

## Processamento e interpretação de dados aerogamaespectrométricos integrados com dados geoquímicos aplicados ao estudo de uma ocorrência aurífera à sudoeste de Lavras do Sul (RS)

Neida Ilana Cardoso Rios\*, Universidade Federal do Pampa; Louise Amalfi Fiorite, Universidade Federal do Pampa; Mário Jesus Tomas Rosales, Universidade Federal do Pampa

Copyright 2013, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation during the 13<sup>th</sup> International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Rio de Janeiro, Brazil, August 26-29, 2013.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 13<sup>th</sup> International Congress of the Brazilian Geophysical Society and do not necessarily represent any position of the SBGf, its officers or members. Electronic reproduction or storage of any part of this paper for commercial purposes without the written consent of the Brazilian Geophysical Society is prohibited.

### Abstract

The study area is located in Lavras do Sul (RS) distant 2.5 km southwest of the city, comprises a polygon aproximadamente 8.3 km<sup>2</sup>.

Geologically the study area is inserted in the region of Lavras Intrusive Complex South (605-580 Ma), composed of schists and metagranitoids partially covered by sedimentary rocks.

Were compiled and processed data pertaining to the Aerogammaespectrometry Aerogeophysical Project of the Shield of Rio Grande do Sul (CPRM, 2010) and subsequent integration with geochemical data made available by the company AMARILLO GOLD.

Through the data processing aerogammaespectrometry was possible to identify a halo of concentration of potassium around the auriferous occurrence. This occurrence was associated with areas of high weathering and hydrothermalism.

### Introdução

A área de estudo está localizada no município de Lavras do Sul a 2.5km à sudoeste da cidade e seu acesso pode ser feito através da estrada de terra que une a cidade de Lavras do Sul à Bagé. Compreende um polígono de aproximadamente 8,3 km<sup>2</sup> (Figura 1).

A região de Lavras do Sul localiza-se na porção oeste do Escudo Sul-Rio-Grandense e é caracterizada por um embasamento constituído de metagranitoides (Complexo Cambaí) e xistos (Metamorfitos Arroio da Porteira) relacionados ao Ciclo Brasileiro, que são parcialmente cobertos por rochas sedimentares da Formação Maricá. Este conjunto foi sobreposto e intrudido por rochas básicas à ácidas da Associação Shoshonítica de Lavras do Sul – ASLS (Nardi & Lima, 1985). Granitos e vulcanitos ácidos e básicos, de afinidade alcalina sódica saturada em sílica (Formação Acampamento Velho) e, rochas sedimentares da Formação Santa Bárbara sucedem esta associação.

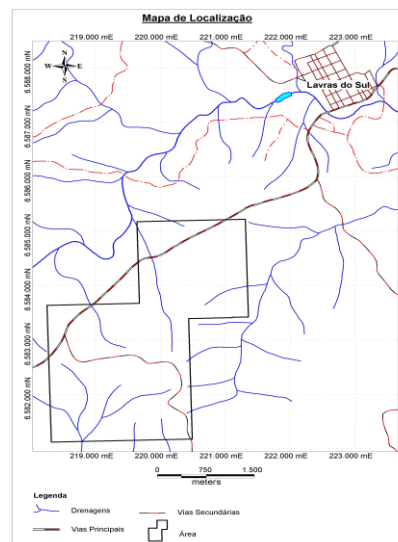


Figura 1 – Mapa de Localização

A ASLS tem idade neoproterozóica (Nardi & Lima, 1985) e apresenta características de um magmatismo pós-colisional relacionando-se aos estágios finais da Orogenia Brasileira. A ASLS possui na base traquibasaltos potássicos, sucedidos por quatro ciclos efusivos shoshoníticos, além de depósitos piroclásticos correlatos (Lima, 1995). Os corpos intrusivos contemporâneos aos vulcanitos de base foram datados por Gastal (1999) e são representados pelo Monzodiorito Arroio do Jaques ( $599 \pm 7$  Ma) e pelo Monzonito Tapera ( $601 \pm 5$  Ma). São temporalmente anteriores aos granitos do núcleo (Granodiorito a monzogranito) e ao pertita granito que apresentam idades de  $594 \pm 5$  Ma (Remus et al. 2000). Gastal et al (2006), com base em novos dados geocronológicos e reinterpretados de Remus et al. (2000), sugerem que o Monzonito Tapera, o Monzodiorito Arroio do Jaques e os granitos do núcleo são cronocorrelatos ( $\approx 600$  Ma), enquanto que o pertita granito cristalizou em torno de 586 Ma. Estas unidades intrusivas foram reunidas por estes autores no Complexo Intrusivo Lavras do Sul (CILS). O intuito do trabalho é caracterizar a ocorrência aurífera identificada pela análise e interpretação da geoquímica de detalhe da área de estudo. O trabalho utiliza uma metodologia de processamento e integração de dados aerogamaespectrométricos oriundos do Projeto Aerogeofísico do Escudo do Rio Grande do Sul (CPRM, 2010), dados de altitude ortométrica ASTER GDEM (METI/NASA, 2009), mapeamento geológico de detalhe

(AMARILLO GOLD, 2010) e geoquímica de semi-detalhe da área de estudo (ACME, 2010).

**Mapeamento geológico da área de estudo**

Geologicamente, a área está inserida na borda sudoeste do Complexo Intrusivo Lavras do Sul (605 – 580 Ma), no contato com os sedimentos da Formação Maricá ( $\pm 670$  Ma) e com os gnaisses do Grupo Cambaí ( $\pm 540$  Ma). O mapeamento geológico da área de estudo foi realizado pela *Amarillo Gold Corporation* através de análise química e mineralógica de amostras de solo. A amostragem foi executada em uma malha regular de 200 x 25, as linhas transversais estão espaçadas a cada 200 metros apresentando um intervalo de amostragem de 25 metros ao longo da linha. Em cada ponto de amostragem foi coletada uma amostra de solo à uma profundidade entre 30 e 50 cm, com uma massa de 2,0 à 3,0 quilos, para uma posterior análise de 36 elementos pelo método ICP/1DX2 - espectroscopia de emissão óptica (ACME, 2010). Através de amostras de solo e rochas foram identificados quatro principais conjuntos de litologias: gnaisses e quartzitos, pertencentes ao grupo Cambaí, sedimentos e vulcânicas correlatas da Formação Maricá, pertita granito e monzogranito. Além destes, ocorrem ainda veios de quartzo deci-centimétricos que, via de regra, estão condicionados à zonas de fraturamentos (Figura 2).

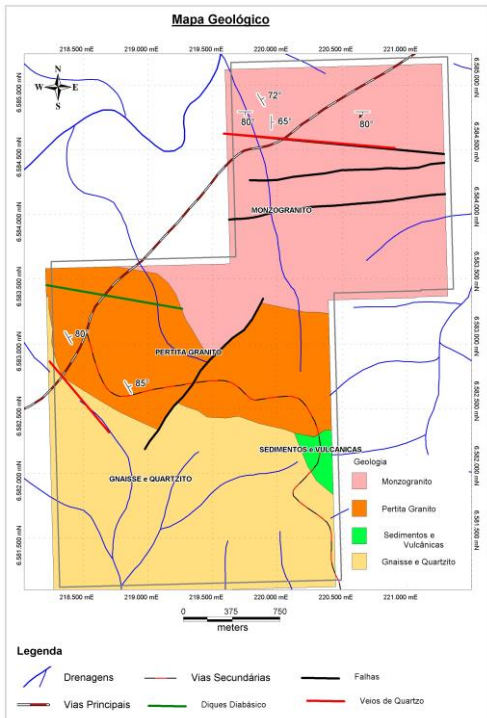


Figura 2 – Mapa Geológico da área de estudo (modificado de AMARILLO, 2010)

Os gnaisses e quartzitos ocorrem na porção centro-sul da área mapeada e ocupam aproximadamente 30% do total da área de estudo. Apresentam bandas milimétricas onde alternam minerais claros e escuros e alteração hidrotermal incipiente. As rochas sedimentares e

vulcânicas correlatas ocorrem na porção leste e ocupam menos de 5% da área total de estudo. O pertita granito ocorre na porção central da área de estudo e se estende de leste para oeste cobrindo uma faixa de aproximadamente 2 km, entre os gnaisses e o monzogranito. Na parte central do corpo, esta rocha é cortada por uma zona de falha de 400 metros com sentido de movimento sinistral na direção NE-SW. O monzogranito é a rocha que ocupa maior parte da área de estudo, ocorre desde a porção central seguindo em direção à porção norte da área. Está cortado por falhamentos de direção E-W e NE-SW que são preenchidas por veios deci-centimétricos de quartzo. Em zonas de alteração, estes veios apresentam clorita, sericita, carbonatos, óxidos e sulfetação disseminada.

**Geoquímica**

As amostras de rocha coletadas para geoquímica de semi-detalhe foram realizadas em locais interpretados como zonas favoráveis à ocorrência de mineralizações auríferas levando em conta critérios tais como a geoquímica de solo, zonas intensamente tectonizadas, alteradas hidrotermalmente. Foram coletadas 35 amostras de rocha que foram enviadas para o laboratório ACME para serem submetidas a uma análise de 36 elementos pelo método ICP/1DX2 (espectroscopia de emissão óptica). Das 35 amostras coletadas, 10 amostras com padrão disperso sobre a área possuíam concentrações de ouro que variaram entre 102,5 à 705,5 ppb.

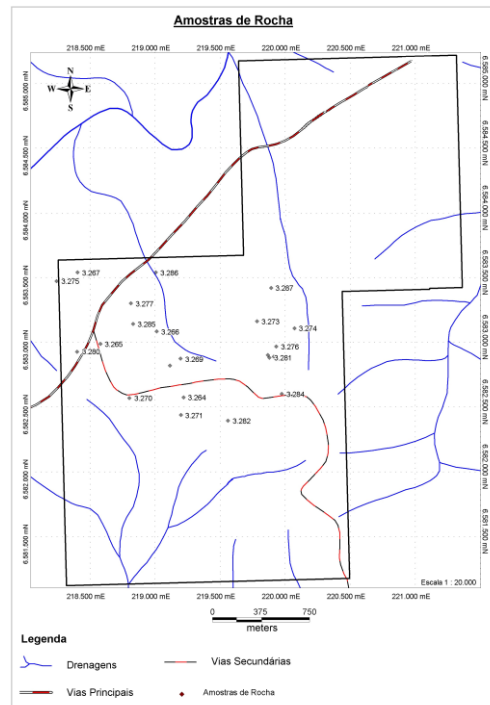


Figura 3 – Mapa de localização das amostras de rocha utilizadas para a confecção dos mapas de contorno dos teores de ouro, cobre e alumínio (modificado de AMARILLO, 2010)

Dos dados geoquímicos amostrados, 27 amostras coletadas, cobrem um setor central da área de estudo com uma densidade de pontos regularmente espaçados permitindo a confecção de mapas de contorno (Figura 3) a partir de uma *grid* criada pelo método de interpolação de mínima curvatura. Foram estudados dois perfis sobre as *grids*, sendo dois na direção E - W, para uma posterior correlação com os dados aerogamaespectrométricos processados e mapeamento geológico da área. Considerou-se dos 36 elementos analisados, apenas os teores de ouro (ppb), alumínio (%) e cobre (ppm).

### Modelo Digital de Elevação do Terreno

Um modelo digital de elevação do terreno (Figura 4) da área foi confeccionado utilizando dados de altitude ortométrica *ASTER GDEM*, que oferecem uma resolução espacial em longitude e latitude de aproximadamente 30 metros e uma resolução vertical de aproximadamente 7-14m.

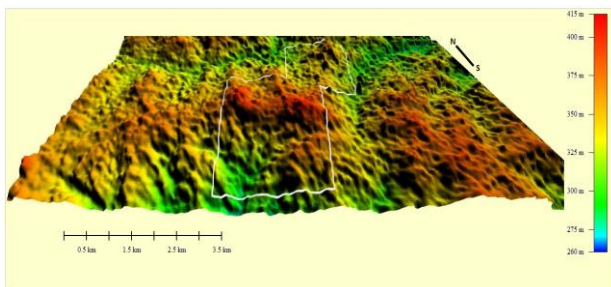


Figura 4 – Modelo de elevação digital do terreno da área de estudo

A Figura 5 mostra o mapa topográfico da área confeccionado a partir dos dados *ASTER GDEM*.

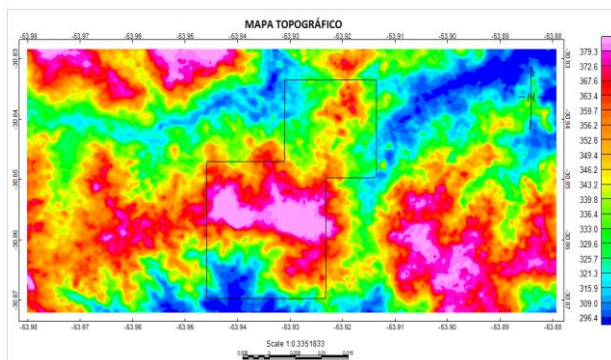


Figura 5 – Mapa topográfico da área de estudo

### Gamaespectrometria Aérea

O levantamento aerogamaespectrométrico possui como características técnicas uma altura média de voo de 100 m, espaçamento entre as linhas de voo de 500 m e intervalo de amostragem de 1s que equivale aproximadamente a 65 m (CPRM, 2010).

O processamento de dados aerogamaespectrométricos envolveu a aplicação das rotinas do sistema *Oasis Montaj*, versão 6.4.2 (*GEOSOFT, 2007*) através da geração de mapas de contorno do K, eTh e eU utilizando o método de interpolação por mínima curvatura com um tamanho de célula de 100 x 100 m.

Foram estudados quatro perfis sobre as *grids*, dois na direção N – S e dois na direção E - W para posterior correlação e interpretação com a geoquímica, mapeamento geológico e dados topográficos *ASTER GDEM*.

As assinaturas gamaespectrométricas nas áreas de depósitos de ouro é muito variada, as rochas encaixantes hidrotermalizadas podem servir como guia exploratório a partir das mudanças no conteúdo dos três radioelementos. Em depósitos onde o ouro está hospedado em veios de quartzo, estes são tipicamente empobrecidos em radioelementos, mas as rochas encaixantes, afetadas por alteração hidrotermal podem conter assinaturas distintas, úteis na exploração aurífera (Dickson & Scott, 1997).

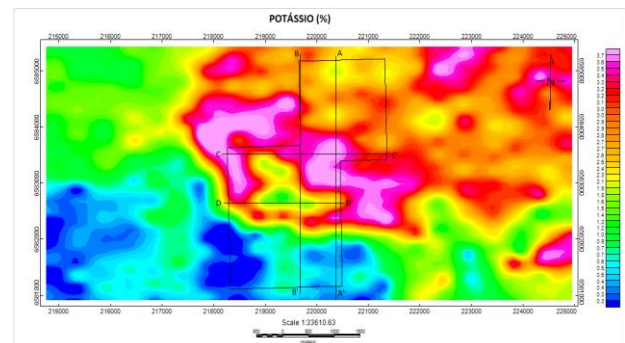


Figura 6 – Mapa de contorno do potássio (% K) na área e perfis analisados

No mapa de contorno do potássio (Figura 6) percebe-se um halo na concentração de potássio ao redor de uma zona com valores de fundo de potássio, essa característica é descrita por Boyle (1979) como uma possível ocorrência aurífera de diversos tipos genéticos devido à alterações hidrotermais potássicas ou intensa silicificação.

Os mapas de contorno do urânio e tório (Figuras 7 e 8) mostram na porção central um alto da concentração destes radioelementos seguindo uma direção preferencial E - W. Segundo Hoover & Pierce (1990) altos de tório e urânio não se correlacionam diretamente com as mineralizações auríferas devido à mobilidade desses elementos em zonas oxidantes.



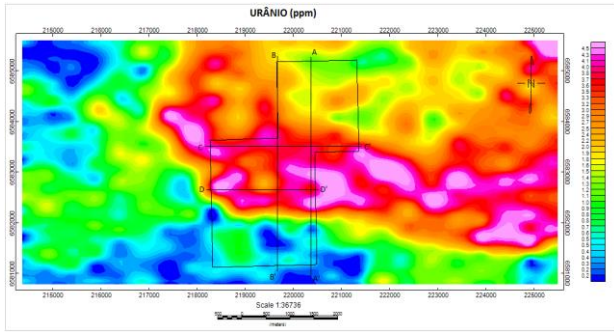


Figura 7 – Mapa de contorno do urânio (eU ppm) na área e perfis analisados

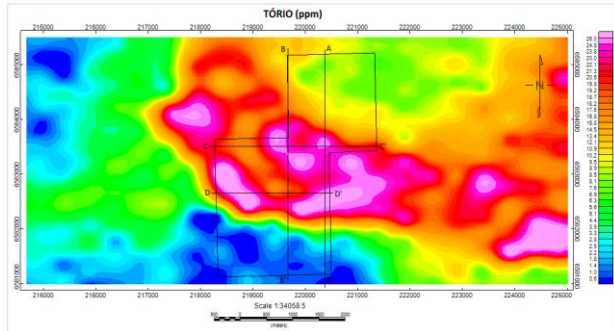


Figura 8 – Mapa de contorno do tório (eTh ppm) na área e perfis analisados

**Integração e Interpretação dos dados**

Os levantamentos gamaespectrométricos são amplamente utilizados no mapeamento geológico, pois diferentes tipos de litologia podem ser identificadas por suas assinaturas radiométricas (Kearey, 2009). Os valores médios característicos para a crosta terrestre destes elementos são 3% para o Potássio (K); 3 ppm para o Urânio e de 12 ppm para o Tório (Dickson & Scott, 1997).

Devido à densificação de pontos de amostragem de rocha, apenas dois perfis apresentam elementos identificados por geoquímica na área para correlacionar os teores dos radioelementos com a topografia e a geologia, com o intuito de caracterizar a ocorrência aurífera na área de estudo.

A Figura 9 mostra os teores de tório, urânio e potássio conjuntamente com o relevo topográfico ao longo do perfil A – A'.

As concentrações dos três elementos sofrem um aumento significativo com a topografia. No monzogranito, há um aumento do potássio (ainda inexpressivo em relação aos valores médios da crosta terrestre) em um veio de quartzo, nas falhas dessa litologia há um comportamento diferenciado: em uma delas há o decaimento dos valores dos três radioelementos enquanto na outra há um aumento expressivo dos mesmos. Os valores dos três radioelementos acima dos valores médios da crosta terrestre é encontrado principalmente sobre o pertita-granito, estes valores decaem exponencialmente sobre as rochas sedimentares e vulcânicas onde têm valores inexpressivos nos gnaisses e quartzitos.

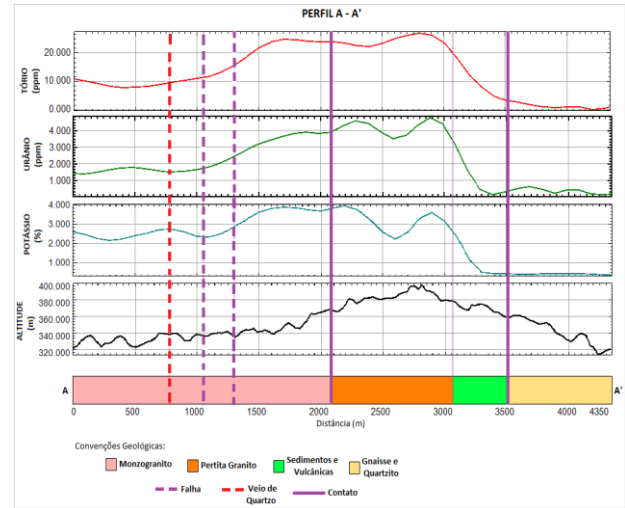


Figura 9 – Gráficos do Perfil A – A'

Ao longo do perfil B – B' (Figura 10) onde há baixos topográficos há uma concentração maior dos radioelementos. No monzogranito, há um aumento expressivo do potássio (3,4%) em um veio de quartzo e nas duas falhas os valores dos radioelementos são considerados anômalos. No pertita granito há uma variação muito grande entre os radioelementos que pode ser explicado pela variação topográfica. Nos gnaisses e quartzitos os valores dos três radioelementos são inexpressivos.

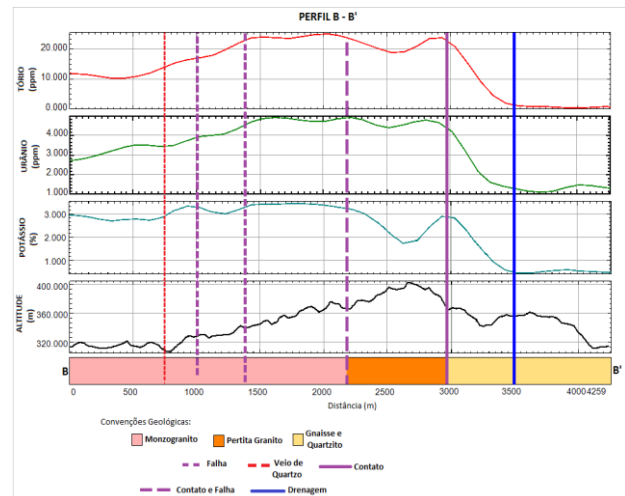


Figura 10 – Gráficos do Perfil B – B'

A Figura 11 mostra os gráficos dos dados aerogamaespectrométricos e geoquímicos ao longo do perfil C – C'. No início do perfil nota-se um alto da concentração de ouro (12,5 ppb) associado ao pertita-granito, conforme o mapeamento geológico essa concentração está associada ao intemperismo e a um conteúdo significativo de hematita e goethita.

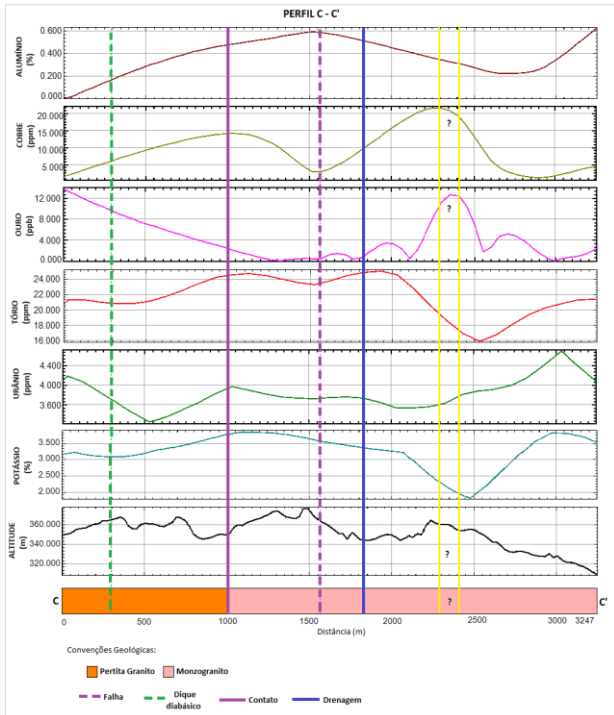


Figura 11 – Gráficos do Perfil C – C'

O contato entre o pertita-granito e o monzogranito é demarcado por todos os elementos do perfil C – C'. No dique de diabásio mapeado no pertita-granito há uma diminuição significativa entre os radioelementos e um aumento significativo nos valores do alumínio e cobre. Na falha inferida no monzogranito há um aumento expressivo no valor do alumínio, chegando a 0,6%. No monzogranito há uma maior concentração do ouro e do cobre (12ppb e 20ppm respectivamente) associado à uma diminuição significativa na concentração do potássio (2%) e alta concentração de tório e urânio (18 e 3,4 ppm respectivamente). Segundo o mapeamento geológico a área com a maior concentração de ouro no perfil C – C' é associada a um intemperismo de alto grau com porcentagem significativa de sericita, hematita e goethita. Na Figura 12, correspondente aos gráficos do perfil D – D', a concentração de ouro chega à valores de 120 ppb no pertita granito. Neste perfil, o alto na concentração do ouro está relacionado à forte alteração hidrotermal dada por sericita inferido pelo mapeamento geológico. Esta concentração está associado à valores inexpressivos do alumínio e potássio (0,4 e 2% respectivamente) e à valores anômalos do tório e urânio (26 e 3,8 ppm respectivamente).

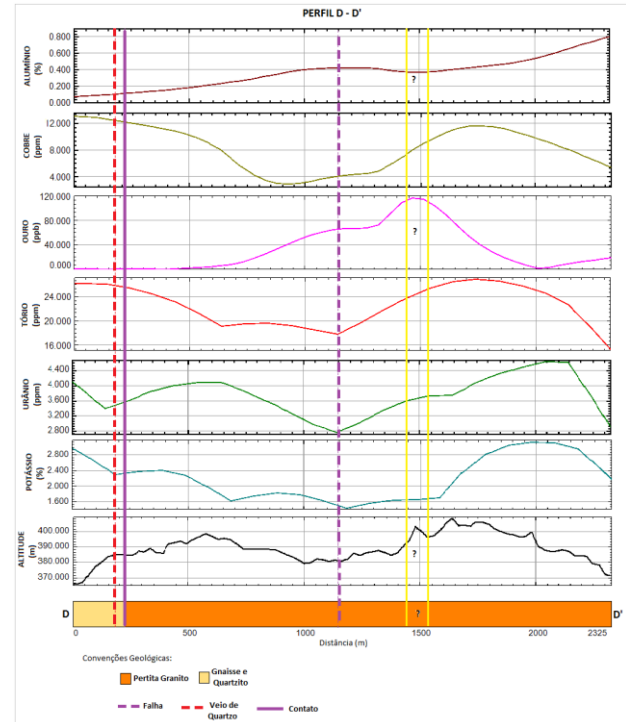


Figura 12 – Gráficos do Perfil D - D'

## Conclusão

O mapeamento geológico foi relevante para caracterizar a ocorrência aurífera. A concentração do ouro varia nos perfis de 120 ppb à 300 ppb em granitos e monzogranitos altamente intemperizados, com fortes indícios de alteração hidrotermal e porcentagens significativas de sericita, goethita e hematita.

A assinatura gamaespectrométrica em ocorrências de ouro é muito variável, contudo foi possível inferir algumas conclusões sobre ocorrência de ouro na área de estudo. Nesta área, a ocorrência de ouro está associada à valores de fundo na concentração do potássio (2 a 2,5%) em relação à abundância média da crosta terrestre.

O tório e o urânio possuem concentrações anômalas na área de ocorrência de ouro, sendo inferidas concentrações de 18 a 25 ppm para o tório e de 3,6 a 4 ppm para o urânio.

Além disso, a ocorrência de ouro está associada a altos valores de cobre, entre 15 a 20 ppm, e à baixos valores de alumínio, entre 0,25% a 0,3%. Altos valores de alumínio na área de estudo são associados aos contatos entre as litologias e zonas de falhas.

## Agradecimentos

Agradecimentos a UNIPAMPA pela acessibilidade à realização desta pesquisa. À CPRM pela disponibilidade dos dados do Projeto Aerogeofísico do Rio Grande do Sul (2010).

**Referências**

AMARILLO GOLD CORPORATION, 2010. Relatório Final de Atividades – Área DNPM N° 810 071/2005. 1-18.

ASTER Global DEM Validation Summary Report from <http://www.gdem.aster.ersdac.or.jp/index.js>

CPRM, 2010. Projeto Aerogeofísico - Escudo do Rio Grande do Sul. V 1: 1-260.

Dickson, B. L., Scott, 1997. Interpretation of aerial gamma-ray surveys-adding the geochemical factors. AGSO Journal of Australian Geology & Geophysics. 17(2): 187-200.

Gastal, M.C.P., 1999. Biotitas e Anfibólios das fácies Graníticas Alcalinas e Shoshoníticas do Complexo Intrusivo Lavras do Sul, RS: Variações Composicionais e o Potencial Mineralizante dos Magmas. Simpósio sobre vulcanismo e Ambiente Associados. Gramado SBG. 1:87.

Gastal et al, 2006. Reinterpretação do Complexo Intrusivo Lavras do Sul, RS, de acordo com os sistemas vulcano-plutônicos de subsidência. Revista Brasileira de Geociências. V 36: 109-124.

Geosoft, 2007. Oasis Montaj V. 6.4.2 – Standard Edition. Toronto, Canadá.

Nardi, L.V.S. & Lima, E.F. 1985. A Associação Shoshonítica de Lavras do Sul, RS. Revista Brasileira de Geociências. V 15: 139-146.

Remus et al, 2000. Distal magmatic-hydrothermal origin for the Camaqua Cu (Au-Ag) and Santa Maria Pb, Zn (Cu-Ag) Deposits, southern Brazil. Gond. Res., 3: (in press).