



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
Centro de Ciências da Matemática e da Natureza
Instituto de Geociências
Departamento de Geologia
Setor de Geologia Regional e Econômica

**ANÁLISE DE IMAGEM ASTER PARA SELEÇÃO DE
ALVOS DE ALTERAÇÃO HIDROTHERMAL
MINERALIZADOS A OURO**

Trabalho Final de Curso
(IGL-U08)

RAFAEL PINTO CHERENE VIANA

Orientador: Prof. Dr. Everton Marques Bongioiolo
Orientador: Prof. Dr. José Carlos Sícoli Seoane

Rio de Janeiro
Novembro de 2012



RAFAEL PINTO CHERENE VIANA

**ANÁLISE DE IMAGEM ASTER PARA SELEÇÃO DE
ALVOS DE ALTERAÇÃO HIDROTERMAL
MINERALIZADOS A OURO**

Trabalho Final de Curso de Graduação em Geologia do Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, apresentado como requisito necessário para obtenção do grau de Geólogo.

Orientadores:

Prof. Dr. Everton Marques Bongiolo

Prof. Dr. José Carlos Sícoli Seoane

Rio de Janeiro
Novembro de 2012

VIANA, Rafael Pinto Cherene Viana

Análise de imagem ASTER para seleção de alvos de alteração hidrotermal mineralizados a ouro / Rafael Pinto Cherene Viana - Rio de Janeiro: UFRJ/ IGEO, 2012.

XII, 29.: il.; 30cm

Trabalho Final de Curso (Geologia) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Departamento de Geologia, 2012.

Orientadores: Everton Marques Bongioiolo; José Carlos Sícoli Seoane

1. Geologia. 2. Setor de Geologia Regional e Econômica - Trabalho de Conclusão de Curso. 1. Everton Marques Bongioiolo; José Carlos Sícoli Seoane. li. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Departamento de Geologia. Ili. Análise de imagem ASTER para seleção de alvos de alteração hidrotermal mineralizados a ouro.

Rafael Pinto Cherene Viana

**ANÁLISE DE IMAGEM ASTER PARA SELEÇÃO DE ALVOS DE
ALTERAÇÃO HIDROTHERMAL MINERALIZADOS A OURO**

Trabalho Final de Curso de
Graduação em Geologia do
Instituto de Geociências,
Universidade Federal do Rio de
Janeiro - UFRJ, apresentado
como requisito necessário para
obtenção do grau de Geólogo.

Orientadores:

Prof. Dr. Everton Marques Bongioiolo

Prof. Dr. José Carlos Sícoli Seoane

Aprovada em ____ de _____ de 2012.
Por:

Orientador: Dr. Everton Marques Bongioiolo

Coorientador: Dr. José Carlos Sícoli Seoane

Dr. Paulo Roberto Alves dos Santos (IBGE)

Dr. Carlos Henrique Beisl (COPPEtec)

UFRJ
Rio de Janeiro
Novembro de 2012

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a Deus, por sempre ter guiado meus caminhos, me dado saúde e segurança e por me capacitar em tudo o que eu faço.

Agradeço a minha família, especialmente meus pais, Leila de Barcellos Pinto e Benedito Carlos Cherene, minha irmã Rosana Cherene e meu irmão Davi Cherene, e minha avó Berenice de Barcellos, que durante toda a minha vida me apoiaram em tudo, e me aconselharam e direcionaram com palavras e exemplos nessa trajetória, e por sempre me levantarem quando pensava em desistir. Além de ter sido o meu irmão o responsável pela ideia de escolher a maravilhosa carreira de Geologia.

Aos meus orientadores, Everton Marques Bongioio e José Carlos Sícoli Seoane, por toda a ajuda e conhecimento que passaram, além de todo apoio e paciência durante esse trabalho realizado e durante a graduação, além de serem responsáveis por trabalhos de campo maravilhosos nos quais aprendi muito mais do que Geologia.

A Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM - SUREG PA), a qual cedeu a imagem ASTER para elaboração do trabalho.

A todos os meus amigos da faculdade, com os quais aprendi muito, seja sobre geologia ou quaisquer outros assuntos. São amigos que tenho certeza ficarão guardados na memória e coração, e que partilharam de momentos muito divertidos que sempre ficarão guardados.

A todos os meus amigos que sempre estiveram dispostos a me ajudar e muitos deles foram meus escapes em momentos de pressão.

Por último, porém não menos importante, pelo contrário, gostaria de agradecer à Julia Leroux, por estar sempre ao meu lado, em todos os momentos partilhando de minhas alegrias e angústias, sempre me ouvindo e me aconselhando, e por tudo o que ela representa para mim.

RESUMO

O sensoriamento remoto é uma ferramenta de grande importância no auxílio da pesquisa mineral, contribuindo para a identificação, mapeamento e avaliação de diferentes tipos de depósitos minerais. Sensores orbitais e aerotransportados multiespectrais e hiperespectrais possibilitam a aquisição de assinaturas espectrais que contribuem na caracterização da presença de minerais formados por processos de alteração hidrotermal. O lançamento do sensor ASTER no final dos anos 90 trouxe novos benefícios no que se trata de mapeamento de zonas de alteração hidrotermal, dando início a uma fase que cada vez mais tem crescido em conhecimento e pesquisas no sensoriamento remoto orbital de recursos terrestres. O presente trabalho utilizou como área de estudo o município de Lavras do Sul, localizado no estado do Rio Grande do Sul, Brasil, mais precisamente na mesorregião do Sudoeste Rio-grandense

Este trabalho teve como metodologia as etapas de revisão bibliográfica sobre a geologia da área de estudo, aquisição de imagem de satélite ASTER e a utilização deste sensor na identificação da alteração hidrotermal na área de estudo, a partir do processamento da imagem. A mineralogia de alteração observada em campo em trabalhos prévios por Bongiorno e outros autores, foi então comparada com as assinaturas espectrais obtidas na biblioteca espectral da USGS, utilizando a técnica de Análise dos Principais Componentes (APC).

Foram definidas como anomalias a ocorrência dos minerais a média + 2 desvios-padrão para todos os minerais, sendo escolhido as duas últimas ou a última classe das anomalias, dependendo do mineral escolhido. Dessa forma foi então possível observar o conjunto de anomalias presentes na área de estudo e correlacionar com alguns alvos já sabidamente conhecidos pela bibliografia utilizada. Além de delimitar novos alvos provenientes de alteração hidrotermal com a presença de todos os minerais escolhidos como representantes.

A partir desse trabalho foi possível então demonstrar a eficácia da espectroscopia de reflectância através de imagens ASTER como uma importante ferramenta de campo, como também identificar novos alvos para pesquisa mineral a partir de dados bibliográficos e espaciais existentes. A aplicação na imagem ASTER da técnica de Análise dos Principais Componentes se mostra satisfatória em grande parte do trabalho, porém quando se depara com a influência de cobertura vegetal e sombra essa técnica fica comprometida.

ABSTRACT

Remote sensing is an important tool for mining exploration, which contributes to the identification, mapping and evaluation of different types of mineral deposits. Orbital and airborne sensors multispectral and hyperspectral, allow the acquisition of spectral signatures that contribute to characterize the occurrence of minerals formed by hydrothermal alteration. The launch of ASTER in the late '90s brought new benefits during mapping of hydrothermal alteration zones, initiating a phase that has increasingly grown in the knowledge and research of remote sensing and earth resources. This study was performed in Lavras do Sul region, located in the state of Rio Grande do Sul, Brazil, more precisely in the middle region of the Southwest of Rio Grande do Sul.

This study was based on literature reviews on the local geology, acquisition of ASTER satellite imagery and use of this sensor in the identification of hydrothermal alteration in the study area from image processing. The mineralogy of alteration observed in the field by Bongioiolo and other authors was then compared with the spectral signatures obtained from spectral library of USGS, using the technique of Principal Components Analysis (PCA).

Anomalies were defined as the occurrence of minerals mean + 2 standard deviations for all minerals, being chosen the last two or last class of anomalies, depending on the chosen mineral. Thus it was possible to observe the set of mineral anomalies present in the study area and correlate it with some known mineralized targets already known by the bibliography. Besides defining new targets from hydrothermal alteration in the presence of all minerals chosen as representatives.

This work demonstrates the effectiveness of reflectance spectroscopy using ASTER images as an important tool to compare field and bibliography with imagery data, as well as to identify new targets for mineral exploration. The application of the ASTER image analysis technique of Principal Components shown satisfactory in most of the work, but when faced with the influence of vegetation and shade this technique is compromised.

Sumário

AGRADECIMENTOS	V
RESUMO	vi
ABSTRACT	vii
ÍNDICE DE TABELAS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	X
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVO	2
3. LOCALIZAÇÃO E VIAS DE ACESSO	2
4. METODOLOGIA	3
4.1 Sensor ASTER	3
4.2 Pré-processamento e aquisição de dados espectrais	4
4.3 Análise dos Principais Componentes (APC)	5
4.4 Processamento digital das imagens ASTER	6
5. CONTEXTO GEOLÓGICO-GEOTECTÔNICO	9
5.1 Geologia da área de estudo	10
5.2 Mineralizações	12
6. RESULTADOS	15
7. DISCUSSÃO	25
8. CONCLUSÕES	26
9. REFERÊNCIAS	27

ÍNDICE DE TABELAS

Pg

Tabela 1 - Principais características do sensor ASTER.	4
Tabela 2 - Minerais escolhidos como representantes das principais fácies de alteração hidrotermal na área de estudo com suas respectivas bandas ASTER selecionadas.	8
Tabela 3 - Minerais escolhidos como representantes das principais fácies de alteração hidrotermal na área de estudo com a quantidade de pixels que ocorrem anomalias em relação ao total de pixels da imagem.	15

Figura 1 - Localização e vias de acesso à área de estudo a partir da cidade de Porto Alegre, capital do Estado do Rio Grande do Sul. 2

Figura 2 - Bandas espectrais do sensor ASTER. 4

Figura 3 - Curvas espectrais dos minerais escolhidos como representantes de alteração hidrotermal na área de estudo. A: Curva espectral original da biblioteca espectral da USGS. B: Curva espectral convolvida para as bandas do sensor ASTER. 7

Figura 4 - Mapa Geológico Regional do Escudo Sul-rio grandense segundo compartimentação de Chemale Jr. (2000). Em detalhe parte da área de estudo no município de Lavras do Sul. 9

Figura 5 - Mapa geológico local da área de estudo. 11

Figura 6 - Modelo esquemático da evolução dos eventos magmáticos-hidrotermais no Distrito Aurífero de Lavras do Sul. (A) A fase I compreende contemporaneidade do vulcanismo shonshonítico (Formação Hilário) e fácies central (CF) do Complexo Granítico Lavras, com desenvolvimento da alteração propilítica (além de localizadamente alterações potássica e fílica inicial) em resposta a predominância do fluxo de fluido magmático ascendente. (B) Alteração fílica associado aos fluidos magmáticos dominantes (fase II), desenvolvida cada vez que a pressão litoestática é superada pela pressão de fluido, alternando entre o fluxo de fluido condutivo e convectivo. (C) Fase III representa o resfriamento da câmara magmática principal e posteriormente a intrusão dos monzonitos porfíricos devido a episódio de subsidência de caldeira. (D) Seção transversal com a disposição atual basculada dos ambientes interpretados como transição dos tipos pórfiro-epitermal em Lavras do Sul. 13

Figura 7 - Características texturais e morfológicas dos minerais dioctaédricos observados por microscopia óptica (a, c, d, e, f, h) e por MEV (microscopia eletrônica de varredura) em modo elétrons-secundário (b, g). Amostras: (a) granulação grossa (Cg) e fina (Fg) de fengita, Mina Bloco do Butiá; (b) cristais grossos com formas hexagonais (hex) perfeitas de fengita e cristais finos de illita com formas de ripas (lath), Mina Bloco do Butiá; (c) granulação grossa (Cg) de fengita e fina (Fg) de illita, Mina Cerrito; (d) granulação grossa

(Cg) de fengita cortada por fraturas e veios de ilita com granulação fina (Fg), Mina Cerrito; (e) granulação fina (Fg) de ilita e ilita-esmectita cristalizado em rochas porfíricas da borda oeste dos granitoides, Mina Valdo Teixeira; (f) granulação grossa (Cg) de fengita desestabilizada nas bordas por (Fg) ilita-esmectita, Mina Valdo Teixeira; (g) coexistência de partículas sub-hexagonais de fengita e de ilita em formas de ripas, Mina Valdo Teixeira; (h) granulação fina (Fg) de ilita e ilita-esmectita alterando cristaloclastos de feldspato em rochas tufáceas. 14

Figura 8 - Área de estudo do presente trabalho, incluindo o local estudado por Bongioiolo (2006) e a delimitação de algumas anomalias encontradas. Utilizada a classificação de Análise dos Principais Componentes sobre imagem ASTER (RGB 321). 16

Figura 9 - Área de estudo do presente trabalho, incluindo o local estudado por Bongioiolo (2006). Utilizada a classificação de Análise dos Principais Componentes sobre sombreamento *Hillshade* (iluminação N45W a 45°) do DEM (*Digital Elevation Model*) ASTER. 16

Figura 10 - Porção leste da área de estudo, com a classificação da Análise dos Principais Componentes, em concordância com os resultados. 17

Figura 11 - Anomalia caolinita. Ocorrência somente da presença de caolinita, presente em áreas descampadas e ao longo de estradas, sobre sombreamento *Hillshade* (iluminação N45W a 45°) do DEM (*Digital Elevation Model*) ASTER. Observe Fig. 12 para melhor visualizar estradas e cobertura vegetal. 18

Figura 12 - Anomalia caolinita. Ocorrência somente da presença de caolinita, presente em áreas descampadas e ao longo de estradas, sobre imagem ASTER (RGB 321). Vegetação ocorre nas cores mais púrpuras e escuras e as estradas e locais descampados nas cores *mais* claras. 18

Figura 13 - Porção oeste da área de estudo de Bongioiolo (2006), apresentando poucas ocorrências de muscovita, não concordando com a caracterização e classificação realizada pelo autor, onde a fengita deveria ser abundante. 19

Figura 14 - Anomalia 1. Contorno da anomalia com a ocorrência dos cinco minerais representantes escolhidos, apresentando uma predominância de biotita e clarita no

núcleo. Com a classificação da Análise de Principais Componentes sobre sombreamento *Hillshade* (iluminação N45W a 45°) de DEM (*Digital Elevation Model*) ASTER. **20**

Figura 15 - Anomalia 2. Contorno da anomalia com a ocorrência dos cinco minerais representantes escolhidos, apresentando nesse caso uma predominância de biotita e epidoto no núcleo da anomalia. Com a classificação da Análise de Principais Componentes sobre sombreamento *Hillshade* (iluminação N45W a 45°) de DEM (*Digital Elevation Model*) ASTER. **20**

Figura 16 - Anomalia 3. Contorno da anomalia com a ocorrência dos cinco minerais representantes escolhidos, mostrando mais ocorrência de clorita e epidoto no núcleo das anomalias. Com a classificação da Análise de Principais Componentes sobre imagem ASTER com sombreamento *Hillshade* (iluminação N45W45°) **21**

Figura 17 - Anomalia 4. Contorno da anomalia com a ocorrência dos cinco minerais representantes escolhidos, com a classificação da Análise de Principais Componentes sobre sombreamento *Hillshade* (iluminação N45W a 45°) de DEM (*Digital Elevation Model*) ASTER. **21**

Figura 18 - Anomalia 5. Contorno da anomalia com a ocorrência dos cinco minerais representantes escolhidos, nesse caso mostrando a predominância de muscovita no núcleo da anomalia. Com a classificação da Análise de Principais Componentes sobre sombreamento *Hillshade* (iluminação N45W a 45°) de DEM (*Digital Elevation Model*) ASTER. **22**

Figura 19 - Imagem mostrando a influência das áreas que possuem vegetação e áreas descampadas e como isso reflete na presença de pixels anômalos, sobre imagem ASTER (RGB 321). Vegetação ocorre nas cores mais púrpuras e escuras e as estradas e locais descampados nas cores mais claras. **23**

Figura 20 - Área de estudo, incluindo o local de estudo definido por Bongioiolo (2006), com as anomalias encontradas. Sobre parte da folha Cachoeira do Sul - CPRM (2000). **24**

1 INTRODUÇÃO

Os trabalhos de imageamento da superfície terrestre tiveram início com a invenção da câmara fotográfica que, até os dias atuais, é utilizada para tomada de fotos aéreas (Santos *et ai.*, 2010). A câmera russa de filme pancromático KVR-1000, por exemplo, que obtém fotografias a partir de satélites com uma resolução espacial de 2 a 3 m, é amplamente utilizada para este fim.

O sensoriamento remoto é uma ferramenta de grande importância no auxílio da pesquisa mineral, contribuindo para o mapeamento, avaliação e identificação de diferentes tipos de depósitos minerais (Santos *et ai.*, 2010). A intensidade relativa com que cada corpo reflete ou emite a radiação eletromagnética nos diversos comprimentos de ondas é denominada assinatura espectral e através de sensores orbitais e aerotransportados é possível obter essas assinaturas, tal fato permite a identificação de minerais formados por processos de alteração hidrotermal que podem estar associados à deposição de metais como ouro, prata e cobre entre outros.

O intervalo espectral dos dados do sensor ASTER, favorável ao mapeamento espacial de alguns minerais, associações minerais específicas e da cobertura global vegetal, acrescentou novas perspectivas à exploração mineral em terrenos ainda pouco estudados (Salles, 2009). O sensor ASTER consiste em três subsistemas independentes, totalizando 14 bandas espectrais que são distribuídas na região do visível e infravermelho próximo (VNIR), infravermelho de ondas curtas (SWIR) e infravermelho termal (TIR). Esse sensor tem sido utilizado em conjunto com técnicas de geoprocessamento para o mapeamento geológico de depósitos minerais por diversos autores (e.g. Kafino, 2009; Seoane *et ai.*, 2009; Rogee *et ai.*, 2009; Santos *et ai.*, 2010).

O presente trabalho utilizou como área de estudo o município de Lavras do Sul localizado no estado do Rio Grande do Sul, Brasil, mais precisamente na mesorregião do Sudoeste Rio-grandense. A partir de imagens de satélite ASTER se obtiveram dados que podem ser aplicados na prospecção e identificação de novas áreas alteradas por processos hidrotermais e que podem ser avaliadas quanto à ocorrência de mineralizações. Foram utilizados, como base para as correlações, minerais identificadores de cada uma das fácies de alteração hidrotermal reconhecidas anteriormente na literatura (e.g. Bongiorno, 2006; Bongiorno *et ai.*, 2008, 2011) em uma região em que já se conhecem garimpos mineralizados com Au e Cu desde o século XVIII.

2. OBJETIVO

O objetivo desse trabalho é a identificação de novas áreas alteradas hidrotermalmente com possíveis mineralizações, em uma região onde já são conhecidos antigos garimpos mineralizados com Au e Cu.

3. LOCALIZAÇÃO E VIAS DE ACESSO

A área estudada está localizada na área central do estado do Rio Grande do Sul, na região Sul do Brasil. A partir da cidade de Porto Alegre, as vias de acesso para área são a BR-290 para Oeste, até o entroncamento desta com a BR-392, onde se segue para Sul até o município de Caçapava do Sul. A partir daí, percorre-se 57 km pela RS-11 para sudoeste até o município de Lavras do Sul (Fig. 1).

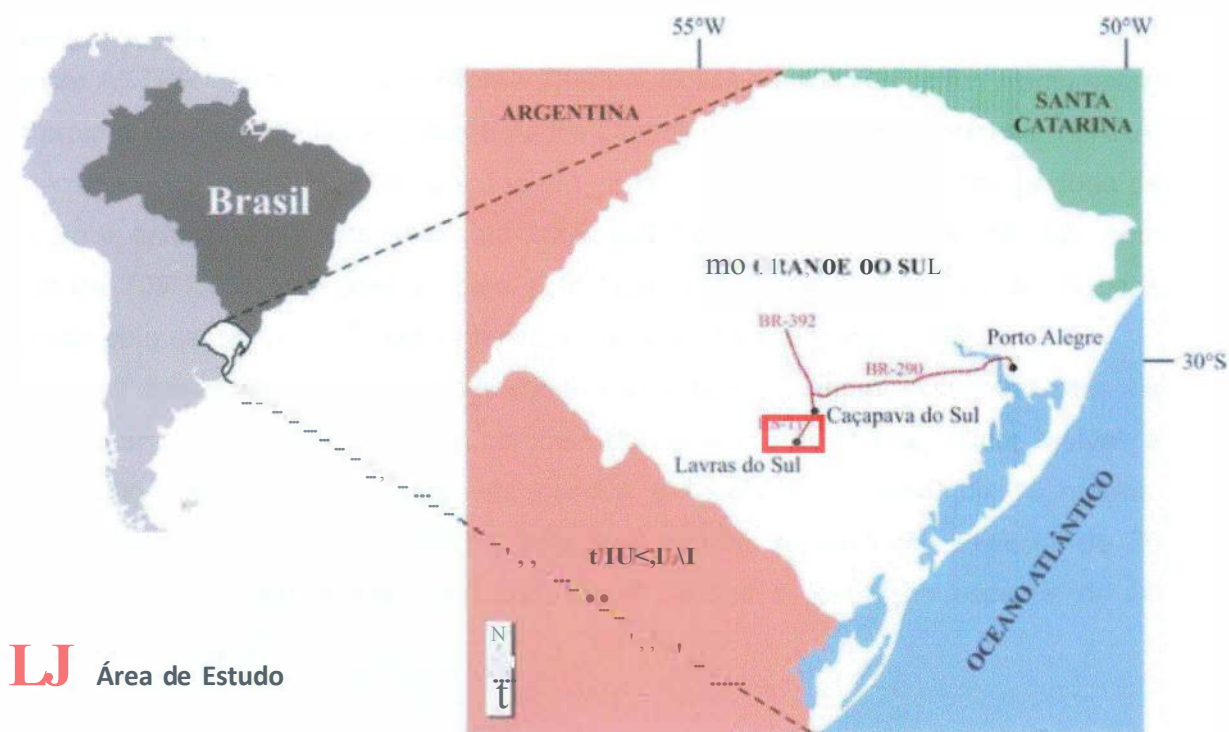


Figura 1. Localização e vias de acesso à área de estudo a partir da cidade de Porto Alegre, capital do Estado do Rio Grande do Sul (extraído de Bongioiolo, 2006).

4. METODOLOGIA

A metodologia de trabalho constitui nas etapas de revisão bibliográfica sobre a geologia da área de estudo, aquisição de imagem de satélite ASTER e a utilização deste sensor na identificação da alteração hidrotermal na área de estudo, a partir do processamento da mesma (a seguir). As assinaturas espectrais obtidas na imagem ASTER foram comparadas com a mineralogia de alteração observada em campo e a partir de diversas técnicas analíticas por Bongiolo *et al.* (2008).

A imagem ASTER utilizada neste trabalho foi adquirida 03 de setembro de 2003, e foi cedida pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM - SUREG PA). Foi utilizada a projeção Equi-Retangular Cilíndrica Normal (sistema de coordenadas geodésicas - latitude/longitude), datum WGS 84. Também em alguns momentos, para melhor visualização e interpretação, foi utilizado um modelo digital de elevação gerado a partir do próprio sensor ASTER e adquirido gratuitamente pelo site <http://gdex.cr.usgs.gov/gdex/>.

4.1 Sensor ASTER

O sensor ASTER (*Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer*) é um projeto conjunto do Japão e dos Estados Unidos da América. A plataforma TERRA, que carrega o sensor ASTER, foi lançada em 18 de dezembro de 1999. Seu período de operação é estimado em seis anos, até 2005, em órbita Sol-síncrono de 16 dias, com altitude de 705 km e com período para completar uma órbita de 98, minutos. A cena imageada pelo sensor ASTER tem dimensões de 60 x 60 km². (Lima, 2003).

Ele é constituído pelos seguintes subsistemas de imageamento independentes, os quais coletam dados em diversas porções do espectro eletromagnético: visível e infravermelho próximo (VNIR) com três bandas e resolução espacial de 15 metros; infravermelho de ondas curtas (SWIR) com seis bandas e resolução espacial de 30 metros; e infravermelho termal (TIR) com cinco bandas e resolução espacial de 90 metros (**Tab. 1; Fig. 2**).

Bandas espectrais do ASTER

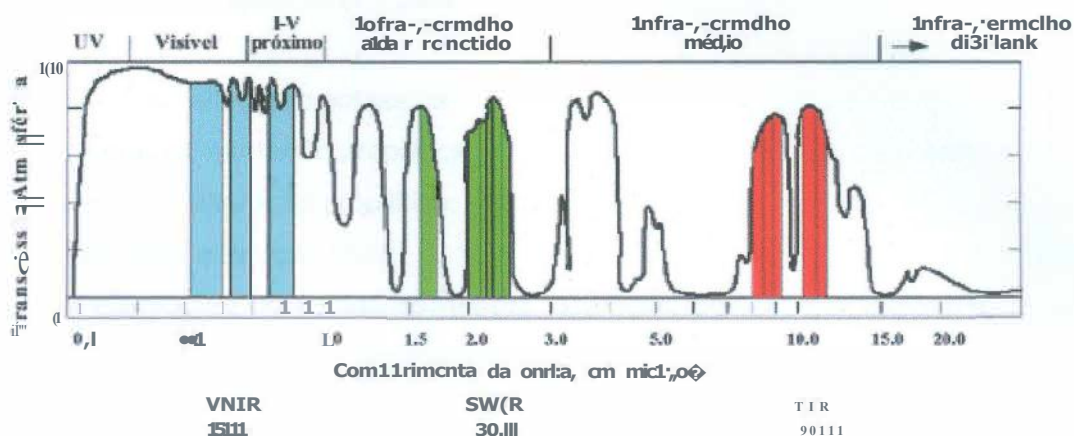


Figura 2: Bandas espectrais do sensor ASTER (extraído de <http://www.envi.com.br/index.php?link=Aster>).

O lançamento do sensor multispectral ASTER, trouxe novos benefícios ao mapeamento de zonas de alteração associadas a sistemas hidrotermais, dando início a uma fase promissora na área de sensoriamento remoto orbital de recursos terrestres (Ducart, 2007).

Tabela 1. Principais características do sensor ASTER (extraído de *Kafino*, 2009).

Subsistema	Banda N°	Intervalo Espectral (µm)	Resolução Espacial (m)
VNIR	1	0,520 - 0,600	15
	2	0,630 - 0,690	
	38 e 3N (estereopar)	0,760 - 0,860	
SWIR	4	1,600 - 1,700	30
	5	2,145-2,185	
	6	2,185 - 2,225	
	7	2,235 - 2,285	
	8	2,295 - 2,365	
	9	2,360 - 2,430	
TIR	10	8,125 - 8,475	90
	11	8,475 - 8,825	
	12	8,925 - 9,275	
	13	10,250 - 10,950	
	14	10,950 - 11,650	

Largura da faixa imageada: 60 km.

4.2 Pré-processamento e aquisição de dados espectrais

As bandas do SWIR, que originalmente possuem resolução espacial de 30 metros, foram reamostradas digitalmente para a resolução das bandas do VNIR, que possuem resolução de 15 metros. Foram escolhidos minerais representativos e indicadores de fácies de alteração hidrotermal classicamente descritos na literatura,

dentre as quais identificados na área de estudo (potássica, propilítica, fílica e argílica intermediária) por Bongioiolo *et al.* (2008).

- **biotita:** alteração potássica;
- **epidoto:** alteração propilítica;
- **clorita:** alteração propilítica;
- **fengita:** alteração fílica;
- **interestratificado illita-esmectita:** alteração argílica intermediária e;
- **caolinita:** alteração argílica avançada.

Vale ressaltar que a caolinita, embora não identificada por Bongioiolo *et al.* (2008), foi escolhida neste trabalho como sendo o mineral que caracteriza a alteração argílica avançada.

A espectroscopia de reflectância é uma técnica analítica que usa a energia eletromagnética refletida nas regiões do visível-infravermelho próximo (VNIR) e infravermelho de ondas curtas (SWIR) com o objetivo de obter informações sobre a composição mineralógica e química de materiais (Clark, 1999). Esses minerais, classificados como representantes e identificadores das fácies de alteração hidrotermal, apresentam feições espectrais claramente definidas no intervalo de comprimentos de ondas do SWIR e do VNIR. O processo de detecção mineral através de dados de sensores orbitais explora o fato que muitos minerais apresentam intensas bandas de absorção.

Quanto maior for a resolução espectral disponível, mais facilmente as feições de absorção poderão ser quantitativamente caracterizadas e comparadas com os dados de bibliotecas espectrais que possibilitam fazer a correlação das medidas de sensoriamento remoto com aquelas obtidas em laboratório a partir de amostras de campo (Kafino, 2009). Este processo de classificação se baseia na análise de similaridade entre as assinaturas espectrais obtidas a partir de um conjunto de materiais de referência e as curvas espectrais correspondentes de cada pixel da imagem.

4.3 Análise dos Principais Componentes (APC)

A técnica utilizada foi a Análise dos Principais Componentes (APC), conforme Crósta (1992). Esta técnica, modificada de Loughlin (1991), dentre suas vantagens, dispensa a necessidade de correção atmosférica para sensores multiespectrais (Crósta *et al.*, 2009).

Foi realizada uma máscara da imagem, delimitando uma área em torno de alvos mineralizados idêntica à estudada por Bongioiolo (2006). Esta é bem menor do que a imagem ASTER disponibilizada, pois ao usar a imagem completa, as estatísticas da Análise dos Principais Componentes, podem ficar comprometidas, deixando de aparecer muitas anomalias. Foi feita também uma máscara retirando a área urbana para a melhor apuração das estatísticas das assinaturas espectrais.

A análise e preparação das imagens, foram feitas a partir do programa ArcGis® versão 10. Foram delimitados, para cada mineral selecionado, um *range* de intensidade das assinaturas espectrais, para então definir os extremos com possíveis anomalias condizentes com um evento de alteração hidrotermal. Dessa forma foram observadas e delimitadas as anomalias positivas, ou seja, com maiores indicativos da presença dos minerais selecionados. Os *ranges* foram definidos por meio do desvio padrão em 13 classes, sendo definido então as duas últimas classes para a visualização das anomalias, excetuando o epidoto, aonde foi selecionado apenas a última classe, visto que, neste caso, as duas últimas classes juntas do desvio padrão ainda representavam de forma exagerada a ocorrência de epidoto na área de estudo.

Após a Análise dos Principais Componentes e de definição dos *ranges* de intensidade espectral dos minerais selecionados, foi possível confrontar os dados obtidos com a bibliografia para a observação de novos alvos alterados hidrotermalmente através da identificação de anomalias mineralógicas na área de estudo.

4.4 Processamento digital das imagens ASTER

O procedimento de classificação nesse trabalho foi feito utilizando as ferramentas espectrais do programa ENVI® 4.5. Este programa possibilita a visualização das curvas espectrais de diversos minerais a partir de bibliotecas, além de possibilitar a comparação dessas curvas espectrais obtidas por espectroradiômetros. Estas podem ser convolvidas para a resolução espectral do sensor ASTER, para se obter uma maior precisão nos resultados de comparação entre as curvas.

A biblioteca espectral utilizada para a escolha das curvas espectrais foi a da USGS (*United States Geological Survey*; **Fig. 3**), disponível gratuitamente no programa ENVI® 4.5. Esta biblioteca não tem registro para a curva espectral da fengita e nesse caso, foi utilizada a curva espectral da muscovita, pela sua similaridade de estrutura cristalina e composição química. Também não foi encontrada a curva espectral do interestratificado illita-esmectita, já nesse caso não foi definido nenhum substituto, pois não foi achado nenhum mineral com similaridade de estrutura cristalina e composição

química adequadas, sendo então feita a classificação a partir dos outros 5 minerais escolhidos.

As bandas ASTER escolhidas para este trabalho foram definidas através da análise de cada curva espectral convolvidas para as bandas do sensor ASTER, observando os pontos de maior contraste na curva (**Fig. 3**). Após essa análise foi definido então o melhor conjunto de bandas ASTER para cada mineral escolhido (**Tab. 2**).

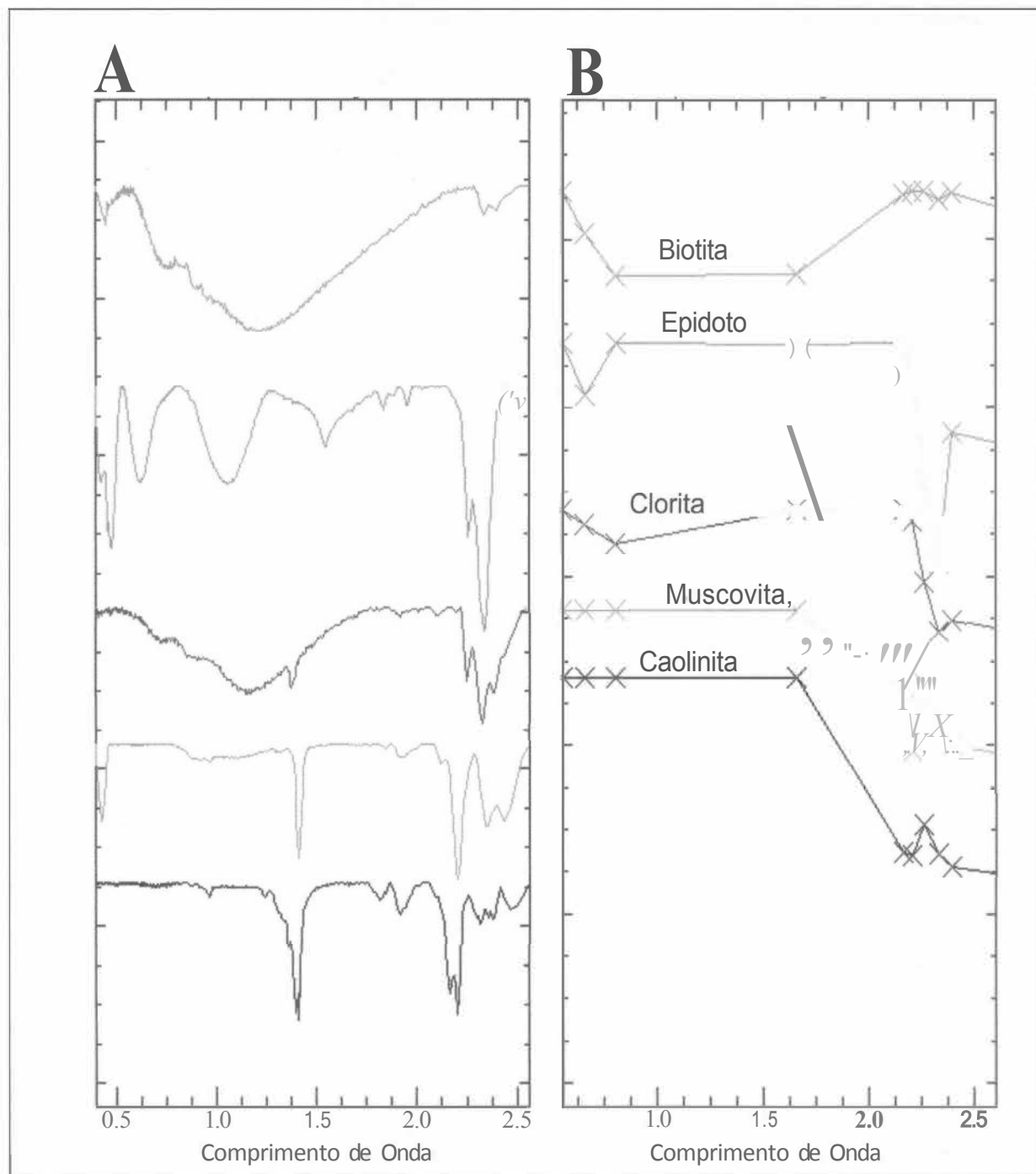


Figura 3. Curvas espectrais dos minerais escolhidos como representantes de alteração hidrotermal na área de estudo. A: Curva espectral original da biblioteca espectral da USGS. B: Curva espectral convolvida para as bandas do sensor ASTER.

A Análise dos Principais Componentes da imagem ASTER da área de estudo, para cada mineral, resultou em quatro novas bandas, que são as bandas PC's (Principal Components), para cada conjunto de quatro bandas espectrais processadas. Essa análise do conjunto das quatro bandas é feita com o intuito de identificar a que contém as informações espectrais relacionadas a cada mineral escolhido para representar fácies de alteração diferentes.

As bandas PC3 e PC4 geralmente são as bandas que possuem mais informação sobre os minerais escolhidos como representantes de alteração hidrotermal (Santos *et al.*, 2010). Mesmo que essas informações das bandas PC3 e PC4 representem em termos quantitativos, uma parte muito pequena em relação ao total de informações das quatro bandas originais, as informações representadas são de grande importância para a extração seletiva da resposta espectral.

Tabela 2 Minerais escolhidos como representantes das principais fácies de alteração hidrotermal na área de estudo com suas respectivas bandas ASTER selecionadas.

Minerais	Bandas ASTER
biotita	4 - 7 - 8 - 9
epidoto	2 - 5 - 8 - 9
clorita	3 - 5 - 8 - 9
muscovita	4 - 6 - 7 - 8
caolinita	1 - 4 - 6 - 7

5. CONTEXTO GEOLÓGICO-GEOTECTÔNICO

Segundo a compartimentação de Chemale Jr. (2000), as unidades geotectônicas reconhecidas no Escudo Sul-rio-grandense estão inseridas no Bloco Taquarembó e nos Cinturões Vila Nova, Tijucas e Dom Feliciano (**Fig. 4**).

O Bloco Taquarembó é composto por rochas paleoproterozóicas pertencentes ao Complexo Granulítico Santa Maria Chico, representante do cráton Rio de La Plata. Este complexo foi parcialmente retrabalhado durante o Ciclo Brasileiro, além de ter sido recoberto por rochas vulcanos-sedimentares tardi a pós-orogênicas em relação ao mesmo evento. No Cinturão Vila Nova são reconhecidas por Chemale Jr. (2000), duas assembleias petrotectônicas, denominadas Terreno Metamórfico de Acresção Palma e Associação Vulcano-Plutono-Sedimentar Seival (AVPSS). O Cinturão Tijucas é representado por uma associação de rochas supracrustais metamorfizadas em fácies xistos-verdes a anfibolito com exposições de gnaisses paleoproterozóicos, afetada durante o Evento Dom Feliciano. Este último é composto predominantemente por uma associação de rochas granito-gnáissicas-migmatíticas brasileiras (650-500 Ma), alongadas segundo nordeste-sudoeste, sobre embasamento predominantemente paleoproterozóico.

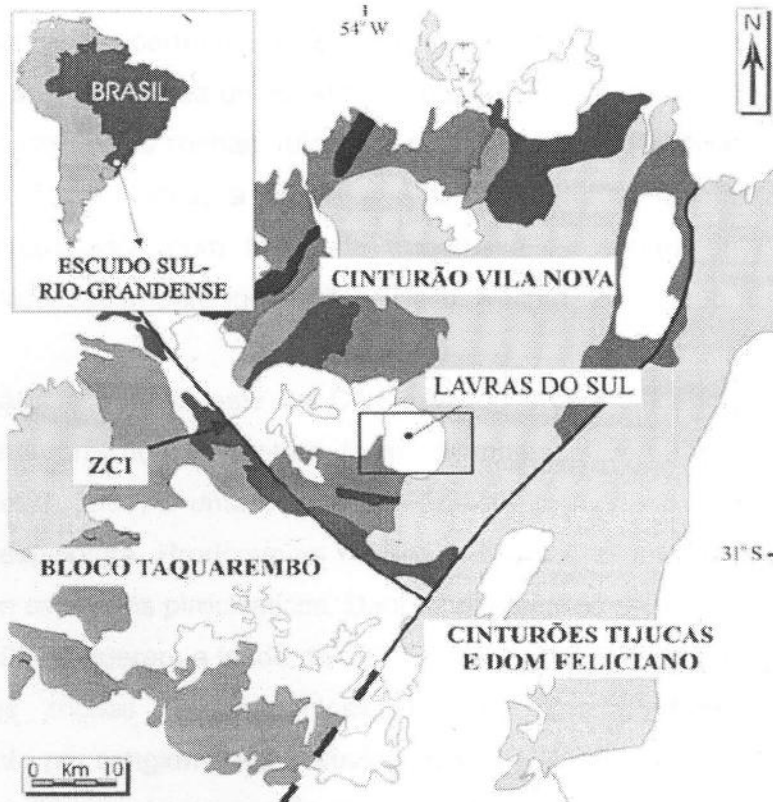


Figura 4. Mapa Geológico Regional do Escudo Sul-rio-grandense segundo a compartimentação de Chemale Jr. (2000). Em detalhe parte da área de estudo no município de Lavras do Sul. Extraído de Bongioiolo (2006).

5.1 Geologia da área de estudo

As rochas da região de estudo, são representadas pelas porções vulcânica e plutônica da Associação Plutono-Vulcano-Sedimentar Seival (Chemale Jr. 2000), ambas encaixantes das mineralizações e da alteração hidrotermal estudada (Fig. 5)

Os granitoides são representados pelo Complexo Granítico Lavras (Nardi, 1984), o qual é caracterizado pela zonação reversa de fácies. O autor sugere que esse complexo compreende um núcleo granodiorítico de afinidade shoshonítica denominado fácies central, que teria sido assimilado parcialmente por um magma granítico alcalino, gerando rochas híbridas entre os dois tipos. Gastal e Lafon (1998) redefiniram a denominação do então complexo granítico para Complexo Intrusivo Lavras do Sul (CILS), incluindo neste monzonitos porfíticos, monzodioritos e quartzo monzonitos. Ao contrário de Nardi (1984), Gastal e Lafon (1998) admitem a contemporaneidade entre os eventos shoshonítico e alcalino. As datações mais recentes pelo método de U-Pb SHRIMP, sugerem idades de 594 ± 5 Ma para as rochas shoshoníticas de núcleo e de 594 ± 5 Ma para as rochas alcalinas periféricas do CILS.

Paim *et al.* (1995), denominou de Alosupergrupo Camaquã as rochas constituintes da Bacia de Camaquã (BC), uma bacia de retroarco formada nos estágios finais da orogenia Brasileira/Pan-Africana. A sequência vulcano-sedimentar da AVPSS é representada por rochas pertencentes ao alogrupo Bom Jardim. As rochas portadoras de mineralizações, a leste da área de estudo, correspondem à porção basal desse alogrupo, e são representadas pelas rochas vulcanogênicas da Formação Hilário (FH – Ribeiro e Fantinel, 1978). Tufos líticos, a cristal e a pó, lápili-tufos, aglomerados e brechas piroclásticas, intercalados com lavas de traquibasaltos e traquiantesidos, depósitos epiclásticos e, localizadamente ignimbritos (Nardi e Lima, 2000) são identificados nesta área.

A intrusão da porção leste do CILS nestas rochas vulcanogênicas gerou uma auréola de metamorfismo de contato fácies hornblenda cornubianito com 50 m de espessura (Ribeiro, 1983) e uma zona albita-epidoto cornubiano (Mexias *et al.*, 1990a) com 450m de espessura. Predominam nesses locais de contato, lavas de composição andesítica sobre os termos piroclásticos. Dados pelo método U-Pb em zircões obtidos por Remus *et al.* (1997) sugerem a idade de 592 ± 5 Ma para o evento plutônico-vulcânico. Para leste, as rochas vulcanogênicas da FH interdigitam-se são substituídas gradacionalmente por conglomerados aluviais ricos em clastos vulcânicos de composição básica a intermediária e, numa porção mais distal, por arenitos e siltitos relacionados a fluxos turbidíticos em porções subaquáticas de sistemas deltaicos (Paim *et al.*, 2000).

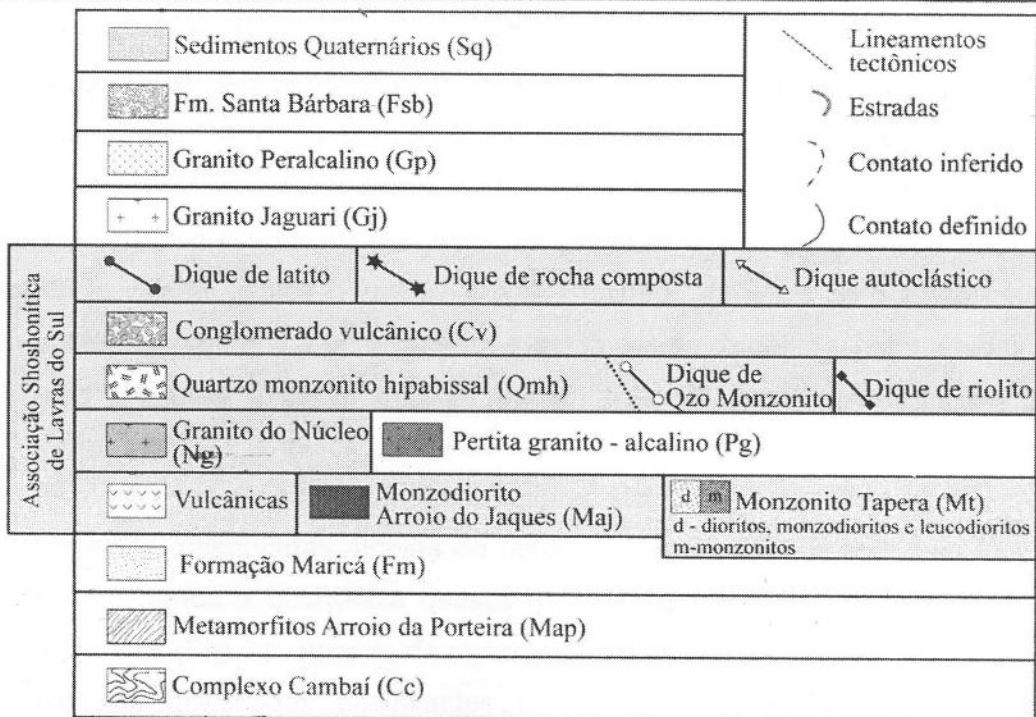
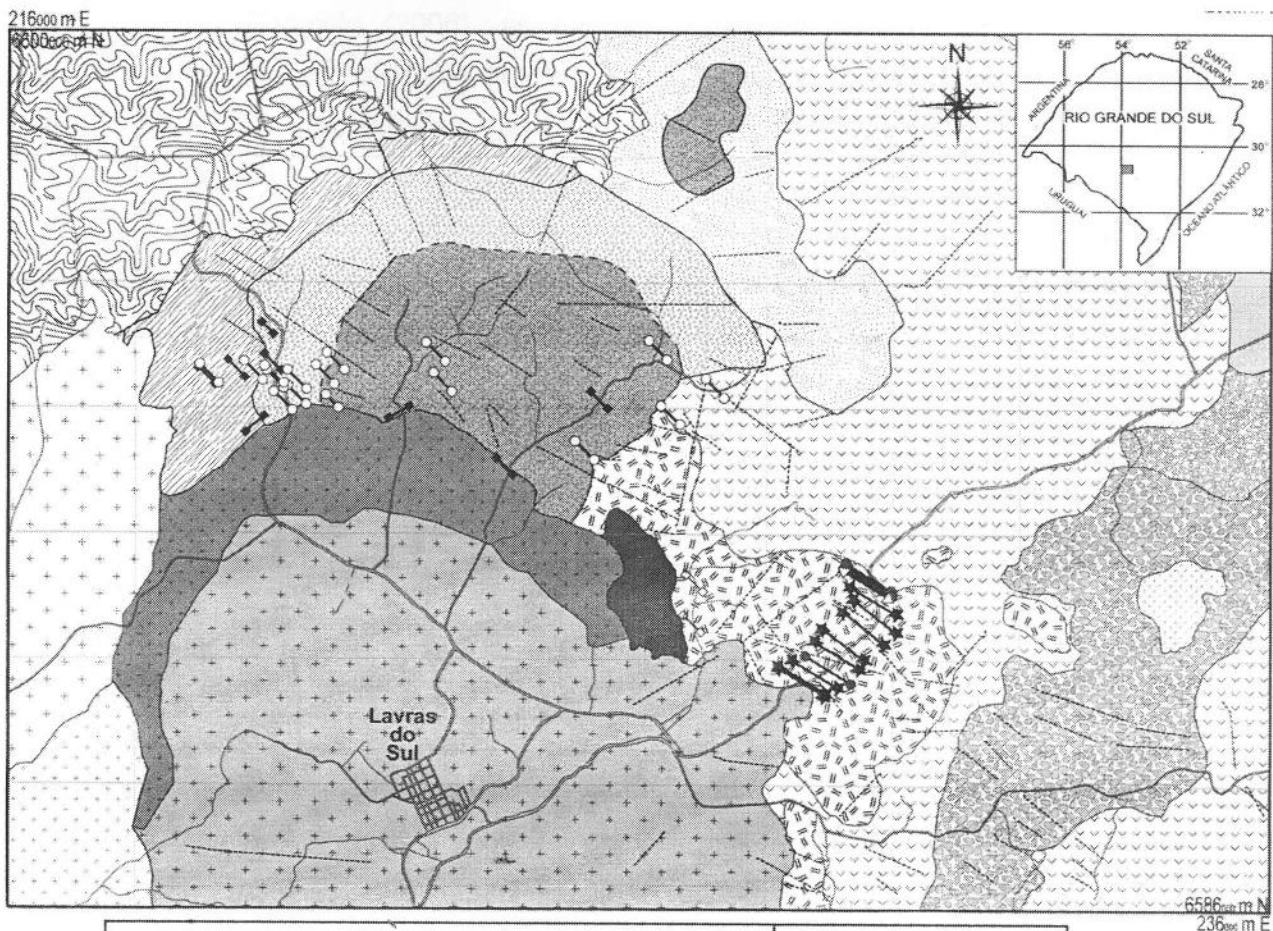


Figura 5: Mapa geológico local da área de estudo (extraído de Gastal *et al.*, 2006).

5.2 Mineralizações

Segundo Bongiolo (2006), as mineralizações da região de Lavras do Sul consistem em uma superposição de sistemas dos tipos pórfiro e epitermal (**Fig. 6**). O autor utilizou dados de mapeamento geológico, geoquímica de minerais, técnicas de difratometria de raios X (incluindo decomposição de difratogramas e simulações teórico-experimentais dos mesmos), inclusões fluidas, isótopos estáveis em silicatos e trabalhos de quantificação de porosidade de rochas para definir os estágios de alteração hidrotermal da região em escala regional. Os principais estágios hidrotermais evoluíram primeiramente por fluxo de fluido condutivo (alterações potássica e propilítica) e posteriormente por fluxo de fluido convectivo (alterações fílica e argílica intermediária).

As principais mineralizações ocorrem encaixadas em veios de quartzo com direção N40°W e E-W, tanto nos granitoides quanto nas rochas vulcanogênicas. Localizadamente, nas áreas centrais (Mina Cerrito) e a leste da área de estudo (Mina Dourada, Valdo Teixeira e Volta Grande), são observados veios e falhas de direção NE. Os halos de alteração também são mineralizados, sendo as principais fases secundárias associadas principalmente à "sericita" + sulfetos (Bongiolo, 2006) nos granitoides e a "sericita" + clorita + sulfetos nas rochas vulcânicas.

É possível observar uma evolução espacial e temporal da alteração hidrotermal, principalmente a partir dos argilominerais/filossilicatos dioctaédricos (ou sericita) identificados por Bongiolo *et al.* (2008) como : (i) fengita/mica, (ii) illita, e (iii) interestratificado illita-esmectita. A distribuição da alteração fílica de oeste (mais abundante) para leste (menos abundante), representada por predominância de fengita e illita, de formas bem cristalizadas e estáveis a temperaturas mais altas, sugerem que essas zonas representam a porção mais profunda do corpo granítico que intrudiu na sequência vulcanogênica (**Fig. 7**). Além das texturas de veios de quartzo mais estáveis em ambientes profundo a oeste, e dados isotópicos de oxigênio e hidrogênio demonstram que a fengita e illita cristalizaram com predomínio de fluidos magmáticos (Bongiolo *et al.*, 2011; **Fig. 6**). Já a distribuição da alteração argílica intermediária na borda leste do corpo granítico e na sequência vulcanogênica apresenta a predominância de interestratificado illita-esmectita, observadas através de reinfilttrações de veios e seus halos de alteração associados, tendo a ocorrência desses minerais sob a forma de cristais menores em forma de ripas (**Fig. 7**). Através da observação de inclusões fluidas de veios e cristais de quartzo nos granitoides encaixantes na borda leste, foi possível apontar que a cristalização ocorreu com predominância de fluidos meteóricos, canalizados através de fraturas (Bongiolo *et al.*, 2011; **Fig. 6**).

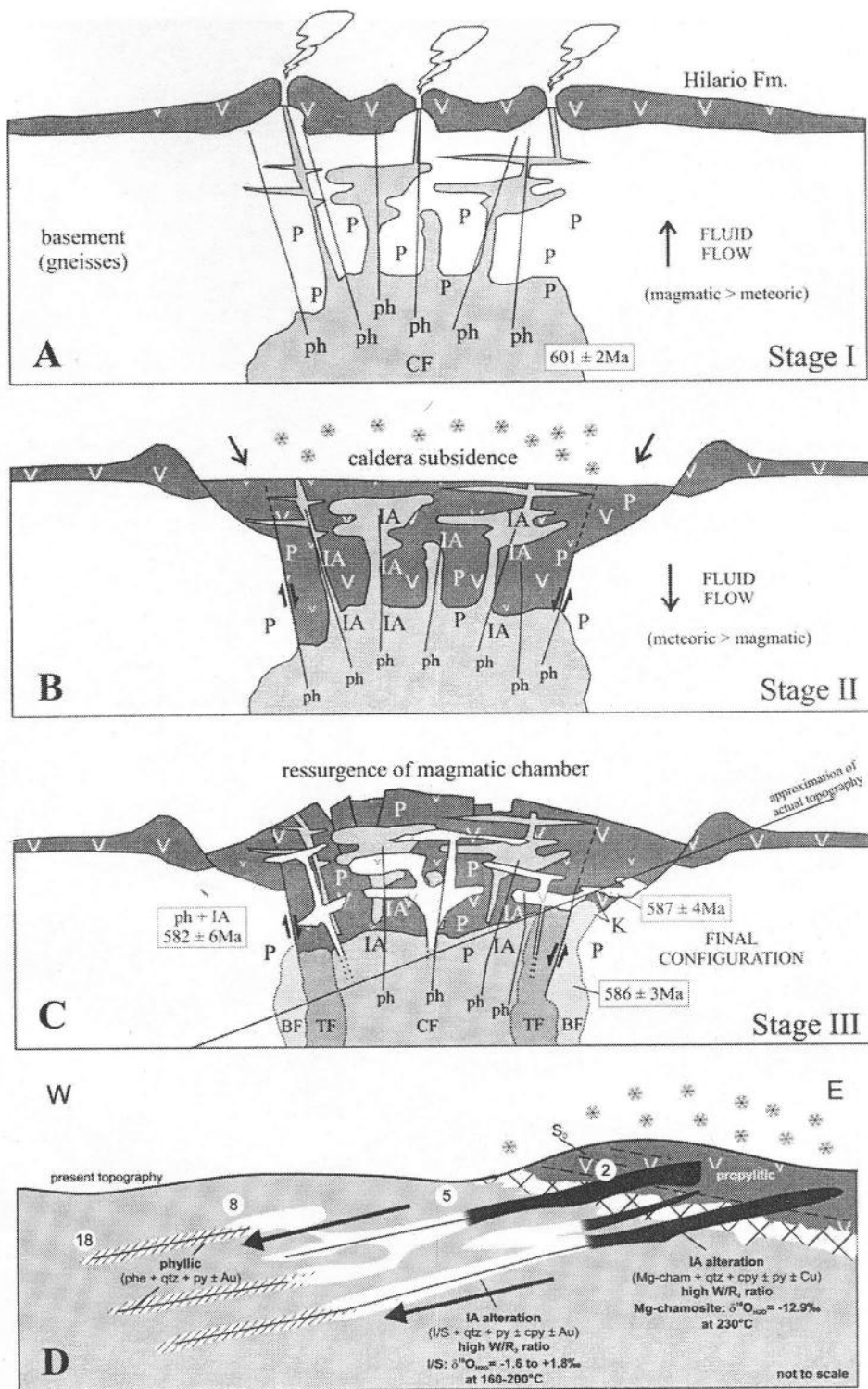


Figura 6: Modelo esquemático da evolução dos eventos magmáticos-hidrotermais no Distrito Aurífero de Lavras do Sul. (A) A fase I compreende contemporaneidade do vulcanismo shonshonítico (Formação Hilário) e fácies central (CF) do Complexo Granítico Lavras, com desenvolvimento da alteração propilítica (além de localizadas alterações potássica e filica inicial) em resposta a predominância do fluxo de fluido magmático ascendente. (B) Alteração filica associada aos fluidos magmáticos dominantes (fase II), desenvolvida cada vez que a pressão litoestática é superada pela pressão de fluido, alternando entre o fluxo de fluido condutivo e convectivo. (C) Fase III representa o resfriamento da câmara magmática principal e posteriormente a intrusão dos monzonitos porfíricos devido a episódio de subsidência de caldeira. (D) Seção transversal com a disposição atual basculada dos ambientes interpretados como transição dos tipos pórfiro-epitermal em Lavras do Sul. Extraído de Bongioioli *et al.* (2011).

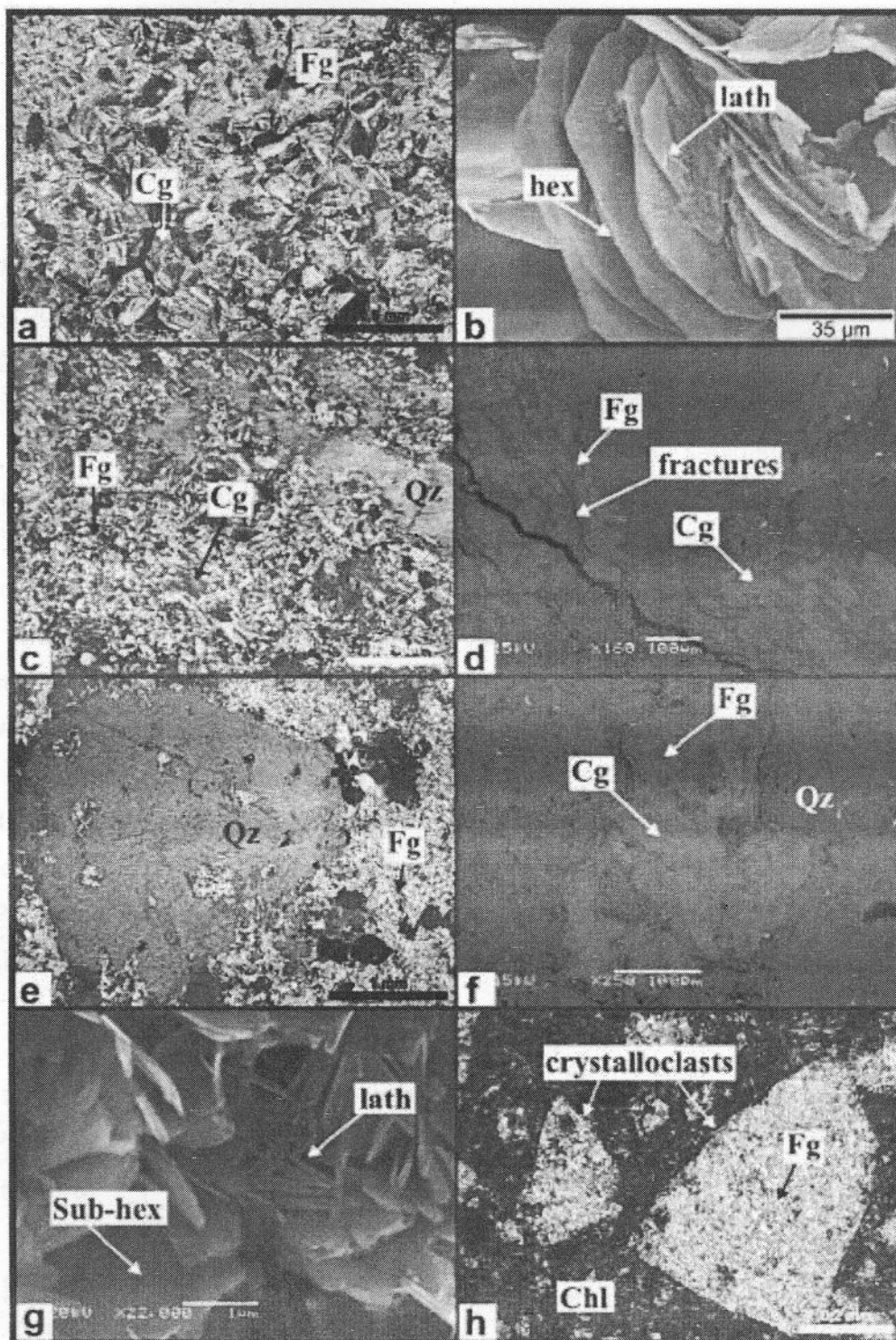


Figura 7: Características textural e morfológicas dos minerais dioctaédricos observados por microscopia óptica (a, c, d, e, f, h) e por MEV (microscopia eletrônica de varredura) em modo elétrons-secundário (b, g). Amostras: (a) granulação grossa (Cg) e fina (Fg) de fengita, Mina Bloco do Butiá; (b) cristais grossos com formas hexagonais (hex) perfeitas de fengita e cristais finos de ilita com formas de ripas (lath), Mina Bloco do Butiá; (c) granulação grossa (Cg) de fengita e fina (Fg) de ilita, Mina Cerrito; (d) granulação grossa (Cg) de fengita cortada por fraturas e veios de ilita com granulação fina (Fg), Mina Cerrito; (e) granulação fina (Fg) de ilita e ilita-esmectita cristalizado em rochas porfíricas na borda oeste dos granitoides, Mina Valdo Teixeira; (f) granulação grossa (Cg) de fengita desestabilizada nas bordas por (Fg) ilita-esmectita, Mina Valdo Teixeira; (g) coexistência de partículas sub-hexagonais de fengita e de ilita em formas de ripas, Mina Valdo Teixeira; (h) granulação fina (Fg) de ilita e ilita-esmectita alterando cristaloclastos de feldspato em rochas tufaceas. Extraído de Bongioiolo *et al.* (2008).

6. RESULTADOS

Foram definidas como anomalias a ocorrência dos minerais a média + 2 desvios-padrão para todos os minerais, sendo escolhidas as duas últimas classes das anomalias, exceto para o epidoto que foi escolhida somente a última classe. Dessa forma foi possível observar com mais precisão as anomalias, já que a média de pixels que ocorreram as anomalias foi na média de 1% (Tab. 3).

Em função da imagem ASTER utilizada não apresentar uma maior resolução e que algumas áreas do terreno não representam locais totalmente descampados, estes não apresentaram anomalias mineralógicas em relação à alteração hidrotermal. Além disso, alguns locais que algumas anomalias já eram sabidamente conhecidas apresentaram bons resultados na identificação das mesmas.

A partir da imagem ASTER, foi então delimitada uma área, incluindo o local estudado por Bongioiolo (2006) para o confronto dos dados e os arredores, na procura de novas áreas alteradas hidrotermalmente, a partir da identificação dos minerais selecionados. Foram definidas algumas anomalias na área por meio da Análise Principal dos Componentes (Fig. 8; Fig. 9)

A partir das áreas identificadas como de provável presença dos minerais indicadores, foram delimitadas as anomalias com maiores indicativos da presença dos cinco minerais classificados, que foram delimitados então os polígonos das anomalias da área. Para classificação das anomalias foi considerada a presença simultânea dos cinco minerais indicadores.

Tabela 3: Minerais escolhidos como representantes das principais fácies de alteração hidrotermal na área de estudo com a quantidade de pixels que ocorrem anomalias em relação ao total de pixels da imagem.

Mineral	Quantidade de Pixels	% de Pixels	Total de Pixels
biotita	5087	0,72%	705798
epidoto	7250	1,03%	705798
clorita	8459	1,20%	705798
muscovita	11554	1,64%	705798
caolinita	8718	1,24%	705798

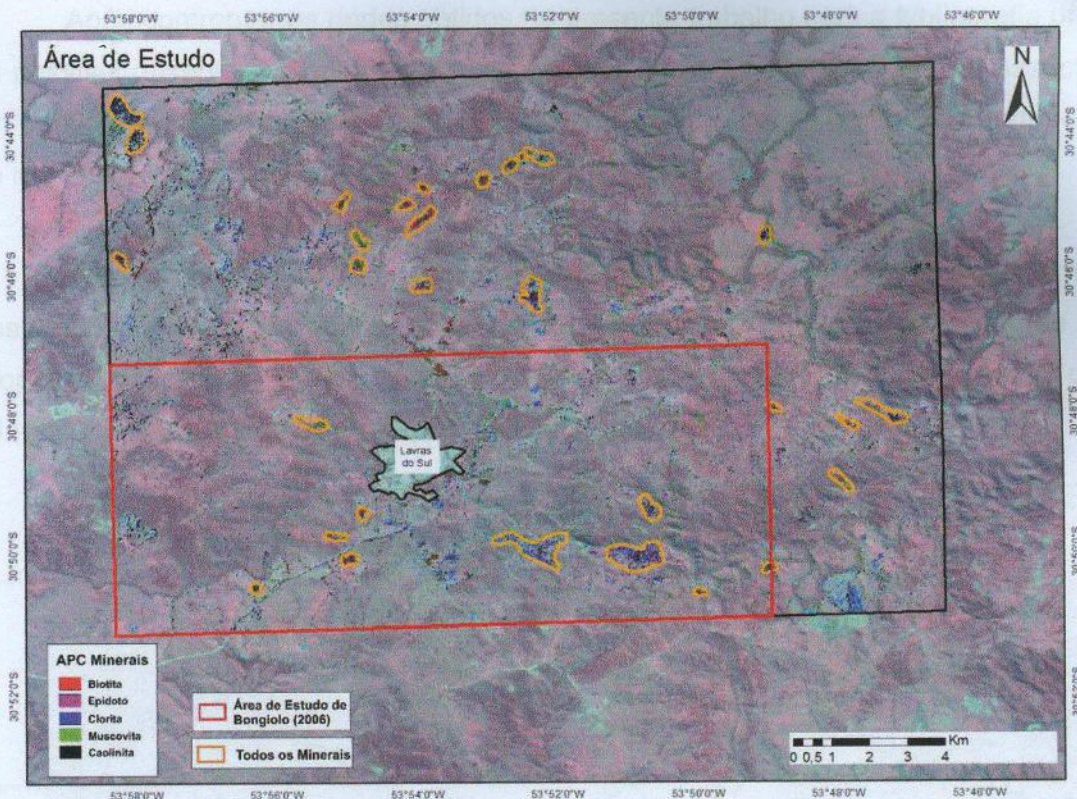


Figura 8: Área de estudo do presente trabalho, incluindo o local estudado por Bongioiolo (2006) e a delimitação de algumas anomalias encontradas. Utilizada a classificação de Análise dos Principais Componentes sobre imagem ASTER (RGB 321).

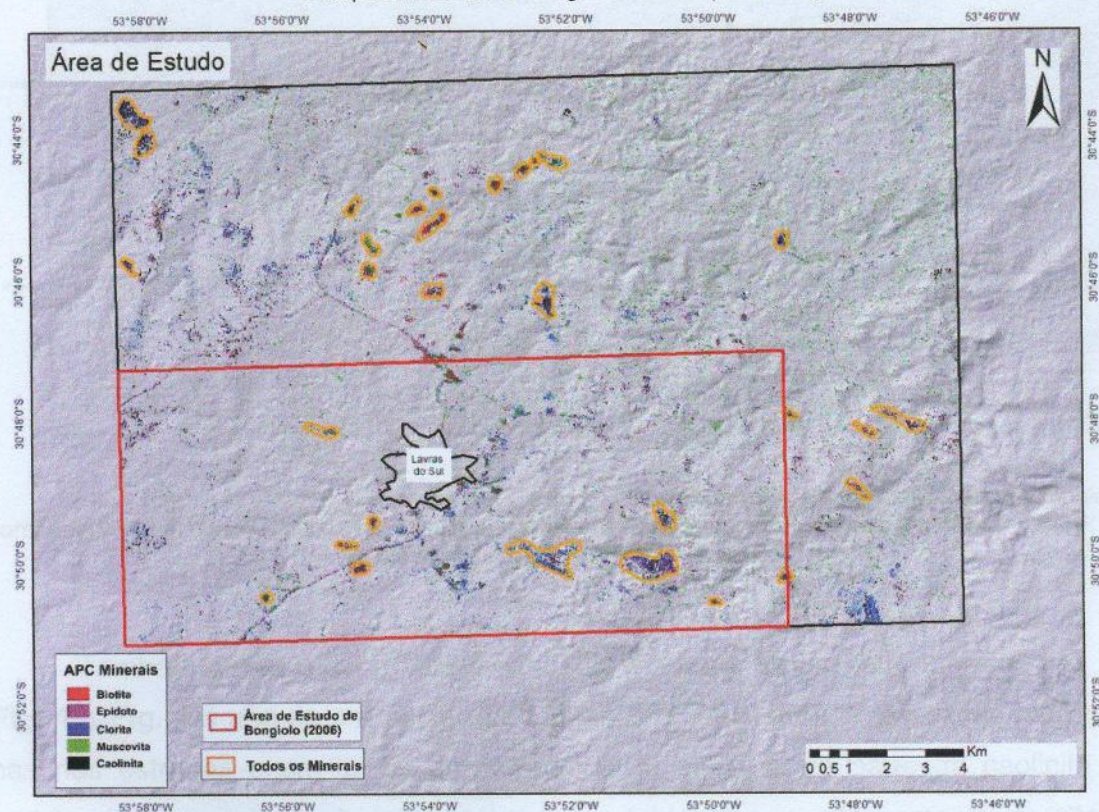


Figura 9: Área de estudo do presente trabalho, incluindo o local estudado por Bongioiolo (2006). Utilizada a classificação de Análise dos Principais Componentes sobre sombreamento Hillshade (iluminação N45W a 45°) do DEM (Digital Elevation Model) ASTER.

Após confrontar os dados obtidos no presente trabalho com a bibliografia utilizada foi possível observar os possíveis locais de ocorrência de alteração e suas associações em concordância com alguns locais descritos na bibliografia, como também a descoberta de novos alvos de possíveis zonas de alteração hidrotermal.

Analisando a figura 10 podemos observar a orientação de alguma das ocorrências dos principais minerais traçadores utilizados, direção N40°W e E-W, concordando com o proposto por Bongiolo (2006), pode-se observar também uma maior concentração desses minerais nas proximidades de depósitos já conhecidos.

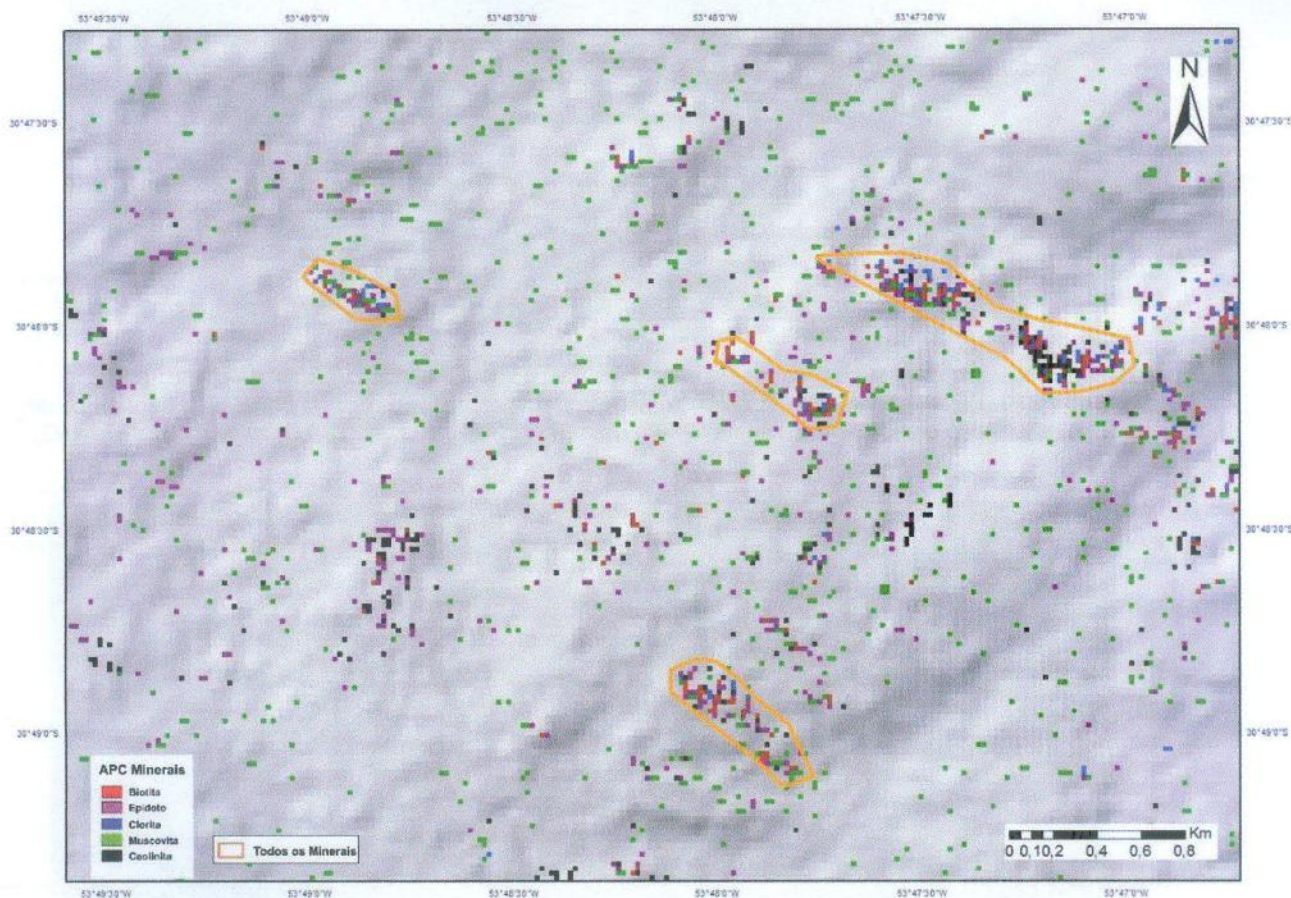


Figura 10: Porção leste da área de estudo, com a classificação da Análise dos Principais Componentes, em concordância com os resultados, sobre sombreamento *Hillshade* (iluminação N45W a 45°) do DEM (*Digital Elevation Model*) ASTER.

Também existe a ocorrência abundante somente de caolinita em algumas áreas (**Fig. 11; Fig. 12**) não só em possíveis depósitos provenientes de alteração hidrotermal, mas nas estradas e em locais descampados, já que grande parte da caolinita pode também ser proveniente do intemperismo dos feldspatos, e não somente de alteração hidrotermal. Isso era observado sempre que ocorria somente a ocorrência exagerada da caolinita sem estar associado com os outros minerais identificadores utilizados.

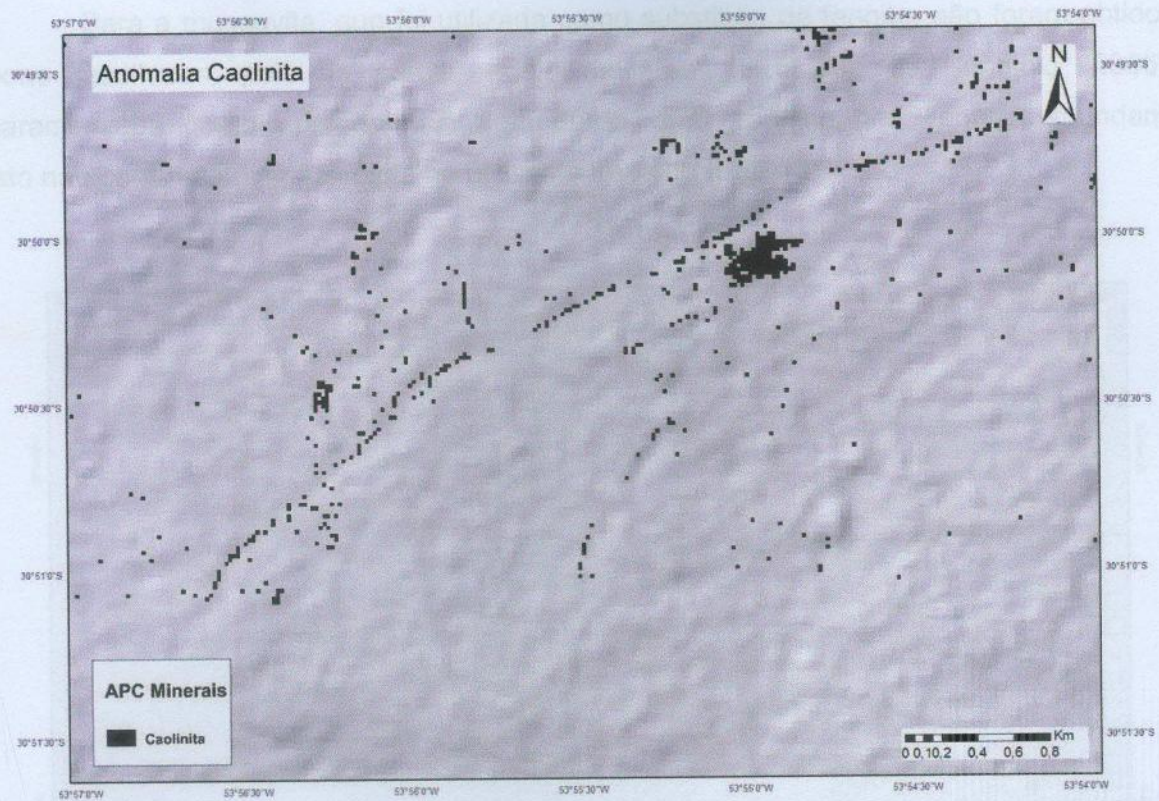


Figura 11: Anomalia caolinita. Ocorrência somente da presença de caolinita, presente em áreas descampadas e ao longo de estradas, sobre sombreamento *Hillshade* (iluminação N45W a 45°) do DEM (*Digital Elevation Model*) ASTER. Observe Fig. 12 para melhor visualizar estradas e cobertura vegetal.

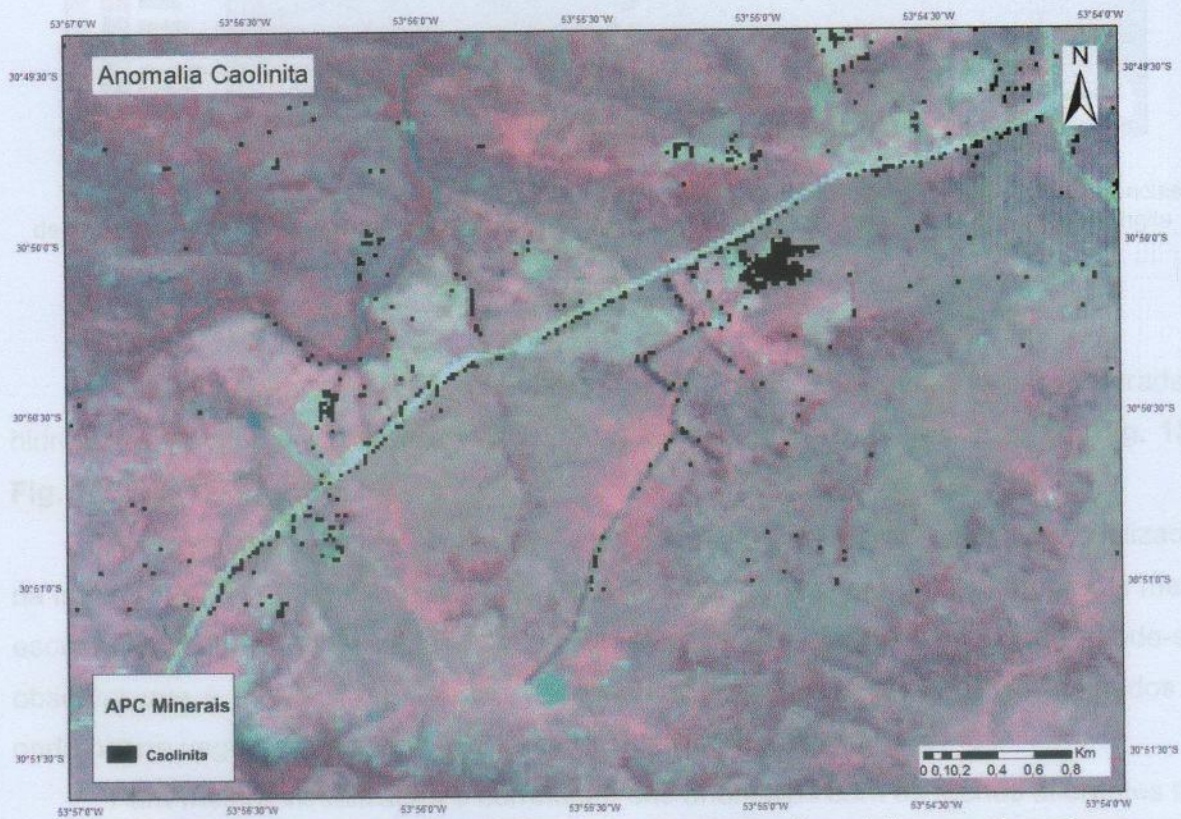


Figura 12: Anomalia caolinita. Ocorrência somente da presença de caolinita, presente em áreas descampadas e ao longo de estradas, sobre imagem ASTER (RGB 321). Vegetação ocorre nas cores mais púrpuras e escuras e as estradas e locais descampados nas cores mais claras.

Para a muscovita, que foi utilizada como substituta da fengita, não foram obtidos bons resultados, pois na porção oeste da área de estudo de Bongioiolo (2006), caracterizada como a porção mais profunda do corpo granítico, onde fengitas abundam, isto não ocorre com a muscovita no presente trabalho (**Fig. 13**).

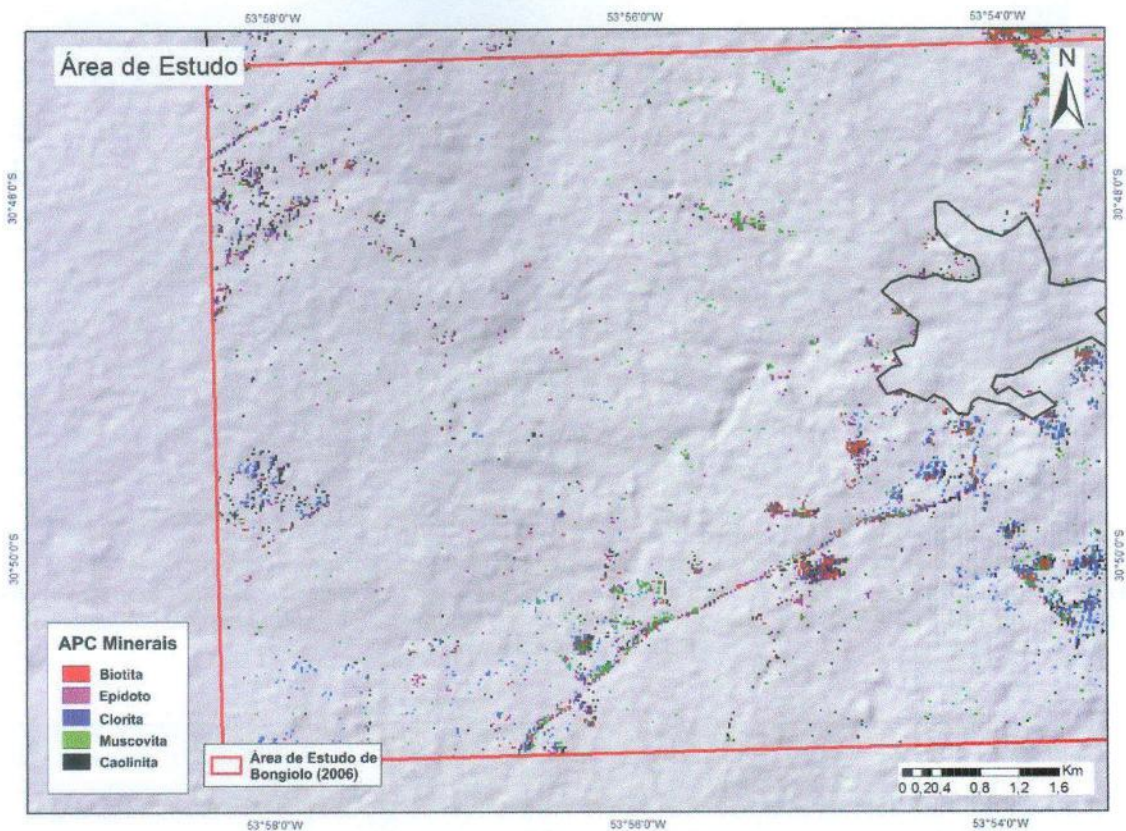


Figura 13: Porção oeste da área de estudo de Bongioiolo (2006), apresentando poucas ocorrências de muscovita, não concordando com a caracterização e classificação realizada pelo autor, onde a fengita deveria ser abundante.

Também foram encontradas em outros locais, possíveis áreas alteradas hidrotermalmente, com a presença agrupada dos minerais traçadores (**Fig. 14; Fig. 15; Fig. 16; Fig. 17; Fig. 18**).

A vegetação presente na área de estudo, a qual é observada quando visualizada na imagem ASTER com a classificação RGB que ocorre nas cores mais púrpuras e mais escuras, tem forte influência a respeito da detecção de padrões espectrais, pode-se observar que é muito comum serem encontrados anomalias em locais descampados e onde ocorre vegetação existe dificuldade na obtenção dos dados (**Fig. 19**).

Para melhor visualização e correlação das anomalias com as rochas aflorantes na região, foi elaborada uma imagem da área de estudo sobre o mapa geológico da Folha Cachoeira do Sul, elaborado pela CPRM no ano de 2000 (**Fig. 20**).

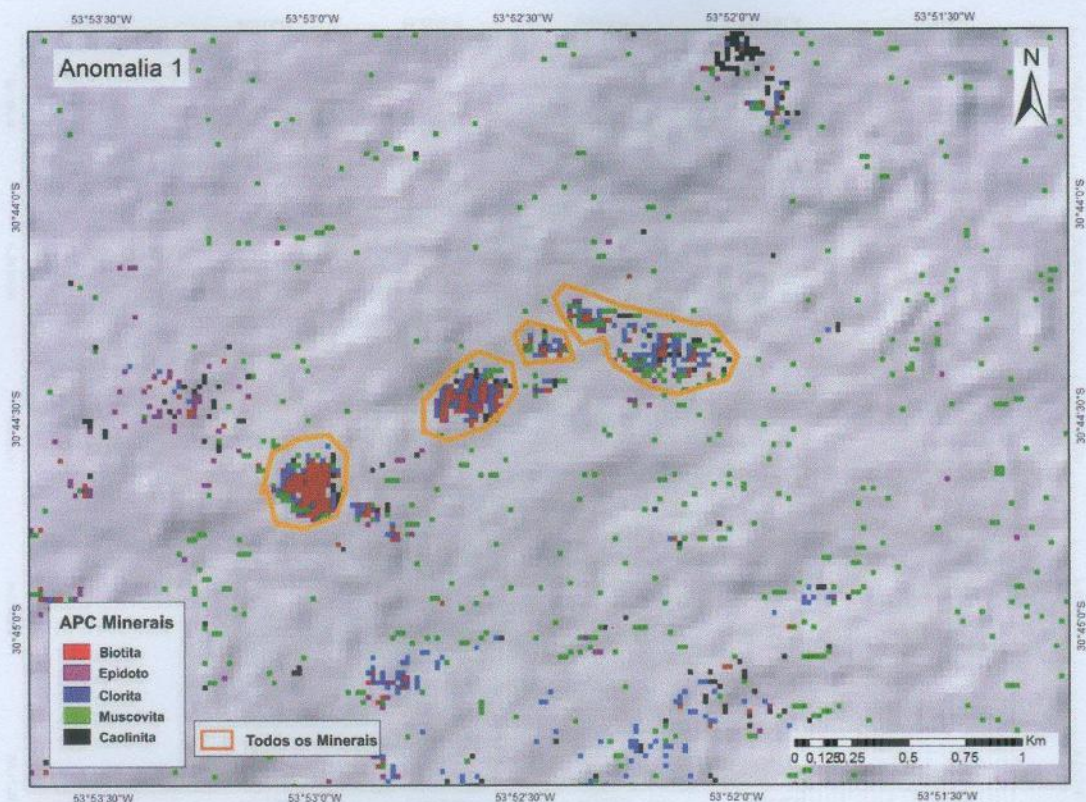


Figura 14: Anomalia 1. Contorno da anomalia com a ocorrência dos cinco minerais representativos escolhidos, apresentando uma predominância de biotita e clorita no núcleo. Com a classificação da Análise de Principais Componentes sobre sombreamento *Hillshade* (iluminação N45W a 45°) de DEM (*Digital Elevation Model*) ASTER.

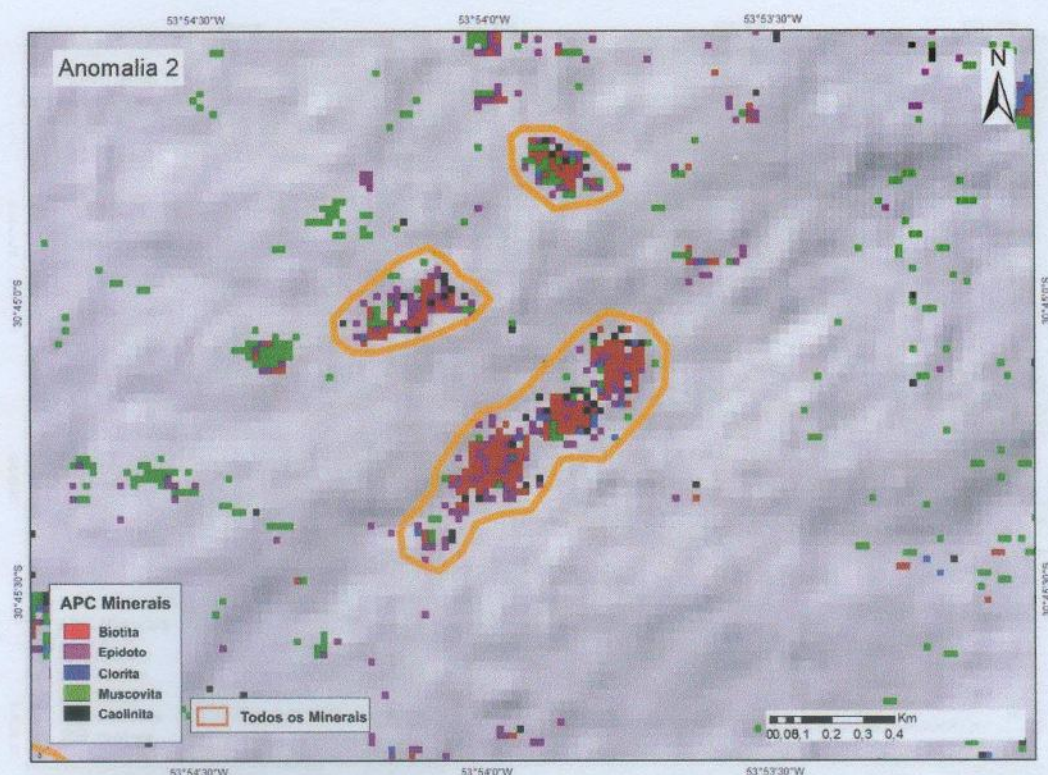


Figura 15: Anomalia 2. Contorno da anomalia com a ocorrência dos cinco minerais representativos escolhidos, apresentando nesse caso uma predominância de biotita e epidoto no núcleo da anomalia. Com a classificação da Análise de Principais Componentes sobre sombreamento *Hillshade* (iluminação N45W a 45°) de DEM (*Digital Elevation Model*) ASTER.

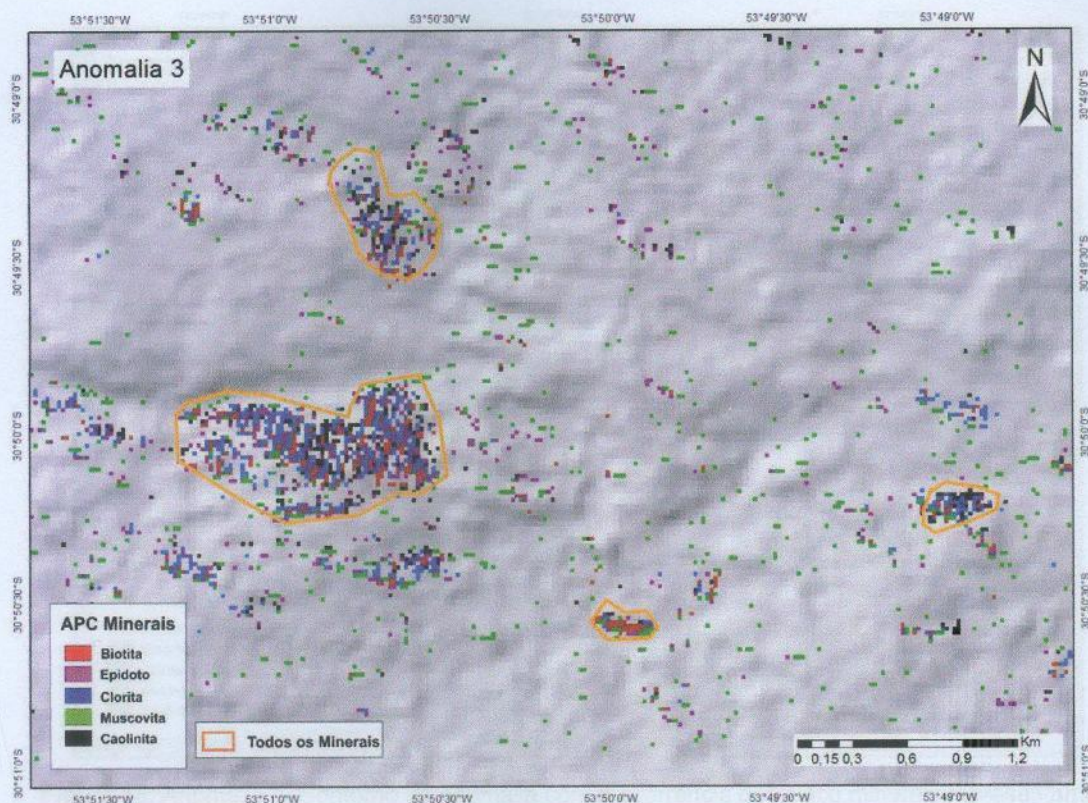


Figura 16: Anomalia 3. Contorno da anomalia com a ocorrência dos cinco minerais representativos escolhidos, mostrando mais ocorrência de clorita e epidoto no núcleo das anomalias. Com a classificação da Análise de Principais Componentes sobre imagem ASTER com sombreamento *Hillshade* (iluminação N45W a 45°).

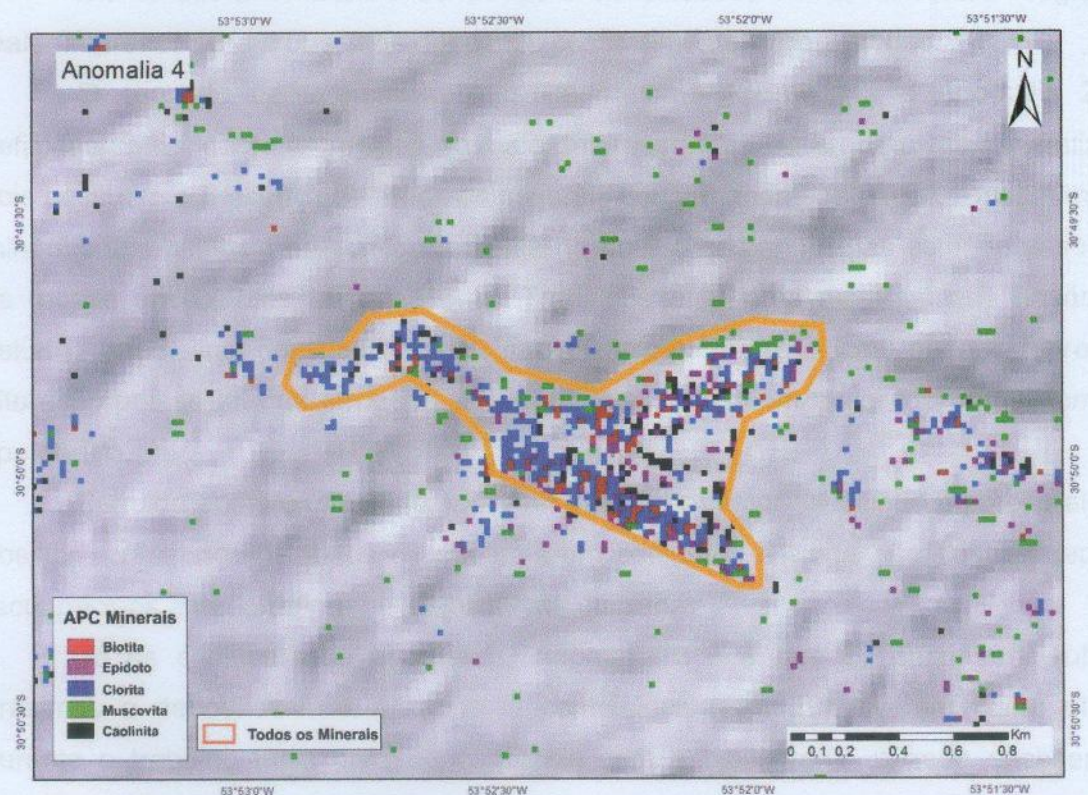


Figura 17: Anomalia 4. Contorno da anomalia com a ocorrência dos cinco minerais representativos escolhidos, com a classificação da Análise de Principais Componentes sobre sombreamento *Hillshade* (iluminação N45W a 45°) de DEM (*Digital Elevation Model*) ASTER.

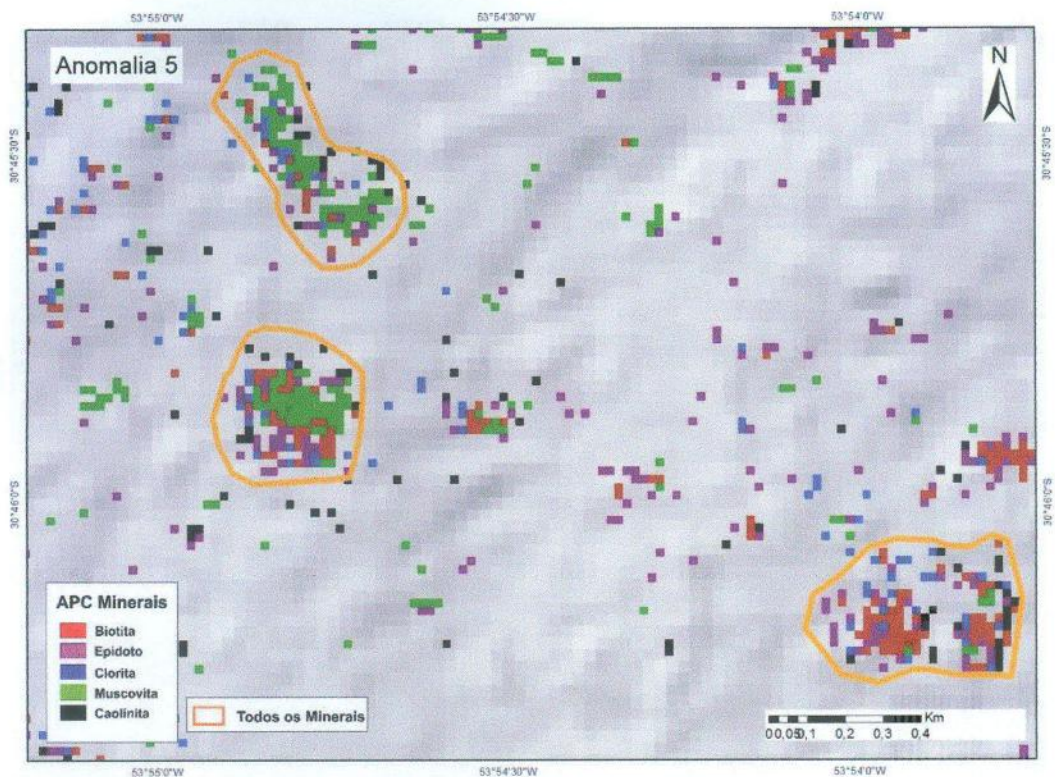


Figura 18: Anomalia 5. Contorno da anomalia com a ocorrência dos cinco minerais representativos escolhidos, nesse caso mostrando a predominância de muscovita no núcleo da anomalia. Com a classificação da Análise de Principais Componentes sobre sombreamento *Hillshade* (iluminação N45W a 45°) de DEM (*Digital Elevation Model*) ASTER.

Diante das anomalias encontradas e classificadas então, foi definido regiões de maior interesse para a busca de depósitos possivelmente mineralizados.

O conjunto de anomalias classificado como Anomalia 1 e Anomalia 2, são definidas então, como as regiões de maior interesse para busca de alvos mineralizados, pois possuem a presença de todos os minerais conjuntamente, além do zoneamento dos minerais apresentar a presença da biotita no núcleo das anomalias estando associadas as rochas encaixantes (monzonitos). Trabalhos anteriores mostram que na área de estudo, anomalias com biotita nas subvulcânicas monzoníticas podem representar alteração potássica, que em geral são as mineralizadas com maior teor em sistemas do tipo pórfiro.

Seguido então o interesse pela Anomalia 5 por estar associado a porção alcalina, possuir a presença de todos os minerais em conjunto e ainda não possuir depósitos reconhecidos anteriormente pela bibliografia utilizada.

Já os conjuntos de anomalias, Anomalia 3 e 4 que se encontram sobre ou próximos a depósitos mineralizados já conhecidos (**Fig. 20**), tiveram como utilidade durante o trabalho mais para concordância com a bibliografia utilizada e observação sobre técnica utilizada, do que como busca de novos alvos possivelmente mineralizados, possuindo então um nível de interesse menor por essa razão.

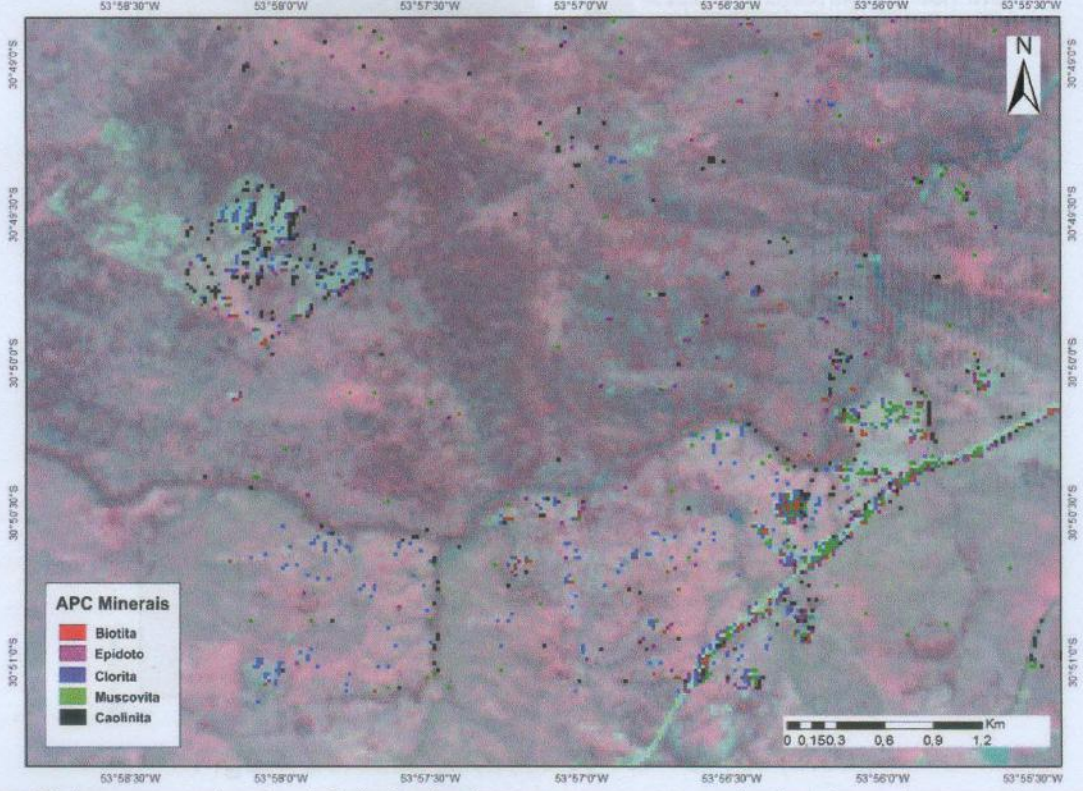
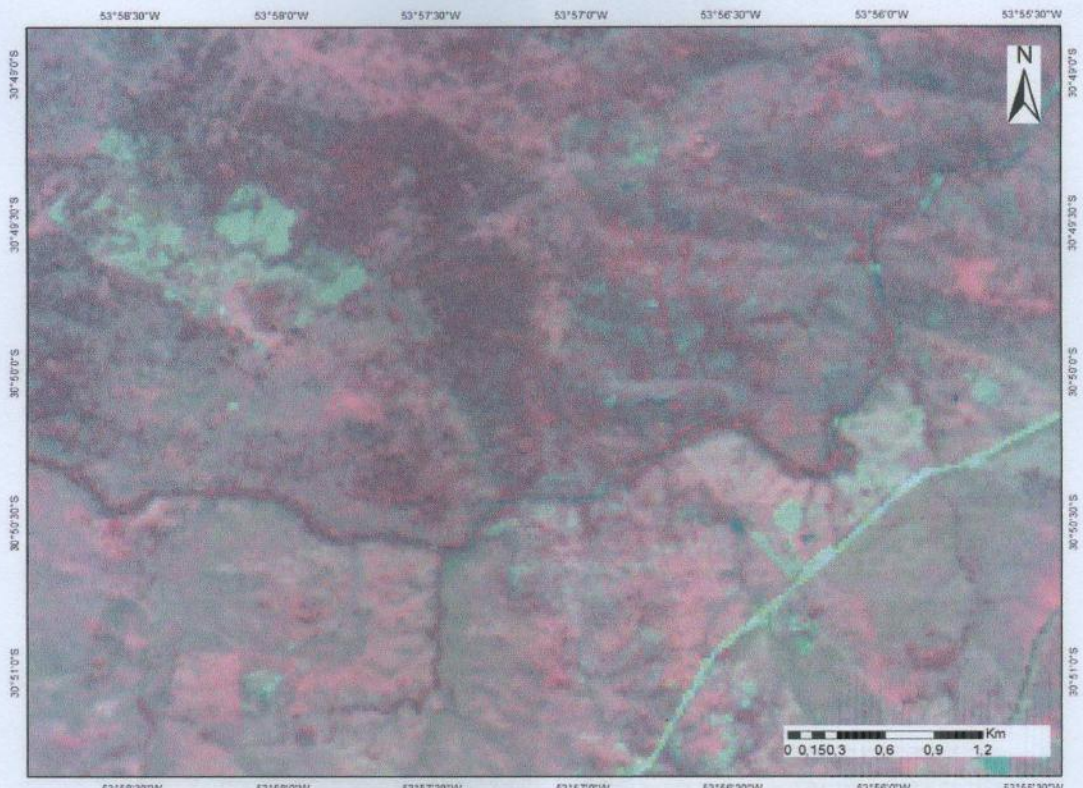


Figura 19: Imagem mostrando a influência das áreas que possuem vegetação e áreas descampadas e como isso reflete na presença de pixels anômalos, sobre imagem ASTER (RGB 321). Vegetação ocorre nas cores mais púrpuras e escuras e as estradas e locais descampados nas cores mais claras.

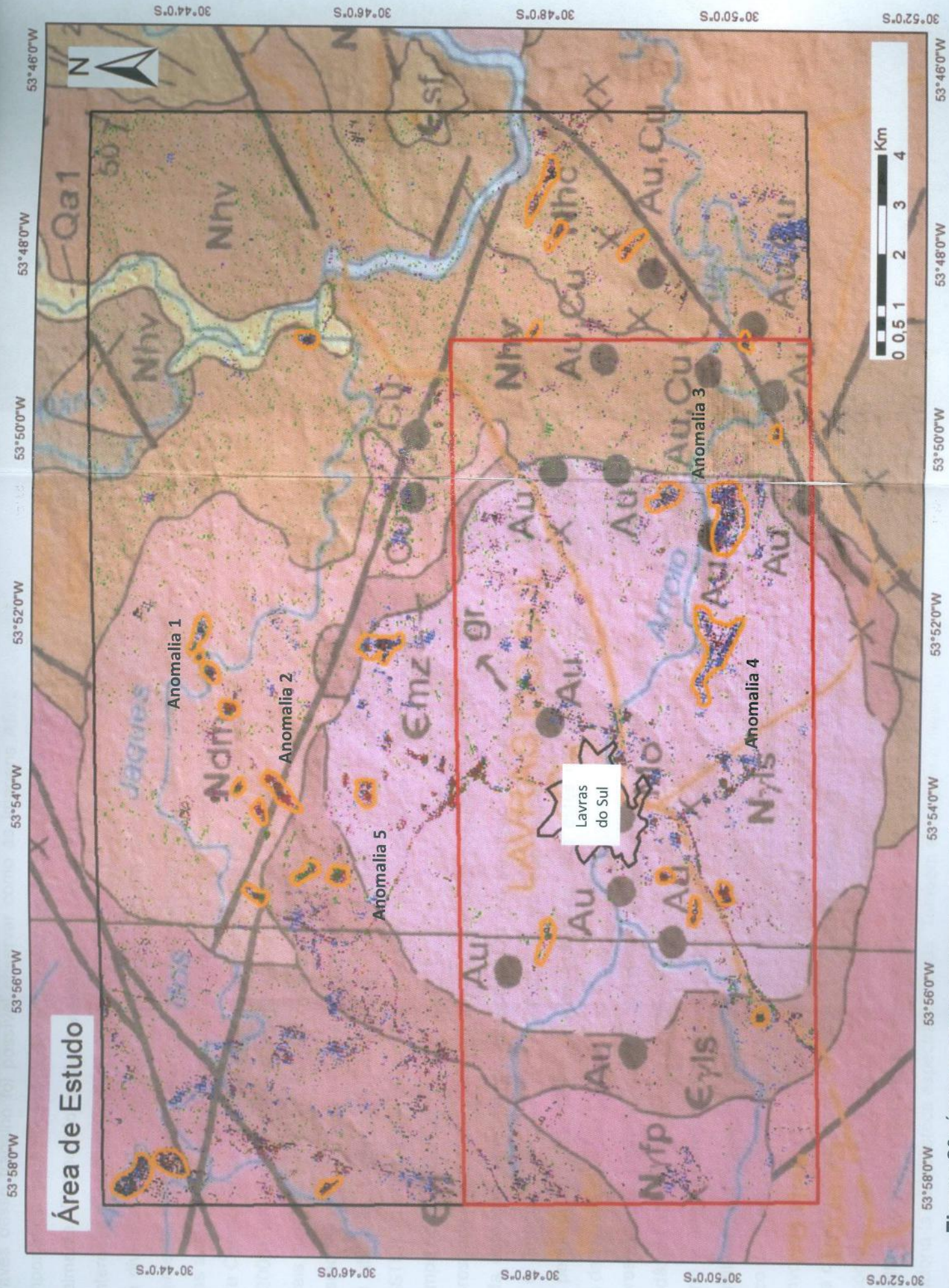


Figura 20: Área de estudo, incluindo o local de estudo definido por Bongioiolo (2006), com as anomalias encontradas. Sobre parte da folha Cachoeira

COBERTURAS CENOZÓICAS



Depósitos aluvionares atuais (1) e subatuais (2): areias e cascalhos médios, mal classificados, ao longo das calhas dos cursos d'água; areias finas, siltes e argilas orgânicas nos planícies aluviais.

COBERTURAS SEDIMENTARES E VULCANO-SEDIMENTARES



Formação Santa Bárbara: pelotas e arenitos muito finos a médios, vermelhos e estratificados, em camadas tabulares com laminação plano-paralela e *climbing ripple*; camadas lenticulares de arenitos estratificados, médios a grossos; areitosos finos a médios e grossos conglomeráticos, rítmicos e estratificados, lenticulares, com estratificação cruzada tangencial de pequeno e médio porte e laminação plano-paralela; conglomerados polimíticos com seixos de granito, xisto, quartzito, arenito e vulcânica ácida e intermediária.



Formação Santa Fé: conglomerados oligomíticos e polimíticos com predomínio de dióxido de vulcânica ácida e granitos, em camadas lenticulares com acamamento gradacional normal, subordinadamente areitosos rítmicos, finos e grossos, conglomeráticos ou rítmicos, em camadas lenticulares com estratificação cruzada tangencial; pelotas avermelhadas.



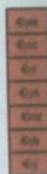
Formação Itaipó (It): Facies pelítica (p) pelotas e arenitos em camadas tabulares, metras ou com acamamento gradacional normal e inverso, laminação plano-paralela e *climbing ripple*. Facies conglomerática (c) conglomerados com dióxido de vulcânica e graníticas; arenitos médios a grossos, conglomeráticos. Facies vulcânica (v) depósitos de composição básica na base, associados a intrusões da mesma composição, sucedidos por rochas vulcânicas intermediárias, rochas porfíricas, representadas por tubos, *agü-lagos* e brechas, estratificadas em vulcânica da base ao topo. Areia com predominância de silte (s), onde associado.



Formação Maricá: arenitos e arenitos siltes, secundariamente arenitos heteropláticos e subarenitos, muito finos e grossos, nominalmente médios, subordinadamente conglomerados polimíticos, arenitos conglomeráticos e pelotas calcárias. Camadas sigmoidais, lenticulares e tabulares, metras ou com estratificação cruzada tangencial, laminada, laminação plano-paralela, cruzada hummocky, *climbing ripple* situ acamamento gradacional normal.

DOMÍNIO OCIDENTAL

Granitos Pós-Tectônicos - Suite Intrusiva São João



Granito São Sepé (E10): monzogranito equigranular grosso, fino nas bordas do corpo, com cantadas micrólicas espessas. Monzogranitos porfíricos com textura granítica em intrusões menores. Granito Cora da Onça (E11): perita granito, localmente monzogranito, vermelho-clareo, equigranular médio. Granito Rapada (E12): macizo e monzogranito avermelhados, equigranular médio a fino, localmente porfíricos. Granito Macaco (E13): monzogranito avermelhado, equigranular fino a médio. Hipersíenito dioritas e monodioritas (E14): cinza-escuro a avermelhados nas termas mais evoluídas, fenícticos, equigranular médio a grosso. Complexo Granítico Lavras do Sul (facies porfírica) (E15): perita granito avermelhado de granulação média com abundante mesoperita. Granito Jaguarí (E16): xenó e monogranito equigranular e heterogranular médio a grosso, localmente porfíricos.



Complexo Granítico Lavras do Sul (facies do núcleo): monzogranito e granodiorito porfíricos, isotrópicos, gástrico com textura rapada, de ambiente shoshonítico.



Monzonitos e quartzos monzonitos avermelhados, porfíricos a fenícticos, médio a grossos ou equigranulares, isotrópicos.



Granodiorito Fazende do Peão: granodiorito leucocrítico, cinza-clareo a estratificado, equigranular médio a grosso e porfírico, foliação micrólica incipiente.



Complexo Central (C): Granitos Central (c) granitos dioríticos com lentes de mármore calcítico; ortogranitos tonalíticos, dioríticos, granodioríticos, trondhjemíticos e monzograníticos; Seqüência Arco Marrom (am) xistos aluminosos e magnesianos, quartzitos, intercalações de lentes de mármore e corpos de serpentinito; Associação Básico-Ultrabásico Cora da Mantiqueira; Metasomáticos (om) metapelíticos, xistos magnesianos e serpentinitos; anfibolitos (oa) associados aos metabasaltos; Metamorfismo de facies anfibolito retrogressivo a verde.



Seqüência Metamórfica Vulcânica (Mv): Associação Metasedimentar (s) metapelítica e metapelítica-quartzolítica, quartzitos e metabasálticos subordinados; lentes de mármore diorítico, anfibolitos nos proximidades do Suite Granítico Capivara do Sul. Facies Metavulcânica (v) metabasálticos de composição andesítica associadas a metapelítica e metapelíticas; metabasaltos simofidatos; Metamorfismo dominado de facies alto verde; facies anfibolito localizadamente.

APC Minerais

- Biotita
- Epidoto
- Clorita
- Muscovita
- Caolinita

Área de Estudo de Bongiolo (2006)

Todos os Minerais

7. DISCUSSÃO

Através desse trabalho foi possível observar como as imagens ASTER são de grande importância para investigação e caracterização mineral em áreas alteradas hidrotermalmente. Diminuindo então consideravelmente a área de busca para novos alvos de interesse possivelmente mineralizados.

Em diversos locais como visto nas imagens, foram encontradas áreas alteradas hidrotermalmente, tanto em locais onde já eram sabidamente conhecidas, como em novas áreas antes não estudadas pela bibliografia. Entretanto em alguns locais a Análise Principal de Componentes não apresentou uma correlação com o que já era definido por Bongioiolo (2006), isto pode ser devido a alguns fatores como a cobertura vegetal presente nesses locais ou talvez a escolha da muscovita como substituta da fengita.

Mesmo assim, foi possível através do confronto dos dados obtidos com a bibliografia utilizada, observar a proximidade dos resultados obtidos na análise das imagens ASTER, com os dados de campo coletados, principalmente na porção leste da área de campo de Bongioiolo (2006).

A presença de cobertura vegetal, rios ou estradas, possuem forte influência no processo da detecção de refletância espectral. Em função disso para resultados mais confiáveis e limpos, sugere-se ser escolhidas áreas que tenham uma parcela de vegetação pequena ou então serem criadas máscaras para estes não entrarem nas estatísticas da técnica utilizada.

A presença da caolinita também apresenta em algumas áreas descampadas muita abundância da sua ocorrência, devido a sua formação também estar associada ao intemperismo e não somente a alteração hidrotermal. Com isso para resultados mais puros e confiáveis, sugere-se em alguns casos o uso da dickita, que é o mineral mais característico de alteração hidrotermal. Entretanto nesse caso a curva espectral da dickita quando convolvida para as bandas do sensor ASTER se assemelhava muito a curva espectral da caolinita, o que traria resultados muito semelhantes. Também a escolha da muscovita como substituta da fengita não trouxe resultados satisfatórios, sugere-se para futuros trabalhos coletar a assinatura espectral de uma amostra de campo contendo fengita e adicioná-la na biblioteca espectral utilizada. Também se sugere o mesmo para a assinatura espectral do interestratificado illita-esmectita.

O presente trabalho também teve como principal contribuição à observação de anomalias de alteração hidrotermal em áreas ainda não descritas, demonstrando como é de grande valia e ganho de tempo a utilização dessa técnica para a busca de novos alvos de mineralização para o auxílio do trabalho de campo.

8. CONCLUSÕES

A partir dos dados obtidos neste trabalho, foi possível obter as seguintes conclusões:

- Este trabalho demonstra a eficácia da espectroscopia de reflectância através de imagens ASTER como uma importante ferramenta de campo na exploração mineral;
- É possível identificar alvos para pesquisa mineral a partir de dados bibliográficos e espaciais existentes, diminuindo assim o tempo e investimentos necessários para investigação e descoberta de novos depósitos minerais;
- A aplicação na imagem ASTER da técnica de Análise dos Principais Componentes (APC), mostrou-se satisfatória na maioria dos casos, quando não ocorria influência de cobertura vegetal e sombras presentes na imagem;
- A alteração fílica, que teve como mineral representante escolhido a muscovita, não apresentou bons resultados na porção oeste da área de estudo de Bongioiolo (2006), aonde já se possuía informações da presença do mineral em questão;
- A presença de vegetação, rios e estradas possui forte influência sobre o processo de detecção de padrões espectrais;
- A caolinita utilizada como mineral representante da alteração argílica avançada, ocorre não somente em áreas de alteração hidrotermal, mas também em áreas associadas ao intemperismo.
- Para melhor visualização das anomalias, através da técnica de Análise dos Principais Componentes (APC) é importante a utilização de uma imagem ASTER com uma boa resolução, como também a utilização de máscaras na imagem sobre a vegetação, rios e estradas.

9. REFERÊNCIAS

- Bongiolo, E.M., 2006. Integração de dados mineralógicos, isótopos estáveis (O, H) e porosidade de rochas (^{14}C -PMMA) no reconhecimento da evolução da alteração no sistema hidrotermal de Lavras do Sul/RS, Brasil. Ph.D Thesis. UFRGS, Porto Alegre, 189 pp.
- Bongiolo, E.M., Patrier-Mas, P., Mexias, A.S., Beaufort, D. & Laquintinie Formoso, M.L. 2008 Spatial and temporal evolution of hydrothermal alteration at Lavras do Sul, Brazil: Evidence from dioctahedral clay minerals. *Clays and Clay Minerals*, 56 (2), pp. 222-243.
- Bongiolo, E.M. ; Renac, C. ; Mexias, A.S. ; Gomes, M.E.B. ; Ronchi, L. H. ; Patrier-Mas, P. Evidence of Ediacaran glaciation in southernmost Brazil through magmatic to meteoric fluid circulation in the porphyry-epithermal Au-Cu deposits of Lavras do Sul. *Precambrian Research*, v. 189, p. 404-419, 2011.
- Chemale Jr., 2000. Evolução geológica do Escudo Sul-rio-grandense. In: Holz, M., De Ros, L.F. (Eds.), *Geologia e Estratigrafia do Rio Grande do Sul*. Editora Gráfica da UFRGS, PP. 3-44
- Clark, R.N., 1999. Spectroscopy of rocks and minerals, and principles of spectroscopy. In: Rencz, A.N., *Remote Sensing for the Earth Sciences, Manual of Remote Sensing*, Ryerson, R.A., ed. 3, John Wiley & Sons, Inc., New York, p. 3-58.
- Crosta, A., P. Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto. Instituto de Geociências, Universidade de Campinas, Campinas-SP, 1992.
- Crosta, A.P., Ducart, D.F, Souza Filho, C.R. Mineral exploration for epithermal gold in northern Patagonia, Argentina: from regional to deposit-scale prospecting using landsat TM and terra ASTER. *Remote Sensing and Spectral Geology. Reviews in Economic Geology*, vol. 16 (8): 97-108, 2009.
- Ducart, D.F., 2007, Alteração hidrotermal do prospecto aurífero de Cerro La Mina, Los Menucos, Patagônia Argentina: geologia , sensoriamento remoto e isótopos estáveis. Campinas, State University of Campinas, Brazil, PhD. Thesis, 165 pp.

Gastal, M.C.P., Lafon, J.M., 1998. Gênese e evolução dos granitoides metaluminosos de afinidade alcalina da porção oeste do escudo Sul-rio-grandense: Geoquímica e isótopos de Rb-Sr e Pb-Pb. *Rev. Bras. Geoc.* 18, 11-28.

Gastal, M.C.; Lafon, J.M.; Fonseca, F.J.; Magro, F.U.S.; Remus, M.V.D.; Sommes, C.A. 2006. Reinterpretação do Complexo Intrusivo Lavras do Sul, RS, de Acordo Com Os Sistemas Vulcano-Plutônicos de Subsidência. Parte 1: Geologia, Geofísica e Geocronologia (207Pb/206Pb e 206Pb/238U). *Revista Brasileira de Geociências*, 36:99-113.

Kafino, C.V. 2009. Estudo da composição e distribuição da alteração hidrotermal do Cerro Aguas Calientes, Salta, Argentina, a partir de imagens do sensor ASTER. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, pp. 75.

Lima, B.E.M. 2003. Avaliação das Imagens do Sensor ASTER para Discriminação Espectral de Variações Faciológicas no Granito Serra Branca, Estado de Goiás. Dissertação de Mestrado, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. pp. 119.

Loughlin, W.P, Principal component analysis for alteration mapping. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, v. 57, p. 1163-1170, 1991.

Mexias, A.S.; Formoso, M.L.L; Meunier, A. & Beaufotr, D. 1990a. O Sistema Hidrotermal Fóssil de Volta Grande – Lavras do Sul/RS. Parte I – Petrografia do Hidrotermalismo. *Geochimica Brasiliensis*. 4(2): 139-157.

Nardi, L.V.S., 1984. Geochemistry and petrology of the Lavras Granite Complex, RS, Brazil. Ph.D Thesis. University of London, 268 pp.

Nardi, L.V.S., Lima, E.F., 2000. O magmatismo shoshonítico e alcalino da bacia do Camaquã. In: Holz, M.W., De Ros, L.F. (Eds.), *Geologia do Rio Grande do Sul*, pp. 119–131.

Paim, P.S.G.; Lopes, R.C. & Chemale Jr., F. 1995. Aloestratigrafia, Sistemas Depositionais e Evolução Paleogeográfica, da Bacia de Camaquã – Vendiano Superior/Ordoviciano Inferior do RS. In: *SIMPÓSIO SUL-BRASILEIRO DE GEOLOGIA*, 6., 1995, Porto Alegre. Resumos expandidos... Porto Alegre, SBG. p. 39-47.

Paim, P.S.G.; Chemale Jr., F. & Lopes, R.C. 2000. A Bacia de Camaquã . In: Holz, M. & De Ros, L.F. (Eds). Geologia e Estratigrafia do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, Editora Gráfica da UFRGS, p. 231-274.

Remus, M.V.D.; Mcnaughton, N.J.; Hartmann, L.A. & Fletcher, I.R. 1997. Zircon SHRIMP U/Pb AND Nd isotope data of granitoids of the São Gabriel Block, southern Brazil: evidence for an Archean/paleoproterozóico basement. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM OF GRANITES AND ASSOCIATED MINERALIZATIONS, 2., 1997, Salvador. Extended Abstracts and Program... Salvador, p. 271-272.

Ribeiro, M 1983. Informes sobre a Formação Maricá. Iheringia Série Geologia 9:3-50.

Ribeiro, M., Fantinel, L.M., 1978. Associações petrotectônicas do Escudo Sul-riograndense: I—Tabulação e distribuição das associações petrotectônicas no Rio Grande do Sul. Iheringia 5, 19–54.

Rogge, D.M., Rivard, B., Harris, J., and Zhang, J. 2009, Application of hyperspectral data for remote predictive mapping, Baffin Island, Canada. In: Remote Sensing and Spectral Geology, Eds. R. Bedell, A.P. Crosta, and E. Grunsky, Reviews In Economic Geology, Vol. 16, pp. 209-222.

Salles, R.R.; Souza Filho, C.R.; Cudahy, T. 2009. Mapeamento de zonas de alteração hidrotermal associadas a mineralizações uraníferas: aplicações do sensor ASTER no domínio central do cinturão de dobramento Mary Kathleen, Austrália. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14. (SBSR), 2009, Natal. Anais... São José dos Campos: INPE, 2009. p. 1191-1197.

Santos, P. R. A., Seoane, J. C. S., Fernandes, M. C., Oliveira, D. B. 2010. Integração e análise de imagens ASTER e IKONOS para identificação de sítios de exploração mineral com características de alterações hidrotermais. Revista Brasileira de Cartografia Nº 62, edição especial 2, 2010.

Seoane, J.C.S., Castro,N.A., Osako, L.S., et al. 2009. Multispectral Imagery Applied To Nickel Laterite Exploration: The Conceição do Araguaia Discovery. Society of Economic Geologists, Reviews in Economic Geology, 2009, v16:109-122.