

## **Análise de produtos integrados utilizando imagens TM-Landsat, SAREX e dados aerogamaespectrométricos no reconhecimento geológico do Granito Cigano, Província Mineral de Carajás, PA**

ROSELY KIMIE TERUIYA  
WALDIR RENATO PARADELLA  
ATHOS RIBEIRO DOS SANTOS  
PAULO VENEZIANI  
EDSON RICARDO SOARES PEREIRA DA CUNHA

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais  
Caixa Postal 515 - 12201-097 - São José dos Campos-SP, Brasil  
{rosely, waldir, athos, paulo, edson}@itid.inpe.br

**Abstract** This paper discusses the generation of integrated products applied to geologic investigation in the Cigano Granite region located at the Carajás Mineral Province, Pará State. The analyzed products were TM-Landsat/SAREX that combines spectral responses with enhanced terrain morphology, and Gamma-ray/SAREX that facilitates a comparison between topographic and geophysical patterns. The integration technique was based on the IHS Transform which has demonstrated to be efficient for this type of application.

**Keywords:** Cigano Granite, data integration, SAREX, gamma-ray data

### **1 Introdução**

A Província Mineral de Carajás constitui-se uma das mais bem estudadas regiões do Cráton Amazônico e engloba importantes depósitos de Fe, Cu, Au e Mn. Os granitos anorogênicos, como o Cigano, representam uma das principais características da evolução proterozóica da Província Mineral de Carajás, como consequência do regime distensivo que afetou toda a Amazônia Oriental (Macambira e Lafon, 1995).

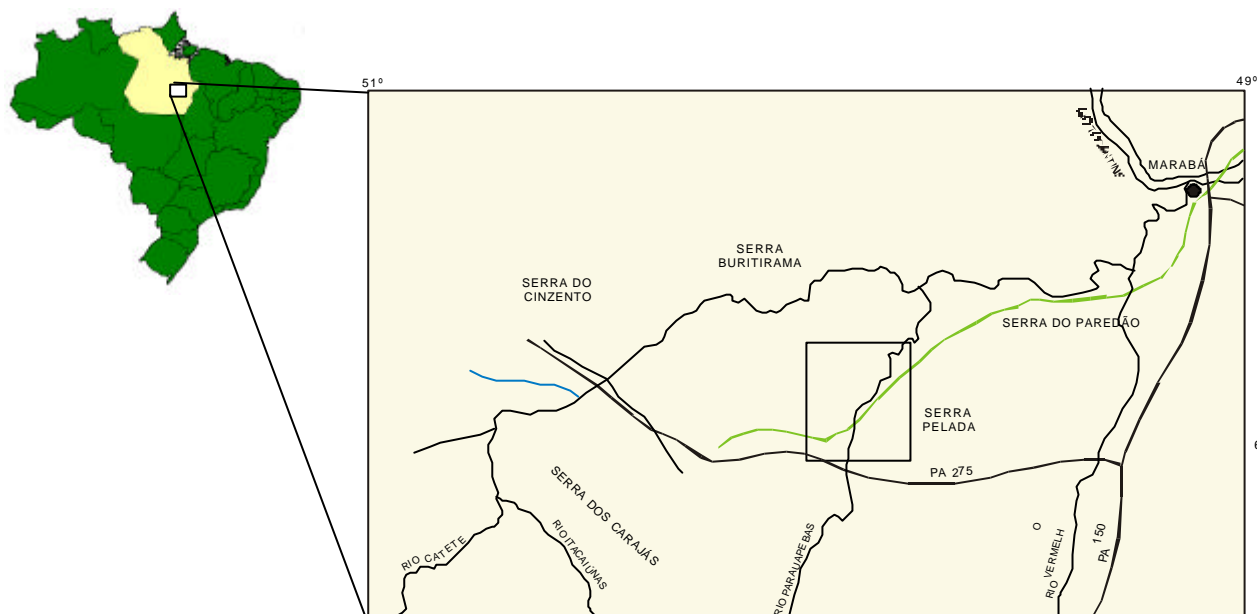
O Granito Cigano é um corpo anorogênico, com forma grosseiramente circular e homogeneidade composicional. A primeira referência sobre o maciço foi feita por Hirata et al. (1982) que correlacionou o corpo aos granitos intrusivos Serra dos Carajás. Dall’Agnol et al. (1986) no estudo sobre as rochas granitoides da porção sul da Amazônia Oriental, apresentaram pela primeira vez características petrográficas e petrológicas do Granito Cigano. Neste trabalho, os autores não conseguiram delimitar a dimensão do corpo, porém através do contato com as encaixantes concluíram que o granito possuía dimensões bem menores do que o mapeado por Hirata et al. (1982). Gonzalez et al. (1988) apresentaram a mais completa e detalhada publicação sobre o granito, identificando cinco fácies e suas datações radiométricas. Apesar destes estudos, a cartografia do maciço e suas encaixantes ainda é duvidosa devido ao difícil acesso a região, principalmente na porção leste da área.

Vários trabalhos de integração de dados multifontes têm sido realizados, principalmente a partir da década de 90, sempre apresentando resultados satisfatórios e contribuindo de forma pertinente aos estudos geológicos, especialmente na região de Carajás. Paradella et al. (1998) obtiveram resultados

inéditos no mapeamento do Granito Central através da integração de dados SAREX, RADARSAT, TM e Gama. A combinação de dados SAR/TM realçou as estruturas e também o controle geobotânico da área. A integração SAR/Gama reforçou a análise do SAR/TM e mostrou-se muito eficiente na discriminação de unidades, fornecendo novas informações geológicas para a caracterização de modelos exploratórios na região.

## 2 Localização e Geologia da Área

O maciço granítico Cigano localiza-se a nordeste da Serra dos Carajás, Estado do Pará. A área de estudo possui cerca de 1000 km<sup>2</sup>, englobando rochas do maciço e de seu entorno. Está localizada entre os meridianos 49°45' e 50°00' a oeste de Greenwich e os paralelos 5°50' e 6°05' de latitude sul, fazendo parte principalmente da folha SB-22-X-C-VI (Serra Pelada 1:100.000) e também da folha SB-22-Z-A-III (Rio Verde 1:100.000) (**Figura 1**).

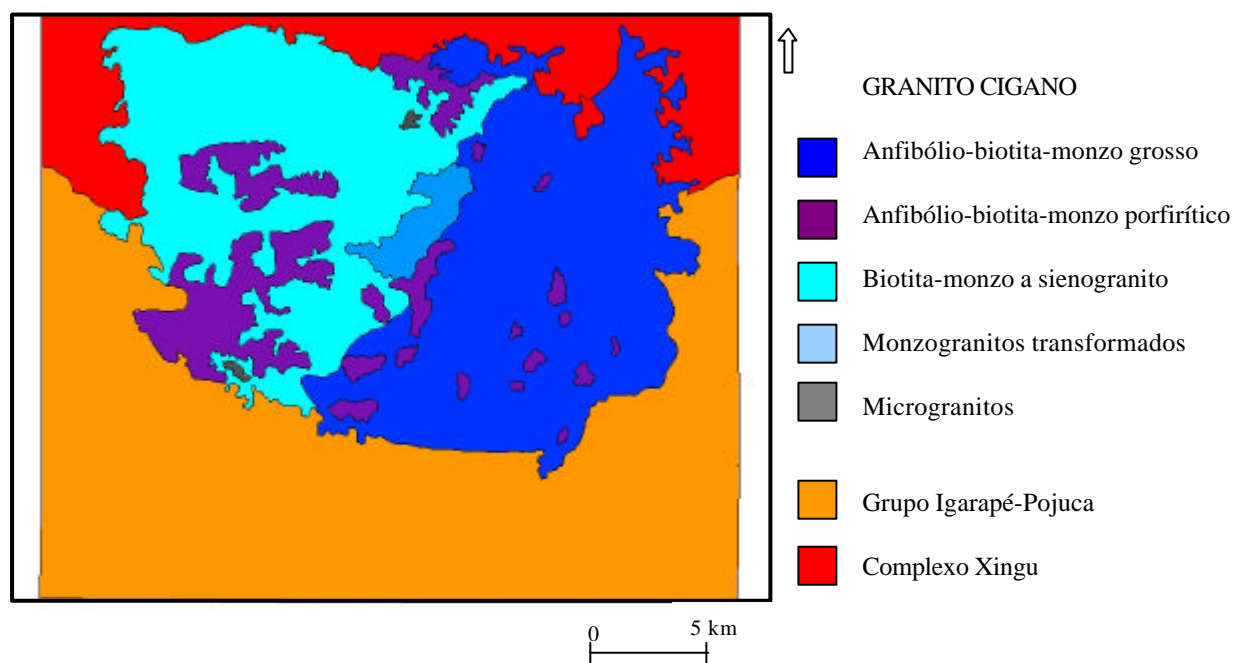


**Figura 1** – Localização da área

O Granito Cigano é o segundo maior plúton granítico proterozóico da região de Carajás e está localizado na porção leste do Sistema Cinzento. A intrusão corta rochas do Complexo Xingu e do Grupo Igarapé Pojuca (Pinheiro, 1997). O maciço constitui um batólito com cerca de 300 km<sup>2</sup>, tendo uma forma grosseiramente circular e eixos medindo aproximadamente 20 km na direção E-W e 15 km no sentido N-S. De acordo com Gonzalez et al. (1988), o maciço Cigano caracteriza-se por apresentar uma marcante homogeneidade composicional, sendo constituído por monzogranitos aos quais se associam subordinadamente rochas de natureza sienograníticas. As cinco fácies individualizadas foram: anfibólio-biotita-monzogranito grosso, anfibólio-biotita-monzogranito porfirítico, biotita-monzo a sienogranito, monzogranitos transformados e microgranitos (**Figura 2**).

Dall’Agnol et al.(1986) e Gonzalez et al. (1988) descrevem as encaixantes do granito como rochas pertencentes ao Complexo Xingu a norte, noroeste e extremo nordeste, Grupo Igarapé-Pojuca (antigo Grupo Pojuca) a sudeste e sudoeste, e Formação Águas Claras (antiga Formação Rio Fresco) a leste.

A idade de cristalização da intrusão através do método Rb/Sr em rocha total apresentou o valor de 1731 Ma (Gonzalez et al., 1988). Machado et al. (1991) ao utilizar o método U/Pb encontraram a idade de 1883 Ma, o que concorda com as datações de outros granitos anorogênicos associados, como Central de Carajás, Musa e Pojuca. Quanto ao tipo de granito, devido a similaridade com outros plutons, Dall’Agnol et al. (1987) sugerem ser um granito do tipo-A (gerado por anatexia crustal de rochas granulíticas), embora apresente características semelhantes ao Granito Jamon, classificado como tipo-I caledoniano (gerado por anatexia de rochas metaígneas de terrenos granito-greenstone) (Dall’Agnol et al., 1986).



**Figura 2** – Mapa litológico do Granito Cigano (modificado de Gonzalez et al.,1988).

### 3 Dados Disponíveis

- Imagem digital TM-Landsat: órbita/ponto 224/64, adquirida em 31/05/1984, bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7, resolução espacial de 30x30m.

- Imagem digital SAREX: banda C, polarização HH, imageada em 15/04/1992, Modo Wide Swath (Faixa Larga), com azimute de visada=282° , ângulos de incidência de 45° a 85°, resolução espacial de

9.8m (azimute) x 18.7m (range), recobrando uma faixa de 60km. A área de estudo insere-se na faixa BRA 4.2 e o ângulo de incidência na área de interesse é de aproximadamente 80°.

- Dados aerogamaespectrométricos: o levantamento faz parte do Projeto Geofísico Brasil-Canadá, realizado em 1975/76. O espaçamento entre as linhas de vôo foi de 2km e o intervalo entre as medições de um segundo. Os dados foram corrigidos geometricamente, filtrados utilizando o “band-pass” e reamostrados sendo o tamanho da célula do grid de 500m. O canal utilizado para este estudo foi o de contagem total.

#### 4 Abordagem Metodológica

A integração de dados multifontes em estudos geológicos tem se tornado comum, principalmente a partir da década de 90. A integração de radar com imagens TM, combina a resposta multiespectral do alvo, através da variação de cor, com informações do relevo, tão bem representadas nas imagens de radar. Já a integração do radar com dados gamaespectrométricos, fornece informações do relevo, juntamente com características, neste caso, relativo a radiatividade das rochas.

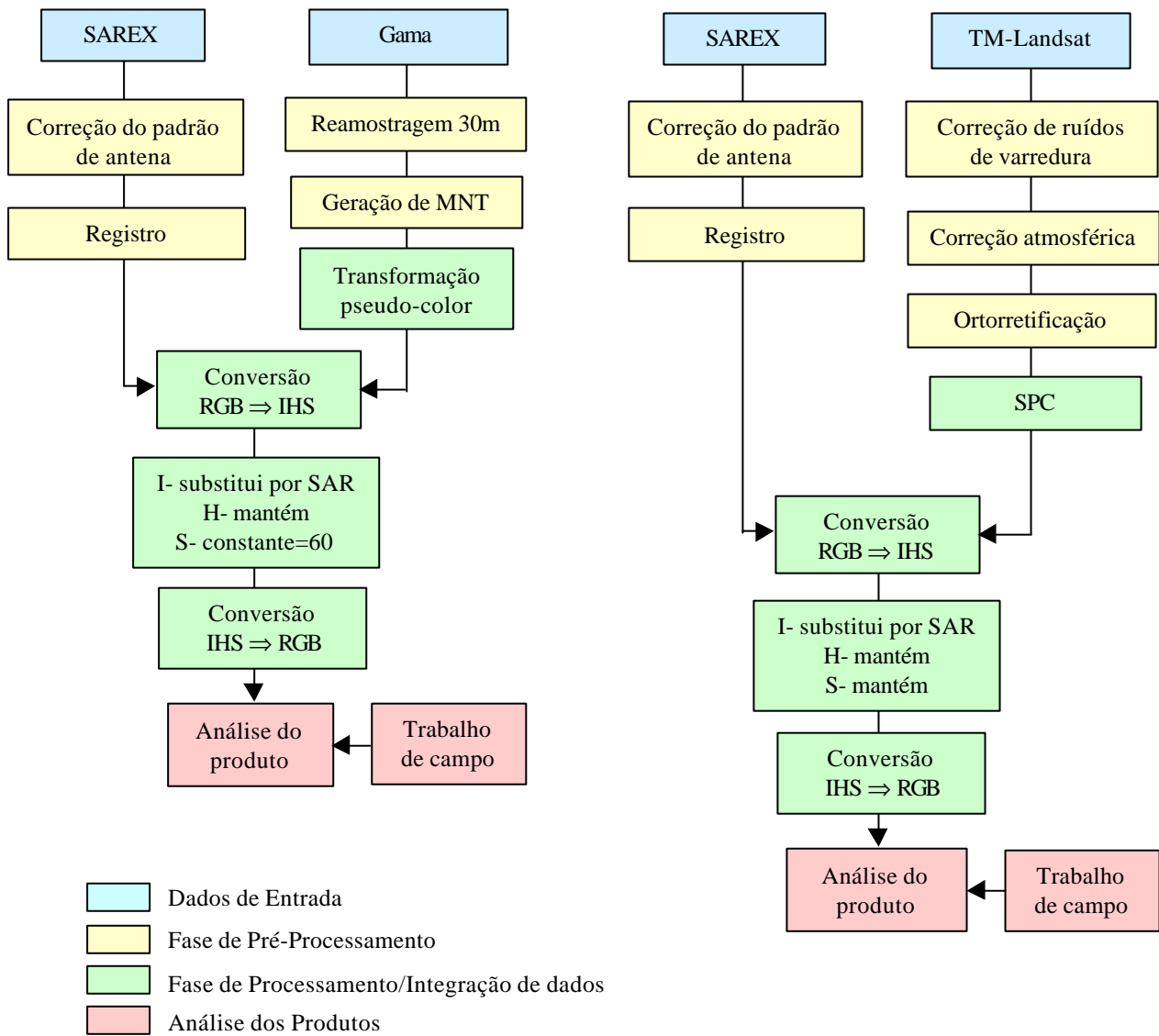
Para a obtenção de uma integração satisfatória é imprescindível que as imagens e os dados geofísicos estejam geometricamente corrigidos e reamostrados para um pixel comum. Na imagem TM-Landsat foi feita a ortorretificação que constitui o método mais preciso para manter a fidelidade geométrica das imagens. Para se realizar a ortorretificação são necessários além do modelo digital de elevação, os dados de modelamento do satélite (informações orbitais, do sensor, modelo da Terra e outros). Como não há disponibilidade destes dados de modelamento para a imagem SAREX (radar aerotransportado) e como a área é relativamente plana foi feito um registro a partir da imagem TM a fim de se corrigir geometricamente a imagem de radar. A escolha do pixel comum foi feita baseada no erro da ortorretificação da imagem TM que foi de 29m. Portanto o pixel comum foi de 30m, ou seja a imagem SAR que possui resolução espacial de 18.7m (range) x 9.8m (azimute) e a grade geofísica, que apresentava espaçamento de 500m x 500m, foram reamostrados para 30m.

Na integração SAREX/TM-Landsat, foram testadas duas opções: o uso do triplete indicado pelo critério OIF (Optimum Index Factor) e a técnica SPC-SAR. No primeiro caso, são usadas três bandas do TM como *input* na transformação RGB-IHS que representam num triplete, a maximização da informação de cada banda e a minimização da redundância entre bandas. No SPC-SAR são utilizadas como *input* na transformação RGB-IHS, um triplete de duas bandas escolhidas via TCP seletivamente, e a banda 4, de tal modo que o triplete modela adequadamente a resposta espectral da cobertura vegetal (TM4, 1PC do TM57, 1PC do TM123). Maiores detalhes sobre este assunto são vistos em Paradella et al., 2001 (neste simpósio).

Dentre as técnicas de integração de dados disponíveis, Harris et al. (1994) destaca: combinações de bandas (composições coloridas), operações aritméticas, transformações estatísticas e transformações no espaço de cores. A técnica mais difundida nos trabalhos geológicos é a transformação RGB→IHS→RGB, que em linhas gerais, consiste na transformação das cores primárias do monitor para as propriedades matiz, intensidade e saturação, no sistema IHS (cone) e permitem a manipulação destas propriedades de modo independente. Após esta associação retorna-se ao espaço RGB para visualização dos produtos. A associação mais comum é feita substituindo-se o dado SAR no

canal I (intensidade), a matriz do dado geofísico ou TM e no canal S (saturação) utiliza-se uma máscara com valor constante.

A **Figura 3** apresenta a metodologia para a geração dos produtos integrados SAREX/TM-Landsat e SAREX/Gama .



**Figura 3** – Fluxograma da metodologia das integrações SAR/Gama e SAR/TM.

## 5 Resultados

Foram gerados na pesquisa dois produtos integrados: TM/SAREX (critério OIF e SPC-SAR) e Contagem Total/SAREX. De modo geral o produto SPC-SAR mostrou um desempenho muito superior ao produto baseado no OIF. A distribuição espacial dos padrões texturais/cromáticos presentes no produto SPC-SAR, quando comparado ao mapa disponível da área (González et al. 1988), permitiu as seguintes correspondências (**Figura 4**):

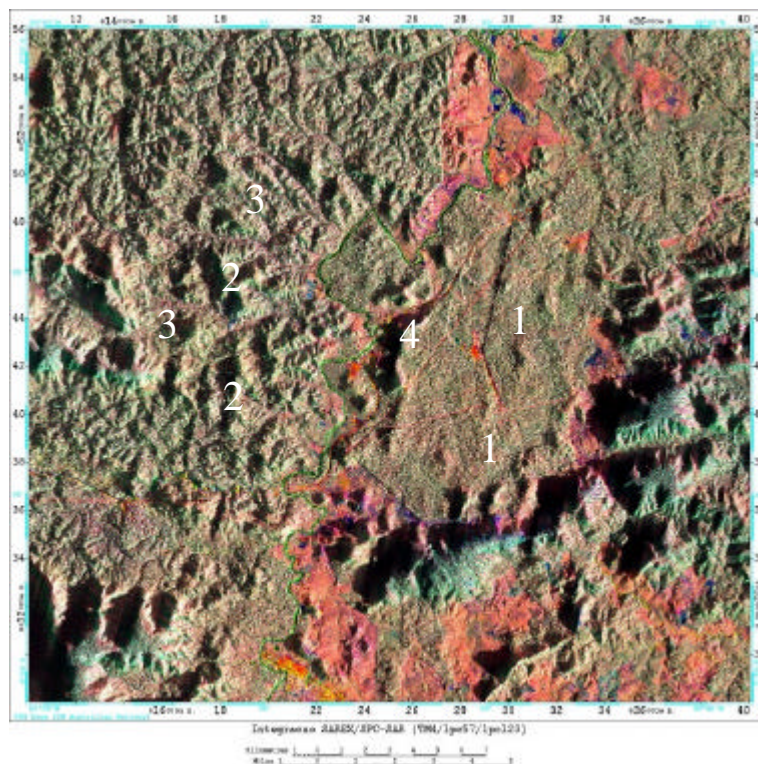
- a) a textura lisa, representando pequenas variações topográficas (altitude máxima de 250m), cobertura vegetal de floresta aberta e coloração marrom. estaria associada em grande parte com a classe anfibólio-biotita monzogranito grosso (letra 1, figura 4);
- b) a textura rugosa, com variações topográficas entre 250 a 400m de altitude, cobertura vegetal de floresta densa e coloração mais clara que a anterior, está associada, predominantemente, ao fácies anfibólio-biotita monzogranito porfirítico (letra 2, figura 4). Cabe salientar que o traçado do contato desta fácies com a encaixante não é bem definido;
- c) a textura rugosa, com variações topográficas mais elevadas que a anterior (altitude máxima de 600m) e coloração similar, está associada parcialmente ao fácies biotita-monzo a sienogranito (letra 3, figura 4);
- d) o relevo de serras alongadas (NNE-SSW) e com altitudes de 300 a 500m, está associado a ocorrência dos monzogranitos transformados (letra 4, figura 4).

Em relação ao produto integrado SAREX/ Contagem Total (Figura 5):

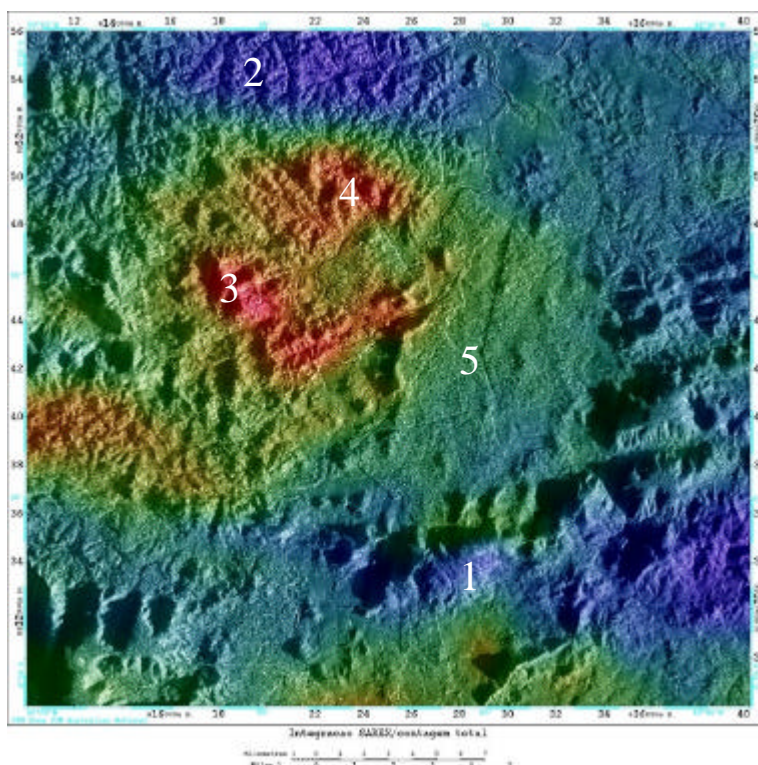
- a) foi possível delimitar a área de ocorrência do batólito, facilitando o traçado dos seus contatos com as encaixantes. O granito aparece como um corpo de coloração verde nas bordas e porção leste da área, e avermelhado no centro-oeste;
- b) as respostas mais baixas (cor azul) com relevos elevados no Sul e baixos no Norte estão associadas, respectivamente, às rochas do Grupo Pojuca (letra 1, figura 5) e do Complexo Xingu (letra 2, figura 5);
- c) as mais altas respostas gamaespectrométricas (magenta/vermelho) associadas ao relevo elevado, estão relacionadas com a distribuição espacial da unidade anfibólio-biotita monzogranito porfirítico (letra 3, figura 5);
- d) as respostas altas, porém inferiores a anterior e com relevo elevado, estão parcialmente relacionadas com a unidade biotita-monzo a sienogranito (letra 4, figura 5);
- e) as mais baixas respostas dentro do batólito tendem a se relacionar com o relevo arrasado da unidade anfibólio-biotita monzogranito grosso (letra 5, figura 5).

Cabe salientar que sistemas de estruturas (fraturas) dispostos segundo as direções NNE-SSW e NW-SE são bem destacados nos dois produtos, pela disposição de ortogonalidade com as iluminações do SAR e do TM.





**Figura 4** – Produto integrado SAREX/TM Landsat (SPC-SAR)



**Figura 5** – Produto integrado SAREX/Contagem Total

## 6 Conclusões

A metodologia de integração de dados mostrou-se eficiente na proposta de pesquisa. A abordagem SPC-SAR apresentou melhor desempenho que o OIF, tanto na textura quanto na cor do produto. A integração TM-Landsat/SAREX que combina resposta espectral com a morfologia do terreno foi muito útil na delimitação do corpo e na diferenciação de quatro fácies, baseando-se no mapa geológico da área. Com o produto Contagem Total/SAREX foi possível visualizar o limite do maciço principalmente na porção oeste, onde o produto TM/SAREX não diferenciou o contato com as encaixantes. Além disso, este produto possibilita a inferência de informações a respeito da gênese do granito, onde certamente as respostas mais altas gama CT relacionam-se a fases mais evoluídas do batólito. Foi possível também identificar em ambos os produtos os dois sistemas principais de estruturas planares com direções NNE-SSW e NW-SE.

## Referências

- Dall' Agnol, R.; Vieira, E.A.P.; Sá, C.A.S.; Medeiros, H.; Gastal, M.C.P.; Teixeira, N.P. Estado atual do conhecimento sobre as rochas granitóides da porção sul da Amazônia Oriental. **Revista Brasileira de Geociências**, 16, p.11-23, 1986.
- Dall' Agnol, R.; Bettencourt, J.S.; Jorge-João, X.S.; Medeiros, H.; Costi, H.T.; Macambira, M.J.B. Granitogenesis in the Northern Brazilian Region: a Review. **Revista Brasileira de Geociências**, 17, p.382-403, 1987.
- Gonçalez, M.G.B.; Dall' Agnol, R.; Vieira, E.A.P.; Macambira, M.J.B.; Della Senta, N. Geologia do maciço anorogênico Cigano. Vale do Rio Parauapebas-PA. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 35., Belém, 1988. **Anais**: Sociedade Brasileira de Geologia, 1988. v.3, p.1132-1146.
- Harris, J.R.; Bowie, C.; Rencz, A.N.; Graham, D. Computer-enhancement techniques for the integration of remotely sensed, geophysical, and thematic data for the geosciences. **Canadian Journal of Remote Sensing** v.20, n.3, p. 210-221. 1994.
- Hirata, W. K.; Rigon, J.C.; Kadokaru, K.; Cordeiro, A.A.C.; Meireles, E.de M. Geologia Regional da Província Mineral de Carajás. In: Simpósio de Geologia da Amazônia 1, Belém, 1982. **Anais**. Belém: Sociedade Brasileira de Geologia – Núcleo Norte, 1982. p.100-110.
- Macambira, M.J.B.; Lafon, J.M. Geocronologia da Província Mineral de Carajás: síntese dos dados e novos desafios. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi**, Série Ciências da Terra, 7, p.562-570. 1995.
- Paradella, W.R.; Santos, A.R.; Dall' Agnol, 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.24, n.4, p.376-392, 1998.
- Paradella, W.R.; Santos, A.R.; Veneziani, P.; Morais, M.C. O Sinergismo de Imagens Standard Descendente do RADARSAT-1 e Thematic Mapper do LANDSAT-5 em Aplicação Geológica na Amazônia. X Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (em impressão), 2001.
- Pinheiro, R.V.L. **Reactivation history of the Carajás and Cinzento strike-slip systems, Amazon, Brazil**. 408p. Ph.D. Thesis – University of Durham, Durham, 1997.