento Arco-íris. Os tons de azul representam os valores mais baixos, enquanto os tons de vermelho os valores mais altos.	76
Figura 4.28 -	Imagem integrada os canais de U, Th e K em R, G e B	77
Figura 4.29 -	Imagem Landsat 7 / ETM+ Bandas 5, 4 e 3 em RGB utilizando ampliação linear de contraste. - Corte da Folha - NA-20-X-A-III	78
Figura 4.30	Imagem integrada via Transformação IHS onde: I = Componente principal 1 (CP1) ; H = imagem geofísica do canal do Tório e S = substituída pela Imagem sintética de DN=60 – OPÇÃO 1.	80
Figura 4.31	Imagem integrada via transformação IHS, onde: I = Mantida; H = substituída pela imagem geofísica do canal do Potássio e S = substituída pela Imagem sintética de DN=60 – OPÇÃO 2.	81
Figura 4.32	Imagem integrada via Transformação IHS onde: I = Mantida; H = Imagem Geofísica do Canal do Tório e S = substituída pela Componente principal 1 (CP1) – OPÇÃO 3.	81
Figura 4.33	Imagem integrada via Transformação IHS, onde I = Mantida; H = substituída pela imagem geofísica do canal do Urânio e S = substituída pela Imagem sintética de DN=60 – OPÇÃO 1.	82
Figura 4.34	Imagem integrada via Transformação IHS, onde I = Mantida; H = substituída pela imagem geofísica do canal do Tório e S = substituída pela Imagem sintética de DN=60 - OPÇÃO 1.	83
Figura 4.35	Imagem integrada transformação IHS, onde I = Mantida; H = substituída imagem geofísica do canal do Contagem Total e S = substituída pela Imagem sintética de DN=60 - OPÇÃO 1.	83
Figura 4.36	Imagem integrada via Transformação IHS; onde I = Mantida; H = foi substituída pela imagem geofísica do canal de Magnetometria e S = substituída por Imagem sintética de DN=60 - OPÇÃO 1.	84
Figura 4.37–	Mapa fotogeológico interpretado através dos dados integrados de gamaespectrometria e imagens de satélite.	86

Resumo

Dados aerogeofísicos de magnetometria e gamaespectrometria integrados com imagens de satélite multiespectrais e de radar estão sendo utilizados com sucesso em mapeamentos geológicos. O Serviço Geológico do Brasil (CPRM) efetuou em 2001 o Projeto Aerogeofísico Parima-Urariquera na região noroeste do Estado de Roraima. Foram coletados dados de magnetometria e gamaespectrometria com linhas de vôo de 500m de espaçamento e uma altura média de 100m.

Este trabalho apresenta os resultados obtidos na folha Vila de Tepequém (NA20-X-A-III), resultantes da integração dos dados aerogeofísicos com imagens multiespectrais do satélite LANDSAT 7 ETM+.

No processo de integração foram utilizadas imagens LANDSAT 7 / ETM+, bandas 3,4, 5 e 7, correspondentes a cena 57 da órbita 233, adquiridas em 15 de março de 2000 e os dados de gamaespectrometria dos canais de Urânio (U), Tório (Th), Potássio (K) e Contagem Total (CT) e de magnetometria (Campo Residual).

Os dados aerogeofísicos originais foram transformados em forma de grades regulares com espaçamento de 125 m e, posteriormente, convertidos para o formato de imagens digitais em tons de cinza através do software SPRING/INPE.

A integração dos dados foi realizada através das técnicas de transformação IHS, obtendo-se inicialmente as componentes I, H e S, a partir das bandas 3, 4 e 5 da imagem LANDSAT. Após foram efetuadas várias combinações de substituição das componentes I, H e S, pelas imagens geofísicas geradas dos vários canais, por imagens sintéticas de DN constante igual a 60 e/ou pela primeira componente principal das imagens LANDSAT, gerando várias imagens integradas que foram submetidas à análise e fotointerpretação.

As imagens integradas permitiram a visualização conjunta das características geofísicas, morfológicas e estruturais das unidades litológicas e tectônicas, bem como sua distribuição e configuração espacial.

Os resultados obtidos apresentam uma excelente discriminação para as feições geológicas da área estudada, onde foi possível identificar 14 unidades distintas. Seis dessas unidades foram correlacionadas às litologias já conhecidas da região e oito foram reconhecidas neste trabalho, além disso, foi possível uma parametrização das características geofísicas das unidades estudadas na folha Vila de Tepequém, o que possibilita sua correlação com outras unidades em folhas adjacentes.

Os resultados obtidos comprovam que os produtos resultantes da metodologia de integração digital de dados geofísicos de alta resolução e imagens de satélite multiespectrais, através da transformação IHS, revelam informações mais detalhadas e mais precisas do que se os dados fossem utilizados separadamente, minimizando-se as dificuldades de obtenção de dados geológicos em áreas de difícil acesso, otimizando tempo e custo, tornando as campanhas de campo mais efetivas.

Abstract

Geophysical data integrated with satellite multispectral images and radar images are being used with success in geological mapping. The Geological Survey of Brazil (CPRM) made in 2001 the Parima-Urariquera Aerogeophysical Project in the northwest area of the Roraima State. Airborne Magnetic and Gamaespectrometric data were collected with lines of flight of 500m of spacing and a medium height of 100m.

This work presents the results obtained at the Vila de Tepequém (NA20-X-A-III) map, resultants of the integration of the geophysical data with multispectral images of the satellite LANDSAT 7 ETM+.

In the integration process were used LANDSAT 7 / ETM+ images, bands 3, 4, 5 and 7, corresponding the scene 57 of the orbit 233, acquired in March 15, 2000 and the data of the channels of Uranium (U), Thorium (Th), Potassium (K) and Total Count (CT) and magnetometrics (Residual Field).

The original geophysical data were transformed in form of regular network with 125 m spacing and, later, turned for the format of digital images into gray tones through the software SPRING/INPE.

The data integration was accomplished through the IHS transformation techniques, being obtained the components I, H and S initially, from the bands 3, 4 and 5 of the image LANDSAT. After several combinations of substitution of the components I, H and S they were made, for the generated geophysical images of the several channels, for synthetic images of DN constant same to 60 and/or for the first principal component of the images LANDSAT, generating several images integrated that were submitted to the analysis and fotointerpretation.

The integrated images allowed the united visualization of the geophysical, morphologic and structural characteristics of the litologic and tectonic units, as well as your distribution and space configuration.

The results present an excellent discrimination for the geological features of the studied area, where it was possible to identify 14 different units. Six of those units were already correlated to the litologies known of the area and eight were recognized in this work, besides, it was possible the definition of the parameters of the geophysical characteristics of the units studied at the Vila de Tepequém map, what makes possible your correlation with other units in adjacent areas.

The obtained results prove that the resulting products of the methodology of digital integration of geophysical data of high resolution and images of satellite, through the transformation IHS, reveal more detailed and more necessary information than if the data were used separately, being minimized the difficulties of obtaining of geological data in areas of difficult access, optimizing time and cost, turning the more effective field campaigns.

1 – INTRODUÇÃO, OBJETIVOS, LOCALIZAÇÃO E ASPECTOS FISIAGRÁFICOS

1.1 - INTRODUÇÃO

Devido à sua grande extensão e à existência de províncias minerais, tais como: Carajás, Tapajós, Alta Floresta, Rondônia, Alto Rio Negro e Parima-Urariqüera, a região Amazônica é tida potencialmente como a última grande fronteira para a pesquisa e descoberta de riquezas minerais. Embora essa potencialidade mineral seja reconhecida, a falta de pesquisa geológica adequada dificulta a transformação desse potencial em realidade.

As dificuldades inerentes a uma região inóspita, coberta de florestas, com áreas praticamente inacessíveis e com poucos afloramentos rochosos, além do alto custo de se efetuarem levantamentos geológicos nos moldes tradicionais, resultam em grandes áreas com pouco ou nenhum reconhecimento geológico. Essas dificuldades levam os investidores em mineração a concentrar seus recursos em áreas onde já tenham sido encontrados grandes depósitos minerais ou em áreas onde a garimpagem tradicional tenha se tornado inviável.

Nos últimos 30 anos, o Governo Brasileiro elaborou programas de reconhecimento regional como o PROJETO RADAM (RADAMBRASIL) e o Programa de Levantamentos Geológicos Básicos (PLGB). Tais programas se desenvolveram em uma época em que o interesse era de se recobrir grandes áreas no menor tempo possível. Assim, os produtos originados desses levantamentos eram gerados em pequenas escalas (1:1.000.000, 1:500.000 e 1:250.000), com informações de caráter regional que ainda não esclareceram por completo as características geológicas da região. Dessas iniciativas surgiram os projetos Norte da Amazônia, Roraima, Catrimani-Urariqüera, Uatumã Jatapu, Tapuruquara,

Serra do Repartimento, Roraima Central e Caracaráí.

Embora tenham sido utilizados, nesses projetos, alguns dados obtidos a partir de Sensoriamento Remoto (imagens de radar aerotransportado, satélites e dados aerogeofísicos), o aproveitamento destes foi principalmente dos produtos em meio analógico (papel). Com o advento de novas técnicas de aquisição e processamento de dados em formato digital, torna-se possível obter informações mais precisas a um custo menor e em um tempo relativamente curto quando comparado com os processos tradicionais de fotointerpretação e de mapeamento geológico.

Atualmente o Serviço Geológico do Brasil tem interesse em trabalhar em escalas maiores (1:250.000, 1:100.000 e 1:50.000), em áreas previamente definidas como províncias minerais, tomando como base os trabalhos já efetuados. Para isso, foram executados, no ano de 2001, os Projetos Aerogeofísicos: Província Mineral Parima-Urariqüera, no Estado de Roraima; Tunuí-Caparro e Traíras, no Estado do Amazonas, e Renca, nos estados do Pará e Amazonas. Para os próximos anos, serão iniciados vários projetos de mapeamento geológico básico, principalmente na região do Estado de Roraima.

Neste trabalho, foram utilizados dados coletados no Projeto Aerogeofísico Província Mineral Parima-Urariqüera que recobriu o extremo noroeste do Estado de Roraima (folhas NA.20-V-B, NA.20-V-D, NA.20-X-A e NA.20-X-C).

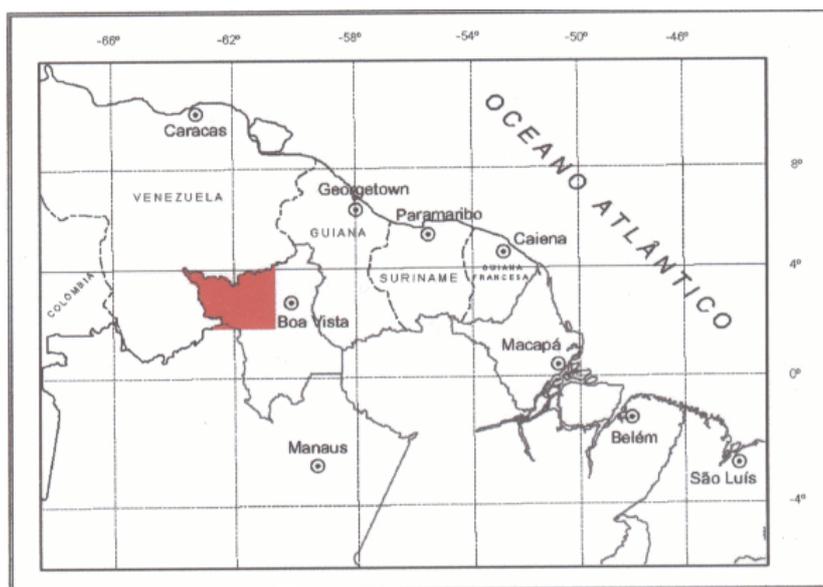


Figura 1.1 – Área de localização do Projeto Aerogeofísico Província Mineral Parima-Urariqüera (em vermelho).

Em virtude de grande parte da região do Projeto Aerogeofísico Parima-Urariqüera estar englobada por áreas bloqueadas para pesquisa mineral, tais como a Reserva Indígena Ianomâmi e pela Reserva Ecológica de Maracá, além das dificuldades próprias da região Amazônica, já mencionadas, torna-se necessário o uso de técnicas indiretas de pesquisa mineral, em especial dos dados de Sensoriamento Remoto, tais como aqueles obtidos por satélites orbitais e por sensores aerotransportados (levantamentos aerogeofísicos).

A técnica da integração de dados de diferentes naturezas (imagens multiespectrais, imagens de radar, dados geoquímicos e geofísicos) através do processamento digital de imagens, tem sido difundida e utilizada desde o final da década de 80 (HARRIS et al, 1990) e obtido sucesso, principalmente em projetos de mapeamento geológico regional (TERUIVA, PARADELLA & SANTOS, 2003).

A transformação dos dados geofísicos em imagens digitais é vantajosa, porque as gradações das respostas geofísicas (radiométricas, magnéticas, gravimétricas, etc.) das rochas são exibidas em níveis de cinza e a acuidade visual humana na interpretação é maximizada quando essas imagens são apresentadas como composições coloridas (DRURY & WALKER, 1987 apud DIAS & PARADELLA, 1997).

Assim, na tentativa de demonstrar a eficácia destas técnicas de integração de dados, este trabalho propõe-se a efetuar o estudo de uma área piloto correspondente à folha NA.20-X-A-III (Vila de Tepequém), localizada na porção norte do Estado de Roraima, com coordenadas $3^{\circ}30'/4^{\circ}00'N$ e $61^{\circ},30'/62^{\circ}00W$, utilizando dados digitais do Aerolevantamento Geofísico do Projeto Parima-Urariqüera e de imagens do sensor ETM+ do satélite orbital LANDSAT 7.

1.2 - OBJETIVOS

O objetivo principal deste trabalho é utilizar metodologias de integração de dados digitais obtidos através de sensores remotos, mais especificamente do sensor ETM+ instalado a bordo da plataforma orbital LANDSAT 7 e dados

magnetométricos e gamaespectrométricos obtidos através do levantamento do Projeto Aerogeofísico Província Mineral Parima-Urariqüera, para produção de mapas fotogeológicos preliminares, como etapa prévia para a geração de um suporte metodológico para a confecção de mapas geológicos finais que representem com maior fidelidade a realidade.

Para alcançar este objetivo maior, foram traçados os seguintes objetivos específicos:

- a) Individualizar e cartografar unidades litológicas/litoestratigráficas e estruturas geológicas através de fotointerpretação visual e operações de manipulação de contraste (fatiamento) de imagens digitais do sistema sensor ETM+/LANDSAT-7.
- b) Gerar imagens digitais em níveis de cinza a partir dos dados magnetométricos e gamaespectrométricos; avaliar sua utilidade para a cartografia geológica da região estudada, tanto como imagens individuais ou como composições coloridas, além de utilizar a fotointerpretação e classificação das imagens digitais geradas para individualizar e cartografar áreas de características geofísicas semelhantes.
- c) Analisar de forma integrada as imagens de satélite e as imagens geradas a partir dos dados geofísicos, utilizando técnicas de Processamento Digital de Imagens, em especial a técnica de integração denominada IHS, nos diferentes tipos de dados, avaliando a importância destes produtos híbridos na discriminação dos litotipos e das estruturas geológicas.
- d) Correlacionar os resultados obtidos na pesquisa com as informações de campo já existentes sobre a área de estudo.
- e) Gerar um mapa fotogeológico da folha NA.20-X-A-III (Vila de Tepequém), a partir dos resultados obtidos na avaliação dos dados.

1.3 - LOCALIZAÇÃO:

A área estudada situa-se no município de Amajari, norte de Roraima, sendo delimitada pelos paralelos $3^{\circ}30'/4^{\circ}00'N$ e pelos meridianos $61^{\circ}30'/62^{\circ}00'W$. O acesso a partir de Manaus se dá através da rodovia federal BR-174 e da rodovia RR-203 que segue até Vila Trairão, localizada na porção sudoeste da área de trabalho.

A escolha da área em questão obedeceu aos seguintes critérios: facilidade de acesso para eventuais verificações de campo; existência de informação geológica preliminar de caráter regional; não inserção em áreas institucionais e disponibilidade de dados de sensoriamento remoto e aerogeofísicos.

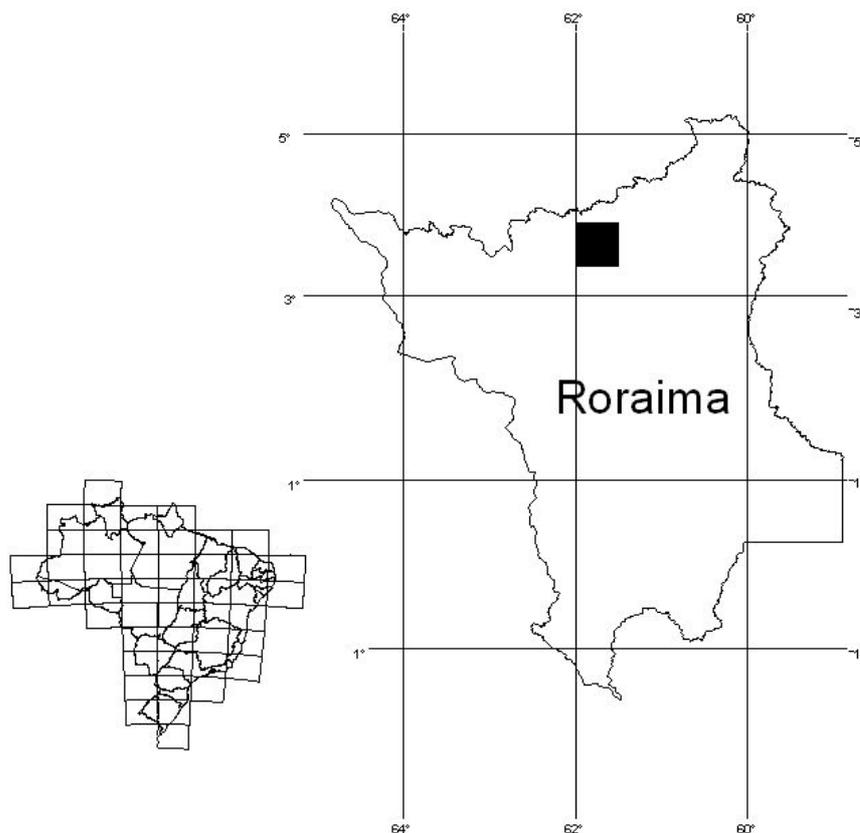


FIGURA 1.2 – Localização da área de estudo no Estado de Roraima
Folha 1:100.000 NA.20-X-A-III (Vila de Tepequém).

1.4 – ASPECTOS FISIAGRÁFICOS: CLIMA, HIDROGRAFIA, VEGETAÇÃO e GEOMORFOLOGIA.

1.4.1 - Clima:

Segundo LOPES (2002) e de acordo com estudos elaborados pela SUDAM (1984), o clima no Estado de Roraima distribui-se, segundo a classificação de Köppen, em Am e Aw. O clima Am domina as partes sul e oeste, segundo uma linha de limite que divide o estado no sentido noroeste/sudeste e que passa próximo à cidade de Caracará; é caracterizado por ser quente, úmido, com precipitação abundante durante a maior parte do tempo, um ou dois meses com precipitações inferiores a 60mm e temperatura média no mês mais frio nunca inferior a 18⁰C. O clima Aw, quente e úmido, com chuvas de verão, precipitação média no mês mais seco inferior a 60 mm e temperatura média no mês mais frio nunca inferior a 18⁰C, domina as partes norte e leste daquele limite.

1.4.2 - Hidrografia:

Os principais cursos d'água que drenam a área em estudo são os rios Amajari, ao norte, e o rio Urariqüera, ao sul, que juntamente com o rio Tacutu formam o rio Branco que drena todo o Estado de Roraima. O rio Amajari tem direção predominantemente Leste-Oeste e correndo para Leste. Ao sul da área encontra-se a ilha de Maracá, formada pelos furos de Santa Rosa e Maracá no rio Urariqüera.

1.1.3 – Vegetação:

Segundo SERRUYA (2002), o Estado de Roraima apresenta basicamente uma composição de vegetação em que predominam, na parte sul, as florestas úmidas e, na parte central e norte-nordeste, as áreas de savanas em suas mais diversas feições.

As florestas são predominantemente do tipo pluvial ou ombrófila na parte sul e estacional nas partes central e norte do estado. Apresentam um espectro que varia desde as florestas de terra firme até aquelas de planícies aluviais periodicamente alagadas. As matas aluviais estão restritas às várzeas dos

principais cursos d'água, bem como a algumas áreas alagadas da região sudoeste, estas intercaladas com as feições de campinarana e de formações pioneiras.

As feições de savanas, que dominam a parte central e norte-nordeste do estado, apresentam-se nas formas arbórea, parque e graminosa. No extremo norte de Roraima, observa-se a feição caracterizada como estépica, nas formas arbórea e parque. Atualmente, verifica-se um alto grau de antropismo nos ambientes dominados pelas savanas, representado, principalmente, pela ocupação com pastagens e lavouras, além de áreas alteradas abandonadas.

Além das unidades fitoecológicas representadas pelas diversas formas de Campinarana e de Formações Pioneiras, podem ser evidenciadas, no Estado de Roraima, áreas de tensão ecológica ou transição (contatos) entre as duas feições de floresta, entre as savanas e as florestas, entre a campinarana e as florestas e entre as formações pioneiras e as florestas.

1.4.4 - Geomorfologia:

FRANCO, DEL'ARCO E RIVETTI (1975), durante os trabalhos do Projeto Radambrasil, identificaram na região norte de Roraima as seguintes morfoesculturas sobre o arcabouço geológico (morfoestruturas):

- 1- Planalto Sedimentar de Roraima
- 2- Planalto do Interflúvio Amazonas-Orenoco
- 3- Planalto Dissecado do Norte da Amazônia
- 4- Planaltos Residuais de Roraima
- 5- Pediplano Rio Negro Rio Branco

O Planalto Sedimentar de Roraima está representado por extensas superfícies tabulares, elaboradas sobre rochas sedimentares e metassedimentares levemente dobradas e intensamente fraturadas do Supergrupo Roraima e da Formação Tepequém. Atinge, em direção ao norte do Roraima, cotas elevadas, próximas aos 3.000 metros, assumindo forma de “Platôs sedimentares”, mesas ou “Tepuys”.

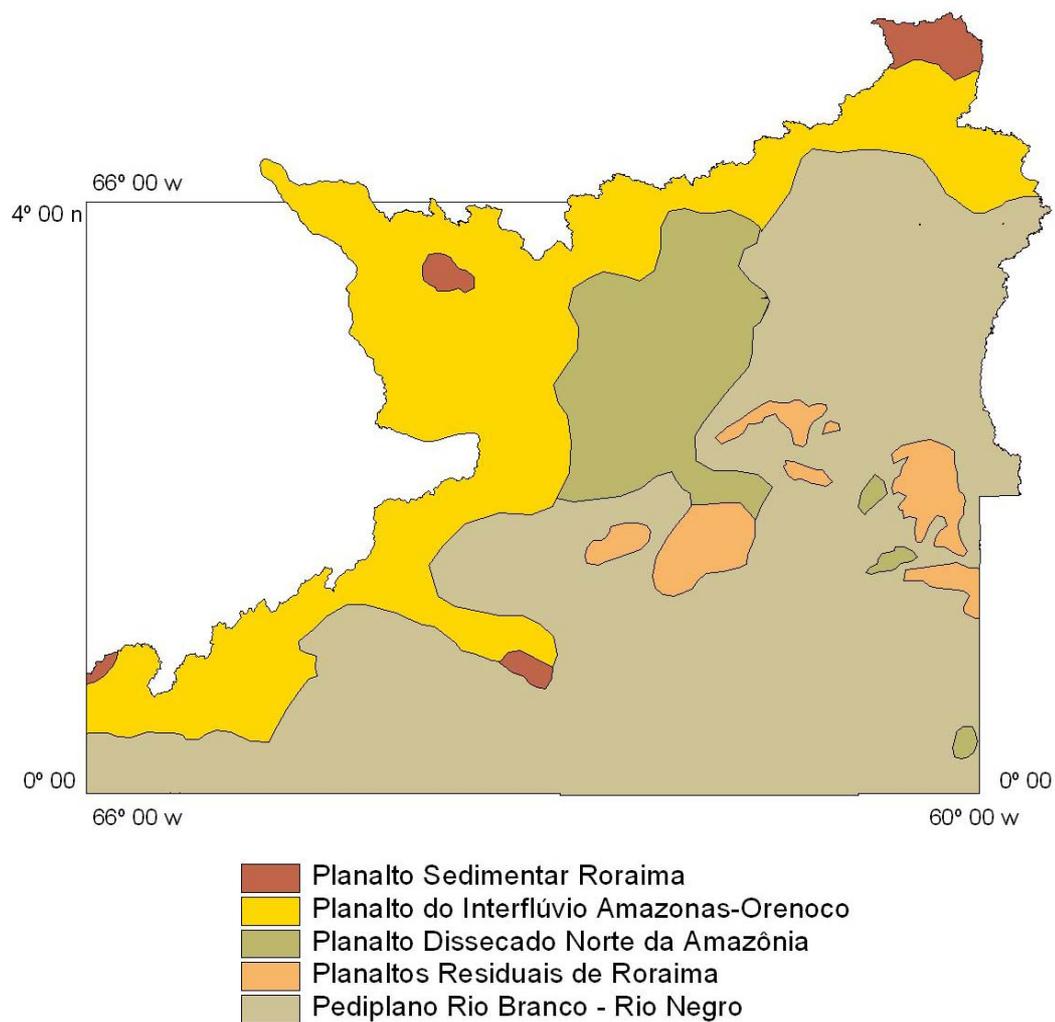


Figura 1.3: Mapa das Unidades Morfoestruturais do estado de Roraima – Fonte: Projeto Radambrasil Vol. 8.

A Serra do Tepequém, situada ao norte da ilha de Maracá, entre os rios Amajari e Trairão, constitui o núcleo de uma sinclinal topograficamente invertida com caimento para leste, preservada da erosão, alçada a cerca de 1.000 metros de altitude. Destaca-se em meio ao relevo colinoso do Planalto Dissecado do Norte da Amazônia com forma aproximadamente circular. Compõe-se por superfície tabular sub-horizontalizada, levemente inclinada para oeste, com cornija bem marcada, sobreposta a formas de topo aguçado, resultantes do recuo de suas Escarpas erosivas.

Atribui-se a origem de seu modelado à superfície de denudação Gondwana, desenvolvido em decorrência da instalação de clima árido, no Triássico Superior/ Jurássico Inferior, e posteriormente retrabalhada nos demais

ciclos erosivos. Desta forma, a serra do Tepequém representaria um dos testemunhos do ciclo de denudação Sul-Americano sobre a superfície Pós-Gondwana durante o Cretáceo Inferior-Médio (SCHAEFER e DALRYMPLE, 1995; SCHAEFER e VALE, 1997 apud MAIA e DANTAS, 2002).

O Planalto do Interflúvio Amazonas Orenoco constitui o grande divisor de águas das bacias hidrográficas dos rios Orenoco na Venezuela e Amazonas no Brasil. É uma extensa área montanhosa com direção geral de sudoeste para nordeste, elaborada sobre rochas do Pré-Cambriano. As formas de relevo montanhosas encontradas apresentam vertentes de forte declividade, resultantes do encaixe da rede de drenagem, sobretudo nas fraturas e falhas que atingiram as rochas. Estas formas ocorrem desde as proximidades do meridiano 66° 00' W, até além da fronteira com a Guiana acima do paralelo 04° 00'.

Os Planaltos Residuais de Roraima são constituídos por diversas serras que se sobressaem altimetricamente dos relevos colinosos do Planalto dissecado Norte da Amazônia e na superfície do Pediplano Rio Branco – Rio Negro. Formam grandes maciços isolados com altitudes que variam de 400 a 800m. Suas formas de relevo, derivadas de intenso fraturamento e falhamentos, são representados por cristas com vertentes de forte declividade modeladas por drenagens de primeira ordem. Tais formas com alinhamento de SW para ENE constituem um interflúvio que separa os afluentes do alto e baixo curso do rio Branco.

O Planalto Dissecado do Norte da Amazônia apresenta cotas variando de 300 a 600 metros. É formado por dois conjuntos morfológicos distintos: o primeiro reúne formas de relevo relativamente homogêneas, representadas por colinas e morrarias, e o segundo abrange formas tabulares mantidas por crostas lateríticas, constituindo platôs.

O Pediplano Rio Branco - Rio Negro é uma extensa superfície de aplainamento com altitudes variando de 80 a 160 m com uma fraca declividade regional em direção ao rio Negro. Abrange as bacias do rio Branco, Tacutu, Surumu, partes do alto e baixo Urariqüera e Mucajaí, e os rios que drenam para a margem esquerda do rio Negro, como os rios Padauari, Araçá, Demini e Xeriuni. Ao norte o pediplano é barrado pelo conjunto de relevos montanhosos que fazem parte do Planalto do Interflúvio Amazonas – Orenoco; a oeste faz limite com o Planalto Dissecado Norte da Amazônia.

2 – CONTEXTO GEOTECTÔNICO E GEOLÓGICO REGIONAL

2.1 – A PLATAFORMA SUL-AMERICANA

A Plataforma Sul-americana, com sua consolidação estabelecida para o final do Neoproterozóico, forma, em conjunto com a Plataforma Patagônica e com a Faixa Andina, o continente Sul-americano (DARDENE E SHOBBENHAUS, 2001).

Esta plataforma constitui o núcleo da América do Sul e tem seu embasamento formado de rochas de idade pré-siluriana, em sua maior parte integrando extensos complexos metamórficos e eruptivos, que ocupam aproximadamente 3,8 milhões de km². Este embasamento está exposto nos grandes escudos que se distribuem no território brasileiro e estende-se aos países vizinhos. No extremo norte do Brasil, expõe-se o Escudo das Guianas, no centro o Escudo Brasil Central e, localizado na região sudeste do país, o Escudo Atlântico (Figura 2.1). Sobre estes terrenos espalham-se áreas menores de cobertura plataformal datadas do início do Mesoproterozóico. A partir do Cambriano, constituíram-se as coberturas sedimentares representadas pelas grandes bacias paleozóicas (ALMEIDA & HASUI, 1984 apud CARVALHO, 1997).

2.2 – O CRÁTON AMAZÔNICO

O escudo das Guianas e o escudo Brasil-Central formam o Cráton Amazônico. Como a história geológica e tectônica desse cráton apresenta ainda muitas controvérsias, foram formulados vários modelos genéticos na tentativa de explicar esta evolução. Na maioria dos casos, tais modelos foram baseados em dados petrográficos, geocronológicos e geofísicos.

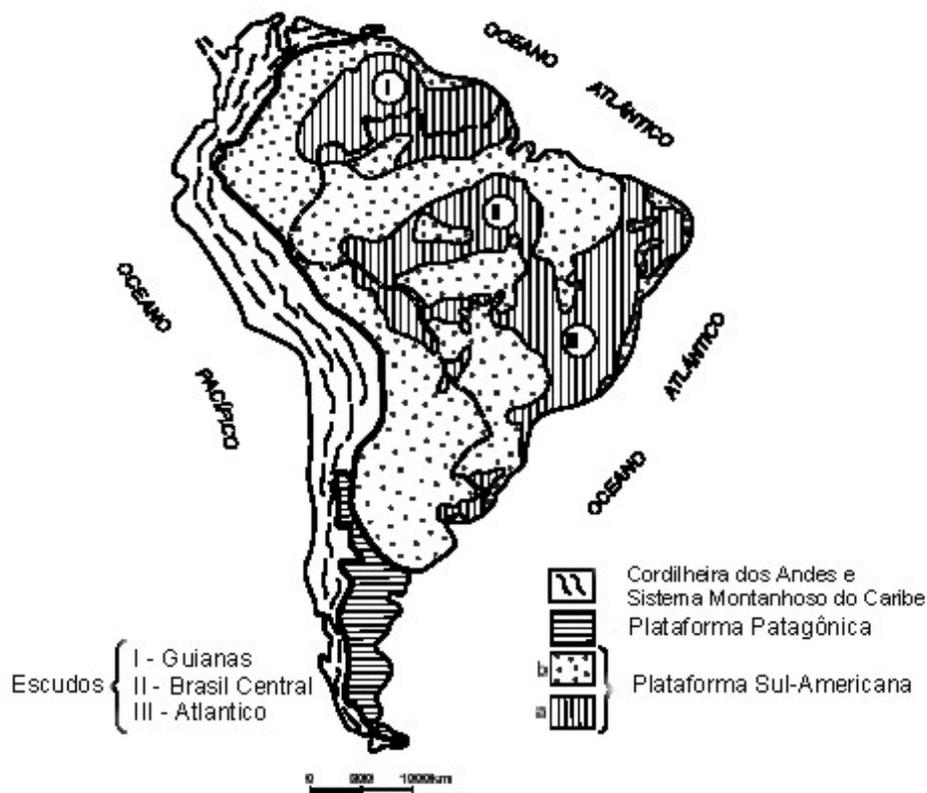


Figura 2.1 - Divisão tectônica da Plataforma Sul-americana. Fonte: ALMEIDA *et al.* (1976) a partir de SCHOBENHAUS *et al.* (1984).

Segundo o modelo desenvolvido por CORDANI e BRITO NEVES (1982), LIMA (1984), TEIXEIRA *et al.* (1989), TASSINARI (1996), TASSINARI e MACAMBIRA (1999) e CORDANI e SATO (1999), a evolução geotectônica que deu origem ao Cráton Amazônico resulta de um processo de acreção crustal progressiva a partir de um núcleo estabilizado no final do Arqueano, em torno de 2,5Ga (MACAMBIRA e LAFON, 1995), e envolvido por faixas móveis que se desenvolveram no tempo e no espaço. Nessa concepção, o Cráton Amazônico foi dividido em seis províncias geocronológicas (Figura 2.2): Província Amazônia Central (2,3Ga); Província Maroni-Itacaunas (2,3 – 1,95Ga); Província Ventuari-Tapajós (1,95 – 1,8Ga); Província Rio Negro – Juruena (1,8 – 1,55Ga); Província Rondônia – San Ignácio (1,55 – 1,3Ga); Província Sunsás (1,3 – 1,0Ga).

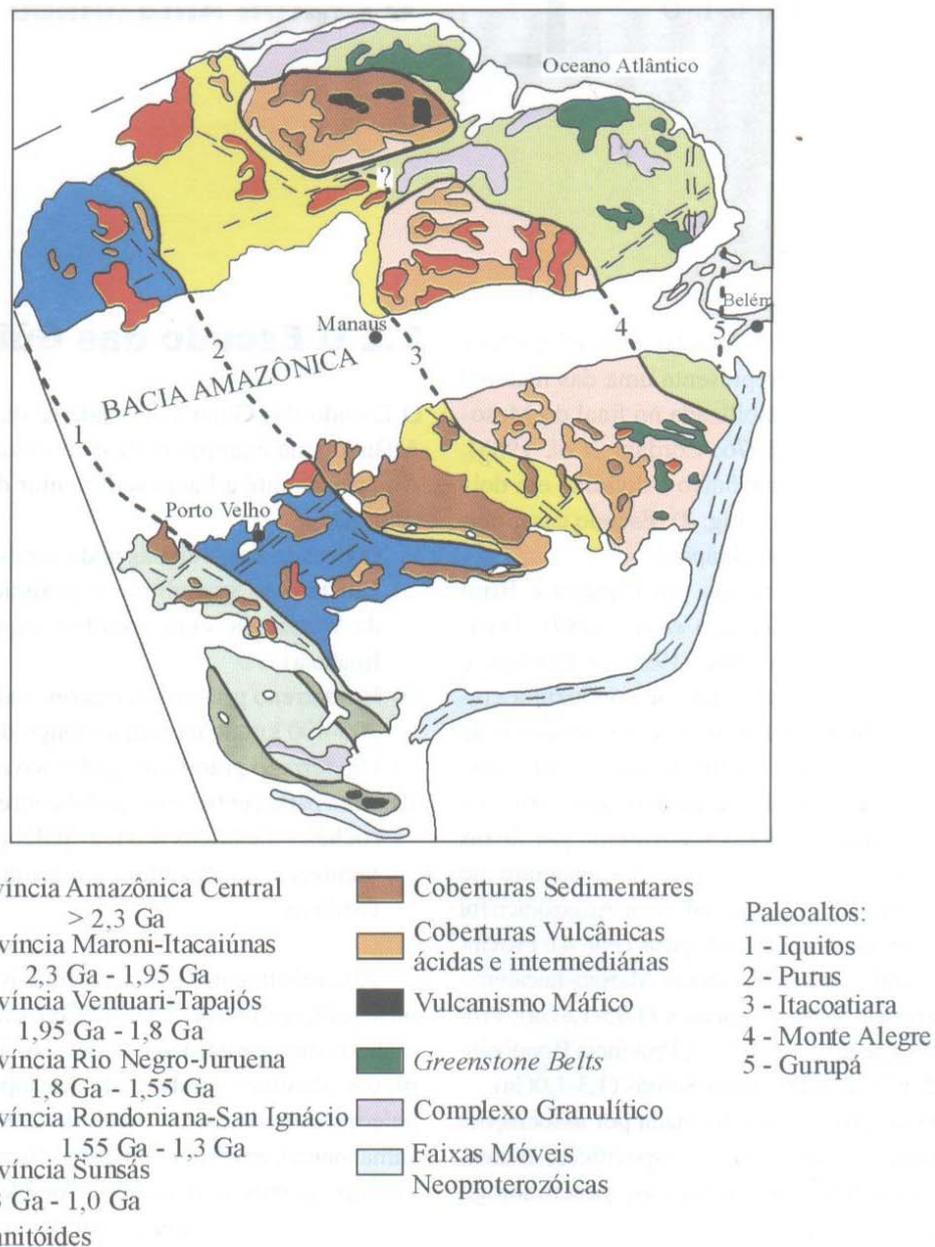


Figura 2.2 – Mapa esquemático do Cráton Amazônico, com a distribuição das províncias geocronológicas. Fonte: DARDENE E SHOBHENHAUS, 2001; a partir de TEIXEIRA et al., 1989, TASSINARI, 1996; TASSINARI E MACAMBIRA, 1999.

Recentemente, SANTOS (2000), com base em novos dados geocronológicos U-Pb e Sm-Nd, além de trabalhos de mapeamento, redefiniu algumas das províncias originais de TEIXEIRA *et al.* (1989), gerando mudanças importantes no mapa do Cráton Amazônico, tais como a criação da província Carajás, como desmembramento da província Amazônia Central; a renomeação da província Maroni-Itacaiúnas para Transamazonas; a renomeação e redefinição

da província Ventuari-Tapajós para Tapajós-Parima, tendo os terrenos da região do Ventuari na Venezuela como parte da província Rio Negro; a subdivisão da província Rio Negro-Juruena nas províncias Rio Negro e Rondônia Juruena e a ampliação da província Sunsás em território brasileiro, englobando parte da antiga província Rondônia – San Ignacio (Figura 2.3).

Um outro modelo baseado em informações geofísicas, geológicas e geocronológicas foi proposto por HASUI *et al.* (1984), HASUI (1990), COSTA & HASUI (1991), HASUI *et al.* (1993a) e COSTA & HASUI (1997). Tal modelo estrutura a região amazônica em doze blocos crustais constituídos por complexos gnáissicos, granitóides e *greenstone belts*, limitados por suturas associadas a cinturões de alto grau (Figura 2.4). Tais blocos teriam se agregado através de colisões diácronas no Arqueano / Proterozóico inferior, compondo parte de um megacontinente. Ocorreram também três eventos de tectônica extensional no Mesoproterozóico / Superior, Paleozóico e Mesozóico / Paleógeno, a que se relacionam estruturação, embaciamentos e magmatismo, com geometrias fortemente controladas pelas estruturas pretéritas. No Neogeno / Quaternário, o regime tectônico é do tipo transcorrente relacionado com a rotação da placa Sul-Americana para oeste.

A compartimentação em blocos crustais justapostos ou paleo placas é marcada por: (1) cinturões granulíticos representantes de porções da crosta inferior, alçados por tectonismo para níveis mais elevados ao longo de grandes descontinuidades crustais; (2) Anomalias Bouger regionais correspondentes a assinaturas de grandes descontinuidades crustais associadas às ocorrências dos cinturões granulíticos; (3) Padrões de anomalias magnéticas regionais coerentes com essas relações geológicas e gravimétricas.

Os blocos são constituídos por complexos gnáissicos de médio grau e metacrustais associadas (inclusive *greenstone belts*), exceto as porções cavalgantes das placas superiores onde ocorrem os cinturões granulíticos.

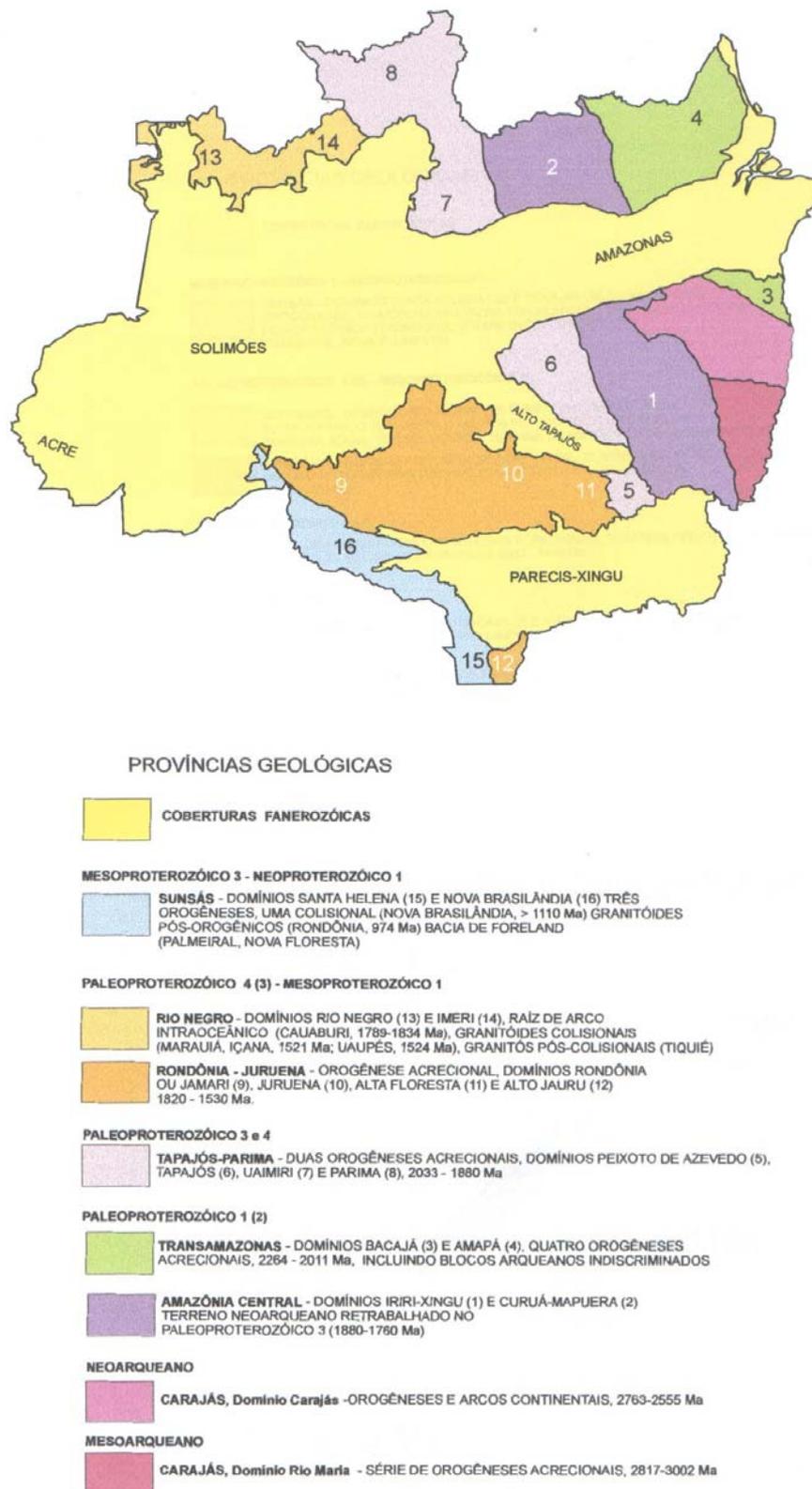


Figura 2.3 – Mapa esquemático do Cráton Amazônico, com a distribuição das províncias geocronológicas modificado por SANTOS (2000).

As bordas dos blocos são formadas por: (1) cinturões de cisalhamento que envolveram cavalgamentos e (2) pelas discontinuidades gravimétricas que marcam suturas colisionais. Tais bordas representam zonas de fraqueza crustal com direções predominantes NE-SW e NW-SE.

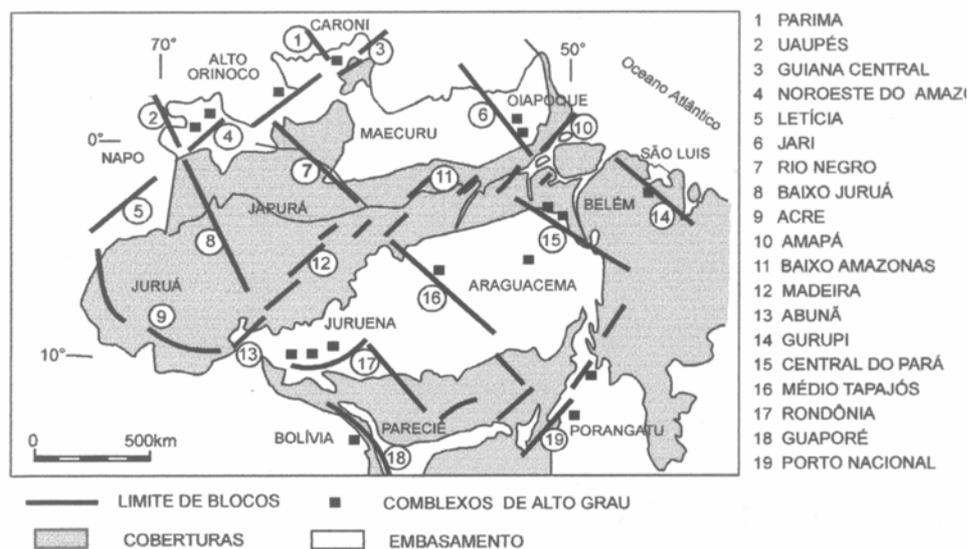


Figura 2.4 – Blocos crustais da Região Amazônica. Fonte: SENA COSTA & HASUI (1997).

Dados geocronológicos retratam a ocorrência de vários ciclos e eventos de metamorfismo e deformação ao longo do Arqueano e Proterozóico; 1 - Guriense (3,0 – 3,4Ga) restrito ao cinturão Imataca; 2 – Transamazônico (2,2 – 2,0Ga) com evolução e supracrustais do tipo Parima-Cauarane relacionadas a *greenstone belts* e associadas a complexos granito-gnáissicos do tipo Urariqüera. Contemporaneamente, ocorrem cinturões de cisalhamento formados por rochas orto e paraderivadas da fácies anfíbolito a granulito; 3 – Episódio K’Mudku (1,2 Ga) de metamorfismo de baixo grau, com formação de rochas proto a ultramiloníticas e cataclásticas em unidades precedentes.

2.3 – GEOLOGIA REGIONAL

Os primeiros trabalhos sistemáticos de mapeamento geológico no estado de Roraima datam da década de 70 através do convênio CPRM/DNPM e do projeto RADAMBRASIL, resultando no reconhecimento de grandes unidades e

ambientes geológicos. Os principais trabalhos de reconhecimento são os de ARANTES & MANDETTA (1970), RAMGRAB E DAMIÃO (1970), RAMGRAB *et al.* (1971, 1972), BRAUN (1973) E BONFIM *ET AL.* (1974), MUNIZ & DALL'AGNOLL (1974), SANTOS *et al.* (1974), MONTALVÃO *et al.* (1975), MELO *et al.* (1978), VEIGA JR. *et al.* (1979), PINHEIRO *et al.* (1981), e COSTI *et al.* (1984). Na década de noventa, novos trabalhos ampliaram o conhecimento geológico da região, através dos trabalhos de PINHEIRO *et al.* (1990) e REIS e FRAGA (1998), dos projetos Mucajaí (BRANDÃO & FREITAS; 1994; BRANDÃO; 1994), Roraima Central (REIS e FRAGA; 2000) e CARACARAÍ (FARIA *et al.*; 1999).

De acordo com REIS e FRAGA (1998, 2000), o arcabouço geológico do Estado de Roraima registra quatro principais domínios caracterizados por aspectos litológicos e estruturais distintos:

(1) **Domínio Urariqüera:** ocupa a porção nor-nordeste, estando representado por extensa área de ocorrência de granitóides e vulcanitos pouco deformados, rochas sedimentares, (soleiras) *sills* básicos e corpos máfico-ultramáficos formados ao longo do Paleoproterozóico (Orosiriano). Para sudoeste, ocorrem rochas ortognaíssicas, metavulcanossedimentares e granitóides, formadas ou fortemente retrabalhadas durante o Evento Transamazônico. Enxames de diques mesozóicos, com direção NE-SW, seccionam todas as unidades precedentes. Uma extensa cobertura sedimentar cenozóica ocorre ao sul do domínio. Feixes de lineamentos estruturados na direção WNW-ESE, E-W e NW-SE são bem evidentes.

(2) **Domínio Güiana Central:** ocupa a porção centro-nordeste e apresenta um predomínio de ortognaisses sobre paragnaisses e metagranitóides paleoproterozóicos. Intrusões de granitos rapakivíticos, anortositos, gabros e charnockitóides relacionam-se ao Mesoproterozóico (Calimiano). Derrames basálticos, rochas sedimentares e intrusões alcalinas do Mesozóico e cobertura sedimentar cenozóica encontram-se fortemente controlados pela estruturação NE-SW, as quais caracterizam este domínio.

(3) **Domínio Parima:** ocupa a porção oeste-noroeste de Roraima e exhibe grandes áreas de exposição de terrenos tipo granito-*greenstone* relacionados ao

Transamazônico (ou fortemente retrabalhados durante este ciclo), além de rochas granitóides, sedimentares e restritas vulcânicas que registram sua evolução do Paleozoico ao Mesoproterozóico. Uma forte estruturação NW-SE caracteriza este domínio.

(4) **Domínio Anauá - Jatapu:** apresenta larga distribuição de rochas granitóides de natureza variada, rochas vulcânicas e sedimentares, com idades que variam do Paleozoico ao Mesoproterozóico. Núcleos ortognaissicos ocorrem na porção extremo nordeste do domínio e registram alguma semelhança com aqueles do Domínio Guiana Central. Caracteriza-se pela presença de ambas estruturas NW-SE e NE-SW. Para sudoeste, e sob atrativa orientação N-S, desenvolve-se ampla sedimentação terciária a quaternária, com *inselbergs* rochosos representados por ortognaisses.

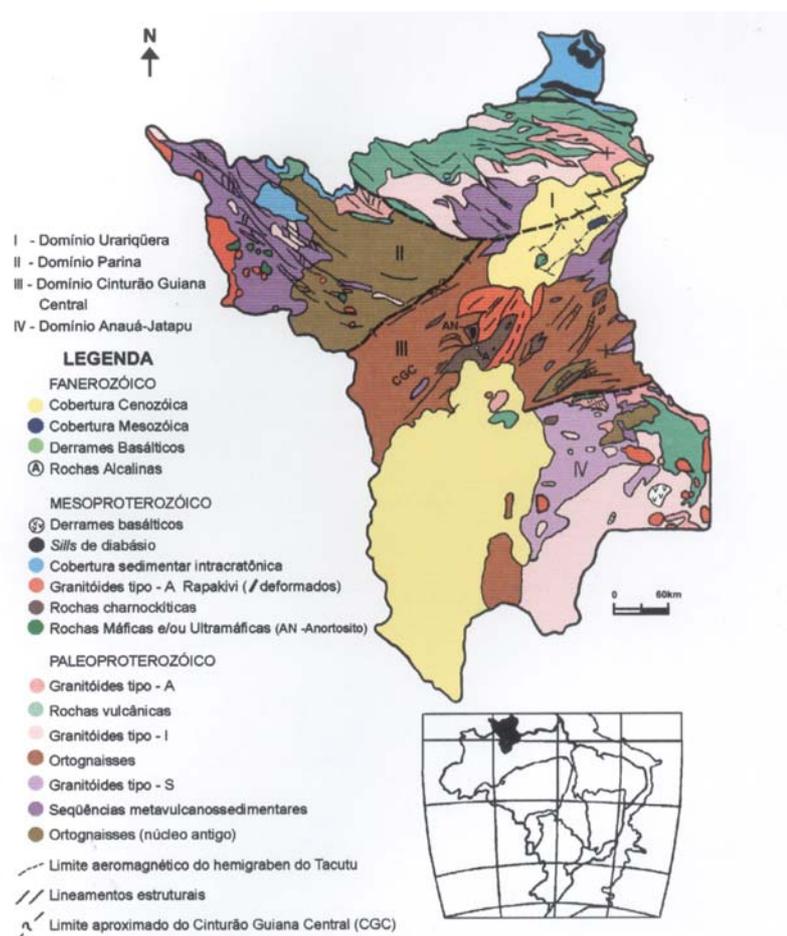


Figura 2.5 – Esboço Geológico do estado de Roraima (Reis e Fraga, 2000).

2.4 – GEOLOGIA LOCAL

A folha Vila de Tepequém está inserida no Domínio Urariqüera que apresenta uma estruturação proeminente NW-SE a WNW-ESE e E-W. Suas unidades predominantes são: os grupos Surumu e Cauarane, os granitóides das suítes Saracura e Pedra Pintada, a suíte máfica –ultramáfica Serra da Estrutura e a Formação Tepequém (Figura 2.6)

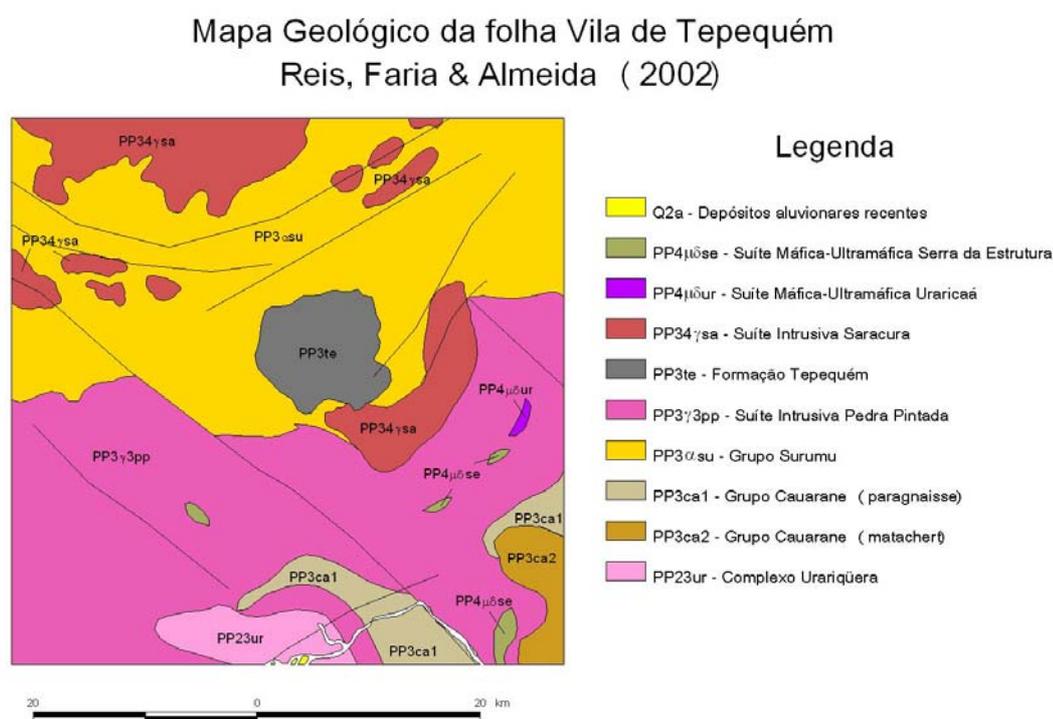


Figura 2.6 – Mapa geológico da folha Vila de Tepequém extraído do Mapa Geológico da Folha Boavista / Roraima – REIS, FARIA & ALMEIDA (2002).

O **Complexo Urariqüera** foi originalmente definido como “suíte metamórfica” por PINHEIRO *et al.* (1981), para reunir na porção oeste de Roraima (mesopotâmia Catrimâni-Urariqüera-Mucajaí-Parima), uma grande variedade de rochas da fácies xisto-verde a granulito, tais como granitos, quartzo dioritos, dioritos, trondhjemitos, tonalitos, anfibolitos, biotita gnaisses, biotita-hornblenda gnaisses, esfeno-biotita gnaisses, biotita-muscovita gnaisses, piroxênio-anfibólio gnaisses, cordierita-sillimanita-muscovita gnaisses, kinzigitos

e migmatitos. Algumas rochas sob condições de elevado grau de metamorfismo tais como, charnockitos e *augen* gnaisses, também foram incluídas no complexo (REIS e FRAGA, 2000). O Complexo Urariqüera inclui também gnaisses leuco a mesocráticos de granulação média a grossa, cujas estruturas de deformação indicam complexo arranjo estrutural de caráter policíclico, correspondendo a rochas migmatíticas ortoderivadas em associação comum com lentes e enclaves anfibolíticos. Os termos metagraníticos permanecem ainda indivisos (REIS, FARIA e ALMEIDA, 2002). Na folha Vila de Tepequém, a ocorrência do Complexo Urariqüera restringe-se a um corpo lenticular ao sul da área de trabalho.

O **Grupo Cauarane** foi definido por MONTALVÃO & PITTHAN (1974) para representar uma sucessão metavulcanossedimentar que ocorre na serra homônima em Roraima. Reúne talco-clorita-tremolita xistos, clorita-tremolita xistos, anfibolitos, metacherts ferríferos, gonditos, gnaisses calcissilicáticos, paragnaisses e gnaisses kinzigíticos da fácies anfibolito a xisto-verde (RIKER *et al.*, 1999). De acordo com REIS, FARIA e ALMEIDA (2002), corpos de leucogranitos com características sincolisionais encontram-se embutidos na sucessão. Os paragnaisses são rochas leuco a mesocráticas, granulação grossa a fina, em parte migmatizados, apresentando dobras pitgmáticas e bolsões de fundidos graníticos a duas micas. Veios pegmatóides e bolsões máficos são comuns. Os metacherts apresentam origem químico-exalativa (fácies óxido e silicato) e registram elevadas taxas de deformação dúctil, evoluindo para tipos miloníticos a ultramiloníticos (REIS e FRAGA, 2000). Os xistos máficos e ultramáficos são de natureza toleítica. Tem sido sugerida que a sucessão metavulcanossedimentar Cauarane tenha sido gerada em uma bacia do tipo *back arc*. Uma idade de 2235 ± 19 Ma (U-Pb em zircão, GAUDETTE *et al.* 1996) foi obtida em zircão detrítico de um paragnaisse na proximidade da vila Taiano, o que determina a idade máxima para a sedimentação. Dados recentes (não-publicados) indicam idade máxima de 2038 Ma para o paragnaisse (zircão detrítico), com pico de metamorfismo e fusão em $1969 \pm 3,50$ Ma, revelando, deste modo, uma idade pós-transamazônica para o grupo. Segundo REIS, FARIA e ALMEIDA (2002), na folha vila de Tepequém, o Grupo Cauarane ocorre em faixas estreitas ao sul-sudeste da área de estudo.

O **Grupo Surumu** é constituído por rochas vulcânicas como: riodacitos, traquidacitos, riolitos, andesitos e rochas piroclásticas (brechas vulcânicas, aglomerados, bomba tufod, lúpili tufos, tufos de cristal, cinza tufos, e lúpili acrescionário (CARVALHO, 1997), ambas de composição ácida a intermediária. Ocorre em faixas WNW-ESE a preferencialmente E-W e contatos em geral tectônicos com a Suíte Intrusiva Pedra Pintada e intrusivos pela Suíte Intrusiva Saracura (RAMGRAB *et al.* 1971; BRAUN & RAMGRAB, 1972). São rochas fracamente peraluminosas, da série de alto-potássio e com características químicas calcialcalinas similares àquelas de arcos magmáticos modernos, com uma possível evolução vinculada aos estágios finais do Evento Transamazônico (REIS e FRAGA, 1996). Na Folha Vila de Tepequém, o Grupo Surumu apresenta-se como um faixa de sentido leste-oeste ao norte da área de estudo. REIS & FRAGA (1996) e REIS & HADDAD (1999) sugerem um co-magmatismo do Grupo Surumu e da Suíte Intrusiva Pedra Pintada, estando as rochas vulcânicas vinculadas aos estágios finais do ciclo transamazônico (REIS e FRAGA, 2000). Idades U-Pb em zircão em 1966 ± 9 Ma (SCHOBENHAUS *et al.*, 1994) e SHRIMP em 1984 ± 9 Ma (SANTOS *et al.*, 2002) reforçam a afinidade temporal entre as unidades.

A **Suíte Intrusiva Pedra Pintada** (FRAGA *et al.*, 1996, 1997) reúne um conjunto de rochas graníticas estruturalmente disposto numa ampla faixa de sentido leste-oeste, ao sul da folha Vila de Tepequém, recobrando praticamente metade da área de estudo. Geralmente, têm contatos tectônicos com granitos do tipo Saracura, vulcânicas Surumu e metassedimentos Cauarane, definidos por meio de zonas de cisalhamento dúctil. Os granitóides da SIPP incluem (hornblenda)-biotita granodioritos e biotita monzogranitos a titanita, com restritos termos tonalíticos e quartzo monzoníticos a monzodioríticos, definindo uma seqüência calcialcalina, de caráter metaluminoso a fracamente peraluminoso. Suas características químicas tais como o enriquecimento em elementos LIL (Ba, Rb, Sr, K) em relação aos TR pesadas (Yb, Lu) e HFS (Ti, Zr, Y), presença de anomalias negativas em Nb são similares àquelas observadas em granitóides gerados por processos de subducção e/ou com contribuição de fontes com assinatura de subducção (REIS e FRAGA, 2000). FRAGA e ARAÚJO (1999) relacionam os granitóides da SIPP a um ambiente pós-colisional, revelado pelas

idades pós-transamazônicas em 2005 ± 45 Ma (Pb-Pb em monozircão, ALMEIDA *et al.*, 1997) e 1958 ± 11 Ma (SHRIMP, SANTOS J.O.S, apud REIS, FARIA e ALMEIDA, 2002). REIS *et al.* (2000) propuseram o termo “Orocaima” para nomear o episódio vulcano-plutônico calcialcalino representado pelo Grupo Surumu e Suíte Intrusiva Pedra Pintada em substituição ao “Evento Uatumã”.

A **Formação Tepequém** (REIS e FRAGA, 2000) ocorre na serra homônima na região central da área de estudo e constitui um testemunho sedimentar em forma de mesa, com cerca de 70 km^2 de superfície e altitude máxima de 1000 metros. Sua litoestratigrafia foi esboçada por BORGES & D’ANTONA (1988) que propuseram uma correspondência à Formação Arai da base do Supergrupo Roraima (PINHEIRO *et al.* 1990; REIS *et al.* 1990), subdividindo-a nos membros Paiva (basal), Funil e Cabo Sobral e correlacionando com o Bloco Pacaraima do Supergrupo Roraima mais ao norte. O substrato da serra está representado por vulcânicas do Grupo Surumu em discordância erosiva e litológica. A unidade sedimentar inferior (130 metros) corresponde a conglomerados, arenitos conglomeráticos e quartzo arenitos de leque aluvial e planície fluvial com atitudes em $N35-65E/5-25^\circ$ NW ou SE. O sobrejacente Membro Funil (20 a 30 metros) é essencialmente pelítico e tem sido interpretado como de origem lacustre. A unidade de topo (superior a 50 metros) está representada por arenito, arenitos conglomeráticos e subordinados conglomerados de origem fluvial entrelaçado. A idade mínima de formação atribuída ao Supergrupo Roraima é expressa através do valor de 1778 ± 13 Ma (U-Pb em baddeleyita) obtido por SANTOS *et al.* (1999) para um diabásio da serra Cipó, na extrema porção brasileira do Bloco Sedimentar Pacaraima (REIS & YÁNEZ 1999). SANTOS *et al.* (2000) obtiveram uma idade U-Pb de 1875 ± 5 Ma para rochas piroclásticas intercaladas na seção mediana do supergrupo, conferindo uma idade Paleoproterozóica ao período de deposição sedimentar. Neste caso segundo REIS, FARIA e ALMEIDA (2002), a Formação Tepequém pode registrar o início da deposição Roraima, possuindo no mínimo 1,87 Ga.

A **Suíte Intrusiva Saracura** (FRAGA e ARAÚJO, 1999) reúne monzo a sienogranitos e microclínio granitos intrusivos nas rochas vulcânicas do grupo Surumu. O termo Saracura foi primeiramente utilizado por RAMGRAB *et al.* (1971) para designar um “stock” granítico no extremo norte de Roraima, na folha

Vila de Tepequém, a Suíte Intrusiva Saracura ocorre em um grande corpo na porção norte da área de estudo em vários pequenos corpos intrusivos no Grupo Surumu e na Serra do Aricamã. Ao longo das zonas de cisalhamento que seccionam a SIS, desenvolveram-se protomilonitos, milonitos e ultramilonitos. Seus constituintes essenciais são microclínio peritítico predominando sobre ortoclásio, quartzo e plagioclásio, além da biotita como principal mineral máfico. Os acessórios incluem minerais opacos, titanita, zircão, apatita, fluorita±allanita. A grande proporção de feldspato alcalino peritítico e de fluorita é análoga a granitos do tipo A. O intercrescimento gráfico e escassez de enclaves e veios pegmatíticos fornecem indicações de intrusões rasas. Contudo, seu posicionamento pós-orogênico ou anorogênico ainda é incerto. COSTA (1999) obteve por meio de análises Pb-Pb, idades na faixa 1,89-1,74Ga e SANTOS J.O.S. (apud REIS, FARIA e ALMEIDA, 2002), na localidade-tipo da serra Saracura, obteve uma idade U-Pb (SHRIMP) em 1317 ± 17 Ma e idades em 1,50Ga, oriundas de zircões herdados.

A **Suíte Máfica-Ultramáfica Uraricaá** ocorre como uma pequena lente de direção NE-SW na porção leste da folha encaixados tectonicamente na Suíte Intrusiva Pedra Pintada (REIS e FRAGA, 2000). A unidade é formada por gabros, gabros noríticos e (piroxênio) hornblenditos, indicando um caráter anorogênico para seu magmatismo, possivelmente relacionado ao final do Paleoproterozóico ou início do Mesoproterozóico (RIKER *et al.*, 1999).

A **Suíte Máfica-ultramáfica Serra da Estrutura** (REIS *et al.* 2002) é composta por corpos máficos intrusivos de caráter magnesiano correlacionáveis a suíte Máfica-ultramáfica Tapuruquara de PINHEIRO *et al.* (1991). Segundo REIS, FARIA e ALMEIDA (2002), enquadram-se à série magnesiana proposta por ARNDT e BROOKS (1980). GAUDETTE *et al.* (1991) obtiveram uma idade Rb-Sr de 1705 Ma (limite de erro de 237 Ma) para as rochas máficas Tapuruquara, sugerindo uma possível origem mantélica. Ocorrem como lentes encaixadas nos litótipos da Suíte Intrusiva Pedra Pintada, ao sul da área de estudo.

Segundo REIS e FRAGA (1998), os corpos de diabásio na forma, encaixados em fraturas e falhas com direção preferencial NE-SW, ocorrentes na área do domínio Urariqüera, foram reunidos sob a denominação de Formação Apoteri. Idades Ar-Ar disponíveis para os diques Apoteri (MARZOLI *et al.*, 1999)

apontam valores jurássicos na faixa de $197,4 \pm 1.9$ Ma e $201,1 \pm 0.7$ Ma (Sinemuriano). Já os derrames basálticos, ainda com idades K-Ar, situam-se entre 178 ± 5 Ma e 114 ± 3 Ma (SNELLING & BERRANGÉ, 1970; BERRANGÉ & DEARNLEY, 1975).

2.5 - CARACTERIZAÇÃO ESTRUTURAL

Todo o estado de Roraima exibe uma forte compartimentação tectônica. Feixes de lineamentos estruturais nas direções NW-SE, NE-SW e E-W, exercem um forte controle na distribuição das unidades litoestratigráficas, na formação do relevo e na configuração das redes de drenagem.

Segundo REIS e FRAGA (2000), quatro eventos deformacionais afetaram as rochas do Domínio Urariqüera: O ciclo Transamazônico, o Episódio Macuxi, o episódio K´mudku e um evento final de deformação rúptil.

Assim, segundo REIS e FRAGA (1998), as estruturas relacionadas ao transamazônico são registradas nos ortognaisses Urariqüera e nas supracrustais do grupo Cauarane. Na Suíte Metamórfica Urariqüera, ocorre bandamento metamórfico dobrado e aspecto migmatítico; já no grupo Cauarane, as supracrustais apresentam um padrão de polidobramentos bem caracterizada nas unidades quartzo-feldspáticas e nos paragnaisses e xistos são observadas dobras fechadas a isoclinais (Dn), associadas a uma forte foliação plano axial (Sn). A superimposição de dobras e a grande variação da atitude da foliação (Sn) indicam a sucessão de eventos tectono-metamórficos ou de eventos tectônicos. Os minerais formadores das foliações e lineações minerais indicam um metamorfismo de fácies anfíbolito a granulito, com retometamorfismo ao fácies xisto-verde.

As estruturas relacionadas ao episódio Macuxi estão relacionadas principalmente ao Grupo Surumu e às suítes intrusivas Saracura e Pedra Pintada, onde se verifica um acervo de feições deformacionais desenvolvidas ao longo de faixas, que marcam com freqüência os contatos tectônicos. Os vulcanitos e granitóides apresentam foliação variando de incipiente a penetrativa, em alguns pontos de caráter milonítico (Sm) com lineação mineral associada (Lm), além de

fraturas, falhas reversas e dobras. Nestes litótipos, os minerais formadores da foliação indicam ambientes de fácies xisto-verde.

No caso do episódio K-Mudku, este ocorre basicamente na serra Tepequém onde as camadas apresentam-se suavemente dobradas em sinclinais e antiformais suaves, com eixos na direção E-W e ENE-WSW e mergulhos de até 25°. Em alguns litótipos é observado o desenvolvimento de clivagens ardosianas, formadas principalmente pelo alinhamento de sericita.

Com relação à deformação dúctil pós K´mudku, foram observados localmente calvalgamentos em arranjo de duplexes cortando a foliação milonítica.e veios de quartzo pós-tectônicos, deformados sob regime dúctil ao longo de zonas de cisalhamento que indicam variações no ambiente deformacional de rúptil para dúctil, refletindo a evolução regional marcada pela sucessão de eventos de soerguimento, distensão e compressão (REIS e FRAGA, 1998).

3 - MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E MATERIAIS UTILIZADOS

3.1.1 - Imagens de Satélite

As imagens de satélite são, basicamente, uma medida da radiação eletromagnética natural emitida ou refletida pelos objetos que compõem o ambiente terrestre. A energia refletida é o produto da interação da energia irradiada por uma fonte natural, o sol, ou artificial, incidente sobre a superfície da Terra. A energia emitida é o produto da excitância radiante própria de cada material, em função, principalmente, de sua temperatura. Sendo assim, uma imagem é a representação numérica ou digital dos correspondentes valores analógicos codificados a partir da radiação eletromagnética (MATHER, 1987, apud CARMELO, 1994).

A radiação solar ou radiação eletromagnética (REM) incidente sobre a superfície terrestre interage com seus componentes (rochas, solos, água, vegetação), sendo absorvida, refletida e/ou espalhada de forma diferenciada por cada um deles. As mudanças introduzidas na REM por essas interações dependem fortemente das propriedades físicas e químicas dos materiais. O fluxo da REM resultante pode se constituir numa fonte valiosa de informações sobre os materiais alcançados. Esse fluxo de radiação proveniente dos componentes terrestres motivou a criação de equipamentos para medi-lo a grandes distâncias e constituem-se nos dados multiespectrais de Sensoriamento Remoto.

As interações da REM com os materiais geológicos ocorrem nos campos macroscópicos e microscópicos. No primeiro, os efeitos são controlados pelas propriedades físicas das superfícies (forma, tamanho, grau de compactação das partículas minerais e das micro e macro variações de relevo). No campo

microscópico, a interação está mais relacionada com a composição mineralógica da rocha e ocorre nos níveis atômicos e moleculares, originando as bandas ou feições de absorção espectral observadas nas curvas de reflectância dos minerais e rochas.

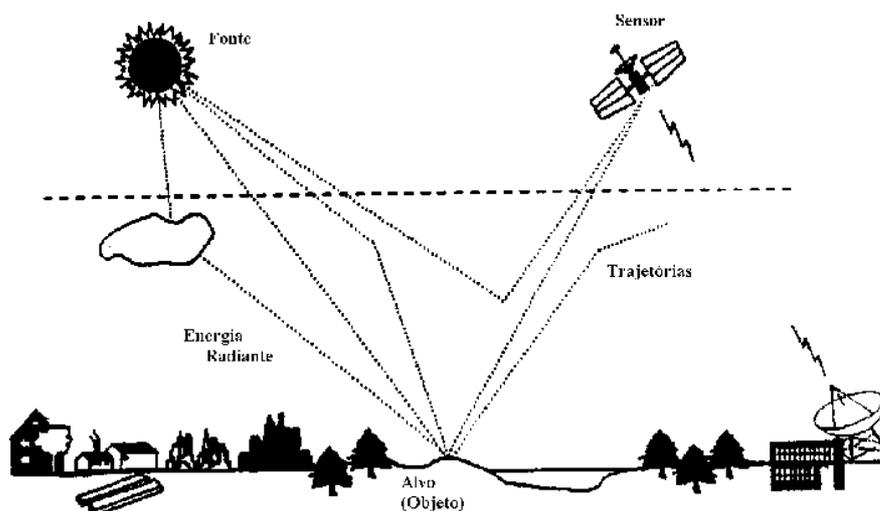


Figura 3.1 – Diagrama apresentando os principais elementos da fase de aquisição e a trajetória da REM na atmosfera. Fonte: Manual do SPRING

Como os materiais diferem entre si por seus arranjos atômicos, diferentes respostas espectrais são esperadas após as interações da REM com esses materiais. Com base nas mudanças introduzidas pelos alvos nas características espectrais do fluxo refletido, pode-se pensar, então, na caracterização de todos os materiais através do Sensoriamento Remoto.

Na prática, a caracterização não ocorre devido à complexidade da natureza física das superfícies, à influência dos efeitos atmosféricos, à ambigüidade do comportamento espectral de muitos materiais, à geometria fonte-alvo-sensor e ao fato de que a resposta captada pelo sensor é uma média ponderada de todas as respostas dentro de um elemento de resolução do terreno, ou seja, ela é relativa ao contexto da associação “rocha-solo-água-vegetação”.

Do ponto de vista geológico, outros fatores, particularmente importantes, que dificultam a discriminação de muitos minerais e rochas, segundo SALISBURY e HUNT (1974) apud SILVA (1991):

- ✓ Muitos minerais constituintes das rochas não exibem feições espectrais diagnósticas entre 0.4 micrometro (μm) e 2,5 μm .
- ✓ Os constituintes menores ou os produtos de alteração de uma rocha podem dominar seu espectro de reflectância.
- ✓ Muitas rochas contêm minerais opacos que, em determinada quantidade, não apenas reduzem a reflectância da rocha, como também mascaram suas feições espectrais.
- ✓ Muitas feições espectrais diagnósticas de rochas podem ser mascaradas pela interferência da atmosfera.

Apesar das limitações e dos inúmeros fatores que dificultam a análise e a interpretação de dados multiespectrais, é possível obter informações dos objetos imageados a partir do conhecimento das principais feições de absorção espectral dos materiais. As feições ou bandas de absorção espectral dos minerais e rochas, bem como de outros alvos naturais como solos, vegetação e água, são determinadas por medidas de laboratório e de campo, o que permite conhecer o comportamento espectral desses alvos naturais para utilizá-lo no auxílio ao processo de análise e interpretação dos dados multiespectrais de Sensoriamento Remoto.

Imagem Digital

Uma imagem digital pode ser definida por uma função bidimensional, da intensidade de luz refletida ou emitida por uma cena, na forma $I(x,y)$; onde os valores de I representam, a cada coordenada espacial (x,y) , a intensidade da imagem nesse ponto. Essa intensidade é representada por um **valor inteiro, não-negativo e finito**, chamado **nível de cinza**, ou *digital number* DN, em inglês. A cada ponto imageado pelos sensores, corresponde uma área mínima denominada "pixel" (picture cell), que deve estar geograficamente identificado, e para o qual são registrados valores digitais relacionados à intensidade de energia refletida em faixas (bandas) bem definidas do espectro eletromagnético.

Assim, pode-se representar uma imagem por uma matriz de dados, onde as linhas e colunas definem as coordenadas espaciais do "pixel". Para isto, utiliza-se um número finito de bits para representar a radiância da cena para cada "pixel".

Radiância (Albedo) é o fluxo radiante que provém de uma fonte, numa determinada direção, por unidade de área. A quantificação da radiância contínua de uma cena é representada pelos níveis de cinza discretos na imagem digital, é dada por um número de bits por "pixel" para produzir um intervalo de radiância. Os sensores da nova geração obtêm normalmente imagens em 8 ou 10 bits (equivalente a 256 ou 1024 níveis de cinza).

Resolução é uma medida da habilidade que um sistema sensor possui de distinguir entre respostas que são semelhantes espectralmente ou próximas espacialmente. A resolução pode ser classificada em espacial, espectral e radiométrica.

Resolução espacial: mede a menor separação angular ou linear entre dois objetos. Por exemplo, uma resolução de 20 metros implica que objetos distanciados entre si a menos que 20 metros, em geral não serão discriminados pelo sistema.

Resolução espectral: é uma medida da largura das faixas espectrais do sistema sensor. Por exemplo, um sensor que opera na faixa de 0.4 a 0.45 m tem uma resolução espectral menor do que o sensor que opera na faixa de 0.4 a 0.5 m.

Resolução radiométrica: está associada à sensibilidade do sistema sensor em distinguir dois níveis de intensidade do sinal de retorno. Por exemplo, uma resolução de 10 bits (1024 níveis digitais) é melhor que uma de 8 bits.

Banda: Uma banda pode ser definida pela faixa de resolução espectral do sistema sensor, quanto maior o número de faixas captadas pelo sistema, maior é o número de bandas.

O Sistema LANDSAT 7

O satélite LANDSAT 7 foi lançado em 1999 como parte de uma seqüência de satélites de Sensoriamento Remoto iniciada em 1972, com o objetivo de obter imagens de resolução espacial, espectral e radiométricas refinadas, tornando possível atender eficientemente áreas como geologia, hidrologia, meio ambiente etc. O Satélite é equipado com o sensor ETM + (Enhanced Thematic Mapper Plus) que possui características semelhantes as de seu predecessor (TM) com alguns importantes avanços.

O LANDSAT 7 pode adquirir dados entre as coordenadas 81° N, 81° S, 180°

E e 180° W. Uma órbita é completada a cada 99 minutos (aproximadamente) com cerca de 14 por dia. Assim, a cobertura total da Terra é realizada em 16 dias. A órbita descendente, de norte para sul, faz com que o satélite cruze o equador entre 10:00 e 10:15 (hora local) em cada passagem. O sensor possui 8 bandas de aquisição de dados com as seguinte características:

- As bandas do infravermelho visível possuem resolução espacial de 30 m (bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7) e a banda pancromática (banda 8) 15m.
- Gravação das bandas do infravermelho termal (bandas 6L e 6H) de alto e baixo ganho e resolução de 60m.
- O sistema de calibração do satélite garante uma precisão radiométrica absoluta de +/-5%, a geometria de imageamento determina uma precisão em imagens corrigidas apenas a partir de dados de efemérides de satélite e GPS, muito próxima da precisão obtida com imagens geo-referenciadas com pontos de controle cartográficos.

Parâmetros do Sensor	TM	ETM+
Banda 1 (azul)	0.45 0.52 μ	0.45 0.52 μ
Banda 2 (verde)	0.52 0.60 μ	0.53 0.61 μ
Banda 3 (Vermelho)	0.63 0.69 μ	0.63 0.69 μ
Banda 4 Infravermelho	0.76 0.90 μ	0.78 0.90 μ
Banda 5 Infravermelho	1.55 1.75 μ	1.55 1.75 μ
Banda 6 termal	10.4 12.5 μ	10.4 12.5 μ
Banda 7 Infravermelho	2.08 2.35 μ	2.09 2.35 μ
Banda 8 Pancromática	N/A	0.52 0.90 μ
Resolução espectral	30m (bandas 1 a 5 e 7) 120m banda 6	30m (bandas 1 a 5 e 7) 60m banda 6 15m na banda 8
Nível de quantização	256 níveis de cinza	256 níveis de cinza
Velocidade de transmissão dos dados	85 :Mbps	150 Mbps
Tempo de cobertura	16 dias	16 dias
Largura da Faixa Imageada	185 km	185 km

Tabela 3.1 - Comparação entre os sensores TM e ETM + Fonte: INPE

Banda	Faixa Espectral (μm)	Principais características e aplicações da radiação correspondente a cada uma das bandas do 'TM' do LANDSAT.
1	0,45 – 0,52	Apresenta grande penetração em corpos d'água, com elevada transparência, permitindo estudos batimétricos. Sofre absorção pela clorofila e outros pigmentos da planta. Apresenta sensibilidade à pluma de fumaça oriunda de queimadas ou outra atividade industrial. Pode apresentar atenuação atmosférica. Aplicações: oceanografia, agricultura, etc.
2	0,52 – 0,60	Apresenta grande sensibilidade à presença de sedimentos em suspensão, possibilitando sua análise em termos de quantidade e qualidade de água. Boa penetração em corpos d'água.
3	0,63 – 0,69	Região de grande absorção pela vegetação verde. Permite bom contraste entre áreas ocupadas com vegetação e aquelas sem vegetação (solo exposto, estradas e áreas urbanas). Permite análise da variação litológica em locais com pouca vegetação. Apresenta bom contraste entre diferentes tipos de cobertura vegetal (exemplo: campo, cerrado e floresta). Permite o mapeamento da rede de drenagem através da visualização da mata de galeria e entalhamento dos cursos dos rios em regiões com pouca cobertura vegetal. É a banda mais utilizada para delimitar a mancha urbana.
4	0,76 – 0,90	Permite o mapeamento dos corpos d'água, pela forte absorção da energia nessa região pela água. A vegetação verde, densa e uniforme reflete muito a energia, aparecendo em tom de cinza claro nas imagens. Apresenta sensibilidade à morfologia do terreno, permitindo a obtenção de informações sobre a geomorfologia, solos e geologia. Serve para separar áreas ocupadas com vegetação que foram queimadas.
5	1,55 – 1,75	Apresenta sensibilidade ao teor de umidade das plantas, servindo para observar estresse na vegetação, causado por deficiência hídrica. Esta banda sofre perturbações em caso de ocorrência de chuva antes da obtenção da imagem pelo satélite.
6	10,4 – 12,5	Apresenta sensibilidade aos fenômenos relativos aos contrastes térmicos, servindo para detectar propriedades termais de rochas, solos, vegetação e água.
7	2,08 – 2,35	Apresenta sensibilidade à morfologia do terreno, permitindo obter informações sobre geomorfologia, solos e geologia. Esta banda serve para identificar minerais com íons hidroxilas. Potencialmente favorável à discriminação de produtos de alteração hidrotermal.

Tabela 3.2 - Principais características e aplicações da radiação eletromagnética correspondente a cada uma das bandas do 'TM' do LANDSAT. Fonte: MOREIRA, M. A., (2001).

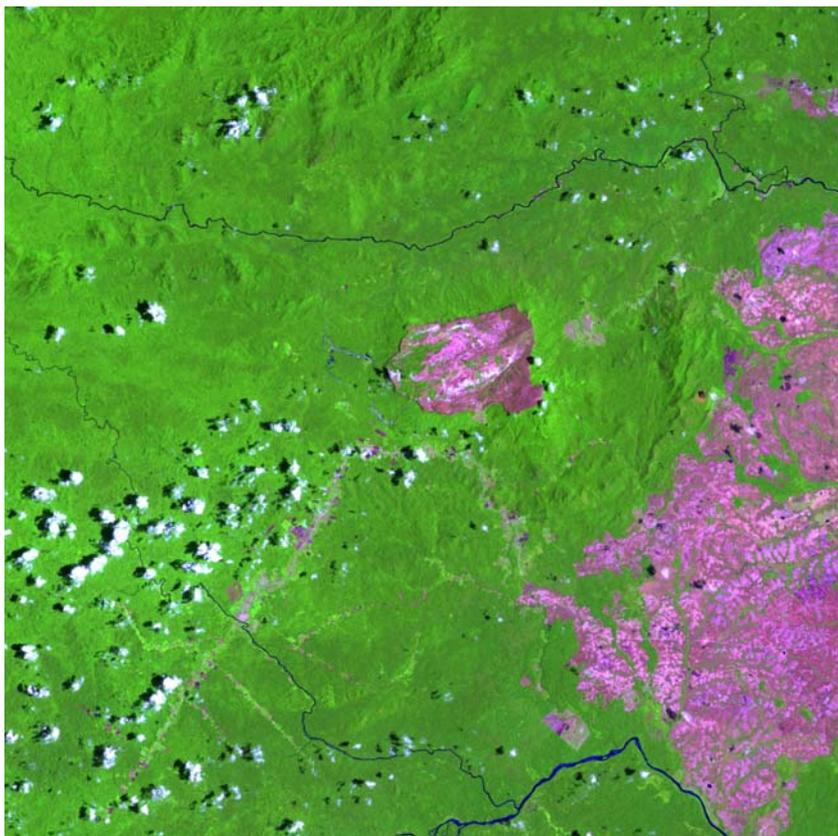


Figura 3.2 – Composição colorida das bandas 5, 4 e 3 LANDSAT 7 / ETM+ em RGB, utilizando ampliação linear de contraste.

Corte da Folha - NA-20-X-A-III – Escala: 1: 500.000

Foram utilizados nesta pesquisa dados obtidos pelo sistema LANDSAT-7 / ETM+, órbita 233, cena 057d com as bandas 3, 4, 5 e pancromática (banda 8), captadas em 15 de março de 2000, com azimute solar de 101° , ângulo de elevação solar de 59° e adquiridas na Engesat imagens de satélite.

3.1.2 – Dados Geofísicos

A evolução do conhecimento geológico e o desenvolvimento de novas tecnologias, somados ao caráter cada vez mais integrado das pesquisas geológicas, colocam em evidência o papel da geofísica nestes estudos. Como a geofísica utiliza-se de sensores que medem as propriedades físicas de minerais e rochas, estes dados passam a constituir uma ferramenta básica e indispensável em estudos integrados de levantamentos geológicos (CARVALHO, 1997).

O aproveitamento de dados aerogeofísicos de gamaespectrometria e magnetometria, para o auxílio no mapeamento geológico regional e de detalhe já é uma constante nos trabalhos geológicos em todo o mundo. As primeiras metodologias, entretanto, recorreram à utilização de dados brutos, geralmente organizados sob a forma de perfis e clássicos mapas de contorno geofísicos. Somente a partir do início de 1980 é que estes dados passaram a ser apresentados através de mapas de variação de tonalidade ou imagens. As imagens geofísicas são submetidas a técnicas especiais de processamento, para realce das feições de interesse, que incluem sombreamentos, iluminação artificial e aplicação de filtros direcionais. Estas novas metodologias têm tornado extremamente fácil o reconhecimento dos padrões geofísicos, inerentes a cada método aplicado, e de sua correlação aos elementos geológicos para uma determinada área de estudo, contribuindo com as técnicas convencionais de mapeamento geológico (WATSON, 1975 apud CARVALHO, 1997).

Os dados de gamaespectrometria e magnetometria são os mais utilizados em trabalhos visando o mapeamento geológico. A utilização de um ou outro método é função dos objetivos do trabalho. De um modo geral, podem ser utilizados todos os temas aerogeofísicos (magnetometria, contagem total, Th, U, K, e as razões U/Th, U/K e Th/K) e terrestres. Se a abordagem do levantamento é a regional (escala de 1:250.000), utiliza-se a magnetometria; porém, se a escala é de semi-detalhe (1:100.000), a preferência é por mapas de contorno de magnetometria, para auxiliar no estudo tectônico/estrutural da área e de gamaespectrometria para a discriminação de litótipos (VASCONCELLOS *et al.*, 1994). É através de mapas, perfis e imagens geofísicas que se consegue, freqüentemente, identificar rochas, contatos litológicos e estruturas geológicas que, integrados com dados de sensores remotos, permitem a elaboração de mapas fotogeológicos auxiliares no mapeamento.

No contexto de utilização de dados aerogeofísicos e produtos de sensores remotos na Amazônia, destacam-se os trabalhos CARMELO (1994), BICHO (1994), MARTINI (1995), PARADELLA *et al* (1996), CARVALHO (1997) e COSTA (1999). Estes autores utilizaram dados de gamaespectrometria ou de magnetometria, ou ambos, com vistas à individualização de rochas, traçado de elementos estruturais

e distribuição de unidades litoestratigráficas, que conduziram a estudos metalogenéticos e ao mapeamento geológico das respectivas áreas de trabalho.

Considerações sobre os dados do Projeto Aerogeofísico Província Mineral Parima-Urariqüera.

Os dados magnetométricos e gamaespectrométricos utilizados nessa pesquisa foram obtidos do *Projeto Aerogeofísico Província Mineral Parima-Urariqüera* executado pela CPRM – Serviço Geológico do Brasil nos anos de 2000 e 2001, recobrando uma área de 68.270 km² no noroeste do Estado de Roraima (vide figura 1.1).

O projeto adquiriu dados de magnetometria e gamaespectrometria, tendo suas linhas de vôo no sentido Norte-Sul, com espaçamento de 500m e linhas de controle na direção Leste-Oeste e espaçamento de 10.000m. A altura de vôo utilizada foi de 100m sobre o terreno e as medições consecutivas do magnetômetro foram a cada 0,1 segundo e do espectrômetro a cada 1 segundo. Os resultados das medições foram expressas em valores de CPS e percentuais de K, U e Th e para os dados gamaespectrométricos e valores em nT (nano tesla) para os dados magnetométricos.

Para a execução do aerolevanteamento, foi utilizado um aeromagnetômetro (vapor de césio), marca Scintrex CS-2, com resolução de 0,001 nT, na faixa entre 20.000 e 95.000 nT de montagem tipo Stringer e um Gamaespectrômetro marca Picodas PGAM 1000, de 256 canais com leituras a cada segundo (55 m terreno). O Volume dos Cristais detectores de NaI (Iodeto de Sódio) é de 2.048 pol3 (*down*) e 512 pol3 (*upward*).

Os dados magnetométricos originais obtidos no aerolevanteamento passaram pelos processamentos de remoção da variação magnética diurna, correção do erro de paralaxe, pela correção altimétrica (*draping correction*), nivelamento dos perfis e remoção do IGRF (International Geomagnetic Reference Field).

Os dados gamaespectrométricos brutos do projeto sofreram os seguintes processamentos antes de serem publicados:

- Correção do tempo morto
- Aplicação de filtragem
- Correção do erro de paralaxe

- Cálculo da altura efetiva de vôo
- Remoção do background da aeronave e cósmico
- Cálculo do background do radônio
- Estimativa dos coeficientes Skyshine
- Correção do efeito compton
- Correção altimétrica
- Conversão para concentração de elementos
- Nivelamento das aeronaves

Neste trabalho, foram utilizados os dados digitais referentes à folha NA.20-X-A-III (Vila de Tepequém) que compreende a área de estudo. Esses dados sofreram uma série de processamentos até a sua transformação em imagens digitais, como será detalhado adiante.

Os dados originais de magnetometria foram adquiridos em valores nT e os de gamspectrometria em valores CPS e o Canal de contagem total também apresentava valores em μ RH. Para os dados de gamaespectrometria o arquivo original em formato geosoft (XYZ), apresenta para cada ponto de amostragem os seguintes campos de informação: coordenadas X, Y, ThC- Contagem de Thório, UC- Contagem de Urânio, KC- Contagem de Potássio, CTC- Contagem Total, TH_PPM- Thório em ppm, U_PPM- Urânio em ppm, K_Perc- Percentual de potássio, CT_MRH, ALTURA em metros, ALTURA_GPS, além de Longitude e Latitude em grau decimal e UTM.

Normalmente, a conversão para concentração de elementos é baseada na sensibilidade dos detectores das aeronaves para as janelas do potássio, urânio e tório, onde é determinada com base na correlação entre as medições efetuadas a bordo e em terra com a aplicação da expressão:

$$S = N/C$$

S = Sensibilidade para cada janela.

N = Contagem corrigida em CPS, observada janela respectiva.

C = concentração do elemento medida na pista de calibração em terra.

Conceitos Básicos de Magnetometria

Há milênios o ser humano conhece as propriedades magnéticas da Terra e de alguns minerais. Os chineses foram os primeiros a reconhecer e utilizar o campo magnético terrestre com a invenção da bússola. Hoje se sabe que o campo magnético da Terra é composto de três partes:

- O campo principal, cuja origem está relacionada à estrutura interna da Terra e apresenta apenas uma suave variação espacial.
- O campo externo, que representa uma pequena fração do campo geomagnético, tem origem externa e varia rapidamente de maneira parcialmente cíclica e aleatória.
- Variações do campo principal, relativamente constantes no tempo e no espaço, são causadas por anomalias magnéticas próximas a superfície. É a medição dessas variações o objetivo da magnetometria.

Os principais minerais magnéticos encontrados nas rochas são: magnetita (Fe_3O_4), maghemita (Fe_2O_3), hematita (Fe_2O_3), ilmenita (FeTiO_3), ulvospinélio (Fe_2TiO_4) e pseudobroquita (Fe_2TiO_5). Destes, os mais importantes são as magnetitas.

Quando determinado material é exposto a um campo magnético, ele adquire uma intensidade de magnetização proporcional ao campo e dependente da suscetibilidade magnética do material. Assim, determinados materiais podem ser mais fortemente magnetizados que outros devido às suas diferentes suscetibilidades magnéticas.

A partir do momento que o material é magnetizado, e isto se dá através do alinhamento dos momentos de dipolo internos do material, surge um novo campo magnético que somado ao campo magnético externo (H) é conhecido por indução magnética. O campo de indução magnética (B) está relacionado ao campo magnético externo (H) da seguinte forma:

$$B = \mu H \quad \text{Onde: } \mu = \text{permeabilidade magnética do material } (\mu = 1 + 4 \pi k)$$

Do ponto de vista geológico, além da indução magnética atual, alguns corpos também possuem uma magnetização remanescente adquirida na época da sua formação, quando a rocha esteve exposta a um campo magnético diferente do atual. Tal magnetização remanescente pode ser várias vezes mais intensa que a atual, influenciando fortemente a magnetização resultante da soma vetorial das duas.

As formas das anomalias produzidas por corpos com minerais magnéticos são definidas pelas seguintes variáveis: inclinação magnética da área; orientação em relação ao norte magnético, forma, mergulho e magnetização do corpo.

De acordo com a latitude magnética da região e da orientação dos corpos, as anomalias possuem algumas particularidades: sobre o equador magnético, corpos de direção N-S não produzem anomalias; quando próximos ao equador, as anomalias são pequenas; em baixas latitudes, os corpos geológicos de direção E-W produzem anomalias mais intensas que aqueles que possuem direção N-S e, nos pólos, a forma da anomalia independe da direção dos corpos.

Os minerais magnéticos presentes nas rochas não possuem os mesmos comportamentos quando são submetidos a um campo magnético. Alguns podem ser repelidos, gerando um campo induzido de direção oposta ao campo indutor, tais como a grafita, a gipsita o mármore e o sal. Tais minerais são chamados diamagnéticos. Quando os minerais são atraídos, ou seja, o campo induzido é na mesma direção do indutor, esses minerais são chamados paramagnéticos e podem ser antiferromagnéticos quando a suscetibilidade magnética destes for muito pequena, como no caso da hematita, ou ferromagnéticos: quando apresentam magnetização espontânea; é o caso da magnetita, da titanomagnetita, ilmenita e pirrotita.

A interferência provocada no campo geomagnético pelos diferentes tipos de rochas dá origem a variados tipos de relevos magnéticos. A figura 3.4 ilustra vários exemplos de padrões de relevos magnéticos. Quanto maior a concentração de minerais magnéticos, mais acentuado torna-se o relevo. Assim, rochas sedimentares normalmente têm relevos suaves, pois suas suscetibilidades magnéticas geralmente são baixas. As rochas ígneas com magnetita, cujas suscetibilidades são altas, apresentam relevos acidentados. Já as rochas metamórficas podem apresentar relevos suaves ou acidentados, dependendo do seu protólito. A tabela 3.3 mostra uma compilação dos principais valores de suscetibilidade magnética para os minerais e rochas mais comuns.

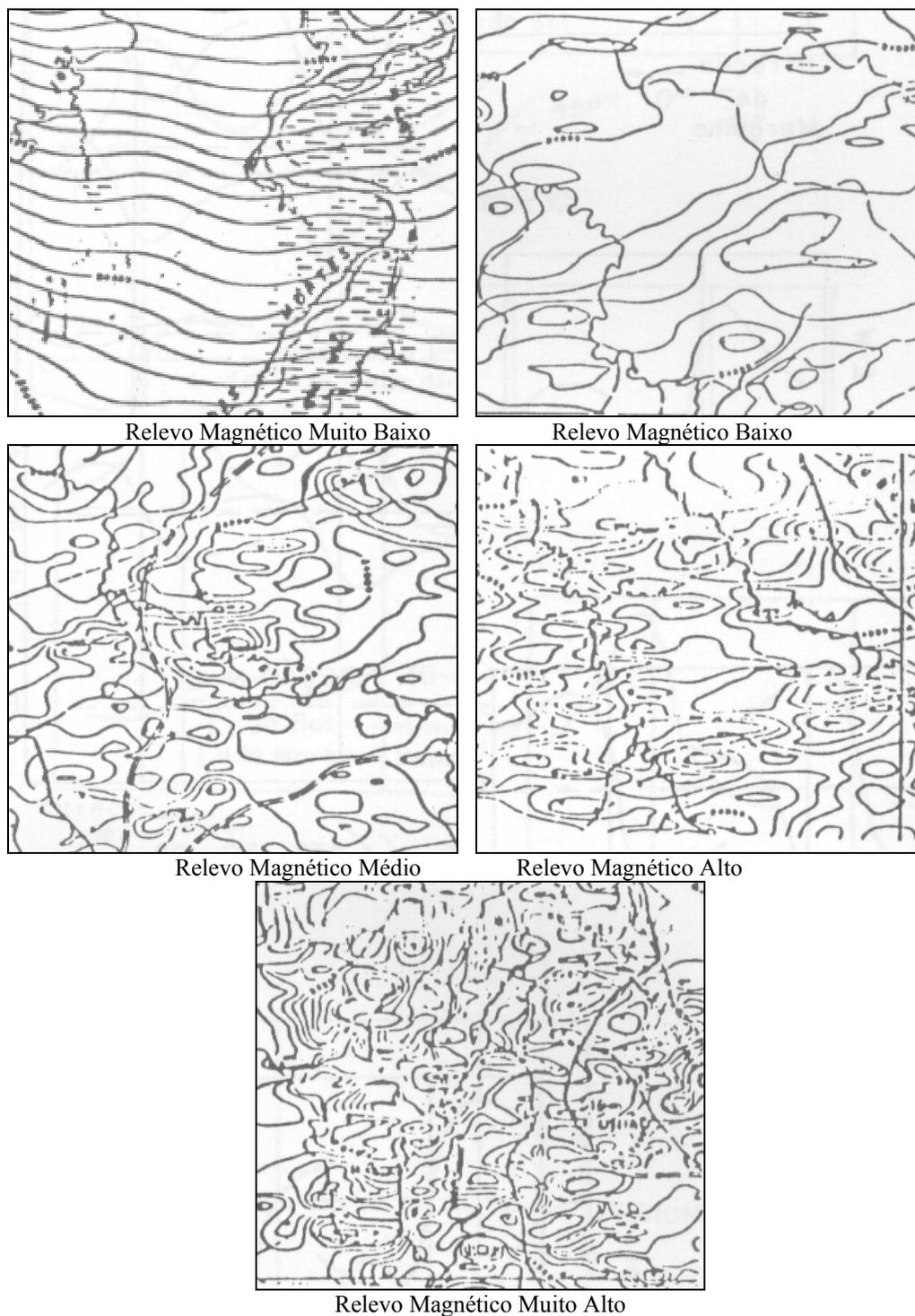


Figura 3.3 – Ilustrações de Padrões de Relevo Magnético. Fonte: Vasconcelos et al (1994)

Tipo	Susceptibilidade X 10 ³ (SI)	
	Varição	Média
Sedimentar		
Dolomito	0-0,9	0,1
Calcários	0-3	0,3
Arenitos	0-20	0,4
Folhelhos	0,01-15	0,6
Média de 48 tipos	0-18	0,9
Metamórficas		
Anfibolito		0,7
Xisto	0,3-3	1,4
Filito		1,5
Gnaisse	0,1-25	
Quartzito		4
Serpentinito	3-17	
Ardósia	0-35	6
Média de 61 amostras	0-70	4,2
Ígneas		
Granitos	0-50	2,5
Riolitos	0,2-35	
Doloritos	1-35	17
Augita-sienito	30-40	
Olivina-diabásio		25
Diabásio	1-160	55
Pórfiro	0,3-200	60
Gabro	1-90	70
Basaltos	0,2-175	70
Dioritos	0,6-120	85
Piroxenitos		125
Peridotitos	90-200	150
Andesitos		160
Média ácidas	0-80	8
Média básica	0,5-97	25
Minerais		
Grafita		0,1
Quartzo		-0,01
Sal Gema		-0,01
Anidrita, gipso		-0,01
Calcita	-0,001 - -0,01	
Carvão		0,02
Argilas		0,2
Calcopirita		0,4
Esfalerita		0,7
Cassiterita		0,9
Siderita	1-4	
Pirita	0,05-5	1,5
Limonita		2,5
Arsenopirita		3
Hematita	0,5-35	6,5
Cromita	3-110	7
Franklinita		430
Pirrotita	1-6000	1500
Ilmenita	300-3500	1800
Magnetita	1200-19200	6000

Tabela 3.3 – Susceptibilidade magnética de alguns minerais e rochas (TELFORD, GELDART E SHERIFF, 1990)

Os dados geológicos obtidos a partir de afloramentos podem ser estendidos àquelas porções de uma área que se apresentam encobertas por solo, vegetação ou que sejam inacessíveis à observação direta, através da sua correlação com a resposta magnética da área. Desta forma, é possível, por exemplo, através das medidas magnéticas, estabelecer informações sobre os limites de uma bacia sedimentar, definição de lineamentos estruturais, contatos geológicos, delimitação de contornos de estruturas *greenstone-belts*, parâmetros de um corpo mineralizado (susceptibilidade, profundidade, dimensões e mergulho) e fornecer dados sobre a prospecção de petróleo.

Em contraposição aos levantamentos de gamaespectrometria, que fornecem dados de porções superficiais da crosta (até um metro de profundidade), a magnetometria possibilita a obtenção de dados referentes a profundidades de até 20km. As altas profundidades atingidas pela técnica permitem o delineamento de estruturas de grande expressão e que fazem do método uma importante ferramenta para os mapeamentos regionais.

Os lineamentos observados em mapas magnéticos são comumente paralelos às direções estruturais de uma determinada área, como zonas de cisalhamento, falhas, fraturas e dobramentos regionais. O reconhecimento destas feições, em mapas de contorno, é difícil e requer o trabalho conjunto de geofísicos e geólogos. Esta dificuldade de identificação, por parte dos geólogos, é superada quando os dados magnetométricos são apresentados sob a forma de imagens geofísicas em tons de cinza e que posteriormente sejam devidamente realçadas.

Atualmente, são raros os levantamentos geológicos, visando à exploração mineral, que não incluem estudos geofísicos de magnetometria, tanto na escala de reconhecimento como de detalhe. Estes dados podem ser utilizados na localização de complexos intrusivos portadores de sulfetos de Cu e Mo disseminados, por ser comum a sua coexistência com magnetita, principalmente nas bordas dos corpos. Do mesmo modo, as rochas alcalinas portadoras de Nb, geralmente ricas em magnetita, também podem ser localizadas e até fácies petrográficos podem ser individualizados pelo método magnético. O uso do método magnético também é extremamente comum na prospecção de petróleo, onde é quase sempre dirigido para a determinação da topografia do embasamento das bacias sedimentares, geralmente

constituído de rochas ígneas e metamórficas, identificando estruturas infra e intrabacia, às quais associam-se os *traps* do petróleo (CARVALHO, 1997).

Conceitos Básicos de Gamaespectrometria

A prospecção geológica através da gamaespectrometria baseia-se no conceito de que alguns isótopos instáveis de elementos químicos possuem a propriedade da radioatividade.

A radioatividade é resultante da decomposição dos núcleos desses isótopos instáveis em sua busca pela estabilidade. Durante essa decomposição são emitidas as partículas **alfa** e **beta** e os **raios-gama** (tabela 3.4):

Emissões radioativas naturais	Natureza	Velocidade relativa à da luz (c)	Poder de penetração relativo	Poder de ionização relativo
α alfa	2 prótons +2 nêutrons	5 a 10%	1	10 000
β beta	elétron	40 a 95%	100	100
γ gama	onda eletromagnética	100%	10 000	1

Tabela 3.4 – Características das emissões radioativas.

Assim sendo, a gamaespectrometria consiste na medição da intensidade dos raios-gama emitidos pela decomposição do núcleo desses isótopos. A maioria dos isótopos instáveis está distribuída em três famílias radioativas que se desintegram em cadeias; são elas: a do Th232, do U238 e do U235. Além desses elementos, o K40 também possui desintegração atômica natural, sendo estes os principais radioelementos constituintes da radioatividade natural das rochas. Quando da detecção em um levantamento gamaespectrométricos, a contribuição do tório e do potássio é maior do que a do urânio, excetuando-se as áreas onde há maior

concentração deste último (VASCONCELLOS *et al.*, 1994).

Na gamaespectrometria, a radioatividade dos elementos K, U e Th é determinada indiretamente em função da radiação emitida pelos isótopos K^{40} , Tl^{208} e Bi^{214} , por serem relativamente abundantes, possuírem altas energias e pela facilidade de sua individualização no espectro eletromagnético. A radioatividade total é obtida pela medida da radiação emitida por uma área da superfície terrestre, produzida pelos três isótopos, na janela da contagem total. Esta janela é bastante utilizada no mapeamento geológico, pois ela reflete, de maneira geral, as variações litológicas da área em estudo (GRASTY *et al.*, 1985). Embora o tipo de rocha seja o principal fator controlador dos níveis de radiação gama medido pelos sensores, outros fatores interferem na sua intensidade. Do ponto de vista das distorções sofridas pela radiação primária, desde a fonte até o detector (gamaespectrômetro), grande parte advém da altura do sensor durante o aerolevanteamento, da presença e da densidade de cobertura vegetal, da presença e do grau de saturação (umidade) dos solos e da presença de K na vegetação.

Assim sendo, o canal de contagem total que inclui as radiações dos três elementos apresenta valores maiores de intensidade radiativa e conseqüentemente maior precisão estatística, servindo para utilização na separação das unidades radiométricas por fornecer uma correlação maior com as unidades litológicas. Já os canais individuais são indicadores mais confiáveis para a identificação do tipo específico de rocha.

A interpretação dos dados gamaespectrométricos tem por objetivo delimitar áreas com diferentes níveis de radiatividade do tório, urânio e potássio e do canal de contagem total, com a finalidade de elaborar mapas de unidades radiométricas. Tais mapas refletem somente os materiais que estão na superfície do terreno ou a poucos centímetros de profundidade. Assim, na correlação da radiatividade com a geologia, deve-se levar em conta que a química do solo nem sempre é similar à da rocha em subsuperfície, mas, quando se trata de solos e lateritos *in situ*, há alguma correlação mais qualitativa do que quantitativa entre estes e a rocha original.

Nas rochas sedimentares, as relações entre os radioelementos são determinadas pela sua mineralogia e pelas condições de oxi-redução durante a deposição. De um modo geral, os folhelhos negros apresentam altas concentrações

de U, já os folhelhos cinzas e verdes são comparativamente mais ricos em Th e o conteúdo de K é diretamente proporcional à quantidade de argila. Nas rochas carbonáticas, a concentração de Th é baixa e a de U é alta (VITORELLO, 1995).

Nas rochas ígneas, o K é o elemento radioativo mais abundante, sendo encontrado nos feldspatos alcalinos, micas, leucita e nefelina. As concentrações anômalas de U e Th são provocadas por minerais acessórios como o zircão, hornblenda, apatita, esfeno, allanita, monazita, etc. Dentre as rochas magmáticas, as rochas granitóides são aquelas que apresentam as maiores concentrações de radioisótopos naturais da crosta. Isto se deve às características e afinidades químicas dos elementos U, Th e K, que determinam as suas concentrações nas fases mais diferenciadas do magmatismo.

Os dados de gamaespectrometria, desta forma, são largamente utilizados na diferenciação faciológica de corpos granitóides e na prospecção de minérios de Sn, W e U, associados geralmente a processos magmáticos tardios (greisenização, albitização e feldspatização). As rochas ígneas e metassomáticas que mostram especialização radiogeoquímica em K são particularmente características de depósitos de minério associados com cinturões vulcano-plutônicos, ricos em ouro e prata, molibdênio e minérios de bismuto. Rochas ígneas que mostram especialização em Th, como granitos alcalinos e alaskitos tardios, mostram associações com depósitos de estanho, tungstênio, terras raras e metais raros.

Elemento	Minerais	Rochas associadas
Potássio	Ortoclásio e microclina Muscovita Alunita Silvita e carnalita	Rochas ígneas ácidas e pegmatitos Idem Alteração em rochas vulcânicas Depósitos salinos em sedimentos
Tório	Monazita Thorianita Thorita, uranothorita	Granitos, pegmatitos e gnaisses Granitos, pegmatitos e <i>placers</i> idem
Urânio	Uraninita Carnotita Gummita	Granitos, pegmatitos depósitos de Ag, Pb, Cu, etc. Arenitos Associada com uraninita.

Tabela 3.5 – Minerais radioativos e suas associações litológicas.
Modificada de TELFORD, GELDART, SHERIFF (1990).

A tabela 3.5 apresenta alguns dos minerais radioativos de potássio, urânio e tório encontrados na natureza. Em geral, a quantidade de radiação presente é maior nas rochas sedimentares e em sedimentos metamorfisados do que nas rochas ígneas e em

outros tipos de rochas metamórficas, com exceção dos granitóides ricos em K. Já na Figura 3.4, são mostrados vários perfis gamaespectrométricos de um afloramento de rocha granito-gnáissica.

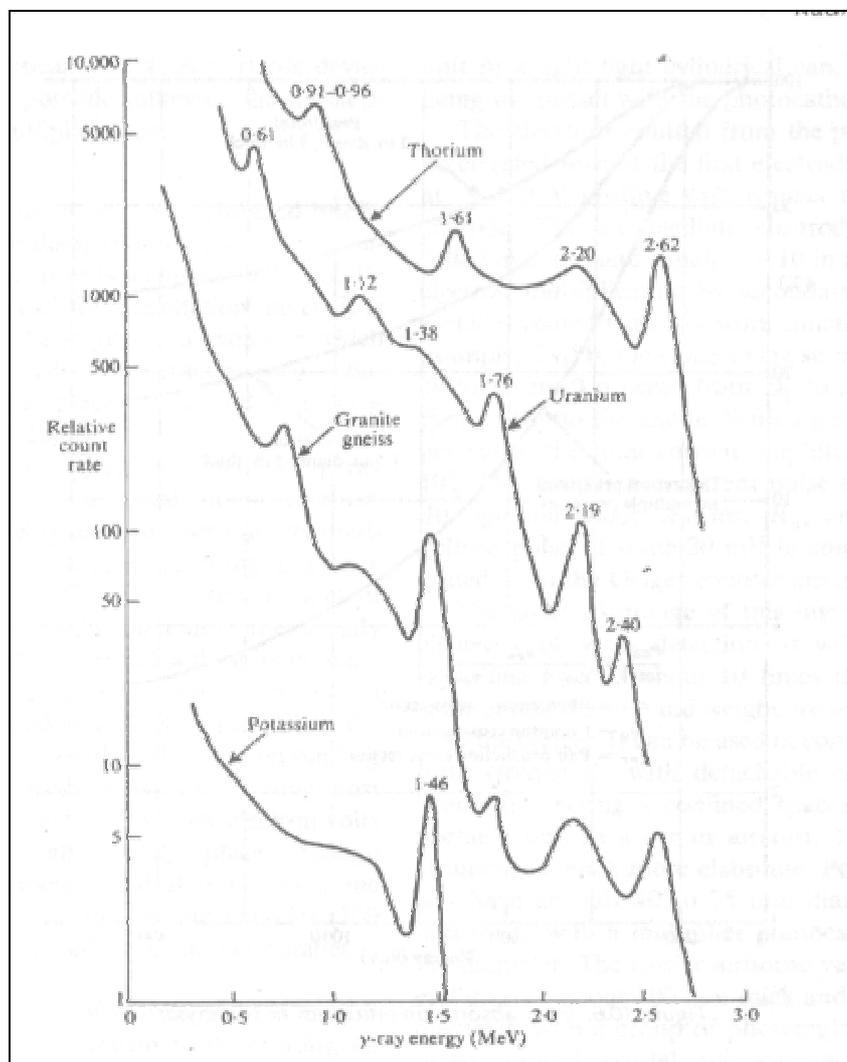


Figura 3.4 - Espectro dos raios-gama de amostras de K, U e Th, e de um afloramento de rocha granito-gnáissica - Fonte TELFORD, GELDART, SHERIFF (1990).

3.1.3 - Mapas Topográficos

A base topográfica utilizada nos trabalhos corresponde à folha NA-20-X-A-III – Vila de Tepequém, escala 1:100.000, elaborada pelo IBGE em 1983.

3.1.4 - Mapa Geológico

A base geológica utilizada foi o mapa geológico ao milionésimo, folhas Boa Vista/Roraima (NANB.20) elaboradas pela CPRM em 2001.

3.1.5 - Softwares e Hardwares

O microcomputador utilizado para este trabalho foi um Pentium III 700, com 192 Mb de memória RAM e disco rígido de 15Gb disponibilizado pela CPRM.

Os softwares utilizados foram o Oásis Montag versão 5.01 da Geosoft versão demo, para leitura e conversão dos dados aerogeofísicos, o Spring versão 3.6 do INPE para a o tratamento dos dados geofísicos, processamentos e integração de imagens de satélite e tratamentos das imagens geofísicas geradas, e o pacote Microsoft Office da Microsoft para digitação do texto e apresentação final dos resultados.

3.2 – MÉTODOS UTILIZADOS

3.2.1 - Processamento dos dados de magnetometria e gamaespectrometria.

Os dados de levantamentos aerogeofísicos são originados sob a forma de pontos de amostragem alinhados segundo a direção das linhas de vôo. O espaçamento entre as amostras é delimitado pelo tempo e pela velocidade da aeronave utilizada. No caso dos dados utilizados neste trabalho, as amostras de magnetometria foram obtidas a cada segundo, o que corresponde a aproximadamente de 5,5 m no terreno, e as de gamaespectrometria a cada 10 segundos ou 55 m aproximadamente.

Os dados geofísicos convertidos em imagens digitais podem ser interpretados mais facilmente do que mapas de contorno ou perfis, devido a nossa percepção visual ser mais sensível às variações de cores ou níveis de cinza. Ou seja, na

imagem, a informação poderá ser melhor discriminada em função das variações da intensidade de radiação proveniente dos objetos da superfície.

Para converter os dados aerogeofísicos em imagens, estes deverão passar por diversos processamentos antes de poderem ser integrados com as imagens de satélite.

Primeiramente, efetuou-se a leitura dos arquivos XYZ originais do aerolevanteamento no software OASIS MONTAG versão 5.0 (avaliação) da GEOSOFT e a sua conversão para o formato TXT para posterior inserção no SPRING. Esta etapa foi necessária devido ao SPRING não reconhecer diretamente os formato original dos dados.

A transformação dos dados amostrados em imagens digitais que possam ser integradas as imagens de satélite, baseia-se na construção de Modelos Numéricos do Terreno (MNT) através de Grades Regulares Retangulares

Modelos Numéricos de Terreno

Um modelo numérico de terreno - **MNT** - é uma representação matemática da distribuição espacial de uma determinada característica vinculada à uma superfície real. A superfície é em geral contínua e o fenômeno que representa pode ser variado. Dentre alguns usos do MNT podem-se citar os seguintes:

- a) Armazenamento de dados de altimetria para gerar mapas topográficos.
- b) Análises de corte-aterro para projeto de estradas e barragens.
- c) Elaboração de mapas de declividade e exposição para apoio à análise de geomorfologia e erodibilidade.
- c) Análise de variáveis geofísicas e geoquímicas.
- d) Apresentação tridimensional (em combinação com outras variáveis).

Geração de grades regulares (GRIDS)

A grade retangular ou regular é um modelo digital que aproxima superfícies através de um poliedro de faces retangulares. Os vértices desses poliedros podem ser os próprios pontos amostrados, caso estes tenham sido adquiridos nas mesmas localizações xy que definem a grade desejada ou utilizam-se métodos de interpolação para adequar-se os pontos da amostragem aos vértices do poliedro.

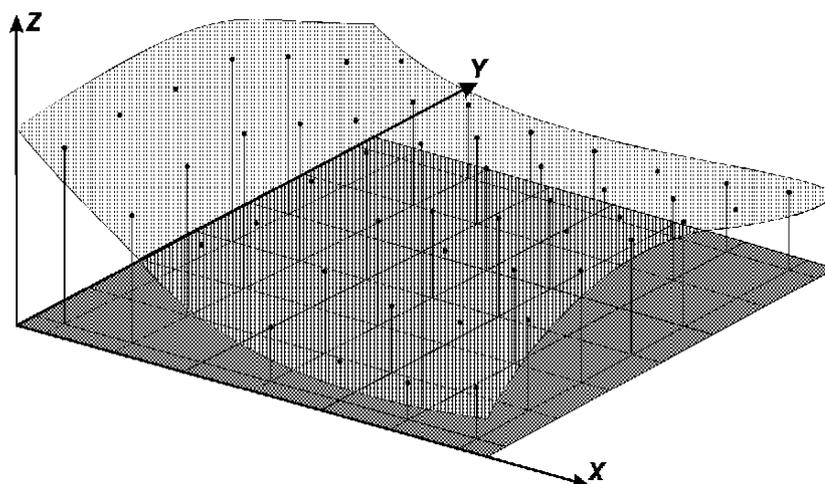


Figura 3.5 – Grade Regular. Fonte: Manual do SPRING

Segundo VASCONCELOS (1994), para dados geofísicos resultantes de aerolevanteamento, normalmente define-se a célula quadrada da grade com lado equivalente a um valor entre 1/8 e 1/4 do espaçamento médio nominal entre as linhas de vôo. No caso do presente estudo, em que as linhas de vôo têm um espaçamento de 500 m, a dimensão das células da grade pode variar entre 62,5 e 125 m. Optou-se por utilizar células de 125 x 125 m.

Entretanto, para gerar uma grade regular, que represente os dados originais do projeto, é necessário atenuar as diferenças da amostragem ao longo das direções N-S, com amostragem a cada 55 m, em média, no caso da gamaespectrometria e de 5,5 m para a magnetometria, e E-W, com amostragem de 500 m. Para atingir este objetivo, foi necessária a criação de uma grade com espaçamento similar a amostragem (55 x 500) para cada uma das variáveis analisadas (Magnetometria, U. Th. K e CT) e posteriormente a criação de uma nova grade com o espaçamento de 125 X 125m a partir da anterior.

Uma vez definida a dimensão das células da grade, deve-se aplicar um dos métodos de interpolação para calcular o valor aproximado da variável analisada para os vértices da grade regular.

No SPRING, a grade regular pode ser gerada a partir de amostras, ou seja, pontos e linhas, grades regulares ou irregulares. A primeira grade criada a partir dos pontos de amostragem foi criada utilizando-se o interpolador vizinho mais próximo,

em virtude das células da grade terem um espaçamento similar aos dos pontos de amostragem. Para a geração da segunda grade regular, a partir da primeira, foram utilizados os interpoladores linear e bicúbico.

No interpolador Vizinho mais Próximo, para cada ponto (x,y) da grade o sistema atribui a cota da amostra mais próxima.

A geração de uma nova grade regular a partir de uma grade anteriormente elaborada, ou seja, o refinamento da grade, consiste em diminuir o espaçamento entre pontos da grade, adensando-a. Estes pontos internos ao retalho apresentam valor de cota (Z) da nova grade estimados através dos interpoladores bicúbico e linear.

O interpolador bicúbico utiliza-se dos 16 pontos vizinhos mais próximos do ponto a ser estimado para avaliar o valor da cota. Já o interpolador linear utiliza-se apenas dos quatro pontos vizinhos mais próximos. A escolha de um ou outro interpolador deve ser efetuada de acordo com a suavidade que se queira na grade a ser analisada.

No interpolador bicúbico, a superfície resultante é suave nos pontos da grade e também ao longo dos segmentos que formam os retângulos, ou seja, a grade é mais suave do que no interpolador linear. No entanto, o interpolador linear é mais rápido computacionalmente do que o bicúbico. Sua maior desvantagem é a produção de superfícies pouco suavizadas. Portanto, deve ser usado quando uma aparência suave da superfície não for necessária.

Geração das imagens de magnetometria e gamaespectrometria

A geração de grades regulares simplesmente não dá uma idéia do todo, isto é, dos parâmetros que estão sendo integrados, por isso é conveniente transformar a grade em uma imagem, que é um produto mais fácil de ser integrado e visualizado.

Assim, é necessário gerar imagens em **níveis de cinza** (NC) a partir de uma grade regular, considerando o intervalo entre 0 (preto) e 255 (branco), isto é, os números reais da grade são transformados em valores inteiros, dentro do intervalo de NC. Isto consiste em distribuir os valores mínimos e máximos das cotas, obtidas a partir da grade retangular, em níveis de cinza de 0 a 256.

A resolução (em metros) da imagem de saída será a mesma da grade retangular que a gerou. Para gerar uma imagem com resolução diferente da original

é necessário gerar uma outra grade com a resolução desejada, e depois gerar a imagem em nível de cinza. Isto porque cada célula da grade corresponderá exatamente a um pixel na imagem de saída onde os valores mínimos de cota serão representados por pixels escuros e os valores máximos por pixels claros.

Através deste método, foram geradas imagens geofísicas para cada um dos canais (U, Th, K, CT e Intensidade Total) referentes à folha Vila de Tepequém (NA.20-X-A-III). O fluxograma 1 apresenta as etapas pelos quais os dados geofísicos passaram até serem geradas as imagens.

FLUXOGRAMA 1 OS DADOS AEROGEOFÍSICOS

AQUISIÇÃO DOS DADOS

- | | |
|----|---|
| 1. | Tipos de dados : Aeromagnetometria e aerogamespectrometria |
| 2. | Aerolevantamento : Projeto Aerogeofísico Parima-Urariqüera , 2001. (cedidos CPRM-Manaus) |
| 3. | Dados captados por aeronave com um Aeromagnetômetro (vapor de céscio), marca scintrex cs-2, resolução de 0,001 nt, na faixa entre 20.000 e 95.000 nt de montagem tipo stringer e um gamaespectrômetro (detector : 2.048 pol ³ de NaI (iodeto de sódio) (downward) e 512 pol ³ (upward)) marca picodas pgam 1000, de 256 canais com leituras a cada segundo (55 m terreno) |

DADOS DE ENTRADA

- | | |
|----|--|
| 1. | Magnetometria (intensidade total) e Gamaespectrometria (canais do U, TH, K e CT) |
| 2. | Direção de vôo da aeronave: N-S (linhas de produção) com espaçamento de 0,5 km, linhas de controle E-W e espaçamento de 10 km. |
| 3. | Intervalo de amostragem nas linhas de produção: 55m gama e 5,5 m magnetometria. |
| 4. | Altura do vôo: 100m |

PRÉ-PROCESSAMENTO

- | | |
|----|---|
| 1. | No <i>software OÁSIS MONTAG (versão Demo)</i> :
a. Conversão dos dados das linhas de produção para o formato TXT e separação de arquivos referentes à área de trabalho |
| 2. | No <i>software SPRING</i> :
a. Geração de grades regulares com celas de 500 x 55m, utilizando o interpolador Vizinho Mais Próximo.
b. Geração de grades regulares com celas de 125 x 125m a partir das grades prévias utilizando-se os interpoladores Bilinear e Bicúbico.
c. Conversão das grades regulares em imagens em Níveis de Cinza |

FASE DE PROCESSAMENTO E REALCE DAS IMAGENS

- | | |
|----|--|
| 1. | Aplicação de ampliação linear de contraste |
|----|--|

PRODUTOS FINAIS

- | | |
|----|--|
| 1. | Imagens geofísicas dos canais de U, Th, K e CT de gamespectrometria e magnetometria (Intensidade Total), referentes a folha vila de Tepequém (NA.20-X-A-III), usadas nas etapas de integração digital e interpretação visual |
| 2. | Imagens geofísicas dos canais de U, Th, K em R, G e B respectivamente. |

3.2.2 - Processamento das imagens digitais - LANDSAT 7 / ETM+

A imagem LANDSAT 7 ETM+ , utilizada neste trabalho, corresponde a cena 057 da órbita 233 que recobre a região da folha NA.20-X-A-III (Vila de Tepequém). Esta imagem passou por uma gama de processamentos desenvolvidos especificamente para imagens de Sensoriamento Remoto, disponíveis nas versões 3.5, 3.6 e 4 *software* SPRING. Estes processamentos têm como objetivo básico melhorar a qualidade visual das imagens, para a fase de fotointerpretação. O presente trabalho utiliza-se de técnicas de processamento tanto no domínio espectral quanto espacial.

Os processamentos para realce têm como objetivo primordial a melhoria e o realce das propriedades espectrais e espaciais das imagens, através da geração de um produto com valores espectrais mais contrastantes, os quais facilitem a sua interpretação visual. A primeira etapa de trabalho com estas imagens consistiu da leitura e transferência de arquivos, utilização de composições entre três bandas. Posteriormente, foram aplicadas as técnicas de correção atmosférica (correção radiométrica), ampliação linear de contraste e transformação por componentes principais. Como as imagens do sistema LANDSAT 7 já vem georreferenciadas, essa etapa de trabalho não necessitou ser efetuada.

Técnicas de processamento utilizadas:

Correção Atmosférica

Consiste na correção das degradações provocadas pela atmosfera. Sua intensidade é variável de banda para banda. No presente trabalho, utilizou-se a técnica da subtração do pixel zero, que consiste na subtração dos valores anômalos encontrados em regiões cobertas por corpos d'água limpa, rios ou lagos. Isto ocorre porque os valores digitais nesses corpos deveriam estar muito próximos do zero, devido à absorção de quase toda a radiação incidente na faixa do visível e do infravermelho refletido. Qualquer valor muito acima do zero, nessas áreas, constatado em uma banda, indicará uma contribuição devido ao espalhamento atmosférico e deverá ser subtraído de toda a cena.

Ampliação Linear de Contraste

As imagens de Sensoriamento Remoto são adquiridas contendo 256 valores de cinza (0 – 255), mas, dificilmente, um local da Terra apresenta os valores extremos ao mesmo tempo e, por esse motivo, a distribuição desses tons fica restrita a uma porção limitada do intervalo, gerando imagens de baixo contraste. Uma vez que o sistema visual humano só consegue discriminar cerca de 30 desses tons, é necessário expandir aquela porção onde a distribuição está concentrada para ocupar todo o restante disponível, facilitando assim a visão do intérprete.

Transformação por componentes principais

Normalmente, os dados de imagens espectrais possuem uma alta correlação entre as suas bandas. Isto se dá porque os materiais da superfície terrestre muitas vezes apresentam padrões de reflectância semelhantes em diferentes regiões espectrais, gerando redundância de informação. Ou seja, as imagens das diversas bandas são visual e numericamente similares.

A geração de **componentes principais** é uma técnica de realce que reduz ou remove esta redundância espectral, ou seja, gera um novo conjunto de imagens cujas bandas individuais apresentam informações não-disponíveis em outras bandas.

3.2.3. A CONCEPÇÃO E AS METODOLOGIAS DE INTEGRAÇÃO DE DADOS COM PRODUTOS DE SENSORES REMOTOS

A integração de dados é um procedimento muito comum dentro das Geociências. Ainda na década de setenta, a integração de diversos dados era basicamente visual e o volume das informações utilizadas era muito reduzido, pois todo o processo de integração e análise dos dados era desempenhado pelo intérprete. Nesse tipo de trabalho, o produto final obtido resultava principalmente da experiência e capacidade de observação do pesquisador / intérprete e a metodologia de trabalho desenvolvida possuía características pessoais.

FLUXOGRAMA 2

IMAGENS LANDSAT-7 ETM+

AQUISIÇÃO DOS DADOS

Satélite LANDSAT-7, Em 15, Março, 2000
Sensor Multiespectral ETM+ (*Enhanced Thematic Mapper Plus*)
Referente à órbita 233, Ponto 57. Elevevação solar: 59°; Azimute: 101°
CD ROM cedido pela Engesat Imagens de Satélite Ltda.

DADO DE ENTRADA

Produto Digital - 8 Bits
Bandas: 3, 4, 5 E 8
Resolução Espacial Nominal: 30 X 30m nas bandas 3, 4 e 5; e 15 X 15m na banda 8 (Pancromática)

FASE DE PRÉ-PROCESSAMENTO

1. Leitura e Transferência de Arquivos
2. Seleção de Atributos/Composições Coloridas entre Bandas

FASE DE PROCESSAMENTO & REALCES

1. Correção Atmosférica
2. Ampliação Linear de Contraste
3. Componentes Principais

FASE DE ANÁLISE & SELEÇÃO DE PRODUTOS

Seleção de Produtos com melhor desempenho para discriminação litológica, lineamentos, etc.

PRODUTOS DE SAÍDA

Produtos LANDSAT-7 ETM+ realçados

Atualmente, tem sido freqüente em Sensoriamento Remoto a apresentação de produtos híbridos resultantes da integração digital de dados de diferentes sensores, visando ao uso simultâneo em uma imagem, de informações que se complementam. Estas imagens integradas permitem a manutenção da identidade de cada um dos dados originais, mas, ao mesmo tempo, garantem a sua análise multiespectral. A integração pode ser entendida como o processo de combinar diferentes dados espacialmente distribuídos e prepará-los para armazenamento, recuperação, análise e apresentação (KNAPP, 1980). O objetivo maior da integração de dados é, portanto, o aprimoramento da qualidade visual do produto final, para análise qualitativa e/ou quantitativa, e da melhoria da sua interpretabilidade, através de procedimentos estatísticos computacionais automatizados, definidos em função dos objetivos a serem alcançados.

A integração de dados não se restringe a operações entre imagens digitais derivadas de sensores imageadores orbitais e/ou aerotransportados, mas também de dados produzidos por levantamentos aerogeofísicos (magnetometria, gamespectrometria, gravimetria, etc.), levantamentos geoquímicos (sedimentos de corrente e geoquímica de rocha, dentre outros), fotografias aéreas, além de outros levantamentos regulares (florísticos, etnográficos, pedológicos, vegetação, geomorfológicos, etc). A exigência para a integração destes dados com imagens multiespectrais é de que eles estejam no formato digital.

Nos últimos anos, a principal metodologia de integração de dados é a Técnica de Transformação IHS. Esta técnica está baseada na transformação das imagens do espaço de cores RGB (*Red-Green-Blue*) para o espaço IHS (*Intensity-Hue-Saturation*), precedida de uma equalização histogrâmica e seguida de uma transformação inversa IHS para RGB, para geração de composições coloridas.

Esta técnica passa a se constituir numa importante ferramenta de integração de imagens digitais a partir da etapa de conversão inversa do espaço IHS para o RGB. A integração é efetivada através da substituição de uma ou mais das componentes do espaço IHS, antes da aplicação desta transformação inversa, por outra banda ou imagem gerada por outro sensor, ou então por outro dado de interesse específico em formato *raster* (geoquímico, geofísico, pedológico, etc).

Dados geofísicos de aerogamaespectrometria integrados a imagens TM/LANDSAT foram utilizados por CARMELO & CARVALHO (1993) na região do *Greenstone Belt* de Crixás, em Goiás, obtendo excelentes definições dos limites da calha do *greenstone* e a identificação das unidades litoestratigráficas aflorantes na área de estudo.

BICHO (1994) aborda o tratamento integrado de dados aerogeofísicos, TM/LANDSAT e radar do GEMS 1000 (RADAMBRASIL) para a Folha Presidente Hermes (SC.20-Z-C), localizada no sudoeste de Rondônia. O objetivo principal foi de avaliar o uso dos produtos integrados, via IHS, no mapeamento geológico e na análise metalogenética de áreas densamente florestadas da região Amazônica.

CARMELO (1994) apresenta e analisa uma metodologia de integração de dados digitais de imagens TM/LANDSAT e gamaespectrométricos, com o objetivo de identificar variações litológicas e estruturais dos terrenos granito-gnáissicos do Complexo Caiamar, na região de Crixás-GO. A integração dos dados foi realizada através da técnica de transformação IHS, onde somente o canal S foi substituído pela imagem gamaespectrométrica da Contagem Total.

MARTINI (1995) apresenta o estudo isolado e integrado de imagens do TM/LANDSAT-5, de radar aerotransportado (GEMS 1000/RADAMBRASIL) e de dados aerogeofísicos, geológicos e topográficos, com ênfase no estudo metalogenético da região da Serra dos Carajás (PA), utilizando a técnica de transformação IHS.

Deve-se a PARADELLA *et al.* (1996, 1997a) a introdução da utilização da transformação IHS para integrar dados geofísicos (gamaespectrometria) com imagens de radar (radar aerotransportado C-HH, JERS-1 e ERS-1) e do TM/LANDSAT-5. Os autores mostram várias opções de substituição das bandas. Geralmente, as imagens geofísicas ocupam o lugar da banda H, que também pode ser mantida, ao canal S é atribuída uma imagem sintética com nível de cinza constante (DN=60) e a banda I é mantida ou substituída por imagem de radar (SAR/ERS-1 ou JERS-1). Os autores demonstraram, ainda, através do uso destes produtos integrados, a sua importância para o mapeamento geológico e prospecção mineral para a região de Carajás.

PARADELLA *et al.* (1997b) aplicam as mesmas técnicas de integração digital de dados de gamaespectrometria (Contagem Total, U e Th) com imagens do

sistema RADARSAT e TM/LANDSAT-5 para a região da Província Mineral de Carajás. As imagens SAR do RADARSAT foram radiometricamente corrigidas, orto-retificadas, filtradas para a atenuação do *speckle* e reamostradas para 30m. As imagens TM também foram ortoretificadas. A integração foi baseada na transformação IHS/RGB. Os resultados obtidos enfatizam a importância do uso de produtos digitalmente integrados como uma efetiva ferramenta para o mapeamento geológico na região Amazônica.

CARVALHO (1997) desenvolveu técnicas de integração de Imagens de radar e multiespectrais, com dados aerogeofísicos de U, Th, K, CT e magnetometria, utilizando a transformação IHS/RGB para a porção nordeste do Estado de Roraima.

Transformação no Espaço IHS

Neste trabalho, optou-se também pela utilização da técnica de transformação IHS para realizar a integração dos dados disponíveis, seguindo a metodologia proposta por CARVALHO (1997).

Para descrever as propriedades de cor de um objeto em uma imagem, normalmente o olho humano não distingue a proporção de azul, verde e vermelho presentes, e sim, avalia a intensidade (I), a cor ou matiz (H) e a saturação (S).

A **intensidade** ou brilho é a medida de energia total envolvida em todos os comprimentos de onda, sendo, portanto, responsável pela sensação de brilho dessa energia incidente sobre o olho.

O **matiz** ou cor de um objeto é a medida do comprimento de onda médio da luz que se reflete ou se emite, definindo, portanto, a cor do objeto.

A **saturação** ou pureza expressa o intervalo de comprimento de onda ao redor do comprimento de onda médio, no qual a energia é refletida ou transmitida. Um alto valor de saturação resulta em uma cor espectralmente pura, ao passo que um baixo valor indica uma mistura de comprimentos de onda que irá produzir tons pastéis (apagados).

Por serem independentes, estes três parâmetros podem ser analisados e modificados separadamente, para um melhor ajuste das cores às características do sistema visual.

A transformação dos componentes vermelho, verde, azul (RGB) nos componentes intensidade, matiz e saturação (IHS) pode ser utilizada para produzir composições coloridas com reduzida correlação interbanda, conseqüentemente com melhor utilização do espaço de cores, e combinar diferentes tipos de imagem ou imagens de diferentes sensores. Estas transformações são feitas através de algoritmos matemáticos que relacionam o espaço RGB ao IHS.

O primeiro passo desta técnica de integração foi a utilização das bandas realçadas 3, 4 e 5 do LANDSAT-7 ETM+ associadas a cada um dos componentes RGB.

O segundo passo foi a aplicação da transformação do espaço RGB para o IHS, no qual foram geradas as componentes independentes da cor (I, H e S) para as combinações previamente estabelecidas. O resultado é um conjunto de três novas imagens: uma de intensidade, uma de matiz e outra de saturação.

Estas imagens são realçadas, de modo a expandir o intervalo de intensidade e saturação através das técnicas convencionais de contraste, e novamente transformadas para o sistema RGB, permitindo, assim, melhor separação das feições que se deseja observar.

O terceiro passo da transformação IHS é a conversão inversa IHS para RGB, substituindo-se os canais I, H ou S pelas imagens geofísicas previamente geradas pela Principal Componente 1 (PC1), pela banda 4 ou pela banda 8 do LANDSAT 7 que possui uma resolução espacial de 15m.

O quadro 3.1 apresenta as combinações entre bandas iniciais para a aplicação da transformação IHS, o Fluxograma 3 mostra os principais passos da integração dos dados geofísicos com as imagens de satélite e o fluxograma 4, apresenta uma visão integrada dos procedimentos de utilizados neste trabalho.

Quadro 3.1 - Opções de substituição das Bandas I, H & S no processo de Integração das imagens LANDSAT-7 ETM+ e Geofísicas

BANDAS INICIAIS – 5, 4 e 3 em R, G e B respectivamente			
PASSO 1 : APLICAÇÃO DA TRANSFORMAÇÃO RGB → IHS			
GERAÇÃO DAS BANDAS			
I	H	S	
PASSO 2 : SUBSTITUIÇÃO DAS BANDAS I, H & S			
	BANDA I	BANDA H	BANDA S
OPÇÃO 1	MANTIDA	IMAGEM GEOFÍSICA * ¹	IMAGEM SINTÉTICA COM. DN constante* ²
OPÇÃO 2	COMPONENTE C1	IMAGEM GEOFÍSICA * ¹	IMAGEM SINTÉTICA COM. DN constante * ²
OPÇÃO 3	MANTIDA	IMAGEM GEOFÍSICA * ¹	COMPONENTE C1* ³
PASSO 3 : APLICAÇÃO DA TRANSFORMAÇÃO INVERSA IHS x RGB			
GERAÇÃO DAS IMAGENS INTEGRADAS			
OPÇÃO 1	OPÇÃO 2	OPÇÃO 3	

Observações:

1 - As imagens geofísicas incluem as gamaespectrométricas (Th, U, K e Ct) e magnetométricas (Intensidade Total).

2 - As imagens sintéticas possuem nível de cinza (DN) constante = 60 ou 128

3 - A componente C1 foi gerada através da transformação por componentes principais a partir das três bandas originais do LANDSAT-7 ETM +.

FLUXOGRAMA 3

METODOLOGIA DE INTEGRAÇÃO DIGITAL DOS PRODUTOS

DADOS DE ENTRADA

1. Produtos do Processamento das Imagens LANDSAT 7 ETM +
2. Produtos do Processamento dos Dados Aerogeofísicos

FASE DE PROCESSAMENTO, INTEGRAÇÃO DE DADOS e REALCES

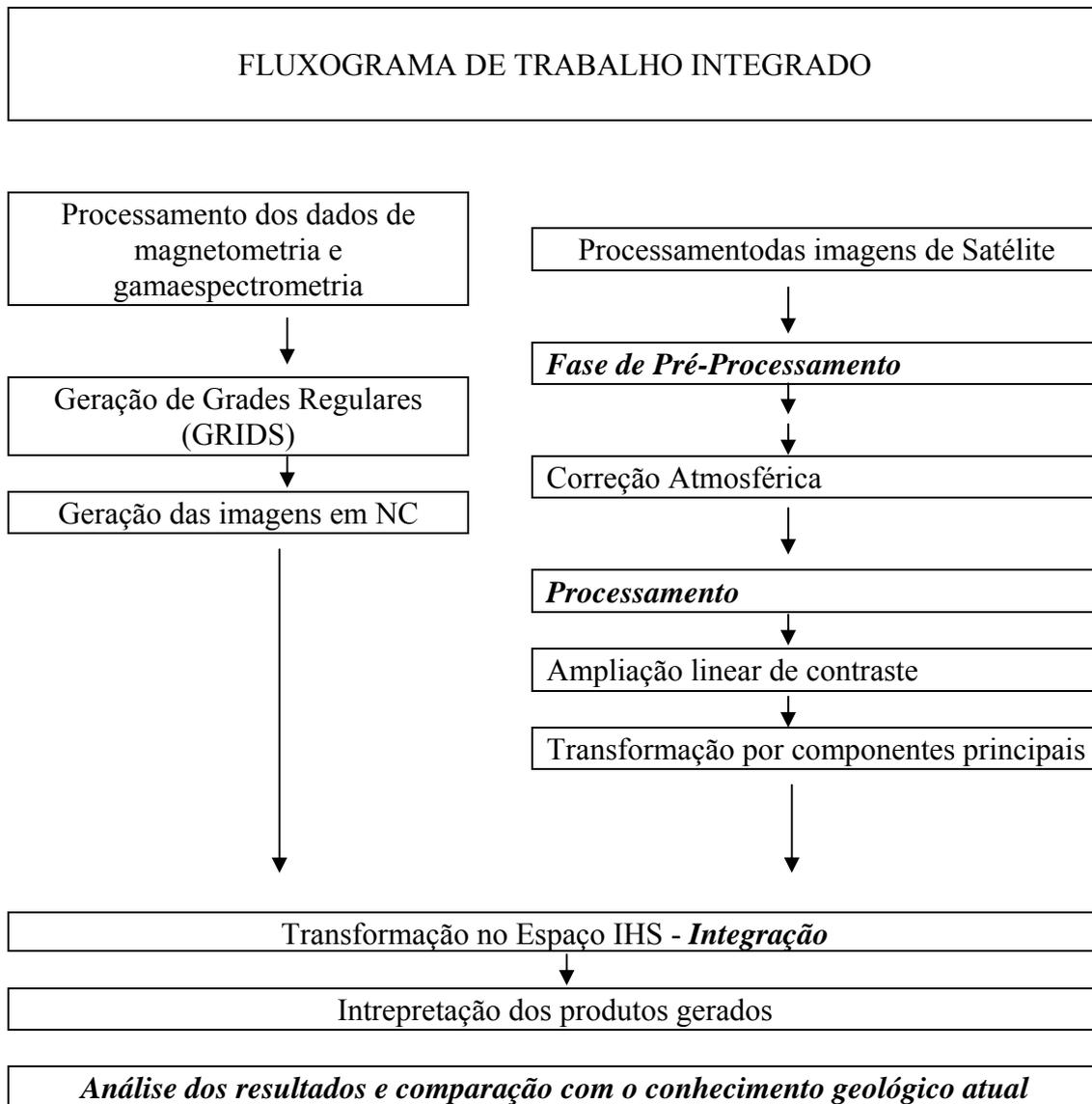
INTEGRAÇÃO VIA TRANSFORMAÇÃO IHS

1. Combinação das bandas 3, 4, e 5 LANDSAT-7 ETM+
2. Aplicação da transformação RGB → IHS
3. Substituições dos canais I, H e S (ver tabela)
4. Aplicação da transformação inversa IHS →RGB
5. Obtenção das imagens integradas

FASE DE INTERPRETAÇÃO E APRESENTAÇÃO DAS IMAGENS INTEGRADAS

1. Seleção dos produtos com melhor desempenho para o mapeamento geológico.
2. Interpretação fotogeológica dos produtos integrados.
3. Elaboração de mapa fotogeológico.
4. Comparação dos resultados obtidos com o conhecimento geológico preexistente.
5. Apresentação dos resultados obtidos.

FLUXOGRAMA 4



4- Apresentação dos Resultados

De acordo com a fundamentação teórica e os métodos apresentados no capítulo anterior, serão apresentados, neste capítulo, os resultados obtidos do processamento e interpretação das imagens geofísicas e de satélite, bem como das imagens integradas.

Primeiramente, serão apresentadas as imagens geofísicas geradas através das grades regulares e dos processamentos de geração de imagens em tons de cinza. As imagens geofísicas de magnetometria e gamaespectrometria selecionadas foram analisadas separadamente através de manipulação de contraste e fatiamento; suas características foram interpretadas e correlacionadas com a geologia da área de estudo.

Em um segundo momento as imagens do satélite LANDSAT 7 ETM+ são avaliadas e interpretadas. Em seguida, são apresentados, avaliados e interpretados os produtos resultantes da integração das imagens geofísicas com as imagens de satélite. Essa integração gerou várias imagens híbridas que englobam tanto as características das imagens multiespectrais quanto as das imagens geofísicas, o que contribuiu sobremaneira para a extração das informações geológicas da área.

Os resultados da interpretação dos diferentes produtos geraram um mapa fotogeológico, cujas unidades foram correlacionadas com o conhecimento geológico mais atual.

4.1 – Imagens Geofísicas

A partir dos dados geofísicos originais, foram geradas imagens digitais em níveis de cinza do Campo Magnético Residual, dos canais de Contagem Total, Urânio, Tório e Potássio em valores de CPS do canal de Potássio em Percentual, dos canais de Urânio e Tório em PPM e de Contagem Total em μ RH.

Analisando-se as imagens geofísicas resultantes dos canais de gamaespectrometria, observa-se que aquelas geradas com os valores em PPM, Percentil e MRH apresentaram um melhor aspecto visual, sem os erros introduzidos pelas linhas de vôo observados nas figuras 4.3, 4.4 e 4.5. Assim, optou-se por utilizar essas imagens nas interpretações e na integração digital.

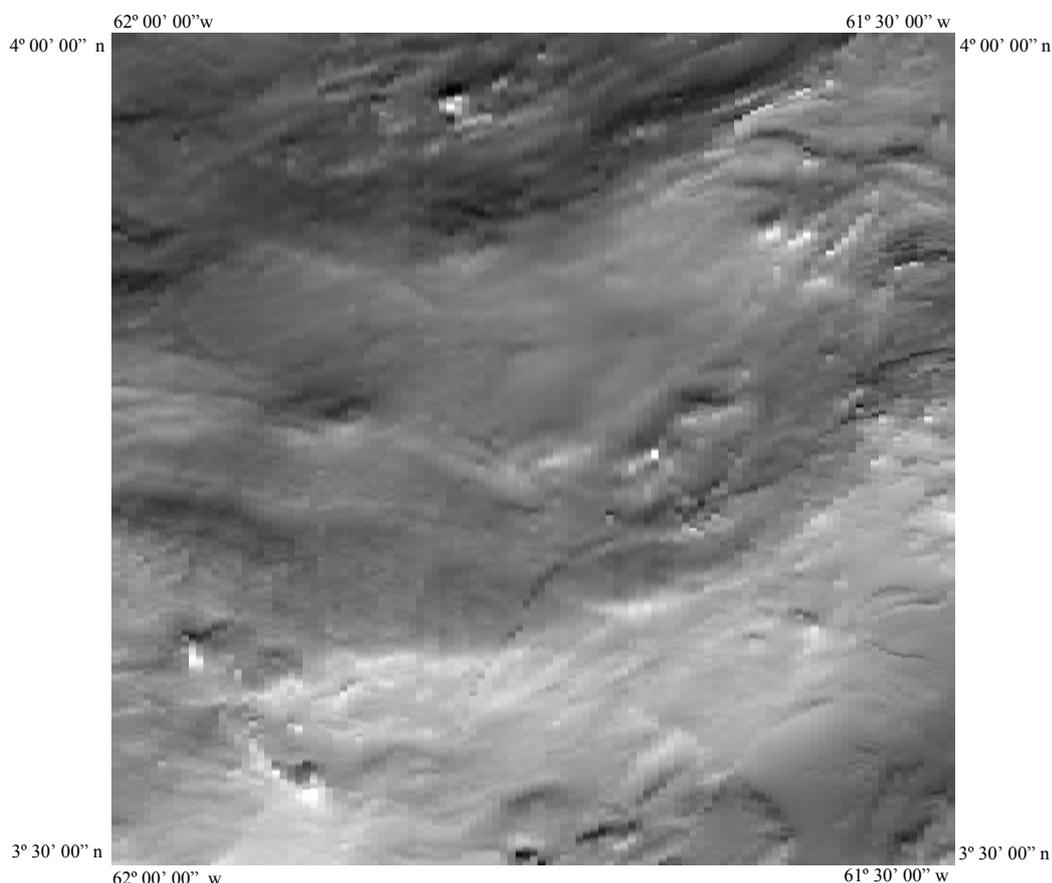


Figura 4.1 – Imagem geofísica do campo magnético com resolução espacial de 125m referente à folha NA.20-X-A-III.

Escala aproximada 1:500.000

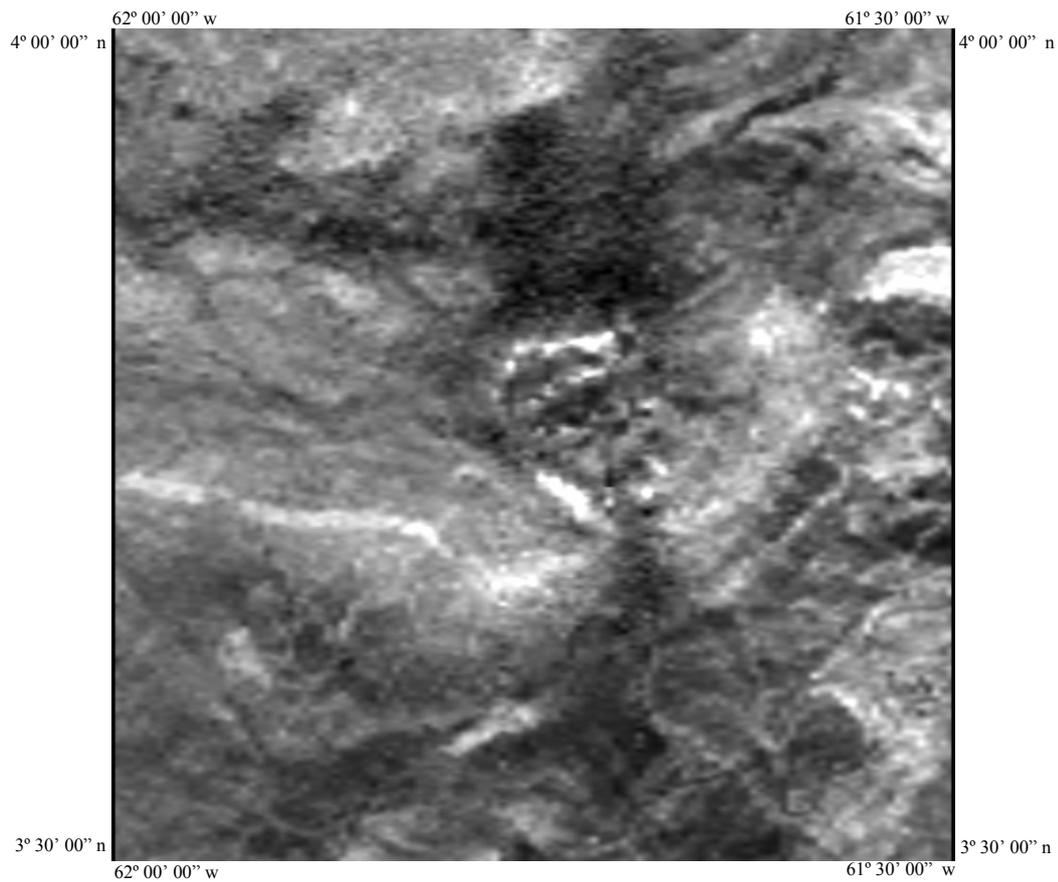


Figura 4.2 – Imagem geofísica do canal de contagem total em CPS. - Escala 1:500.000

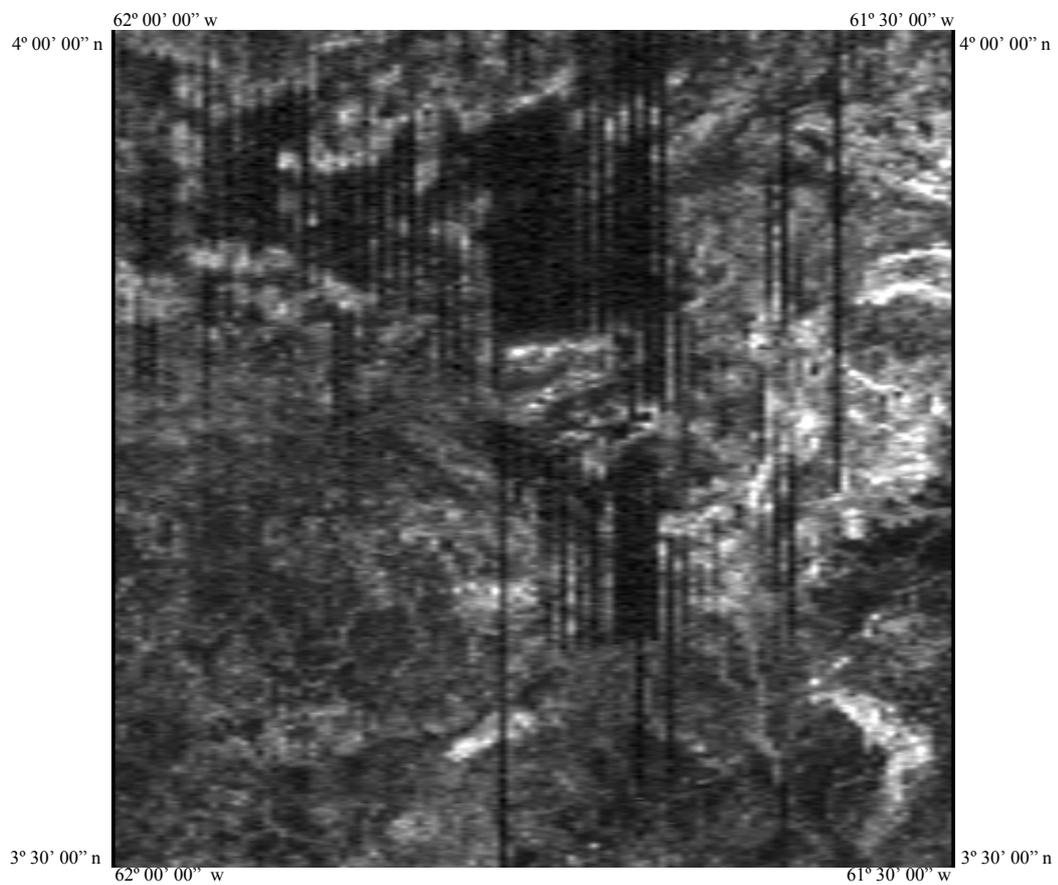


Figura 4.3 – Imagem geofísica do canal de Potássio em CPS. - Escala 1:500.000

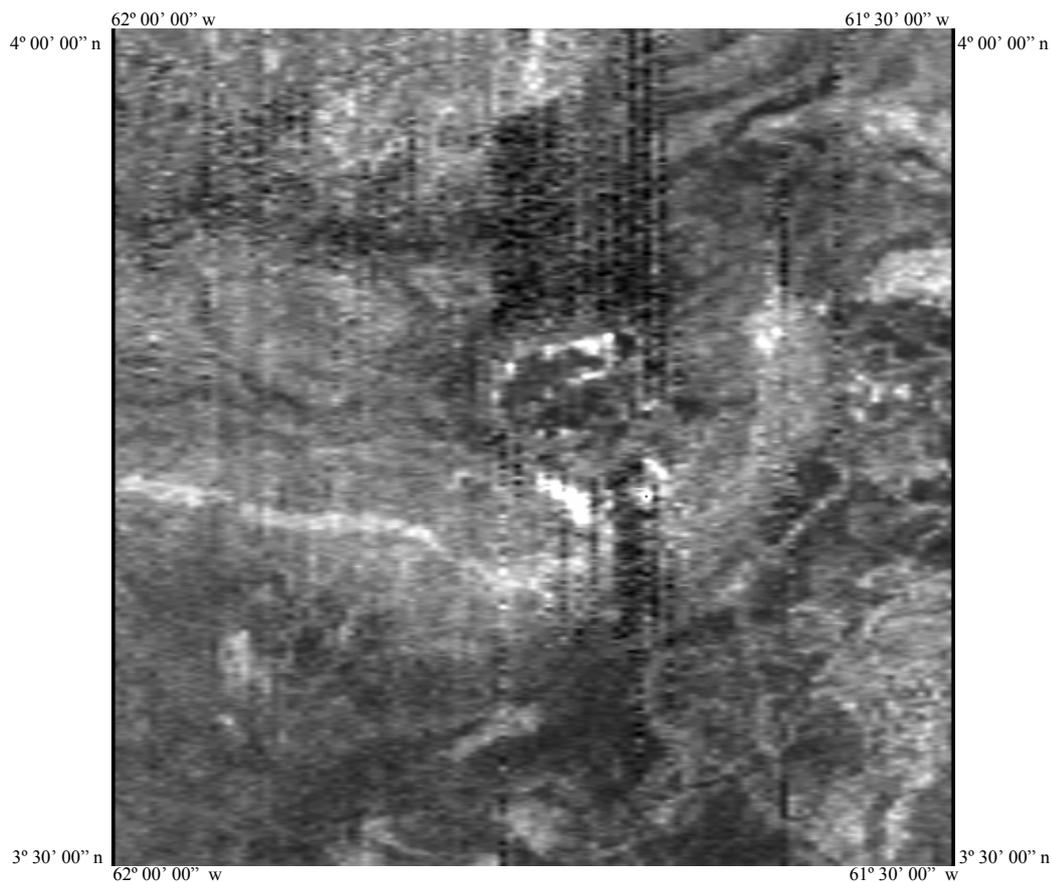


Figura 4.4 – Imagem geofísica do canal de Tório em CPS. - Escala 1:500.000

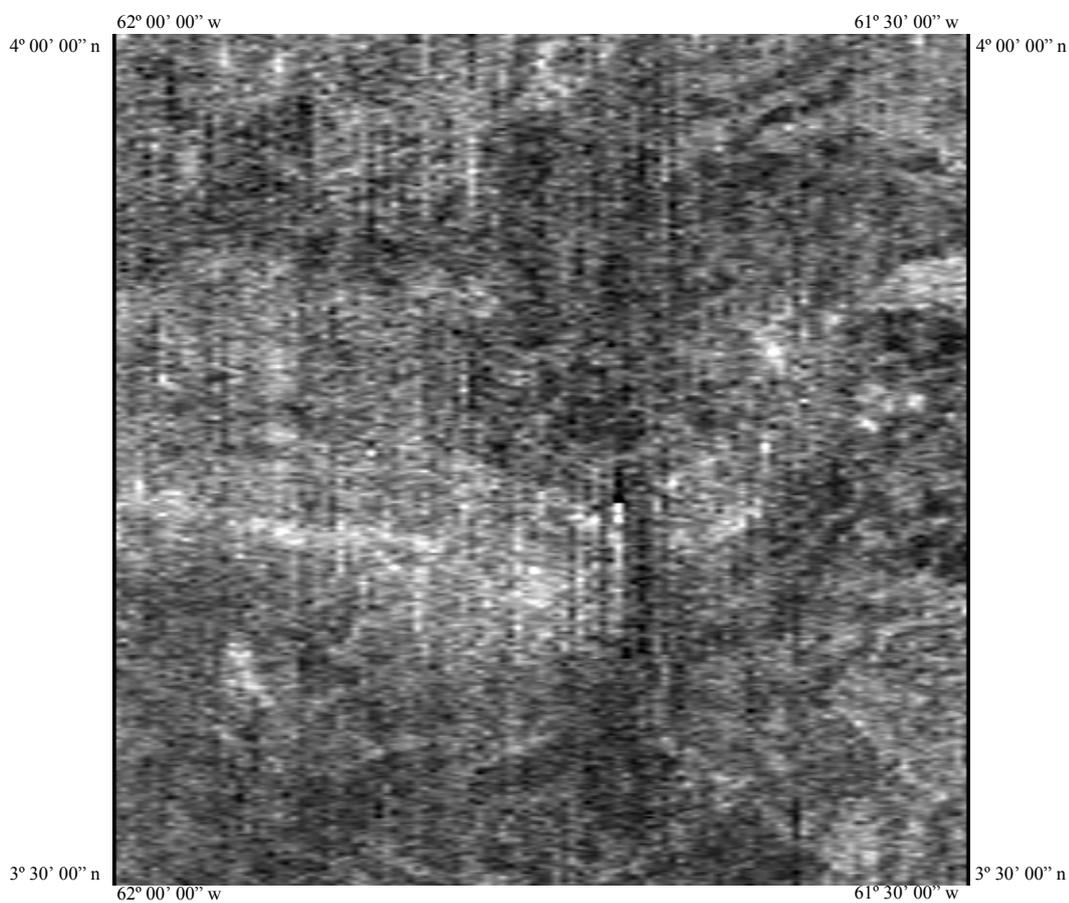


Figura 4.5 – Imagem geofísica do canal de Urânio em CPS. - Escala 1:500.000

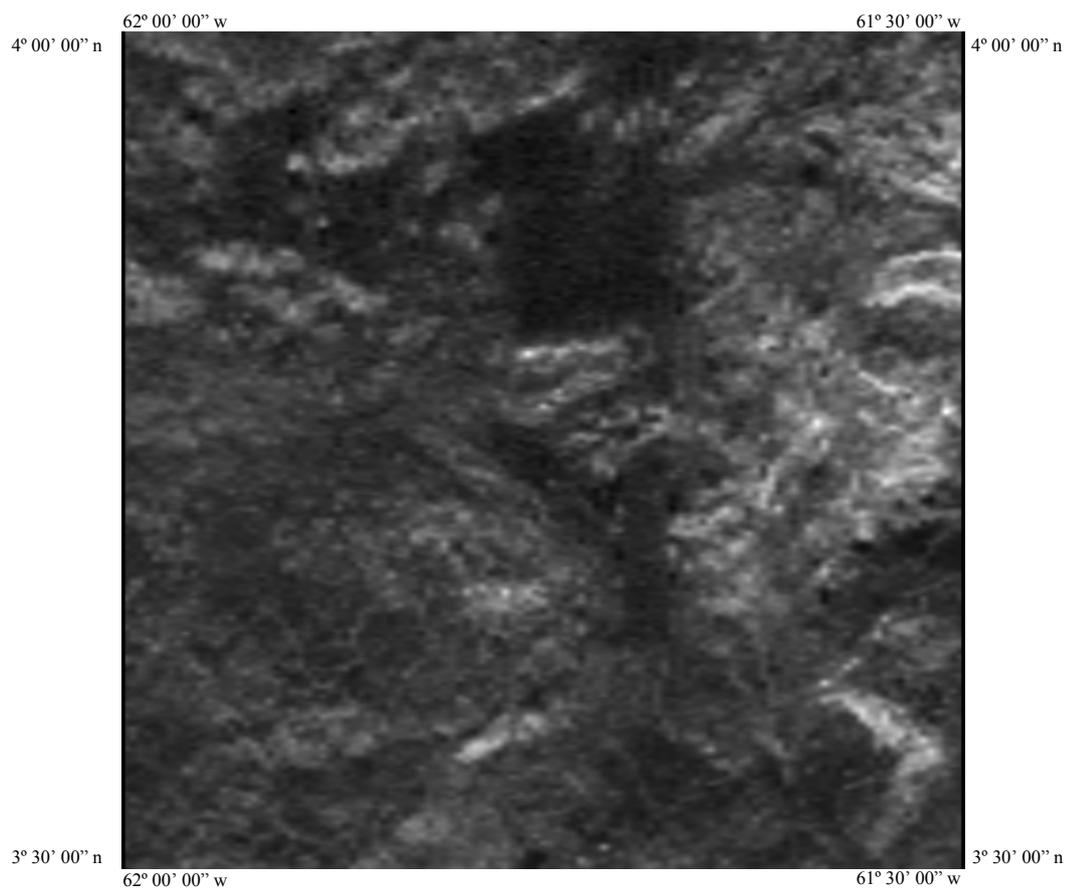


Figura 4.6 – Imagem do canal de Potássio em Percentil. - Escala 1:500.000

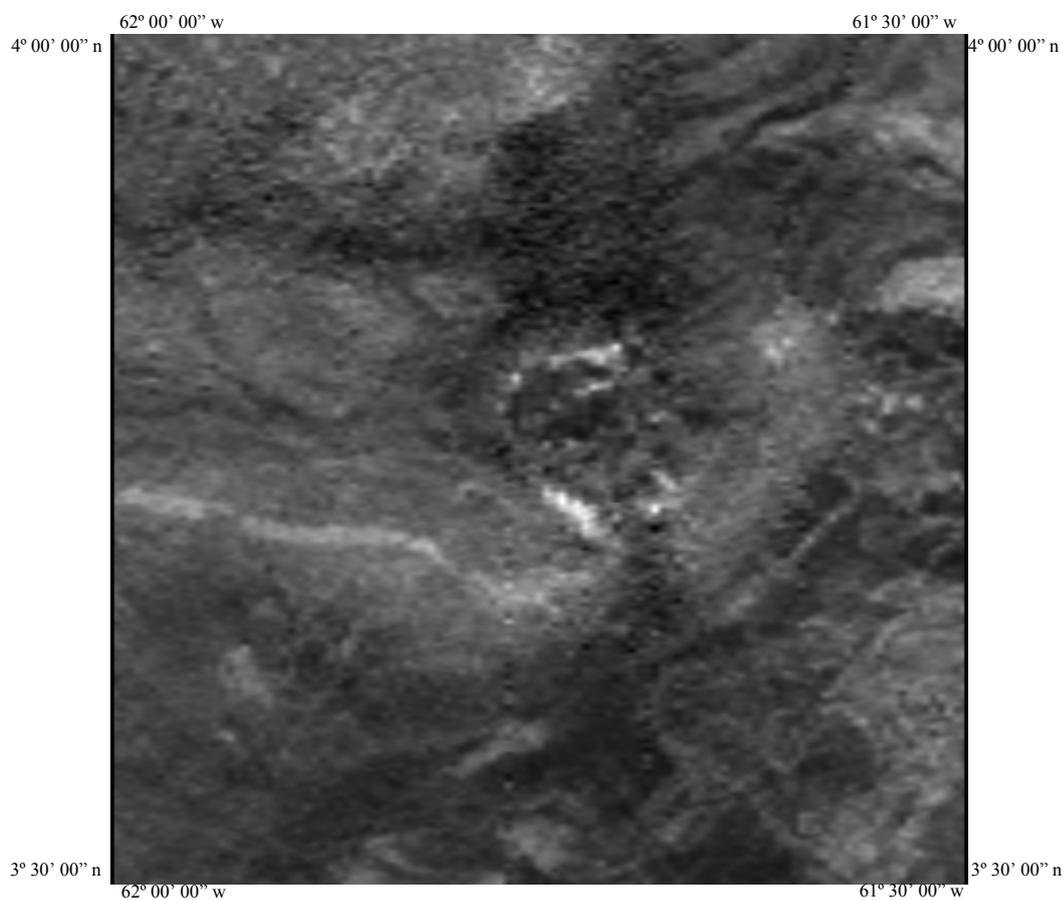


Figura 4.7 – Imagem do canal de Tório em PPM. - Escala 1:500.000

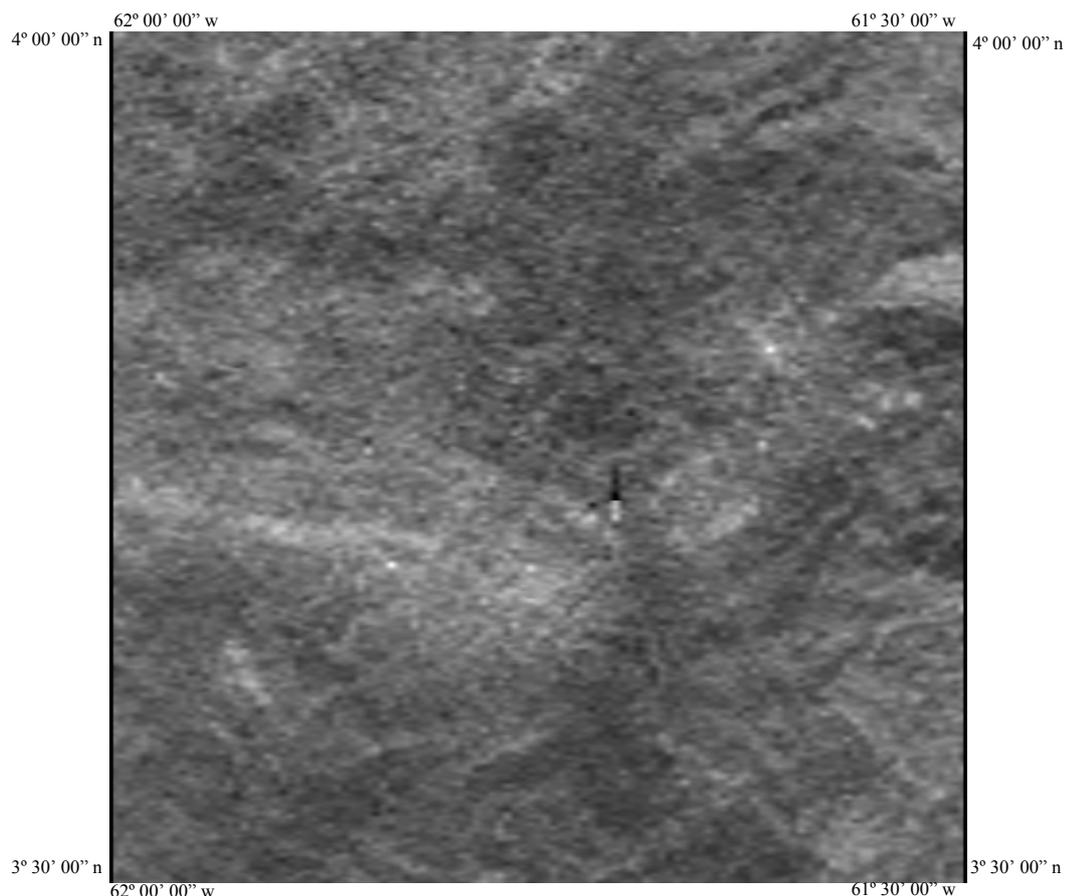


Figura 4.8 – Imagem do canal de Urânio em PPM. - Escala 1:500.000

4.1.1 - Interpretação das Imagens Geofísicas

Primeiramente as imagens geofísicas foram interpretadas individualmente, seja como imagens em tons de cinza ou através de imagens coloridas obtidas através de manipulação de contraste com a opção de fatiamento. Tal escolha baseia-se no fato de que variações de cores são muito mais visíveis ao olho humano do que variações de tons de cinza. Assim, a utilização de cores na interpretação facilita o trabalho e permite uma maior precisão na distinção de classes.

O fatiamento de níveis de cinza é uma forma de aumento de contraste; tal operação consiste simplesmente em realçar os pixels cujas intensidades situam-se dentro de um intervalo específico (a fatia), isto é, entre um máximo e um mínimo. Consiste na divisão do intervalo total de níveis de cinza em determinadas fatias (ou classes de cores).

De acordo com o critério de determinação dos intervalos de níveis de cinza, o SPRING permite obter fatiamentos dos tipos **normal**, **equidistribuído** e **arco-íris**.

No fatiamento **normal**, as fatias são definidas de modo que o intervalo entre cada faixa seja constante.

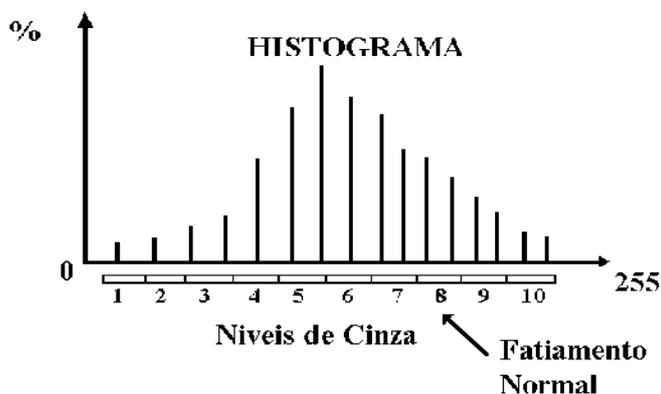


Figura 4.9 – Histograma da distribuição das faixas no fatiamento Normal

No fatiamento **equidistribuído**, o intervalo de níveis de cinza é dividido de modo que cada faixa contenha o mesmo número de pontos.

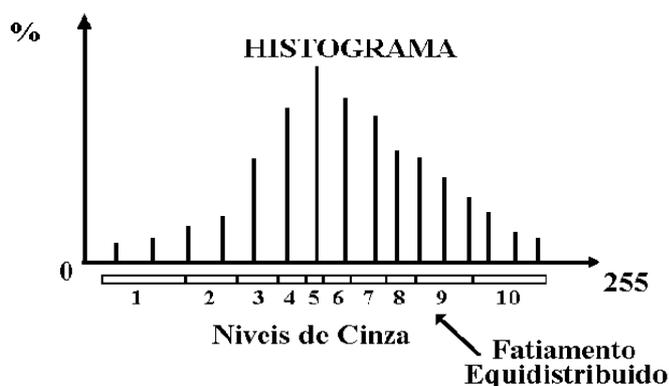


Figura 4.10 - Histograma da distribuição das faixas no Fatiamento Equidistribuído

O Fatiamento **Arco-íris** é o mapeamento de um tom de cinza para uma determinada cor. O mapeamento global desses níveis para o espaço de cor segue a seqüência do arco-íris.

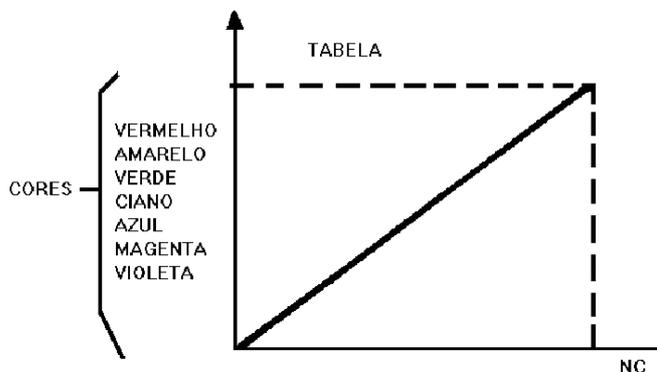


Figura 4.11 – Gráfico apresentando a relação entre os Níveis de Cinza e as cores para o fatiamento em Arco-íris

Para as imagens aerogeofísicas, optou-se por utilizar os fatiamentos dos tipos Normal e Arco-íris. Para o fatiamento do tipo Normal, foram definidas cinco classes de cores, denominadas de: alto, médio alto, médio, médio baixo e baixo. Para o fatiamento do tipo Arco-íris, os valores baixos apresentam-se em azul, os medianos em verde e os altos em vermelho.

Magnetometria

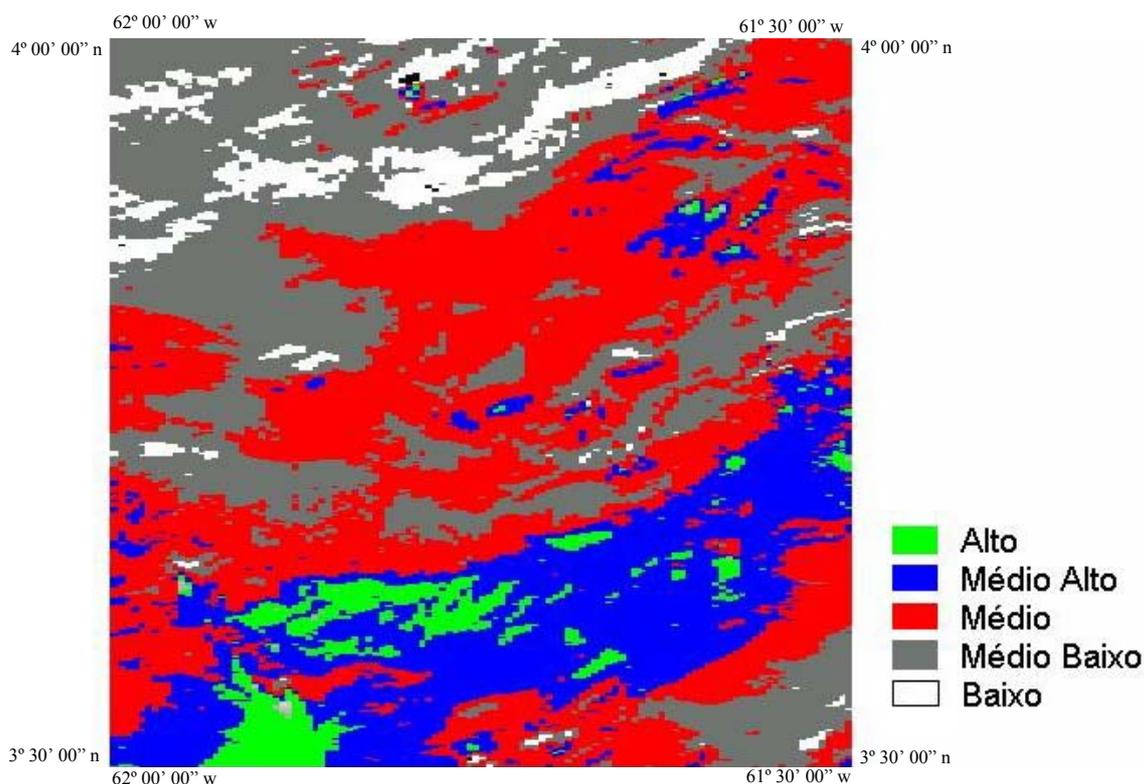


Figura 4.12 – Imagem de magnetometria classificada através do Fatiamento Normal

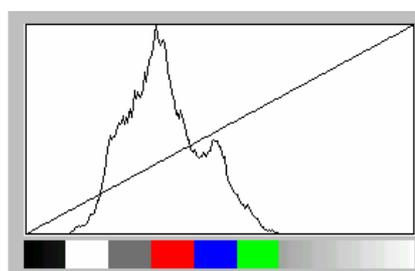


Figura 4.13 – Histograma da imagem de magnetometria com Fatiamento Normal.
Valor inicial = 27 - Valor final = 165 - Cada Classe \approx 27 níveis de cinza

Nas imagens classificadas de magnetometria, observa-se uma gradação dos valores mais baixos (branco e cinza) ao norte da área para os mais altos (azul e verde) ao sul, indicando um aumento da concentração de minerais magnéticos no centro-sul da área de estudo. Tal gradação ocorre em faixas bem nítidas que

apresentam um alinhamento SW-NE bem pronunciado indicando uma estruturação geológica nessa direção, além da presença de corpos rochosos de diferentes características magnéticas. O perfil abaixo efetuado no grid original em direção NW-SE exibe essa estruturação em faixas bem delimitadas.

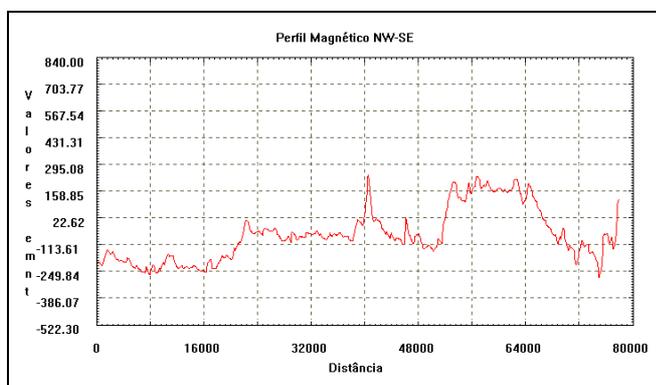


Figura 4.14 – Perfil Magnético sentido NW-SE, valores em nT.

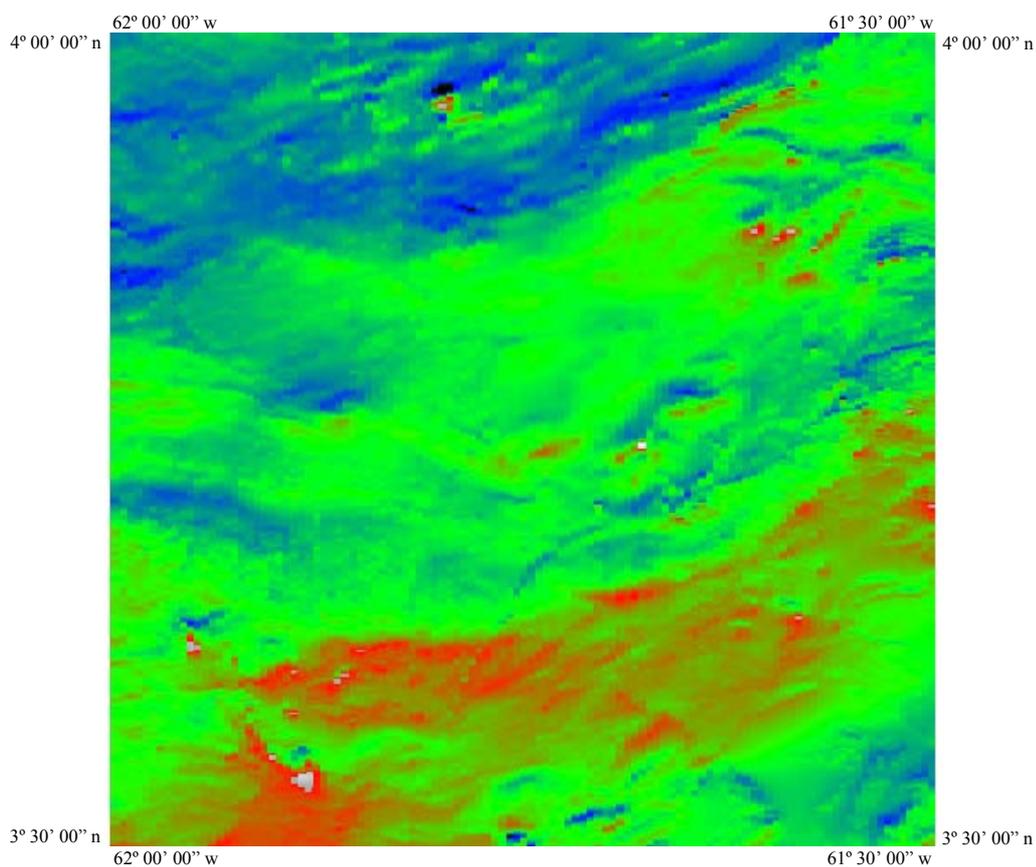


Figura 4.15 – Imagem Magnética classificada através do fatiamento Arco-íris. Os tons de azul representam os valores mais baixos, enquanto os tons de vermelho, os valores mais altos.

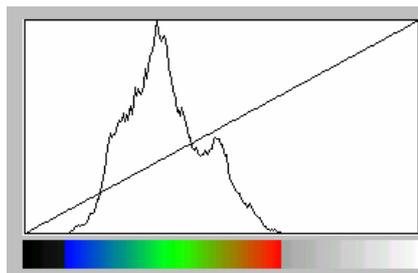


Figura 4.16 – Histograma da imagem de magnetometria com fatiamento Arco-íris.
Valor inicial = 27 / Valor final = 165

Na imagem classificada pelo fatiamento Arco-íris, a estruturação NE-SW é bem discriminada, sendo identificadas 4 faixas de valores magnetométricos aumentando gradativamente de noroeste para sudeste até o centro sul da folha e a partir daí voltando a decrescer.

A utilização de uma imagem sombreada gerada a partir de um modelo numérico de terreno possibilita visualizar as diferenças de “relevo” em uma determinada região. Esta imagem sombreada é gerada a partir de uma grade regular sobre a qual é aplicado um modelo de iluminação. Tal modelo determina a intensidade de luz refletida em um ponto da superfície considerando os ângulos azimutal e de elevação de uma fonte luminosa.

Neste caso, o “relevo” em consideração não é o topográfico e sim o magnético, onde as regiões com valores magnéticos mais altos projetam uma “sombra” realçando e facilitando a identificação destas.

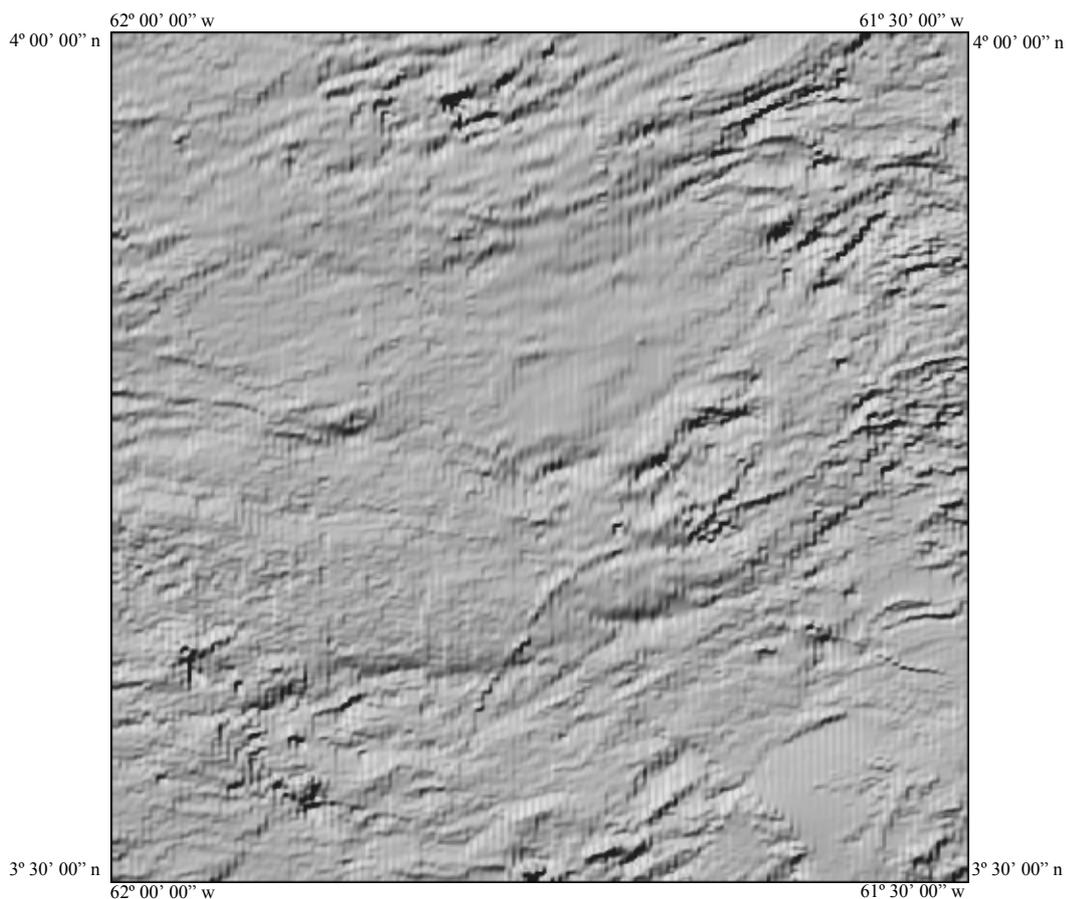


Figura 4.17 – Imagem Magnética sombreada, azimute 135° N-, inclinação 45° e exagero vertical de 2x.

A imagem de magnetometria sombreada com azimute de 135° em relação ao norte, inclinação 45° e exagero vertical de 2x realça uma série de estruturas magnéticas de sentido NE-SW, principalmente na região nordeste da área de estudo; tais estruturas geralmente estão associadas a diques básicos.

Com a imagem de magnetometria sombreada com azimute de 225° em relação ao Norte geográfico, com inclinação luminosa de 45° e exagero vertical de 2x, as estruturas magnéticas de sentido NE-SW observadas na imagem anterior ainda são visíveis, mas sem a mesma intensidade. Observa-se também uma estrutura de sentido NW-SE ao sudoeste da área de estudo, indicando um contraste litológico. Tal estrutura também pode ser percebida nas imagens realçadas por fatiamento, no entanto, sem a mesma intensidade.

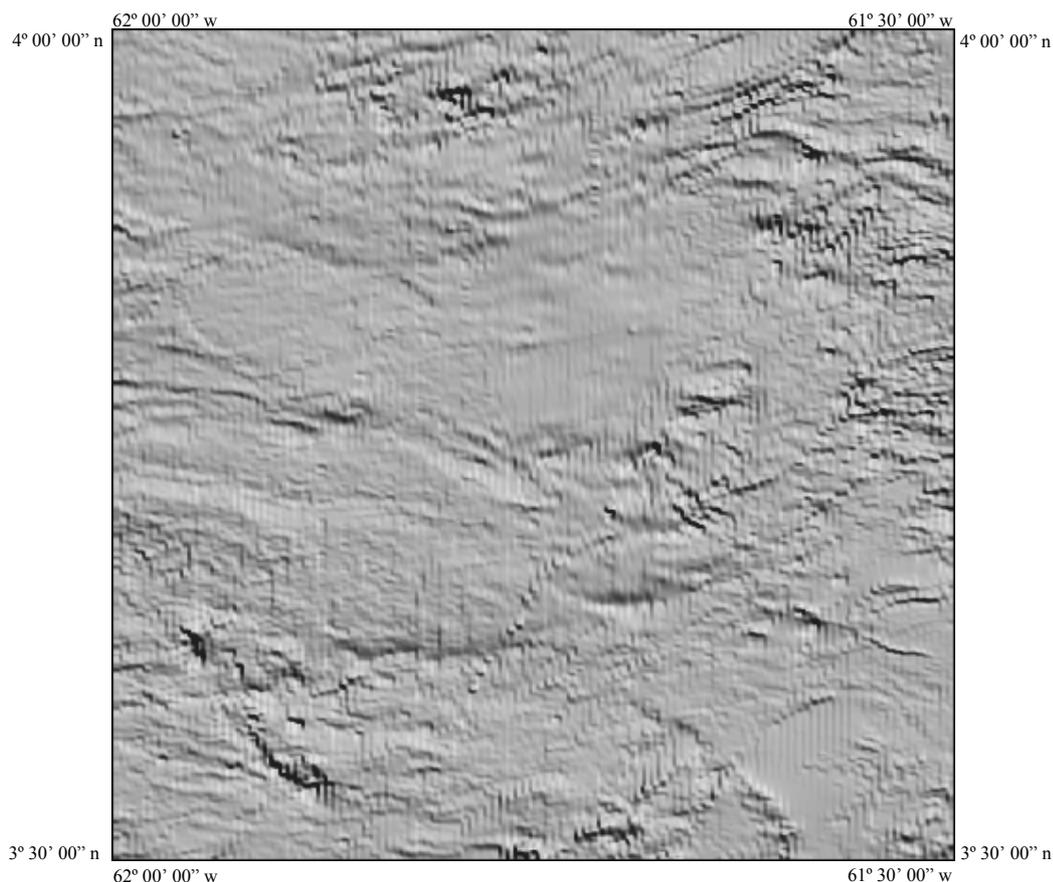


Figura 4.18 – Imagem Magnética sombreada, azimuth 225° N-, inclinação 45° e exagero vertical de 2x.

Gamaespectrometria

Os valores gamaespectrométricos de U, Th, K e Contagem Total correspondem diretamente aos materiais superficiais, pois somente o 1º metro mais superficial é medido. A distribuição dos radioelementos está relacionada à variação litológica de uma determinada área. Mesmo em regiões em que a cobertura superficial é espessa, a composição desta reflete a da rocha fonte. Neste trabalho, os canais de Contagem Total e Tório foram os que apresentaram melhores resultados.

Levando-se em consideração os canais de Contagem Total, Tório, Urânio e Potássio, pode se observar que as rochas da Suíte Intrusiva Saracura apresentam valores médios desses radioelementos. A extensão das “anomalias” relativas aos litotipos dessa unidade permitem uma reinterpretação da cartografia geológica, aumentando a abrangência de alguns corpos ou a representação de outros ainda não cartografados.

Os valores radiométricos baixos estão correlacionados às unidades Surumu (PP3αsu), Pedra Pintada (PP3γ3pp) Urariqüera (PP23ur) e a Formação Tepequém,

localizados na porção centro sul da folha; diferem grandemente da Suíte intrusiva Saracura embora não possam ser distinguíveis entre si utilizando-se os canais individuais, podem ser discriminados utilizando-se uma imagem ternária de U, Th e K em R, G e B, respectivamente. A Serra do Tepequém em suas bordas e áreas desmatadas apresenta valores espectrais médios e altos, sua discriminação foi feita, principalmente, utilizando-se a imagem LANDSAT 7.

Para as unidades do grupo Cauarane (PP3ca1,2), aquelas cartografadas como CA2 apresentam valores médios, enquanto que as cartografadas com CA1 apresentam valores baixos

Na região centro oeste da folha, é observada uma anomalia com valores médios a altos de direção predominantemente E-W, em área atualmente cartografada como pertencente a Suíte Intrusiva Pedra Pintada. A presença da anomalia indica a ocorrência de um corpo rochoso ainda não cartografado, provavelmente relacionado à Suíte Intrusiva Saracura. Além desses corpos, outras anomalias foram observadas na porção leste da folha.

Para as unidades Serra da Estrutura (PP4μδse) e Uraricaá (PP4μδur) não existem correlações definidas, uma vez que não existem anomalias relacionados aos corpos dessas unidades, provavelmente pela pequena extensão espacial desses corpos.

Contagem Total

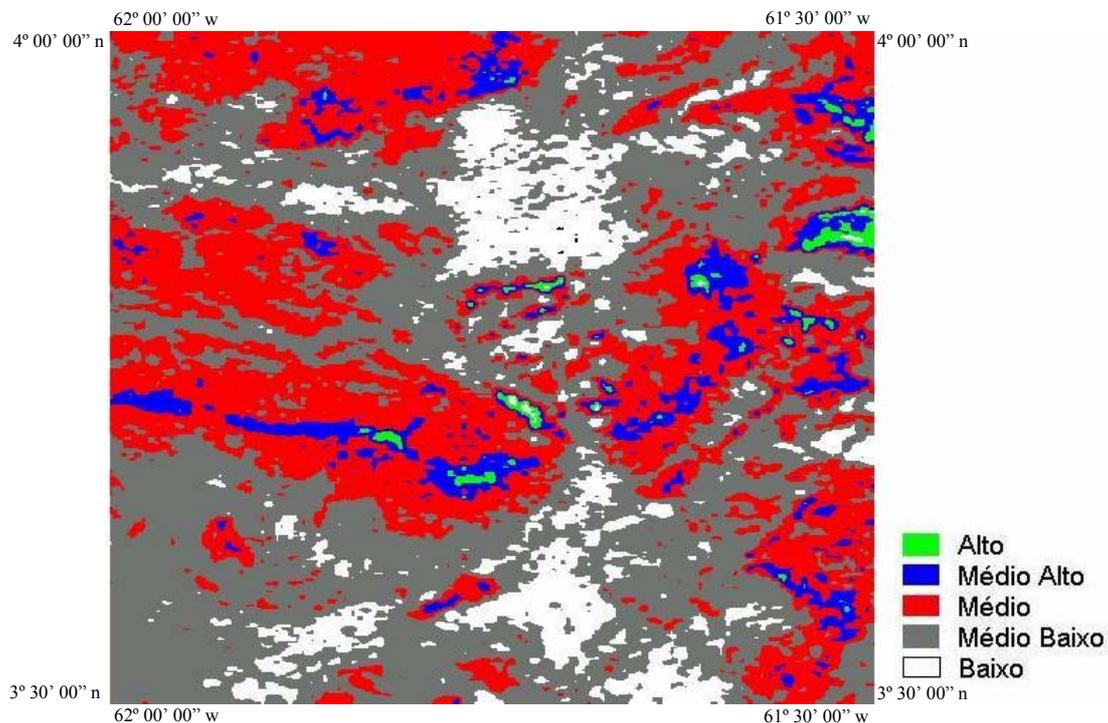


Figura 4.19 – Imagem gamaespectrométrica do canal de Contagem Total, segmentada utilizando-se o fatiamento Normal

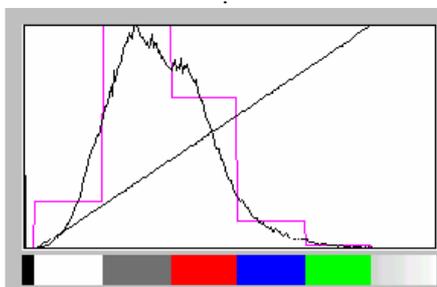


Figura 4.20 – Histograma da imagem de gamaespectrometria do canal de contagem total com fatiamento Normal. Valor inicial DN = 7 – Valor final DN = 214 – Cada Faixa \approx 41 Níveis de Cinza

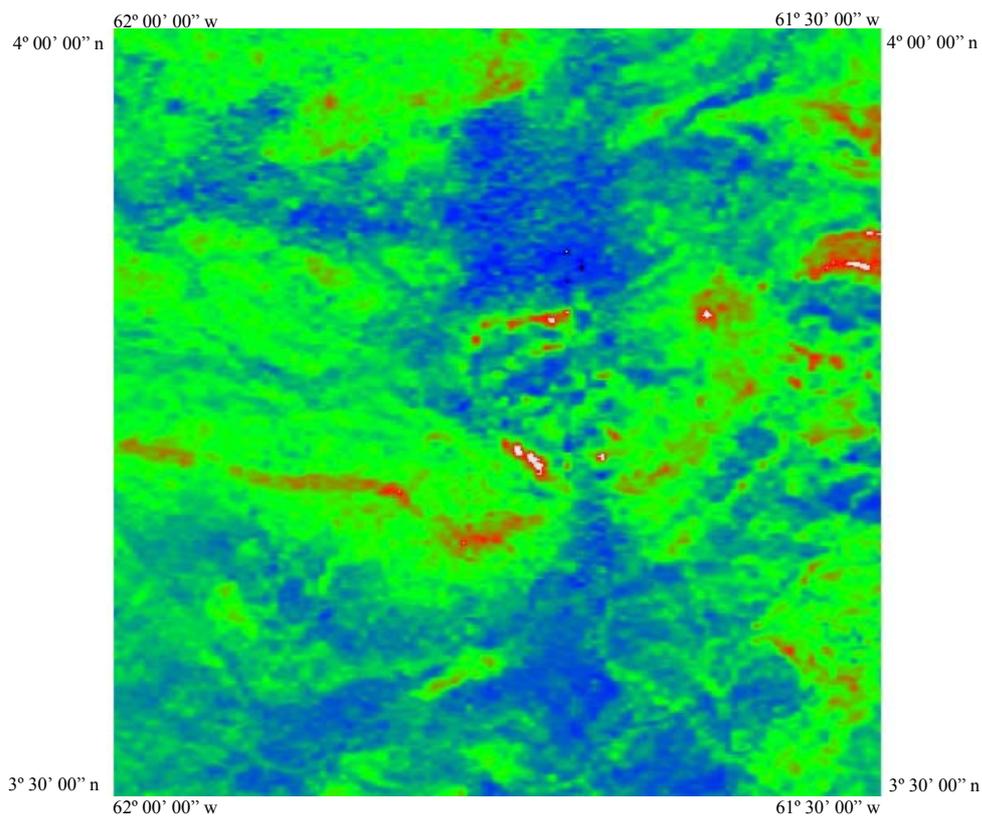


Figura 4.21 – Imagem gamaespectrométrica do canal de contagem total classificada através do fatiamento Arco-irís. Os tons de azul representam os valores mais baixos, enquanto os tons de vermelho os valores mais altos.

Tório

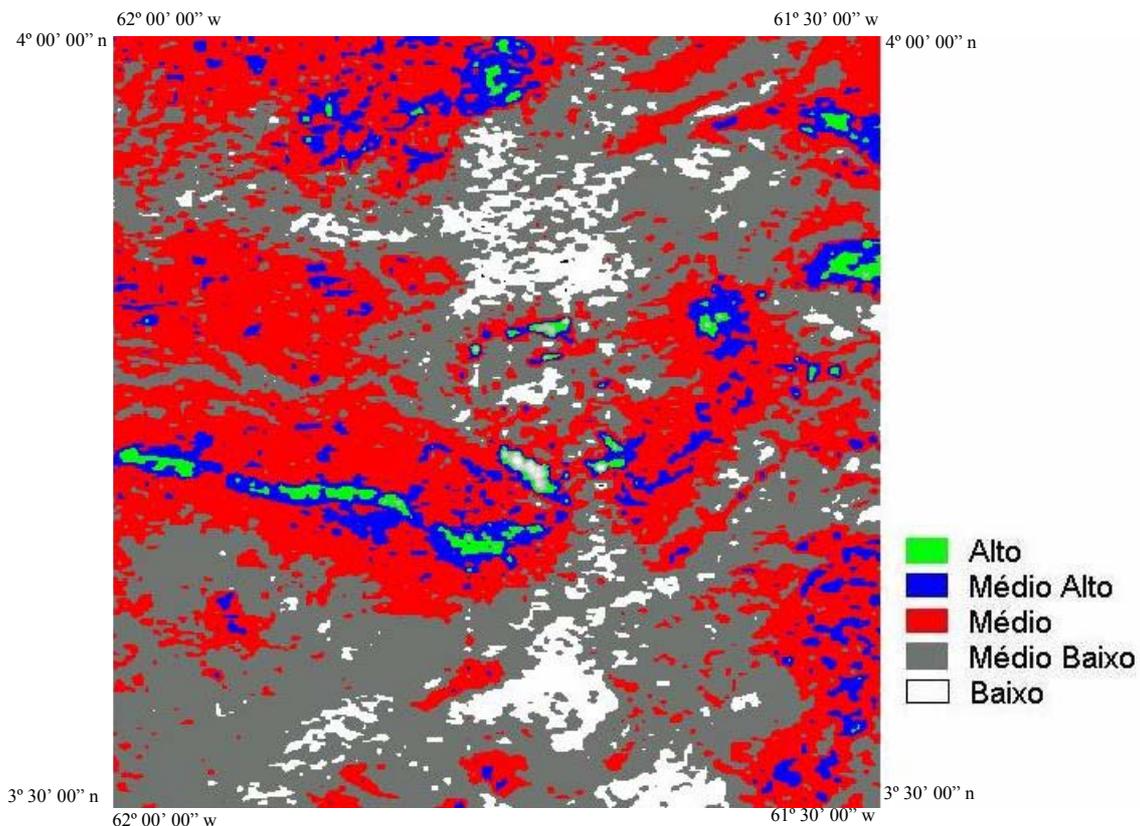


Figura 4.22 – Imagem gamaespectrométrica do canal de Tório, segmentada utilizando-se o fatiamento Normal.

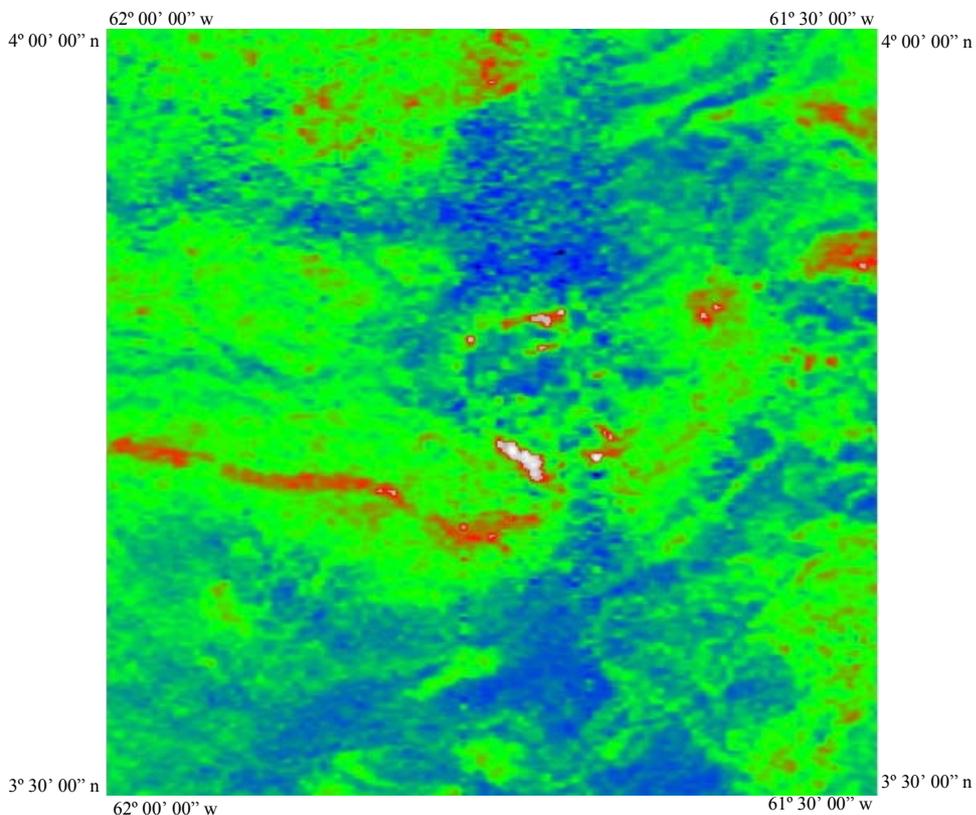


Figura 4.23 – Imagem gamaespectrométrica do canal de Tório classificada através do fatiamento Arco-íris. Os tons de azul representam os valores mais baixos, enquanto os de vermelho os mais altos.

Urânio

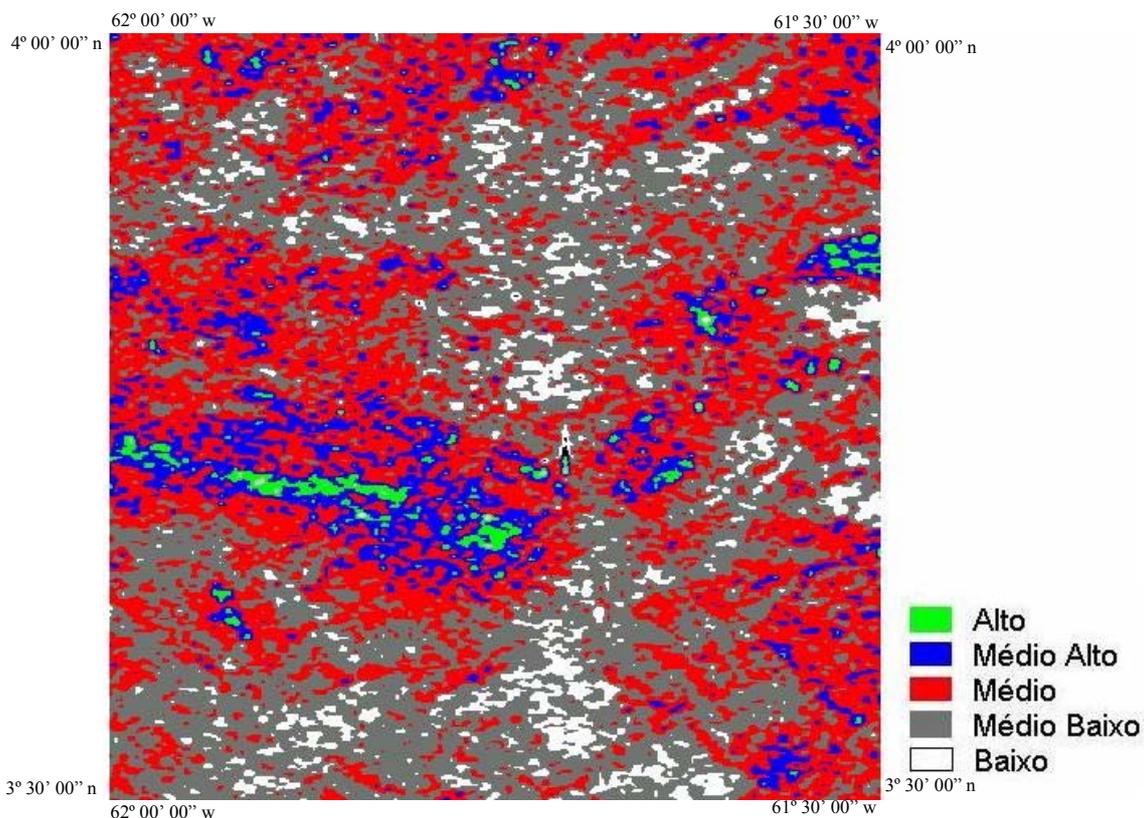


Figura 4.24 – Imagem gamaespectrométrica do canal de Urânio, segmentada utilizando-se o fatiamento Normal.

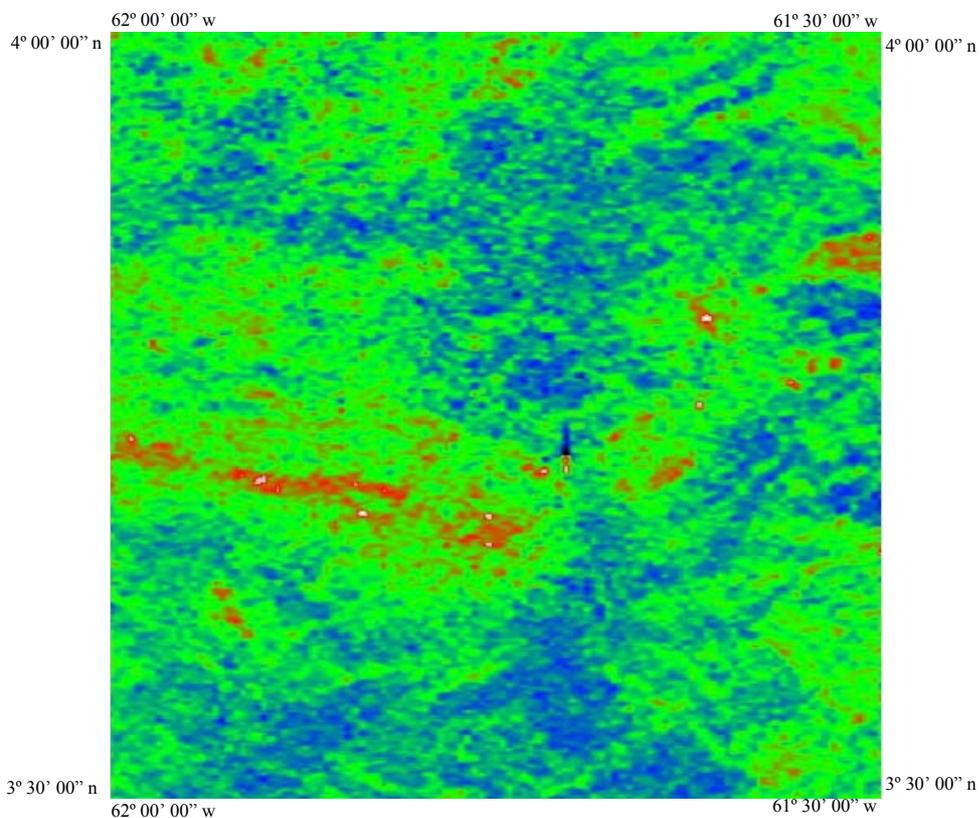


Figura 4.25 – Imagem gamaespectrométrica do canal de Urânio classificada através do fatiamento Arco-íris. Os tons de azul representam os valores mais baixos, enquanto os tons de vermelho os valores mais altos.

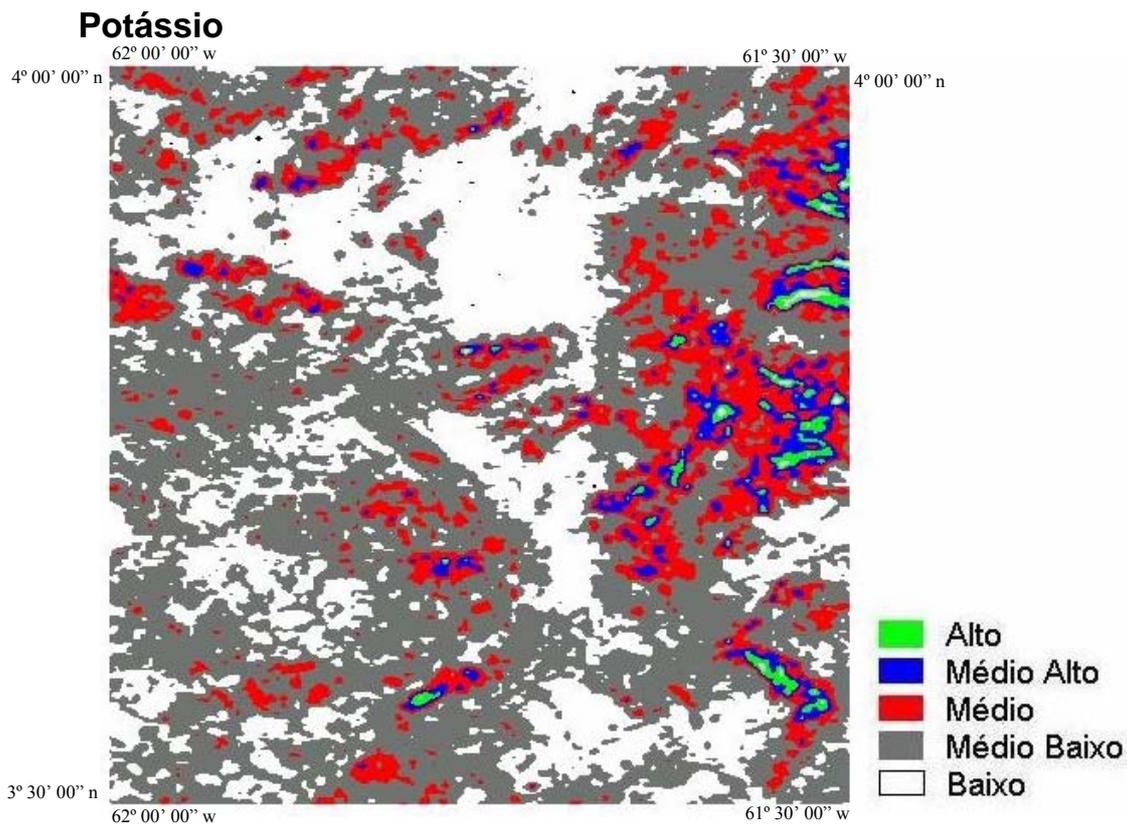


Figura 4.26 – Imagem gamaespectrométrica do canal de Potássio, segmentada utilizando-se o fatiamento Normal.

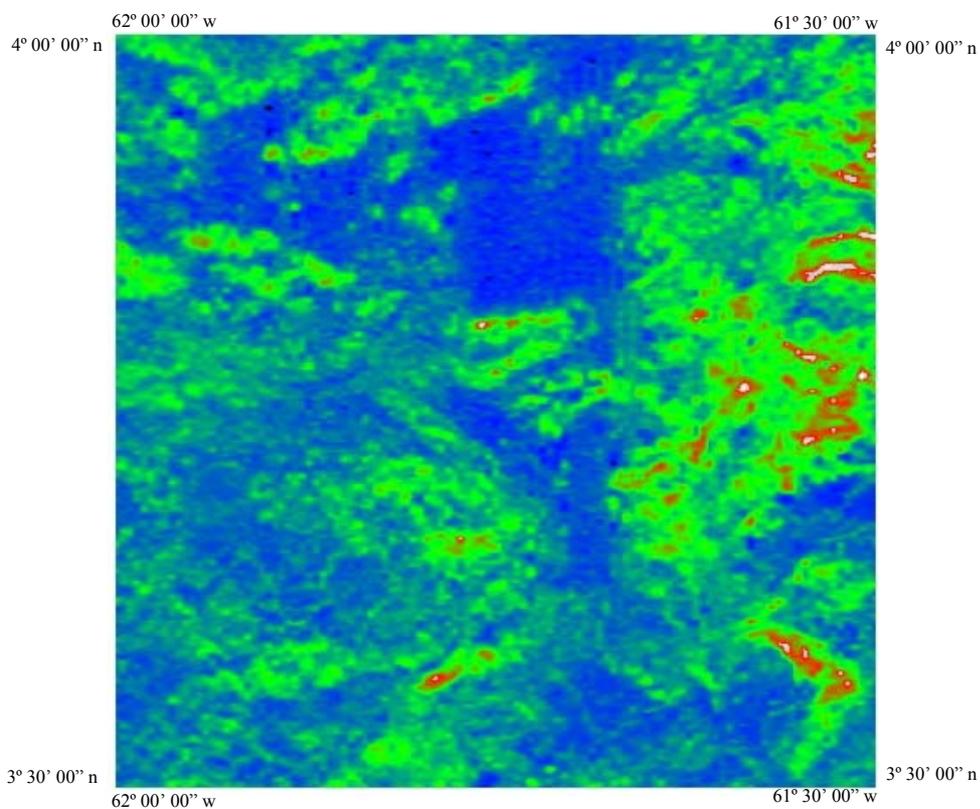


Figura 4.27 – Imagem gamaespectrométrica do canal de Potássio classificada através do fatiamento Arco-íris. Os tons de azul representam os valores mais baixos, enquanto os tons de vermelho os valores mais altos.

Composição Ternária RGB (U, Th e K)

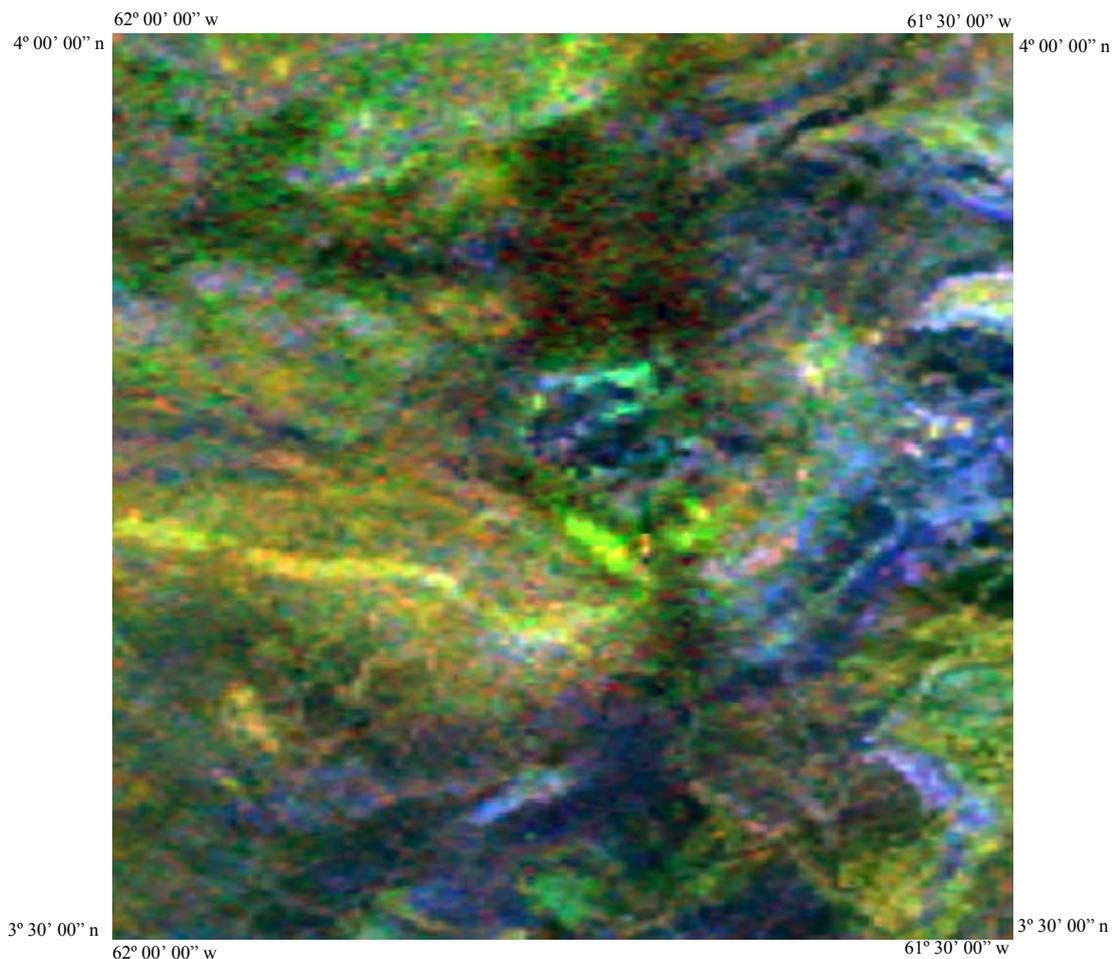


Figura 4.28 - Imagem integrada os canais de U, Th e K em R, G e B

A imagem integrada dos canais de U, Th e K em R, G e B apresenta melhores contrastes do que os canais individuais, permitindo uma melhor interpretação visual das unidades. Nesta figura, a coloração branca representa a presença de U, Th e K em alta quantidade; a cor preta, uma menor quantidade dos radioelementos; a cor azul uma predominância de Potássio, a verde uma predominância de Tório, a cor amarela representa valores equivalentes de Urânio e Tório e os tons de ciano representam valores equivalentes de Tório e Potássio.

4.2 - Imagens Landsat

A interpretação das imagens de satélite seguiu os procedimentos de SOARES e FIORI (199?) para interpretação de fotografias aéreas que consistem nos processos de fotoleitura, fotoanálise e de fotointerpretação.

A fotoleitura consiste no reconhecimento e identificação dos elementos das imagens com os objetos correspondentes e sua repartição. A fotoanálise é o estudo das relações entre as imagens, associação e ordenação das partes de imagens. A fotointerpretação é o estudo da imagem visando à descoberta e à avaliação por métodos indutivos, dedutivos e comparativos do significado, da função e das relações dos objetos correspondentes nas imagens.

Para a imagem Landsat 7 ETM+, foram avaliados os padrões de drenagem, relevo e tonalidades de cores nas bandas individuais e na composição colorida.

A composição colorida das imagens Landsat 7 ETM+ foi efetuada utilizando-se as bandas 5, 4 e 3, respectivamente, nos canais R (vermelho), G (verde) e B (Azul).

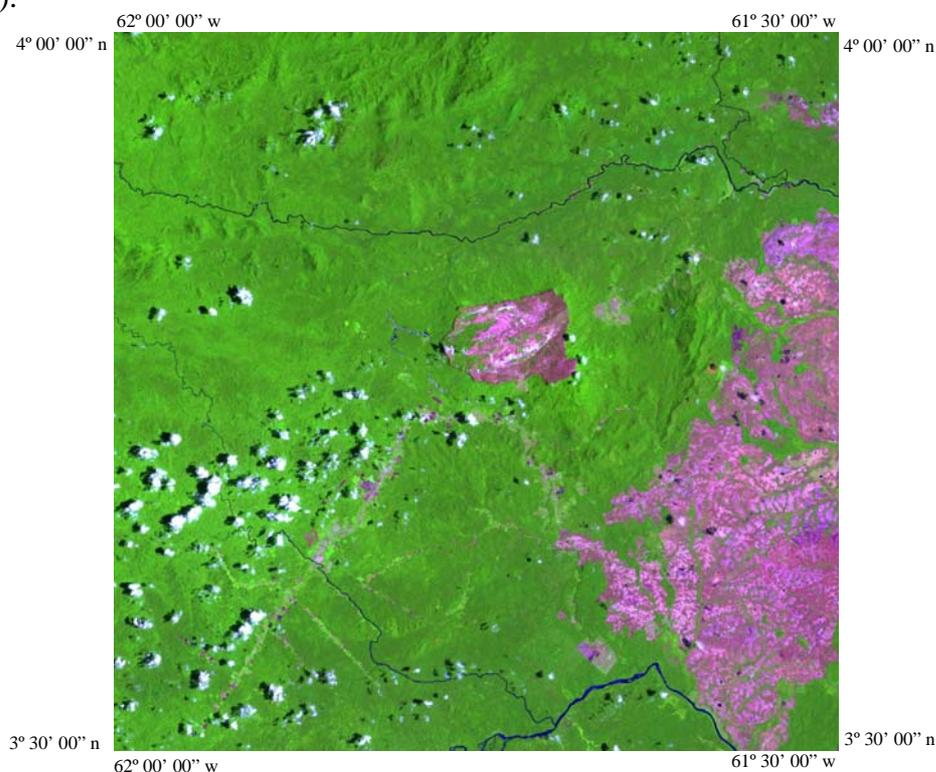


Figura 4.29 - Imagem Landsat 7 / ETM+ Bandas 5, 4 e 3 em RGB utilizando ampliação linear de contraste. - Corte da Folha - NA-20-X-A-III

A interpretação da imagem permite observar nitidamente no centro da folha a Serra do Tepequém formada pela formação homônima, em tons rosados devido à sua vegetação, com predomínio de um tapete gramíneo e de arbustos espalhados. Ao norte da folha e na região da Serra do Aricamã, podem ser observadas formações de relevo bem pronunciado relacionadas à Suíte Intrusiva Saracura. As áreas mais arrasadas apresentam tons verdes, quando recobertas por floresta, e tons rosados quando recobertas pelos campos de Roraima. Tais áreas estão relacionadas às exposições das rochas do Grupo Surumu, da Suíte Intrusiva Pedra Pintada, do Grupo Cauarane e de suíte Metamórfica Urariqüera.

4.3 - Integração das Imagens

A partir da composição colorida 5R, 4G e 3B, foi executada, primeiramente, a transformação do espaço RGB para o espaço IHS, do qual foram geradas as componentes independentes da cor, que foram utilizadas nos processos de integração.

A componente I (intensidade ou brilho) tem como característica principal a propriedade de preservar o atributo da resolução espacial das imagens transformadas, evidenciando com clareza as variações morfológicas do terreno em função da intensidade luminosa mínima percebida pelo olho humano.

A componente H (matiz ou cor) é caracterizada por conter a informação relativa ao comprimento de onda médio da luz refletida, definindo assim as cores dos objetos. Assim, as variações nos tons de cinza da componente H podem ser interpretadas como variações de cores na imagem.

A componente S (Saturação) expressa o comprimento de onda médio, no qual a energia é refletida ou transmitida, representando a pureza das cores dos alvos, onde os níveis de cinza mais claros são relacionados com cores mais puras enquanto os níveis mais escuros representam uma mistura de comprimentos de onda, gerando tons pastéis.

Antes da transformação inversa IHS RGB, houve manutenção ou substituição da componente I pela primeira componente principal (CP1), a substituição da componente H pela imagem geofísica de cada um dos canais (Mag, U, Th, K e CT) de forma individual, e a manutenção ou substituição da componente S por imagens

sintéticas de nível de cinza constante (DN = 60 ou DN = 128) ou pela primeira componente principal, segundo estabelecido no Quadro 3.1.

As imagens integradas resultantes destas três opções de manutenção ou substituição que apresentaram melhor resposta para a interpretação visual foram as que utilizaram imagens sintéticas com DN constante e a primeira componente principal em substituição a componente S. As imagens geradas utilizando-se a CPI em substituição a componente I não apresentaram resultados adequados na individualização/identificação/separação de litologias (Figura 4.31). Todas as imagens após a integração sofreram Ampliação Linear de Contraste para uma melhor visualização das tonalidades de cor.

A seguir, são exibidas imagens integradas apresentando as três opções de substituição.

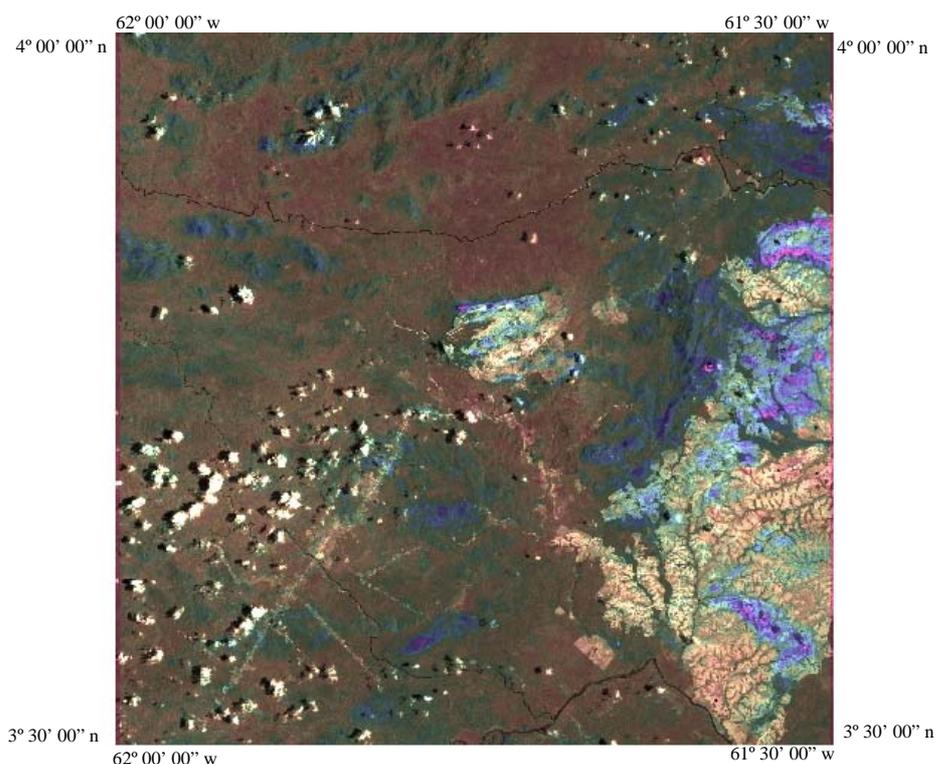


Figura 4.30 – Imagem integrada via transformação IHS, onde: I = Mantida; H = substituída pela imagem geofísica do canal do Potássio e S = substituída pela Imagem sintética de DN=60. (**opção 1**)

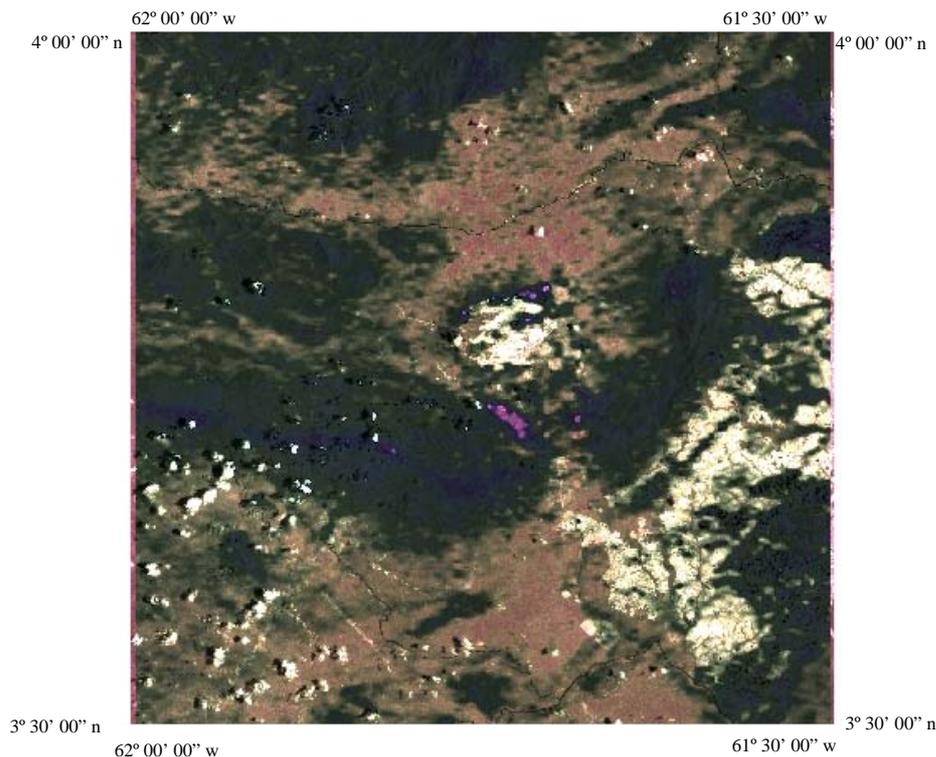


Figura 4.31 – Imagem integrada via Transformação IHS onde: I = Componente principal 1 (CP1) ; H = imagem geofísica do canal do Tório e S = substituída pela Imagem sintética de DN=60 (**opção 2**).

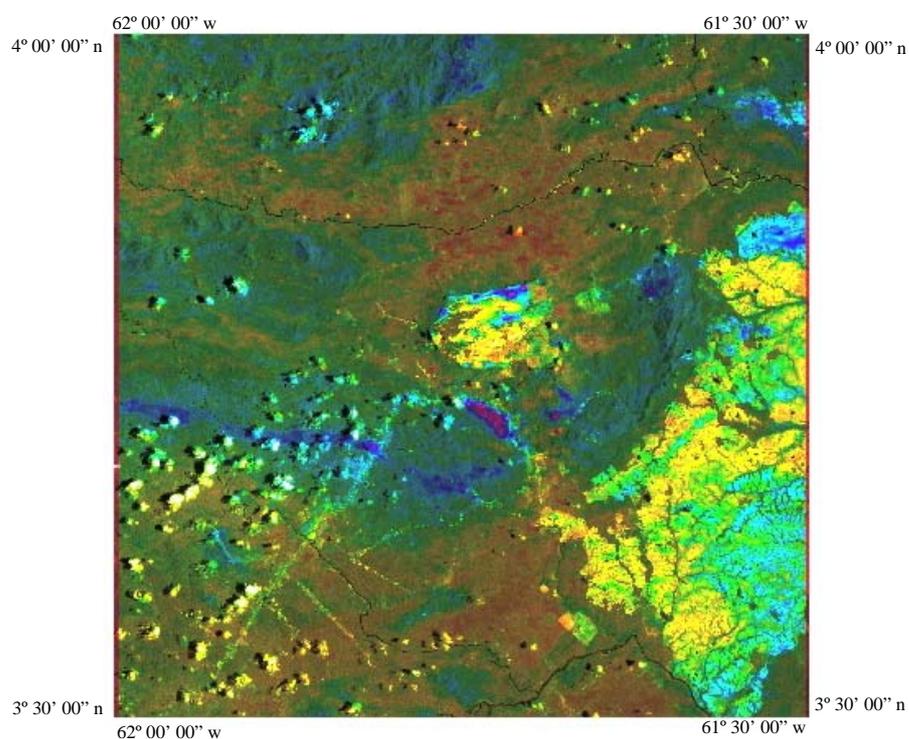


Figura 4.32 – Imagem integrada via Transformação IHS onde: I = Mantida; H = Imagem Geofísica do Canal do Tório e S = substituída pela Componente principal 1 (CP1). (**opção 3**)

A imagem integrada do canal de Potássio exibida acima (figura 4.30) apresenta as áreas mais enriquecidas nesse elemento com uma coloração azul, notadamente, a região da serra do Aricamã e arredores na porção leste da folha e nas áreas mapeadas como Suíte Intrusiva Saracura. As regiões em tons avermelhados relativos a valores radiométricos mais baixos correspondem, principalmente, aos terrenos relacionados às exposições das unidades Surumu e Pedra Pintada.

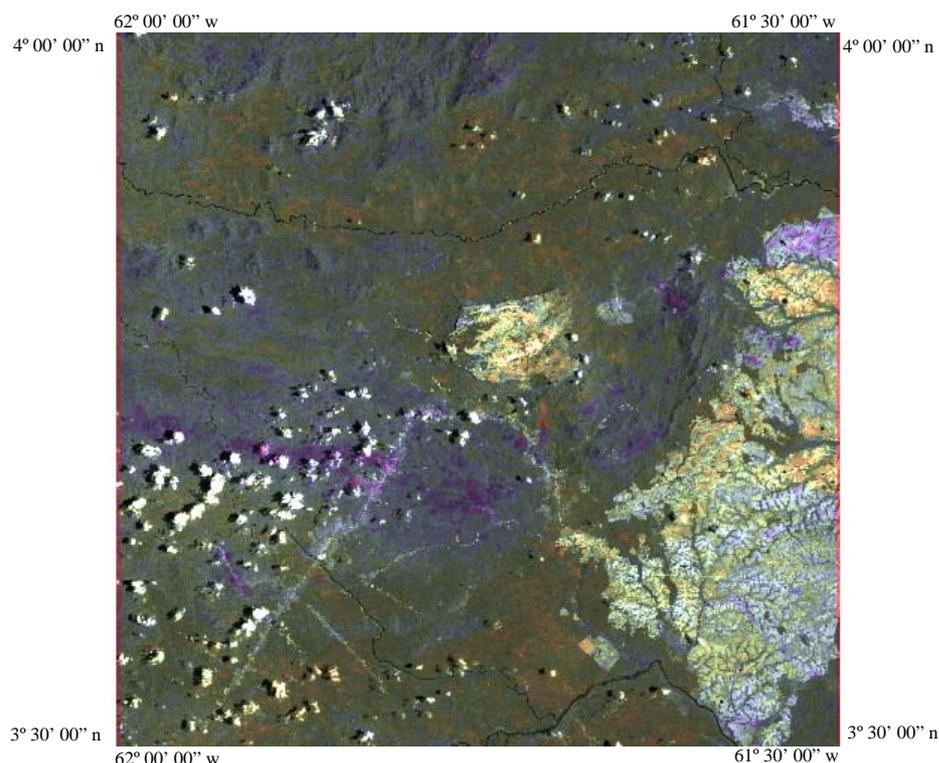


Figura 4.33 – Imagem integrada via Transformação IHS, onde I = Mantida; H = substituída pela imagem geofísica do canal do Urânio e S = substituída pela Imagem sintética de DN=60 (**opção 1**).

As imagens integradas dos canais de Contagem Total e Tório foram as que apresentaram melhor resposta espectral e melhor nitidez para a análise. As áreas mapeadas como Suíte Intrusiva Saracura apresentaram maiores valores de Tório e de Contagem Total. Estes valores altos são apresentados nas imagens pela coloração azul. A integração entre imagens e dados geofísicos permite uma melhor definição dos limites entre os corpos litológicos.

As rochas do Grupo Cauarane também apresentam altos valores de Tório evidenciados pela tonalidade azulada na imagem.

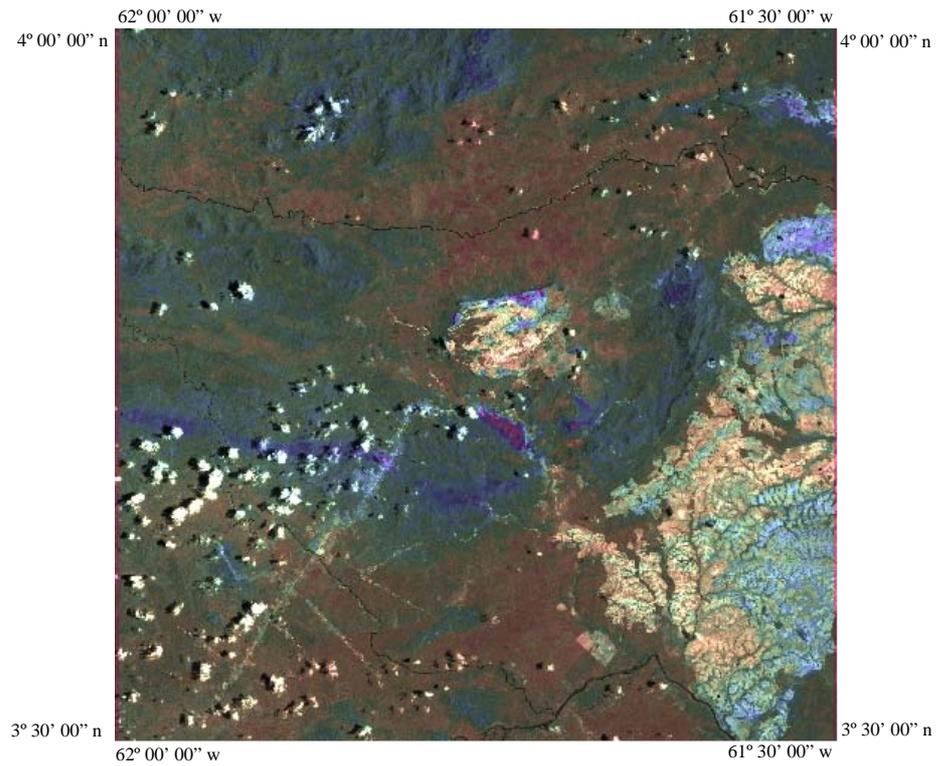


Figura 4.34 – Imagem integrada via Transformação IHS, onde I = Mantida; H = substituída pela imagem geofísica do canal do Tório e S = substituída pela Imagem sintética de DN=60 (**opção 1**).

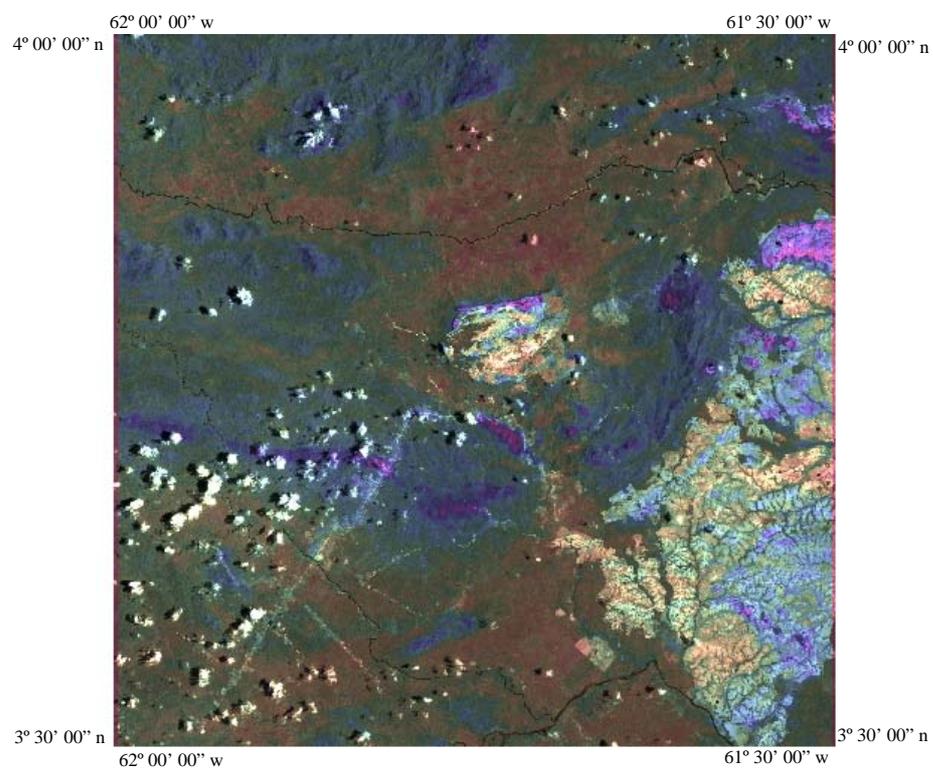


Figura 4.35 – Imagem integrada transformação IHS, onde I = Mantida; H = substituída imagem geofísica do canal de Contagem Total e S = substituída pela Imagem sintética de DN=60 (**opção 1**).

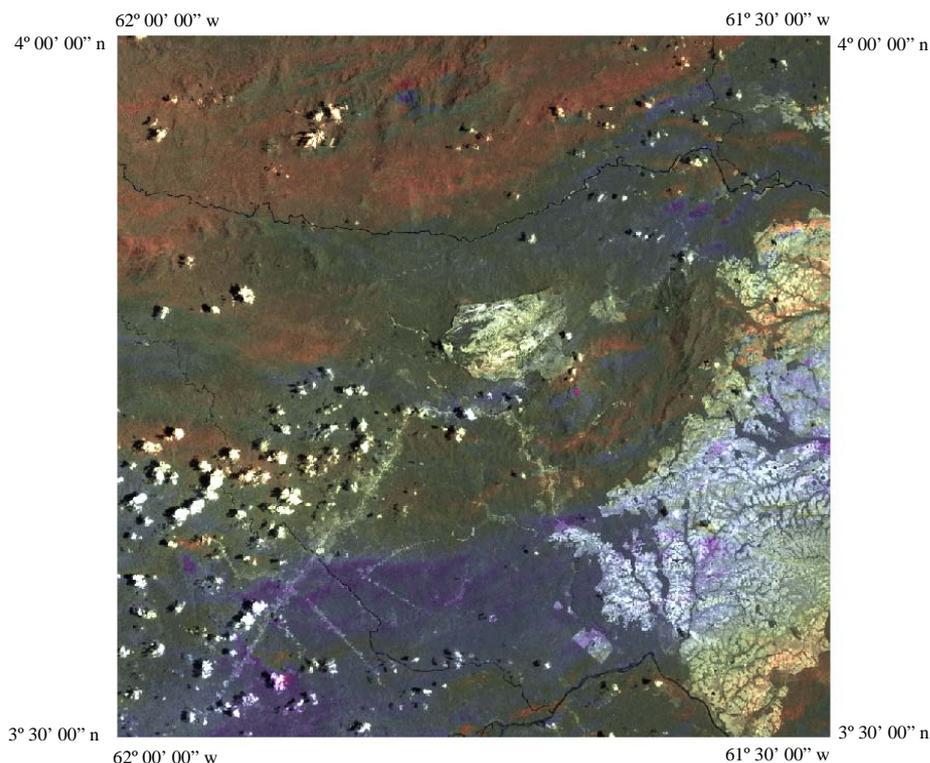


Figura 4.36 – Imagem integrada via Transformação IHS; onde I = Mantida; H = substituída pela imagem geofísica do canal de Magnetometria e S = substituída por Imagem sintética de DN=60 (opção 1).

Na imagem integrada com o canal de magnetometria, observa-se claramente a estruturação NE-SW, sendo identificadas 4 faixas de valores magnetométricos, que aumentam gradativamente de noroeste para sudeste até o centro sul da folha. Como os dados magnéticos correspondem, essencialmente, ao comportamento dos corpos rochosos em sub-superfície, as diferenças de coloração observadas retratam esses corpos e a estruturação regional da área, enquanto as imagens resultantes da integração com os canais gamaespectrométricos refletem os solos ou rochas aflorantes.

4.4 – Descrição das Unidades Fotolitológicas Interpretadas e Comparação dos Resultados com o Conhecimento Geológico Atual.

Neste trabalho, estão sendo propostas algumas alterações para a cartografia geológica da folha Vila de Tepequém. Com a combinação das informações de fotoanálise e classificação das imagens integradas, foi gerado um mapa geológico fotointerpretado que apresenta novas informações ao conhecimento geológico da região.

Foram identificadas, através da fotointerpretação, vinte e duas (22) zonas homólogas correlacionadas a catorze (14) unidades litológicas (figura 4.37). Seis dessas unidades interpretadas foram analisadas e correlacionadas às litologias já conhecidas e cartografadas da área de estudo (vide figura 2.6 na pág. 18). As oito unidades em que a correlação não pôde ser efetuada podem corresponder a litologias ainda não cartografadas ou a sub-fácies das litologias existentes.

A tabela abaixo apresenta as unidades reconhecidas e suas características gamaespectrométricas. Foi possível a identificação de corpos com altos valores de Tório, Urânio, Potássio e contagem total, ainda não correlacionados às unidades geológicas já cartografadas, aqui denominados como unidade A (1). Tais corpos apresentam uma coloração branca na imagem ternária, o que permitiu sua identificação.

Número	Nome	CT	K	Th	U
1	Unidade A	Alto	Alto	Alto	Alto
2	Unidade B	Alto	Médio Baixo	Alto	Alto
3	Unidade C	Baixo	Médio Baixo	Médio Baixo	Baixo
4	Unidade D	Alto	Alto	Médio Baixo	Médio Alto
5	Unidade E	Baixo	Médio Baixo	Baixo	Médio Baixo
6a	Cuarane 1	Baixo	Médio Baixo	Baixo	Baixo
6b	Cuarane_2	Médio Alto	Médio Baixo	Médio Alto	Médio
6c	Cuarane_2a	Médio	Médio Baixo	Médio Baixo	Médio
6d	Cuarane_3	Alto	Alto	Médio Alto	Médio
7	Formação Tepequém	Baixo	Médio Baixo	Médio	Médio Baixo
8	Unidade F	Baixo	Médio Baixo	Médio Baixo	Baixo
9a	Pedra Pintada	Médio	Alto	Médio	Médio Baixo
9b	Pedra Pintada 2	Médio	Médio Baixo	Médio Baixo	Médio Baixo
9c	Pedra Pintada 3	Médio	Alto	Médio Baixo	Médio Baixo
10a	Saracura_1	Médio Alto	Médio Alto	Médio Alto	Médio
10b	Saracura_2	Médio Alto	Médio Alto	Médio Alto	Alto
10c	Saracura_3	Alto	Alto	Médio Alto	Médio Alto
10d	Saracura_4	Baixo	Médio	Médio Baixo	Médio
11	Surumu	Médio Alto	Médio	Médio Baixo	Médio
12	Urariquera	Médio	Médio	Médio Baixo	Médio Baixo
13	Unidade G	Alto	Médio Baixo	Alto	Alto
14	Unidade H	Baixo	Médio Baixo	Médio Alto	Médio Baixo

Tabela 4.1 - Unidades litoestratigráficas fotointerpretadas e suas características gamaespectrométricas.

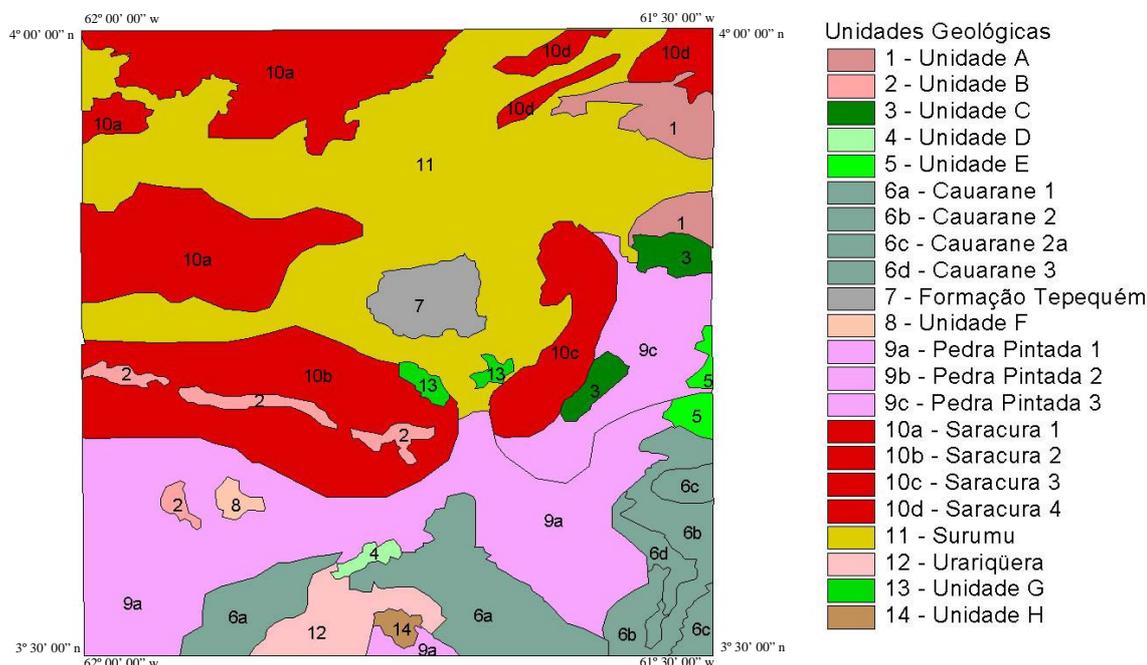


Figura 4.37– Mapa fotogeológico interpretado através dos dados integrados de gamaespectrometria e imagens de satélite.

Os corpos da unidade B (2) apresentam altos valores de Tório, Urânio e Contagem Total e valores médios a baixos de Potássio, de formato linear e direção E-W. Tais corpos encontram-se englobados pelos da Suíte Intrusiva Saracura.

A unidade C (3) exibe baixos valores de Urânio e Contagem Total e valores médios a baixos de Potássio e Tório. Ocorrem na porção leste da folha em contato com os corpos da Suíte Intrusiva Pedra Pintada.

Corpos com altos valores de Potássio e Contagem Total, valores médios a altos de Urânio e valores médios a baixos de Tório, de formato linear e direção NE-SW foram aqui cartografados como unidade D (4). Ocorrem em contato com os corpos da Suíte Intrusiva Pedra Pintada, do Complexo Urariqüera e do Grupo Cauarane.

Em contato com a Suíte Intrusiva Pedra Pintada e o Grupo Cauarane foram identificados corpos com baixos valores de Tório e Contagem Total e valores médios a baixos de Potássio e Urânio, na porção leste da folha. Tais corpos foram cartografados como unidade E (5).

Os corpos relacionados ao Grupo Cauarane apresentam características gamaespectrométricas diversas, podendo ser identificadas quatro zonas homólogas (6a, 6b, 6c e 6d) de características distintas entre si e que podem corresponder às diversas litologias que compõem este grupo. Quando comparados com o mapa geológico de REIS e ALMEIDA, 2002, os corpos identificados como 6a, são correlacionados aos paragnaisses e os corpos 6b, 6c e 6d podem ser correlacionados aos metacherts.

A formação Tepequém (7) apresenta valores baixos de contagem total, valores variando de médios a baixos de Urânio e Potássio e valores médios de Tório. Sua delimitação foi efetuada principalmente através da fotointerpretação das imagens de satélite.

O corpo pertencente à Unidade F (8) apresenta valores baixos de Contagem Total e Urânio e valores médios a baixos de Tório e Potássio. Na imagem ternária U, Th, K em RGB, ele apresenta uma cor escura.

Os corpos pertencentes à Suíte Intrusiva Pedra Pintada (9a, 9b e 9c) apresentam valores médios de Contagem Total, altos e médio baixo de Potássio, médios e médios baixos de Tório, e valores médios baixos de Urânio. Ocorrem em toda porção sul da área de estudo.

Foi possível uma melhor identificação dos corpos relacionados à Suíte Intrusiva Saracura (10 a e 10d) e a identificação de corpos correlacionáveis a essa unidade que ainda não haviam sido cartografados (10b).

Os corpos localizados na serra do Aricamã (10c) cartografados como Suíte Intrusiva Saracura possuem características gamaespectrométricas distintas dos demais corpos dessa unidade, o que permite a sua individualização como uma sub-fácies dessa unidade ou como uma outra unidade geológica.

As áreas cartografadas como Grupo Surumu (11) estão relacionadas a valores radiométricos médios de U, Th e K. Ocupa toda a porção norte da folha.

A área correlacionada ao Complexo Urariqüera (12) apresenta valores médios e médios baixos de Contagem Total, Urânio, Tório e Potássio; apresenta-se com uma coloração azul escura no mapa ternário.

Corpos com altos valores de Tório, Urânio e Contagem Total e valores médios a baixos de Potássio, de formato irregular, foram cartografados como unidade G (13). Tais corpos diferem-se daqueles da Unidade B pela sua coloração verde amarelada na imagem ternária.

A Unidade H (14) apresenta valores Baixos de Contagem Total, médios baixos de Potássio e Urânio e valores médios altos de Tório. Na imagem ternária, exibe uma cor esverdeada, o que possibilitou sua identificação.

5 - CONCLUSÕES

A integração de imagens utilizando-se a técnica de transformação IHS permitiu gerar produtos que reúnem as melhores informações espectrais das imagens multiespectrais e geofísicas. As imagens integradas apresentam uma excelente discriminação das informações espectrais e espaciais e resultam em um produto híbrido que traduz com maior fidelidade as variações litológicas da área de estudo.

Após analisar e discutir os resultados conseguidos pela metodologia de integração utilizada, foram obtidas as seguintes conclusões:

A transformação dos dados originais de aerogeofísica no formato XYZ, para um formato que possa ser trabalhado pelo software SPRING não é direta, o que requer que sejam feitas algumas transformações intermediárias até o formato final.

Dentro da proposta de trabalho, o software SPRING mostrou-se eficaz para os trabalhos desenvolvidos, notadamente na confecção dos Modelos Digitais de Terreno e nos processamentos digitais das imagens, tornando-o uma ferramenta adequada para essas atividades, principalmente em virtude de ser um software de livre distribuição.

As imagens LANDSAT 7 ETM+ quando utilizadas individualmente apresentam limitações na discriminação litológica das unidades devido à presença da cobertura vegetal sua aplicabilidade mostrou-se eficaz na discriminação das serranias que fazem parte da região em estudo, principalmente a serra do Tepequém.

As imagens geofísicas geradas para este trabalho foram avaliadas individualmente e permitiram a delimitação de regiões de diferentes características magnéticas (Campo Total) e gamaespectrométricas, notadamente, os canais de Tório, Contagem Total e a composição U, Th e K em R, G e B (ternário), que permitiram uma

melhor definição dos contatos litológicos. A classificação automática em intervalos de cores nas imagens em tons de cinza auxiliou grandemente essa definição.

A integração através da transformação no espaço IHS constitui-se numa técnica eficiente para gerar um produto final que detém informações obtidas por diferentes sensores. O conjunto de bandas utilizado do sensor ETM + foi o 5, 4 e 3 em R, G e B e os melhores canais de geofísica foram os de Campo Total (magnetometria), Tório e Contagem Total (Gamaespectrometria).

Devido ao espaçamento das linhas de vôo do aerolevante, as imagens geofísicas foram geradas com uma resolução espacial de 125 metros. Como as imagens multiespectrais possuem uma resolução espacial de 30 metros, o SPRING permitiu que as imagens híbridas geradas pudessem ter essa mesma resolução, o que facilita bastante a interpretação visual das mesmas.

Na transformação IHS, como técnica de integração, os componentes I, H e S foram gerados a partir das bandas 5, 4 e 3. Das três opções avaliadas, aquela em que o componente I foi mantido original, o componente H foi substituído pelos canais geofísicos e o componente S foi substituído pelas imagens sintéticas de DN constante igual a 60 foi a que apresentou melhores resultados na integração.

Foram identificadas, através da fotointerpretação, vinte e duas (22) zonas homólogas correlacionadas a catorze (14) unidades litológicas. Seis dessas unidades interpretadas foram analisadas e correlacionadas às litologias já conhecidas e cartografadas da área de estudo. As oito unidades em que a correlação não pôde ser efetuada podem corresponder a litologias ainda não mapeadas ou a sub-fácies das litologias existentes.

As unidades geológicas já conhecidas tiveram suas características geofísicas parametrizadas, o que possibilita uma correlação destas com aquelas existentes em outras áreas do Estado de Roraima.

Através da integração das imagens com o dados magnéticos, observou-se uma nítida estruturação regional de direção NE-SW na área de estudo.

Constatou-se a validade da técnica de integração de dados geofísicos e multiespectrais através da Técnica de integração IHS, como auxiliar aos mapeamentos geológicos, devendo essa metodologia ser utilizada nas etapas iniciais dos projetos, direcionando as campanhas de campo, tornando-as mais efetivas, curtas e econômicas.

6 – BIBLIOGRAFIA

- ALMEIDA FILHO, R. E VITORELLO, I. (1993). Uso combinado de imagens LANDSAT e fotografias aéreas na discriminação espectral de áreas de alteração hidrotermal: Uma nova abordagem em pesquisa mineral. In: SIMP. BRAS. SENS. REMOTO, 7°, Curitiba, 1993. Anais ... p.145-147.
- ALMEIDA, F.F.M. & HASUI, Y. (1984). Introdução. In: ALMEIDA & HASUI (Coord.). O Pré-cambriano do Brasil. São Paulo.Ed. E. Blucher Ltda., p.1-5.
- ALMEIDA, M.E., FERREIRA, A.L., PINHEIRO, S. da S. (2001). Principais Associações Graníticas do Oeste do Estado de Roraima. In: SBG/Núcleo Norte, Simp. Geol. Amaz., 7, Belém, PA. Sessão Workshop II, 4 p.
- ALMEIDA, M.E., FRAGA, L.M.B., MACAMBIRA, M.J.B. (1997). New geochronological data of calc-alkaline granitoids of Roraima State, Brazil. In: South-American Symposium on Isotope Geology, Campos do Jordão, Resumo: 34-37
- ALMEIDA, M.E., REIS, N.J. (1999). Granito Tipo S. In: CPRM (ed.); Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Roraima Central, Folhas NA.20-X-B e NA.20-X-D (integrais), NA.20-X-A, NA.20-X-C, NA.21-V-A e NA.21-V-C (parciais). Escala 1:500.000. Estado de Roraima. Superintendência Regional de Manaus, Capítulo 3 – 3.4
- ARANTES, J.L., MANDETTA, P. (1970). Reconhecimento Geológico dos rios Urariqüera, Aracaçá, Parima e Uauaris. DNPM. Relatório Inédito (s. ident.), Boa Vista, T.F. de Roraima
- ARAÚJO NETO, H. & COSTI, H.T. (1979). Projeto Tapuruquara II. BRASIL/MME/DNPM. Manaus. Conv. DNPM/CPRM, Relatório Final. 2 vol., inédito.

- ARAÚJO NETO, H. & COSTI, H.T. (1980). Suíte ígnea Tapuruquara. Estratiformismo da Amazônia. In: CONGR. BRAS. GEOL., 31º, Camboriú, 1980. Anais. Camboriú. SBG,v.4, p. 1918-1932.
- ARAÚJO NETO, H. & MOREIRA, H.L. (1976). Projeto Estanho Abonari. BRASIL/MME/DNPM. Manaus. Conv. DNPM/CPRM. Relatório Final. vol. 2, 232p., inédito.
- ARAÚJO NETO, H. de, BONOW, C. de W., AMARAL, J.A.F. de, CARVALHO, V.G.D. de (1977). Projeto Tapuruquara; Relatório Final. Manaus. DNPM/CPRM, vol.I, il.
- BARBOSA, O., RAMOS, J.R. de A. (1959). Território do Rio Branco, Aspectos Principais da Geomorfologia, da Geologia e das Possibilidades Minerais de sua Zona Setentrional. Rio de Janeiro. Boletim da Div. Geol. Min., **196** : 1-49
- BASEI, M.A.S., TEIXEIRA, W. (1975). Geocronologia do Território de Roraima. In: Conf. Geol. Interguianas, 10, Belém, Anais: 453-473
- BERRANGÉ J.P., DEARLNEY R. (1975). The Apoteri Volcanic Formation: Tholeiitic Flows in the North Savannas Graben of Guyana and Brazil. Geol. Rundsch., **64** (3): 883-899
- BERRANGÉ, J.P. (1973). A Synopsis of the Geology of Southern Guyana. Rep. Photogeol. Unit, Overseas Div., Inst. Geol. Sci., London, no. 26, 16 p. (não-publicado)
- BICHO, C.P. (1994). Processamento digital de imagens aerogeofísicas, LANDSAT/TM e radar na Folha Presidente Médici/RO com ênfase na caracterização metalogenética da Suíte Granítica Rio Pardo. Dissertação de Mestrado. Área de Metalogênese. IG/UNICAMP. Campinas, São Paulo, 103p.
- BOMFIM, L.F.C., RAMGRAB, G.E., UCHÔA, I.B., MEDEIROS, J.B. de, VIÉGAS FILHO, J. de R., MANDETTA, P., KUYUMJIAN, R.M., PINHEIRO, S. da S. (1974). Projeto Roraima; Relatório Final. Manaus, DNPM/CPRM, vol. IA-D e II
- BONFIM, L.F.C.; RAMGRAB, G.E.; UCHÔA, I.B.; MEDEIROS, J. B.; VIÉGAS FILHO, J. R.; MANDETTA, P.; KUYUMJIAN, R.M. & PINHEIRO, S.S. (1974). Projeto Roraima. BRASIL. MME. DNPM. Manaus. Conv. DNPM/CPRM. Relatório Final, vol. 1-A, inédito.

- BORGES, F.R., D'ANTONA, R. de J.G. (1988). Geologia e Mineralizações da serra Tepequém. In: SBG, Congr. Bras. Geol., 35, Belém, Anais, 1: 155-163
- BRANDÃO, R. de L., FREITAS, A.F. de F. 1994. Serra do Ajarani. Folha NA.20-X-C-VI. Relatório Final. Manaus, CPRM, MME, 153 p.,il.
- BRAUN, O.P.G. (1973). Projeto Roraima. 2ª Fase. Levantamento geológico integrado. Relatório de mapeamento preliminar ao milionésimo. DNPM/MME/Manaus. DNPM/CPRM, 218p.
- BRAUN, O.P.G., RAMGRAB, G.E. (1972). Geologia do Território de Roraima. In: SBG, Congr. Bras. Geol., 26, Belém, Anais, 2: 68-70
- CARMELO, A. C. (1994). Integração de imagens TM/LANDSAT-5 e gamaespectrométricas no estudo geológico do Complexo Caiamar, na região de Crixás-GO. Dissertação de Mestrado nº 94, IG/ UnB, Brasília, Junho, 1994, 63p.
- CARMELO, A.C. & CARVALHO, A.S. (1993). Realce digital para o greenstone belt de Crixás, Goiás. In: SIMP. BRAS. SENS. REMOTO, 7º, Curitiba, 1993. Anais...MTC. INPE.SELPER.SBC, vol. 3, p. 182-187.
- CARVALHO, A. S. (1997). Integração de imagens de RADAR/JERS-1, TM/LANDSAT-5 e geofísicas para o mapeamento geológico da porção nordeste de Roraima, Brasil. Inst. Geociências, Universidade de Brasília. Belém, Tese de Doutorado, 245 p.
- CORDANI, U.G., NEVES, B.B.B. 1982. The Geologic Evolution of South America During the Archean and Early Proterozoic. Rev. Bras.Geociências, 12 (1-3): 78-88
- CORDANI, U.G., SATO, K. 1999. Crustal evolution of the south american platform, based on Nd isotopic systematics on granitoid rocks, Episodes, 22 (3): 167-173
- COSTA, J.A.V. (1999). Tectônica da Região Nordeste do Estado de Roraima. Inst. Geociências, Universidade Federal do Pará. Belém, Tese de Doutorado, 315 p.
- COSTA, J.B.S., HASUI, Y (1991). O quadro geral da evolução tectônica da Amazônia. In. Simp. Nac. Estudos Tectônicos, , Rio Claro, UNESP: 142-145.
- COSTA, J.B.S., HASUI, Y (1997). Evolução geológica da Amazônia, In. Contribuições à Geologia da Amazônia, Belém.

- COSTA, J.B.S., PINHEIRO, R.V.L, REIS, N.J., PESSOA, M.R., PINHEIRO, S. da S. (1991). O Hemigráben do Tacutu, uma Estrutura Controlada pela Geometria do Cinturão de Cisalhamento Güiana Central. *Geociências*, **10**: 119-130
- COSTA, J.B.S., REIS N.J., PINHEIRO S.da S., PESSOA M.R. (1991). Organização litoestrutural do Mesoproterozóico do extremo norte do Estado de Roraima. In: SBG, Simp. Geol. Amaz., 3, Belém, Anais: 179-192
- COSTI, H.T. (1985). Uma sugestão acerca de um novo posicionamento e nova denominação estratigráfica para as rochas máficas do tipo Tapuruquara (Noroeste do Amazonas e Oeste do Território Federal de Roraima). In: SIMP. GEOL. AMAZÔNIA, 2º, Belém. Anais...SBG/N.Norte, vol. 1, p.340-349.
- COSTI, H.T. (1985). Uma Sugestão acerca de um Novo Posicionamento e Nova Denominação Estratigráfica para as Rochas Máficas Tipo Tapuruquara (Noroeste do Amazonas e Oeste do Território Federal de Roraima). In: SBG/Núcleo Norte, Simp. Geol. Amaz., 2, Belém, Anais, **1**: 340-349
- CROSTA, A.P. (1992). Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto. 1ª.Ed. Campinas, São Paulo. IG/UNICAMP, 170p.
- DARDENE, M, A, SHOBENHAUS, C (2001) Metalogênese do Brasil. UNB/CPRM, Brasília.
- DIAS, R. R., Paradella, W, R, (1997) Integração de dados aéreos gamaespectrométricos com imagens TM-LANDSAT no mapeamento geológico da área do Pojuca, Província Mineral de Carajás. *Revista Brasileira de Geofísica*, vol 15 (1), 23-33.
- DRURY, S.A. (1987). *Image interpretation in Geology*. London., Allen & Unwin Ed., 243p.
- DRURY, S.A., WALKER, A, S, D, (1987). Display and enhancement of gridded aeromagnetic data of the Solway Basin, *International Journal of Remote Sensing*, 8 (10): 1433-1444.
- ELIASON, P.T.; DONOVAN,T.J. & CHAVEZ, P.S. (1983). Integration of geologic, geochemical and geophysical data of the Cement oil field, Oklahoma, using spatial array processing. *Geophysics*, Vol. 48, no. 10, p. 1305-1317.

- FARIA, M.S.G. de, LUZARDO, R., OLIVEIRA, M.J.R. (1999). Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Caracará, Folhas NA.20-Z-B e NA.20-Z-D (integrais), NA.20-Z-A, NA.21-Y-A, NA.20-Z-C e NA.21-Y-C (parciais). Escala 1:500.000. Estado de Roraima. CPRM Superintendência Regional de Manaus. Capítulo 3 – 3.6
- FRAGA, L.M.B. (1999). Geologia Estrutural. In: CPRM (Ed.); Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Roraima Central, Folhas NA.20-X-B e NA.20-X-D (integrais), NA.20-X-A, NA.20-X-C, NA.21-V-A e NA.21-V-C (parciais). Escala 1:500.000. Estado de Roraima. CPRM. Superintendência Regional de Manaus, Capítulo 4
- FRAGA, L.M.B., ARAÚJO, R.V. de (1999). Suíte Intrusiva Mucajaí. In: CPRM (ed.); Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Roraima Central, Folhas NA.20-X-B e NA.20-X-D (integrais), NA.20-X-A, NA.20-X-C, NA.21-V-A e NA.21-V-C (parciais). Escala 1:500.000. Estado de Roraima. CPRM. Superintendência Regional de Manaus, Capítulo 3 - 3.13.
- FRAGA, L.M.B., ARAÚJO, R.V. de (1999). Suíte Intrusiva Pedra Pintada. In: CPRM (ed.); Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Roraima Central, Folhas NA.20-X-B e NA.20-X-D (integrais), NA.20-X-A, NA.20-X-C, NA.21-V-A e NA.21-V-C (parciais). Escala 1:500.000. Estado de Roraima. CPRM. Superintendência Regional de Manaus, Capítulo 3 - 3.6.
- FRAGA, L.M.B., ARAÚJO, R.V. de (1999). Suíte Intrusiva Saracura. In: CPRM (ed.); Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Roraima Central, Folhas NA.20-X-B e NA.20-X-D (integrais), NA.20-X-A, NA.20-X-C, NA.21-V-A e NA.21-V-C (parciais). Escala 1:500.000. Estado de Roraima. CPRM. Superintendência Regional de Manaus, Capítulo 3 - 3.8.
- FRAGA, L.M.B., HADDAD, R.C., REIS, N.J. (1997). Aspectos Geoquímicos das Rochas Granitóides da Suíte Intrusiva Pedra Pintada, Norte do Estado de Roraima. *Rev.Bras.Geociências*, 27 (1): 3-12
- FRAGA, L.M.B., REIS, N. J. (1996). A Reativação do Cinturão de Cisalhamento Güiana Central durante o Episódio K'Mudku. In: SBG, Congr. Bras. Geol., 39, Salvador, BA, Anais 1: 424-426

- FRAGA, L.M.B., REIS, N. J., ARAÚJO, R. V., HADDAD R. C. (1996). Suíte Intrusiva Pedra Pintada - Um Registro do Magmatismo Pós-colisional no Estado de Roraima. In: SBG, Simp. Geol. Amaz., 5, Belém, PA. Anais: 76-78
- FRAGA, L.M.B., REIS, N.J., PINHEIRO, S. DA S. (1994). Serra Tepequém: Uma Estrutura Relacionada à Inversão da Bacia Roraima, Estado de Roraima. In: SBG, Congr. Bras. Geol., 38, Camboriú, Anais, 2: 294-295
- FRANCO, E, M, S, DEL'ARCO, J, O, RIVETTI, M, (1975). Geomorfologia da Folha NA.20- Boa Vista e parte das Folhas NA.21-Tumucumaque e NB.20-21-Roraima. In: BRASIL. DNPM. Projeto RADAMBRASIL, Rio de Janeiro, Levantamento de Recursos Naturais, vol.8, il.
- GAUDETTE, H.E., OLSZEWSKI, JR. W.J., SANTOS, J.O.S. (1996). Geochronology of Precambrian Rocks from the Northern Part of Guiana Shield, State of Roraima, Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*. 9 (3-4): 183-195
- GIBBS, A.K. & BARRÓN, C.N. (1993). The geology of the Guiana Shield. Oxford Monographs on Geology and Geophysics. Oxford University Press, New York, 2:246p.
- GRASTY, R.L.; GLYNN, J.E. & GRANT, J.A. (1985). The analysis of multichannel airborne gamma-ray spectra. *Geophysics*, vol. 50, no.12, p. 2611-2620.
- HADDAD, R.C., REIS, N.J., FARIA, M.S.G. de, FRAGA, L.M.B. (1999). Caracterização Faciológica Preliminar dos Granitóides e Rochas Vulcânicas da Porção Nor-Nordeste de Roraima. In: SBG, Simp. Geol. Amaz., 6, Manaus, AM. Resumos Expandidos: 523-526
- HARRIS, J.& MURRAY, R. & HIROSE, T. (1990). IHS transform for the integration of radar imagery with other remotely sensed data. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. ASPRS, vol.56, nº 2, p.1631-1641.
- HASUI Y., (1990). Neotectônica e aspectos fundamentais da tectônica ressurgente no Brasil. In: Workshop sobre neotectônica e sedimentação cenozóica continental no sudeste brasileiro. Belo Horizonte, Anais: 1-31
- HASUI Y., HARALYI N.L., SCHOBENHAUS C. (1984). Elementos Geofísicos e Geológicos da Região Amazônica: Subsídios para o Modelo Geotectônico. In: Simp. Amaz., 2, Manaus, AM. Anais: 129-147

- LILLESAND, T.M. & KIEFER, R.W. (1987). Remote sensing and image interpretation. 2ª Ed., John Willey and Sons Ed., New York.
- LOPES, E, S., (2002). Zoneamento Ecológico-Econômico da Região Central do Estado de Roraima. CPRM/Governo do Estado de Roraima. CPRM, Manaus, Hidroclimatologia, Manaus.
- LUZARDO, R., REIS, N.J. (2001). O Grupo Cauarane (Estado de Roraima): uma breve revisão litoestratigráfica. In: SBG/Núcleo Norte, Simp. Geol. Amaz., 7, Belém, Workshop II: 43-45
- MACAMBIRA, M.J.B. LAFON, J, M, (1995). Geocronologia da província mineral de Carajás: síntese dos dados e novos desafios. Bol. Museu Paraense Emilio Goeldi., Série Ciências da Terra, 7: 263-288.
- MAIA, M, A, M, DANTAS, M, E, (2002). Zoneamento Ecológico-Econômico da Região Central do Estado de Roraima. CPRM/Governo do Estado de Roraima. CPRM, Manaus, Geomorfologia, Manaus.
- MANDETTA, P. (1970). Datações Geocronológicas de rochas do Território Federal de Roraima. DNPM. São Paulo. Relatório Inédito, 14 p.
- MARTINI, J.M. (1995). Análise integrada de dados aplicada ao estudo metalogenético da Serra dos Carajás-PA. Dissertação de Mestrado, DGM/IG-UNICAMP, Campinas, SP, 1995, 125p.
- MELO, A. F.F.de; SANTOS, A.J. dos; CUNHA, M.T.P. da; CAMPOS, M.J.F.de & D'ANTONNA, R. de J.G. (1978). Projeto Molibdênio em Roraima. In: BRASIL/MME.Conv. DNPM/CPRM. Manaus. Relatório Final, vol. I-B.
- MENESES, P.R. (1986). Avaliação e seleção de bandas do sensor "THEMATIC MAPPER" do LANDSAT-5 para discriminação de rochas carbonáticas do Grupo Bambuí como subsídio ao mapeamento de semidetalhe. Tese de Doutorado, IG/USP, São Paulo, 1986, 233p.
- MENESES, P.R.; ASSAD, E.D. & SANO, E.E. (1991). Introdução ao Processamento de imagens de satélites de sensoriamento remoto. Textos Universitários. Brasília, Universidade de Brasília, 96p.
- MENEZES FILHO, N.R. de (1988). Relatório de Excursão (Projeto Caburaí, Estado de Roraima). CPRM, Salvador, Bahia, Relatório Interno, 25 p., il.

- MIRANDA, F.P.; BENTZ, C.M.; FONSECA, L.E.N.; LIMA, C.C.; NUNES, K.C.; COSTA, A.R.A.; ALMEIDA F^O., R. & FELGUERAS,C.A. (1992). Integração digital de dados de sensoriamento remoto, aeromagnetometria e topografia na definição do arcabouço estrutural do rio Uatumã (Bacia Amazônica). In: CONGR. BRAS. GEOL.,37, São Paulo, 1992. Anais...SBG, Boletim de resumos Expandidos, p. 165-166.
- MONTALVÃO, R.G.M.; MUNIZ, M. de B.; ISSLER, R.S.; DALL'AGNOL, R.; LIMA, M.I.C.; FERNANDES, P.E.C.A. & SILVA, G.G. da (1975a). Geologia da Folha NA.20- Boa Vista e parte das Folhas NA.21-Tumucumaque e NB.20-21-Roraima. In: BRASIL. DNPM. Projeto RADAMBRASIL, Rio de Janeiro, Levantamento de Recursos Naturais, vol.8, il.
- MOREIRA, M. A; (2001). Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação, São José dos Campos: INPE, 250p.
- MUNIZ, M.de B. & DALL'AGNOL, R. (1974). Geologia do Território Brasileiro nas Folhas Boa Vista (NA.20), Roraima (NB.20/21) e parte da Folha Tumucumaque (NA.20). In: CONGR.BRAS.GEOL., 28°, Porto Alegre,1974.Anais...SBG.P.Alegre, vol.4, p.247-267.
- NOVO, E. M. L. de M. (1989). Sensoriamento Remoto. Princípios e Aplicações. Ed. Edgard Blucher Ltda. 309p., São Paulo, Brasil.
- PARADELLA, W.R. & BIGNELLI, P. A. (1995). Radar em aplicações geológicas. DSR/INPE Texto de apoio a cursos de treinamento, 22p.
- PARADELLA, W.R. & DUTRA, L.V. (1980). Filtragens digitais de imagens LANDSAT como técnica de auxílio visual na fotointerpretação geológica. In: CONG. BRAS. GEOL, 31, Camboriú, 1980. Anais... Camboriú, p. 1765-1770.
- PARADELLA, W.R. (1993). Radar em aplicações geológicas: os experimentos SAREX na Província Mineral de Carajás (Pará) e AIRSAIR no Vale do Rio Curaçá (Bahia). In: SIMP. BRAS. SENS. REMOTO, 7°, Curitiba, 1993. Anais... MTC/INPE/SELPER/SBC, vol.3, p.282-294.
- PARADELLA, W.R.; BIGNELLI, P.A.; VENEZIANI, P.; PIETSCH, R.W. & TOUTIN, T. (1997a). Airborne and spaceborne SAR integration with TM/Landsat and gamma ray spectrometry for geological mapping in a tropical

forest environment, the Carajás Mineral Province, Brazil. *INTERN. JOURNAL. OF REMOTE SENSING*, Vol. 18, no. 07, p. 1483-1501.

PARADELLA, W.R.; SILVA, M.F.F. da; ROSA, N. de A. & GOUVEIA, J.L. (1990) Aplicação de dados de sensores remotos integrados com modelo digital de elevação na pesquisa geobotânica na Serra de Carajás. In: *CONGR. BRAS. GEOL.*, 36, Natal, 1990. Anais... Natal, SBG, p.2394-2403.

PETRI, S., COIMBRA, A.M., AMARAL, G., OJEDA Y OJEDA, H., FÚLVARO, V.J., PONÇANO, W.L. (1986). Código Brasileiro de Nomenclatura Estratigráfica. *Rev.Bras.Geociências*, 16: 372-415

PINHEIRO S. da S., NUNES A.C.B., COSTI H.T.,YAMAGUTI H.S., FARACO M.T.L., REIS N.J., MENEZES R.G. DE, RIKER S.R.L., WILDNER W. (1981). Projeto Catrimâni-Uraricoera: Relatório de Progresso. Manaus, DNPM/CPRM, 3v.

PINHEIRO, S. da S. & REIS, N.J. (1990). Geologia da região de Caburai, nordeste de Roraima. In: *BRASIL/DNPM/CPRM*. Brasília. Texto Explicativo. Idade e Correlação do Supergrupo Roraima, Cap. 1, Parte II, p. 13-15.

PINHEIRO, S. da S. & REIS, N.J. (1994). Os terrenos metavulcanossedimentares do Estado de Roraima. In: *SIMP. GEOL. AMAZÔNIA*, 4º, Belém,1994. Boletim de Resumos Expandidos... SBG/N.Norte, Belém, p. 30-32.

PINHEIRO, S.da S.; RICKER,S.R.L.; YAMAGUTI, H.S; MENESES, R. G. & REIS, N. J. (1981). Projeto Catrimani-Uraricoera. Relatório de Progresso. DNPM/CPRM, Manaus,vol. I-A.

RADAMBRASIL (1975). Projeto RADAMBRASIL, Folha NA.20 - Boa Vista e parte das folhas NA.21 - Tumucumaque, NB.20 - Roraima e NB.21. Geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. DNPM/, Vol. 8, 428p.

RAMGRAB, G.E., BOMFIM, L.F.C., MANDETTA, P. (1972). Projeto Roraima. 2a. Fase. Relatório Final. Manaus, DNPM/CPRM, 38 p.

REIS N.J., FARIA M.S.G. de, AGUIAR C.J.B. 2002. Zoneamento Ecológico-Econômico da Região Central do Estado de Roraima. CPRM/Governo do

- Estado de Roraima. CPRM, Manaus, Geologia e Recursos Minerais, Manaus, 90 p., il.
- REIS, N.J. & FRAGA, L.M.B. (1995). Granitogênese mesoproterozóica da porção central do Estado de Roraima - Petrologia e Litogeoquímica. In: CONGR. LATINOAMERICANO GEOL., 9^a, Caracas, 1995. Temário... Caracas, Venezuela, 7p.
- REIS, N.J. & FRAGA, L.M.B. (1996). Vulcanismo Surumu - Estado de Roraima: Caracterização de seu comportamento químico à luz de novos dados. In: CONGR. BRAS. GEOL., 39, Salvador, 1996. Anais... Salvador, BA, SBG, v. 2 , p. 88-91.
- REIS, N.J. (1999). Formação Tepequém. In: CPRM (ed.); Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Roraima Central, Folhas NA.20-X-B e NA.20-X-D (integrais), NA.20-X-A, NA.20-X-C, NA.21-V-A e NA.21-V-C (parciais). Escala 1:500.000. Estado de Roraima. CPRM. Superintendência Regional de Manaus, Capítulo 3 - 3.14
- REIS, N.J., ARAÚJO, R.V. DE (1999). Complexo Vulcânico Apoteri. In: CPRM (ed.); Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Roraima Central, Folhas NA.20-X-B e NA.20-X-D (integrais), NA.20-X-A, NA.20-X-C, NA.21-V-A e NA.21-V-C (parciais). Escala 1:500.000. Estado de Roraima. CPRM. Superintendência Regional de Manaus, Capítulo 3 - 3.15
- REIS, N.J., CARVALHO, A. de S. (1996). Coberturas sedimentares do Mesoproterozóico do Estado de Roraima. Avaliação e discussão de seu modo de ocorrência. Rev.Bras.Geociências, 26 (4): 217-226
- REIS, N.J., FARIA, M.S.G. DE, AGUIAR, C.J.B. (2002). Zoneamento Ecológico-Econômico da Região Central do Estado de Roraima. CPRM/Governo do Estado de Roraima. CPRM, Manaus, Geologia e Recursos Minerais, Manaus, 90 p., il.
- REIS, N.J., FARIA, M.S.G. de, ALMEIDA, M, E, (2002); Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Folhas NANB.20. Escala 1:1.000.000. CPRM.
- REIS, N.J., FARIA, M.S.G. DE, MAIA, M.A.M. (2001). O Quadro Cenozóico da Porção Norte-Oriental do Estado de Roraima. In: SBG, Simp. Geol. Amaz., 7, Sessão Temática XIII... Belém, Pará, p. 44-47

- REIS, N.J., FRAGA, L, M, B (2000); Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Roraima Central, Folhas NA.20-X-B e NA.20-X-D (integrais), NA.20-X-A, NA.20-X-C, NA.21-V-A e NA.21-V-C (parciais). Escala 1:500.000. Estado de Roraima. CPRM. Superintendência Regional de Manaus, Capítulo 3 - 3.14
- REIS, N.J., FRAGA, L.M.B. (1996). Vulcanismo Surumu- Estado de Roraima: Caracterização de seu comportamento químico à luz de novos dados. In: SBG, Congr. Bras. Geol., 39, Salvador, Anais, 2: 88-90
- REIS, N.J., FRAGA, L.M.B. (1998). Geologia do Estado de Roraima. Publicação Interna, Inédito, CPRM, Manaus, 24 p., il.
- REIS, N.J., HADDAD, R.C. (1999). Grupo Surumu. In: CPRM (ed.); Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Roraima Central, Folhas NA.20-X-B e NA.20-X-D (integrais), NA.20-X-A, NA.20-X-C, NA.21-V-A e NA.21-V-C (parciais). Escala 1:500.000. Estado de Roraima. CPRM. Superintendência Regional de Manaus, Capítulo 3 - 3.7
- REIS, N.J., NUNES, N.S. de V., PINHEIRO, S. da S. (1994). A Cobertura Mesozóica do Hemigraben Tacutu - Estado de Roraima. Uma abordagem ao Paleo-ambiente da Formação Serra do Tucano. In: SBG, Congr. Bras. Geol., 38, Camboriú, SC. Anais: v.3, 234-235
- REIS, N.J., PINHEIRO, S. da S., COSTI, H.T., COSTA, J.B.S. (1990). A Cobertura Sedimentar Proterozóica Média do Supergrupo Roraima no Norte do Estado de Roraima, Brasil: Atribuições aos seus Sistemas Depositionais e Esquema Evolutivo da sua Borda Meridional. In: SBG, Congr. Bras. Geol., 36, Natal, RN, Anais: 66-81
- REIS, N.J., PINHEIRO, S. da S., CARVALHO, J.E. (1985). Subdivisão litoestratigráfica da Formação Suapi - Grupo Roraima, Território Federal de Roraima. In: SBG, Simp. Geol. Amaz., 2, Belém, Pará, Anais: v.1, 408-420
- REIS, N.J., SANTOS, J.O.S., RIKER, S.R.L., PESSOA, M.R., PINHEIRO, S. da S. (1991). A Cobertura Sedimentar Roraima na serra das Surucucus - Enfoque a seus Ambientes Depositionais. In: SBG, Simp. Geol. Amaz., 3, Belém, Pará. Anais: 361-370

- REIS, N.J., SOUZA, C.J.M. (1984). Aspectos Petroquímicos de Básicas/Ultrabásicas Arqueanas no Território Federal de Roraima. In: SBG, Congr. Bras. Geol., 33, Rio de Janeiro, Anais: 2680-2696
- REIS, N.J., YÁNEZ, G. (1999). Estratigrafia do Bloco Sedimentar Pacaraima (BSP) ao longo da Fronteira Brasil – Venezuela (Santa Elena de Uairén – Monte Roraima). In: SBG/Núcleo Norte, Simp. Geol. Amaz., 6, Manaus, AM. Resumos Expandidos: 427-430
- REIS, N.J., YÁNEZ, G. (2001). O Supergrupo Roraima ao longo da Faixa Fronteiriça entre Brasil e Venezuela (Santa Elena de Uairén - Monte Roraima). In: N.J. Reis & M.A.S. Monteiro (ed.). Contribuição à Geologia da Amazônia, volume 2, Manaus, SBG/Núcleo Norte, p. 115-147
- REIS, N.J.; FRAGA, L.M.B. & PINHEIRO, S. S.(1994). Reconhecimento geológico da região do alto Rio Uatatás - Setor Oeste do Estado de Roraima. In: SIMP. GEOL. AMAZÔNIA, 4º, Belém, 1994. Bol. Res. Exp...SBG/N.Norte, p. 33-35.
- REIS, N.J.; PINHEIRO, S. S. & CARVALHO, J.E. (1985). Subdivisão litoestratigráfica da Formação Suapi - Grupo Roraima - Território Federal de Roraima. In: SIMP. GEOL. AMAZÔNIA, 2º, Belém, 1985. Anais...SBG/N.Norte, Belém, vol. 1, p.408-420.
- REIS, N.J.; PINHEIRO, S. S. ; COSTI, M.T. & COSTA, J.B.S. (1990). A cobertura sedimentar Proterozóica Média do Supergrupo Roraima no nordeste do Estado de Roraima: Atribuições de seus sistemas deposicionais e esquema evolutivo da sua borda meridional. In: CONGR. BRAS. GEOL., 30º, Natal, 1990. Anais...SBG, vol. 1, p.
- REIS, N.J.; SANTOS, J.O.S.; RIKER, S.R.L.; PESSOA, M.R. & PINHEIRO, S. S. (1991). A cobertura sedimentar Roraima na serra dos Surucucus - Enfoque a seus ambientes deposicionais. In: SIMP. GEOL. AMAZÔNIA, 3º, Belém, 1991. Anais...SBG/N.Norte, vol. único, p. 361-370.
- RIKER, S.R.L., ARAÚJO, R.V. DE, REIS, N.J. (1999a). Grupo Cauarane. In: CPRM (ed.); Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Roraima Central, Folhas NA.20-X-B e NA.20-X-D (integrais), NA.20-X-A, NA.20-X-C, NA.21-V-A e NA.21-V-C (parciais). Escala 1:500.000. Estado de Roraima. CPRM. Superintendência Regional de Manaus, Capítulo 3 - 3.3

- RIKER, S.R.L., MILLIOTTI, C., REIS, N.J. (1999b). Suíte Máfica-Ultramáfica Urucicaá. In: CPRM (ed.); Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Roraima Central, Folhas NA.20-X-B e NA.20-X-D (integrais), NA.20-X-A, NA.20-X-C, NA.21-V-A e NA.21-V-C (parciais). Escala 1:500.000. Estado de Roraima. CPRM. Superintendência Regional de Manaus, Capítulo 3 - 3.10
- ROLIM, S.B.A. & PARADELLA, W.R. (1993). IHS: Uma técnica de processamento digital para integração de dados de geofísica e de sensoriamento remoto. In: CONGR. INTERN. SOC. BRAS. GEOF., 3º, Rio de Janeiro. Anais..., vol 2, p. 1019-1024.
- ROLIM, S.B.A. (1993). Avaliação do uso da Transformação IHS na integração de dados geofísicos (aeromagnetometria) e de sensoriamento remoto (TM/LANDSAT) para a investigação geológica na área de Pojuca (Serra dos Carajás, PA). Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto. São José dos Campos, INPE, 1993, 133.
- ROLIM, S.B.A.; PARADELLA, W.R.; VASCONCELLOS, R.M. & AZEVEDO, M.L.V. (1993). Metodologia para geração de imagens de geofísica: Uma contribuição a integração de dados na pesquisa mineral. SIMP. BRAS. SENS. REMOTO, 7º, Curitiba, 1993. Anais...vol. 3, p.315-322.
- SANTOS, J.O.S. & REIS NETO, J.M. (1982). Algumas idades de rochas graníticas do Cráton Amazônico. In: CONGR. BRAS.GEOL., 32º, Salvador,1982. Anais... SBG. Salvador, vol. 1, p.339-348.
- SANTOS, J.O.S. (1985). A subdivisão estratigráfica do Grupo Roraima. In: SIMP.GEOL. AMAZÔNIA, 2º , Belém. Anais... SBG/N.Norte. Belém, vol. 1, p.421- 431.
- SANTOS, J.O.S. (1999). New understanding of the Amazon Craton Gold Provinces. In: New developments in Economic Geology. Centre for Teaching and Research in Strategic Mineral Deposits. University of Western Australia. Perth, jan. 1999. 10 p.
- SANTOS, J.O.S., ARAÚJO, NETO H. de (1978). Algumas características químicas do magmatismo Parima/Tapuruquara. Acta Amazônica, 8 (4): 639-656.

- SANTOS, J.O.S., D'ANTONA, R. de J. G. (1984). A Formação Arai e a subdivisão do Grupo Roraima. In: SBG, Congr. Bras. Geol., 33, Rio de Janeiro, RJ. Anais: 1162-1173
- SANTOS, J.O.S., FARIA, M.S.G. DE, HARTMANN, L.A., MCNAUGHTON, N. (2002). The Age of Mapuera and Alalaú Magmatism in North-Central Amazon Craton, South America, based on SHRIMP U-Pb Geochronology of Zircons (no prelo)
- SANTOS, J.O.S., FARIA, M.S.G. DE, HARTMANN, L.A., MCNAUGHTON, N.J., FLETCHER, I.R. (2001). Oldest charnockite magmatism in the Amazon Craton: zircon U-Pb SHRIMP Geochronology of the Jaburu Charnockite, Southern Roraima, Brazil. In: SBG/Núcleo Norte, Simp. Geol. Amaz., 7, Belém. Sessão Workshop II, 4 p.
- SANTOS, J.O.S., HARTMANN, L.A., GAUDETTE, H.E., GROVES, D.I., MCNAUGHTON, N.J., FLETCHER, I.R. (2000). A New Understanding of the Provinces of the Amazon Cráton based on Integration of Field Mapping and U-Pb and Sm-Nd Geochronology. *Gondwana Research*, **3** (4): 453-488
- SANTOS, J.O.S., LOGUÉRCIO, S.O.C. (1984). A parte meridional do Cráton Amazônico (Escudo Brasil Central) e as Bacias do Alto Tapajós e Parecis-Alto Xingu. Texto Explicativo. In: SCHOBENHAUS, C. (Ed.), 1981. Mapa Geológico do Brasil e da Área Oceânica Adjacente. BRASIL/MME/DNPM, Brasília.
- SANTOS, J.O.S., OLIVEIRA, J.R. DE, SANTOS, A.J. DOS, ARAÚJO NETO, H. de (1977). Principais manifestações básicas não-orogênicas da Plataforma Amazônica. Manaus, CPRM, Relatório Inédito (s. Ident.), 132p.
- SANTOS, J.O.S., POTTER, P.E., REIS, N.J., HARTMANN, L.A, FLETCHER I.R., MCNAUGHTON, N.J. (2002). Age, source and Regional Stratigraphy of the Roraima Supergroup and Roraima-like Sequences in Northern South América, based on U-Pb Geochronology. *Geological Society of American Bulletin* (in press)
- SANTOS, J.O.S., POTTER, P.E., REIS, N.J., HARTMANN, L.A, MCNAUGHTON, N.J. (2001). Age and Regional Stratigraphy of the Roraima Supergroup and Roraima-like outliers in northern South America based on U-Pb

- geochronology. In: SBG/Núcleo Norte, Simp. Geol. Amaz., 7, Belém, PA. Sessão Workshop II, 4 p.
- SANTOS, J.O.S., REIS NETO, J.M. (1982). Algumas idades de rochas graníticas do Cráton Amazônico. In: Congr. Bras. Geol., 32, Salvador, BA. Anais: v.1, 339-348
- SANTOS, J.O.S., REIS, N.J., HARTMANN, L.A., MCNAUGHTON, N., FLETCHER, I. (1999). Associação Anortosito-Charnockito-Rapakivi no Calimiano do Norte do Cráton Amazônico, Estado de Roraima, Brasil: Evidências da Geocronologia U-Pb (SHRIMP) em Zircão e Baddeleyita. In: SBG, Simp. Geol. Amaz., 6, Manaus, AM. Resumos Expandidos: 502-505
- SANTOS, J.O.S., REIS, N.J., HARTMANN, L.A., MCNAUGHTON, N.J. (2000). Age of Roraima Group and Roraima-like sequences in the Northern Amazon Craton. In: Int. Geol. Congr., 31, Rio de Janeiro, RJ, Expanded Abstract
- SANTOS, J.O.S., REIS, N.J., PINHEIRO, S. S., COSTI, H.T. (1990). Formação Matauí. In: Pinheiro et al. 1990, Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Roraima Central, Geologia da Região de Caburáí , Nordeste de Roraima. Escala 1:100.000. Estado de Roraima. DNPM/CPRM. Superintendência Regional de Manaus, Capítulo 2 - 2.5.
- SANTOS, J.O.S., SILVA, L.C. DA, FARIA, M.S.G. DE, MACAMBIRA, M. (1997). Pb-Pb Single Crystal Evaporation Isotopic Study on the Post-Tectonic, Sub-Alkalic, A-type Moderna Granite (Mapuera Intrusive Suite), State of Roraima, Northern Brazil. In: In: Int. Symp. Granites and Assoc. Rocks (ISGAM), 2, Salvador, BA. Resumo: 273-275
- SANTOS, J.O.S.; BORGES, O.C.; VEIGA JR. J.P.; SILVA, S.L. & PESSOA, M.R. (1974). Projeto Norte Amazônia. Domínio Baixo Rio Negro. Relatório Inédito/Integrado, 15 vols. In: BRASIL/MME/DNPM, Manaus.Conv. DNPM/CPRM.
- SCHOBENHAUS, C., HOPPE, A., LORK, A., BAUMANN, A. (1994). Idade U/Pb do Magmatismo Uatumã no Norte do Cráton Amazônico, Escudo das Guianas (Brasil): Primeiros Resultados. In: SBG, Congr. Bras. Geol., 38, Camboriú, Anais, 2: 395-397

- SERRUYA, N, M., (2002). Zoneamento Ecológico-Econômico da Região Central do Estado de Roraima. CPRM/Governo do Estado de Roraima. CPRM, Manaus, Cobertura Vegetal e Áreas Alteradas, Manaus.
- SILVA, S.M.P. de (1991) Análise e integração de dados geológicos, TM/Landsat-5 e Aerogeofísicos da região de Irajá (PE) - NE do Brasil: Uma abordagem visando aplicações no mapeamento geológico e na prospecção mineral. Dissertação de Mestrado, INPE, São José dos Campos, abril de 1991, 174p.
- SNELLING, N.J., BERRANGÉ, J.P. (1970). The geochronology of Guyana; results obtained during the period 1966-1969, Geol. Survey Guyana. In: Guyana Geol. Conf., 8, Proceedings... Georgetown, British Guyana, IV, 20 p.
- SOARES, P.C. & FIORI, A.P. (1976). Lógica e sistemática na análise e interpretação de fotografias aéreas em geologia. *Notícia Geomorfológica*, 16(3):71-104.
- TASSINARI, C.C.G.(1981). Evolução geotectônica da Província Rio Negro-Juruena na Região Amazônica. Dissertação de Mestrado. IG/USP, São Paulo.
- TASSINARI, C.C.G.(1996). O mapa geocronológico do Cráton Amazônico no Brasil. Revisão dos dados isotópicos. Tese de Livre Docência. IG/USP, São Paulo.
- TASSINARI, C.C.G., MACAMBIRA, M, J, B, (1999). Geochronological provinces of the Amazonian Craton. *Episodes*, 22(3):174-182.
- TASSINARI, C.C.G.; SIGA JR., O. & TEIXEIRA, W. (1984). Épocas metalogenéticas relacionadas à granitogênese do Cráton Amazônico. In: CONGR. BRAS. GEOL., 33°, Rio de Janeiro. Anais...SBG, vol. 6, p. 2963-2977.
- TEIXEIRA, W. & BASEI. M.A.S. (1975). Geocronologia da Folha NA.21-Tumucumaque. Projeto RADAMBRASIL. Belém.Relatório Interno nº 45-G.
- TEIXEIRA, W. & TASSINARI, C.C.G. (1984). Caracterização geocronológica da Província Rondoniana e suas implicações geotectônicas. In: SYMPOSIUM. AMAZÔNICO, 2°, Manaus, 1984. Anais...BRASIL/MME/DNPM, Manaus, p.87-94.
- TEIXEIRA, W.; TASSINARI, C.C.G.; CORDANI, U.G. & KAWASHITA, K. (1989). A review of the geochronology of the Amazonian Craton: Tectonic Implications. *Precambrian Research*, 42:213-227.

- TELFORD, W.M.; GELDART, L.P.; SHERIFF, R.E. & KEYS, D.S. (1990). Applied geophysics. 2. Ed. New York. Cambridge University Press, 770p.
- TERUIVA, R, K, PARADELLA, W, R, SANTOS, A, R, (2003) Interpretação de produto integrado SAR aerotransportado (SAREX'92) e aerogameespectrométrico (canal contagem total) no mapeamento geológico do granito cigano, província mineral de Carajás-Pacombina In: VIII SIMP. GEOL. AMAZÔNIA, Manaus, 2003. Anais
- VALENTE, C. R. & VENEZIANI, P. (1993). Integração de dados Landsat, Slar, geofísicos e geoquímicos para elaboração de modelos de evolução tectônica e prospectivos na região de Minaçu - Palmeirópolis GO/TO. SIMP. BRAS. SENS. REMOTO, 7º, Curitiba, 1993. Anais ... p.358-367.
- VASCONCELLOS, R.M.; GOMES, R.D.; METELLO, M.J. & MOTTA, A.C. (1994). Levantamentos geológicos no Brasil em geofísica. CPRM/DIGEOP, 172p. Rio de Janeiro.
- VEIGA JR J. P., NUNES A. C. B., SOUZA E.C. de, SANTOS J.O.S., AMARAL J.E. do, PESSOA M.R., CRUZ S.A. de S. (1979). Projeto Sulfetos do Uatumã; Relatório final. Manaus, DNPM/CPRM, 6v.
- VENEZIANI, P. & ANJOS, C.E. (1982). Metodologia de interpretação de dados de sensoriamento remoto e aplicações em geologia. INPE, São José dos Campos, 1982, 45p.(INPE-227-MD/014).
- VITORELLO, I. (1995). Review of spectral properties of rocks, ore bodies and alteration products (range : 400 to 2500nm). SPECTEL 95, La Serena, Chile.
- YÁNEZ G.A. (1972). Província geológica de Roraima; geologia estrutural y geomorfologia de su parte septentrional entre los rios Paragua y Caroni, Venezuela. In: Congr. Geol. Venez., 4, Caracas, Venezuela. Memoria: Boletim 5, 2122-2131