

# Separação litológica e avaliação dos parâmetros do sensor através da análise por componentes principais em imagens RADARSAT-1 no Vale do Curaçá (BA)

Sheila Soraya Alves Knust<sup>1,2</sup>  
Waldir Renato Paradella<sup>2</sup>  
Athos Ribeiro dos Santos<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Serviço Geológico do Brasil – CPRM (Sureg-GO)  
Rua 148, nº485, Setor Marista - 74170-110 - Goiânia - GO, Brasil  
sknust@go.cprm.gov.br

<sup>2</sup> Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE  
Caixa Postal 515 - 12245-970 - São José dos Campos - SP, Brasil  
{waldir, athos}@dsr.inpe.br

**Abstract.** Synthetic aperture radar images have been successfully used as a tool in a whole variety of geological works and studies. These images enhance the topography (macro-topography) and superficial roughness (micro-topography), and also provide geological information for structures enhancement, rock types and geobotanical patterns. Therefore, the objective of this research was to evaluate the potential of set of RADARSAT-1 satellite images for extracting geological information. Images were acquired under different incidences angles, look directions and spatial resolution at the Curaçá River Valley region using the principal component analysis. This multivariate procedure had as the input channel one image in Fine mode and three images in Standard mode, all with the same pixel spacing. Then, correlation matrices, eigenvalues and eigenvectors were evaluated to characterize the influence of the sensor parameters (incidence angle and look directions variations) in targets discriminations. As a result, the visual analyses of principal component images satisfactorily delimited the main rock types and structures in the region and shows that the azimuth sight variation is more relevant than the incidence angle in this type of flat, semi-arid dry terrain with sparse caatinga vegetation with abundant residual soil exposure environment.

**Palavras-chave:** remote sensing, image processing, geology survey, SAR, sensoriamento remoto, processamento de imagem, mapeamento geológico.

## 1. Introdução

Dados de sensoriamento remoto têm sido utilizados como uma importante ferramenta no auxílio de diversas áreas de pesquisa. O desenvolvimento de novas tecnologias e de novos sensores capazes de coletar informações em diferentes porções do espectro eletromagnético, fornece subsídios importantes para o avanço da pesquisa científica, especialmente nas geociências.

Desta forma, estudos de cunho geológico envolvendo imageamento por radar são cada vez mais comuns. Tais imagens realçam a topografia (macro-relevo) e a rugosidade superficial (micro-topografia), além de fornecer valiosas informações geológicas como o realce de estruturas, de unidades litológicas e de padrões geobotânicos (Paradella et al., 1998).

Segundo Grunsky (2002), métodos como razão de bandas e subtração são eficazes para se comparar duas imagens, mas quando são comparadas três ou mais imagens deve-se utilizar técnicas multivariadas mais adequadas, como por exemplo a análise por componentes principais (ACP).

Neste contexto, imagens do satélite RADARSAT-1 de diferentes resoluções espaciais (modos *fine* e *standard*), com diferentes intervalos de incidência (S2, F2, S7) e diferentes azimutes de visada (ascendente e descendente) foram submetidas à técnica ACP no esforço de avaliar a capacidade de discriminação de unidades litológicas do Vale do Curaçá. Além disso, buscou-se através desta técnica, investigar os parâmetros sensor-alvo que possuem incremento na discriminação de rochas e de realces de estruturas.

A área selecionada, porção do baixo Vale do Rio Curaçá, localiza-se ao nordeste do estado da Bahia e encerra no seu substrato corpos máficos-ultramáficos com potencial para mineralização de cobre.

## 2. Fundamentação Teórica

A análise por componentes principais (ACP) baseia-se nas propriedades estatísticas multivariadas das imagens e fundamenta-se no fato de que os dados de sensoriamento remoto apresentam correlações, isto é, imagens visual e numericamente similares. A geração de componentes principais é uma técnica de realce que redistribui a informação das bandas originais gerando um novo conjunto de imagens com informações distintas entre elas (Mather, 1999).

Derivada da matriz de covariância ou da matriz de correlação entre as imagens, esta transformação resulta em um novo conjunto de imagens (componentes principais) onde cada valor de *pixel* é uma combinação linear dos valores originais. O número de componentes principais é igual ao número de imagens utilizadas e estas são ordenadas de acordo com o decréscimo da variância de nível de cinza. De um modo geral, a primeira componente principal irá conter a informação que é comum a todas as imagens originais analisadas, a segunda componente conterá a feição espectral mais significativa do conjunto, e assim por diante, com informações espectrais cada vez menos significativas à medida que se aumenta a ordem das demais componentes (Crósta, 1992; Mather, 1999).

Diversos trabalhos utilizaram-se da análise por principais componentes em imagens de radar para fins geológicos. Masuoka et al. (1988) aplicou a técnica de ACP nas imagem do SIR-B (*Shuttle Imaging Radar*) e do satélite SEASAT (*Sea Satellite*) em Mazinaw Lake (Canadá). Neste estudo, a ACP foi útil para combinar imagens com diferentes direções de visada e ângulos de incidência, a fim de auxiliar na extração de feições estruturais.

Moom et al. (1995) também realçaram as estruturas da região de Ontário (Canadá), baseada na técnica de ACP. Utilizando-se imagens ERS-1 e do sensor aerotransportado CCRSSs, os autores realçaram pequenas feições geológicas antes não identificáveis na imagem ERS-1.

Grunsky (2002) e Paganelli et al. (2003) obtiveram sucesso com esse tipo de processamento em imagens RADARSAT-1 em Alberta, Canadá. Como resultado, realçou-se a geomorfologia, estruturas geológicas e a variação da vegetação da região.

## 3. Materiais e Métodos

A transformação por componentes principais foi aplicada em todas as imagens de amplitude previamente corrigidas radiométrica e geometricamente. As principais características destas imagens são descritas na Tabela 1.

Esta técnica teve como canal de entrada a imagem *Fine* e as três imagens do modo *Standard*, todas com espaçamento de *pixel* igual (20m). Avaliou-se aqui as matrizes de correlação, auto-valores e auto-vetores, de forma a analisar a contribuição de cada imagem em cada componente principal gerada.

As componentes principais foram analisadas separadamente, bem como a melhor composição colorida RGB das mesmas.

Tabela 1 – Características das imagens utilizadas na pesquisa.

Satélite/Imagem	Data de Aquisição	Ângulo de Incidência	Resolução Espacial (m)	Sentido da Órbita	Azimute de iluminação
RADARSAT <i>Fine Mode</i> <i>Beam 2A</i>	27/set/03	39,2 – 42,5°	8,7 x 8,4	Ascendente	78°
RADARSAT <i>Standard Mode</i> <i>Beam 2A</i>	17/set/03	24 – 31°	22 x 27	Ascendente	78°
RADARSAT <i>Standard Mode</i> <i>Beam 7A</i>	14/out/03	45 – 49°	20,1 x 27	Ascendente	78°
RADARSAT <i>Standard Mode</i> <i>Beam 7D</i>	22/out/03	45 – 49°	20,1 x 27	Descendente	282°

#### 4. Resultados e Discussões

A Tabela 2 apresenta a matriz de correlação das imagens originais. Os valores desta tabela mostram que os dados não são muito correlacionados, de forma que cada imagem contribui de forma distinta devido às diferenças nos ângulos de incidência e azimutes de visada.

Tabela 2 – Matriz de correlação das imagens RADARSAT-1.

Imagem	F2A	S2A	S7A	S7D
F2A	1,000	0,574	0,618	0,530
S2A	0,574	1,000	0,656	0,608
S7A	0,618	0,656	1,000	0,631
S7D	0,530	0,608	0,631	1,000

Observa-se que o maior grau de correlação ( $r = 0,656$ ) ocorre com o par de imagens de mesmo feixe, mesmo azimute de visada e com o maior extremo de variação de ângulo de incidência (S2A/S7A). Por outro lado, a menor correlação ( $r = 0,530$ ) ocorre entre o par de imagens gerado de feixes distintos e com diferentes ângulos de azimute e incidência (F2A/S7D). Este resultado sugere que a variação de azimute de visada pode apresentar um papel mais relevante no controle das respostas dos alvos que a variação do ângulo de incidência.

A Tabela 3 apresenta os auto-vetores baseados na matriz de covariância. Essa matriz de coeficientes de auto-vetores descreve qual das imagens originais mais contribui na formação de cada componente principal, ou seja, a proporção que cada pixel de uma imagem original é somada para criar o novo valor de pixel para uma dada componente principal (Crósta, 1992). A representação gráfica dos auto-vetores, ou dos componentes principais, de forma a ilustrar a contribuição de cada canal original é ilustrado na Figura 1.

Tabela 3 – Matriz de auto-vetores ou de transformação, baseado na matriz de covariância.

	F2A	S2A	S7A	S7D
1° CP	0,500	0,401	0,563	0,520
2° CP	-0,745	0,059	0,006	0,663
3° CP	-0,427	0,147	0,737	-0,501
4° CP	0,103	-0,901	0,372	0,193

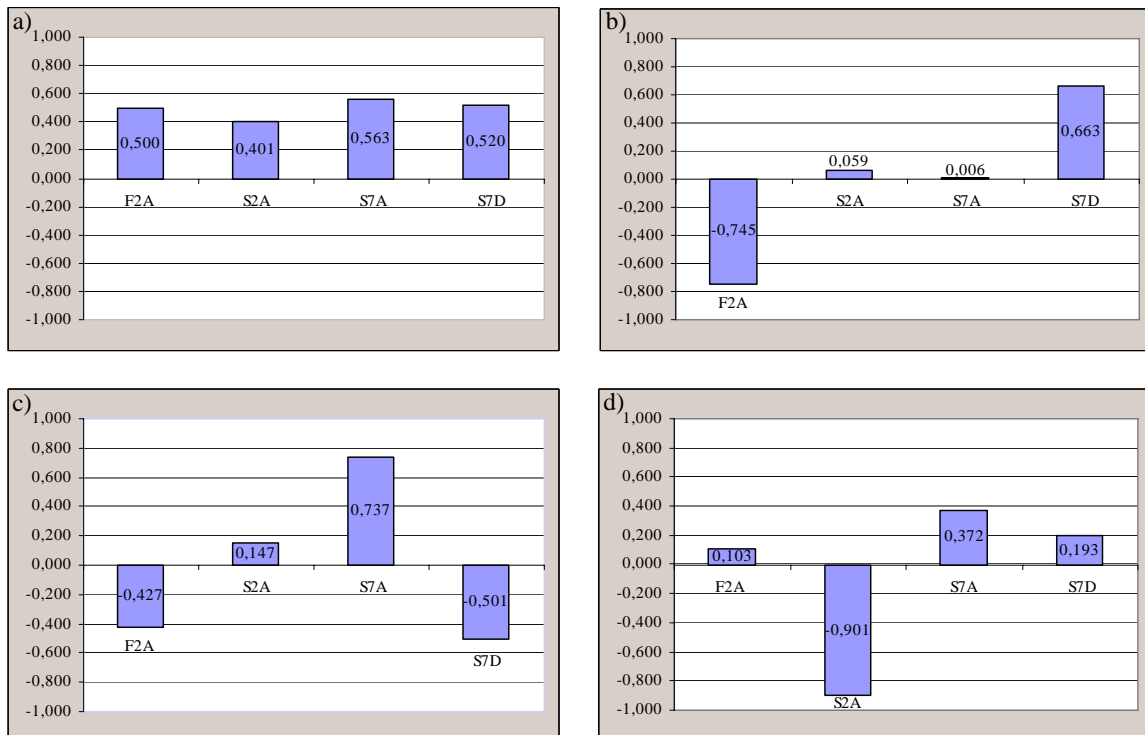


Figura 1 – Contribuições dos canais originais para a primeira (a), segunda (b), terceira (c), e quarta componente principal (d).

A tabela 4 apresenta os auto-valores após a transformação por componentes principais, a porcentagem de informação (variância) e a porcentagem de informação acumulada.

Tabela 4 – Autovalores dos novos canais, com as respectivas porcentagens de informação.

Componentes	Auto-Valor	Variância (%)	Variância acumulativa (%)
1° CP	2,096	70,53	70,53
2° CP	0,377	12,71	83,24
3° CP	0,287	9,66	92,9
4° CP	0,211	7,11	100

A Figura 2 ilustra as imagens resultantes da transformação por componentes principais. Estas imagens serão em seguida, discutidas e avaliadas segundo os mapas geológicos de referência (Anexo 1 e 2), a fim de se entender a contribuição das variações de ângulos de incidência e azimute de visada.

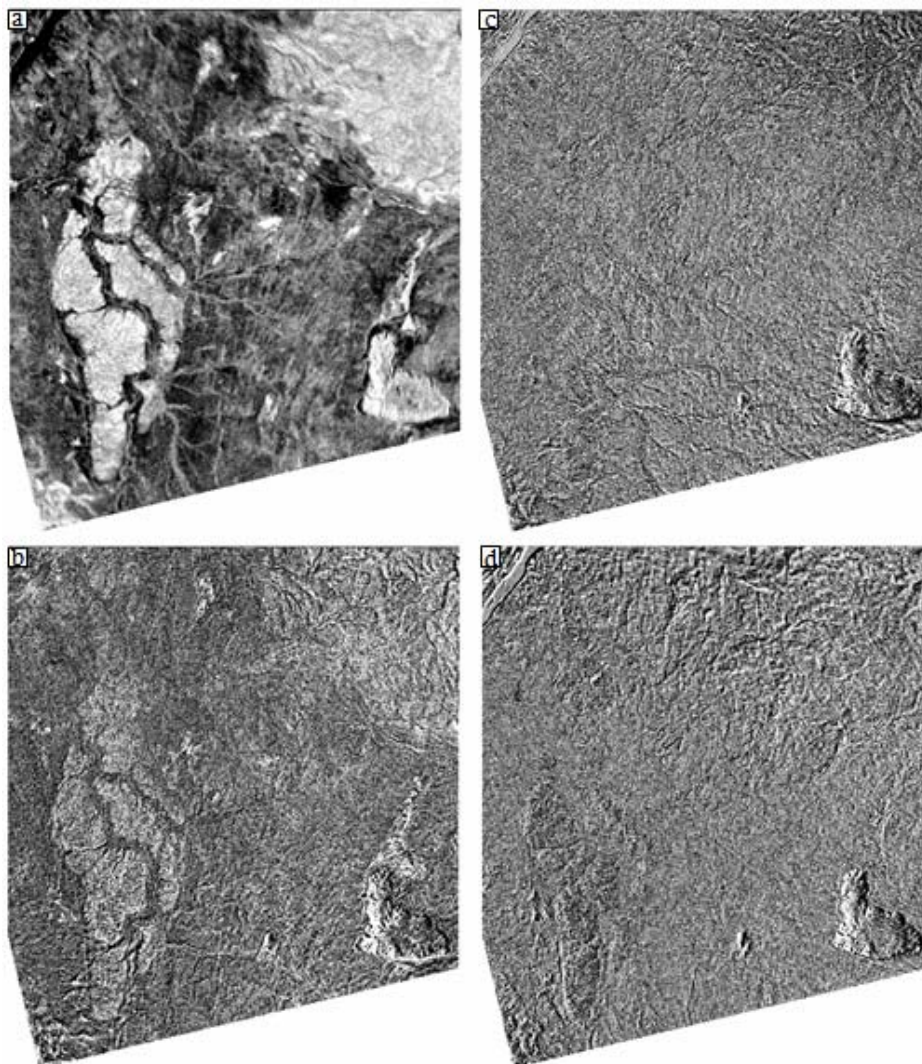


Figura 2 – Imagens componentes principais das imagens RADARSAT-1, modos F2A, S2A, S7A, e S7D. a) Primeira componente principal; (b) Segunda componente principal; (c) Terceira componente principal; (d) Quarta componente principal.

A primeira componente principal (CP1) contribui com 70,53% da variância total, e é influenciada pelas quatro imagens (F2A, S2A, S7A e S7D) de forma equivalente, como observado na Tabela 4, Figura 1-a. A imagem resultante desta primeira componente é ilustrada na Figura 2-a.

Em comparação com os mapas geológicos de referência (Delgado e Souza, 1975 ; Paradella, 1983) observa-se que esta componente distinguiu muito bem os principais litotipos da área de estudo, principalmente os que estão relacionados com a macro-topografia e com uma maior densidade de vegetação e rugosidade superficial.

O mica-xisto da Unidade Veneza, localizado nas porções leste e nordeste da área de estudo, ficou bastante realçado nesta imagem. As regiões com topografia elevada, tais como o mármore da Serra da Cana-Brava e do Serrote do Lajedo e o sienito gnáissico da Serra Redonda também foram bem delimitados nesta componente. Houve também, uma contribuição maior da primeira componente principal na área do biotita hiperstênio gnaíse, em relação ao migmatito (vide Anexo 1 e 2).

Na composição colorida R(CP-1) G(CP-2) B(CP-3), estas observações podem ser constatadas (Figura 3).

A área onde predomina a biotita hornblenda gnaiss também pode ser separada do migmatito através da análise visual desta componente. Essa região apresenta uma textura e tonalidade particular das porções adjacentes.

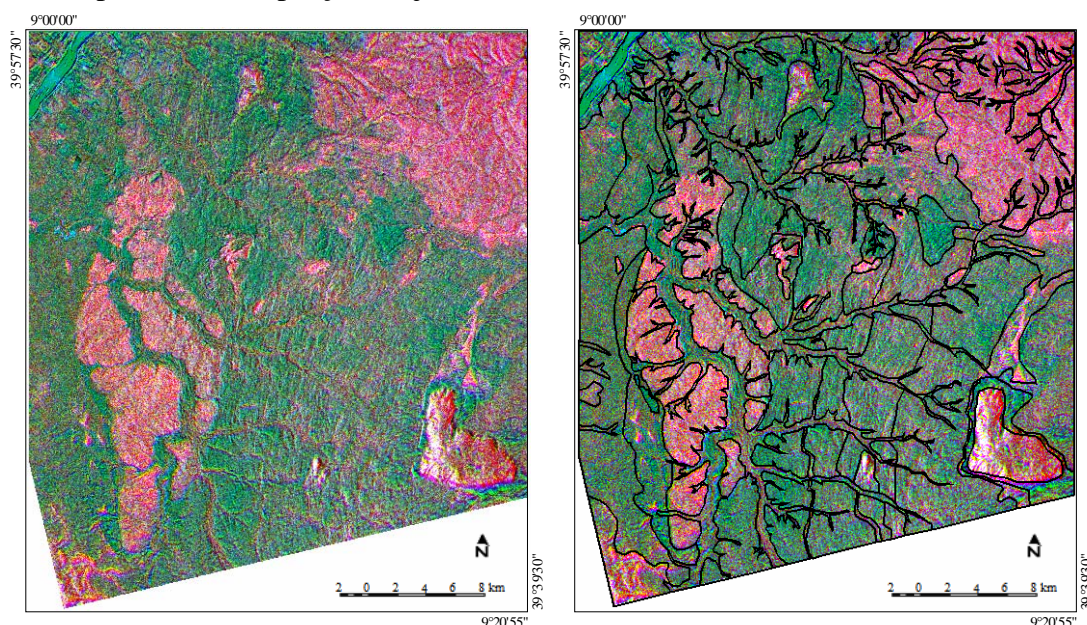


Figura 3 – Composição colorida R(CP-1) G(CP-2) B(CP-3), e demarcação dos litotipos.

A segunda componente principal (Figura 2-b), com 12,71% da variância total, mostra basicamente uma imagem de contraste entre F2A e S7D (Tabela 4, Figura 1-b), que são imagens de azimutes de visada distintos e incidências média (F2A) para alta (S7D). As imagens S2A e S7A contribuíram muito pouco na formação desta componente principal, perfazendo juntas aproximadamente 4,41% da informação.

A comparação entre a imagem da segunda componente principal (Figura 2-b) com os mapas de referência mostra uma pobre discriminação litológica quando comparado com as demais componentes. Entretanto, esta componente otimizou o realce das feições estruturais, tornando-a imprescindível para a identificação das feições topográficas relacionadas aos padrões estruturais da área.

Desta forma, esta segunda componente evidencia a importância do azimute de visada nas respostas detectadas pelo sensor. Isto é evidenciado pelo melhor realce das variações de topografia ligadas à declividade local, já que as estruturas são quase ortogonais aos azimutes de visada (ascendente e descendente).

Na terceira componente principal (Figura 2-c) (9,66% da variância total), prevalece a contribuição da imagem S7A (40,67% de influência), seguida da imagem S7D (27,65%), F2A (23,56%) e S2A (8,11%).

Esta componente mostra o contraste entre a contribuição de S7A versus as contribuições de S7D e subordinadamente de F2A (Tabela 4), de forma a realçar novamente a maior influência do azimute de visada em relação à variação do ângulo de incidência.

Assim como na segunda componente principal, nesta imagem os traços estruturais são bem marcados, de forma a complementar as informações da CP-2.

A quarta e última componente principal (Figura 2-d) representa 7,10% da variância total (Tabela 4). A contribuição relativa de cada imagem na formação desta componente principal mostra que a imagem S2A é a que mais se destaca (57,43% de influência), seguida das imagens S7A (23,71%), S7D (12,30%) e F2A (6,56%).

Esta imagem é dominada por S2A (visada mais verticalizada) e subordinadamente mostra a contribuição da variação das incidências (contraste de auto-vetores para S2A e S7A).

Visualmente a imagem é muito pobre, o que pode indicar uma relevância menor da influência da incidência no imageamento RADARSAT-1 na área.

Como a variância desta componente é ainda considerável, composições coloridas foram testadas com esta imagem, de forma que a região nordeste da área foi mais bem definida em termos estruturais que a CP-3. Entretanto, no restante da área, a composição CP-1 (R), CP-2 (G) e CP-3(B) foi a que melhor identificou as falhas, fraturas e foliações (Figura 3).

## 5. Conclusões

A análise por componentes principais mostrou ser uma técnica eficiente para o estudo da influência da variação do ângulo de incidência e azimute de visada das cenas RADARSAT-1. Os resultados possibilitaram uma boa identificação dos principais litotipos e estruturação da área de estudo, além da constatação que a variação do azimute de visada apresenta um papel mais relevante no controle das respostas dos alvos que a variação do ângulo de incidência para este tipo de ambiente. A segunda e a terceira componente principal confirmam esta evidência, uma vez que há um melhor realce das variações de topografia ligadas à declividade local.

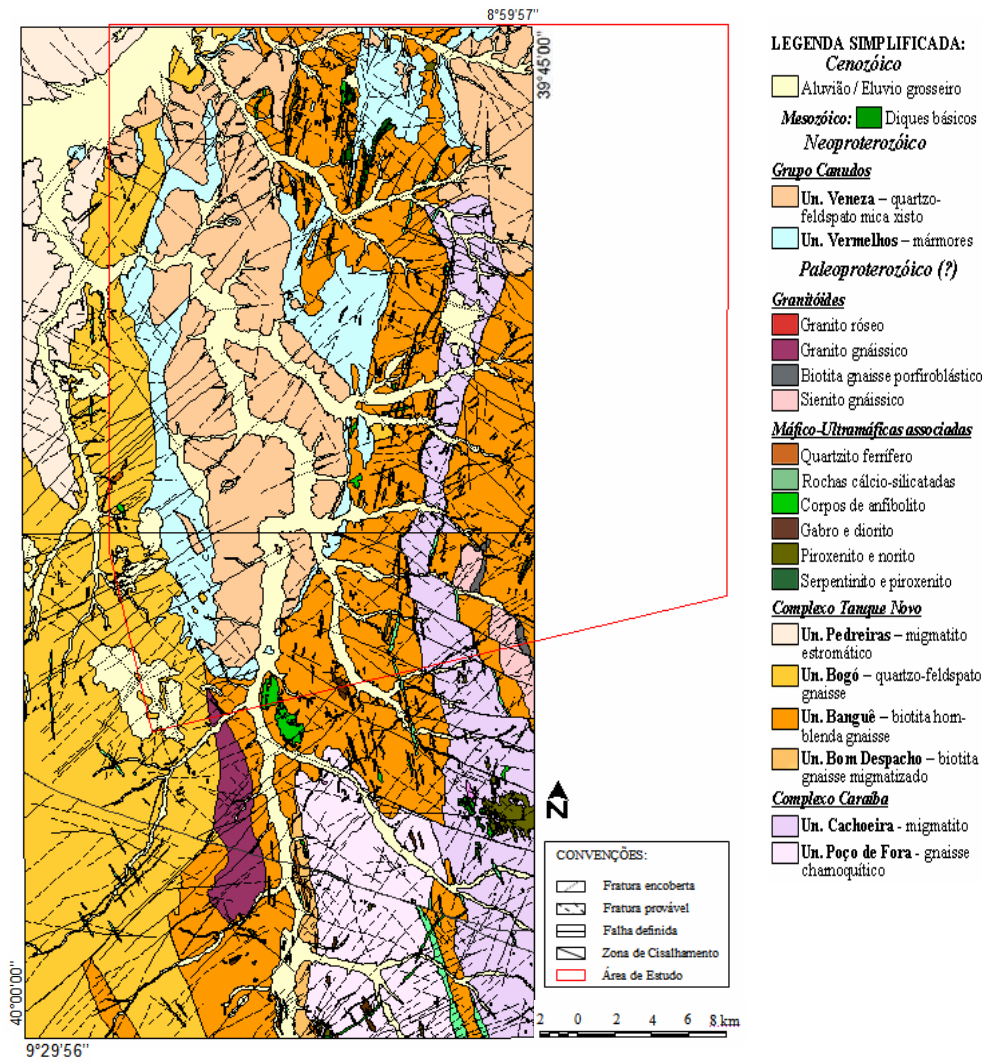
## Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro, ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) pelo apoio docente e instalações e ao Serviço Geológico do Brasil (CPRM) pelos dados geológicos e apoio a esta publicação. Este trabalho é parte da dissertação de mestrado do primeiro autor no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

## Referências Bibliográficas

- Crósta, A.P. **Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto**. Campinas: IG/UNICAMP, 1992. 170 p.
- Grunsky, E. C. The application of principal components analysis to multi-beam RADARSAT-1 satellite imagery: A tool for land cover and terrain mapping. **Canadian Journal of Remote Sensing**, v. 28, n. 6, p. 758-769, 2002.
- Masuoka, P.M.; Harris, J.; Lowman, P.D.; Blodget, H.W. Digital processing of orbital radar data to enhance geologic structure: examples from the Canadian Shield, **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 54, no. 5, p. 621-632, May 1988.
- Mather, P.M. **Computer processing of remotely-sensed images: an introduction**. 2 ed. London: John Wiley & Sons, 1999. 210 p.
- Moom, W.M.; Singhroy, V.; Yamauchi, Y.; Kuoda, R. Tectonic investigation of Nahanni earthquake area Northwest Territories (Canadá) using JERS-1 and ERS-1 SAR data. In: Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 10-14 jul 1995, Firenze, Italy. **Proceedings...** Firenze, Italy: INSPEC, 1995, p. 2197-2199. ISBN (0-7803-2567-2).
- Paganelli, F.; Grunsky, E.C.; Richards, J.R.; Pryde, R. Use of RADARSAT-1 principal component imagery for structural mapping: a case study in the Buffalo Head Hills area, northern central Alberta, Canada. **Canadian Journal of Remote Sensing**, v.29, p. 111-140, 2003.
- Paradella, W. R.; Santos, A. R.; Dall'Aggnol, R.; Pietsch, R. W.; Sant'Anna, M.V. A Geological Investigation Based on Airborne (SAREX) and Spaceborne (RADARSAT- 1) SAR Integrated Products in the Central Serra dos Carajás Granite Area, Brazil. **Canadian Journal of Remote Sensing**, v.21, n. 4, p. 376-392, 1998.

ANEXO 1 - Mapa geológico de referência do Vale do Rio Curaçá. Fonte: Delgado e Souza (1975).



ANEXO 2 - Mapa litológico de referência do Vale do Rio Curaçá. Fonte: Paradella, 1983.

