

# Krigagens e simulação estocástica de dados geoquímicos e sua integração com dados multifonte na região do Creporizão, Província Mineral do Tapajós, Pará

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>  
Alexandre Campana Vidal<sup>3</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

<sup>3</sup>Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP  
Caixa Postal 6152 - 13083-970 - Campinas-SP, Brasil  
vidal@ige.unicamp.br

**Abstract.** This paper applied geophysical, SAR, SRTM images and geochemistry data to the geologic characterization of the Creporizão region, located in the Tapajós Mineral Province (Pará state – Brazil), whose gold occurrences are related, mostly, to granites of the Creporizão Intrusive Suite unit. Interpretation of drainage and lineaments were realized based on the SAR-RADAM image, as well as an analysis of the magnetic lineaments through the first vertical derivative, and determination of gamma-ray spectrometry units. With the geostatistic treatment of the chemistry elements associated with current sediments and soil, maps generated by ordinary kriging were producing, and color combinations of the elements with high correlations. In the case of gold in current sediments, hydrographic sub-basins related to anomalous values in this element were distinguished. In the case of gold in soil, it was observed high potential in the southeast portion of the studied area (using indicator and ordinary kriging) that is also characterized by NE-SW and NW-SE lineaments interpreted in the SAR image. Additionally, the sequential indicator simulation was utilized to the production of equiprobably prospective scenarios of gold anomalies, and the geochemistry signatures of nine gold occurrences were extracted and associated to the host rocks. It was possible to check that the application of geostatistic techniques in geochemistry data and the integration of these results with remote sensing and geophysical data and/or interpretations can be an useful tool to the gold prospection. The use of the stochastic simulation can guide significantly exploration works, mostly in the first steps of the research, when the geologic knowledge is restrict.

**Palavras-chaves:** geostatistic, geochemistry, synthetic aperture radar, airborne geophysics, geostatística, geoquímica, radar de abertura sintética, geofísica aérea.

## 1. Introdução

O interesse em estudos de granitos no Brasil vem crescendo nos últimos anos em função das perspectivas econômicas de recursos minerais associados. Um dos fatores limitantes para estes estudos compreende a ausência de mapeamentos de detalhe, a exemplo do que ocorre na região Amazônica, uma imensa área ainda carente de mapeamento geológico básico e que, consequentemente, apresenta um potencial para novas descobertas (Sial et al., 1999).

O Cráton Amazônico pode ser dividido em blocos de acordo com várias linhas de pesquisa (e.g., Tassinari, 1996; Santos et al., 2006). Estes blocos foram intrudidos por granitos que podem ser sintetizados da seguinte maneira: (1) granitos arqueanos da parte leste; (2) granitos calci-alcálicos paleoproterozóicos na porção central; (3) granitos tipo A paleo e neoproterozóicos (Série Rapakivi), abundantes nas porções leste, central e sudoeste; (4) granitos mesoproterozóicos da região do Rio Negro (Sial et al., 1999).

Os granitos calci-alcálicos paleoproterozóicos (~1,98-1,88 Ga) são abundantes e correlatos a seqüências vulcânicas como verificado nas regiões do Xingu, Pitinga, Mapuera e Tapajós (Almeida et al., 2001). Nesse contexto, uma região da Província Mineral do Tapajós, localizada nos estados do Amazonas e Pará (Figura 1), foi selecionada para estudo, uma vez que apresenta importantes mineralizações auríferas associadas a granitos cálcio-alcálicos paleoproterozóicos (Dall’Agnol et al., 2000) e base de dados com informações cartográficas, de sensoriamento remoto, de aerogeofísica e geoquímica satisfatória para caracterização geológica. Particularmente, foi assumida a área-piloto Creporizão, assim designada no trabalho de Araújo (2000).

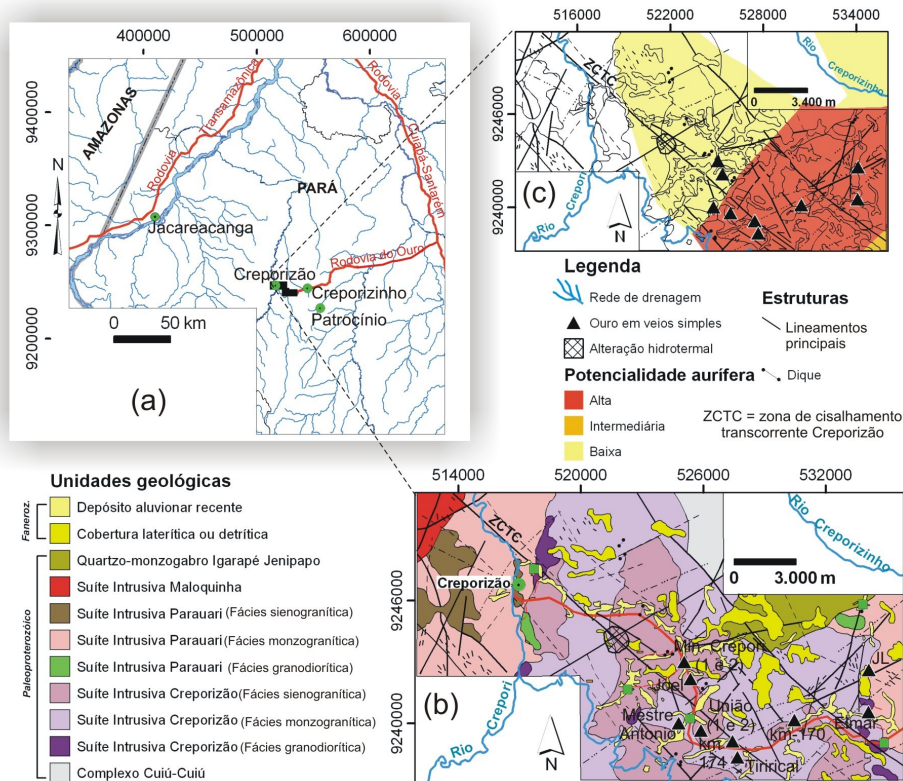


Figura 1. (a) Localização da área de estudo na Província Mineral do Tapajós. (b) Mapa geológico (Araújo, 2000) e (c) mapa do potencial aurífero (Klein et al., 2001).

## 2. A região do Creporizão

A área-piloto Creporizão é caracterizada pelas seguintes unidades geológicas (Araújo, 2000, Vasquez et al., 2002) (Figura 1 (b)): (1) *domínio orogênico*: Complexo Cuiú-Cuiú (~2,0 Ga; gnaisses, granodioritos e tonalitos); Suíte Intrusiva Creporizão (~1,97 Ga; granitos sin a tardi-orogênicos cálcio-alcálicos de médio a alto K). (2) *domínio extensional*: Suíte Intrusiva Parauari (~1,95 Ga; granitos cálcio-alcálicos porfiríticos); Suíte Intrusiva Maloquinha (~1,9 Ga; granitos alcalinos a aluminosos, de alto K, pós-orogênicos a fracamente anorogênicos); Quartzo-monzogabro Igarapé Jenipapo (~1,7 Ga; rochas intrusivas e efusivas básicas intermediárias); as coberturas detrito-lateríticas e as aluviões recentes

Falhas subverticais NNW-SSE e NNE-SSW foram geradas em sistema transcorrente paleoproterozóico, e atuaram como condutos de fluidos hidrotermais e na disposição espacial de corpos intrusivos. Subordinadamente há estruturas E-W (fraturas e falhas extensionais) relacionadas ao sistema transcorrente (Klein et al., 2001). As ocorrências de ouro estão associadas a veios de quartzo simples e conjugados com sulfetos e halos hidrotermais métricos, em geral. As rochas hospedeiras, encaixantes e os controles estruturais são os seguintes (Klein et al., 2001): (1) *granitos da Suíte Intrusiva Creporizão*: garimpos União 1 e 2 (N60W/88NE); km 174 (N85E/85SE); km 170 (N70E/88SE); JL (N66E/88SE); Tirirical

(N70E/88SE); Mineração Crepori 1 (N40-70W/88SE); (Joel e Mestre Antonio (ambos associados a diques máficos; N50E/65NW e N60E/88SE, respectivamente); (2) *granitos da Suíte Intrusiva Parauari*: garimpo Elmar (N60W/88NE); *Quartzo monzogabro Igarapé Jenipapo*: Mineração Crepori 2 (N45W/88SW) (Figura 1 (b, c)).

### 3. Materiais

O mapa geológico (Araújo, 2000) e o metalogenético da Folha Vila Riozinho (Klein et al. 2001), em escala 1:250.000, foram selecionados, assim como a imagem SAR-RADAM da década de 70 (polarização HH, banda X (~3 cm), tamanho do pixel e resolução espacial de 16 m) e dados altimétricos do *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) (resolução espacial aproximada de 90 m). Dados magnetométricos e gamaespectrométricos aéreos, do Projeto Médio Tapajós, de 1986, caracterizados por linhas de vôo (N-S) e de controle (E-W) espaçadas em 2 km e 20 km, respectivamente, foram empregados, além de dados geoquímicos (Araújo, 2000). Estes dados geoquímicos consistem em 115 amostras de sedimentos de corrente e 501 de solo (horizonte B), com análises, respectivas, de 29 e 37 elementos químicos.

### 4. Tratamento dos dados multifonte

#### 4.1. Radar de abertura sintética (SAR) e altimetria (SRTM)

A imagem SAR-RADAM, em formato *raster* e em 8 bits, foi georreferenciada com base no uso da folha topográfica Vila Riozinho (1:250.000), assim como a imagem do SRTM.

Com base na imagem SAR, foram reconhecidas as drenagens, lineamentos e posterior determinação dos principais alinhamentos de drenagem e relevo.

#### 4.2. Aerogeofísica

As imagens geofísicas geradas são referentes ao banco de dados processado por Silva (2003). Os dados foram interpolados utilizando-se a curvatura mínima com tamanho da célula equivalente a 500 m e, posteriormente, micronivelados com o algoritmo de Blum (1999). Produtos derivados para mapeamento geológico e prospecção mineral foram produzidos, a saber: amplitude e inclinação do sinal analítico; derivadas horizontais e vertical, bem como a amplitude do gradiente horizontal total e soluções de Euler. Utilizou-se, principalmente, a imagem da primeira derivada vertical do campo magnético anômalo para extração de lineamentos magnéticos (Figura 2 (a)). No caso da gamaespectrometria, as imagens dos canais de K, eTh e eU foram geradas e combinadas no espaço de cores RGB (vermelho-verde-azul) (Figura 2 (b)).

#### 4.3. Geoquímica de sedimentos de corrente e de solo e integração de dados

Os dados geoquímicos de sedimentos de corrente e de solo foram analisados inicialmente por meio da estatística básica e produção de histogramas. Os valores geoquímicos podem ser melhor designados como variáveis contínuas do espaço amostrado. Sob o enfoque geoestatístico, estas variáveis são inicialmente tratadas por meio de estudo variográfico e ajuste de uma função matemática ou modelo de semivariograma teórico (Matheron, 1963) que, no estudo, equivaliu ao emprego do modelo esférico e do efeito pepita. A malha para a interpolação foi estipulada em células de 150m x 150m, totalizando 160 no eixo x e 90 no eixo y, e alcances de vizinhança em x e y equivalentes a 15.000 m e 10.000 m. A partir destes parâmetros, foi aplicada a krigagem ordinária (Goovaerts, 1999), produzindo-se mapas de distribuição de elementos químicos. Estes resultados são apresentados por meio de combinações coloridas de tripletes de imagens, a partir do uso do espaço de cores RGB, e

referentes aos seguintes elementos que apresentaram coeficientes de correlação de Pearson ( $r$ ) significativos (Figura 3):

-*sedimentos de corrente*: (1) Cr, Co, Cd ( $r_{Cr-Co}=0,363$ ,  $r_{Cr-Cd}=0,509$ ,  $r_{Co-Cd}=0,717$ ); (2) Al, Sr, Ba ( $r_{Al-Ba}=0,631$ ,  $r_{Al-Sr}=0,558$ ,  $r_{Ba-Sr}=0,874$ ).

-*solo*: (1) Fe, V, Cr ( $r_{Fe-V}=0,873$ ,  $r_{Fe-Cr}=0,603$ ,  $r_{Cr-V}=0,664$ ); (2) K, Ba, Li ( $r_{K-Ba}=0,712$ ,  $r_{K-Li}=0,517$ ,  $r_{Li-Ba}=0,401$ ).

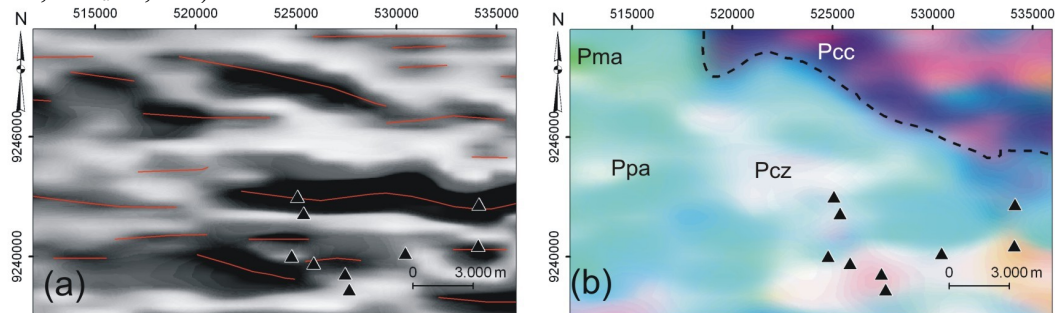


Figura 2. (a) Primeira derivada vertical do campo magnético anômalo e lineamentos magnéticos interpretados; (b) composição ternária RGB (K, eTh, eU). Pcc= Complexo Cuiú-Cuiú; Pcz = Suíte Intrusiva Creporizão; Ppa = Suíte Intrusiva Parauari; Pma = Suíte Intrusiva Maloquinha.

No caso do elemento químico ouro (em solo e sedimentos de corrente), optou-se também pelo uso da interpolação krigagem indicatriz (Goovaerts, 1999), com a finalidade de estimar a probabilidade de ocorrência de variáveis discretas que, no estudo, compreenderam a determinação de variáveis regionalizadas binárias, ou indicatrizes. Estas variáveis foram geradas a partir dos teores de corte de 56,78601 ppb (solo) e 303,7750 ppb (sedimentos) obtidos pela média+desvio padrão (anomalias de primeira ordem), para geração de mapas de probabilidade de ocorrência de concentração de ouro acima dos teores de corte, numa variação entre 0% a 100%. Os passos seguintes consistiram na determinação do semivariograma experimental da indicatriz e ajuste deste a um modelo semivariográfico (esférico e efeito pepita). Os resultados estão apresentados na Figura 3.

A Figura 4 apresenta mapas de probabilidade de ocorrência de anomalias de ouro em solo, integrados com ocorrências auríferas e alinhamentos de drenagem e relevo interpretados com base na imagem SAR-RADAM. Estes mapas de probabilidade aurífera foram produzidos pelas seguintes metodologias:

- determinação, por ajuste de histograma, de valores anômalos de ouro provenientes da interpolação por krigagem ordinária (Figura 4 (a));
- resultado da ocorrência da concentração de ouro em solo, gerado pela krigagem indicatriz, em proporções maiores que 5%, a fim de estipular um refino interpretativo para áreas com maior potencial aurífero (Figura 4 (b)).
- aplicação da simulação indicatriz seqüencial, que compreende uma simulação estocástica que se utiliza de variável indicatriz, no caso os dados geoquímicos discretizados e empregados na krigagem indicatriz para ouro em solo. Como a simulação não produz o cenário mais provável dos valores de uma variável regionalizada (a exemplo das krigagens), geram-se imagens ilimitadas e equiprováveis, ou seja, com mesma média, distribuição e variabilidade espacial (Goovaerts, 1999). No estudo, foram gerados 35 cenários equiprováveis para anomalias de ouro em solo, sendo apresentados os cenários 5 e 25 na Figura 4 (c, d).

Adicionalmente, a partir de imagens geoquímicas de solo interpoladas por meio da krigagem ordinária, foi possível quantificar a assinatura geoquímica regional das ocorrências auríferas documentadas pela CPRM, com base no re-escalamento das imagens para 8 bits (256 níveis de cinza), a fim de manter a integridade dos dados, visto que os diferentes

elementos possuem escalas de medidas diferenciadas. A Figura 5 indica a localização destas ocorrências, por meio da integração da imagem SAR-RADAM e anomalias de ouro em solo com o modelo digital de elevação (SRTM), além das respectivas respostas geoquímicas.

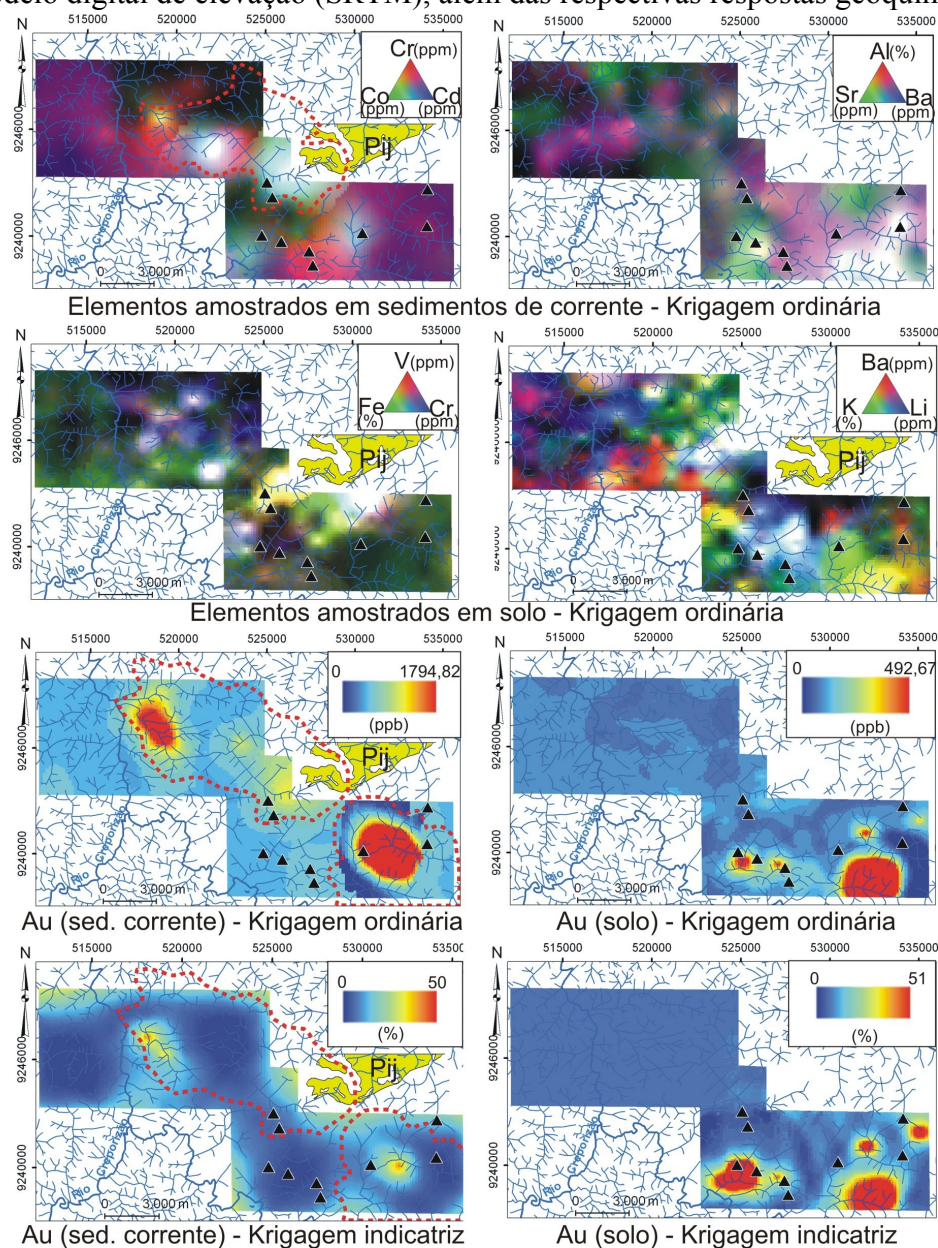


Figura 3. Imagens geradas pelos métodos krigagem ordinária e indicatriz a partir dos elementos químicos amostrados em sedimentos de corrente e em solo. Linhas pontilhadas interpretadas indicam principais sub-bacias associadas a anomalias geoquímicas. Pij – Quartzo-monzogabro Igarapé Jenipapo.

## 5. Discussão dos resultados

A imagem da primeira derivada vertical do campo magnético anômalo (Figura 2 (a)) realçou lineamentos magnéticos de direção E-W. Esta tendência pode representar falhas/fraturas extensionais derivadas do sistema transcorrente NW-SE paleoproterozóico. Feições do sistema transcorrente NW-SE foram interpretadas na imagem SAR-RADAM, observando-se forte estruturação de drenagens e alinhamentos associados (e.g., Figuras 3 e 4). O *trend* NE-SW também foi identificado, e é associado a uma fase posterior, quando da reativação de estruturas NE-SW pré-existent (Klein et al., 2001). Adicionalmente, direções N-S e E-W mostram-se expressivas nesta imagem.

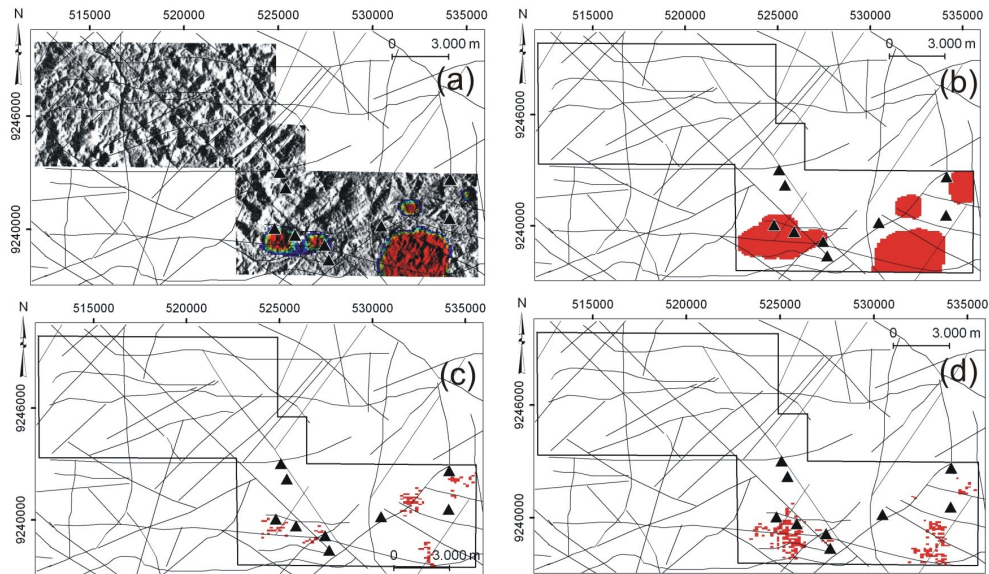


Figura 4. Produtos integrados com interpretação dos principais alinhamentos de drenagem e relevo: (a) imagem SAR-RADAM sobreposta às anomalias de ouro em solo constatadas via krigagem ordinária; (b) mapa de probabilidade de ocorrência de anomalias maiores que 5% da variável indicatriz ouro em solo; cenários equiprováveis 5 (c) e 25 (d) (simulação indicatriz seqüencial).

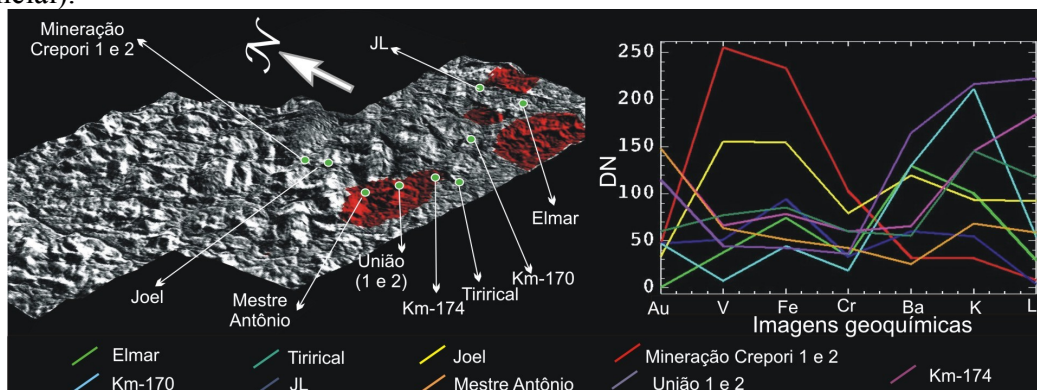


Figura 5. Identificação das ocorrências auríferas e das respectivas assinaturas geoquímicas.

Com base na imagem gamaespectrométrica ternária da Figura 2 (b), foi verificado um contato geológico abrupto entre as unidades Suíte Intrusiva Creporizão (Pcz) com o Complexo Cuiú-Cuiú (Pcc) e parte do Quartzo-monzogabro Igarapé Jenipapo (Pij) (cf., mapa geológico da Figura 1). Em função da baixa qualidade dos dados geofísicos, com espaçamento das linhas de vôo de 2 km, não foi possível inferir assinaturas provenientes de alterações hidrotermais, visto que, de acordo com o mapeamento já realizado na área (cf., Klein et al., 2001), os halos hidrotermais são métricos.

A utilização da krigagem ordinária como método interpolador é uma das técnicas mais empregadas em estudos geoquímicos associados à prospecção e também à análise ambiental. Com os resultados gerados neste artigo para elementos químicos amostrados em sedimentos de corrente integrados com a drenagem interpretada por meio da imagem SAR (Figura 3), foi possível determinar uma importante sub-bacia caracterizada por concentrações anômalas dos elementos Co, Cr, Cd, e associá-la à influência da unidade Quartzo-monzogabro Igarapé Jenipapo (Pij). Com relação aos elementos Al, Sr, Ba, a composição colorida (Figura 3) caracteriza-se pela distribuição de altos valores nestes três elementos químicos praticamente em toda a área de estudo. Estas assinaturas geoquímicas refletem o domínio de unidades graníticas, como as suítes intrusivas Creporizão (Pcz) e Parauari (Ppa). A krigagem ordinária

aplicada em elementos químicos amostrados em solo revelou proeminente anomalia dos elementos Fe, V, Cr nas proximidades da unidade Quartzo-monzogabro Igarapé Jenipapo, confirmando assim, as anomalias à jusante observadas nos resultados para elementos Cr, Co, Cd amostrados em sedimentos de corrente. Para os elementos Li, Ba, K amostrados em solo, houve uma concentração destes na porção mais central da área, além de ser possível identificar baixos valores nas proximidades da unidade Quartzo-monzogabro Igarapé Jenipapo (pixels pretos). As altas respostas ou mesmas variações mais enriquecidas ora em K, Li ou Ba, tendem a refletir as unidades graníticas.

Com relação ao ouro, duas importantes sub-bacias foram demarcadas pela presença de anomalias de ouro acima de cerca de 350 ppb. Para o ouro em solo, as anomalias maiores que aproximadamente 100 ppb caracterizaram a porção sudeste da área de estudo (Figuras 3 e 4). Estas anomalias são concordantes com a delimitação regional do potencial aurífero da região do Creporizão feita no programa PROMIN-Tapajós (Klein et al., 2001) (cf., mapa da Figura 1 (c)). Nota-se que as mesmas tendências observadas nas imagens interpoladas pela krigagem ordinária são visualizadas nas imagens produzidas pela krigagem indicatriz, identificando-se as mesmas sub-bacias potenciais e as anomalias de ouro de solo na porção sudeste (Figura 3). Uma das vantagens da aplicação da krigagem indicatriz correspondeu o realce de alvos a partir do teor de corte relacionado a anomalias de primeira ordem além das de ordens superiores, eliminando possíveis *backgrounds* geoquímicos.

A partir da imagem de ouro (solo) gerada pela krigagem indicatriz, o mapa de anomalias auríferas em proporções maiores que 5% foi produzido (Figura 4 (b)), permitindo um refino para a determinação espacial dos valores anômalos mais proeminentes. A simulação indicatriz seqüencial também proveu a identificação de áreas anômalas para ouro, a custo de 35 imagens equiprováveis (Figura 4 (c, d)). Os diferentes resultados apresentados na Figura 4 e integrados com alinhamentos de drenagem e de relevo, permitiram a identificação de anomalias associadas a um expressivo lineamentos de direção N50E (proximidades dos garimpos Elmar, JL, km-170), além de áreas anômalas marcadas por estruturas de direção NE-SW (N40-50E) e NW-SE (N40-80W), nas abrangências dos garimpos Tirirical, Mestre Antônio, km-174 e União 1 e 2. No caso da anomalia localizada no extremo sudeste da área de estudo não há registros de ocorrências auríferas ou garimpos pela CPRM. Destaca-se que a verificação em imagem SAR dos *trends* NE-SW e NW-SE reflete a identificação em campo destas mesmas tendências estruturais nos garimpos investigados por Klein et al. (2001), e que, segundo este autor, possuem papel fundamental no controle das mineralizações de ouro.

A quantificação das assinaturas geoquímicas das ocorrências auríferas/garimpos primários mostrada na Figura 5, caracterizou o contexto das mineralizações relacionadas a rochas hospedeiras graníticas, visto pelas respostas médias a altas nos elementos Li, K, Ba (e.g., garimpos União 1 e 2, Elmar, Tirirical), e o contexto de hospedeiras associadas a rochas graníticas e máficas, caso do garimpo Joel (presença de diques de diabásio) e da Mineração Crepori (abrangência, em partes, do Quartzo-monzogabro Igarapé Jenipapo), em que valores de elementos como Fe, V e Cr foram mais expressivos. Por sua vez, as maiores anomalias de ouro estão associadas às abrangências dos garimpos Mestre Antônio, União 1 e 2.

## 6. Considerações finais

As etapas de tratamento geoestatístico de variáveis geoquímicas e a integração com dados de sensoriamento remoto ou dos resultados interpretativos (drenagens e lineamentos), permitiram, nesta pesquisa, a discriminação de sub-bacias com anomalias de ouro, da relação estrutural com as anomalias, a determinação da principal área potencial para a prospecção aurífera, além de prover a análise, quantificação e interpretação das assinaturas geoquímicas das ocorrências minerais já conhecidas.

O emprego da krigagem indicatriz, embora pouco usual no tratamento de dados geoquímicos em comparação à krigagem ordinária, demonstrou ser uma alternativa como método interpolador, realçando-se áreas favoráveis à concentração de ouro. Da mesma forma, a simulação indicatriz seqüencial atua como método adicional, principalmente nas etapas iniciais da pesquisa prospectiva, quando as informações geológicas são restritas. Em exploração mineral, estas duas técnicas permitem a inclusão da incerteza nos resultados produzidos, a exemplo do que usualmente é realizado em modelagens de reservatório.

### **Agradecimentos**

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

### **Referências bibliográficas**

Almeida, M.E.; Ferreira, A.L.; Brito, M.F.L.; Monteiro, M.A.S. Evolução tectono-estrutural da Província Tapajós com base na geologia das Folhas Vila Mamãe Anã e Jacareacanga (1:250.000), região limítrofe dos Estados do Amazonas e Pará. In: Reis, N.J.; Monteiro, M.A.S. (Coord.) **Contribuições à geologia da Amazônia**. Manaus: SBG-Núcleo Norte, 2001, v. 2, p. 57-114.

Araújo, E.S. **Projeto Especial Província Mineral do Tapajós – PROMIN Tapajós. Relatório Técnico de Geoquímica. Sedimentos de corrente e solos da área piloto Creporizão. Áreas de detalhe: garimpo do Joel, Mineração Crepori, Fazenda JL**. Estado do Pará. Brasília: CPRM, 2000, 51 p.

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.

Dall'Agnol, R.; Bettencourt, J.S.; Botelho, N.F.; Klein, E. Granites and related tin and gold deposits in Brazil. In: International Geological Congress, 2000, Rio de Janeiro. **Extended Abstracts**, 2000, v. G6.

Goovaerts, P. **Geostatistics for natural resources evaluation**. London: Oxford University Press, 1997, 483 p.

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.

Matheron, G. Principles of geostatistics. **Economic Geology**, v. 58, p. 1276-1266, 1963.

Santos, J.O.S.; Hartmann, L.A.; Riker S.R.; Souza, M.M.; Almeida, M.E.; McNaughton, N.J. A compartimentação do cráton Amazonas em províncias: avanços ocorridos no período 2000-2006. In: Simpósio de Geologia da Amazônia, 9., 2006, Belém. **Anais...**, Belém: SBG, 2006, em CD-ROM.

Sial, A.N.; Dall'Agnol, R.; Ferreira, V.P.; Nardi, L.V.S.; Pimentel M.M.; Wiedmann, C.M. Precambrian granitic magmatism in Brazil. **Episodes**, v. 22, n. 3, p. 191-198, 1999.

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.

Tassinari, C.G.C. **O mapa geocronológico do cráton amazônico no Brasil: revisão dos dados isotópicos**. 1996 139 p. Tese de livre docência. Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, São Paulo-SP. 1996.

Vasquez, M.L.; Ricci, P.S.F.; Klein, E.L. Granitíoides pós-colisionais da porção leste da Província Tapajós. In: Klein, E.L.; Vasquez, M.L.; Rosa-Costa, L.T. (Org.). **Contribuições à geologia da Amazônia**. Belém: SBG-Núcleo Norte, 2002, v. 3, p. 67-83.