

**Aplicação de dados multi-fontes na caracterização do depósito Amapari, *Greenstone Belt*  
Vila Nova, Amapá**

Lucíola Alves Magalhães<sup>1</sup>  
Carlos Roberto de Souza Filho<sup>1</sup>  
Adalene Moreira da Silva<sup>2</sup>

1-Universidade Estadual de Campinas  
Caixa Postal 6152 CEP 13083-970  
Campinas - São Paulo – Brasil  
luciola@ige.unicamp.br  
beto@ige.unicamp.br

2-Universidade de Brasília  
Laboratório de Geofísica Aplicada - Instituto de Geociências  
70910-900 Brasília, DF  
adalene@unb.br

**Abstract** - The geochronologic Maroni-Itacaiúnas Province shows different types of mineralization as gold, iron, diamond, manganese, chromites, amongst others. It is considered a potential metalogenetic province, so a lot of studies have been made to understanding the nature of its deposits and its tectonic context. The Amapari gold deposit lies within rocks of Vila Nova greenstone belts, associated to the development of regional shearing zones of sinistral kinematics. It is still advocated an association of granites intrusions with the geneses of this deposit. The deposit is characterized by highs values of mangnetic field strength and a variation in terms of radioelement K (high values), eTh and eU (average values for the two canals).

**Keywords:** Maroni-Itacaiúnas Province, gold mineralization, Vila Nova greenstone belt, airborne geophysics signature, Província Maroni-Itacaiúnas, mineralização aurífera, greenstone belt Vila Nova, assinatura aerogeofísica.

## 1. Introdução

A área de estudo está localizada na porção central do estado do Amapá, a leste da cidade de Serra do Navio, nos domínios da Província Maroni-Itacaiúnas, Cráton Amazônico (**Figura 1**). Diversos trabalhos têm sido realizados na porção centro-sul do estado auxiliando na compreensão do arcabouço geológico da região, formada por um embasamento arqueano granito-gnaíssico, pela sequência *greenstone belt* da Província Vila Nova (2.26 Ga), rochas do Complexo Máfico Ultramáfico Bacuri ( $2.2 \pm 0.12$  Ga), granitóides relacionados ao Evento Jari Falsino, 1.2 Ga e sedimentos clásticos do Cenozóico e Mesozóico (McReath & Faraco, 1997; Avelar *et al.*, 2001; Spier & Ferreira Filho 2001, Dardenne & Schobbenhaus, 2003; Faraco *et al.*, 2004 e Rosa-Costa *et al.*, 2001, 2003).

No ano de 2004 o Serviço Geológico do Brasil (CPRM) juntamente com o Ministério de Minas e Energia (MME) promoveram o levantamento aerogeofísico de alta densidade de amostragem em algumas regiões do país, dentre elas, em parte do estado do Amapá, Projeto Aerogeofísico Rio Araguari. Desta forma, este trabalho visa contribuir para a caracterização do depósito aurífero Amapari, na escala 1:100.000, utilizando-se do processamento, integração e interpretação de dados de sensores remotos, radares imageadores e dados aerogeofísicos.

## 2. Contexto Geológico e Metalogenético do Depósito de Amapari

O depósito Amapari está inserido na Província Geocronológica Maroni-Itacaiúnas. Esta Província foi acrescida à Província Amazônia Central no Paleoproterozóico (2.2 – 1.95 Ga) e correspondeu ao período de maior formação de crosta juvenil (Cordani *et al.*, 1979). É formada por rochas metavulcânicas e metassedimentares, deformadas e metamorfisadas na fácies xisto verde a anfíbolito, além de rochas granulíticas e terrenos gnaíssico-migmatitos, com remanescentes de crosta arqueana retrabalhada (Cordani *et al.*, 1979).

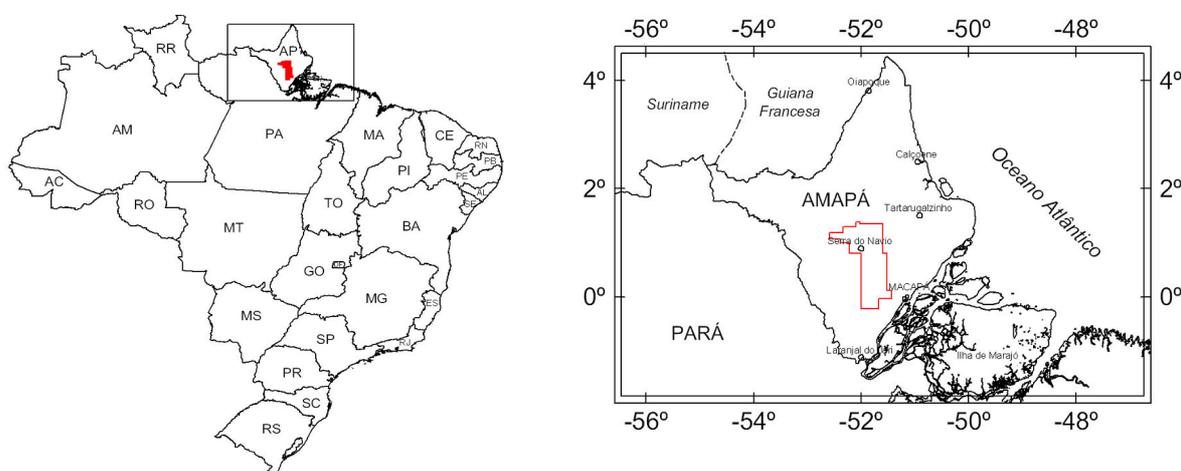
Na área do depósito ocorrem rochas metavulcano-sedimentares paleoproterozóicas da Província Vila Nova (PVN), além de intrusões graníticas. As rochas da PVN são predominantemente rochas metassedimentares pelíticas e químicas, seguidas por metavulcânicas máficas. O corpo intrusivo é classificado como um álcali-feldspato granito, hololeucocrático, peraluminoso, com granulação grossa e, ocasionalmente, textura pegmatóide (Melo, 2001).

Segundo Melo *et al.* (2003), o *depósito de Amapari* foi formado em um ambiente geodinâmico similar ao descrito por Vanderhaeghe (1998) onde espessamento crustal e colisão continental podem ter levado à fusão parcial da crosta e formação destes granitos. Apesar das relações espaciais dos corpos de minério com o granito Amapari, as idades da mineralização ( $2.118 \pm 32$  Ma) e da intrusão ( $1.993 \pm 13$  Ma) colocam em dúvida a importância da intrusão na formação do depósito. Também se sugere que o depósito pertença a um segmento de acreção continental onde as zonas de cisalhamento podem favorecer a formação de depósitos auríferos orogenéticos. Fato este, baseado principalmente na predominância de sulfetos de ferro, pirrotita, no ambiente estrutural (mineralização controlada por zonas de cisalhamento) e na composição do fluido mineralizante (baixa salinidade de soluções aquo-carbônicas, com temperaturas entre  $>420^\circ$  a  $250^\circ\text{C}$ ). No entanto, a ausência de veios de quartzo de grande porte, que comumente se encontram encaixados nas zonas de cisalhamento e de rochas de alteração hidrotermal a eles relacionados colocam em dúvida esta interpretação (Melo & Villas, 2001).

Dois eventos metamórficos são identificados no depósito de Amapari. O primeiro deles na fácies anfíbolito, regional, de caráter dínamo-termal, sob a qual as zonas de cisalhamento

se instalaram (Melo *et al.*, 2001) com temperaturas mínimas de 530°C, além de evidências de deformação dúctil e fluidos aquo-carbônicos gerados por reações de devolatilização (descarbonização e desidratação) das seqüências vulcano-sedimentares, com uma intensa alteração hidrotermal (principalmente silicificação, sulfetação e carbonatação). O segundo evento metamórfico, de caráter termal, está relacionado à intrusão do granito Amapari, onde fluidos aquosos de natureza magmática podem ter interagido com as encaixantes e misturados à águas superficiais nos estágios mais tardios da evolução do sistema hidrotermal (Melo & Villas, 2001).

Os corpos de minério, Urucum e Taberabá, estão paralelos a borda leste do granito Amapari, com um trend NS a NW-SE. As concentrações de ouro são maiores nas zonas mais deformadas, sem haver uma associação direta com o tipo litológico. No entanto, os maiores teores estão associados à formações ferríferas bandadas. Ocorrem disseminados e em veios de quartzo finos e descontínuos, discordantes aos planos de foliação da rocha. Às vezes formam lâminas paralelas aos planos de acamamento das formações ferríferas (Melo, 2001).



**Figura 1:** Mapa de localização da área de estudo (LASA Engenharia e Prospecções S/A, texto técnico).

### 3. Natureza, Integração e Interpretação dos Dados

Para a caracterização do depósito Amapari foram utilizados dados processados e integrados de sensores remotos, aerogeofísicos e geológicos.

A imagem Landsat 5/TM (*Thematic Mapper*) utilizada foi a cena 226/59, adquirida em outubro de 2004. Este sensor opera no visível, infravermelho próximo, infravermelho de ondas curtas e no infravermelho termal, sendo este último não utilizado neste trabalho. A densidade de vegetação faz com que este tipo de imagem não possa ser utilizado individualmente para o objetivo proposto, sendo necessário integrá-la a dados de radar, como o JERS-1/SAR e o SRTM (Figura 2).

Para obter informações texturais da área em questão, foi utilizada a cena 401/299 do radar de abertura sintética (SAR) do satélite JERS-1 (*Japanese Earth Resources Satellite*), adquirida em setembro de 2003, com uma órbita descendente, banda L (~ 23 cm), ângulo de incidência de 35° e polarização HH, com resolução espacial de 12.5 metros (Figura 3). Este tipo de radar é útil no mapeamento de regiões amazônicas por emitir energia no intervalo das microondas, fazendo com que a aquisição dos dados independa de condições atmosféricas favoráveis, além da capacidade de penetração na cobertura vegetal sendo importante na percepção da rugosidade do terreno, o que pode estar vinculado a diferenças

litológicas/geomorfológicas. Para a remoção do speckle e preservação da informação textural da imagem foi aplicado um filtro de mediana 7 X 7.

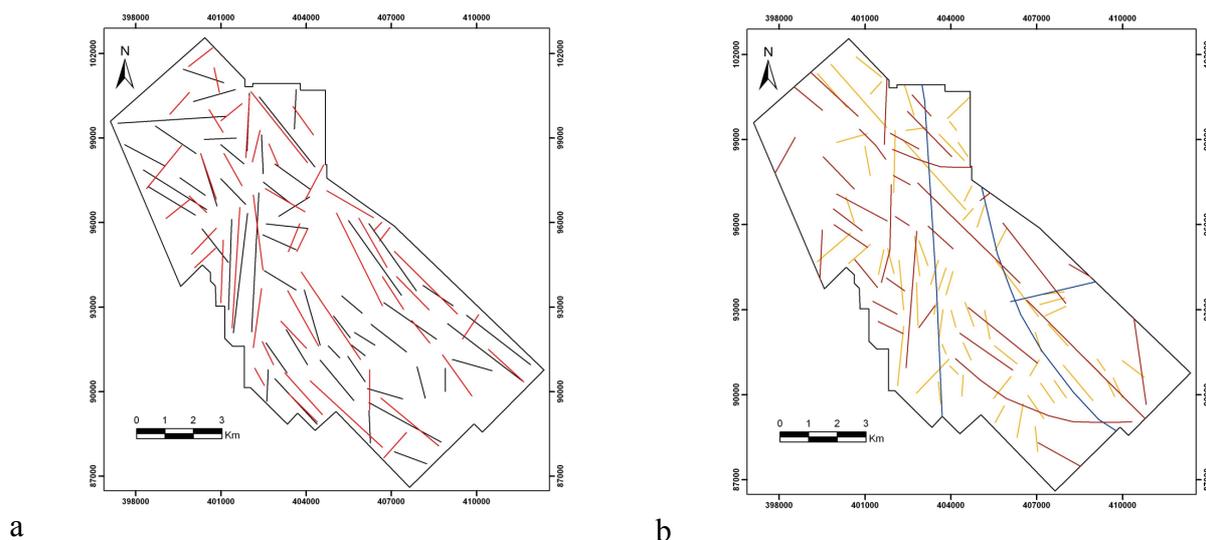
A cena do SRTM (*Suttle Radar Topographic Mission*) utilizada foi a N00W052 adquirida em fevereiro de 2000. Estes dados apresentam resolução de 3 arcsec (~ 90m), na banda C (~ 5.6cm) e contém informações altimétricas do terreno, adquiridas por meio da interferometria SAR (InSAR) (Figura 3) (Rabus *et al.*, 2003).

Os dados aerogeofísicos fazem parte do Projeto Rio Araguari, realizado pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM) e Ministério de Minas e Energia no ano de 2004. São dados de alta densidade de amostragem, com as linhas de vôo na direção N45°E e espaçamento de 500 metros, linhas de controle na direção N45°W e espaçamento de 10000 metros e intervalo de amostragem de 0.1 s, magnetometria, e 1.0 s para a gamaespectrometria.

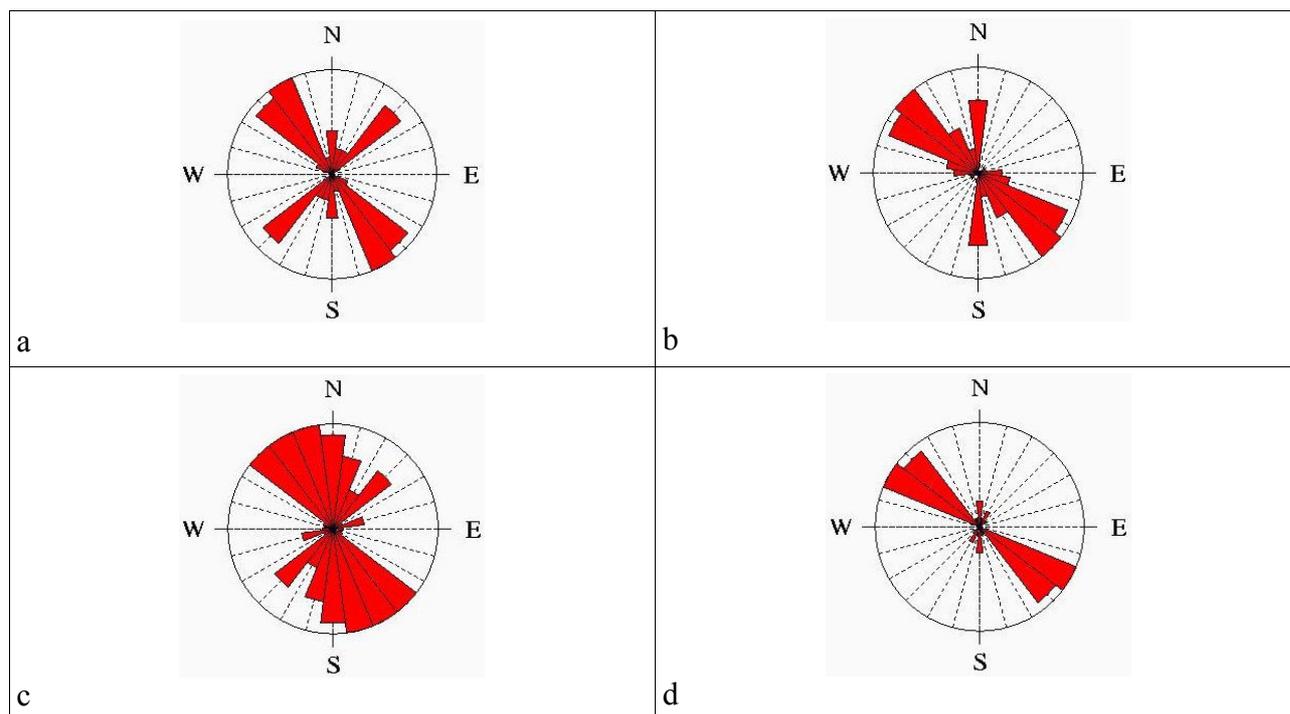
A partir dos dados processados foi possível a confecção de mapas temáticos com informações do arcabouço estrutural, da assinatura magnética e gamaespectométrica da área.

Os mapas de lineamentos foram confeccionados a partir dos dados aeromagnéticos e dos dados dos sensores remotos (**Figura 2**).

Uma comparação da informação extraída das diferentes imagens pode ser feita a partir da vetorização destes lineamentos que permitiu a confecção de diagramas de rosetas (**Figura 3**). A análise dos mesmos realçou, nas imagens JERS, 48 lineamentos numa direção preferencial das estruturas para NW, e secundariamente, NE e NS; enquanto que na imagem SRTM são identificados 52, com direções preferenciais, NW e NS. A imagem do sensor TM permitiu a extração de 63 lineamentos nas direções NW, NS e NE. Já os 30 lineamentos extraídos dos dados magnéticos são predominantemente NW, com poucos na direção NE e NS. As diferentes direções encontradas nas imagens devem-se a geometria de imageamento dos sistemas sensores e das filtragens direcionais aplicadas. No caso dos diagramas das imagens SRTM e dos dados aeromagnéticos, há uma similaridade dos resultados, devido a aplicação de filtros direcionais N45°E, enquanto que para a imagem JERS a órbita descendente com iluminação para oeste (~ 90°), mascara as estruturas de direção EW.



**Figura 2:** Mapa de lineamentos da área de estudo. a) Lineamentos extraídos da imagem JERS (vermelho) e SRTM (preto); b) Lineamentos extraídos da imagem Landsat (amarelo), dados magnéticos (vermelho) e do mapa da CPRM, 1:1.000.000 (azul).

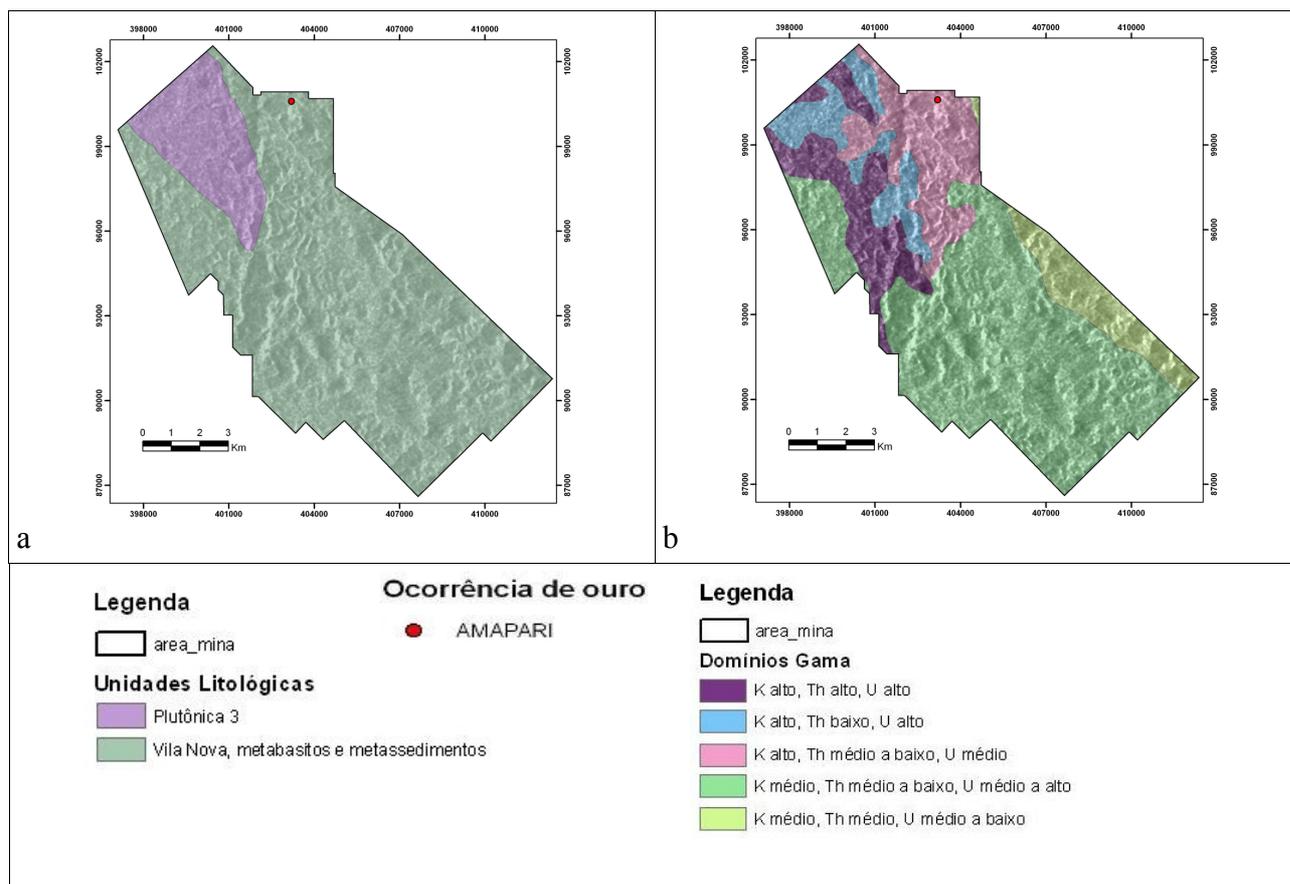


**Figura 3:** Diagramas de rosetas da imagem a) JERS, com 48 lineamentos; b) SRTM, com 52; c) Landsat, com 63 e d) Magnéticos, 30 lineamentos. O intervalo de amostragem foi de 15°.

O mapa geológico disponível na escala 1:1.000.000 (CPRM) mostra duas unidades para a área do depósito Amapari: as supracrustais da Província Vila Nova (metabasitos e rochas metassedimentares) e a plutônica 3, Granito Amapari (**Figura 4**).

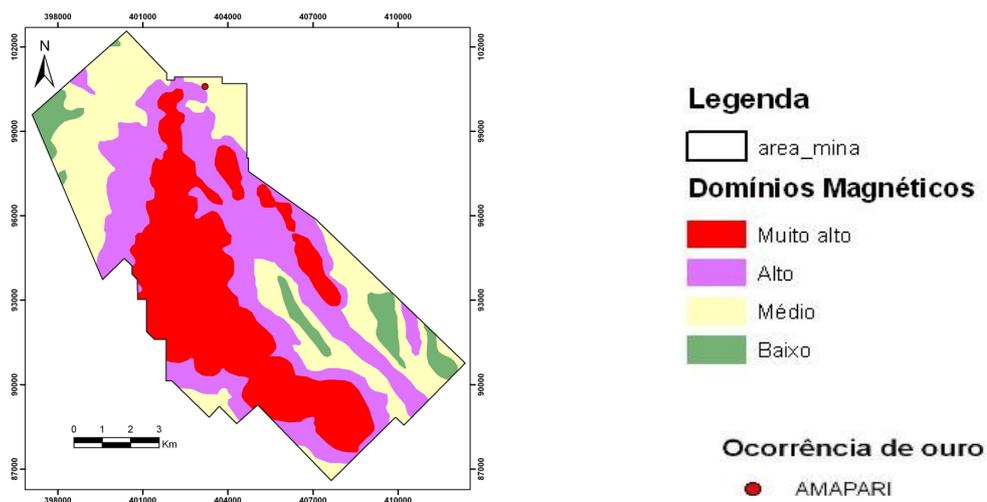
O mapa de domínios gamaespectrométricos, escala 1:100.000, permitiu a delimitação de novas unidades com base na assinatura gamaespectrométrica dos três radioelementos. Neste mapa, o Granito Amapari, abrange uma maior área em direção a sul, porém, com uma diminuição de ocorrência a leste. Apresenta uma assinatura gama de K, Th e U alto. Ao lado deste corpo, duas outras unidades podem ser distinguidas, com assinaturas de K alto, Th baixo, U alto e K alto, Th médio a baixo e U médio, de oeste para leste, respectivamente. A ocorrência aurífera do depósito Amapari está associada a esta última assinatura gama (**Figura 4**).

As rochas da Província Vila Nova, de acordo com o mapa gamaespectrométrico, apresentam uma assinatura de K médio, Th médio a baixo e U médio a alto, sendo diferenciadas na porção leste, por um corpo com assinatura K médio, Th médio e U médio a baixo (**Figura 4**).



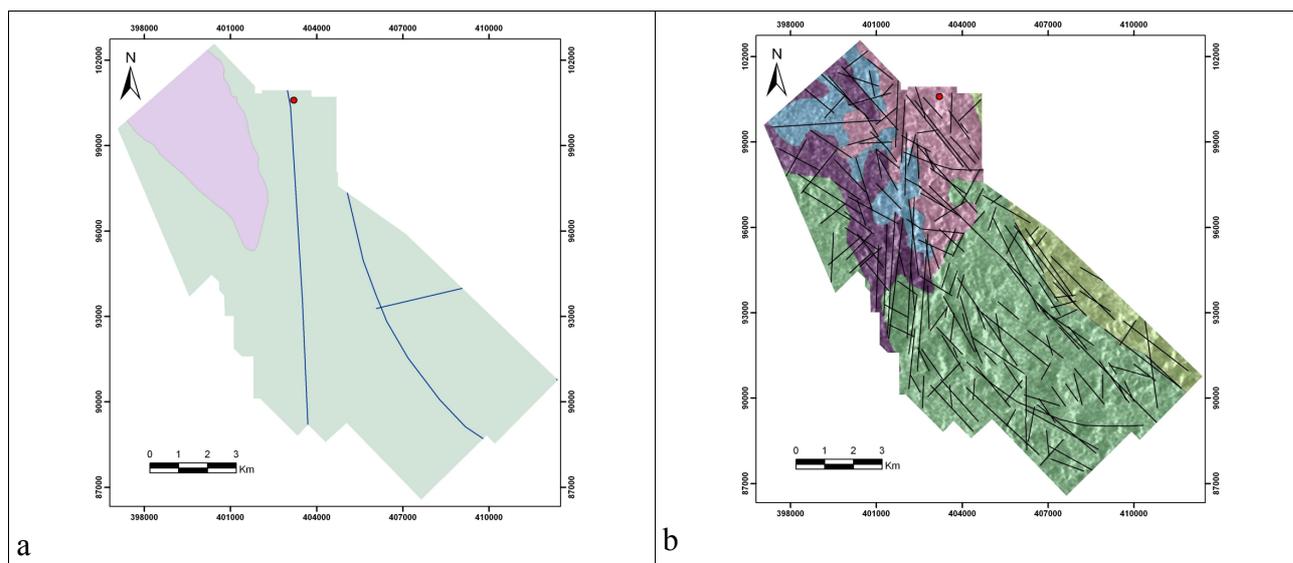
**Figura 4:** a) Mapa geológico do depósito aurífero de Amapari modificado da Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo – CPRM 2004; b) Mapa de unidades gamaespectrométricas. Ambos mapas estão sobrepostos a imagem JERS-1, com filtro Mediana na janela 7x7.

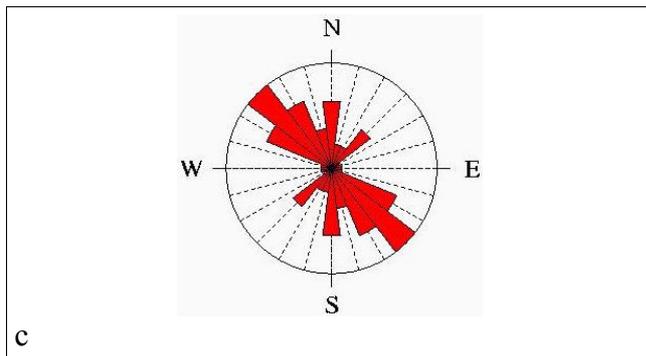
Com os dados aeromagnéticos também foi possível a separação do banco de dados em 5 domínios magnéticos, feitos a partir de uma classificação não supervisionada e posterior classificação visual, com base nos valores da intensidade do campo magnético. A área compreende quatro domínios: muito alto, alto, médio e baixo, sendo que o domínio muito baixo não ocorre nas proximidades do depósito. Estas assinaturas mais altas podem estar associadas a formações ferríferas bandadas que ocorrem no terreno *greenstone* da Província Vila Nova e também a diques básicos do mesozóico (**Figura 5**).



**Figura 5:** Mapa de domínios magnéticos classificados com base na intensidade do campo magnético. A nordeste, ocorrência aurífera do depósito, associado ao domínio de transição de alto para médio magnético.

Os lineamentos extraídos das diferentes imagens foram analisados e sobrepostos ao mapa de domínios gamaespectrométricos e a imagem JERS, com o intuito de se gerar um mapa litogeofísico da área (**Figura 6**). A análise em conjunto destes lineamentos, pelo diagrama de rosetas (**Figura 6**) demonstra uma tendência de lineamentos na direção NW, podendo se relacionar ao primeiro evento tectono-metamórfico regional que deu origem à mineralização, seguido pelos de orientação NE e NS que podem estar associadas a colocação de corpos graníticos como reativação de zonas de fraqueza mais antigas, e à abertura do Atlântico, respectivamente.





**Figura 6:** a) Mapa geológico 1:1.000.000; b) Mapa litogeofísico; c) Diagrama de rosetas dos lineamentos extraídos das imagens JERS, SRTM, Landsat e dados magnéticos. Número de lineamentos: 182; separados em intervalos de 15°.

#### 4. Conclusões

A utilização de dados multi-fontes no mapeamento geológico e na exploração mineral, não somente em regiões que apresentam dificuldades de mapeamento e condições adversas como densidade de vegetação e clima, mas principalmente nestas, tem mostrado bons resultados devido a melhoras no levantamento e na amostragem dos dados. Com essa integração foi possível a delimitação do arcabouço geológico-estrutural do depósito Amapari na escala 1:100.000 onde novas unidades litológicas e lineamentos estruturais foram reconhecidos, além dos já descritos em trabalhos anteriores.

As diferentes gerações de estruturas realçadas pelos sensores podem ser associadas às descritas na literatura como os de direção NW que são relacionados ao desenvolvimento das zonas de cisalhamento responsáveis pelo pico metamórfico regional de fácies anfíbolito, enquanto que os de direção NNE, à colocação de corpos graníticos com metamorfismo termal. O modelo metalogenético proposto para o depósito é do tipo *lode* orogenético associado a estas zonas de cisalhamento, podendo apresentar alguma relação com os de direção NNE, devido a associação espacial com corpos intrusivos (Melo *et al.* 2001).

Ocorre ainda uma variação em termos dos radioelementos K (altos valores), eTh e eU (valores médios para os dois canais) a qual a mineralização é associada, além de K, eTh, e U alto para o granito Amapari.

#### 5. Referências Bibliográficas

- AVELAR, V. G., LAFON, J. M., DELOR, C. - 2001 – Geocronologia Pb-Pb em Zircão e Sm-Nd em Rocha Total da Porção Centro-Norte do Amapá Para a Evolução Geodinâmica do Escudo das Guianas. VII Simpósio de Geologia da Amazônia, Belém, Brasil. Resumos expandidos. CD-ROM.
- CORDANI, U. D., TASSINARI, C. C. G., TEIXEIRA, W., BASEI, M. A. S. AND KAWASHITA, K. -1979 -. Evolução Tectônica da Amazônia com base nos dados geocronológicos. II Congresso Geológico Chileno, Arica, Chile, Actas, 137-48.
- DARDENNE, M. A. & SCHOBENHAUS, C. 2003. Metallogeny of the Guiana Shield. In: BRGM (Eds). Géologie de la France. N°2-3-4:243-255.
- FARACO, M. T., MARINHO, P. A. C., MOURA, C. A. V., MACAMBIRA, M. J. B., PIMENTEL, M. M. - 2004 – Novos Dados Geocronológicos no Amapá-NNW do Pará. Congresso Brasileiro de Geologia, 42. Araxá, Brasil. CD ROM.
- MCREATH, I. & FARACO, M.T.L. 1997. Sm-Nd and Rb-Sr systems in part of the Vila Nova metamorphic suite, northern Brazil. In: South American Symposium on Isotope Geology, 1. Campos do Jordão. Extended Abstracts. SAS. p. 194-196.
- MELO L. V. 2001. Geologia e Mineralização de Sulfetos + Au do Depósito de Amapari, Estado do Amapá. Tese

de Mestrado. Universidade Federal do Pará. Belém. 112 p.

- MELLO, L. V. & VILLAS, R. N. N. 2001. O Depósito Aurífero Amapari, Amapá: Fluidos Mineralizantes e Tipologia. VII Simpósio de Geologia da Amazônia, Belém, Brasil. Resumos expandidos. CD-ROM.
- MELLO, L. V., VILLAS, R. N. N., SOARES, J. W., FARACO, M. T. L. 2001. O Depósito Aurífero Amapari, Amapá: Rochas Encaixantes, Química Mineral e Metamorfismo, VII Simpósio de Geologia da Amazônia, Belém, Brasil. Resumos expandidos. CD-ROM.
- ROSA-COSTA, L. T., VASQUEZ, M. L., CARVALHO, J.M.A., RICCI, P. S. F., LAFON, J. M. 2001. Geocronologia Preliminar do Arqueano e Paleoproterozóico do NW do Pará/SW do Amapá – Escudo das Guianas. VII Simpósio de Geologia da Amazônia, Belém, Brasil. Resumos expandidos. CD-ROM.
- ROSA-COSTA, L.T., RICCI, P. S. F., LAFON, J. M., VASQUEZ, M. L., CARVALHO, J. M. A., KLEIN, E. L., MACAMBIRA, E. M. B. 2003. Geology and geochronology of Archean and Paleoproterozoic domains of southwestern Amapá and northwestern Pará, Brazil, southeastern Guiana shield. In: BRGM (Eds). Géologie de la France. N°2-3-4:101-120.
- SPIER, C. A. & FERREIRA FILHO, C. F. 2001. The chromite deposits of the Bacuri mafic-ultramafic layered complex, Guiana Shield, Amapá State, Brazil. *Econ. Geology.*, 96: 817 – 835.
- RABUS B., EINEDER M., ROTH A., BAMLER R., 2003. The **Shuttle** Radat Topography Mission – A New Class of Digital Elevation Models Acquired by Spaceborne **Radar**, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 57: 241-262
- VANDERHAEGHE, O., LEDRU. P.; THIÉBLEMONT, D., EGAL, E., COCHARIE, A., TEGYEY, M., MILÉSI, J-P. 1998. Constrasting mechanism of crustal growth geodynamic evolution of the Paleoproterozoic granite-greenstone belts of French Guiana. *Precambrian Research*, 92: 165 - 193.