

## Considerações sobre o potencial aurífero da região dos rios Pacu e Tropas (Tapajós) a partir de métodos indiretos de investigação

Thais Andressa Carrino<sup>1</sup>  
Adalene Moreira Silva<sup>1</sup>  
Alexandre Augusto Cardoso da Silva<sup>2</sup>  
Nilson Francisquini Botelho<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade de Brasília - UnB  
70910-900 - Brasília-DF, Brasil  
thais.carrino@gmail.com; {adalene, nilsonfb}@unb.br

<sup>2</sup> Petróleo Brasileiro S.A. - Petrobrás  
CENPES – Rio de Janeiro-RJ, Brasil  
alexandreaugusto@petrobras.com.br

**Abstract.** This paper uses airborne gamma-ray spectrometry data and multispectral image of the TM sensor (Landsat 5) to distinguish possible hydrothermalized targets in a region of Tapajós Mineral Province (Pará State, Brazil), characterized by important paleoproterozoic gold occurrences. The first step of the investigation was the reconnaissance of regional structures based on the band 4 of the TM sensor. The airborne gamma-ray spectrometry data were processed and analyzed using the following steps: (1) combination of the K, eTh and eU channels, displayed in the RGB color system; (2) generation of the K/eTh and eU/K ratios and F parameter images, and production of color combination of them; (3) analysis of the gamma-ray spectrometry signatures associated with the gold occurrences; (4) application of the Principal Component Analysis (PCA) with the use of a selected set of the geophysical images; (5) use of the Spectral Angle Mapper (SAM) classification, originally developed to the hyperspectral remote sensing, applied to the gamma-ray spectrometry images. All these products allowed the enhancement of possible hydrothermalized targets, compatible with the areas of preexisting gold occurrences and with qualitative geophysical interpretations of others authors. Based on these results, the advantages of the methodology here utilized were discussed, and suggestions were proposed.

**Palavras-chave:** TM/Landsat 5, airborne gamma-ray spectrometry, gold mineralizations, Tapajós, TM/Landsat 5, aerogamaespectrometria, mineralizações de ouro, Tapajós.

### 1. Introdução

A manipulação de dados multifonte digitais vem produzindo importantes guias prospectivos para mineralizações caracterizadas por significativas alterações hidrotermais, principalmente por meio de processamentos clássicos como a razão K/eTh para realce de áreas potassificadas (e.g., Silva, 2003, Quadros et al., 2003), além de identificação de condicionamento estrutural de prospectos utilizando-se imagens de sensoriamento remoto.

Alguns trabalhos recentes, utilizando-se dados digitais abrangendo o domínio da Província Mineral do Tapajós (AM/PA), demonstraram bons resultados na discriminação espacial de alvos geológicos com alta potencialidade para mineralizações de ouro, com base em possíveis assinaturas gamaespectrométricas associadas a hidrotermalismo (e.g., Silva, 2003). Entretanto, tais trabalhos ainda não suprem toda a magnitude da província, fato que gera um grande desafio a fim de caracterizar os diferentes jazimentos desta vasta região.

Este artigo objetiva o processamento de dados gamaespectrométricos da região dos rios Pacu e Tropas (Tapajós, Pará), também conhecida como distrito de Pacu (Santos et al., 2001) (Figura 1 (a)), a fim realçar, por meio de técnicas de processamento de dados geofísicos e outras comumente empregadas em sensoriamento remoto multi e hiperespectral, alvos favoráveis à ocorrência de hidrotermalismo relacionado a mineralizações auríferas paleoproterozóicas. Esta região foi escolhida por possuir um acervo de dados geofísicos regionais e de sensoriamento remoto e pela existência de interpretações qualitativas provenientes de Pedroso et al.

(2001), Silva (2003) e Silva et al. (2007), as quais servirão de guia ao estudo e serão confrontadas com os resultados gerados.

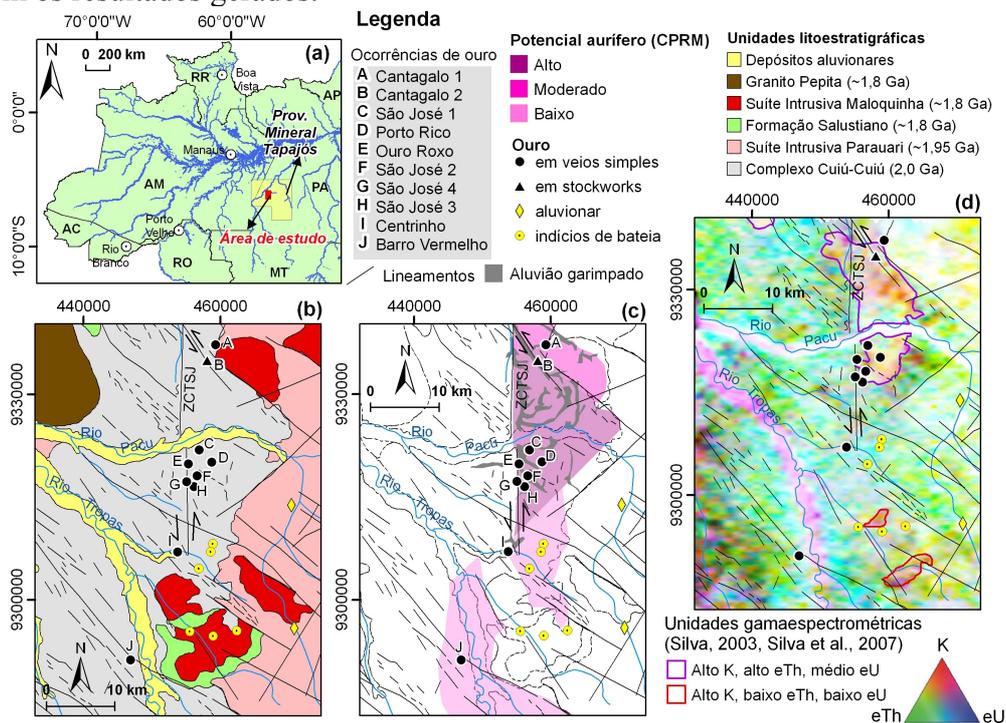


Figura 1. (a) Localização da área de estudo na PMT. Mapa geológico (b) e mapa do potencial aurífero (c) (Klein et al., 2001). (d) Unidades gamaespectrométricas potenciais para ouro de acordo com Silva (2003) e Silva et al. (2007) sobrepostas à imagem geofísica ternária.

## 2. Contexto geológico

Eventos como acreção e encurtamento crustal relacionados à formação de um ou mais arcos magmáticos paleoproterozóicos são assumidos quanto à origem da Província Mineral do Tapajós, localizada no Cráton Amazônico (Klein et al., 2001). Neste contexto, destacam-se várias unidades litoestratigráficas formadas neste período até a sedimentação mais recente, como aquelas verificadas na área de estudo, de acordo com a Figura 1 (b): Complexo Cuiú-Cuiú (2,0 Ga; ortognaisses e granitos pouco deformados); Suíte Intrusiva Parauari (~1,95 Ga; granitos calci-alcalinos de médio a alto K, metaluminosos, às vezes peraluminosos); Grupo Iriri, representado pela Formação Salustiano (~1,87 Ga; rochas vulcânicas ácidas); Suíte Intrusiva Maloquinha (~1,87 Ga; granitos leucocráticos, de cor rósea a cinza, em forma de batólitos que intrudem o Grupo Iriri, possuindo tendência anorogênica); Granito Pepita (~1,87 Ga; riebeckita-arfverdsanita-feldspato alcalino granito e feldspato alcalino granito); e aluviões recentes (Klein et al., 2001).

As mineralizações auríferas estão relacionadas a veios de quartzo conjugados, lenticulares e *boudins*, com ouro e sulfetos em ortognaisses do Complexo Cuiú-Cuiú (ocorrências São José 1, 2, 3, 4, Ouro Roxo, Porto Rico, Centrinho, Barro Vermelho) e na interface entre estes e o monzogranito da Suíte Intrusiva Parauari (ocorrências Cantagalo 1 e 2) (Figura 1 (b, c)). Segundo Klein et al. (2001), a zona de cisalhamento transcorrente São José (ZCTSJ) atuou como uma barreira estrutural que condicionou regionalmente as mineralizações de ouro. Particularmente, a porção a leste desta zona apresenta intensa hidrotermalização (potassificação, argilização, além de epidotização e sulfetação) (Figura 1 (b, c)).

## 3. Materiais

Os materiais utilizados neste artigo compreendem: o TM/Landsat 5, de 23/06/1997, órbita/ponto 229/65, com resolução espacial de 30 m; dados altimétricos do *Shuttle Radar Topo-*

*graphy Mission* (SRTM), de 2000, e com resolução espacial aproximada de 90 m; dados geofísicos do Bloco 1 – Província Aurífera do Tapajós de 1997, caracterizados por espaçamento das linhas de vôo (N-S) e de controle (E-W) de 1 km e 13 km, respectivamente, e altura de vôo de 100 m; informações de mapa geológico e metalogenético (Klein et al., 2001).

#### 4. Métodos aplicados ao estudo

##### 4.1. Avaliação da imagem TM/Landsat 5

A imagem do sensor TM foi georreferenciada com base na determinação de pontos de controle com o uso de folha topográfica em escala 1:250.000 (Jacareacanga). A partir desta imagem, principalmente da banda 4 (infravermelho próximo), fez-se a análise de lineamentos, sendo possível a identificação de expressivas estruturas, uma norte-sul e outra NW-SE que seccionam a principal região mineralizada. Esta interpretação foi integrada com outros resultados de processamento de dados, e apresentada posteriormente neste artigo.

##### 4.2. Processamento de dados aerogamaespectrométricos

Seis etapas de processamento dos dados aerogamaespectrométricos foram realizadas, focando o reconhecimento geológico e o realce de possíveis áreas hidrotermalizadas:

(1) as imagens dos canais de K, eTh, eU, contagem total foram produzidas por Silva (2003) que utilizou a interpolação curvatura mínima, adotando-se o tamanho de 250 m para a célula dos *grids*, e realizou o micronivelamento de acordo com o algoritmo de Blum (1999). Com base nas imagens de K, eTh e eU, fez-se a composição colorida utilizando-se o espaço de cores RGB conforme mostrado na Figura 1 (d). Nesta figura, unidades interpretadas por Silva (2003) e reiteradas em Silva et al. (2007), e correlacionadas a possíveis respostas do intenso hidrotermalismo presente nesta região aurífera, foram sobrepostas.

(2) produção da imagem da razão K/eTh (Figura 2 (a)).

(3) geração da imagem do parâmetro F (Figura 2 (b)) (e.g., Quadros et al., 2003). Este parâmetro baseia-se nas relações de abundância de K associada à razão eTh/U e da abundância de eU relacionada à razão eTh/K. A razão K/eTh e o parâmetro F são empregados à prospecção de ouro já que o K é assumido, na aerogamaespectrometria, como o elemento guia para a localização de depósitos. Adicionalmente, estes procedimentos, que utilizam-se sobretudo do normalizador eTh, tornam possível a distinção do enriquecimento hidrotermal de K das informações do *background* geológico (e.g., metamorfismo, intemperismo etc).

(4) produção da razão K/eU que pode refletir hidrotermalismo regional (e.g., Quadros et al., 2003). A combinação colorida com as imagens do parâmetro F e das razões K/eTh e K/eU, respectivamente, nos canais RGB, foi gerada, como apresentado na Figura 2 (c).

(5) realização da normalização dos dados de K, eTh e eU a fim de proporcionar a análise da abundância relativa dos mesmos na área de estudo. Este resultado está mostrado na Figura 2 (d) e foi produzido com base na razão de cada radioelemento pela soma de K, eTh e eU.

(6) uso da Análise por Principais Componentes (APC), amplamente utilizada em sensoria-mento remoto (e.g., Tangestani e Moore, 2001) e em dados geofísicos e geoquímicos (e.g., Ranjbar et al., 2003), focando a prospecção mineral. Inicialmente, fez-se a extração das assinaturas gamaespectrométricas de 3 ocorrências de ouro típicas e representativas (tamanho do pixel = 250 m) utilizando-se as imagens de K, eTh, eU, contagem total, parâmetro F e razões K/eTh, eU/K (Figura 3). Ressalta-se que, em função das diferentes escalas de medidas de cada imagem original, elas foram re-escaladas ao formato 8 bits (256 níveis de cinza) para a manutenção da integridade dos dados. Este procedimento foi realizado para melhor averiguar as respostas oriundas de cada canal/imagem no contexto mineralizado. A APC pode ser realizada com duas ou mais imagens de entrada, objetivando-se a decorrelação de informação. Neste estudo, preferiu-se selecionar três imagens para o processamento: a razão K/eTh (tenta-

tiva de realçar áreas hidrotermalizadas) e de K, ambas possuindo respostas médias a altas para mapeamento de alvos auríferos, e a razão eU/K, caracterizada por resposta baixa a média na região hidrotermalizada (cf., assinaturas gamaespectrométricas da Figura 3). O processamento foi realizado de duas maneiras. A primeira considerou as três imagens originais, gerando-se as componentes principais cujos autovetores estão mostrados na parte esquerda da Tabela 1. A Figura 4 (a) apresenta a PC1, com histograma invertido, e em pseudo-cor.

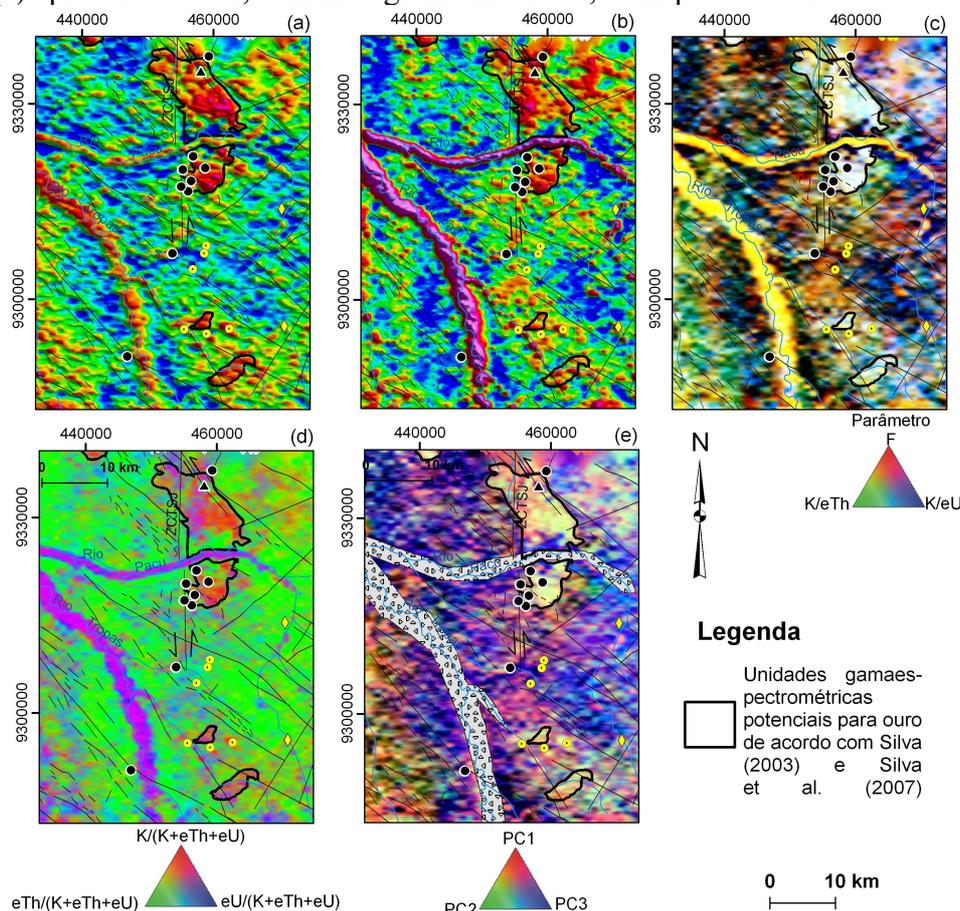


Figura 2. Imagens da razão K/eTh (a) e do parâmetro F (b). (c) Combinação colorida das imagens do parâmetro F e das razões K/eTh e K/eU em RGB. (d) Imagem ternária dos radioelementos K, eTh, eU normalizados (RGB). (e) Combinação colorida das PCs 1, 2 e 3 (RGB), produzidas com base nas imagens de K/eTh, eU/K e K.

A segunda estratégia foi resultado da percepção de que o alto K proveniente das respostas das aluviões poderia influenciar erroneamente a interpretação das componentes principais geradas do processamento, realçando-se alvos ambíguos ao hidrotermalismo, mas que não se enquadram nesta gênese. Desta forma, optou-se pelo uso de uma máscara na região de abrangência das expressivas aluviões dos rios Pacu e Tropas. As imagens geofísicas com as máscaras, e agora caracterizadas por novos valores estatísticos, foram submetidas à APC, gerando-se os autovetores mostrados na parte direita da Tabela 1. A Figura 4 (b) indica a PC2 em pseudo-cor. Esta PC foi escolhida (da mesma forma que a PC 1 da Figura 4 (a)) pela análise dos autovetores, cujos maiores pesos nesta componente principal estão relacionados à maior contribuição da imagem eU/K (sinal negativo), e os menores pesos às baixas contribuições das imagens de K/eTh e K (sinais positivos). Estas respostas, como explicado anteriormente, estão associadas às típicas assinaturas das ocorrências de ouro (cf., Figura 3).

Outra alternativa adotada consistiu na combinação das PCs 1, 2, 3, derivadas do processamento das imagens geofísicas com máscara (cf., autovetores da porção direita da Tabela 1), utilizando-se o espaço de cores RGB. O resultado está mostrado na Figura 2 (e).

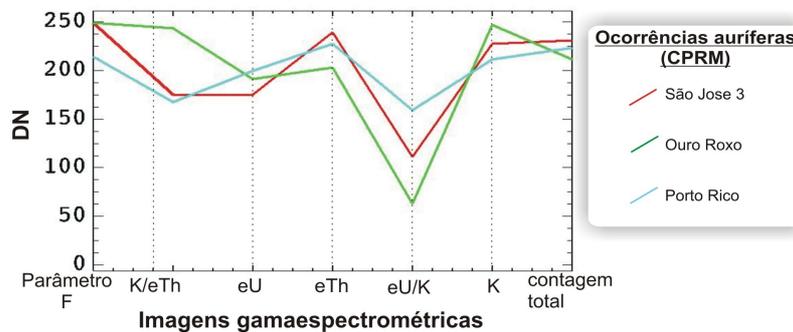


Figura 3. Exemplos de assinaturas gamaespectrométricas de ocorrências de ouro.

Tabela 1. Autovetores resultantes da aplicação da Análise por Principais Componentes nas imagens de K/eTh, eU/K e K, com e sem o uso de máscara.

<i>Sem máscara</i>				<i>Com máscara</i>			
Autovetor	K/eTh	eU/K	K	Autovetor	K/eTh	eU/K	K
PC1	<b>-0.915873</b>	<b>0.011306</b>	<b>-0.401309</b>	PC1	<b>0.705014</b>	0.444385	0.552699
PC2	-0.060527	-0.992066	0.110188	PC2	<b>0.452900</b>	<b>-0.881839</b>	<b>0.131310</b>
PC3	-0.396880	0.125208	0.909291	PC3	-0.545744	-0.157742	<b>0.822971</b>

#### 4.3. Utilização de classificador hiperespectral à aerogamaespectrometria

Carrino et al. (2007b) e Miethke et al. (2007) demonstraram, com sucesso, o uso da classificação *Spectral Angle Mapper* (SAM) (Kruse et al., 2003) para realce de alvos minerais potenciais, estendendo a aplicação deste algoritmo ao processamento de imagens geofísicas.

Neste artigo, o SAM foi aplicado às imagens de K, eTh, eU, contagem total, K/eTh, eU/K e parâmetro F, enquanto a assinatura gamaespectrométrica média das ocorrências de ouro (a exemplo daquelas ilustradas na Figura 3), foi estabelecida como *endmember* (dado de referência). Tanto as imagens quanto o *endmember* são tratados como vetores e o realce de alvos semelhantes ao *endmember* é determinado pelo ângulo espectral, conforme assim denominado no uso do SAM em imagens de sensoriamento remoto (cf., Kruse et al., 1993). Na pesquisa, o ângulo de similaridade equivalente a 0,05 radianos foi selecionado, produzindo-se a imagem classificada apresentada na Figura 4 (c), cujos pixels vermelhos indicam os alvos realçados. Destaca-se que Carrino et al. (2007a) tentaram, porém sem muito sucesso, aplicar esta classificação em partes da área de estudo.

Como forma de integrar as interpretações de lineamentos identificados por meio do sensor TM e as áreas mapeadas como potenciais por meio das técnicas APC e SAM, estes resultados foram dispostos em perspectiva, por meio do uso de dados do SRTM (Figura 5).

#### 5. Discussão dos resultados

A análise da imagem ternária dos canais de K, eTh, eU (Figura 1 (d)) permitiu a averiguação de unidade geofísica, disposta praticamente em direção norte-sul, caracterizada por altos valores de K, de eTh, e médios a altos de eU, conforme anteriormente constatado por Pedroso et al. (2001), e de forma mais refinada por Silva (2003) e Silva et al. (2007). Estes três trabalhos assumiram tais assinaturas gamaespectrométricas como potenciais para a prospecção aurífera, já que altos valores de K presentes podem expressar uma origem por soluções hidrotermais que foram enriquecidas neste elemento. Destaca-se que Silva (2003) também interpretou outra unidade geofísica com alto potássio na porção sul da área de estudo (cf., Figura 1 (b, c, d)), e que também foi utilizada como guia no estudo prospectivo proposto

na presente pesquisa. A individualização destas unidades também foi realizada observando-se os altos valores da razão  $K/eTh$ , do parâmetro  $F$  e da combinação colorida destas duas imagens com a razão  $K/eU$  (Figuras 2 (a, b, c)), além do discernimento desta unidade por meio da composição ternária das imagens de  $K$ ,  $eTh$  e  $eU$  normalizadas. Nota-se que a disposição espacial desta unidade geofísica é correlata à área de descrição de intenso hidrotermalismo, e inserida a leste da ZCTSJ (cf., Klein et al., 2001).

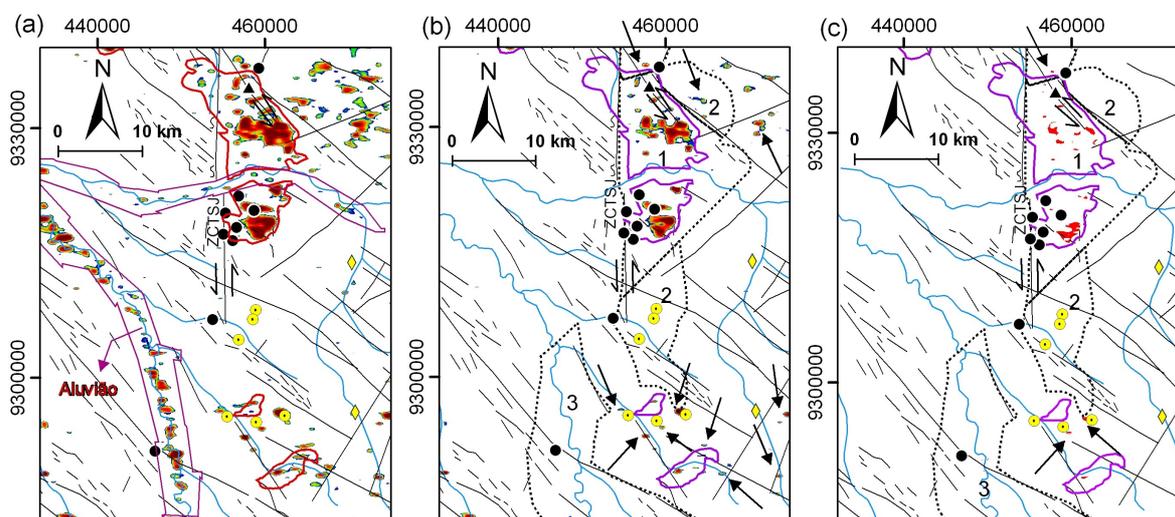


Figura 4. Realce de alvos favoráveis a ouro: (a) PC1 (com histograma invertido) em pseudo-cor, e produzida sem o uso de máscara. Houve realce de aluviões. (b) PC2 gerada por processamento das imagens de  $K/eTh$ ,  $eU/K$  e  $K$ , com uso de máscara a fim de não realçar aluviões. (c) Imagem classificada gerada pela técnica SAM. 1- potencial alto; 2- potencial moderado; 3-potencial baixo para ouro (cf., Klein et al., 2001). Setas indicam alvos realçados.

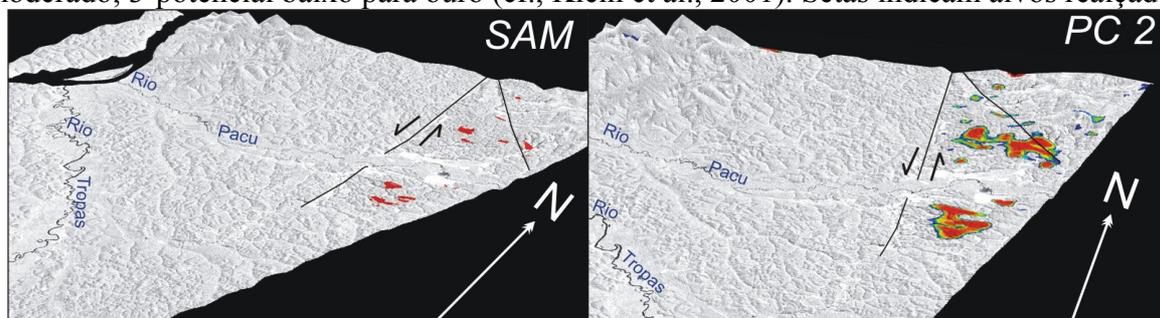


Figura 5. Modelagem em perspectiva dos resultados da classificação SAM e da aplicação da APC. Destaque à ZCTSJ interpretada com base na banda 4 do sensor TM.

A análise das assinaturas gamaespectrométricas das ocorrências de ouro cadastradas pela CPRM (garimpos primários), confirmou a interpretação visual discutida acima. A tendência geral, para todas as ocorrências, caracteriza-se pelos seguintes valores: altos de  $K$ ,  $eTh$ , parâmetro  $F$  e contagem total; médios a altos de  $eU$  e de  $K/eTh$ ; baixos a médios de  $eU/K$  (Figura 3). A partir destas considerações, três imagens que distinguem a unidade geofísica norte-sul na qual localizam-se as principais ocorrências de ouro, foram selecionadas. Estas consistiram nas imagens de  $K$  e da razão  $K/eTh$ , visto pela alta resposta gamaespectrométrica que diferencia esta unidade geofísica das demais, além da razão  $eU/K$ , com baixos valores típicos nas áreas mineralizadas. Com base no uso da Análise por Principais Componentes (APC), foi possível observar, por meio dos autovetores produzidos, que a PC1 gerada do processamento sem aplicação de máscara, caracterizou-se por grande contribuição das imagens originais de  $K$  e  $K/eTh$  (sinal negativo), e baixa da imagem de  $eU/K$  (sinal positivo) (Tabela 1). Com base nos pesos contrastantes às imagens originais que possuem significado

atrelado ao realce da unidade geofísica mineralizada, e na análise dos sinais dos autovetores, a imagem da PC1 foi selecionada, invertendo-se o histograma e aplicando-se uma pseudo-cor conforme mostrado na Figura 4 (a). Porções da unidade geofísica de Silva (2003) foram discriminadas, porém parte das aluviões associadas aos rios Tropas e Pacu foram mapeadas erroneamente, pois não possuem origem hidrotermal. Em função deste resultado inferior, a utilização de máscara foi efetuada nas abrangências das principais aluviões, eliminando as assinaturas geofísicas das mesmas nos processamentos subseqüentes. A partir dos novos autovetores (Tabela 1), a PC2 foi selecionada de acordo com os mesmos critérios dos pesos observados a cada imagem original, além da análise dos sinais. O resultado em pseudo-cor (Figura 4 (b)) foi condizente ao realce de possíveis regiões hidrotermalizadas de acordo com a interpretação de Silva (2003) e reiterada em Silva et al. (2007), o mesmo sendo verificado com a combinação colorida das PCs 1, 2, 3 mostrada na Figura 2 (c). Adicionalmente, novos alvos, indicados por setas na Figura 4 (b), foram discriminados, principalmente na porção sul e nordeste da área.

A imagem classificada com o uso do SAM (Figura 4 (c)), apresentou uma tendência similar no realce de alvos potencialmente hidrotermalizados, em comparação ao resultado da APC (Figura 4 (b)). Setas indicam dois alvos potenciais inéditos classificados pela técnica SAM na porção sul e uma nova ocorrência potencial na parte nordeste da área (Figura 4 (c)).

Destaca-se que as principais áreas realçadas pelas técnicas APC e SAM (Figura 4) são compatíveis com a região designada pela CPRM por alto potencial aurífero (número 1 indicado nesta figura).

A Figura 5 mostra, em perspectiva, o balizamento das áreas potenciais para mineralizações de ouro por proeminentes lineamentos norte-sul (zona de cisalhamento transcorrente São José) e NW-SE, ambas interpretadas com base na imagem do sensor TM.

## 6. Conclusões

O estudo abordou formas de processamentos de dados geofísicos, adicionando-se a interpretação estrutural por meio da imagem TM/Landsat 5, para realce de possíveis assinaturas gamaespectrométricas associadas a hidrotermalismo em uma área do Tapajós anteriormente tratada por diferentes autores. Áreas pré-estabelecidas como potenciais (e.g., Pedroso et al., 1998; Silva, 2003) foram realçadas por meio processamentos simples e clássicos a exemplo da produção de imagens ternária, da razão  $K/eTh$  e do parâmetro  $F$ , além da aplicação das técnicas APC e SAM. Por meio destas duas últimas metodologias, alvos potenciais inéditos foram reconhecidos neste artigo.

Destaca-se que a produção de máscara foi importante para a supressão de assinaturas geofísicas pré-conhecidas (aluviões) e não relacionadas a hidrotermalismo, otimizando-se, desta maneira, o tempo para a interpretação dos resultados da APC e do SAM. O bom entendimento da problemática a ser abordada também foi fundamental para a seleção de imagens de entrada consistentes e que caracterizam o alvo objetivado, e para a determinação de limiares, como o ângulo de similaridade do SAM. Como vantagens, o uso do SAM utilizando-se a geofísica exclui a etapa de correção atmosférica dos dados (necessária no sensoriamento remoto) além de funcionar satisfatoriamente em dados gamaespectrométricos no contexto de regiões com vegetação densa e presença de nuvens.

## Agradecimentos

Thais Andressa Carrino agradece à CAPES pela concessão de bolsa de mestrado e ao Laboratório de Geofísica Aplicada-UnB pelo suporte técnico. Os autores agradecem à CPRM-DIGEOP pela cessão dos dados aerogeofísicos.

## Referências bibliográficas

Blum, M.L. **Processamento e interpretação de dados de geofísica aérea no Brasil central e sua aplicação à**

**geologia regional e à prospecção mineral.** 1999. 229 p. Tese (Doutorado em Geologia) - Universidade de Brasília, Brasília-DF, 1999

Carrino, T.A.; Souza Filho, C.R.; Leite, E.P. Algoritmos Spectral Angle Mapper e Mixture Tuned Matched Filtering aplicados à aerogeofísica para estudo da favorabilidade de mineralizações auríferas primárias no contexto da Província Mineral do Tapajós, Pará. In: International Congress of the Brazilian Geophysical Society & EXPOGEF, 10., 2007a, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: SBGf, 2007a, em CD-ROM.

Carrino, T.A.; Souza Filho, C.R.; Leite, E.P. Aplicação de técnicas de classificação espectral a dados magnetométricos e gamaespectrométricos para mapeamento de áreas favoráveis a mineralização de EGP na região de Serra Leste, Província Mineral de Carajás (Pará). In: International Congress of the Brazilian Geophysical Society & EXPOGEF, 10., 2007b, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: SBGf, 2007b, em CD-ROM.

Klein, E.L.; Almeida, M.E.; Vasquez, M.L.; Bahia, R.B.C.; Santos, M.L.E.; Ferreira, A.L. **Geologia e recursos minerais da Província Mineral do Tapajós. Folhas Vila Mamães Anã (SB.21-V-D), Jacareacanga (SB.21-Y-B), Caracol (SB.21-X-X), Vila Riozinho (SB.21-Z-A) e Rio Novo (SB.21-Z-C).** Estados do Pará e Amazonas. Escala 1:500.000. Brasília: CPRM/DIEDIG/DEPAT, 2001, 81 p.

Kruse, F.A.; Lefkoff, A.B.; Boardman, J.B.; Heidebrecht, K.B.; Shapiro, A.T.; Barloon, P.J.; Goetz, A.F.H. The Spectral Image Processing Systems (SIPS) – Interactive Visualization and Analysis of Imaging spectrometer Data. **Remote Sensing of Environment**, 1993, v. 44, p. 145-163.

Miethke, C.; Souza Filho, C.R.; Silva, A.M. Assinatura geofísica e modelos prospectivos 'knowledge-driven' de mineralizações de Au no lineamento Congonhas, sul do Cráton São Francisco, MG. **Revista Brasileira de Geociências**, 2007, v. 37, n. 3, p. 490-503.

Pedroso, E.C.; Rivard, B.; Crósta, A.P.; Souza Filho, C.R.; Miranda, F.P. Reconnaissance geologic mapping in the Tapajós Mineral Province, Brazilian Amazon, using spaceborne SAR imagery and airborne geophysics. **Canadian Journal of Remote Sensing**, 2001, v. 22, p. 669-678.

Ranjbar, H.; Honarmand, M.; Moezifar, Z.; Shakoory, M. Integration and analysis of remote sensing, airborne geophysics and geochemical data of Sar Cheshmeh area, using directed principal component analysis. In: Remote sensing for environmental monitoring, GIS applications, and geology, 2., 2002, Agia Pelagia (Greece). **Proceedings...** Agia Pelagia: 2003, v. 4886, p. 429-437.

Santos, J.O.S.; Groves, D.I.; Hartmann, L.A.; Moura, M.A.; McNaughton, N.J. Gold deposits of the Tapajós and Alta Floresta domains, Tapajós-Parima orogenic belt, Amazon Craton, Brazil. **Mineralium Deposita**, 2001, v. 36, p. 278-299.

Silva, A.A.C. **Processamento, interpretação e integração de dados geológicos e geofísicos da Província Mineral do Tapajós.** 2003. 137 p. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Universidade de Brasília, Brasília-DF. 2003.

Silva, A.A.C.; Silva, A.M.; Fuck, R.A. Interpretação de dados aerogeofísicos da Província Mineral do Tapajós aplicada à geologia regional e prospecção de ouro. In: Lúcia Travassos da Rosa-Costa; Evandro Luiz Klein; Eduardo Paim Viglio. (Org.). **Contribuições à Geologia da Amazônia.** Belém: SBG - Núcleo Norte, 2007, v. 5, p. 63-74.

Tangestani, M.H.; Moore, F. Comparison of three principal component analysis techniques for porphyry copper alteration mapping: a case study in Meiduk area, Kerman, Iran. **Canadian Journal of Remote Sensing**, 2001, v. 27, p.176-182.

Quadros, T.F.P.; Koppe, J.C.; Strieder, A.J.; Costa, J.F.C.L. Gamma-ray data processing and integration for lode-Au deposits exploration. **Natural Resources Research**, 2003, v. 12, n. 1, p. 57-65.