

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS**

**CARACTERIZAÇÃO PETROGRÁFICA E GEOQUÍMICA DA MINA DO
SEIVAL, BACIA DO CAMAQUÃ, RS**

RODRIGO WINCK LOPES

ORIENTADOR: Prof. Dr. André Sampaio Mexias

Volume I

Porto Alegre - 2013

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS**

**CARACTERIZAÇÃO PETROGRAFIA E GEOQUÍMICA DA MINA DO
SEIVAL, BACIA DO CAMAQUÃ, RS**

RODRIGO WINCK LOPES

ORIENTADOR: Prof. Dr. André Sampaio Mexias

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Milton Luiz Laquintinie Formoso – Instituto de Geociências,
Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Prof. Dr. Norberto Dani – Instituto de Geociências, Universidade Federal
do Rio Grande do Sul.

Prof. Dra. Delia del Pilar Montecinos de Almeida - Universidade Federal do
Pampa.

Dissertação de Mestrado apresentada
como requisito parcial para a obtenção do
Título de Mestre em Geociências.

Porto Alegre – 2013

Lopes, Rodrigo Winck

Caracterização petrográfica e geoquímica da Mina do Seival,
Bacia do Camaquã, RS. / Rodrigo Winck Lopes. - Porto Alegre :
IGEO/UFRGS, 2013.

[75 f.] il.

Dissertação (Mestrado). - Universidade Federal do Rio
Grande do Sul. Instituto de Geociências. Programa de Pós-
Graduação em Geociências. Porto Alegre, RS - BR, 2013.

Orientação: Prof. Dr. André Sampaio Mexias

1. Geoquímica. 2. Petrografia. 3. Alteração hidrotermal. 4.
Bacia do Camaquã. 5. Mina do Seival. I. Título.

Catlogação na Publicação

Biblioteca Geociências - UFRGS

Renata Cristina Grun CRB 10/1113

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer ao meu colega de pesquisa e amigo Eduardo Fontana, e meus orientadores André Mexias, Márcia Gomes e Christophe Renac, pelo apoio nesse 1 ano de dissertação. Aos bolsistas de graduação Marcelo Lindenberg e Bruno Petracco que fazem parte do projeto Mina do Seival. A Lauro Nardi pelos ensinamentos na geoquímica. Ao apoio dos meus familiares. A compreensão e incentivo da minha namorada Ana Amélia Rocha. Ao colega geólogo Amós Martini. Ao Student Chapter SEG UFRGS: João Dias, Isadora Henriches, Amed, Fernando, Guilherme e Rafael. A *Society Economic Geologist* (SEG). A Unesco e PUC-Lima. Ao CNPq pela bolsa de pesquisa nesse ano de 2012. A UFRGS e Instituto de Geociências pela oportunidade num curso de pós-graduação de excelente qualidade. Aos amigos: Olavo, Gepeto, Guga, Andreas, Pirita, Daniel, Bruno, Marco, Sandro, Heiny, Gregory, Luana, Vicente, Álden, Edgar, Paula, Marvin, Diego, Vinicius Leal, Michel Manetti, Rodrigo, Ivan, Marcelo, Nery, Provenzano, Rossetti, Cruz, Francisco, por inúmeros motivos e razões.

*“C’est parce qu’ils ne résistent pas au temps qu’il fait
que les minéraux ne résistent pas au temps qui passe.”*

(Heraclitus, 500 a.C.)

(trecho retirado do livro “Atlas of micromorphology of mineral alteration and weathering”)

RESUMO

As rochas vulcânicas da Mina do Seival possuem intensa alteração hidrotermal e mineralizações de Cu. Este magmatismo é relacionado ao estágio pós-colisional do ciclo Brasileiro-Pan-Africano, no alogrupo Bom Jardim, pertencendo à Formação Hilário na Bacia do Camaquã (Neoproterozóico). A região já foi responsável por grande parte da produção desse minério no Brasil, sendo uma das mais importantes no Rio Grande do Sul e explorada principalmente na primeira metade do século XX. Campanhas de sondagens realizadas pela CBC foram feitas no ano de 1978. Essas amostras foram incluídas no presente trabalho bem como a amostragem resultante das campanhas de mapeamento geológico básico. A tectônica do estágio pós-colisional controla o posicionamento e geração da mineralização através de estruturas rúpteis com direção NE e distensão regional. A composição de rocha total e identificação dos minerais de alteração foram obtidas através de análises de elementos maiores, menores, traços e difração de raios X. Processos envolvendo diferentes temperaturas atuaram sobre estas rochas originando produtos de alteração pervasiva, principalmente clorita e esmectita, com veios preenchidos por quartzo, carbonato, barita e minerais de cobre. A Mina do Seival é composta pelas minas Alcides, Cruzeta, Meio, Morcego, João Dahne, Barita e ocorrência Vila do Torrão. As rochas vulcânicas tem composição andesítica e traqui-andesítica, e foram divididas em duas sequências. A sequência I é composta por rochas piroclásticas e efusivas, e a sequência II é representada pelos diques de andesito. Em ambas as sequências da Mina do Seival é possível identificar a afinidade shoshonítica das rochas. Os teores de Cu, Zn e Ni em relação ao protólito menos afetado pelo processo hidrotermal, nos diques e brechas, sugerem que as principais ocorrências de mineralização de cobre têm origem magmática. O estudo petrogenético contribui para a geração de um modelo evolutivo dos processos de alteração hidrotermal possibilitando o entendimento da geologia regional e das mineralizações da Bacia do Camaquã.

Palavras-chave: Mina do Seival, Alteração hidrotermal, Petrografia, Geoquímica, Bacia do Camaquã.

ABSTRACT

Volcanic rocks of the Seival Mine have intense hydrothermal alteration and Cu mineralization. This magmatism is related to post-collisional stage of the Brasiliano Pan-African cycle in Bom Jardim alogrup, belonging to Hilario Formation, Camaquã Basin (Neoproterozoic). The region has been responsible for much of the ore production in Brazil, one of the most important in the Rio Grande do Sul and operated mainly in the first half of the twentieth century. Drilling surveys conducted by CBC (Companhia Brasileira do Cobre) were made in 1978. Drill core samples, as well as field samples were used for the present research. The tectonics of the post-collisional stage controls the position and mineralization through brittle structures with NE and regional distention. Whole rock composition and identification of alteration minerals were obtained through analysis of major, minor and trace elements, and X-ray diffraction. Processes involving different temperatures acted on these rocks causing pervasive alteration products, mainly chlorite and smectite, with veins filled with quartz, carbonate, barite and copper minerals. Seival Mine of Alcides, Cruzeta, Meio, Morcego, João Dahne, Barita mines and Vila do Torrão occurrence. Volcanic rocks have andesitic and trachy-andesitic composition, and were divided into two sequences. The sequence I is composed of pyroclastic rocks and effusive, and sequence II is represented by andesite dikes. In both sequences of Seival Mine is possible to identify the shoshonitic affinity of the rocks. Cu, Zn and Ni are less affected by hydrothermal processes, relative to the protholith. Dykes and breccias, suggest that the main copper mineralization occurrences have a magmatic origin. The petrogenetic study contributes to the generation of an evolutionary model of hydrothermal alteration allowing for better understanding of the regional geology and mineralization of Camaquã Basin.

Keywords: Seival Mine, Hydrothermal alteration, Petrography, Geochemistry, Camaquã Basin.

LISTA DE FIGURAS DA INTRODUÇÃO

Figura 1: Localização da área de estudo e vias de acesso (adaptado de CPRM, 2008).....	7
Figura 2: Mapa geológico simplificado da Associação Shoshonítica de Lavras do Sul (modificado de Lima & Nardi, 1998).....	9
Figura 3: Mapa geológico do sul do Brasil e Uruguai, mostrando as principais unidades tectono-estratigráficas e estruturais (extraído de Hartmann <i>et al.</i> , 2007).....	20
Figura 4: Mapa geológico da Bacia do Camaquã (extraído de Rigo, 2009).....	22
Figura 5: Representação esquemática seção estratigráfica Bacia do Camaquã. A Formação Hilário pertence à Associação Shoshonítica de Lavras do Sul (modificado de Wildner <i>et al.</i> , 2002).....	23
Figura 6: Mapa geológico da Mina do Seival (adaptado de Reischl, 1978; Lopes, 2011).....	25
Figura 7: Mosaico de fotos da sequência vulcânica da Mina do Seival. A) Lapili-tufo com alteração pervasiva de clorita + esmectita e veios de carbonato; B) Lapili-tufo com variação na composição dos clastos; C) Dique de andesito; D) feição de contato do dique de andesito com a sequência piroclástica. Ca: calcita; Cl: clorita; Es: esmectita; Pl: plagioclásio; Mtz: matriz.....	26
Figura 8: Mina Alcides. A, B) Plano de falha de direção N-S e fraturas preenchidas por barita; C) Amostra de Lapili-tufo; D, E) Brecha hidrotermal preenchida por carbonato; F) calcosina e malaquita disseminadas pela rocha; G) malaquita e azurita preenchendo fratura superficial; H) quartzo <i>vuggy</i> . Ba: barita; Mal: malaquita; Cs: calcosina; Az: azurita.....	28
Figura 9: Mina da Cruzeta. A) Fraturas verticais de direção NW; B) plano de falha mineralizado com direção NW e fraturas principais.....	29
Figura 10: Mina do Meio. A) fratura principal de direção N-S; B) estrias de falha preenchidas por malaquita, barita e hematita; C, D) fratura preenchida por barita e disseminação de calcosina pela rocha. Ba: barita; Mal: malaquita; He: hematita; Cs: calcosina.....	30
Figura 11: Mina Morcego. A) Galeria abandonada; B) dique preenchendo fratura subvertical de direção NE; C) Dique de lamprófito com piroxênio, anfibólio e amígdalas preenchidas por clorita. Az: azurita; Mal: malaquita; Ca: calcita; Mtz: matriz; Cl: clorita; Pl: plagioclásio; Px: piroxênio.....	31
Figura 12: Mina João Dahne. A) Galeria abandonada; B) dique de andesito com fenocristais de piroxênio. Px: piroxênio, Mtz: matriz.....	31
Figura 13: Mina Barita. A) Lapili-tufo com clastos de diferentes composições; B) barita e bornita; C) plano de falha principal com direção NE; D) padrão de faturamento vertical e sub-horizontal; E) padrão de faturamento NW e N-S; F) ramificações do faturamento N-S. Mtz: matriz; Ba: barita; Bo: bornita.....	33

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	6
1.1	Localização e vias de acesso	7
1.2	Objetivos	7
1.3	Estado da arte	8
1.3.1	A Associação Shoshonítica de Lavras do Sul	8
1.3.2	As mineralizações na ASLS e na Mina do Seival	10
1.4	Métodos de investigação utilizados.....	12
1.4.1	Levantamento bibliográfico	12
1.4.2	Trabalhos de campo.....	13
1.4.3	Preparação de amostras.....	14
1.4.4	Petrografia	15
1.4.5	Difratometria de raios X.....	16
1.4.6	Geoquímica	17
1.4.7	Elaboração da dissertação.....	18
1.5	Geologia regional e das Minas do Seival.....	18
1.5.1	Contexto geotectônico.....	18
1.5.2	A Bacia do Camaquã e o vulcanismo da Formação Hilário	21
1.5.3	Geologia da Mina do Seival	24
1.5.4	Geologia das minas e ocorrências.....	26
1.6	Discussão integradora	34
1.7	Referências	36
	Artigo Revista Pesquisas em Geociências	
	Anexo A – Carta de submissão da Revista Pesquisas em Geociências	

Texto explicativo da estrutura da dissertação

Esta dissertação de mestrado está estruturada em torno de um artigo publicado em periódico. Consequentemente, sua organização compreende as seguintes partes principais:

a) Introdução sobre o tema e descrição do objeto da pesquisa de mestrado, onde estão sumarizados os objetivos e a filosofia de pesquisa desenvolvidos, o estado da arte sobre o tema de pesquisa, o contexto geológico da área, seguidos de uma discussão integradora contendo os principais resultados e interpretações deles derivadas.

b) Artigo submetido a periódico com corpo editorial permanente e revisores independentes, escrito pelo autor durante o desenvolvimento de seu mestrado.

c) Anexo, compreendendo: Carta de submissão da Revista Pesquisa em Geociências.

1. INTRODUÇÃO

Devido à descoberta de mineralizações de ouro no sul do Brasil, também foram descobertas ocorrências de cobre. Na primeira metade do século XX, no ano de 1930, a maior exploração ocorreu na região conhecida como Minas do Seival. Anos mais tarde, 1980-96, foi explorada a Mina do Camaquã tornando-se a mina mais importante nessa região do país.

As principais ocorrências de cobre no sul do Brasil são Camaquã, Seival e Cerro dos Martins (Teixeira, 1937). Outras ocorrências de menor expressão são: Porteiras, Piquiri, Andradas, Crespo e Bom Jardim. Em geral, essas ocorrências seguem um alinhamento regional em direção NE e NW.

As mineralizações na Mina do Seival foram descritas por Reischl (1978), sendo elas: (i) Mina Alcides; (ii) Mina Cruzeta; (iii) Mina do Meio; (iv) Mina Morcego; (v) Mina João Dahne; (vi) Mina Barita; (vii) Ocorrência Vila do Torrão. Atualmente, a exploração está desativada e a reserva encontra-se em exaustão econômica devido ao alto teor de cobre oxidado.

Ainda é gerada uma grande expectativa para a exploração dessas ocorrências, principalmente em Camaquã e Seival. Várias empresas passaram a requerer a área, como objeto de estudo e questionamentos, principalmente pelo fato das mineralizações se concentrarem em pequenas ocorrências e geralmente aparentarem um alinhamento.

Este trabalho compreende um estudo integrador dos processos de alteração hidrotermal e da sua associação com as mineralizações na região da Mina do Seival (Caçapava do Sul, RS) com base em dados de campo, petrografia, difratometria de raios X e geoquímica de elementos maiores e traço. As amostras foram obtidas em superfície e em testemunhos de sondagem, gentilmente cedidas pela Votorantim Metais, com ênfase na caracterização geológica da área e no estudo dos argilominerais formados durante os processos de alteração.

1.1 Localização e vias de acesso

A área de estudo está situada a 324 km de Porto Alegre pela rodovia BR-290. Após, percorre-se 57 km pela RS-357, sentido SW, até os limites do município de Lavras do Sul (Fig. 1). O acesso as Minas do Seival se dá por estrada não pavimentada. A localidade está entre os limites municipais de Caçapava do Sul e Lavras do Sul, inserida na carta topográfica do Serviço Geológico do Exército, Folha Arroio América (SH.22-Y-A-IV-1, 1975), em escala de 1:50000, entre as coordenadas planas (UTM) 6604000-6596000m N e 232000-236000m E.

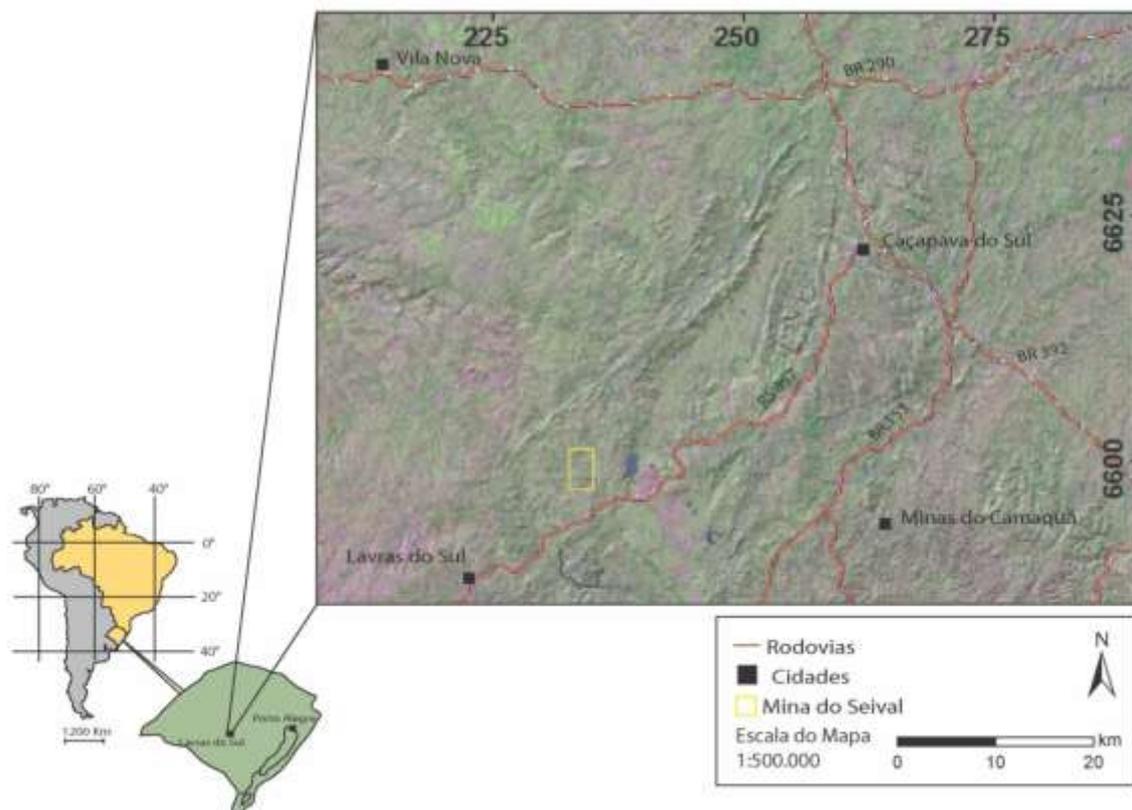


Figura 1: Localização da área de estudo e vias de acesso (adaptado de CPRM, 2008).

1.2 Objetivos

O objetivo do presente trabalho é a caracterização geológica, petrográfica e geoquímica da sequência vulcânica da Mina do Seival, da Bacia do Camaquã, na região de Lavras do Sul, visando estabelecer seus vínculos petrogenéticos com os

demais litotipos da Formação Hilário, contribuindo com a evolução geológica e metalogenética do sul do Brasil.

O objetivo específico é a caracterização petrográfica e geoquímica das rochas vulcânicas, com o intuito de investigar aspectos petrogenéticos das rochas piroclásticas e dos diques de andesito. Através deste estudo se busca preencher lacunas referentes ao estudo do processo da alteração hidrotermal atuante na área.

1.3 Estado da arte

1.3.1 A Associação Shoshonítica de Lavras do Sul

A Associação Shoshonítica de Lavras do Sul (ASLS) (Fig. 2) tem idade neoproterozóica e apresenta características de um magmatismo pós-colisional relacionando aos estágios finais da Orogenia Brasileira, conforme discutido em Lima & Nardi (1998), Sommer *et al.* (2006) e Liz *et al.* (2009). Localizada no cinturão Vila Nova/São Gabriel possui estratigraficamente na base traquibasaltos potássicos, sucedidos por quatro ciclos efusivos shoshoníticos, além de depósitos piroclásticos de queda e fluxo (Lima, 1995). Ocorrem intrusões monzoníticas rasas e intrusões de diques traquiandesíticos à riolíticos e lamprófiros espessartíticos (Müller *et al.*, 2012). A fração plutônica da ASLS é representada pelo núcleo do Complexo Granítico de Lavras do Sul (CGLS), definido por Nardi (1984).

As rochas vulcânicas são interestratificadas por uma sequência vulcanoclástica, incluindo tufos soldados. Esta sucessão é interpretada como produto de atividade vulcânica em ambiente subaéreo, possivelmente próximo a centros vulcânicos (Janikian *et al.*, 2003). Ocorrem em toda a parte leste da ASLS e possui a maior exposição na região. As rochas vulcânicas básicas das ASLS caem dentro da composição traquibasáltica e traquiandesítica nos campos do diagrama TAS e mostram que K é superior ao valor de (Na, O₂), sendo classificados como traquibasaltos potássicos e shoshonitos (Le Maitre, 1989). A presença de expressivos depósitos efusivos aliados uma fração piroclástica de fluxo de natureza

traquiandesítica a riolítica (Lima, 1995), especialmente na porção sudeste da CGLS, permite sugerir uma extração gradativa do magma responsável pela geração de um sistema de caldeira.

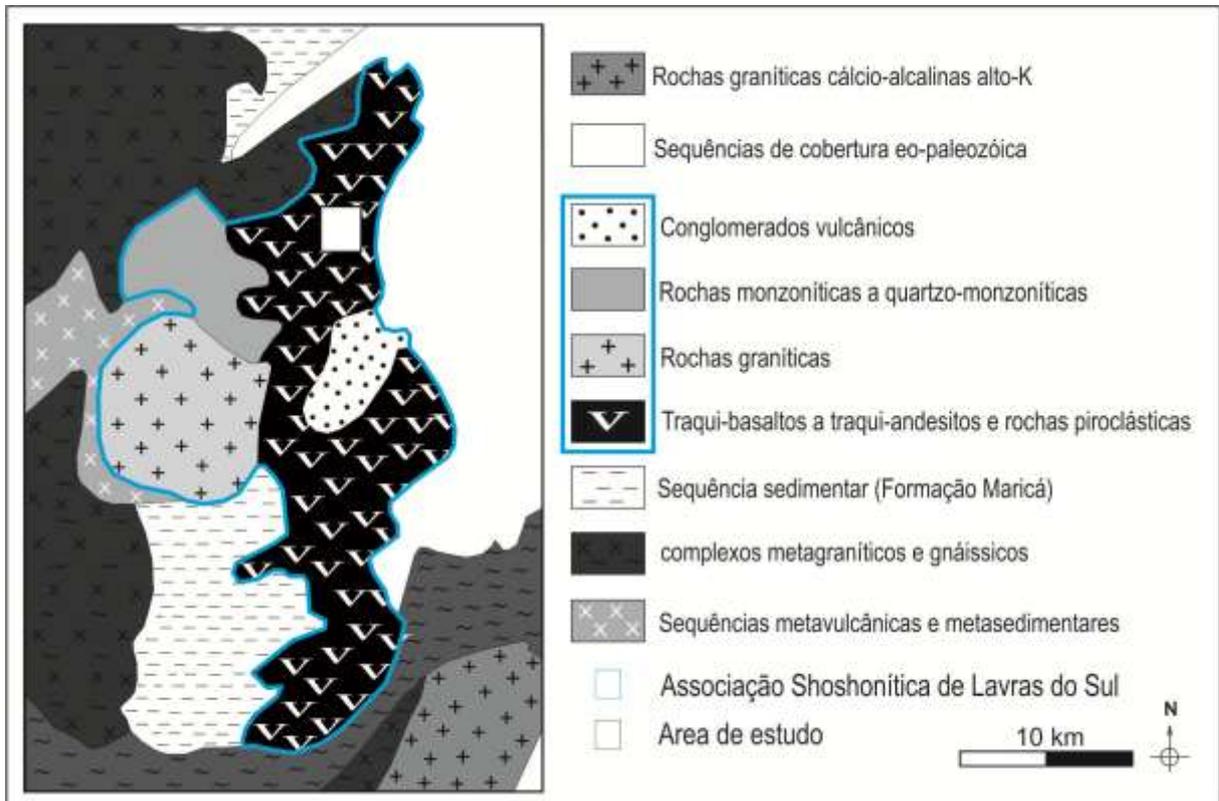


Figura 2: Mapa geológico simplificado da Associação Shoshonítica de Lavras do Sul (modificado de Lima & Nardi, 1998).

As intrusões monzoníticas rasas concentram-se principalmente na borda nordeste do CGLS, definindo um padrão geométrico semicircular, semelhante ao encontrado em terrenos vulcânicos associados a caldeiras. Este contexto foi sugerido por Lima (1995) e Gastal *et al.* (2008). Estes foram posicionados em condições epizonais, tendo incorporado grande quantidade de xenólitos do pacote de vulcanoclásticas basculadas durante o evento de subsidência de caldeira. Temporalmente vinculados aos monzonitos hipabissais ocorrem os diques riolíticos de espessuras decamétricas e as últimas manifestações efusivas intermediárias. Manifestações latíticas estão representadas por diques decamétricos com direção NW-SE na porção nordeste de Lavras do Sul. As rochas graníticas do CGLS representam o magmatismo plutônico para essa associação e são caracterizados pela zonação inversa de fácies. No núcleo é definido como fácies central. A região sofreu um basculamento, estando as camadas com caimento para leste e ausência dessas mesma vulcânicas na parte W da região, conforme discutidos por Mexias (2007) e Bongioiolo (2011).

A sequência vulcânica foi datada por Janikian *et al.* (2008) que obteve a idade de 590 ± 6 Ma, para o ciclo vulcânico da base, e 586 ± 8 Ma e 588 ± 7 Ma para a sequência efusiva superior, pelo método Ar/Ar em plagioclásios de andesitos que ocorrem a leste do CGLS.

1.3.2 As mineralizações na ASLS e na Mina do Seival

A partir do fim do século XVIII, a garimpagem em aluviões na região teve que ser controlada pela coroa portuguesa que fiscalizou as extrações de Au, Cu, Pb, Zn e Ag. Algumas famílias provenientes das ilhas Canárias teriam lá se instalado e iniciado a lavra de ouro. No entanto, teriam sido mineiros provenientes das Minas Gerais, incorporados às forças portuguesas que lutavam contra espanhóis no sul do Brasil, os responsáveis pela descoberta de ouro na região. A descoberta do cobre no Rio Grande do Sul foi reportada apenas em 1825, por Frederick Sellow. No início do século XIX, pesquisadores do Serviço Geológico do Brasil fizeram as primeiras descrições dessas ocorrências. Entretanto, a exploração teve início nos anos de 1880 a 1890, nas Minas do Camaquã. Segundo Carvalho (1932) o primeiro ciclo de mineração teve uma curta duração no fim do século XVIII devido a Revolução Farroupilha. O mesmo autor apresentou o primeiro estudo importante sobre as jazidas auríferas de Lavras do Sul. Destacou, igualmente, a preferência do cobre em ocorrer no andesito em relação ao granito.

A Mina do Seival teve sua exploração facilitada pelos meios de comunicação e acesso mais próximos do que as outras jazidas de cobre, na época. O primeiro explorador foi o industrial Chabryl. Em 1901, as ocorrências foram descritas e pesquisadas por companhias particulares e estatais até o ano de 1931. Ocorreu um período de paralisação na exploração até 1932, onde a Cia E. F. e Minas de São Jerônimo realizou uma série de escavações rasas. Em 1937 foi explorada por uma companhia de Porto Alegre e teve seu teor avaliado em 4,7% de Cu. A Cia Indústria Eletro-Químicas S/A explorou entre 1939-42. No período de 1935-62 foi lavrada intermitentemente com produção de cobre eletrolítico e sulfato de cobre. No período de 1955-62, chegou a produzir cerca de 1000 toneladas de minério por mês, com teor médio de 1,6% de Cu total (1,0% Cu sulfetado). Nos anos de 1942-64 a Mina da

Barita foi cubada em torno de 64.000 ton a 1,71% de cobre e 70 ppm de prata. Em 1957 explorou-se a Mina João Dahne através de uma trincheira de dezena de metros, lavrando minério de baixo teor. A Mina Alcides teve sua produção ligada à extração de malaquita para correção de solos agrícolas. Após o episódio, pequenas empresas e corporações brasileiras compraram os equipamentos e essa situação se manteve até 1950. Posteriormente, Goñi (1961) apresentou um trabalho enfocando os aspectos metalográficos, a partir da primeira análise detalhada ao microscópio óptico das rochas mineralizadas de Lavras do Sul. Ele destacou que o cobre não ocorre apenas nas rochas vulcânicas da Formação Hilário, mas também é encontrado nas rochas do CGL. Barbosa & Constantino (1961), estudando o minério de cobre na região de Volta Grande, determinaram a “influência positiva” do granito no andesito mineralizado, discutindo a influência do magmatismo granítico *versus* andesítico na formação das jazidas do Seival e Camaquã. Ribeiro *et al.* (1966), ao estudarem as mineralizações na quadrícula de Caçapava do Sul, salientaram que a mineralização cuprífera nas áreas de Volta Grande e Vista Alegre estaria “intimamente” ligada às rochas andesíticas, alojadas em filões e em falhas secundárias.

Na década de 70 a Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais (CPRM) fez um grande levantamento e amostragem de todas as ocorrências. Kaul & Zir Fo. (1974) apresentaram a tipologia, controle tectônico e aspectos genéticos para as mineralizações auríferas de Lavras do Sul. Os autores descreveram as principais ocorrências e as classificaram quanto ao tipo (filoneano ou disseminado) tanto nas rochas graníticas (disseminado do Bloco do Butiá) como na sequência vulcânica encaixante. Apresentaram o mais detalhado estudo estrutural/tectônico para o Distrito Aurífero de Lavras do Sul, assim denominado pela primeira vez, demonstrando que os esforços compressivos de direção próxima a E-W atuaram sobre os granitos e as rochas vulcânicas, gerando “falhas de tensão” onde preferencialmente estariam encaixadas as estruturas e filões mineralizados. Mostraram que as quantidades de cobre nos granitos são insignificantes, ao contrário das rochas vulcânicas, onde as concentrações atingiram valores economicamente interessantes para a época. Neste caso, a ligação genética do cobre com os andesitos foi defendida pelos autores.

A Companhia Brasileira do Cobre (CBC), nos anos de 1977/78, realizou uma série de pesquisas na região e na Mina do Seival, incluindo campanhas de sondagem que foram incorporadas nesse trabalho. Nas décadas de 1980-90, a

Companhia Riograndense de Mineração (CRM) explorou ouro na região de Lavras do Sul. Nardi (1984) atribuiu a geração das soluções hidrotermais à intrusão dos pertita granitos e outras intrusões alcalinas, tendo estas sido responsáveis pelas mineralizações no Granito Lavras, bem como nas sequências vulcânicas e sedimentares a E. Por fim, Mexias (1990b) propôs que a intrusão granítica teria atuado como fonte de calor na geração e manutenção de um sistema hidrotermal cujas características, bem como os padrões de zonação dos produtos de alteração, muito se assemelham ao que se observa nos depósitos do tipo Cu-pórfiro, sob a influência de transferência de calor na forma condutiva, ocorrendo formação de epidoto, clorita e actinolita nas porções mais próximas do contato do granito), através da interação dos fluidos com a rocha em microfraturas e poros estagnantes (alteração propilítica) (Mexias *et al.*, 1993), com a composição química da rocha original influenciando a composição química dos minerais formados no hidrotermalismo. Atuando de forma destrutiva na rocha, fluidos com maior atividade de H⁺ percolaram através de fraturas após e/ou concomitante à alteração propilítica, em condições de temperaturas equivalentes ou levemente superiores a 300°C. Finalmente, encerrando a atividade hidrotermal ou estando associada a um outro sistema, por exemplo, a falhamentos mais recentes, ocorreu, através de fraturas, a circulação de fluidos com alta fCO₂ e fO₂, responsáveis pela deposição de calcita, corrensita (Mexias *et al.*, 1990a).

A partir de 2000, a região das Minas do Seival despertou interesse de várias empresas multinacionais. Entretanto, o investimento foi baixo e não ocorreram muitas pesquisas na área.

1.4 Métodos de investigação utilizados

1.4.1 Levantamento bibliográfico

O objetivo desta etapa foi compilar os dados e informações existentes sobre a Associação Shoshonítica de Lavras do Sul, a Formação Hilário, a Bacia do Camaquã e

as mineralizações de cobre no ESRG, com o intuito de auxiliar nas interpretações das relações entre as rochas e suas mineralizações.

1.4.2 Trabalhos de campo

Os trabalhos de campo foram realizados com o objetivo de coletar amostras para estudos, realizar um mapa geológico de detalhe da região, comparar as litologias de campo com as litologias dos furos de sondagem, suas texturas e aspectos. Foram descritos cerca de 70 pontos que orientaram uma coleta seletiva de amostras para estudos petrográficos e geoquímicos. Foram realizadas duas etapas de trabalho, uma em junho de 2011, com enfoque na geologia da área, e a outra em maio de 2012, consistindo no detalhamento geológico e estrutural das minas e ocorrências.

Os materiais utilizados foram uma Folha do Exército Arroio América (SH.22-Y-A-IV-1, 1975) na escala 1:50000, um mapa geológico da região desenvolvido por Reischl, em 1978, fotografias aéreas na escala 1:25.000 (DNPM, 1975) para traçar contatos dos litotipos, principais estruturas e falhas, e imagens de satélite (Google Earth). Para isso, foram utilizados equipamentos tradicionais como GPS, marretas, martelos, bússulas, lupa de mão, máquina fotográfica e caderneta de campo. Os perfis foram pré-definidos, com o objetivo de interseccionar as estruturas geológicas da área e traçar linhas transversais nos diferentes litotipos, geralmente seguindo o sentido NW-SE.

Também foi realizada uma descrição dos testemunhos de sondagem com o objetivo de descrever em detalhe as rochas com a vantagem de poder observar variações destas com a profundidade e em sequência, e comparar com as feições encontradas nas amostras da geologia de campo. O trabalho consistiu em descrição, coleta e fotografia das amostras. Foram descritos um total de 6 furos de sondagem da região da Mina do Seival. Os furos de sondagem descritos foram: Linha 800: SV 78-11, SV 78-01; Linha 700: SV 78-15, SV 78-16; Linha 900: SV 78-18 e SV 78-09.

1.1.3 Preparação de amostras

As amostras coletadas no campo foram submetidas à preparação para análises posteriores, junto ao laboratório de apoio analítico e preparação de amostras, no Centro de estudos em Petrologia e Geoquímica – CPGq do Instituto de Geociências da UFRGS. Foram preparadas amostras para a confecção de lâminas delgadas, para análises geoquímicas (litogeoquímica) e difratometria de raios X.

As lâminas delgadas foram confeccionadas no laboratório de laminação do Instituto de Geociências da UFRGS. Para a confecção das lâminas, primeiro cortou-se um pequeno retângulo (5 cm²), denominado esquírola, onde se colou um vidro delgado. A esquírola de rocha colada ao vidro foi desgastada até chegar à espessura padrão de 0,3 micra. A última etapa consistiu na sobreposição da lamínula.

As amostras destinadas a análise geoquímica foram inicialmente fragmentadas em pedaços de no máximo 3 cm de comprimento por uma prensa hidráulica. Após, foram trituradas por um britador e a brita passa em uma peneira de tamanho 7 Mesh. A fração passante neste tamanho de grão foi moída em um moinho de bolas de ágata, no tamanho 200 Mesh e assim ficando aptas à análise com equipamentos adequados.

Para a análise de difração de raios X foram selecionadas, com base em descrições petrográficas, sendo utilizado a técnica do pó e das argilas orientadas. O processo de separação da fração desejada e montagem das lâminas seguem os passos descritos a seguir: quarteamento da amostra (cerca de 30g); desagregação em gral de porcelana, juntamente com água destilada para diminuir o atrito do bastão com o mineral; diluição em 500 ml de água destilada; desagregação em agitador orbital durante 14 horas; desagregação por ultrassom de ponteira durante 5 min em solução; com a amostra em solução estabiliza-se a temperatura para controlar a viscosidade do fluido; de acordo com a planilha eletrônica baseada na Lei de Stokes calcula-se o tempo de decantação respectivo para a fração; o processo de decantação normal é utilizado para separar da amostra à fração menor do que a desejada; concentração da suspensão por centrifugação mecânica na velocidade e no tempo requerido para o assentamento de partículas maiores que as desejadas; com a fração que permaneceu em solução, fazem-se lâminas especiais para análise por difração de raios X. Têm-se então a Amostra orientada natural em lâminas, onde

se privilegia as faces 001 dos argilominerais para se obter uma melhor resolução na análise. Este procedimento foi realizado para a separação das frações <10µm e <5µm. Para a fração <1µm, foi empregada a separação por sedimentação forçada através de ultracentrífuga (5000 rotações por minuto). O processo de separação forçada com o uso da centrífuga diminui significativamente o tempo de processamento, principalmente quando existe a necessidade de estudo de frações mais finas que 2 µm. A amostra orientada natural é saturada com etileno glicol para verificar a existência ou não de argilominerais expansivos. Para isto a amostra orientada natural é borrifada com etileno glicol e o excesso retirado com papel absorvente. Chama-se amostra glicolada. A amostra orientada natural também é aquecida a 550°C durante duas horas para avaliar argilominerais que colapsam a sua estrutura nestas condições permitindo uma identificação mais precisa. Chama-se amostra calcinada.

Preparou-se também a amostra em pó, onde cerca de 1g do material desagregado é depositado em um sulco na lâmina de vidro. Com isso procura-se preservar a desorientação das partículas. É a chamada análise total, onde todos os minerais ou estruturas cristalinas são analisados. Porém, o método dificilmente identifica estruturas cristalinas que ocorram em quantidades inferiores a 3 – 5 % na amostra analisada.

1.1.4 Petrografia

A análise petrográfica tem uma grande importância na realização deste estudo, pois ela nos permite identificar a mineralogia, texturas e as relações entre os minerais. O objetivo da análise microscópica é a identificação das fases minerais, das variedades texturais e as relações entre elas, de forma a estabelecer a ordem e a história de cristalização e evolução magmática, assim como das paragêneses hidrotermais, o que contribui para a caracterização petrogenética da área.

Tendo como aplicação neste estudo a análise petrográfica de amostras coletadas nos trabalhos de campo em superfície e de testemunhos de sondagem. Através da análise das lâminas ao microscópio óptico é possível identificar minerais presentes em grande e pequena quantidade, identificar toda variedade mineralógica,

as associações entre os minerais, texturas características e assim caracterizar a rocha. A etapa de microscopia envolveu a descrição de cerca de 50 lâminas delgadas. As descrições macroscópicas foram realizadas em laboratório com o auxílio de lupa binocular. Os trabalhos foram complementados com o reconhecimento de alguns minerais com a difração de raios X.

1.1.5 Difratometria de raios X

A difratometria de raios X (DRX) foi utilizada para análise mineralógica e determinação de espécies de argilominerais e seus politipos, em cada um dos ambientes selecionados a partir da petrografia.

O equipamento utilizado é um difratômetro SIEMENS BRUKER AXS Modelo D5000 com goniômetro θ - θ . A radiação é $K\alpha$ em tubo de Cobre nas condições de 40 kV e 25 mA, no Laboratório de Difratometria de Raios X do CPGq-IG-UFRGS. A velocidade e o intervalo de varredura do goniômetro para cada tipo de análise são as seguintes: amostra em Pó: 1 segundo para $0,02^\circ$ de degrau do goniômetro de 2° a $72^\circ 2\theta$; amostra orientada natural: 2 segundos para $0,02^\circ$ de degrau do goniômetro de 2° a $28^\circ 2\theta$; amostra orientada glicolada: 3 segundos para $0,02^\circ$ de degrau do goniômetro de 2° a $28^\circ 2\theta$; e para politipos: 5 segundos para $0,02^\circ$ de degrau do goniômetro de 31° a $53^\circ 2\theta$.

Os minerais e/ou fases cristalinas são identificados através da medida das distâncias interplanares e das intensidades relativas dos picos nos difratogramas. Os minerais identificados, na análise total, apresentam-se comparados com padrões do banco de dados do computador (JCPDS) e indicado/referenciado sobre o pico mais importante e diagnóstico do mineral. As análises são interpretadas através do programa DIFFRAC PLUS onde os picos são indexados no difratograma.

Para este estudo serão analisados por DRX os minerais das assembleias de alteração hidrotermal, tais como: clorita, esmectita, corrensita, ilita, carbonatos e baritas.

1.1.6 Geoquímica

Determinações de elementos maiores e traços foram realizadas em 15 amostras representativas da MS, procurando abranger os diferentes tipos texturais e composicionais, com objetivo de classificar as rochas vulcânicas em relação às séries magmáticas e investigar sua gênese. Para a realização deste estudo, as amostras foram preparadas no Anexo do Laboratório de Geologia Isotópica do IG/UFRGS e enviadas para análise de elementos maiores menores e traço no *Activation Laboratories Ltd.*, Ontario, Canadá, através de *fusion inductively coupled plasma emission spectrometry* (FUSICP-ES) e *fusion inductively coupled plasma mass spectrometry* (FUS-ICP-MS).

O ICP-MS é uma técnica semelhante a do ICP, mas com o incremento da espectrometria de massa, o que aumenta a abrangência do ICP (Data & Jarvis, 1989). Esta técnica é aplicada principalmente na determinação dos conteúdos de elementos traços, pois oferece resultados com limites de detecção muito baixos e boa precisão. Destaca-se, ainda, que pode ser usada para analisar uma série de elementos traço, em uma única solução, usando, portanto, uma pequena amostra (Jenner *et al.*, 1990).

A espectrometria de emissão de plasma é uma técnica que utiliza uma "chama" com temperatura entre 6.000 – 10.000 K. A amostra é solubilizada nesta chama e após, nebulizada em um plasma de argônio. O ICP gera um fluxo de átomos de argônio, aquecidos por uma bobina de rádio-frequência e inflamado por uma faísca em alto-frequência. A amostra é então dissociada no plasma de argônio e um grande número de linhas espectrais atômicas e iônicas é gerado. As linhas espectrais são detectadas por uma série de fotomultiplicadores, devidamente calibrados, e as intensidades delas são convertidas em concentrações.

Os resultados das análises foram entregues pelo ACTLABs, via correio eletrônico e interpretados com auxílio dos programas GCDkit (Janousek *et al.*, 2008) e Microsoft Excel que permitem o tratamento estatístico dos dados geoquímicos e construção de diversos diagramas.

1.1.7 Elaboração da dissertação

A dissertação foi redigida no formato de integração de artigo científico, de acordo com a Resolução 002/98 do Programa de Pós-Graduação em Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – PPGGEO-UFRGS. O artigo gerado através deste estudo foi submetido à Revista Pesquisas em Geociências.

1.5 Geologia regional e das Minas do Seival

1.5.1 Contexto geotectônico

No estado do Rio Grande do Sul, o setor meridional da Província Mantiqueira (Almeida & Hasui, 1984) recebe a denominação de Escudo Sul-rio-grandense (ESRG). Essa província se alonga do sul da Bahia até o Uruguai, e é resultado da orogenia que promoveu a colagem de terrenos Neoproterozóicos, dando origem ao Paleocontinente Gondwana Ocidental.

Fazem parte do ESRG os orógenos São Gabriel e Dom Feliciano. O orógeno São Gabriel é um terreno acrescionário, caracterizado pela edificação de um arco magmático, tendo como transporte tectônico a direção W-NW. Duas discontinuidades magnéticas representadas por zonas de falha de escala regional marcam os limites do Cinturão Vila Nova. A Sutura de Caçapava de direção N40°E, situada a leste, e a sul o Lineamento de Ibaré, com direção N45°W. O orógeno Dom Feliciano é composto por sequência de margem passiva neoproterozóicas, segmentos de arco magmáticos e restos de embasamento arqueano a paleoproterozóico. Sua direção é NE-SW, devido à colisão dos crátons de La Plata, Kalahari. A evolução do orógeno dá-se por uma tectônica transpressiva de escape lateral, gerando grandes e profundas zonas de cisalhamento transcorrente, como a Zona de Cisalhamento Dorsal do Canguçu (Hartmann *et al.*, 2007). O ESRG foi compartimentado em termos tectônicos por quatro unidades, segundo Chemale

(2000), sendo elas no Bloco Taquarembó e nos Cinturões Vila Nova, Tijucas e Dom Feliciano (Batólito Pelotas). É também correlacionável através de zonas de cisalhamento e lineamentos de direção N-NE com o escudo Uruguaio e questionável com o Sul-Catarinense (Fig. 3).

A região de Lavras do Sul é constituída por um embasamento de metaultramafitos, metagranitóides e xistos (Complexo Cambaí) que é parcialmente coberto por rochas sedimentares da Formação Marica e vulcânicas da Formação Hilário. Este conjunto foi posteriormente sobreposto e intrudido por rochas da Associação Shoshonítica de Lavras do Sul. Granitos e vulcanitos ácidos e básicos, de afinidade alcalina sódica saturada em sílica, e rochas sedimentares do Alogrupo Santa Bárbara sucedem esta associação.

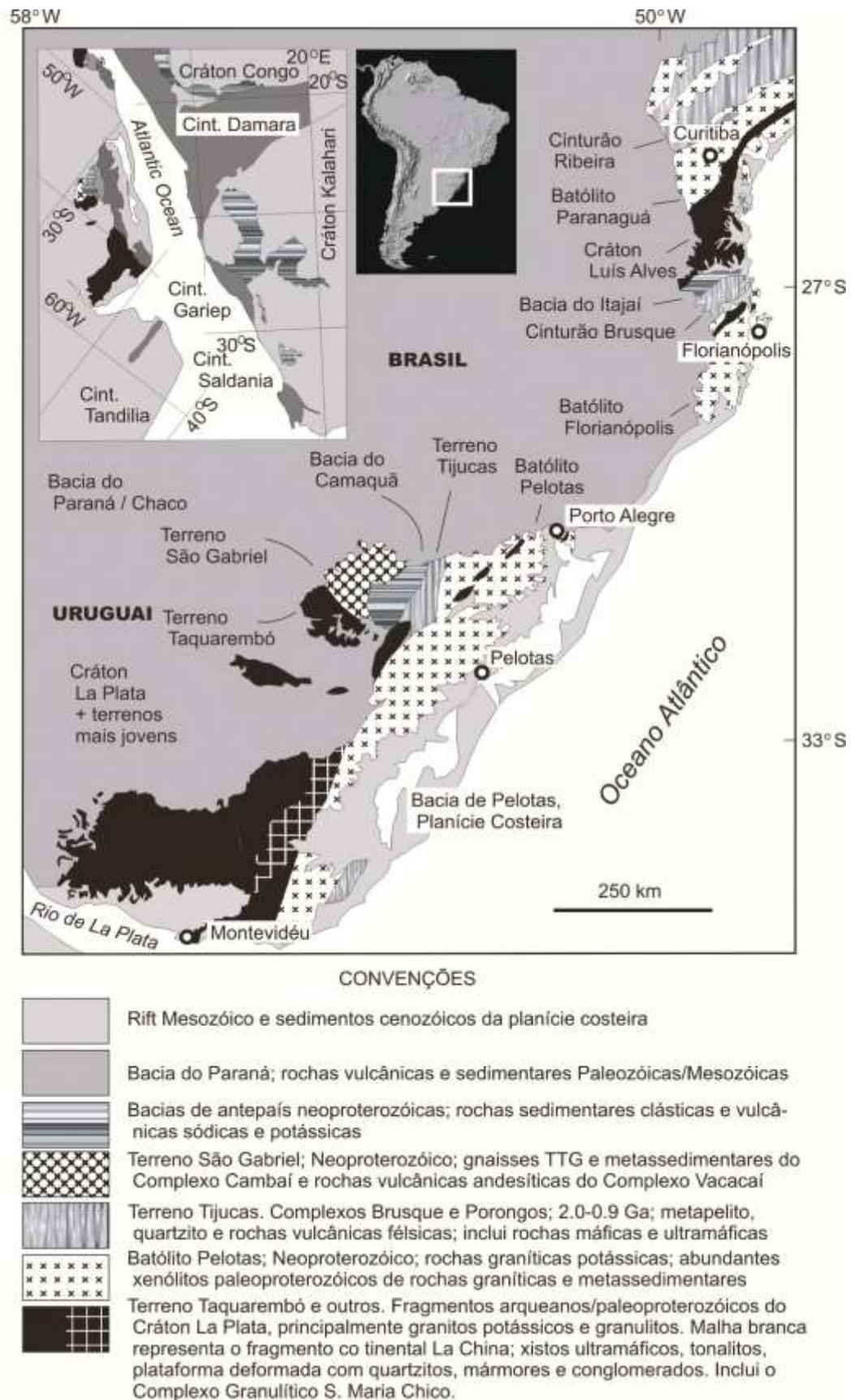


Figura 3: Mapa geológico do sul do Brasil e Uruguai, mostrando as principais unidades tectono-estratigráficas e estruturais (extraído de Hartmann *et al.*, 2007).

1.5.2 A Bacia do Camaquã e o vulcanismo da Formação Hilário

No estágio pós-colisional do ESRG, desenvolveram-se extensas bacias vulcano-sedimentares, com muitos termos vulcânicos e vulcanoclásticos alcalinos, e mais raramente shoshoníticos, com idades entre 600 Ma e 560 Ma. A evolução dessas bacias está ligada a transcorrência dos terrenos e também a sistemas deposicionais continentais e marinhos.

A Bacia do Camaquã é considerada uma bacia do tipo *strike-slip* (Lima *et al.*, 2007) formada nos estágios pós-colisionais do ciclo orogênico Brasileiro/Pan-Africano, com vários episódios magmáticos no Neoproterozóico-Ordoviciano, que ocorrem intercalados às rochas sedimentares (Fig. 4). O ambiente geotectônico é resultado da colisão dos crátons, responsáveis pela formação do Supercontinente Gondwana, em um período de pós-orogênese. Nesse período, a transcorrência e rifteamento dos blocos foram responsáveis pelo magmatismo e formação da bacia, e explica o seu amplo intervalo de tempo 650?-470 Ma (Chemale, 2000). A Bacia do Camaquã pode ser interpretada como um locus deposicional, no qual ocorreu a superposição de diversos tipos de bacias que foram individualizadas em termos tectônicos, termo-mecânicos e geocronológicos, apresentando registros litológicos próprios e mecanismos de subsidência distintos (Paim *et al.*, 2000). Em termos de evolução geológica, esta bacia foi caracterizada pela alternância de intervalos onde dominaram eventos deposicionais, com o acúmulo de espessos pacotes sedimentares e vulcano-sedimentares e intervalos predominantemente erosionais (Lima *et al.*, 2007).

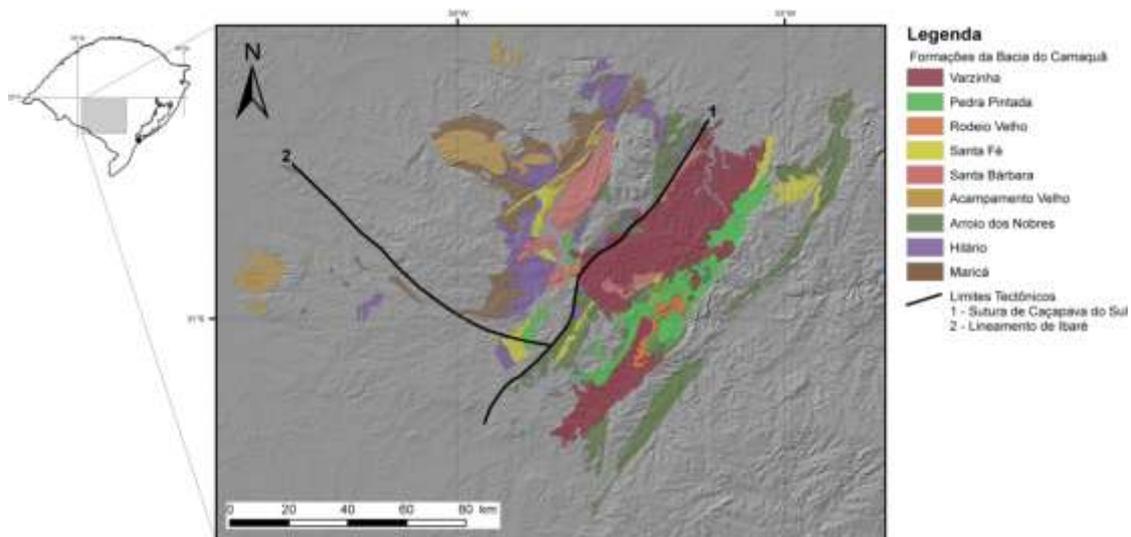


Figura 4: Mapa geológico da Bacia do Camaquã (extraído de Rigo, 2009).

Os episódios magmáticos na Bacia do Camaquã podem ser divididos em 3 ciclos. O primeiro ciclo vulcânico da bacia é o Vulcanismo Hilário que tem composição basáltica a andesítica, e afinidade geoquímica shoshonítica (Nardi, 1984). O segundo ciclo é o Acampamento Velho, de afinidade alcalina saturada em sílica ou moderadamente Na-alcaina (Matté *et al.*, 2012), tendo uma composição intermediária a ácida, o que sugere os estágios finais de cristalização do magma. As rochas do Grupo Rodeio Velho, de afinidade toleítica, representam o último ciclo vulcânico da Bacia do Camaquã, pertencentes ao Alogrupo Guaritas, com composição básica, o que sugere um estágio de rifteamento da bacia (Lima *et al.*, 2007).

Estudada por mais de 80 anos, a nomenclatura das unidades geológicas teve grandes modificações com o avanço dos estudos. Dessa maneira, Paim *et al.* (2000) estabeleceu uma organização na nomenclatura das unidades pertencentes à Bacia do Camaquã, mantendo os nomes clássicos e separando-as em um Alosupergrupo Camaquã (Fig. 5). Este é dividido em cinco alogrupos: alogrupo Maricá compreende a Formação Maricá e a Formação Pessegueiro; alogrupo Bom Jardim (estudado nesse trabalho) compreende a Formação Hilário (Ribeiro & Fantinel, 1978), Formação Arroio dos Nobres e o Membro Mangueirão; alogrupo Acampamento Velho/Cerro do Bugio representado pela sequência vulcânica da Formação Acampamento Velho; alogrupo Santa Bárbara compreende as Formações Pedra do Segredo e Serra dos Lanceiros; alogrupo Guaritas compreende o vulcanismo da Formação Rodeio Velho, assim como os sedimentos das Formações Pedra Pintada e Varzinha.



Figura 5: Representação esquemática seção estratigráfica Bacia do Camaquã. A Formação Hilário pertence à Associação Shoshonítica de Lavras do Sul (modificado de Wildner *et al.*, 2002).

Em sentido Leste, as rochas da Formação Hilário interdigitam-se e são gradacionalmente substituídas volumetricamente por conglomerados aluviais ricos em clastos vulcânicos de composição básica a intermediária, e na porção mais distal por arenitos e siltitos relacionados a fluxos turbidíticos em porções subaquáticas de sistemas deltaicos (Paim *et al.*, 2000).

Na região de Volta Grande, Localizada a W da Mina do Seival, a caracterização geoquímica das lavas intermediárias e os tufos de cristal associados, sugeriram condições subaéreas e a afinidade shoshonítica do vulcanismo (Lima, 1985). A nordeste de Lavras do Sul, próximo às cidades de São Sepé e Caçapava do Sul, essa formação exhibe afinidade cálcico-alcálica alto K e evoluíram em direção a Lavras do Sul, para as shoshoníticas.

1.5.3 Geologia da Mina do Seival

A Formação Hilário é representada, na área de estudo, por lavas andesítica, brechas vulcânicas e corpos hipoabissais de andesitos, principalmente diques de orientação NE, intrusivos na sequência piroclástica (Fig. 7D). As rochas piroclásticas (Fig. 7B) são representadas pelos tufo-lapilitos e tufos-brechas, com mineralogia a base de plagioclásio, piroxênio e anfibólio, variando conforme a profundidade, capeadas por um andesito amigdalóide. Em algumas porções, essa rocha encontra-se fortemente brechada por eventos hidrotermais (Fig. 7A). As rochas hipoabissais, representadas por andesitos (Fig. 7C), ocorrem principalmente como diques. Todo este conjunto de rochas é coberto pelas rochas conglomeráticas da Formação Santa Bárbara (Wildner *et al.*, 2008) e andesitos vesiculados. Esses conglomerados são polimíticos, clasto-suportados, variando de centimétricos a decamétricos. O andesito vesiculado possui matriz a base de plagioclásio e vesículas de 0,2-0,5 cm, o que difere dos andesitos da Formação Hilário. Os depósitos aluvionares localizam-se na porção W da área de estudo, ao longo do Arroio Teixeira, ocorrem sedimentos fluviais predominantemente arenosos. Consistem de sedimentos de areia fina a grossa, de composição quartzo-feldspática (Fig. 6).

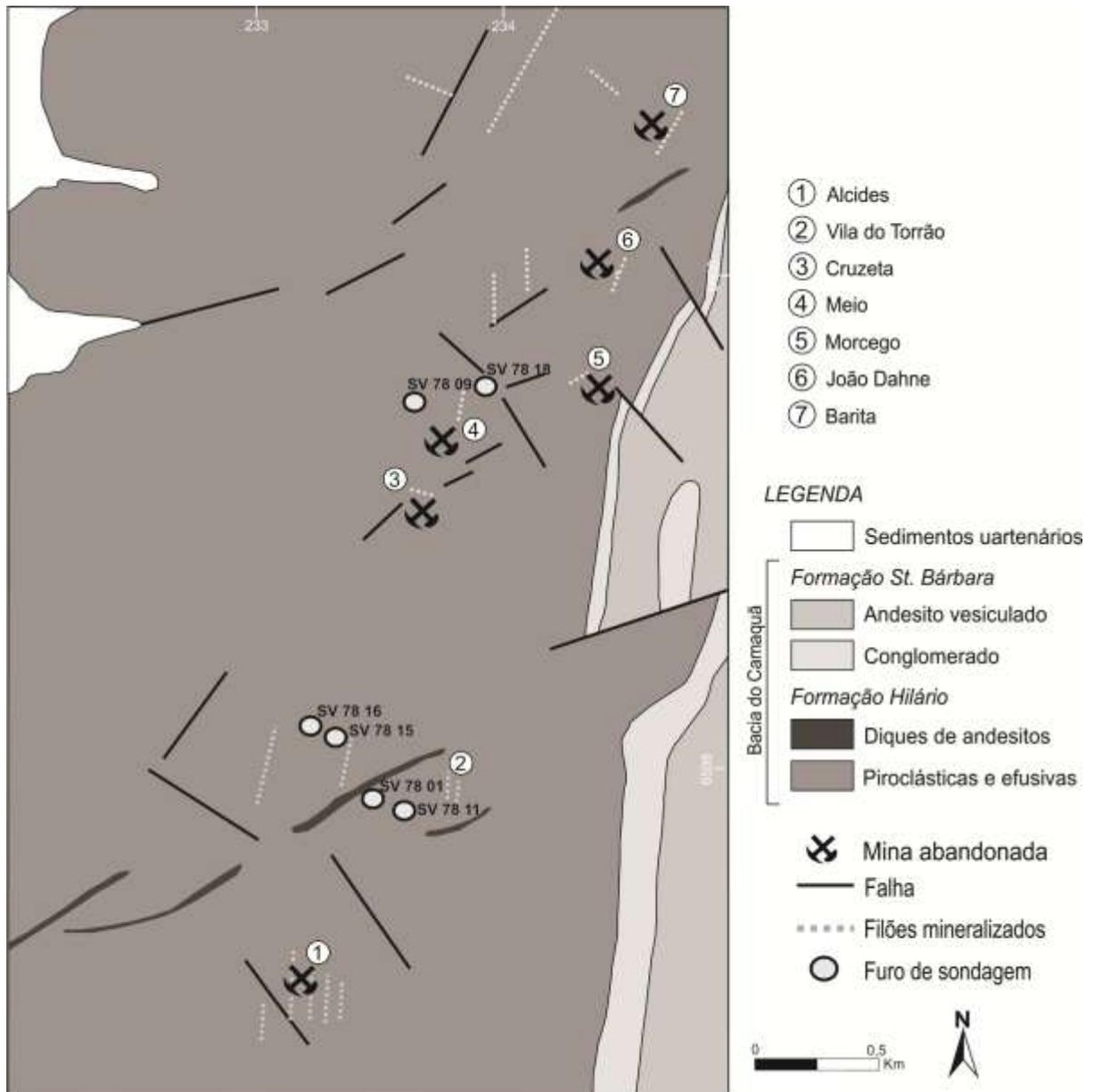


Figura 6: Mapa geológico da Mina do Seival (adaptado de Reischl, 1978; Lopes, 2011).

As rochas da área de estudo estão muito fraturadas, evidenciando uma tectônica rúptil em que predominam fraturas subverticais de direção NE e NW. As estruturas rúpteis são em grande parte, resultantes de reativações das zonas de cisalhamento de direção NE. A reativação das falhas é função direta da orientação dos campos tensionais principais durante os eventos tectônicos que afetaram o Escudo Sul Rio-Grandense. As principais estruturas regionais que afetam a Formação Hilário são um sistema de falhas com lineamentos NW bastante destacado, correlacionável a Zona de Cisalhamento Ibaré, que aflora a oeste da área de estudo. Portanto, a unidade não apresenta feições deformacionais dúcteis, sendo afetada somente por falhas e fraturas subverticais de direção predominantemente NE e subordinadamente NW.

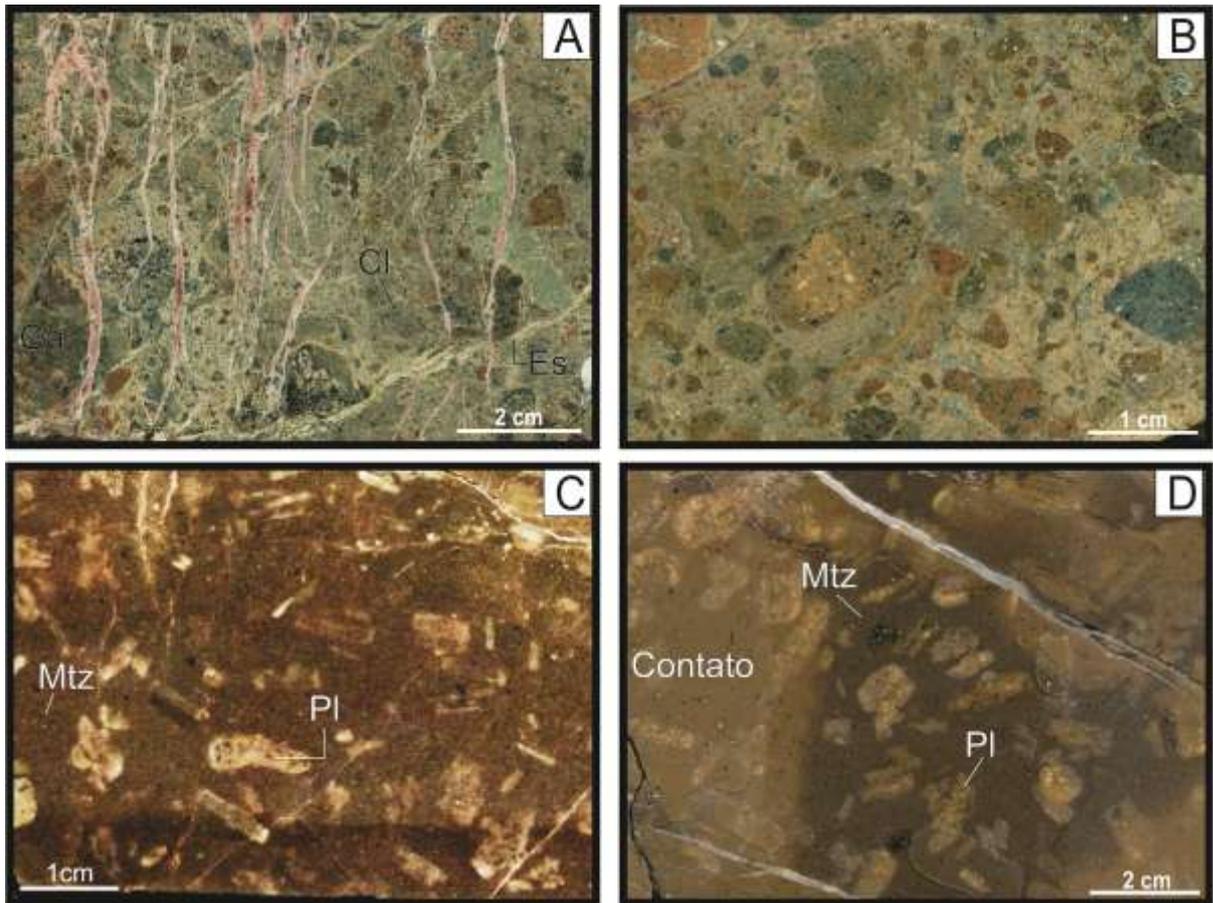


Figura 7: Mosaico de fotos da seqüência vulcânica da Mina do Seival. A) Lapili-tufo com alteração pervasiva de clorita + esmectita e veios de carbonato; B) Lapili-tufo com variação na composição dos clastos; C) Dique de andesito; D) feição de contato do dique de andesito com a seqüência piroclástica. Ca: calcita; Cl: clorita; Es: esmectita; Pl: plagioclásio; Mtz: matriz.

1.5.4 Geologia das minas e ocorrências

As mineralizações na Mina do Seival foram descritas por Reischl (1978), sendo elas: (i) Mina Alcides; (ii) Mina Cruzeta; (iii) Mina do Meio; (iv) Mina Morcego; (v) Mina João Dahne; (vi) Mina Barita; (vii) Ocorrência Vila do Torrão (Fig. 7). Essas minas possuem estruturação regional preferencialmente NE e por vezes NW. As mineralizações tendem a ocorrer na intersecção dos planos de falhas, aumentando com a proximidade de falhas de direção NW, localizadas próximo do contato com a Formação Santa Bárbara.

(i) Mina Alcides: Localizada no extremo sul da área (UTM: 233272 N - 6597108 E). A mina é composta por 5 lineamentos de direção predominante N-NE

(020/74) e 1 E-W (110/75). A mina possui 4 cavas, sendo descritas de E para W: a primeira possui um plano de falha com cerca de 3 m e dimensões 20x30x10m (altura x largura x profundidade); segunda cava tem direção E-W, possui cerca de 20x2x5m; a terceira é uma cava de 40x20x20m, onde há evidência de um alinhamento mineralizado por malaquita; a quarta é uma grande cava com difícil acesso, amostragem e alagada.

A rocha é um lapili-tufo e brecha-tufo com clastos de diversos tamanhos (0,5 – 7 cm), numa matriz afanítica com alteração para clorita (Fig. 8C). A alteração da rocha tem cor amarronzada e às vezes esverdeada com tons esbranquiçados. Os clastos tem composição variada (andesito porfirítico, andesito amigdalóide) com matriz composta principalmente por plagioclásio e anfibólio e/ou piroxênios. O intenso faturamento subvertical evidencia diversas gerações de veios de calcita, brechando hidrotermalmente a rocha. Presença de malaquita, azurita, carbonato (Fig. 8 D-E) e barita preenchendo fraturas (Fig. 8 B). Ocorrência de quartzo *vuggy* (Fig. 8H), estrutura com predomínio de sílica indicativo de alteração por fluido ácido que ocorre ao longo dos lineamentos. O sulfeto é calcosina e ocorre geralmente disseminado pela rocha e geralmente está oxidado com a cristalização de malaquita e de tamanho muito finos (0,1-2 mm) (Fig. 8F-G). As medidas estruturais foram observadas principalmente em estrias de falha bem características, de duas direções, uma primária de mais baixo ângulo devido à transcorrência, e outra posterior de maior ângulo devido a distensão regional. Predomina os lineamentos N-NE (Fig. 8A). No estereograma notam-se as duas principais direções de fraturamento da rocha, NE e NW, sendo ambas preenchidas por sulfetos, malaquita, azurita, barita, calcita e quartzo.

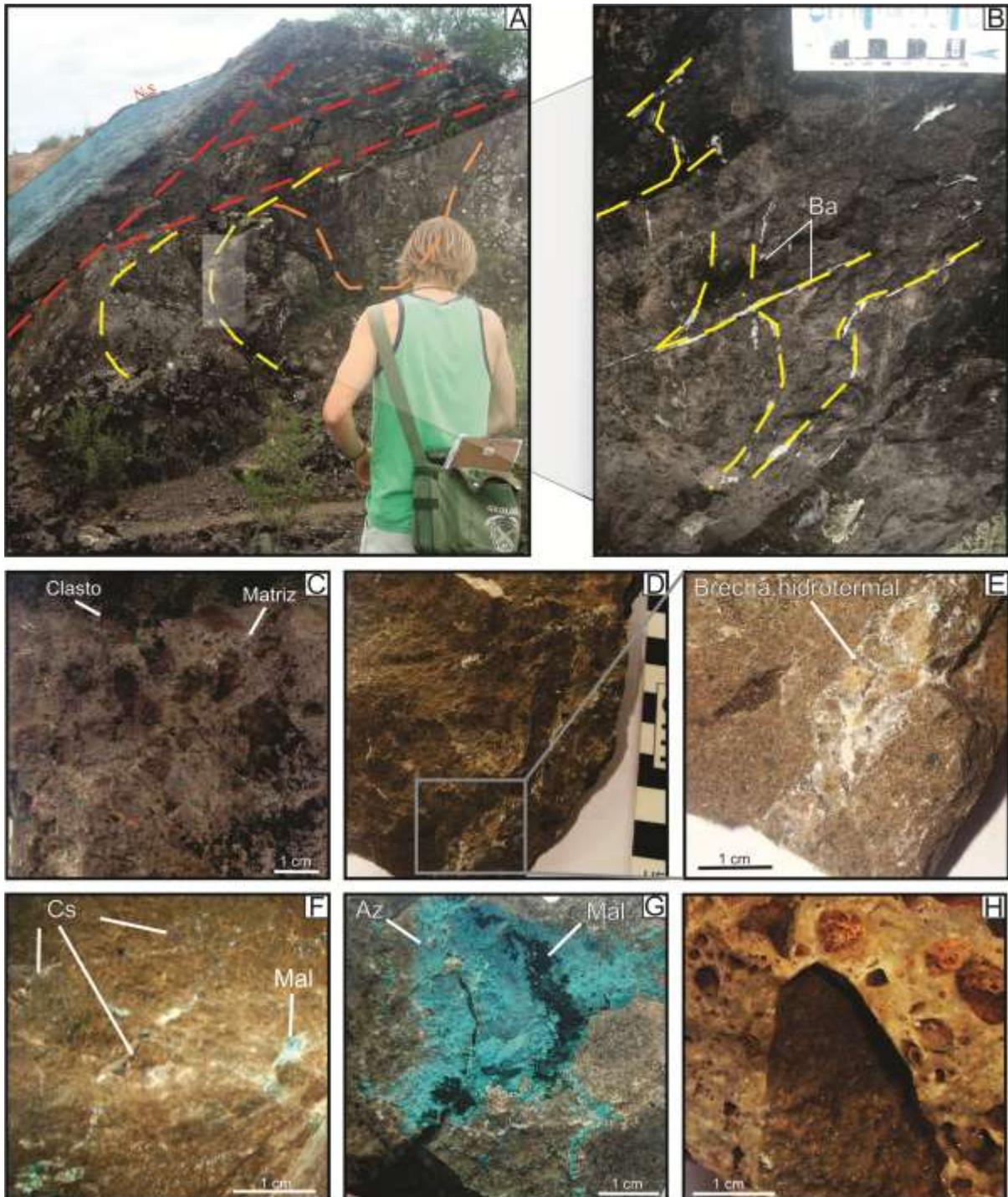


Figura 8: Mina Alcides. A, B) Plano de falha de direção N-S e fraturas preenchidas por barita; C) Amostra de Lapili-tufo; D, E) Brecha hidrotermal preenchida por carbonato; F) calcosina e malaquita disseminadas pela rocha; G) malaquita e azurita preenchendo fratura superficial; H) quartzo *vuggy*. Ba: barita; Mal: malaquita; Cs: calcosina; Az: azurita.

(ii) **Mina Cruzeta:** Localizada na parte central da área (UTM: 233737 N - 6599102 E) e possui acesso difícil. A mina é uma trincheira de 30x10x5 m, com diversas pilhas de rejeito e possui direção W-NW (100/78) (Fig. 9B). A rocha é andesito com intensa alteração para hematita e clorita. Ocorrem veios de barita e malaquita ao longo de fraturas na rocha. A ocorrência de sulfeto é baixa aparecendo

disseminado na rocha. Nas arestas das baritas que preenchem as fraturas, ocorrem intensa oxidação dos sulfetos (malaquita). O sistema de fraturas NE e NW é muito bem desenvolvido na mina (Fig. 9A).

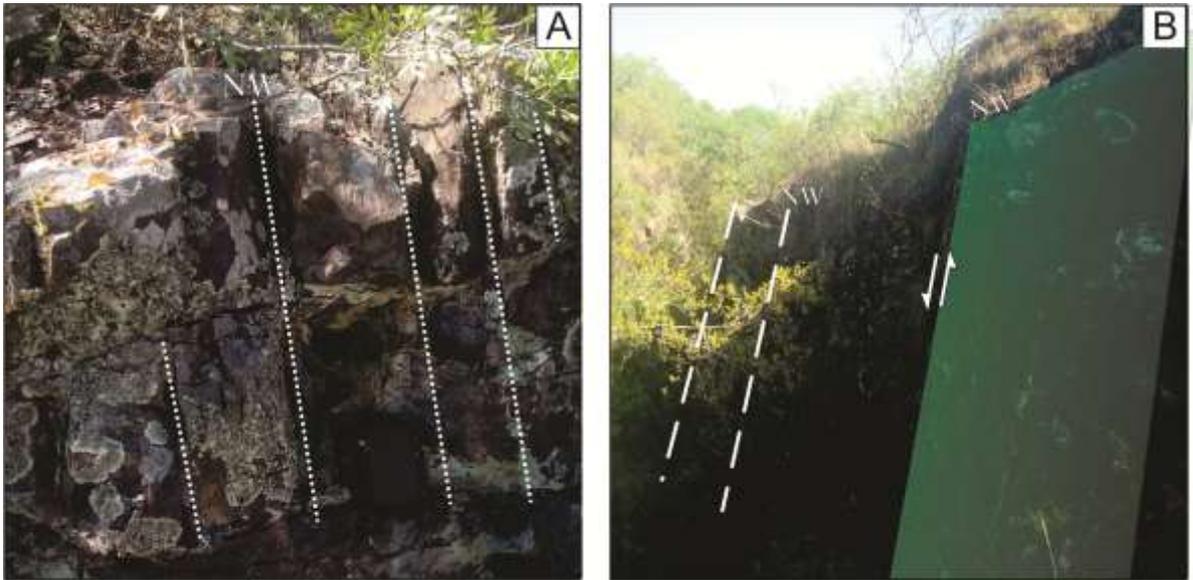


Figura 9: Mina da Cruzeta. A) Fraturas verticais de direção NW; B) plano de falha mineralizado com direção NW e fraturas principais.

(iii) Mina do Meio: localizada na parte central da área (UTM: 233920 N - 6599526 E). A mineralização ocorre em um corpo de direção N-S (185/85) (Fig. 10A). A mina é uma trincheira de 60x10x03 m. A rocha possui matriz fina e clastos angulosos que geralmente não se tocam. Os clastos tem composição variada, compostos principalmente por andesitos a base de plagioclásio e piroxênio. O sulfeto é calcosina e ocorre na forma de veios milimétricos, e disseminado na rocha, tem brilho prateado e aparenta estar oxidado (Fig. 10C-D). Ocorrem algumas concentrações desse sulfeto, tanto nos clastos, como na matriz. Veios de barita de mm a cm encaixados nas fraturas. Estrias de falha normais no plano principal de faturamento (Fig. 10B).

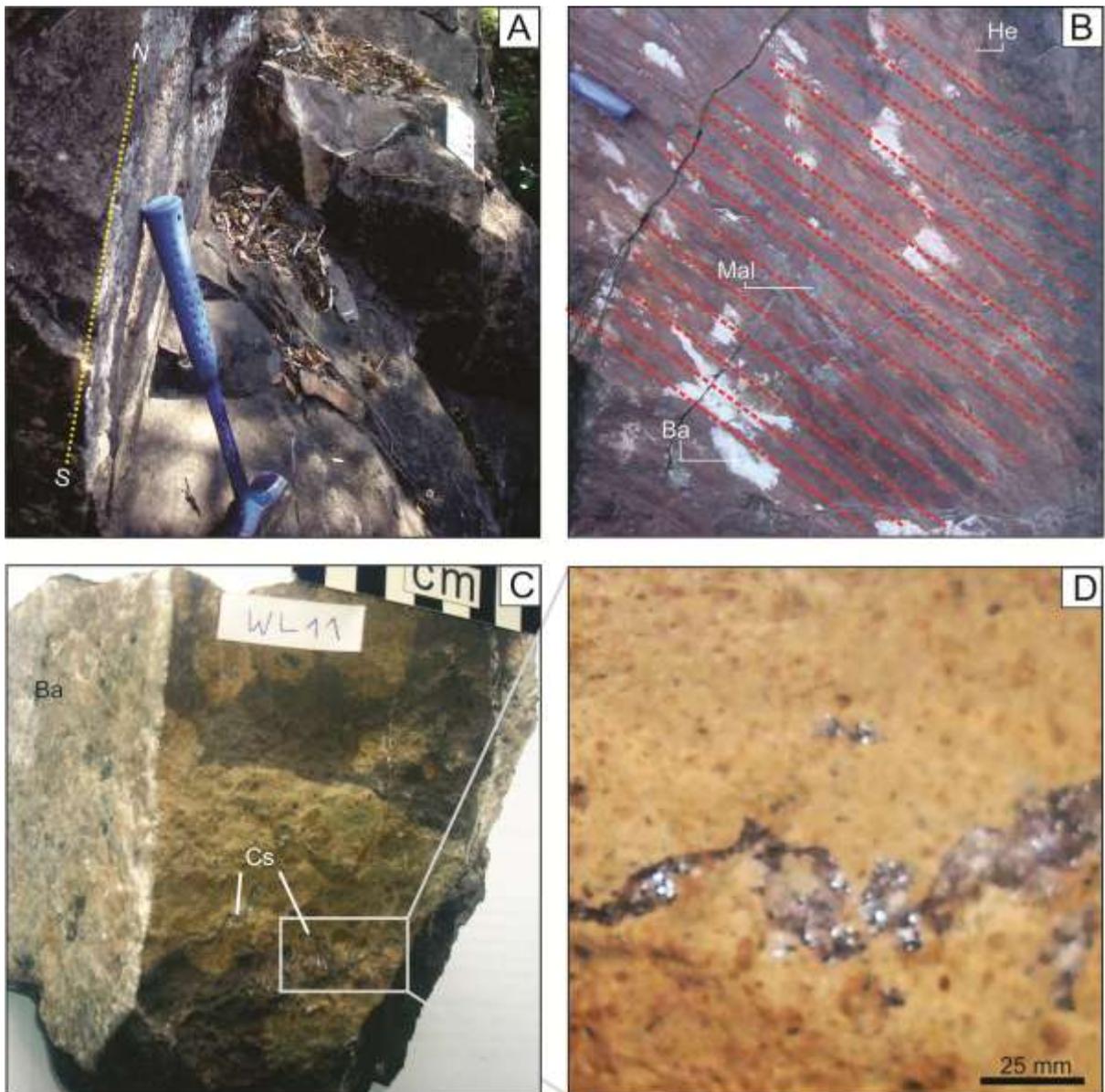


Figura 10: Mina do Meio. A) fratura principal de direção N-S; B) estrias de falha preenchidas por malaquita, barita e hematita; C, D) fratura preenchida por barita e disseminação de calcosina pela rocha. Ba: barita; Mal: malaquita; He: hematita; Cs: calcosina.

(iv) Mina Morcego: Localizada na parte leste da área (UTM: 234381 N - 6599601 E). Há uma pequena galeria na mina com profundidade de cerca de 10 m com bifurcação a esquerda e direita de 3 m e altura de 1,5 m (Fig. 11A). A mina possui aproximadamente 50x10x30 m de dimensões. O corpo mineralizado tem direção NE (230/68), e é preenchido por dique de lamprófito com 1,5 m, amigdalóide preenchida por clorita com matriz afanítica de cor amarelada e clastos de anfibólio e piroxênio (Fig. 11C), com direção 230/68 (Fig. 11B). No contato das litologias há um abundante preenchimento de barita e malaquita. A rocha possui cor esverdeada com presença de brechas fluídas caracterizadas pela presença de veios carbonáticos. Veios de barita de 2 mm ao longo das zonas de fratura. Possui espelho de falha com

direção N/NE com estrias de falha sub-horizontais truncadas por estrias subverticais, representando episódios de reativação de falhas, falha transcorrente, seguida por falha normal. A mina ocorre ao longo de um plano de fratura de direção N-NE.



Figura 11: Mina Morcego. A) Galeria abandonada; B) dique preenchendo fratura subvertical de direção NE; C) Dique de lamprófiro com piroxênio, anfibólio e amígdalas preenchidas por clorita. Az: azurita; Mal: malaquita; Ca: calcita; Mtz: matriz; Cl: clorita; Pl: plagioclásio; Px: piroxênio.

(v) Mina João Dahne: Localizada na parte nordeste da área (UTM: 234580 N - 6600015 E). A mineralização ocorre em direção N-NE (016/53). Possui três cavas. A primeira a N tem dimensões de 40 m (NE) e 30 m (NW). Possui uma galeria inundada de 3x10x10 m de dimensões (Fig. 12A). Ocorrem varias mineralizações e pilhas de rejeitos ao longo do pé do morro. A cava maior possui 30 m de comprimento e direção W-NW. A rocha é dique de lamprófiro de cor marrom escuro com fenocristais de anfibólio e piroxênio, numa matriz afanítica composta por plagioclásio (Fig. 12B). Direção da cava principal W-NW. Possui um espelho de falha N-S com movimento dextral e outro com mesma direção com movimento transcorrente.

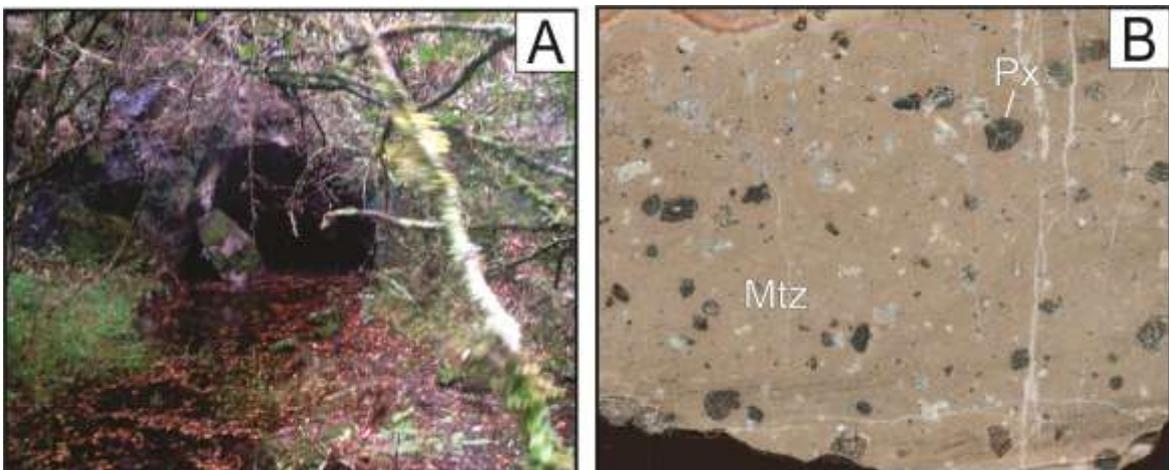


Figura 12: Mina João Dahne. A) Galeria abandonada; B) dique de andesito com fenocristais de piroxênio. Px: piroxênio, Mtz: matriz.

(vi) Mina da Barita: Localizada na parte mais a nordeste da área (UTM: 234707 N - 6600669 E). A mina ocorre a um longo plano de falha (100 m) e o corpo mineralizado tem direção N-NE. A mina tem dimensões de 100x10x20 m com cava inundada e uma pequena galeria de 2x2 m. A rocha mineralizada é um tufo-brecha com clastos de andesito porfirítico, andesito amgdalóide e andesito avermelhado, intensamente alterada para clorita e esmectita (Fig. 13A). Ocorrem veios de barita de milimétrico a algumas dezenas de centímetros. A alteração é intensa, e a barita é abundante. O sulfeto é calcosina e bornita (Fig. 13B), ocorrendo em fraturas e disseminadas pela rocha. A oxidação de sulfetos de cobre geram cristalização de malaquita que preenchem duas fraturas de ~1 m de largura, com direção NW e caimento subvertical. O padrão de faturamento exhibe feições subverticais e algumas horizontalizadas (Fig. 13D). A mineralização e alteração hidrotermal são mais intensas pela intersecção de plano de falhas de direção NE-NW (Fig. 13C).

A Mina da Barita teve a maior extração de cobre na região da Mina do Seival. Em sentido norte, ocorre uma série de escavações ainda não denominadas e com intensa alteração hidrotermal e fraturas preenchidas por clorita, carbonato, barita e malaquita.

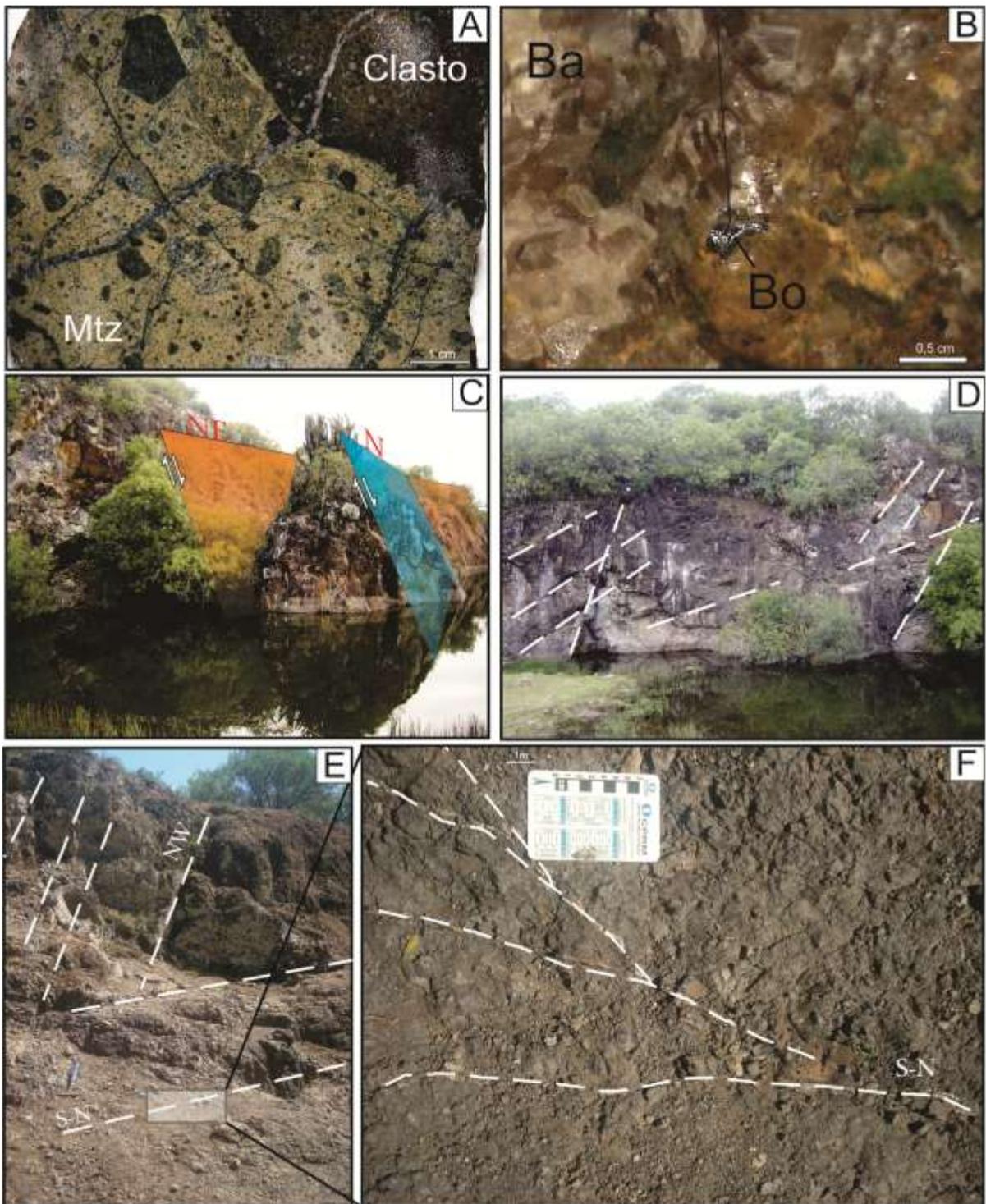


Figura 13: Mina Barita. A) Lapili-tufo com clastos de diferentes composições; B) barita e bornita; C) plano de falha principal com direção NE; D) padrão de faturamento vertical e sub-horizantal; E) padrão de faturamento NW e N-S; F) ramificações do faturamento N-S. Mtz: matriz; Ba: barita; Bo: bornita.

1.6 Discussão integradora

O estudo das sequências vulcânicas na Mina do Seival permitiu sua caracterização geológica, petrográfica e geoquímica. A metodologia utilizada foi trabalhos de campo, petrografia, difratometria de raios X e geoquímica de elementos traços e maiores.

As rochas foram divididas em duas sequências, sendo a Sequência I representada pelas piroclásticas e efusivas e a Sequência II representada pelos diques de andesito que cortam a Sequência I. A caracterização dos argilominerais por difratometria de raios X evidenciou clorita, esmectita e corrensita como produtos de alteração pervasivos nas rochas piroclásticas, enquanto que a clorita e corrensita predominam nos diques de andesito. Portanto, há um predomínio de esmectita nas piroclásticas mais profundas (~ 77 m) e efusivas superficiais, enquanto a clorita altera toda a sequência piroclástica e intrusiva.

Os processos de alteração que abrangem a grande parte das litologias da MS ocorrem devido à porosidade das rochas da sequência explosiva, bem como pela presença de fraturas e falhas. Nestas zonas de ruptura crustal alojam-se as mineralizações principalmente de direções N-NE e NW. O enriquecimento de Cu, Au, Ag nos diques de andesito, sugere que eles são os portadores dos elementos mineralizadores da área (Lopes, 2011). Os teores de Cu tendem a diminuir em relação à profundidade (Reischl, 1978), sendo mais um indicativo da ligação do dique com as mineralizações na região. A ocorrência de dique de lamprófito próximo a mineralizações é um indicativo da influência dessa rocha nas mineralizações, conforme discutidos, na região, por Lima *et al.* (2007) e Müller *et al.* (2012).

A alteração hidrotermal foi dividida em três episódios. A primeira fase da alteração hidrotermal é representada pela esmectita, que possivelmente está relacionada à processos residuais magmáticos na forma fibrosa e cristalina. Está associada com cristobalita, ocorrendo nos interstícios dos grãos, dentro de clastos vulcânicos da brecha. Por vezes, ocorre alterando o material vítreo. Provavelmente trata-se de uma alteração argílica intermediária. A segunda fase é caracterizada pela assembleia mineralógica clorita + epidoto (pistacita) + carbonato (calcita) + sulfeto

(pirita e calcosina) + barita + quartzo + hematita. Essa alteração ocorre tanto pervasiva, num evento de maior temperatura, quanto venular, representada pelos veios de carbonato, clorita e quartzo. Esses veios preenchem fraturas das rochas, onde por vezes ocorre quartzo euédrico preenchido por carbonato com pequenos cristais de calcosina e pirita, geralmente corroídos e disseminados. A alteração nos níveis mais rasos é pervasiva com a total substituição do anfibólio por clorita e carbonato. A terceira fase ocorre nos diques e é caracterizada como propilitização (clorita + epidoto + sulfeto). Ocorre também “sericitização” dos feldspatos. Esse evento é de alta temperatura hidrotermal (200-300° C) indicado pela grande ocorrência de epidoto.

A alteração hidrotermal presente com diferentes intensidades na maior parte das rochas encaixantes da Mina do Seival dificulta o reconhecimento de padrões composicionais, tanto para elementos maiores como traços, que permitam relacioná-las com as séries magmáticas.

A utilização de elementos com baixa mobilidade e a valorização das amostras com menos evidências petrográficas de hidrotermalismo, os traquiandesitos, permite sugerir a afinidade shoshonítica do magmatismo. De acordo com estas evidências, os magmas eram alcalinos saturados em sílica - traquiandesitos - sendo difícil afirmar seu caráter potássico ou shoshonítico. Os padrões muito regulares de ETR e os teores elevados de Sr, apesar da grande variação destes, apontam para a afinidade shoshonítica.

As relações entre os elementos de baixa mobilidade sugerem que todo conjunto de rochas encaixantes da MS é comagmático, enquanto os padrões de elementos traços que se aproximam dos OIB, indicam que as fontes do magmatismo presente na MS foram afetadas por uma subducção prévia. Este conjunto de características petrográficas e geoquímicas, bem como as relações estratigráficas, indicam que as encaixantes da MS podem ser incluídas na Associação Shoshonítica de Lavras do Sul, conforme discutido em Lima & Nardi (1998), Sommer *et al.* (2006) e Liz *et al.* (2009).

Nos diques alterados hidrotermalmente (perda ao fogo < 5%) os teores de elementos incompatíveis, Rb, Ba e Pb, são elevados em relação as piroclásticas (perda ao fogo < 10) que apresentam uma redução destes valores. Já o Ti, Al, Hf, Ta e U comportam-se como elementos imóveis em ambas as litologias. Os teores de Cu, Zn e Ni em relação ao protólito menos afetado pelo processo hidrotermal, nos

diques e piroclásticas, sugerem que as principais ocorrências de mineralização de cobre da MS têm origem magmática.

Os dados químicos de rocha total indicam que o elemento relacionado à Sequência I é o Ni, enquanto que Ag, Au, Cu e Zn estão relacionados à Sequência II. Os teores de Au e Cu são mais elevados nas amostras com menores concentrações de carbonatos, sugerindo que a carbonatação não tem relação com a distribuição desses elementos nas rochas estudadas.

Esse trabalho é uma caracterização geológica, petrográfica e geoquímica destas litologias, e contribui assim para o entendimento dos processos vulcanogênicos e as fontes geradoras das mineralizações da região, bem como a própria evolução do conhecimento geológico.

1.7 Referências

- Allen, R.L. 1996. **Atlas of Alteration. A field and petrographic guide to hydrothermal alteration minerals**; Editors: A.J.B. Thompson and J.F.H. Thompson.
- Almeida, E.F.M. & Hasui, Y. 1984. O Pré-Cambriano do Brasil. São Paulo, Blücher, 378p.
- Barbosa, A.F. & Constantino, W. 1961. A Mineralização de Cobre de Volta Grande e sua Relação com o Granito Lavras, Estado do Rio Grande do Sul. **Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia**, v. 10, pp. 41-47.
- Bongiolo, E.M., Renac, C., Mexias, A.S., Gomes, M.E.B., Ronchid, L.H. & Patrier-Mase, P. 2011. 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**, n° 189, pp. 404– 419.
- Carvalho, P.F. 1932. Reconhecimento Geológico do Estado do Rio Grande do Sul. **Boletim do Serviço Geológico e Mineralógico do Brasil**, pp. 66: 73.
- Cullity, B.D. & Stock, S.R. 2001. **Elements of X-Ray Diffraction**. Upper Saddle River, New Jersey, (Ed.3) 678p.
- Curewitz, D. & Karson, J.A. 1997. Structural Settings of Hydrothermal Outflow: Fracture Permeability Maintained by Fault Propagation and Interaction. **Journal of Volcanology and Geothermal Research**, 79, pp. 149-168.

- Chemale Jr., F. 2000. Evolução Geológica do Escudo Sul-rio-grandense. *In* Holz, M.; De Ros, L. F. **Geologia do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Ed. da Universidade/UFRGS, pp. 13-52.
- Dutra, C.V. & Gomes, C.B. 1984. A Fluorescência de Raios X na Geologia. *In*: Gomes, B. C. **Técnicas Analíticas Instrumentais Aplicadas à Geologia**. São Paulo, pp. 84-120.
- Formoso, M.L.L. Difractometria de Raios X. *In*: Gomes, B. C. 1984. **Técnicas Analíticas Instrumentais Aplicadas à Geologia**. São Paulo, pp. 1-43.
- Gastal, M.C.P., Lafon, J.M., Fonseca, F.J., Magro, F.U.S., Remus, M.V.D., Sommer, 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, pp. 99–113.
- Gastal, M.C., Martil, M.M.D., Bitencourt, M.F.S. & Tomasi, L.C. 2008. Remanescentes de uma Estrutura de Subsidência de Caldeira Neoproterozóica, Lavras do Sul, RS: Parte 2. Petrografia e Mineralogia do Monzodiorito Arroio do Jacques. **IV Simpósio de Vulcanismo e Ambientes Associados**.
- Gomes, B.C. 1984. **Técnicas Analíticas Instrumentais Aplicadas à Geologia**. São Paulo, pp. 159-208.
- Goñi, J.C. 1961. O Rapakivi Lavras-Jazidas Metalíferas Associadas-Lavras do Sul – Rio Grande do Sul (Estudos Preliminares), Brasil. **Boletim da Escola de Geologia de Porto Alegre**, 7, 107p.
- Hartmann, L.A; Chemale, Jr.F. & Philipp, R.P. 2007. Evolução Geotectônica do Rio Grande do Sul no Pré-Cambriano. *In*: Iannuzzi, R & Frantz, J. C. **Geologia do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre. pp. 99-123.
- Janikian, L.; Almeida, R.P.; Fragoso-Cesar, A.R.S. & Fambrini, G.L. 2003. Redefinição do Grupo Bom Jardim (Neoproterozóico III) em sua área-tipo: litoestratigrafia, evolução paleoambiental e contexto tectônico. **Revista Brasileira de Geociências**, 33, pp. 349-362.
- Janikian, L., Almeida, R.P., Trindade, R.I.F., Fragoso-Cesar, A.R.S., D'Agrella-Filho, M.S., Dantas, E.L. & Tohver, E. 2008. The continental record of Ediacaran volcano-sedimentary successions in southern Brazil and their global implications. **Terra Nova**. 20, pp. 259–266.
- Kaul, P.F.T. & Zir Filho, J.A. 1974. Mineralizações Auríferas de Lavras do Sul, Tipos, Controle Tectônico, Aspectos Genéticos e Guias para a Localização de Novos Corpos Mineralizados. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 27., 1974, Porto Alegre, RS. **Anais...** Porto Alegre, RS, SBG. p. 115-130.

- Le Maitre, R.W. 1989. A classification of igneous rocks and glossary of terms: recommendations of the Internacional Union of Geological Sciences Subcommission of the Systematics of Igneous Rocks. Oxford, Blackwell Scientific Publications, 193p.
- Le Maitre, R.W. (editor), A. Streckeisen, B. Zanettin, M.J. Le Bas, B. Bonin, P. Bateman, G. Bellieni, A. Dudek, S. Efremova, J. Keller, J. Lamiere, P.A. Sabine, R. Schmid, H. Sørensen & A.R. Wooley. (2^a ed). 2002. **Igneous Rocks: IUGS Classification and glossary: recommendations of the International Union of Geological Sciences, Subcommission on the Systematics of Igneous Rocks**. Cambridge, Cambridge University Press, 236p.
- Lima, E.F. 1985. **Petroquímica e Prospecção Litogeoquímica da Área da Merita, Região de Volta Grande, Lavras do Sul, RS**. Porto Alegre. 187p. Dissertação de Mestrado em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Lima, E.F. 1995. **Petrologia das Rochas Vulcânicas e Hipabissais da Associação Shoshonítica de Lavras do Sul – ASLS, RS**. Porto Alegre, 338p. Tese de Doutorado, Programa de Pós-graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Lima, E.F. & Nardi, L.V.S. 1998. The Lavras do Sul shoshonitic association: implications for origin and evolution of eoproterozoic shoshonitic magmatism in southernmost Brazil. **Journal of South American Earth Science**, 11(1), pp. 67-77.
- Lima, E.F.L.; Sommer, C.A. & Nardi, L.V.S. 2007. O vulcanismo Neoproterozóico-Ordoviciano no escudo sul-riograndense: os ciclos vulcânicos da Bacia do Camaquã. *In*: Iannuzzi, R.; Frantz, J. C. (Eds). **50 anos de Geologia: Instituto de Geociências. Contribuições**. Porto Alegre: Comunicação e Identidade, pp. 79-97.
- Lima, E.F., Nardi, L.V.S. & Sommer, C.A. 2007. Lamprófiros espessartíticos da Associação Shoshonítica de Lavras do Sul-RS: litoquímica e química mineral. *In*: Iannuzzi, R.; Frantz, J. C. (Eds). **50 anos de Geologia: Instituto de Geociências. Contribuições**. Porto Alegre: Comunicação e Identidade, pp. 43-57.
- Liz, J.D., Lima, E.F. & Nardi, L.V.S. 2009. Avaliação de fontes magmáticas de séries shoshoníticas pós-colisionais com base na normalização pela Associação Shoshonítica de Lavras do Sul – aplicação de Sliding Normalization. **Revista Brasileira de Geociências**, 39 (1), pp. 55-66.
- Lopes, R.W. 2011. **Alteração hidrotermal e mineralizações de cobre na Mina do Seival, Bacia do Camaquã, RS**. 90p. Monografia de Conclusão de Curso, Curso de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

- Matté, V., Sommer, C.A., Lima, E.F., Saldanha, D.L., Pinheiro-Sommer, J.A. & Liz, J.D. 2012. Rochas dioríticas do Platô da Ramada, Rio Grande do Sul, e sua relação com o vulcanismo alcalino da Formação Acampamento Velho, Neoproterozoico do Escudo Sul-Rio-Grandense. **Revista Brasileira de Geociências**, 42 (2), pp. 343-36.
- McPhie, J. 1993 - **Volcanic Textures - A guide to the interpretation of textures in volcanic rocks - University of Tasmania**. Centre for Ore Deposit and Exploration Studies. IV.
- Mexias, A.S., Formoso, M.L.L., Meunier, A. & Beaufort, D. 1990a. Composition and Crystallization of Corrensite in Volcanic and Piroclastic Rocks of Hilario Formation (RS) Brasil. **Sciences Geologiques**, 88, pp. 135-143.
- Mexias, A.S., Formoso, M.L.L., Meunier, A. & Beaufort, D. 1990b. Considerações Sobre o Hidrotermalismo das Rochas Vulcanoclásticas da Região de Volta Grande - Lavras do Sul/RS. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 36., 1990, Natal, RN. **Anais...** Natal, RN, SBG. p.10.
- Mexias, A.S., Gomes, M.E.B., Formoso, M.L.L., Meunier, A. & Beaufort, D. 1993. Estudo Geoquímico da Alteração Potássica e Propilítica Relacionada ao Metamorfismo de Contato do Sistema Hidrotermal Fóssil de Volta Grande - Lavras do Sul/RS. **Memórias**, 3, pp.121-126.
- Mexias, A.S., Bongioiolo, E.M., Gomes, M.E.B., Formoso, M.L.L. & Frantz, J.C. 2007. Alterações hidrotermais e mineralizações nas rochas da Associação Plutono-Vulcano-Sedimentar da região de Lavras do Sul-RS. In: Ianuzzi, R., Frantz, J.C. (eds.). **50 Anos de Geologia: Instituto de Geologia. Contribuições**. Porto Alegre, Ed. Comunicação e Identidade, pp. 143-159.
- Müller, I.F., Nardi, L.V.S., Lima, E.F. & Mexias, A.S. 2012. Os diques latílicos portadores de ouro e sulfetos da Associação Shoshonítica de Lavras do Sul – RS: Petrogênese e Geoquímica. **Revista Pesquisas em Geociências**, 39 (2), pp. 173-191.
- Nardi, V.S.N. & Lima, E.F. 1985. A Associação Shoshonítica de Lavras do Sul, RS. **Revista Brasileira de Geociências**, 15, pp. 139-146.
- Nardi, L.V.S. & Lima, E.F. 2000. Magmatismo Shoshonítico e Alcalina da Bacia do Camaquã. In: Holz, M & De Ros, L.F. (Ed). **Geologia do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, CIGO/UFRGS, pp. 119-131.
- Paim, P.S.G., Chemale Jr., F. & Lopes, R. C. 2000. A Bacia do Camaquã. In HOLZ, M., DE ROS, L. F. (Ed.). **Geologia do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Ed. da Universidade/UFRGS, pp. 231-374.
- Reischl, J. L. 1978. Mineralizações cupríferas associadas a vulcânicas na Mina do Seival. In: XXXI CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 1980, Camboriú. **Anais. vol. 4**. Sociedade Brasileira de Geologia, SBG, Balneário de Camboriú, pp. 1568–1582.

- Ribeiro, M., Bocchi, P.A., Figueiredo F.P.M. & Tessari, R.I. 1966. Geologia da Quadrícula de Caçapava do Sul, Rs. **Boletim da Divisão de Fomento da Produção Mineral**. DNPM, 127, pp. 1-232.
- Ribeiro, M. & Fantinel, L.M. 1978. Associações petrotectônicas do Escudo Sul-Riograndense: I Tabulação e distribuição das associações petrotectônicas do Escudo do Rio Grande do Sul. **Inheringia Serviço Geológico**, 5, pp. 19–54.
- Rigo, D.A. 2009. **Caracterização de rochas lamprofíricas hidrotermalizadas associadas aos filões aurocupríferos nas minas Volta Grande e Cerro Rico – Distrito Aurífero de Lavras do Sul**. Porto Alegre, 82p. Monografia de Conclusão de Curso, Curso de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Sommer, C.A., Lima, E.F., Nardi, L.V.S., Liz, J.D. & Pierosan, R. 2003. Depósitos de fluxo piroclástico primários: caracterização e estudo de um caso no vulcanismo ácido neoproterozóico do Escudo Sul-Rio-grandense. **Pesquisas em Geociências**, 30(1), pp. 3-26.
- Sommer, C.A., Lima, E.F., Nardi, L.V.S., Liz, J.D. & Waichel, B.L. 2006. The evolution of Neoproterozoic magmatism in southernmost Brazil: shoshonitic, high-K tholeiitic and silica-saturated, sodic, alkaline volcanism in post-collisional basins. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, 78(3), pp. 573-589.
- Teixeira, E.A. 1937. DNPM. O Cobre no Rio Grande do Sul. **Boletim da Divisão de Fomento a Produção Mineral**. DNPM, 29p.
- Teixeira, E.A. 1941. DNPM. Generalidades sobre o Cobre no Rio Grande do Sul. **Boletim da Divisão de Fomento a Produção Mineral**. DNPM, 36p.
- Wildner, W., Lima, E.F., Nardi, L.V.S. & Sommer, C.A. 2002. Volcanic cycles and setting in the Neoproterozoic III to Ordovician Camaquã Basin succession in southern Brazil: characteristics of post-collisional magmatism. pp. 261-283.
- Wildner, W., Ramgrab, G.E., Lopes, R.C. & Iglesias, C.M.F. 2008. **Mapa Geológico do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: CPRM, 2008, 1 mapa, col. Escala 1:750.000. 1 CD-ROM.

Artigo Revista Pesquisas em Geociências

Caracterização petrográfica e geoquímica da sequência magmática da Mina do Seival, Formação Hilário (Bacia do Camaquã – Neoproterozóico), Rio Grande do Sul, Brasil

Rodrigo W. LOPES^{*1}; Eduardo FONTANA¹⁻²; André S. MEXIAS¹; Márcia E.B. GOMES¹; Lauro V.S. NARDI¹; Christophe RENAC²

¹ - UFRGS - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Av. Bento Gonçalves 9500 - Agronomia, Porto Alegre, RS - CEP 91501-970 - Caixa-Postal: 15001- Brasil. E-mail*: rodrigowinck@yahoo.com.br; E-mail: fontanageo@gmail.com; E-mail: andre.mexias@ufrgs.br; E-mail: marcia.boscato@ufrgs.br; E-mail: lauro.nardi@ufrgs.br.

² - UNICE – Géoazur, Université de Nice Sophia-Antipolis, CNRS, IRD, Observatoire de la Côte d'Azur, 250 rue A. Einstein, F-06560, Sophia Antipolis, FR. E-mail: christophe.renac@unice.fr.

Resumo

A Mina do Seival é constituída por rochas vulcânicas e diques de composição andesítica e traqui-andesítica, divididas em duas sequências. A sequência I é composta por rochas piroclásticas e efusivas, e a sequência II é representada pelos diques de composição andesítica. Ambas são incluídas na Associação Shoshonítica de Lavras do Sul. Este magmatismo é relacionado ao estágio pós-colisional do ciclo Brasileiro-Pan-Africano, situando-se estratigraficamente no alogrupo Bom Jardim, pertencendo à Formação Hilário na Bacia do Camaquã (Neoproterozóico). A área possui intensa alteração hidrotermal e mineralizações de Cu. Depósitos de cobre nessa região foram responsáveis por grande parte da produção desse minério no Brasil, sendo a Mina do Seival uma das mais importantes no Rio Grande do Sul e explorada principalmente na primeira metade do século XX. Campanhas de sondagens realizadas pela CBC, no ano de 1978, foram incluídas no presente trabalho bem como a amostragem resultante das campanhas de mapeamento geológico. A tectônica do estágio pós-colisional controla o posicionamento e geração da mineralização através de estruturas rúpteis com direção N/NE, SW e distensão regional. A composição de rocha total e identificação dos minerais de alteração foram obtidas através de análises de elementos maiores, menores, traços e difração de raios X. Processos hidrotermais envolvendo diferentes temperaturas atuaram sobre estas rochas originando produtos de alteração pervasiva, principalmente clorita, corrensitita e esmectita, com veios preenchidos por quartzo, carbonato, barita e minerais de cobre. Em ambas as sequências da Mina do Seival é possível identificar a afinidade shoshonítica das rochas. Os teores de Cu, Zn e Ni em relação ao protólito menos afetado pelo processo hidrotermal, nos diques e piroclásticas, sugerem que as principais ocorrências de mineralização de cobre têm origem magmática. Os dados químicos de rocha total indicam que o enriquecimento dos elementos componentes da mineralização, Ag, Au, Cu e Zn, está relacionado aos diques da Sequência II. Os teores de Au e Cu são mais elevados nas amostras com menores concentrações de carbonatos, sugerindo que a carbonatação não tem

relação com a deposição dos minérios. O estudo petrogenético contribui para a geração de um modelo evolutivo dos processos de alteração hidrotermal possibilitando o entendimento da geologia regional e das mineralizações da Bacia do Camaquã.

Palavras-chave: Mina do Seival, Alteração hidrotermal, Petrografia, magmatismo shoshonítico, depósitos de cobre, Geoquímica, Bacia do Camaquã.

Abstract

The Seival Mine consists of andesitic volcanic and trachy-andesitic volcanic and hipabissal rocks grouped into two volcanic sequences. The Sequence I is composed of pyroclastic rocks and effusive rocks, and sequence II of represented by andesite dikes. The area has intense hydrothermal alteration and Cu mineralization. This magmatism is related to the post-collisional stage of the cycle Brasiliano Pan-African alogrupo, stratigraphically positioned in the in Bom Jardim allogroup, belonging to Hilario Formation, in the Neoproterozoic Camaquã Basin. The region has been responsible for much of copper ore production in Brazil, in the Seival Mine is the most important in the *Rio Grande do Sul* state and operated mainly in the first half of the twentieth century. Campaigns polls conducted by CBC were made in 1978, these samples were included in this study and the resulting sample of basic geological mapping campaigns. The tectonics of the post-collisional stage positioning controls the generation of magmatism and mineralization along brittle structures with N/NE, NW orientation and regional extension. The composition of whole rock and identification of alteration minerals were obtained through analysis of major, minor, trace elements and X ray diffraction. Processes involving different temperatures acted on these rocks causing pervasive alteration products, with generation of chlorite, corrensite and smectite, with veins filled by quartz, carbonate, barite and copper minerals. In both sequences of Seival Mine is possible to identify the shoshonitic affinity rocks due to pointed out by geochemical data. The Cu, Zn and Ni contents in relative to the rocks protolith less affected by the hydrothermal process, mainly the dykes and breccias, suggest that the main occurrences of copper mineralization have magmatic origin. The petrogenetic study contributes to the generation of an evolutionary model of hydrothermal alteration allowing for better understanding of the regional geology and mineralization Camaquã Basin.

Keywords: Seival Mine, Hydrothermal alteration, Shoshonitic magmatism, Petrography, Copper deposits, Geochemistry, Camaquã Basin.

1. Introdução

O magmatismo da Bacia do Camaquã (BC) é uma das mais importantes manifestações geológicas do período pós-colisional na região sul do Brasil. O entendimento

de suas fontes e de seus diferentes ciclos vulcânicos favorece a compreensão dos processos geradores dos principais depósitos de minério nessa região do Brasil.

Na região entre Caçapava do Sul e Lavras do Sul – RS, a principal atividade econômica do início do século XX foi a mineração de Au, Cu, Pb, Zn. A Mina do Seival (MS) foi responsável por uma grande parte da produção de cobre no sul do Brasil. Esse minério foi lavrado de diversas formas, como minas, trincheiras e escavações. Sua gênese e posicionamento estratigráfico foram muito pouco investigados, sendo os estudos pretéritos de caráter descritivo. Atualmente a reserva encontra-se em exaustão econômica devido ao alto teor de cobre oxidado.

A evolução do sistema magmático que originou as rochas da MS foi responsável pelo empilhamento de sequências efusivas e piroclásticas e diques associados. Estas rochas são incluídas na Formação Hilário (FH) definida por Ribeiro & Fantinel (1978) ou Aloformação Hilário senso Paim *et al.* (2000), inclusa no grupo Bom Jardim. A sequência efusiva e piroclástica é intrudida posteriormente por diques de espessura métrica a decamétrica de composição andesítica e provavelmente lamprofírica. O posicionamento dos diques ocorreu em fraturas de direção N – NE resultantes dos estágios rúpteis de distensão regional. Na MS as rochas piroclásticas de fluxo e queda, e as efusivas foram classificadas como Sequência I e os diques de andesito como Sequência II. A norte da área estudada, a Formação Hilário é constituída predominantemente por lavas andesíticas (Lima, 1995) mais que em relação às rochas piroclásticas da MS.

Os processos de alteração que atingem a grande parte das litologias da MS são favorecidas pela porosidade das rochas da sequência explosiva, bem como pela presença de fraturas e falhas. Nestas zonas de ruptura crustal alojam-se as mineralizações principalmente ao longo de direções N-NE e NW. O enriquecimento de Cu, Au, Ag nos diques de andesito, sugere que eles são os portadores dos elementos mineralizadores da área (Lopes, 2011). Os teores de Cu tendem a diminuir com o aumento da profundidade (Reischl, 1978), sendo mais um indicativo da ligação dos diques com as mineralizações na região.

Esse trabalho consta na caracterização geológica, petrográfica e geoquímica destas litologias, contribuindo assim para o entendimento dos processos magmáticos e hidrotermais, bem como vulcanogênicos e da formação das fontes geradoras das mineralizações da região, além de contribuir para a própria evolução do conhecimento geológico.

2. Geologia Regional

No estado do Rio Grande do Sul, o setor meridional da Província Mantiqueira (Almeida & Hasui, 1984) recebe a denominação de Escudo Sul-rio-grandense (ESRG). Essa província se alonga do sul da Bahia até o Uruguai, e é resultado da orogenia que promoveu a colagem de terrenos Neoproterozóicos, dando origem ao Paleocôntinente Gondwana Ocidental. O ESRG foi compartimentado em termos tectônicos em quatro unidades, segundo Chemale (2000), sendo elas o Bloco Taquarembó, os Cinturões Vila Nova, Tijucas e o Batólito Pelotas (Fig. 1A).

A região de Lavras do Sul é constituída por um embasamento de metaultramafitos, metagranitóides e xistos (Complexo Cambaí) que é parcialmente coberto por rochas sedimentares do Alogrupo Marica, nas áreas de ocorrência da BC (Lima & Nardi, 1998). Este conjunto foi posteriormente sobreposto e intrudido por rochas da Associação Shoshonítica de Lavras do Sul (ASLS), definida por Nardi & Lima (1985). Granitóides e vulcanitos ácidos e básicos, de afinidade alcalina sódica saturada em sílica, e rochas sedimentares do Alogrupo Santa Bárbara sucedem esta associação (Fig. 1B).

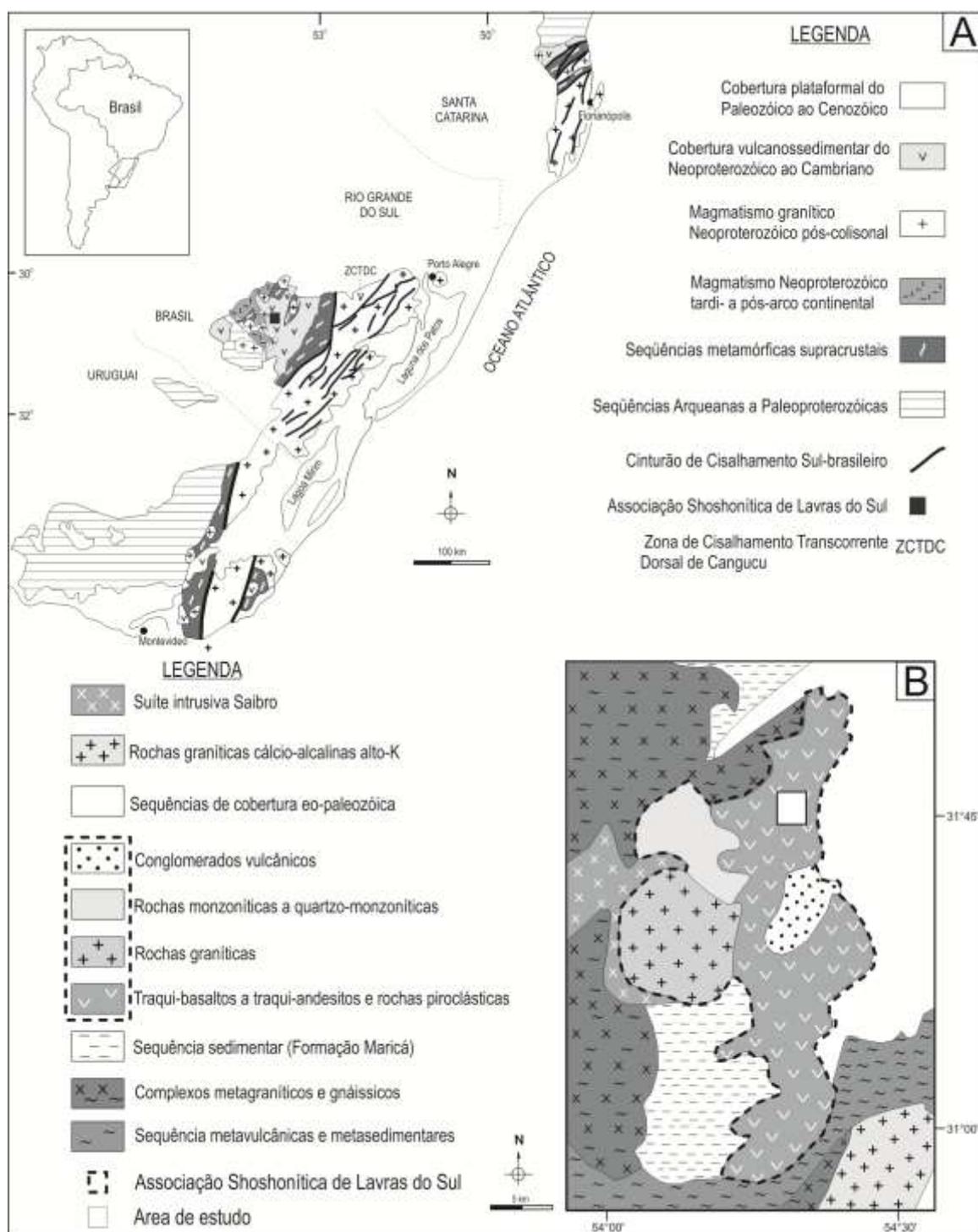


Figura 1: A) Principais domínios geotectônicos do segmento meridional da Província Mantiqueira (modificado de Nardi & Bitencourt, 2007); B) Mapa geológico da Associação Shoshonítica de Lavras do Sul e localização da área de estudo (modificado de Lima & Nardi, 1998).

2.1 Geologia da Bacia do Camaquã

No estágio pós-colisional do ESRG, desenvolveram-se extensas bacias vulcano-sedimentares, com muitos termos vulcânicos e vulcanoclásticos alcalinos sódicos e menos frequentes shoshoníticos, com idades neoproterozóicas. A evolução dessas bacias, constituintes do sistema Camaquã (Paim *et al.*, 2000) está ligada a transcorrência dos terrenos e à sistemas deposicionais predominantemente continentais.

A BC é considerada uma bacia do tipo *strike-slip* (Lima *et al.*, 2007) formada nos estágios pós-colisionais do ciclo orogênico Brasileiro/Pan-Africano, com vários episódios magmáticos do Neoproterozóico ao Ordoviciano, que ocorrem intercalados com rochas sedimentares. Este ambiente geotectônico é resultado da colisão dos continentes responsável pela formação do Supercontinente Gondwana em um período de pós-orogênese. No período pós-colisional, a transcorrência e rifteamento dos blocos foram responsáveis pelo magmatismo e formação da bacia, e explica o seu amplo intervalo de tempo 650?-470 Ma (Chemale, 2000). O Sistema de Bacias Camaquã pode ser interpretado como um locus deposicional no qual ocorreu a superposição de diversos tipos de bacias que foram individualizadas em termos tectônicos, termo-mecânicos e geocronológicos, apresentando registros litológicos próprios e mecanismos de subsidência distintos (Paim *et al.*, 2000). Em termos de evolução geológica, esta bacia foi caracterizada pela alternância de intervalos onde dominaram eventos deposicionais, com o acúmulo de espessos pacotes sedimentares e vulcano-sedimentares e intervalos predominantemente erosionais (Lima *et al.*, 2007).

O primeiro ciclo vulcânico, até agora reconhecido da BC é correlacionável à Formação Hilário. Esse vulcanismo tem composição basáltica a riolítica, e afinidade geoquímica shoshonítica (Lima & Nardi, 1998). O segundo ciclo é incluído na Formação Acampamento Velho, de afinidade alcalina saturada em sílica ou moderadamente alcalina sódica (Wildner *et al.*, 1999; Matté *et al.*, 2012), tendo uma composição intermediária a ácida. As rochas do Grupo Rodeio Velho predominantemente básicas de afinidade toleítica,

representam o último ciclo vulcânico da BC, pertencentes ao Alogrupo Guaritas, com composição básica, associadas ao estágio de rifteamento da bacia (Lima *et al.*, 2007).

Na região da Mina Volta Grande, localizada a oeste da Mina do Seival, a caracterização geoquímica das lavas intermediárias e dos tufos de cristal associados, sugeriu condições subaéreas e a afinidade shoshonítica do vulcanismo (Lima, 1985). Em direção nordeste, próximo às cidades de São Sepé e Caçapava do Sul, essa formação exhibe afinidade cálcico-alcálica alto K e evoluíram em direção a Lavras do Sul, para as shoshoníticas. Nas proximidades de Caçapava do Sul, a nordeste da área estudada, as rochas da FH interdigitam-se e são gradacionalmente substituídas volumetricamente por conglomerados aluviais ricos em clastos vulcânicos de composição básica a intermediária. Sua porção mais distal é composta por arenitos e siltitos relacionados a fluxos turbidíticos em porções subaquáticas de sistemas deltaicos (Paim *et al.*, 2000).

2.2 A Associação Shoshonítica de Lavras do Sul

A ASLS de idade neoproterozóica apresenta características de um magmatismo pós-colisional relacionando aos estágios finais da Orogenia Brasileira, conforme discutido em Lima & Nardi (1998), Sommer *et al.* (2006) e Liz *et al.* (2009). Localizada no cinturão Vila Nova possui na base traqui-basaltos potássicos, sucedidos por quatro ciclos efusivos shoshoníticos, além de depósitos piroclásticos de queda e fluxo (Lima, 1995). As rochas de composição andesítica da ASLS constituem a sequência denominada Formação Hilário (Ribeiro & Fantinel, 1978) ou Aloformação Hilário (Paim *et al.*, 2000), Grupo Bom Jardim (Fig. 2). A sudoeste da área da Mina do Seival, são abundantes intrusões monzoníticas rasas, intrusões de diques traquiandesíticos à riolíticos e lamprófiros espessartíticos (Liz *et al.*, 2009; Müller *et al.*, 2012). A fração plutônica da ASLS é representada pelo núcleo do Complexo Granítico de Lavras do Sul (CGLS), definido por Nardi (1984).

As rochas vulcânicas são interestratificadas por uma sequência vulcanoclástica, incluindo tufos soldados. Esta sucessão é interpretada como produto de atividade vulcânica

em ambiente subaéreo, possivelmente próximo a centros vulcânicos (Janikian *et al.*, 2003). Ocorrem em toda a parte leste da ASLS possui maior exposição na região. A presença de expressivos depósitos efusivos aliados a uma fração piroclástica de fluxo de natureza traquiandesítica a riolítica (Lima, 1995), especialmente na porção sudeste da CGLS, permite sugerir uma extração gradativa do magma responsável pela geração de um sistema de caldeira.

As intrusões monzoníticas rasas concentram-se principalmente na borda nordeste do CGLS, definindo um padrão geométrico semicircular, semelhante ao encontrado em terrenos vulcânicos associados a caldeiras, conforme sugerido por Lima (1995) e Gastal *et al.* (2008). As intrusões são posicionadas em condições epizonais, e incorporando grande quantidade de xenólitos do pacote de vulcanoclásticas basculadas durante o evento de subsidência de caldeira. Temporalmente vinculados aos monzonitos hipabissais ocorrem os diques riolíticos de espessuras decamétricas e as últimas manifestações efusivas intermediárias. Composições latíticas estão representadas por diques decamétricos com direção NW-SE na porção nordeste de Lavras do Sul.

As rochas graníticas do CGLS representam o magmatismo plutônico para essa associação e são caracterizados pela zonação inversa de fácies. No núcleo é definido como fácies central. A região de exposição da ASLS sofreu um basculamento com as camadas caindo para leste e explicando sua ausência na parte oeste da região, conforme discutido por Mexias *et al.* (2007) e Bongioiolo *et al.* (2011).

A sequência vulcânica foi datada por Janikian *et al.* (2008) pelo método Ar/Ar em plagioclásios de andesitos que ocorrem a leste do CGLS, obtendo idade de 590 ± 6 Ma, para o ciclo vulcânico da base, e 586 ± 8 Ma e 588 ± 7 Ma para a sequência efusiva superior.

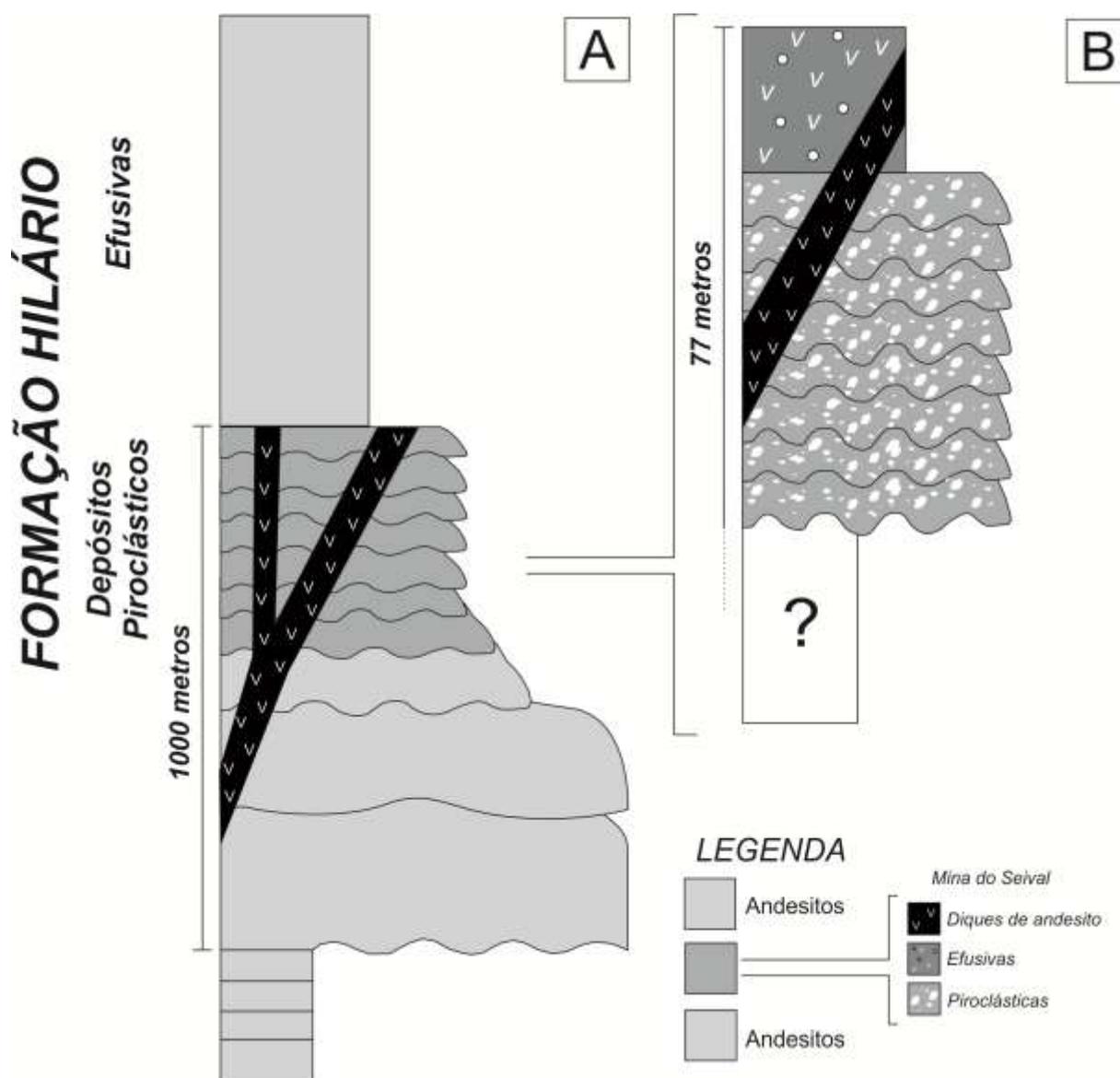


Figura 2: Coluna estratigráfica simplificada: A) Bacia do Camaquã, Formação Hilário (modificado de Janikian *et al.*, 2008); B) representação esquemática do furo SV 78 11 na Mina do Seival.

3. Materiais e métodos

A análise petrográfica foi realizada em amostras coletadas nos trabalhos de campo em superfície e de testemunhos de sondagem, através da análise das lâminas ao microscópio óptico e lupa binocular. As interpretações foram complementadas com o reconhecimento de alguns minerais com a difração de raios X. A etapa de microscopia envolveu a descrição de cerca de 50 lâminas delgadas. Foram descritos um total de 6 furos

de sondagem da região da Mina do Seival. Os furos de sondagem descritos foram: Linha 800: SV 78-11, SV 78-01; Linha 700: SV 78-15, SV 78-16; Linha 900: SV 78-18 e SV 78-09.

A difratometria de raios X (DRX) foi utilizada para análise mineralógica e determinação de espécies de argilominerais e seus politipos, em cada um dos ambientes selecionados a partir da petrografia.

O equipamento utilizado é um difratômetro SIEMENS BRUKER AXS Modelo D5000 com goniômetro θ - θ . A radiação é $K\alpha$ em tubo de Cobre nas condições de 40 kV e 25 mA, no Laboratório de Difratometria de Raios X do CPGq-IG-UFRGS. A velocidade e o intervalo de varredura do goniômetro para cada tipo de análise são as seguintes: amostra em pó: 1 segundo para $0,02^\circ$ de degrau do goniômetro de 2° a $72^\circ 2\theta$; amostra orientada natural: 2 segundos para $0,02^\circ$ de degrau do goniômetro de 2° a $28^\circ 2\theta$; amostra orientada glicolada: 3 segundos para $0,02^\circ$ de degrau do goniômetro de 2° a $28^\circ 2\theta$; e para politipos: 5 segundos para $0,02^\circ$ de degrau do goniômetro de 31° a $53^\circ 2\theta$.

Os minerais e/ou fases cristalinas são identificados através da medida das distâncias interplanares e das intensidades relativas dos picos nos difratogramas. Os minerais identificados, na análise total, apresentam-se comparados com padrões do banco de dados do computador (JCPDS) e indicado/referenciado sobre o pico mais importante e diagnóstico do mineral. As análises são interpretadas através do programa DIFFRAC PLUS onde os picos são indexados no difratograma.

As determinações de elementos maiores e traços foram realizados em 15 amostras representativas da MS, procurando abranger os diferentes tipos texturais e composicionais, com objetivo de classificar as rochas vulcânicas em relação às séries magmáticas e investigar sua gênese. As sequências vulcânicas da MS foram agrupadas em função da perda ao fogo (LOI). Para a realização deste estudo, as amostras foram preparadas no Anexo do Laboratório de Geologia Isotópica do IG/UFRGS e enviadas para análise de elementos maiores menores e traço no *Activation Laboratories Ltd.*, Ontario, Canadá, através de *fusion inductively coupled plasma emission spectrometry* (FUSICP-ES) e *fusion inductively coupled plasma mass spectrometry* (FUS-ICP-MS) (Tab. 1).

4. Resultados

4.1 Geologia da Mina do Seival

A área de estudo, denominada Mina do Seival, está situada a 324 km de Porto Alegre pela rodovia BR 290. A localidade está entre os limites municipais de Caçapava do Sul e Lavras do Sul, inserida na carta topográfica do Serviço Geológico do Exército, Folha Arroio América (SH.22-Y-A-IV-1, 1975), em escala de 1:50000, entre as coordenadas planas (UTM) 6604000-6596000m N e 232000-236000m E, sendo mapeada uma área com cerca de 30 Km² em escala 1:10000.

A MS é composta por seis minas e pequenas ocorrências de cobre (Reischl, 1978) e possuem estruturação regional preferencialmente N-NE, e por vezes NW. As minas são: (i) Alcides; (ii) ocorrência Vila do Torrão; (iii) Cruzeta, (iv) Meio; (v) Morcego; (vi) João Dahne; (vii) Barita (Fig. 3).

As rochas piroclásticas e efusivas, compostas por tufo-lapilitos e tufo-brechas, assim como o andesito amigdalóide fazem parte da Sequência I, enquanto os diques de andesito pertencem a Sequência II. A sequência I possui na base rochas piroclásticas, predominantes na área, e andesito amigdalóide no topo da sequência I, sendo intrudidas pelos diques de andesito da sequência II, pertencentes à FH. Na parte leste, sobreposta a FH, ocorrem conglomerados polimíticos e andesitos vesiculados da Formação Santa Bárbara (Wildner *et al.*, 2008).

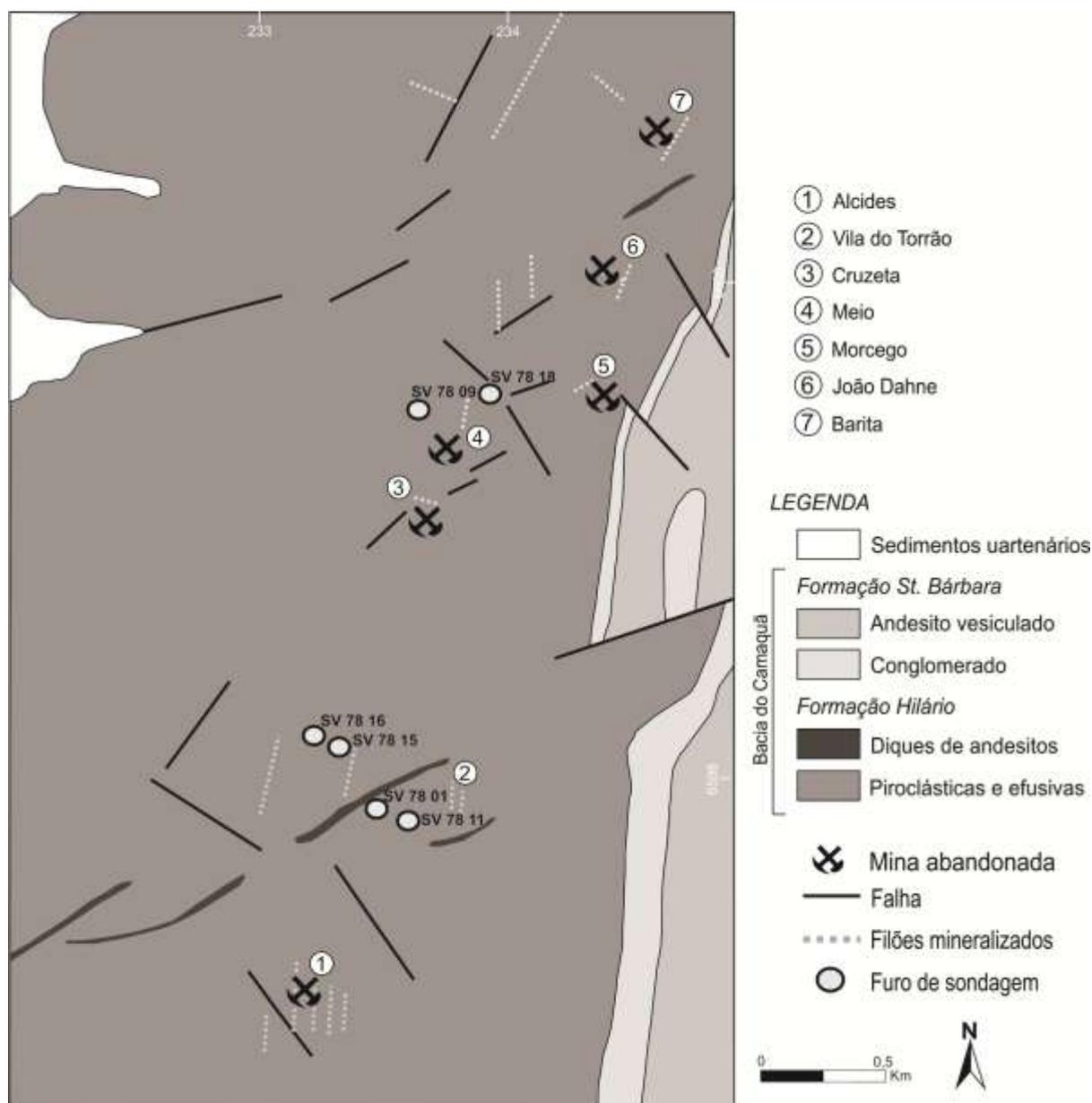


Figura 3: Mapa geológico e ocorrências na Mina do Seival (adaptado de Reischl, 1978; Lopes, 2011).

4.2 Petrografia

4.2.1 Sequência I

As rochas vulcânicas explosivas foram classificadas com base na granulometria (Fisher, 1966) em tufo-lapili e tufo-brecha (Fig. 4B). São compostos por clastos de diferentes composições (andesito porfírico, andesito amigdalóide, andesito avermelhado, rochas

piroclásticas) e possuem formas diversas, desde arredondadas a angulosas, geralmente com bordas curvilíneas. A matriz da rocha piroclástica é um tufo grosso (0,05 a 0,12 mm) composto por cristaloclastos de plagioclásio, quartzo, matriz vítrea microcristalina e material opaco (Fig. 4C).

Os argilominerais predominantes são clorita, esmectita, corrensita e ocorrem como produto de alteração dos clastos, da matriz e preenchendo cavidades. A clorita ocorre como produto de alteração da matriz da rocha, em veios preenchendo fraturas milimétricas e substituindo minerais como biotita. Associado a clorita ocorre epidoto (pistacita) na matriz da rocha e disseminado pelos clastos, com forma anédrica e intersticial. Os grãos de plagioclásio mostram intensa sericitização. A esmectita e corrensita foram determinadas com auxílio da DRX e ocorrem preferencialmente na matriz e substituindo os minerais máficos.

Os carbonatos são calcitas, caracterizados por DRX, e ocorrem principalmente nos veios e na matriz das rochas e substituindo os minerais principais. São mais abundantes nas proximidades dos diques de andesito. A geração dos veios espessos (0,1 a 0,5 cm) de carbonato. Em alguns casos, a parede desses veios de carbonato é recoberta por quartzo euédrico (Fig. 4F).

A alteração pervasiva transforma a grande maioria dos minerais máficos e subordinadamente os feldspatos que ocorrem na matriz e clastos. O anfibólio e piroxênio aparecem quase que totalmente substituídos por clorita, carbonato e hematita.

Os sulfetos são calcosina, pirita, calcopirita e bornita, frequentemente associados à malaquita. Localizam-se em zona de fratura ou falha, onde se concentram as mineralizações e também ocorrem de maneira disseminada a partir das fraturas ou como pequenos grãos disseminados na rocha. A barita ocorre preenchendo fraturas de espessuras centimétricas e sob a forma de cristais tabulares geminados, localmente alterados. Malaquita, azurita e hematita estão presentes como resultado do intenso intemperismo e ocorrem preferencialmente nas amostras de superfície.

No topo da sequencia vulcânica, principalmente a sul da região, próximo à Mina Alcides e do contato com a Formação Santa Bárbara, ocorre andesito amigdalóide.

Os andesitos amigdalóides possuem fenocristais de plagioclásio subédricos (0,1 a 0,5 mm), piroxênios arredondados (0,1 a 0,5 mm) e pseudomorfos de anfibólios. A matriz possui plagioclásios orientados com textura traquítica e os pseudomorfos de anfibólios ocorrem com maior frequência em relação às rochas piroclásticas. As amígdalas tem cerca de 0,5 a 1,0 mm e aparentam orientação por fluxo (Fig. 4D), e por vezes coalescência, com formas achatadas a arredondadas. São preenchidas por clorita-calcita, clorita-esmectita, clorita-esmectita-calcita (Fig. 4E) ou clorita-quartzo.

A rocha mostra intensa alteração hidrotermal e a clorita ocorre substituindo minerais primários, a matriz microcristalina, ou na borda de amígdalas e cavidades. A malaquita e hematita estão presentes como produtos supergênicos.

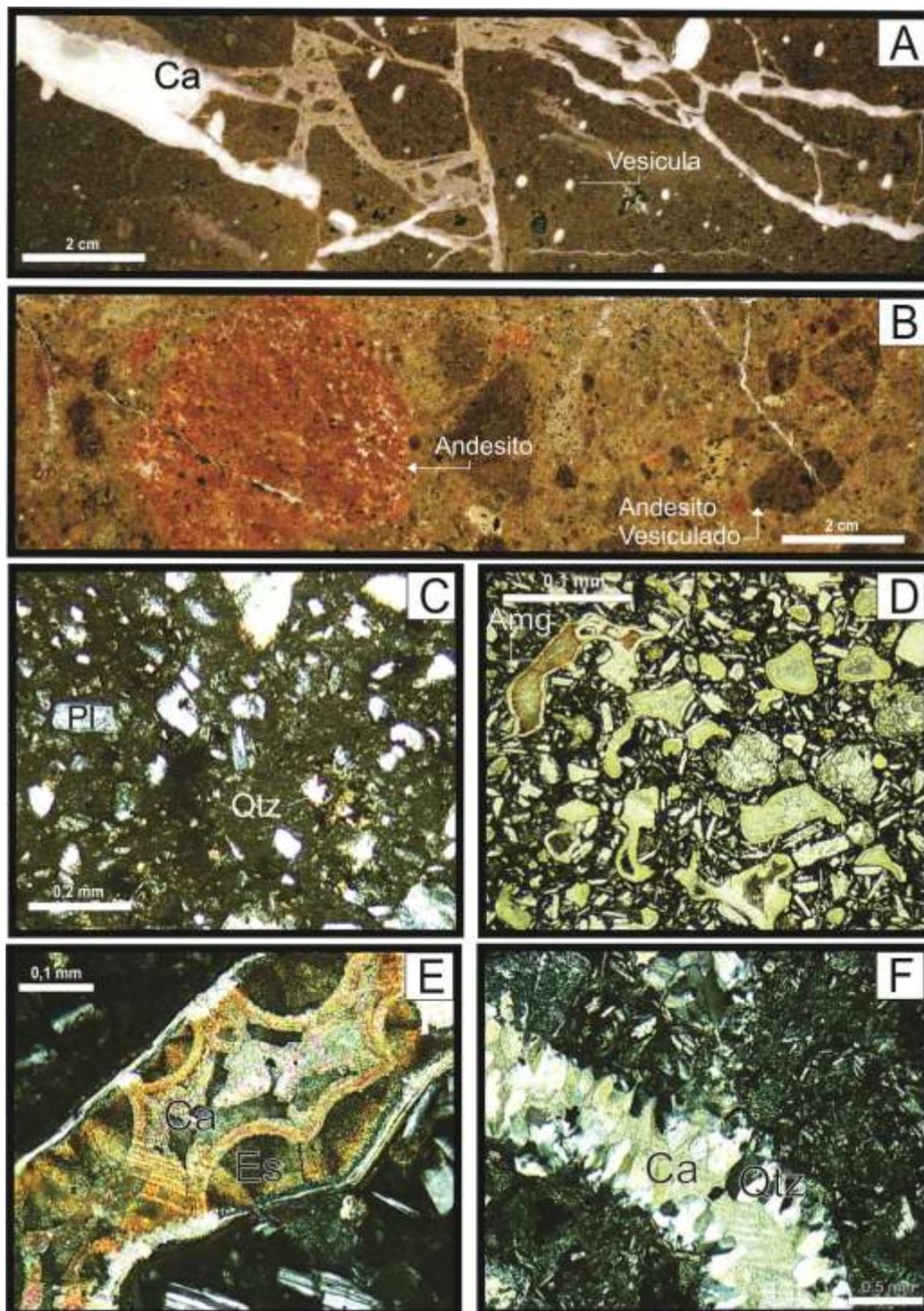


Figura 4: A) Andesito vesiculado do topo da sequência vulcânica; B) lapili-tufo com variação na composição dos clastos; C) tufo grosso como matriz de rocha piroclástica; D) clasto de andesito amigdalóide; E) amígdala de clasto do andesito amigdalóide preenchida por esmectita e calcita; F) piroclástica com veio de quartzo euédrico preenchido por carbonato e sulfeto. Ca: calcita; Pl: plagioclásio; Qtz: quartzo; Amg: amígdala; Es: esmectita.

4.2.2 Sequência II

Os diques da sequência II da região da MS representam um sistema intrusivo em falhas e fraturas decorrentes da evolução tectônica rúptil da evolução da BC. Os diques podem ser observados em superfície onde são encontrados na forma de corpos alongados de espessura métrica a decamétrica, bem como nos furos de sondagem da linha P800 em profundidades que variam de 30 a 40 metros (Fig. 5B). No contato com o material piroclástico, os diques exibem orientação dos plagioclásios, e intensa alteração da matriz (Fig. 5A).

O andesito com textura traquítica possui fenocristais abundantes de plagioclásio subédrico a euédrico com dimensões entre 0,2 mm e 6,0 mm com intensa sericitização (Fig. 5D). Os plagioclásios geralmente possuem bordas e planos de maclas corroídas (Fig. 5C). Pseudomorfos de piroxênio com dimensões médias de 3,0 mm, são geralmente substituídos por clorita e calcita, e estão dispersos em matriz fanerítica muito fina a afanítica microcristalina composta por micrólitos de plagioclásios orientado e piroxênios. Associado a clorita, ocorre epidoto secundário tanto substituindo fenocristais e como na matriz. Além de clorita, a corrensita é um dos minerais de alteração hidrotermal identificados na DRX, substituindo minerais máficos de maneira pervasiva na rocha.

Próximo à ocorrência Vila do Torrão ocorre um biotita-andesito, com fenocristais de plagioclásio e biotita lamelar numa matriz oxidada, com intensa alteração de hematita composta por plagioclásio, quartzo, K-feldspato e hematita secundária (Fig. 5E). Associados a biotita, observa-se cristais euédricos de apatitas e amorfos de óxido de ferro. O piroxênio e anfibólio são parcial ou totalmente substituídos por argilominerais.

A biotita está alterada para clorita e óxido de ferro. A clorita também substitui o piroxênio e o anfibólio. A intensa cloritização e carbonatação na matriz ocasiona a formação de aglomerados de argilominerais (clorita e/ou corrensita) ou uma completa substituição dos minerais máficos. Outros argilominerais como ilita e corrensita, aparecem na DRX de rocha total, e estão alterando minerais máficos e matriz.

Na Mina João Dahne, no NE da área, ocorre um provável dique de lamprófito espessartítico com fenocristais de piroxênio euédricos a subédricos (0,5 cm), anfibólio subédricos (0,4 mm) e raro plagioclásio (0,2 mm) com corrosão na parte interna (Fig. 5F). A matriz é composta por microfenocristais de plagioclásio orientados e muito finos, piroxênio e anfibólio, com alteração na forma de carbonato e clorita secundários.

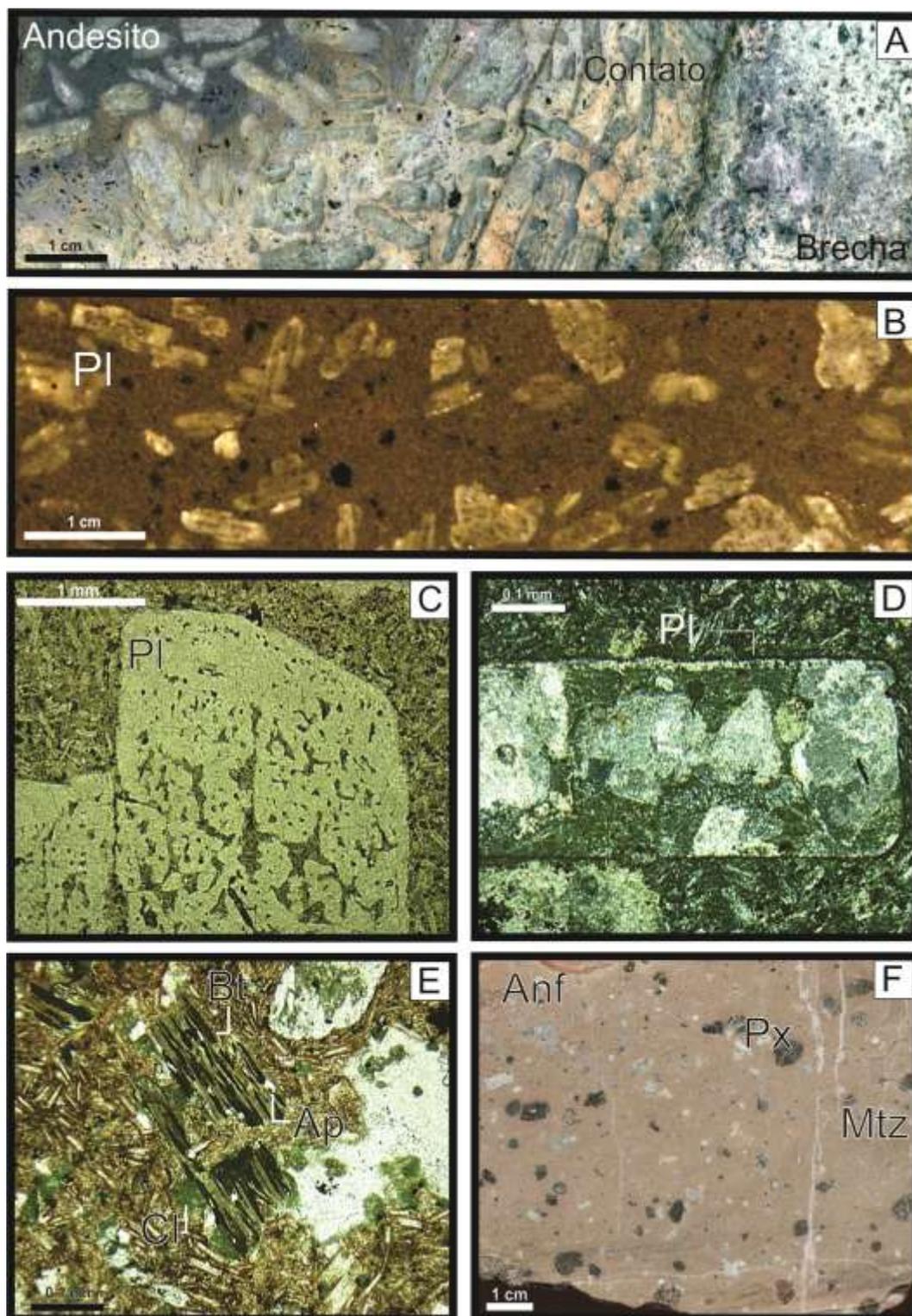


Figura 5: A) Contato de rocha piroclástica e dique de andesito com orientação dos plagioclásios; B) dique de andesito em furo de sondagem; C) plagioclásio de dique de andesito com corrosão interna; D) plagioclásio com intensa sericitização; E) dique de biotita-andesito com biotita sendo substituída para clorita e óxido de ferro, com apatitas associadas; F) dique de lamprófito espessartíticos com fenocristais de piroxênio e anfibólio em matriz micricristalina.

4.3 Difratometria de raios X

A caracterização dos argilominerais através de análises por DRX evidenciou que as rochas da sequência vulcânica I apresentam esmectita, clorita e corrensita (interestratificado clorita/esmectita). A esmectita predomina nas rochas piroclásticas situados a níveis mais profundos (~ 77 m) e nos andesitos amigdalóides de topo, enquanto que clorita e corrensita predominam nas porções intermediárias. Nos diques de andesito da sequência vulcânica II predominam corrensita e clorita.

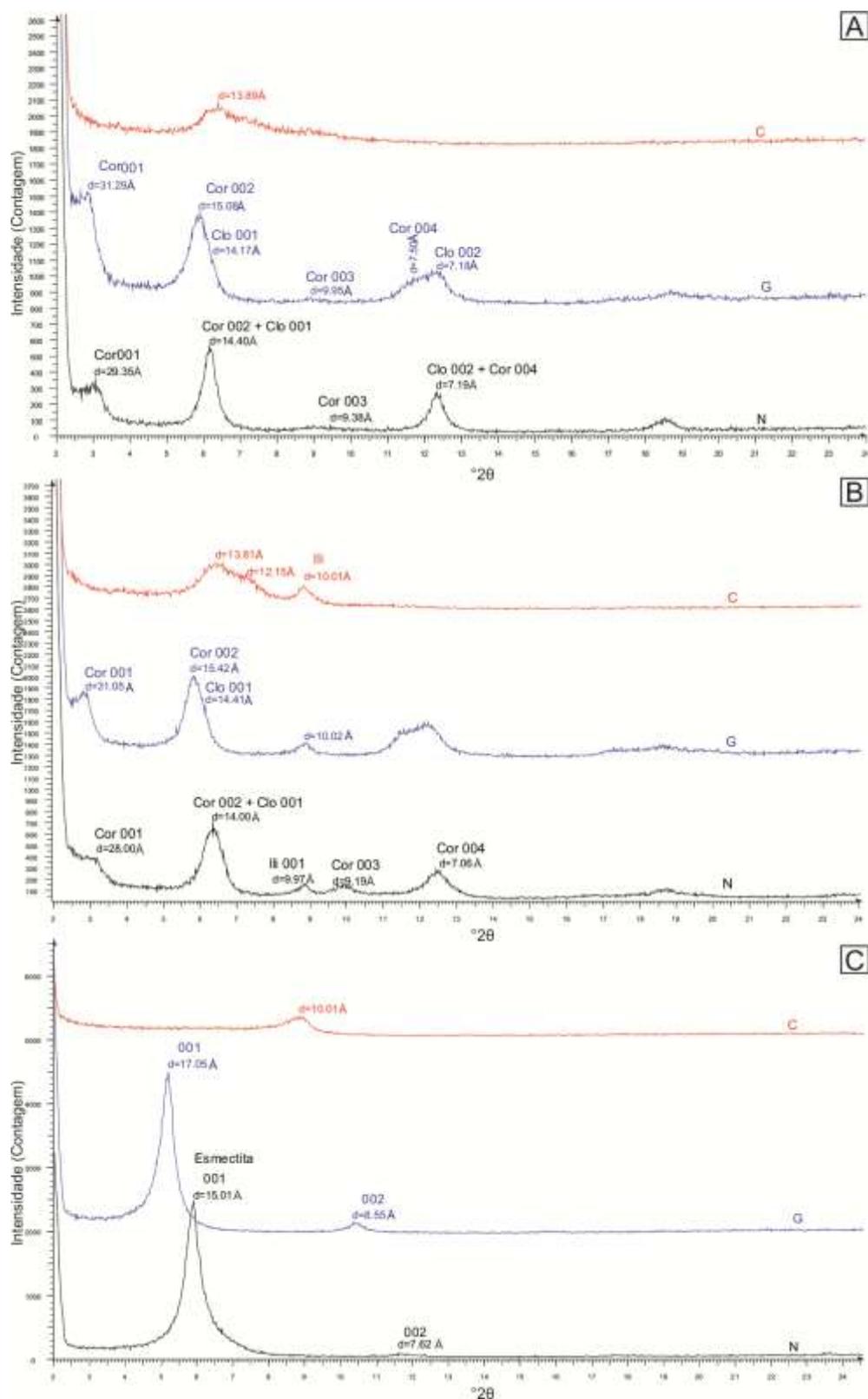


Figura 6: Difratoimetria de raios X de amostras orientadas fração $< 2 \mu\text{m}$, para rochas piroclásticas na Mina do Seival. A) Clorita e corrensite; B) Clorita, corrensite e illita; C) Esmectita. Cl: clorita, Cor: corrensite, Ili: illita, N: natural seca ao ar, G: gicolada, C: calcinada e aquecida a 550°C por 2 horas.

4.4 Geoquímica

As rochas piroclásticas possuem os mais altos valores de perda ao fogo (LOI) atingindo até 10% em peso, seguido pelos andesitos amigdalóides com valores em torno de 7. Dentre os diques, o de biotita-andesito possui valores maiores, em torno de 4% em peso, enquanto que os andesitos possuem valores em torno de 3% em peso. A sequência I possui valores de perda ao fogo maiores e menores de SiO_2 , demonstrando que a alteração hidrotermal está empobrecendo a rocha em SiO_2 (Fig. 7).

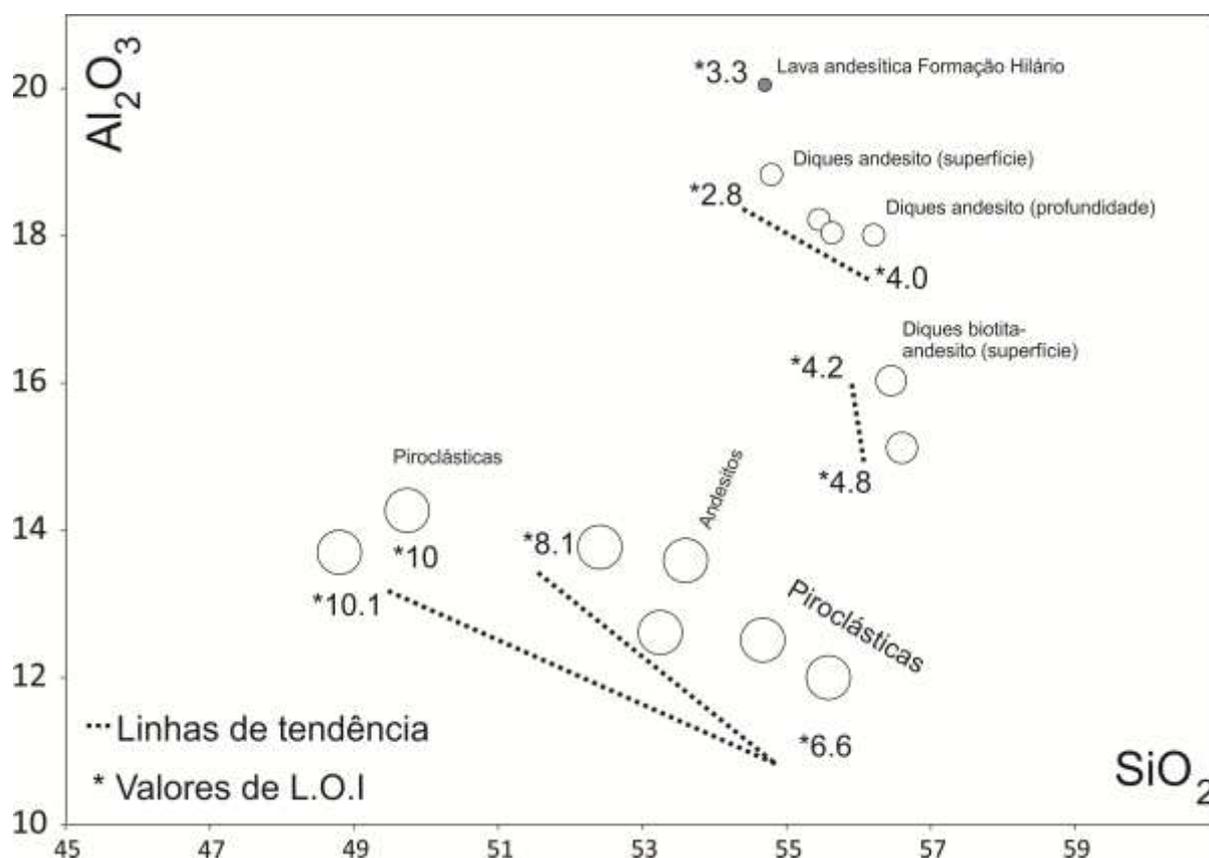


Figura 7: Diagrama $\text{Al}_2\text{O}_3 \times \text{SiO}_2$, com os valores de L.O.I indicados próximos às amostras.

De acordo com a classificação no diagrama TAS (Le Maitre, 2002) as rochas estudadas têm composição de andesitos traqui-basálticos a traquiandesitos, com predomínio de traqui-andesito (Fig. 8). As amostras que plotam no campo dos andesitos são as com perda ao fogo mais elevada. O elevado grau de alteração hidrotermal e modificações composicionais dele decorrentes, no entanto, prejudicam a utilização deste

diagrama classificatório. Mesmo as rochas com baixa perda ao fogo mostram ampla variação das razões K_2O/Na_2O , prejudicando, de modo geral, a identificação das rochas como potássicas ou sódicas.

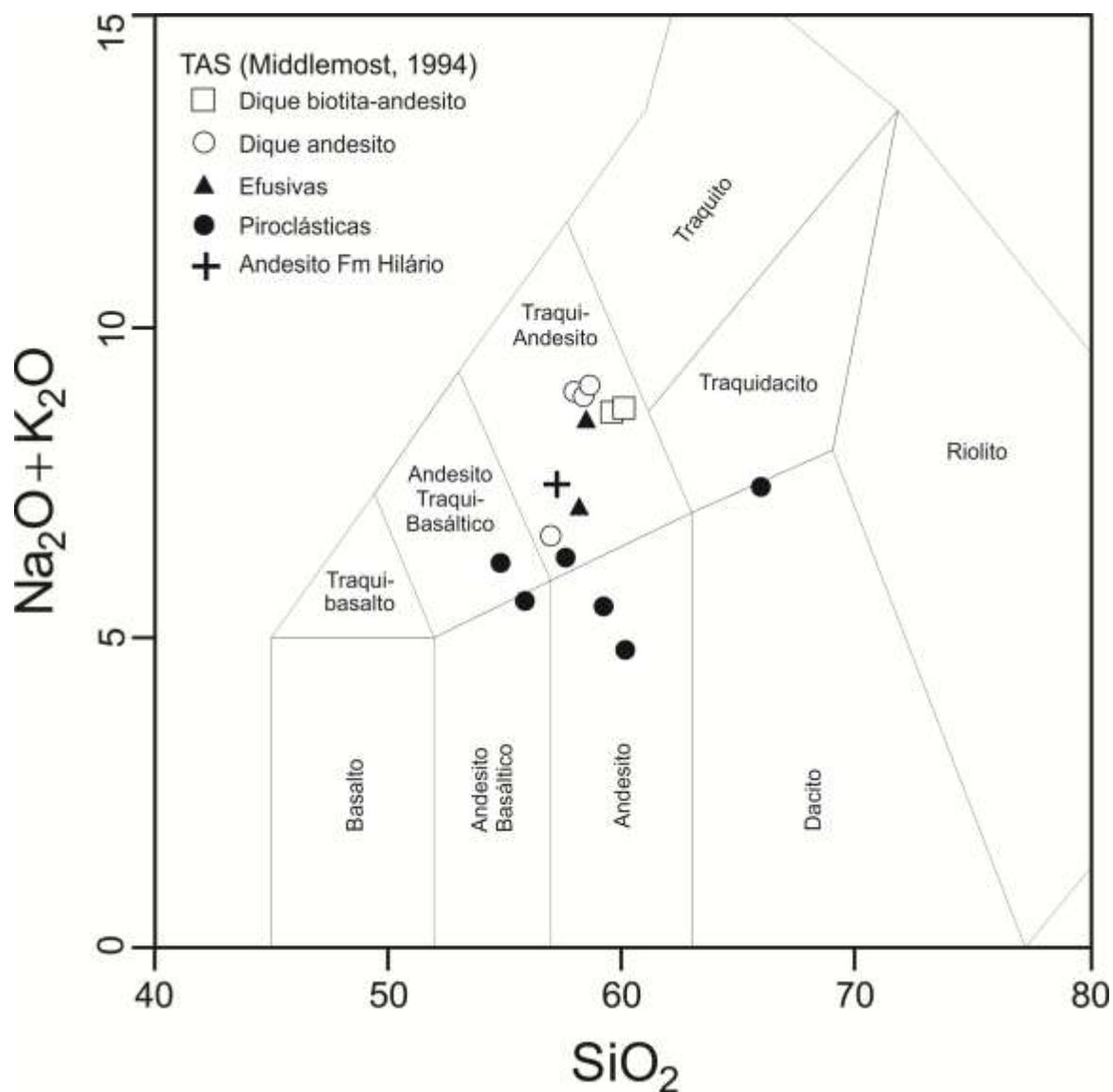


Figura 8: Classificação das sequências vulcânicas da Mina do Seival no diagrama TAS (Middlemost, 1994).

Apenas algumas amostras como as dos diques de biotita andesito, mostram composições pouco afetadas pelo hidrotermalismo, podendo-se a partir delas reconhecer o caráter potássico ou shoshonítico ($K_2O > Na_2O - 2$) do magmatismo.

As amostras apresentam teores de sílica que variam de 48,80 a 55,58 % (em peso), para as rochas piroclásticas, e de 49,74 a 62,82 % para as efusivas, e de 54,79 a 56,60 % para os diques de andesito. Os teores de Al_2O_3 variam de 12,51 a 13,77 % para as piroclásticas, e de 12,61 a 14,27 % para as efusivas de topo, e de 15,12 a 18,83 % para os diques de andesito. Através do diagrama álcalis ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$) em função da sílica (Middlemost, 1994), podem-se identificar as rochas estudadas com as das séries shoshoníticas. Nos diques de andesito os valores de Al_2O_3 diminuem e os de SiO_2 aumentam, conforme aumenta a intensidade da alteração hidrotermal (LOI). Já nos diques de biotita-andesito os teores de Al_2O_3 e SiO_2 diminuem, de modo inverso do constatado na sequência I. Na sequência extrusiva, os valores mais baixos de Al_2O_3 são atribuídos à alteração hidrotermal.

O diagrama AFM (Rollinson, 1993), ilustrando a relação entre o ferro (FeO), o magnésio (MgO) e os álcalis ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$), mostra comportamento comum das séries não toleítica, ou seja, shoshoníticas, cálcio alcalinas e alcalinas onde se percebe que o conjunto de amostras não se posiciona no campo característico da Série Toleítica (Fig. 9A). As rochas da sequência I possuem alta porcentagem de carbonato total (TOT/C %) e são enriquecidas em Ni indicando um baixo nível de diferenciação, enquanto os diques de andesito são enriquecidos em Cu, Ag, Au e Zn (Fig. 9B-C).

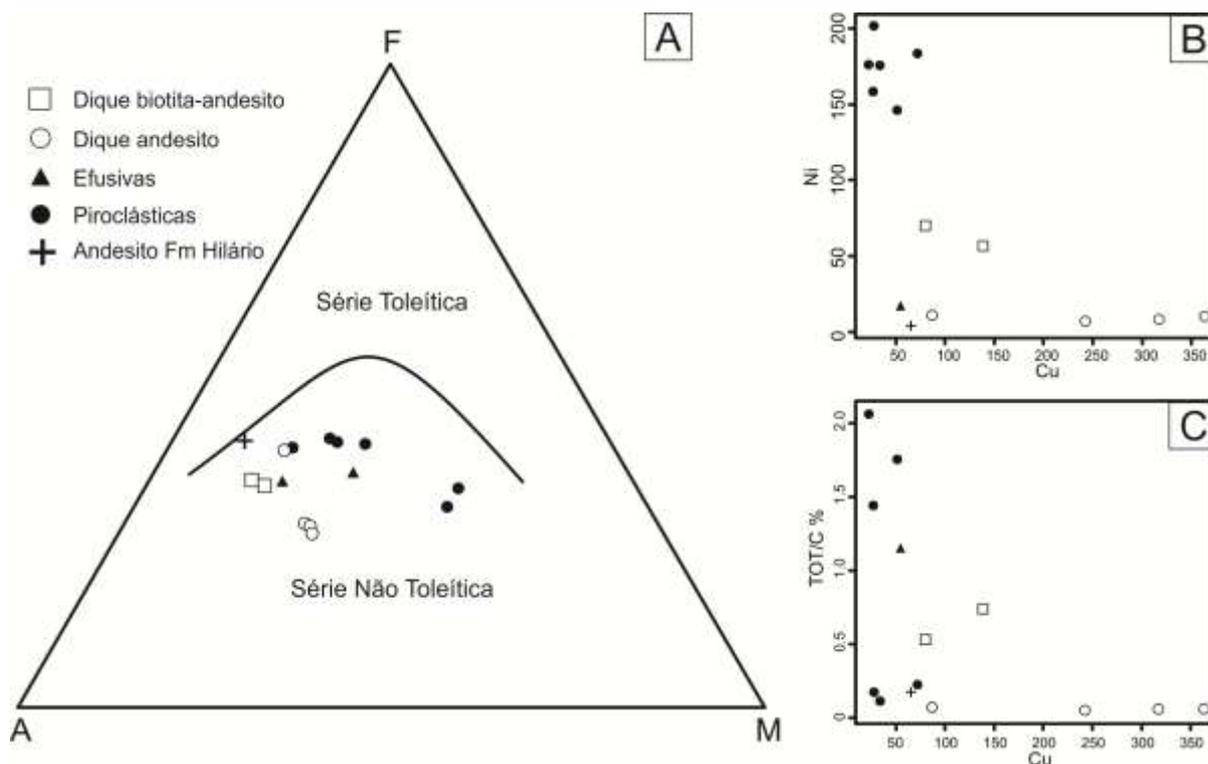


Figura 9: Diagrama AFM (Irvine & Baragar, 1971), evidenciando o carácter não toleítico das rochas vulcânicas da Mina do Seival. Diagramas binários: B) Ni x Cu; C) TOT/C % x Cu.

Foram confeccionados diagramas multi-elementares (*spiderdiagrams*) utilizando-se diversos padrões de normalização como E-MORB, MORB, OIB e crosta inferior. Destes, o que mais se aproxima dos padrões das rochas da MS é o padrão OIB (Fig. 10).

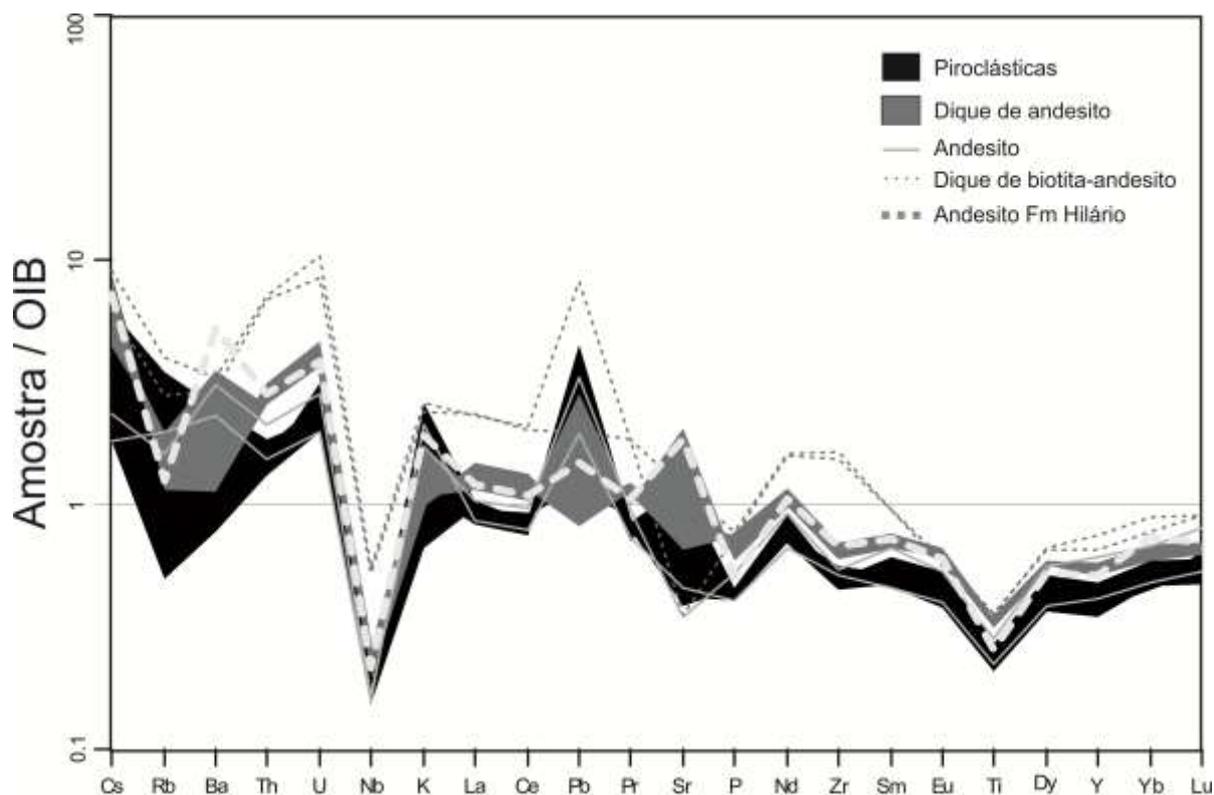


Figura 10: Diagrama multi-elementar (*spiderdiagrams*) normalizados pelos valores de OIB (Sun & McDonough, 1989) para amostras representativas da sequência vulcânica Mina do Seival.

Os padrões dos elementos terras raras (ETR) das rochas da sequência I e sequência II (Fig. 11), normalizados pelos valores condriticos de Boynton (1984) OIB (Sun & McDonough, 1989) evidenciam que a alteração hidrotermal não mobilizou os ETR. As amostras do biotita-andesito diferem das demais por mostrarem empobrecimento em Eu e enriquecimento em ETR leves. Os padrões ETR da sequência I coincidem com os dos diques da sequência II, sugerindo o carácter co-magmático das rochas de ambas as sequências.

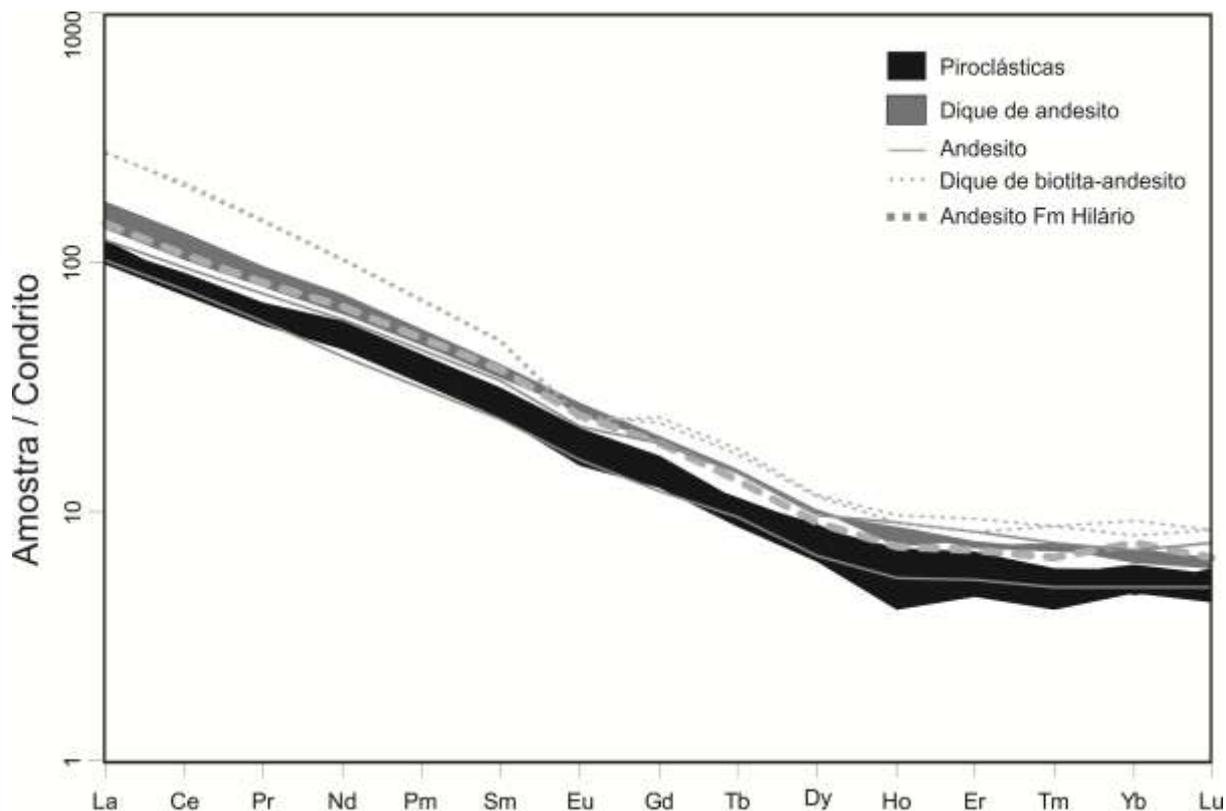


Figura 11: Diagramas multi-elementar (*spiderdiagrams*) para padrões de ETR normalizados pelos valores condriticos (Boynton, 1984) para amostras representativas da Mina do Seival.

A utilização de diagrama com elementos de baixa mobilidade hidrotermal, Nb/Y vs Zr/Ti (Pearce, 1996) na classificação das rochas da MS indica que tanto os diques, como as rochas extrusivas, tem composição original semelhante, variando de andesitos a traquiandesitos (Fig. 12).

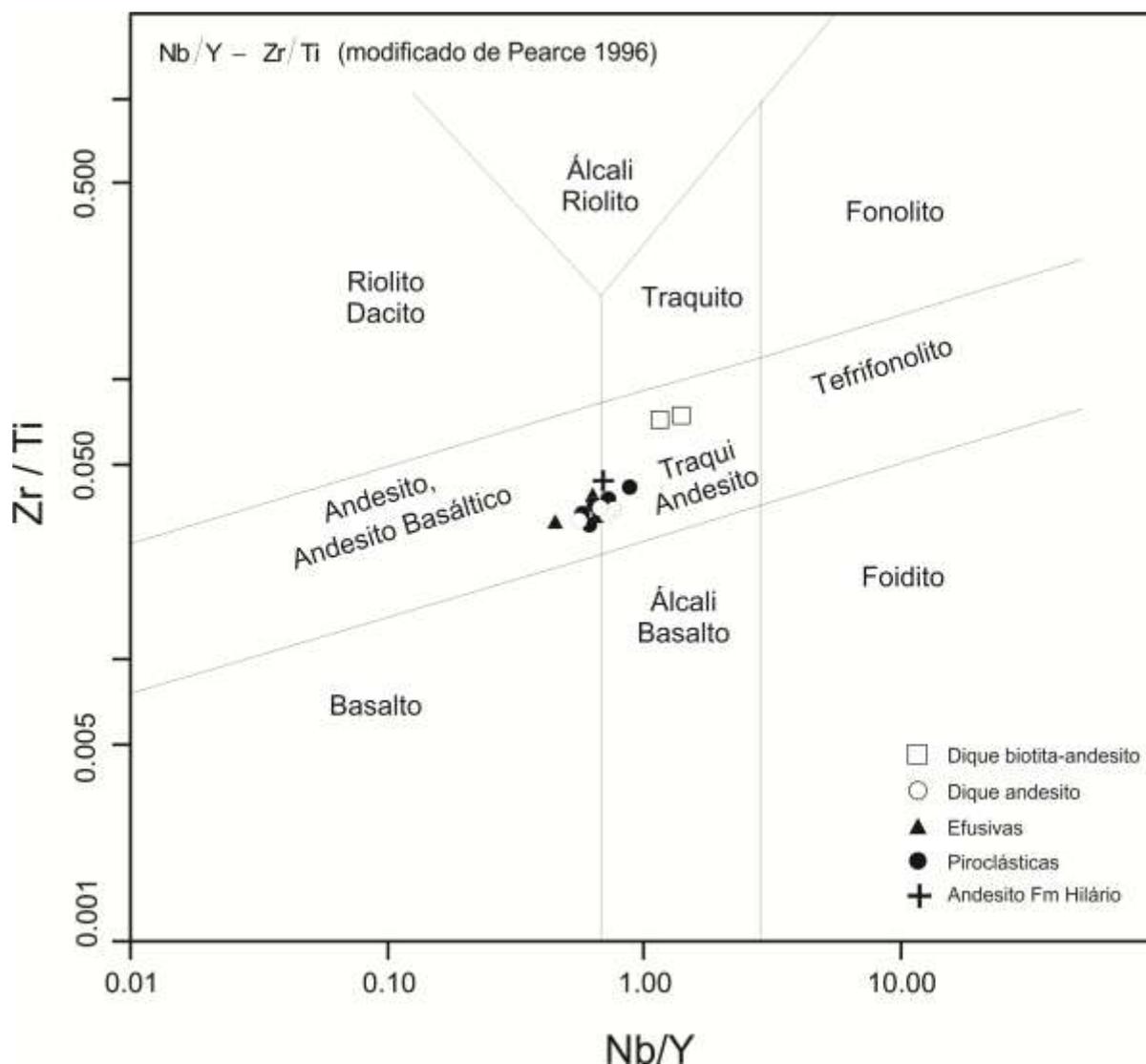


Figura 12: Diagrama de classificação geoquímica Nb/Y - Zr/Ti, de Winchester & Floyd (1977), modificado por Pearce (1996), evidenciando mesma fonte para as sequências vulcânicas I e II da Mina do Seival.

5. Discussões dos resultados e conclusões

As grandes variedades de litologias presentes na MS foram agrupadas em dois conjuntos independentes, sendo o primeiro constituído pelas rochas piroclásticas e efusivas, definido como Sequência I, e o segundo pelos diques de composição andesítica, Sequência II. A sequência observada em testemunhos mostra rochas piroclásticas, com tamanho predominante lapili, sobrepostas por andesitos amigdalóides. Os diques de andesito da

Sequência II ocorrem preferencialmente com direção NE e possuem variação mineralógica e geoquímica, de andesitos, biotita-andesitos e lamprófiros espessartíticos.

A presença de um provável dique de lamprófiro na Mina do Seival sugere que os magmas lamprofíricos podem ter papel relevante na formação das mineralizações associadas ao magmatismo da BC, conforme sugerido por Müller *et al.* (2012).

A alteração hidrotermal foi dividida em três episódios. A primeira fase da alteração hidrotermal é representada pela esmectita, que possivelmente está relacionada a processos residuais magmáticos na forma fibrosa e cristalina. Está associada com cristobalita, ocorrendo nos interstícios dos grãos, dentro de clastos vulcânicos da brecha. Por vezes, ocorre alterando o material vítreo. Provavelmente trata-se de uma alteração argílica intermediária. A segunda fase é caracterizada pela assembleia mineralógica clorita + epidoto (pistacita) + carbonato (calcita) + sulfeto (pirita e calcosina) + barita + quartzo + hematita. Essa alteração ocorre tanto pervasiva, num evento de maior temperatura, quanto venular, representada pelos veios de carbonato, clorita e quartzo. Esses veios preenchem fraturas das rochas, onde por vezes ocorre quartzo euédrico preenchido por carbonato com pequenos cristais de calcosina e pirita, geralmente corroídos e disseminados. A alteração nos níveis mais rasos é pervasiva com a total substituição do anfibólio por clorita e carbonato. A terceira fase ocorre nos diques e é caracterizada como propilitização (clorita + epidoto + sulfeto), e sericitização dos feldspatos. Esse evento é de alta temperatura hidrotermal (200-300° C) indicado pela abundância de epidoto.

Os processos de carbonatação, cloritização e hematitização, estão associados às amostras mais superficiais, acima dos 30 metros de profundidade, e ocorrem em maiores quantidade próximos aos depósitos, ocorrências e diques de andesito.

A alteração hidrotermal presente com diferentes intensidades na maior parte das rochas encaixantes da Mina do Seival dificulta o reconhecimento de padrões composicionais, tanto para elementos maiores como traços, que permitam relacioná-las com as séries magmáticas.

A utilização de elementos com baixa mobilidade e a valorização das amostras com menos evidências petrográficas de hidrotermalismo, os biotita traquiandesitos, sugere a afinidade shoshonítica do magmatismo. De acordo com estas evidências, os magmas eram alcalinos saturados em sílica - traquiandesitos - sendo difícil afirmar seu caráter potássico ou shoshonítico. Os padrões muito regulares de ETR e os teores elevados de Sr, apesar da grande variação destes apontam também para a afinidade shoshonítica.

Os magmatismo dos diques de biotita-andesito possuem $K_2O > (Na_2O-2)$, sendo potássicos ou shoshoníticos, com elevado Na_2O+K_2O , pertencendo às séries alcalinas saturadas em sílica. Os biotita traqui andesitos destacam-se dos demais por seus altos teores de Nb, Zr, ETRP, U e Th, que podem indicar que dentro da ASLS está sequência é a mais recente e possui fontes com características intraplaca mais acentuadas.

As relações entre os elementos de baixa mobilidade sugerem que todo conjunto de rochas encaixantes da MS é comagmático, enquanto os padrões de elementos traços que se aproximam dos OIB, indicam que as fontes do magmatismo presente na MS foram afetadas por uma subducção prévia (Condie, 2005). Este conjunto de características petrográficas e geoquímicas, bem como as relações estratigráficas, indicam que as encaixantes da MS podem ser incluídas na Associação Shoshonítica de Lavras do Sul, conforme discutido em Lima & Nardi (1998), Sommer *et al.* (2006) e Liz *et al.* (2009).

Nos diques alterados hidrotermalmente (perda ao fogo < 5) os teores de elementos incompatíveis, Rb, Ba e Pb, são elevados em relação as piroclásticas (perda ao fogo < 10) que apresentam uma redução destes valores. Já o Ti, Al, Hf, Ta e U comportam-se como elementos imóveis em ambas as litologias. Os teores de Cu, Zn e Ni em relação ao protólito menos afetado pelo processo hidrotermal, nos diques e piroclásticas, sugerem que as principais ocorrências de mineralização de cobre da MS têm origem magmática.

Os dados químicos de rocha total indicam que o enriquecimento dos elementos componentes da mineralização relacionados à Sequência I é o Ni, enquanto que Ag, Au, Cu e Zn, está relacionado à Sequência II. Os teores de Au e Cu são mais elevados nas

amostras com menores concentrações de carbonatos, sugerindo que a carbonatação não tem relação com a distribuição destes elementos nas rochas estudadas.

Agradecimentos: Os autores agradecem ao CNPq pelo auxílio do projeto de pesquisa (CNPq: 485995/2011-5) e bolsa de mestrado (bolsa de mestrado processo nº 558550/2010-0). Ao PPGGEO e IGEO-UFRG pela infraestrutura e logística. A Votarantim Metais pelas amostragens. Ao prof. Luiz Delfino Albarnaz e UNIPAMPA pela infraestrutura nos trabalhos de campo.

Referências

- Almeida, E.F.M. & Hasui, Y. 1984. *O Pré-Cambriano do Brasil*. São Paulo, Blücher, 378p.
- Bongiolo, E.M., Renac, C., Mexias, A.S., Gomes, M.E.B., Ronchid, L.H. & Patrier-Mase, P. 2011. 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*, 189: 404– 419.
- Boynton, W.V. 1984. Geochemistry of the Rare Earth Elements: meteorite studies. In Henderson P. (ed), *Rare Earth Element Geochemistry*, Elsevier, Amsterdam, p. 63-114.
- Chemale Jr., F. 2000. Evolução Geológica do Escudo Sul-rio-grandense. In Holz, M.; De Ros, L. F. *Geologia do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre: Ed. da Universidade/UFRGS, p. 13-52.
- Condie, K. 2005. TTGs and adakites: are they both slab melts? *Lithos*, 80: 33-44.
- Fisher, R.V. 1966. Rocks composed of volcanic fragments and their classification. *Earth-Sciences Reviews*, 1: 287-298.
- Gastal, M.C., Martil, M.M.D., Bitencourt, M.F.S. & Tomasi, L.C. 2008. Remanescentes de uma Estrutura de Subsidência de Caldeira Neoproterozóica, Lavras do Sul, RS: Parte 2. Petrografia e Mineralogia do Monzodiorito Arroio do Jacques. *IV Simpósio de Vulcanismo e Ambientes Associados*.
- Gastal, M.C.P., Lafon, J.M., Fonseca, F.J., Magro, F.U.S., Remus, M.V.D. & Sommer, 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.
- Irvine, T.N. & Baragar, A.W.R.A. 1971. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 8: 523-548.
- Janikian, L., Almeida, R.P., Trindade, R.I.F., Fragoso-Cesar, A.R.S., D’Agrella-Filho, M.S., Dantas, E.L. & Tohver, E. 2008. The continental record of Ediacaran volcano-

- sedimentary successions in southern Brazil and their global implications. *Terra Nova*, 20: 259–266.
- Janikian, L., Almeida, R.P., Fragoso-Cesar, A.R.S. & Fambrini, G.L. 2003. Redefinição do Grupo Bom Jardim (Neoproterozóico III) em sua área-tipo: litoestratigrafia, evolução paleoambiental e contexto tectônico. *Revista Brasileira de Geociências*, 33: 349-362.
- Le Maitre, R.W. 2002. Igneous rocks: a classification and glossary of terms. In: Recommendations of the International Union of Geological Sciences Subcommission on the Systematic of Igneous Rocks, second ed. Cambridge University Press, Cambridge, 252 pp.
- Lima, E.F.L., Sommer, C.A. & Nardi, L.V.S. 2007. O vulcanismo Neoproterozóico-Ordoviciano no escudo sul-riograndense: os ciclos vulcânicos da Bacia do Camaquã. In: Iannuzzi, R.; Frantz, J. C. (Eds). *50 anos de Geologia: Instituto de Geociências. Contribuições*. Porto Alegre: Comunicação e Identidade, p. 79-97.
- Lima, E.F. & Nardi, L.V.S. 1998. The Lavras do Sul Shoshonitic Association: implications for the origin and evolution of Neoproterozoic shoshonitic magmatism southernmost Brazil. *Journal of South American Earth Science*, 11(1): 67-77.
- Lima, E.F. 1995. *Petrologia das Rochas Vulcânicas e Hipabissais da Associação Shoshonítica de Lavras do Sul – ASLS, RS*. Porto Alegre, 338p. Tese de Doutorado, Programa de Pós-graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Lima, E.F. 1985. *Petroquímica e Prospecção Litogeoquímica da Área da Merita, Região de Volta Grande, Lavras do Sul, RS*. Porto Alegre. 187p. Dissertação de Mestrado em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Liz, J.D., Lima, E.F. & Nardi, L.V.S. 2009. Avaliação de fontes magmáticas de séries shoshoníticas pós-colisionais com base na normalização pela Associação Shoshonítica de Lavras do Sul – aplicação de Sliding Normalization. *Revista Brasileira de Geociências*, 39 (1): 55-66.
- Lopes, R.W. 2011. *Alteração hidrotermal e mineralizações de cobre na Mina do Seival, Bacia do Camaquã, RS*. 90p. Monografia de Conclusão de Curso, Curso de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Matté, V., Sommer, C.A., Lima, E. F., Saldanha, D.L., Pinheiro-Sommer, J.A. & Liz, J.D. 2012. Rochas dioríticas do Platô da Ramada, Rio Grande do Sul, e sua relação com o vulcanismo alcalino da Formação Acampamento Velho, Neoproterozoico do Escudo Sul-Rio-Grandense. *Revista Brasileira de Geociências*, 42 (2): 343-36.
- Mexias, A.S., Bongioiolo, E.M., Gomes, M.E.B., Formoso, M.L.L. & Frantz, J.C. 2007. Alterações hidrotermais e mineralizações nas rochas da Associação Plutono-Vulcano-Sedimentar da região de Lavras do Sul-RS. In: Iannuzzi, R., Frantz, J.C. (eds.). *50 Anos de Geologia: Instituto de Geologia. Contribuições*. Porto Alegre, Ed. Comunicação e Identidade, p. 143-159.
- Middlemost, E.A.K. 1994. Naming materials in the magma/igneous rock system. *Earth Science Review*, 37: 215-224

- Müller, I.F., Nardi, L.V.S., Lima, E.F. & Mexias, A.S. 2012. Os diques latílicos portadores de ouro e sulfetos da Associação Shoshonítica de Lavras do Sul – RS: Petrogênese e Geoquímica. *Revista Pesquisas em Geociências*, 39 (2): 173-191.
- Nardi, V.S.N. & Lima, E.F. 1985. A Associação Shoshonítica de Lavras do Sul, RS. *Revista Brasileira de Geociências*, 15: 139-146.
- Nardi, L.V.S. 1984. *Geochemistry and petrology of the Lavras Granite Complex, RS, Brazil*. London, 268p. PhD Thesis, London University.
- Paim, P.S.G., Chemale Jr., F. & Lopes, R.C. 2000. A Bacia do Camaquã. In HOLZ, M.; DE ROS, L. F. (Ed.). *Geologia do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre: Ed. da Universidade/UFRGS, p. 231-374.
- Pearce, J. 1996. Sources and settings of granitic rocks. *Episodes*, 19(4): 120-125.
- Reischl, J.L. 1978. Mineralizações cupríferas associadas a vulcânicas na Mina do Seival. In: XXX CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 30. 1978, Recife. *Anais... Recife*, SBG. v 4, p. 1568–1582.
- Ribeiro, M. & Fantinel, L.M. 1978. Associações petrotectônicas do Escudo Sul-Riograndense: I Tabulação e distribuição das associações petrotectônicas do Escudo do Rio Grande do Sul. *Inheringia Serviço Geológico*, 5: 19–54.
- Rollinson, H. 1993, *Using geochemical data: evaluation, presentation, interpretation*. Longman Group UK Ltd, Essex, 352p..
- Sommer, C.A., Lima, E.F., Nardi, L.V.S., Liz, J.D. & Waichel, B.L. 2006. The evolution of Neoproterozoic magmatism in southernmost Brazil: shoshonitic, high-K tholeiitic and silica-saturated, sodic, alkaline volcanism in post-collisional basins. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 78(3): 573-589.
- Sun, S.S., McDonough, W.F. 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. In: SOUNDERS, A.D.; NORRY, M.J. (editors). *Magmatism in the ocean basins*. *Geological Society London*, special publication, 42: 313-345.
- Wildner, W., Ramgrab, G.E., Lopes, R.C. & Iglesias, C.M.F. 2008. Mapa Geológico do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: CPRM, 2008, 1 mapa. Escala 1:750.000. 1 CD-ROM.
- Wildner, W., Nardi, L.V.S. & Lima, E.F. 1999. Post-Collisional Alkaline Magmatism on the Taquarembó Plateau: A Well Preserved Neoproterozoic-Cambrian Plutono-Volcanic Association In Southern Brazil. *International Geology Review*, 41(12): 1082-1098.
- Winchester, J.A. & Floyd, P.A. 1977. Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements. *Chemical Geology*, 20: 325-343.

Tabela 1. Teores de elementos maiores, menores e traço das rochas da sequência vulcânica Mina do Seival

Amostras	RFM 22	RFM 18	RFM 62	RFM 48	RFM 89	RFM 83	RFM 38	RFM 32	RFM 60	FM 12	FM 13	FM 14	RFM 44	RFM 51	RFM 66
SiO ₂	54,67	55,58	52,41	48,8	49,74	62,82	53,6	53,25	54,79	56,21	55,63	55,45	56,45	56,6	54,7
TiO ₂	0,81	0,63	0,7	0,77	0,72	0,59	0,64	0,81	0,9	0,95	0,91	0,94	1,03	1	0,73
Al ₂ O ₃	12,51	12	13,77	13,7	14,27	13,49	13,59	12,61	11,83	11,01	11,04	11,22	11,03	11,12	20,05
Fe ₂ O _{3T}	6,5	6,89	7,13	7,61	6,2	7,32	6,33	7,03	6,38	5,79	5,42	5,69	6,28	6,28	6,73
MnO	0,07	0,07	0,15	0,12	0,12	0,08	0,14	0,32	0,07	0,09	0,09	0,1	0,12	0,12	0,08
MgO	7,9	7,74	3,52	4,4	2,82	2,77	2,94	4,67	2,25	4,44	4,71	4,59	2,2	2,6	1,5
CaO	5,39	5,42	7,91	8,44	10,52	1,57	7	6,76	6,85	2,08	2,04	2,14	4,82	4,51	5,08
Na ₂ O	3,21	2,78	4,03	4,54	2,91	3,26	4,69	3,99	3,9	7,06	6,92	7,06	4,4	4,76	4,39
K ₂ O	186	181	167	0,96	2,05	3,78	3,05	2,47	2,48	1,58	1,61	1,47	3,76	3,42	2,75
P ₂ O ₅	0,25	0,25	0,27	0,28	0,27	0,25	0,25	0,32	0,37	0,47	0,44	0,48	0,46	0,45	0,31
LOI	6,6	6,6	8,1	10,1	10	3,8	7,3	7,5	2,8	3	3,9	3,6	4,2	4,8	3,3
Tot	99,57	99,57	99,66	99,72	99,62	99,73	99,53	99,75	99,62	99,68	99,71	99,72	99,57	99,66	99,62
Ba	797	684	844	272	880	842	803	1082	1225	394	411	506	1166	1019	1832
Rb	32,3	28,8	30,6	15,3	46,3	108,3	616	49,5	60,9	35,6	39,4	38,8	124,1	86,5	38,6
Sr	753,5	722,9	535,4	253,3	774,9	273	298	226,2	1353,7	428,1	499	551,5	765,4	2314	1215,4
Y	11,2	10,8	13,7	13,8	12	10	11,8	17,6	16,7	15,2	16,3	15,2	18,9	21,7	14,9
Zr	125,8	124,7	137,4	119,3	155,8	115	113,4	149,8	168,9	190,1	189,6	194,5	480,6	431	167,4
Nb	7,4	7,3	7,9	8,6	8,7	6,8	7,6	7,9	9,3	10,8	10,8	11,5	26,5	24,9	10,3
Th	5,5	5,2	5,9	5,8	7	7,4	6,1	8,4	10,2	12,3	11,5	12,8	28,6	27,7	11,3
Pb	10,4	11,7	7,7	3,8	14,3	5	6,2	10,6	9,1	3,7	2,8	2,6	25,9	6,3	4,7
Ga	17,2	16,7	16,1	16,7	18,8	16,1	16,4	17,3	25	21,8	23	22,4	26,3	22,7	25,4
Zn	60	61	62	38	35	72	62	76	62	231	141	77	75	82	71
Cu	33,9	28,4	27,1	52,1	22,9	72,5	1355,7	55,2	86,8	317	363,5	242,3	80,2	168,7	65,6
Ni	175,2	201,2	158,1	115,7	175,7	183,2	116,8	17	112	8,6	10,3	7,1	70,1	56,8	4,1
V	100	99	108	117	109	112	87	143	124	112	114	111	72	69	61
Hf	3,4	3,3	3,6	3,3	3,9	3,9	3,7	4,3	4,1	4,9	4,6	4,6	10,2	9,7	5,1
Cs	1	1,1	1,8	0,7	3,4	2,4	0,7	0,9	1,7	3,1	3	3,4	3,5	2,4	2,8
Sc	14	15	16	17	15	13	13	18	12	11	10	11	8	9	8
Ta	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,4	0,4	0,5	0,6	0,6	0,6	1,3	1,1	0,5
Co	32	30,7	26,2	32,7	30,2	28,5	27,3	19,5	15,1	13,9	13,4	13	19,3	13,7	10,1
Be	<1	1	2	2	2	2	<1	4	2	<1	1	3	4	4	3
U	2,2	2,1	2	3,2	2,6	2,3	2	2,9	3,7	4,5	4,3	4,7	10,5	8,6	3,9
W	<0,5	1,1	0,5	5,3	1	0,8	0,8	0,8	1,1	0,9	0,7	1,1	2,2	2,6	1,9
Sn	1	1	1	2	2	2	1	1	2	2	2	2	4	4	2
Mo	0,6	0,5	0,3	0,2	0,4	0,5	0,7	0,8	0,5	0,9	0,4	0,7	0,7	0,8	0,6
Au	1,5	<0,5	1,8	1,5	0,8	0,8	1,9	4,1	5,5	7,2	4,4	3,6	2,5	2,1	2,7
La	31,5	30,7	31,4	35,4	34,6	38,2	31,5	38	42,5	46,2	42,2	54,9	85,2	86	44,3
Ce	61,2	59,6	64,9	72,8	68,7	68,3	63	77,2	82,3	97,1	93,7	105,7	167,2	161,6	87
Pr	7,14	6,87	7,6	8,37	7,84	7,67	7,07	9,2	9,75	11,11	11,07	11,86	17,94	17,76	10,16
Nd	27,8	26,8	29,7	34,6	29,6	27,9	25,3	35,3	37,5	42	42,6	45,1	62,1	61,3	40,1
Sm	4,73	4,82	5,43	6,07	5,24	4,61	4,57	6,59	6,76	7,25	7,39	7,56	9,45	9,43	7,18
Eu	1,22	1,23	1,56	1,59	1,38	1,3	1,16	1,6	1,84	1,79	1,96	1,99	1,79	1,68	1,79
Gd	3,39	3,43	3,95	4,29	3,69	3,21	3,14	4,87	4,98	4,98	5,2	5,18	5,9	6,21	4,86
Tb	0,45	0,47	0,53	0,52	0,51	0,41	0,46	0,68	0,69	0,7	0,7	0,68	0,8	0,84	0,63
Dy	2,1	2,11	2,77	2,86	2,38	2,02	2,14	3,1	3,15	3,27	3,27	3,27	3,66	3,72	2,92

Anexo A – Carta de submissão da Revista Pesquisas em Geociências

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
Pesquisas em Geociências

Porto Alegre, 21 de fevereiro de 2013.

À
Rodrigo W. Lopes

Venho comunicar o recebimento do manuscrito abaixo listado, submetido para publicação em *Pesquisas em Geociências*, órgão de divulgação científica editado pelo Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Agradeço a seleção de *Pesquisas em Geociências* para a publicação de sua contribuição. O manuscrito será analisado quanto ao conteúdo e enquadramento nas normas de preparação, para que seja iniciado o processo de análise por pares.

Título: Caracterização petrográfica e geoquímica de sequência magmática na Mina do Sotol, Formação Hilário (Bacia do Camaquã - Neoproterozóica), Rio Grande do Sul, Brasil.

Autor(es): Rodrigo W. LOPES; Eduardo FONTANA; André S. MEXIAS; Márcia E.B. GOMES; Lauro V.S. NARDI; Christophe RENAC.

Atenciosamente,



Prof. Dr. Cesar Leandro Schultz
Editor Adjunto

Pesquisas em Geociências

Instituto de Geociências – Departamento de Paleontologia e Estratigrafia
Av. Bento Gonçalves, nº 9500 – Bloco 1 – Prédio 43127, sala 116
CEP 91.540-000, Porto Alegre, RS, Brasil.
Tel.: +55.51.3308.6385 - Email: cesar.schultz@ufrgs.br