

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA**

**DIOGO SILVA DE QUEIROZ**

**GEOQUÍMICA DOS PÓRFIROS DA CORDILHEIRA DA  
COSTA NO NORTE DO CHILE: UM ESTUDO DE CASO.**

**CAÇAPAVA DO SUL**

**2018**

**DIOGO SILVA DE QUEIROZ**

**GEOQUÍMICA DOS PÓRFIROS DA CORDILHEIRA DA  
COSTA NO NORTE DO CHILE: UM ESTUDO DE CASO.**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Curso de Geologia da  
Universidade Federal do Pampa, como  
requisito parcial para obtenção do Título  
de Bacharel em Geologia.

**Orientadora:** Prof.<sup>a</sup>Dr.<sup>a</sup> Delia Del Pilar  
Montecinos de Almeida

**CAÇAPAVA DO SUL**

**2018**

Ficha catalográfica elaborada automaticamente com os dados fornecidos  
pelo(a) autor(a) através do Módulo de Biblioteca do  
Sistema GURI (Gestão Unificada de Recursos Institucionais) .

Q3g Queiroz, Diogo Silva de Queiroz  
GEOQUÍMICA DOS PÓRFIROS DA CORDILHEIRA DA COSTA NO NORTE DO  
CHILE: UM ESTUDO DE CASO. / Diogo Silva de Queiroz Queiroz.  
65 p.  
Trabalho de Conclusão de Curso(Graduação)-- Universidade  
Federal do Pampa, GEOLOGIA, 2018.  
"Orientação: Delia Del Pilar Montecinos de Almeida Almeida".  
1. Geologia. 2. Geoquímica. 3. Pórfiros. I. Título.

**DIOGO SILVA DE QUEIROZ**

**GEOQUÍMICA DOS PÓRFIROS DA CORDILHEIRA DA  
COSTA NO NORTE DO CHILE: UM ESTUDO DE CASO.**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Curso de Geologia da  
Universidade Federal do Pampa, como  
requisito parcial para obtenção do Título  
de Bacharel em Geologia.

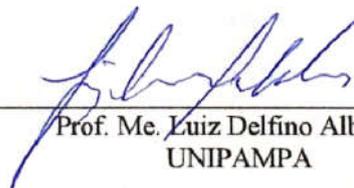
Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 13 de Dezembro de 2018.

Banca examinadora:



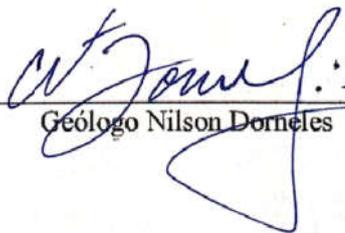
---

Prof. Dr.<sup>a</sup>. Delia del Pilar Montecinos de Almeida  
Orientadora  
UNIPAMPA



---

Prof. Me. Luiz Delfino Albarnaz  
UNIPAMPA



---

Geólogo Nilson Dorneles

## RESUMO

O presente trabalho apresenta dois estudos distintos realizado no norte do Chile, região compreendida entre Antofagasta e Iquique, na cordilheira da costa. A escala regional tem-se análises de geoquímica de rocha total os quais foram analisadas com ênfases em terras raras. Para o estudo de escala local a empresa Sociedade Química e Mineira do Chile (SQM) proporcionou amostras de superfície e de 2 furos de sondagens, nas quais se realizaram análise de química mineral no Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) da área prospectiva de Búfalo, região de Antofagasta. O objetivo do estudo de caráter regional foi realizar uma comparação geoquímica, com ênfases nos elementos das terras raras (ETR) com verificação e organização dos padrões geoquímicos das diferentes litologias, para assim sugerir processos e controles geológicos que podem influenciar na mineralização. Na área de Búfalo, com o estudo de microscopia e de química mineral, foi possível determinar a mineralogia de minérios, micros-estruturas e micro-texturas. As datações isotópicas previamente conhecidas na área apontam para idades entre 51 a 53 MA, confirmando que se trata de pórfiros do Paleógeno que encontram-se ao longo da depressão central inserida no sistema de falhas Domeyko. Quando considera a abundância de ETR nos pórfiros, as seqüências mais tardias tendem a concentrar os maiores abundâncias de ETR total. Devido ao fato de os ETR serem mais incompatíveis que os elementos metálicos da mineralização dos pórfiros, os ETR são concentrados no magma residual e podem ser usados para marcar os estágios do magma e isso possibilitou dividir as amostras em grupos e também destacar quais grupos teriam maiores possibilidades de apresentarem mineralizações. Os grupos com os menores teores médios de ETR apresentam maior potencial de mineralização, podendo destacar áreas prospectivas como Galenosa, Quillagua e Puntillas. O MEV além de produzir as imagens da mineralogia das lâminas amostradas também caracterizou a geoquímica do minério de cobre permitindo afirmar que trata-se de minerais de enargita, associada com pirita. Devido ao conteúdo metálico da enargita possivelmente a rocha sofreu um processo de lixiviação que mobilizou teores de cobre reduzindo sua concentração na composição mineralógica e produzindo alterações de hematita enriquecidas em cobre.

**PALAVRAS CHAVES:** GEOQUÍMICA, PÓRFIROS, MINÉRIO.

## ABSTRACT

The present work presents two distinct studies carried out in the region between Antofagasta and Iquique, in the coastal mountain range. The regional scale has analyzes of total rock geochemistry which were analyzed with emphasis on rare earths. At the local scale the company Sociedad Química e Mineira de Chile (SQM) provided surface samples and 2 drill holes, in which mineral chemistry analysis was carried out in the Scanning Electron Microscope (SEM) of the prospective area of Búfalo, Antofagasta region . The objective of the regional study was to perform a geochemical comparison, with emphasis on rare earth elements (REE) with verification and organization of the geochemical patterns of the different lithologies, in order to suggest geological processes and controls that may influence the mineralization. In the area of Buffalo, with the study of microscopy and mineral chemistry, it was possible to determine ore mineralogy, microstructures and micro-textures. The isotopic dates previously known in the area point to ages between 51 to 53 MA, confirming that these are Paleogene porphyries that lie along the central depression inserted in the Domeyko fault system. When considering the abundance of REE in porphyry, the later sequences tend to concentrate the greatest abundances of total REE. Due to the fact that REE are more incompatible than the metal elements of porphyry mineralization, REE are concentrated in the residual magma and can be used to mark the magma stages and this allowed dividing the samples into groups and also highlighting which groups would have larger possibilities of mineralization. The groups with the lowest ETR levels present higher potential of mineralization, being able to highlight prospective areas such as Galenosa, Quillagua and Puntillas. The SEM besides producing the images of the mineralogy of the sampled slides also characterized the geochemistry of the copper ore allowing to affirm that these are minerals of enargite, associated with pyrite. Due to the metallic content of the enargite the rock may have undergone a leaching process that mobilized copper contents reducing its concentration in the mineralogical composition and producing changes of hematite enriched in copper.

**KEY WORDS:** GEOCHEMISTRY, PORPHYRY, ORE.

## **AGRADECIMENTO**

Primeiramente agradeço a Deus por tudo que ele criou. Agradeço a minha pátria, Brasil. Agradeço a universidade. Agradeço a minha família.

Um agradecimento especial à minha orientadora Dr<sup>a</sup>. Delia Del Pilar, a Sociedade Química Mineira do Chile, ao geólogo Ricardo Gonzales Gerente de Exploração Metálica, que além de apoiar o desenvolvimento deste estudo, me proporcionou diversas oportunidades as quais contribuíram de forma determinante no meu aperfeiçoamento acadêmico e profissional.

Por fim, obrigado aos professores e amigos que contribuíram com a construção de conhecimentos e experiências.

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1— Distribuição das amostras ao longo da cordilheira da costa. ....	15
Figura 2— Localização da área Búfalo contendo as amostras de afloramento e os testemunhos de sondagens. ....	16
Figura 3— Episódios do desenvolvimento da margem continental ocidental de sul-americana na região do norte do Chile. Reconstrução geológica para a época do Ordoviciano (A). Reconstrução geológica para época do Jurássico (B). Reconstrução geológica para época do Mioceno (C). ....	17
Figura 4— Perfil transversal simplificado da geologia e estrutural do Andes central realizado no norte do Chile. ....	19
Figura 5— Anatomia de um modelo genérico do sistema tipo pórfiro mostrando as relações espaciais de um depósito tipo cobre pórfiro +-Au+-Mo em suas multifases do pórfiro e as rochas encaixante; periférico proximal e distal skarnitos, subepiternal veios em rochas não carbonáticas, sobreposição de alta e intermediária sulfetação em depósitos epitermais. Incomum de um sistema individual contenha diversos tipos de depósito ilustrado. ....	20
Figura 6— Padrão de zig-zag das abundâncias de ETR, efeito Oddo-Harkins. ....	23
Figura 7— Organização dos parâmetros a ser utilizado na caracterização geoquímicas das amostras referente as concentrações de ETR. ....	24
Figura 8— Curva de distribuição dos ETR para o Grupo 1. ....	29
Figura 9— Curva de distribuição dos ETR para o Grupo 2. ....	30
Figura 10— Curva de distribuição dos ETR para o Grupo 3. ....	31
Figura 11— Diagrama de contaminação e fracionamento, mostrando a distribuição das amostras dos Grupos 1, 2 e 3 em relação a proporção de Gd/Yb e Th/Nb. ....	32
Figura 12— Diagrama discriminante de ambientes tectônicos para rochas graníticas proposto por Pearce, 1984. ....	33
Figura 13— Período de evolução tectônica descrito para o Andes. Em vermelho destacado o intervalo de idade correspondente a área de Búfalo. ....	37
Figura 14— Localização da área prospectiva Búfalo no contexto estrutural do Andes Central e sua proximidade com depósitos atuais de cobre pórfiro. ....	38
Figura 15— Mapa geológico da área prospectiva de Búfalo. ....	39
Figura 16— Distribuição dos pontos selecionados para caracterizar a composição mineralógica da lâmina 74304. Pontos 1, 2 e 3 mineral de enargita, pontos 4 e 5 mineral de pirita, ponto 6 mineral sulfeto de alumínio. ....	42
Figura 17— Resultados da composição mineralógica em porcentagem, para os pontos 1, 2 e 3, determinando-se mineral de enargita. ....	42
Figura 18— Resultados da composição mineralógica em porcentagem, para os pontos 4 e 5, determinando-se mineral de Pirita. ....	43
Figura 19— Resultados da composição mineralógica em porcentagem, para o ponto 6. Determinando-se mineral de sulfeto de alumínio. ....	43
Figura 20— Distribuição dos pontos selecionados para caracterizar a composição mineralógica da lâmina 74305. Pontos 2 e 4 mineral de enargita, pontos 1 e 5 mineral de pirita, ponto 3 mineral sulfeto de alumínio. ....	44

Figura 21— Resultados da composição mineralógica em porcentagem, para os pontos 2 e 4, determinando-se mineral de enargita.....	44
Figura 22— Resultados da composição mineralógica em porcentagem, para os pontos 1 e 5, determinando-se mineral de Pirita.....	45
Figura 23— Resultados da composição mineralógica em porcentagem, para o ponto 3, determinando-se mineral de sulfeto de alumínio.....	45
Figura 24— Distribuição dos pontos selecionados para caracterizar a composição mineralógica da lâmina 74306. Pontos 2, 4 e 5 mineral de enargita, pontos 1 mineral de pirita, ponto 3 mineral sulfeto de alumínio.....	46
Figura 25— Resultados da composição mineralógica em porcentagem, para os pontos 2, 4 e 5 determinando-se em mineral de enargita.....	46
Figura 26— Resultados da composição mineralógica em porcentagem, para o ponto 1, determinando-se mineral de Pirita.....	47
Figura 27— Resultados da composição mineralógica em porcentagem, para o ponto 3, determinando-se mineral de sulfeto de alumínio.....	47
Figura 28— Distribuição dos pontos selecionados para caracterizar a composição mineralógica da lâmina 74307. Pontos 3, 4 e 6 mineral de enargita, pontos 1 mineral de pirita, ponto 2 e 5 mineral sulfeto de alumínio.....	48
Figura 29— Resultados da composição mineralógica em porcentagem, para os pontos 3, 4 e 6 determinando-se mineral de enargita.....	48
Figura 30— Resultados da composição mineralógica em porcentagem, para o ponto 1, determinando-se mineral de Pirita contendo teor de cobre.....	49
Figura 31— Resultados da composição mineralógica em porcentagem, para os pontos 2 e 5 determinando-se mineral de sulfeto de alumínio.....	49
Figura 32— Distribuição dos pontos selecionados para caracterizar a composição mineralógica da lâmina 74308. Pontos 1 e 3 mineral de pirita, ponto 2 e 4 mineral de óxidos de titânio, ponto 5 mineral de quartzo.....	50
Figura 33— Resultados da composição mineralógica em porcentagem, para os pontos 1 e 3, determinando-se mineral de pirita em veios.....	50
Figura 34— Resultados da composição mineralógica em porcentagem, para os pontos 2 e 4, determinando-se mineral de óxidos de titânio.....	51
Figura 35— Resultados da composição mineralógica em porcentagem, para o ponto 5, determinando-se mineral de quartzo na matriz.....	51
Figura 36— Distribuição dos pontos selecionados para caracterizar a composição mineralógica da lâmina 74309. Pontos 2 e 4 mineral de enargita, ponto 1 mineral de pirita, ponto 3 mineral de quartzo.....	52
Figura 37— Resultados da composição mineralógica em porcentagem, para os pontos selecionados em mineral de pirita.....	52
Figura 38— Resultados da composição mineralógica em porcentagem, para os pontos selecionados em mineral de enargita.....	53
Figura 39— Resultados da composição mineralógica em porcentagem, para o ponto selecionado em mineral de quartzo na matriz.....	53

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1— Classificação metalogenética para o sistema cobre pórfiro interpretada com base em ETR, proposta por Taylor e Fryer, 1983. ....	22
Tabela 2— Parâmetros calculados para quantificar as tendências geoquímicas relacionada aos elementos terras raras. ....	28
Tabela 3—Porcentagem de amostras com ocorrência de minério de cobre e de pórfiros primários em função do número total de amostras classificada por grupo. ....	36
Tabela 4—Teor médio de cobre presente nos minerais de minérios analisados pelo MEV. ...	54

## LISTA DE ABREVIATURAS

**ETR** – Elementos Terras Raras

**ETRL** – Elementos Terras Raras Leves

**ETRP** – Elementos Terras Raras Pesados

**MEV** – Microscópio Eletrônico de Varredura

**ICP-MS** – *Inductively Coupled Plasma-massspectrometry*

**SQM**– Sociedade Química e Mineira

**UNIPAMPA** – Universidade Federal do Pampa

**UFRGS** – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	13
2. OBJETIVOS.....	14
2.1 Objetivo geral.....	14
2.2 Objetivo específico.....	14
3. JUSTIFICATIVA.....	14
4. ÁREA DE ESTUDO.....	15
5. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	17
5.1. Geologia geral do Andes Central.....	17
5.2. Conhecimentos gerais do sistema cobre pórfiro.....	19
5.3 Conhecimentos gerais dos ETR.....	21
5.4. Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV).....	25
6. MATERIAIS E MÉTODOS.....	26
6.1. Etapa pré-campo.....	26
6.2. Etapa de campo.....	27
6.3. Etapa pós-campo.....	27
7. RESULTADOS.....	27
7.1 Estudo dos ETR em escala regional.....	28
7.1.1 Divisão e análise dos resultados geoquímicos.....	28
7.1.2 Contaminação e fracionamento.....	31
7.1.3 Ambiente Tectônico.....	33
7.1.4 Conclusões.....	34
7.2 Área prospectiva de Búfalo.....	36
7.2.1 Geologia regional da área de estudo.....	36
7.2.2 Geologia local da área de estudo.....	38
7.2.3 Interpretação.....	40
7.2.4 Resultados do MEV aplicado a área de Búfalo.....	41
7.2.5 Considerações do MEV.....	53
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	55
ANEXO A.....	57
ANEXO B.....	58
ANEXO C.....	61

## 1. INTRODUÇÃO

O Chile é o país mais importante para a atual produção de cobre e para o crescimento futuro da indústria global de mineração. Em 2012 produziu 5.334.000 toneladas de cobre fino com um valor estimado de mercado de US \$ 42,4 bilhões. Isso corresponde a 32% de participação da produção mundial (JOSÉ CABELLO, 2013).

O sistema cobre pórfiro é o processo geológico que mais produz minério de cobre e o mais estudado no campo de geologia econômica. No presente trabalho é explorado as ferramentas geoquímicas dos ETR para distinção dos tipos de pórfiros distribuídos em uma escala regional ao longo da cordilheira da costa, norte do Chile e realizado um estudo de química mineral utilizando o MEV em amostras selecionadas em uma pequena área prospectiva.

A distribuição dos elementos terras raras é influenciada pela mineralogia que está sendo cristalizada durante o processo de fracionamento magmático, gerando então diferenças nos teores de ETR entre a rocha cristalizada e o magma residual. Assim sendo é utilizado como ferramenta no estudo petrogenético e metalogenético, devido a sua característica típica dos ETR de ser muito estável quando já pertence a uma estrutura mineral, o que faz possível extrair uma série de informações que são de relevância para projetos geoeconômicos. Utilizando os dados geoquímicos dos ETR pode-se caracterizar as diferenças geoquímicas para pórfiros com mineralizações e os pórfiros estéreis, interpretando conseqüentemente processos geológicos influentes para está diferenciação (LOTTERMOSER, 1992).

O Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) se tornou um instrumento imprescindível nas áreas de geologia e engenharia dos materiais. Técnica que oferece um número de informações bastante detalhado das características microestruturais e análise espectroquímica, na qual os elementos presentes numa amostra podem ser identificados através do espectro de raios-X emitido pela amostra (DEDAVID , 2007). Está técnica será focada na caracterização do mineral de minério.

Está pesquisa é dividida em duas partes, uma regional e a outro, de um estudo de uma área específica do norte do Chile. Em escala regional é dado ênfase nos ETR obtidos em amostras de pórfiros aflorantes. Na área específica, denominada de Búfalo é estudado a mineralogia de amostras utilizando MEV.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo geral**

De forma geral, realizou-se uma comparação geoquímica entre amostras de pórfiros verificando os padrões geoquímicos de cada litologia para conseqüentemente organizar as amostras em grupos e sugerir processos e controles geológicos que podem atuar de forma distinta, influenciando na mineralização.

### **2.2 Objetivo específico**

Em carácter mais específico, os principais objetivos deste trabalho são as elaborações de gráficos e tabelas para caracterizar resposta geoquímica de pórfiros mineralizados comparando com pórfiros de baixo teor ou estéril. Conseguindo então testar a eficiência de utilizar os elementos terras raras para escolher áreas com maior potencialidade de concentrar minério.

O estudo de química mineral feita através do MEV será pioneiro na área de Búfalo, contribuindo para determinar as características microestruturais e análise espectroquímica dos minerais de minério em testemunhos de sondagem.

## **3. JUSTIFICATIVA**

O trabalho se justifica pois toda a atividade de campo e as amostras foram realizados pelo autor durante estágio realizado no ano de 2017, além disso, a empresa SQM enviou amostras para química mineral com os estudos de MEV sendo realizados no laboratório de isotopia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

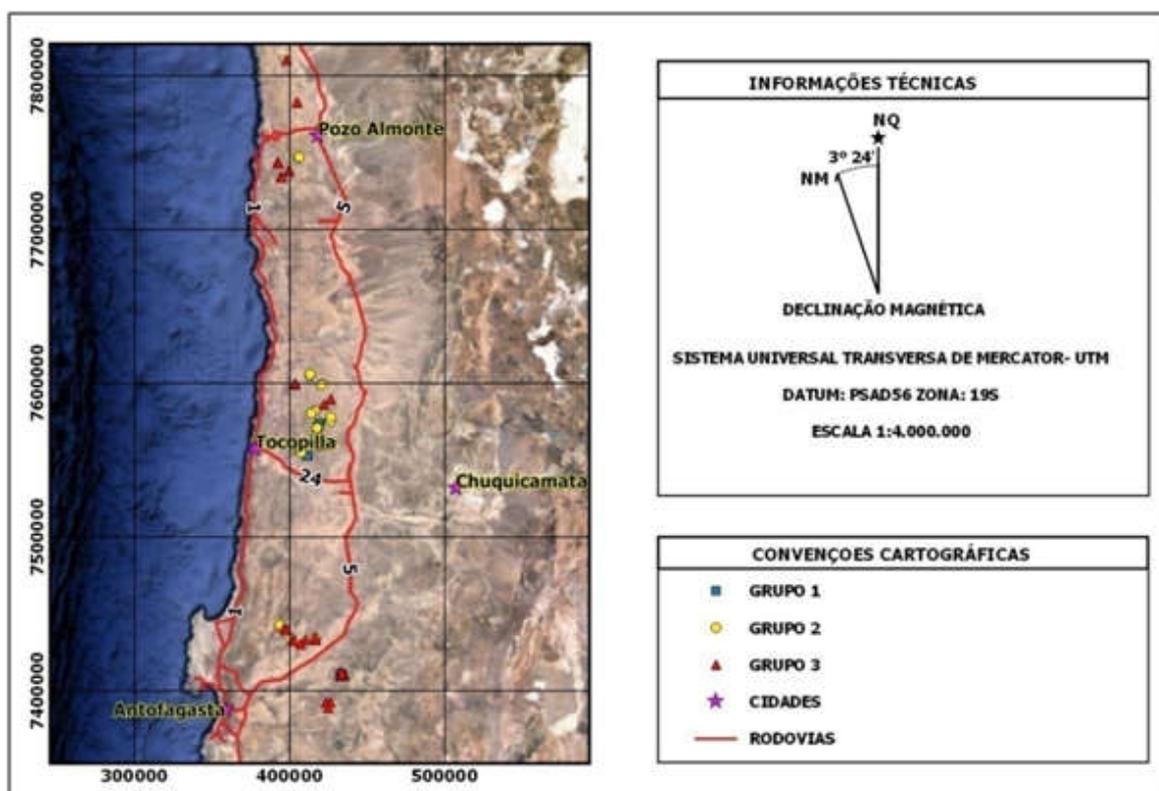
O estudo irá contribuir para maior compreensão sobre o comportamento dos elementos terras raras com mineralizações tipo pórfiros e através da química mineral, se conseguirá observar as características microestruturais e a análise espectroquímica, caracterizando informações físico-químicas do minério de cobre. O trabalho pode ser justificado pela carência de estudos específicos sobre o padrão dos elementos terras raras nos pórfiros que foram selecionados para amostragem. Na área de estudo, Búfalo, com aproximadamente 1,7Km<sup>2</sup> foi realizado um mapeamento geológico na escala de 1:10.000 e uma etapa de prospecção realizando duas sondagens para obtenção de testemunhos de sondagem feito pela Sociedade Química Minera do Chile (SQM). Para o estudo foram selecionados 6 amostras de testemunhos de sondagens onde se fizeram 6 lâminas petrográficas, estudadas no microscópio

e posteriormente foram estudadas no MEV, para determinação de minerais metálicos e de alteração.

#### 4. ÁREA DE ESTUDO

O presente trabalho está dividido em dois estudos distintos desenvolvido na região norte do Chile. O primeiro trabalho realizado foi em escala regional foi extraído amostras de pórfiros aflorantes ao longo da cordilheira da costa seguindo um perfil aproximadamente na direção norte-sul com cerca de 400Km, entre os paralelos 20°15'S – 23°30'S, e meridianos 70°15'-69°40'W com amostramento irregular, mais concentrados em áreas de interesse prospectivo (Figura 1).

Figura 1— Distribuição das amostras ao longo da cordilheira da costa.



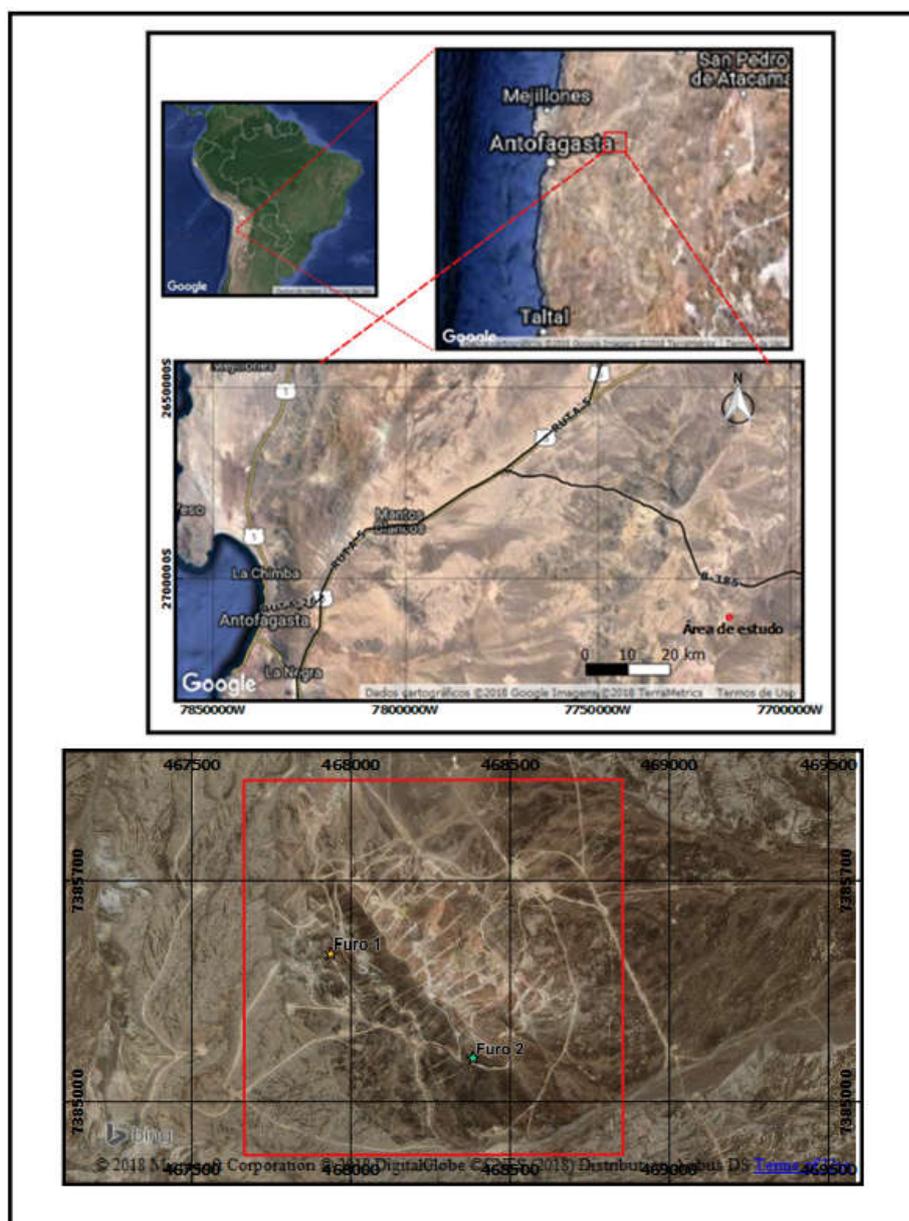
Fonte: Autor.

O estudo voltado para área prospectiva de Búfalo é realizado em uma escala de detalhe com área de aproximadamente 1,7Km<sup>2</sup> (Figura 2) onde foi realizado amostragem de rochas aflorante e dois furos de sondagem.

Descritivamente para chegar até a área Búfalo pode-se partir da cidade de Antofagasta, cidade litorânea localizada na região norte do Chile, seguindo pela rota 1, via pública mais ao

litoral da cidade, pela direção norte até encontrar a avenida Salvador Allende, segue por essa na direção leste por aproximadamente 15Km, para então seguir pela rota 5 na direção nordeste percorrendo aproximadamente 57Km até atravessar a vila de Baquedano para então seguir pela B-385 seguindo por esta estrada por mais 63Km, para então seguir na direção sul, já não há estradas, atravessa pelos rastros de passagem que possa observar, por mais 8Km, conseqüentemente chega-se na parte norte da área de estudo onde será visto um cerro destacado no relevo (Figura 2).

Figura 2— Localização da área Búfalo contendo as amostras de afloramento e os testemunhos de sondagens.



Fonte: Autor.

## 5. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 5.1. Geologia geral do Andes Central

Devido as diferenças estruturais presentes no processo de subducção da placa tectônica de Nazca em relação com a placa sul-americana é notória distinção de domínios geotectônicos ao longo do arco magmático Andino. A região do norte do Chile está completamente inserida no contexto geológico do Andes central.

A margem continental ocidental da América do Sul está inserida em um ambiente tectônico de convergência onde ocorre a subducção de crosta oceânica, gerando uma cadeia montanhosa com mais de 8.000 km de extensão, e elevações de até 7.000 m no vulcão Ojos del Salgado (SEYFRIED, 1998).

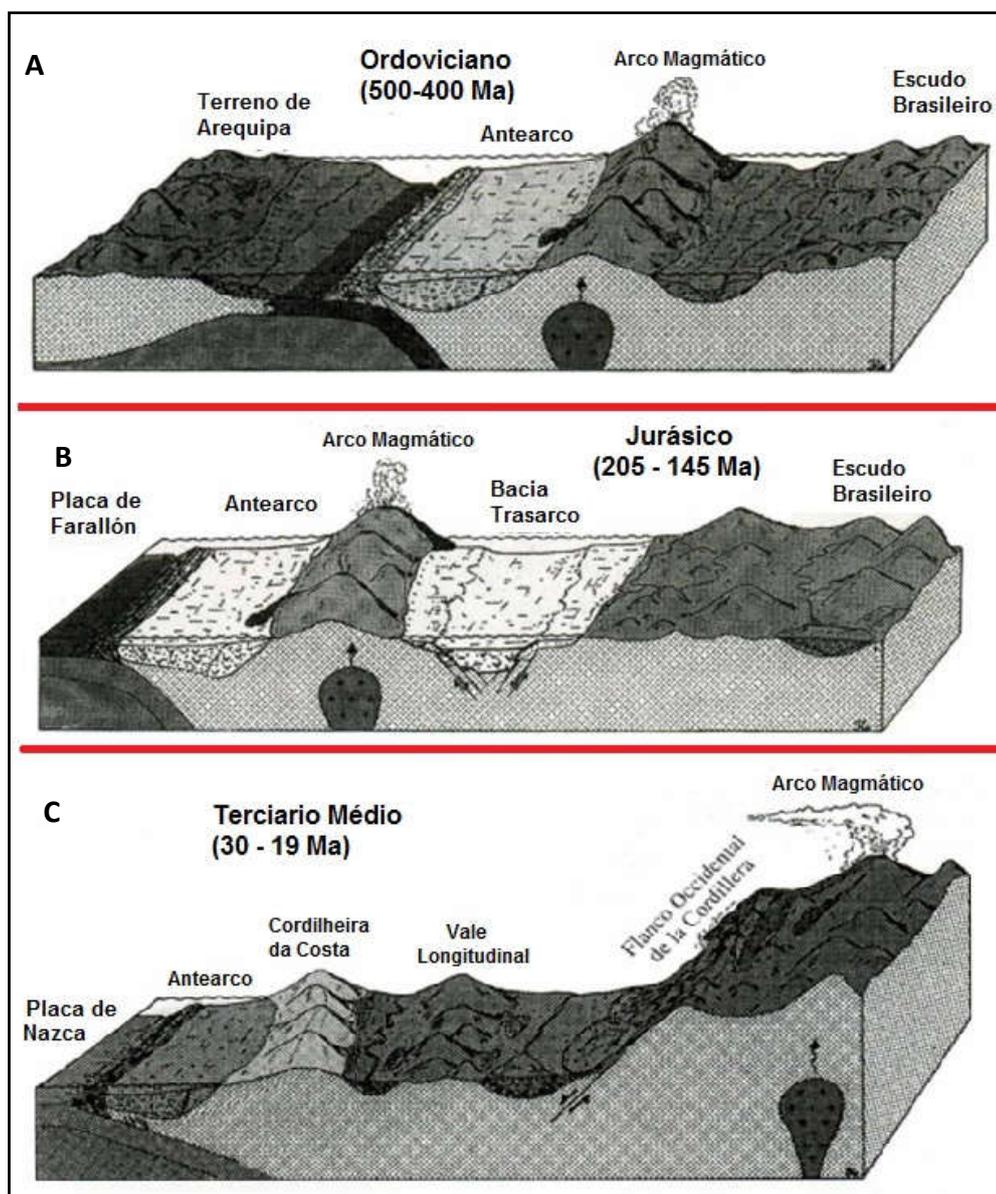
Descrito uma evolução crustal lateralmente com avanço do arco magmático para direção leste desde o Mesozoico (GUSTAVSON, 1975). Está migração do arco-magmático explica o porquê das rochas mais antigas afloram ao longo da cordilheira da Costa, sendo notória uma divisão metalogênica com maior enriquecimento de minério nas franjas mais recente, cenozóicas.

O enorme engrossamento e soerguimento crustal da cordilheira Andina tem particularmente estimulado discussões sobre o tema, apresentando diversos processos e modelos, e combinações entre eles, para explicar o desenvolvimento orogênico desta região. As maiores deformações associados ao soerguimento da cordilheira Andina ocorreu no final do cretáceo inferior, eoceno médio, e final do Oligoceno início Mioceno, indicando a existência de episódios de aumento de deformação (CHARRIER, 2009).

A evolução geológica da margem continental ativa da América do sul é representada com uma série de episódios geológicos mostrados na Figura 3. Os eventos geotectônicos que ocorrem no Andes central é mais bem conhecido nos episódios recentes, porém podendo ser razoavelmente afirmado sua evolução desde o início do paleozóico. As rochas mais antigas do Chile se encontram perto de Pueblo de Belén e tem uma idade de  $1877 \pm 140$  Ma (LEZAUN, 1996).

Figura 3— Episódios do desenvolvimento da margem continental ocidental de sul-americana na região do norte do Chile. Reconstrução geológica para a época do Ordoviciano (A).

Reconstrução geológica para época do Jurássico (B). Reconstrução geológica para época do Mioceno (C).

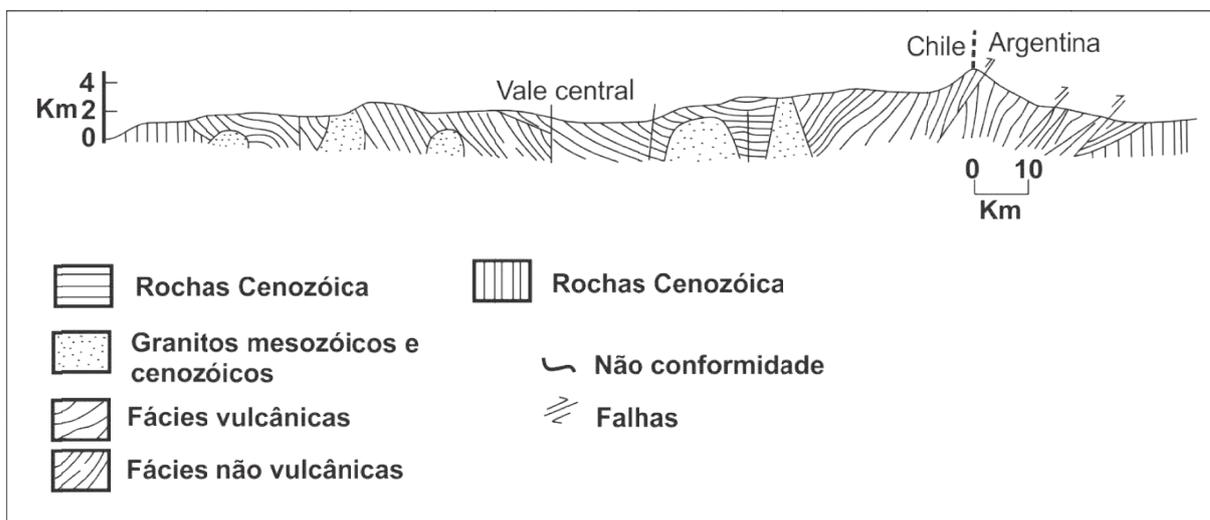


Fonte: Extraído e modificado de Mpodozis, 1990.

Atualmente o modelo geológico no norte do Chile pode ser interpretado descritivamente como mostra a Figura 4.

O Andes central é dividido em dois subparalelos cinturões de montanhas, o mais antigo de idade paleozóica (Herciano) está a leste e forma a cordilheira da costa, a cordilheira oeste é formada pelo arco andino de idade mesozoico-cenozoico, as duas cordilheiras são separadas pelo vale central (DAZIEL, 1981).

Figura 4— Perfil transversal simplificado da geologia e estrutural do Andes central realizado no norte do Chile.



Fonte: Extraído e modificado de Daziel, 1981

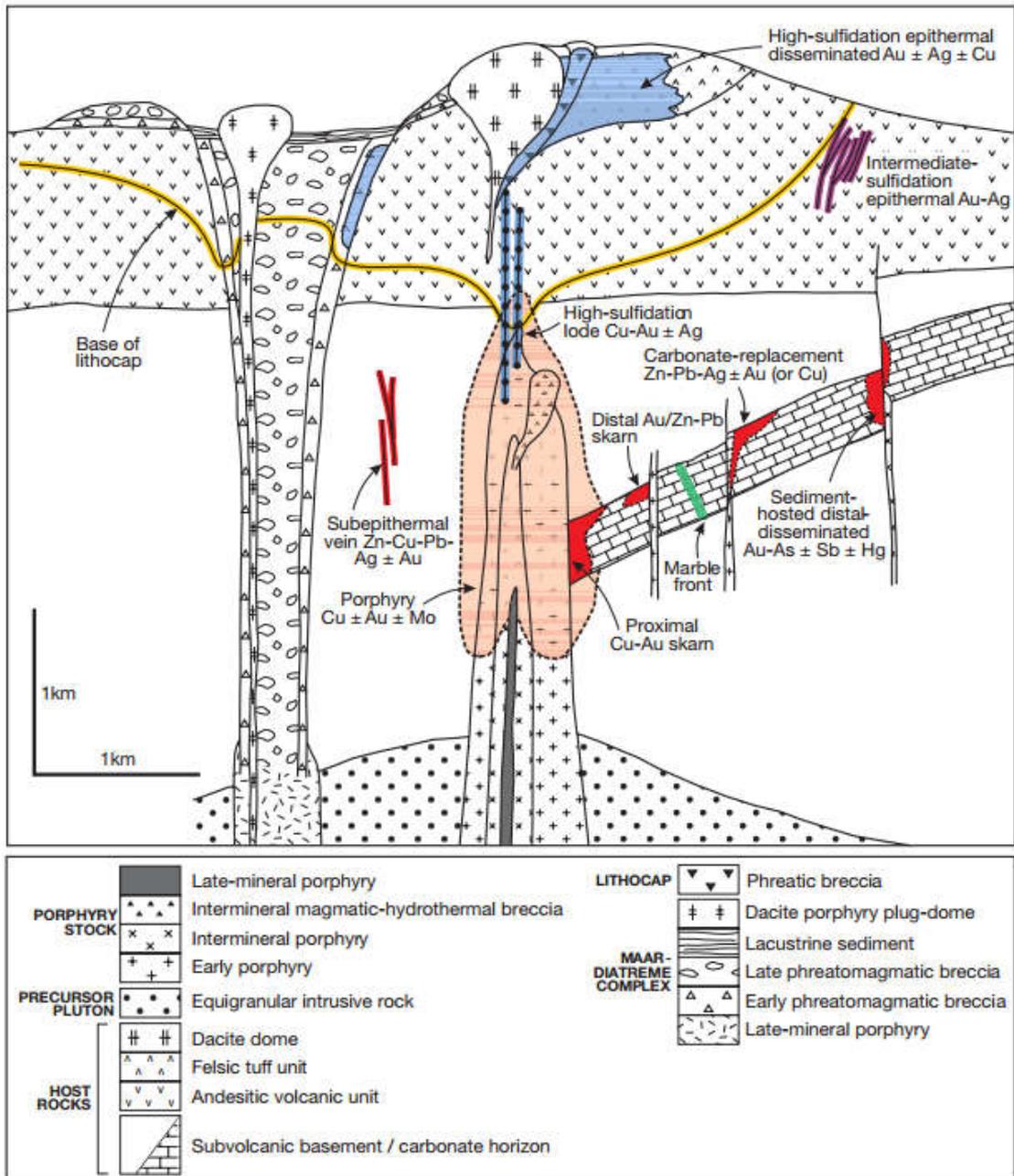
## 5.2. Conhecimentos gerais do sistema cobre pórfiro

Definindo o sistema do tipo pórfiro de acordo com Sillitoe, 1972: “Largos volumes (10-100 Km<sup>3</sup>) de rochas com alteração hidrotermal centradas sobre uma intrusão porfírica. Eles são produtos dos arcos magmáticos construído sobre uma ativa zona de subducção em margem de placa convergente”. A Figura 5 descreve esta definição mostrando as relações espaciais dos depósitos tipo pórfiros e mais importante para o tema do projeto a descrição das diferenças temporais entre os tipos de pórfiros.

Cada fase do sistema cobre pórfiro está intimamente ligada a um evento magmático equivalente no tempo. O sistemas de falhas intra-arco, ativos antes e durante o magmatismo, são particularmente importantes localizadores de ocorrência de pórfiros, como exemplificado pelo sistema de falhas Domeyko durante o desenvolvimento do proeminente eoceno médio para o início do cinturão oligocénico do norte do Chile (SILLITOE, 2010).

Todos os modelos reconhecem o importante envolvimento de rochas intrusivas porfíricas com depósito de minério, e todos os modelos são fundamentalmente hidrotermais-magmáticos, diferindo apenas nas seqüências de eventos, profundidades de intrusão, tempo de derivação de fluidos e fonte de fluidos. O tamanho do corpo intrusivo não parece ter qualquer relação óbvia com o tamanho dos depósitos associados de cobre e seus teores (SEEDORFF, 2005).

Figura 5— Anatomia de um modelo genérico do sistema tipo pórfiro mostrando as relações espaciais de um depósito tipo cobre pórfiro +-Au+-Mo em suas multifases do pórfiro e as rochas encaixante; periférico proximal e distal skarnitos, subepitermal veios em rochas não carbonáticas, sobreposição de alta e intermediária sulfetação em depósitos epitermais. Incomum de um sistema individual contenha diversos tipos de depósito ilustrado.



Fonte: Extraído e modificado de Sillitoe, 2010.

O sistema cobre pórfiro mostram uma tendência a ocorrer em cinturões lineares, tipicamente orogêno-paralelos, que variam de algumas dezenas e até a milhares de quilômetros de comprimento, como exemplificado pelos Andes da América do Sul ocidental.

As intrusões relacionadas com o sistema cobre pórfiro é dividida geneticamente em múltiplas fases (GUSTAFSON, 1978). Como descreve esse autor, a primeira fase ocorre logo após a instalação da câmara magmática e este pórfiro é classificado como pré-mineral que foram colocadas imediatamente antes a formação de fenocristais, a segunda fase ocorre após um considerável resfriamento e durante a formação de fenocristais, a terceira fase está perto da cristalização completa do magma é descrita como pórfiro mineral tardio e depois os eventos de alteração e mineralização são descritos como pórfiros pós-minerais (Fig. 4).

Para este trabalho o principal fundamento a ser considerado é a relação temporal, que é determinante para diferenciar os tipos de pórfiros, sendo esta diferenciação responsável por mudanças geoquímicas registradas nos elementos traços.

### **5.3 Conhecimentos gerais dos ETR**

Os ETR, são definidos como os elementos do lantânio ao lutécio (número atômico 57 a 71) em conjunto com o ítrio (número atômico 39) são todos nitidamente litófilos. Os elementos do lantânio ao gadolínio são chamados de Elementos Terras Raras Leves (ETRL), enquanto que os elementos do térbio ao lutécio, assim como o ítrio, são denominados Elementos Terras Raras Pesadas (ETRP) diferenciados pelo tamanho do raio iônico existente entre os ETRL e os ETRP sendo os raios menores característicos dos ETRP (MACHADO, 1998).

A distribuição dos ETRs é controlada pelo coeficiente de partição, influenciados por processos geológicos geradores e diferenciadores do magma, como a fusão parcial, cristalização fracionada e contaminação magmática. Assim sendo e utilizado como ferramenta no estudo petrogenético e metalogenético, devido a sua característica típica de ser muito estável quando já pertence a uma estrutura mineral, o que faz possível uma série de informações e parâmetros que são de relevância técnica para projetos geoeconômicos (FORMOSO, 1989).

Os elementos terras raras são frequentemente utilizados para a caracterização geoquímica das rochas ígneas como indicadores petrogenéticos, já que investigando as características geoquímicas de suítes de rochas de mesma origem podemos obter informações dos processos envolvidas na petrogêneses do espectro magmático primário e a diferenciação deste espectro ao decorrer do tempo.

O conhecimento dos elementos terras raras pode auxiliar na exploração mineral de dois modos muito efetivos. Primeiro em escala regional, pode selecionar corpos graníticos nos

quais o fracionamento de ETR indicará a efetiva segregação de uma fase fluida potencialmente transportadora de metais, e em segundo caso, trabalhando em escala local, definindo massas específicas de rochas hidrotermalmente alteradas podendo ter um modelo de distribuição de ETR que indique a conveniência de se investigar uma dada massa em detrimento de outras (FORMOSO, 1989).

O comportamento geoquímico dos ETR é influenciado por quase todos os processos importantes de formação de minério hidrotermal, incluindo interações fluido-rocha, precipitações do fluidos, adsorção e sequestro de partículas, e mudanças na temperatura do fluido, pressão, pH, Eh, alcalinidade e concentração de ligantes (LOTTERMOSER, 1992).

Um trabalho pioneiro que se preocupou em monitorar os processos geoquímicos que envolvem a formação de depósitos minerais associados a rochas graníticas é de Taylor e Fryer (1983), mostrando uma classificação para as rochas e depósitos minerais, apresentando uma classificação baseado nos ETR mostrada na Tabela 1.

Tabela 1— Classificação metalogenética para o sistema cobre pórfiro interpretada com base em ETR, proposta por Taylor e Fryer, 1983.

<b>Item</b>	<b>Pórfiro</b>
Mineralização	Hidrotermal Cu, Mo, Au.
Quimismo	Calciocalino
Litologias	Hornblenda e/ou biotita-tonalito e granodiorito
Comportamento dos ETR	Forte enriquecimento em ETRL durante alteração potássica. As outras alterações mobilizam ETRP.
Fluidos	Ricos em Cl.

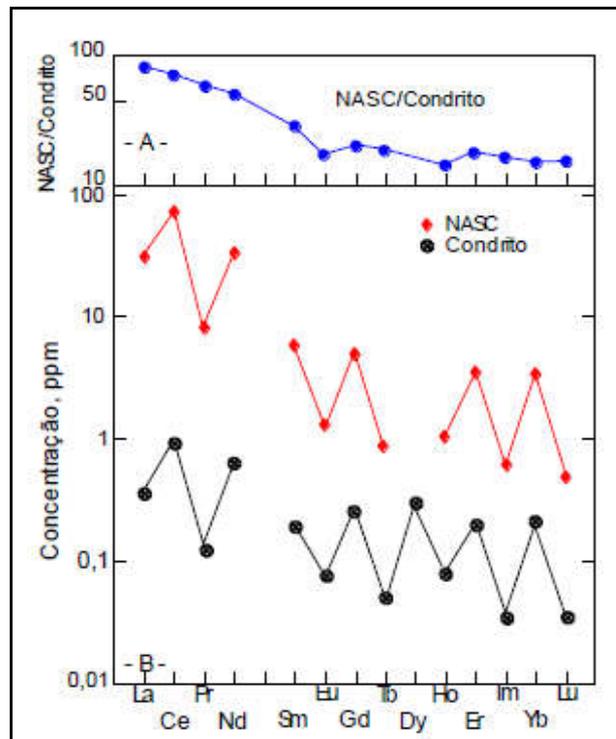
Fonte: Extraído e modificado de Taylor e Fryer (1983)

O tratamento dos dados de ETR deve começar pela ponderação dos elementos em relação a sua abundância, com finalidade de corrigir o efeito Oddo-Harkins, é conhecido está técnica como normalização.

A normalização dos resultados geoquímicos das amostras é um processamento necessário com finalidade de corrigir a característica típica dos elementos terras rara em relação a sua abundância absoluta, ou seja, existem grandes variações entre ETR de números atômicos consecutivos pares e ímpares, conhecido como efeito Oddo-Harkins (distribuição com forma de zig-zag ou serra) Figura 6. Metodologicamente consiste em utilizar uma média geoquímica dos ETR realizados em amostras de condritos com intenção de obter valores de

referencia. Escolhendo os dados de referencia calcula a relação proporcional entre os dados de ETR das amostras e os dados de ETR utilizado como referência. Para normalização dos dados foi optado os valores de Nakamura,1974.

Figura 6— Padrão de zig-zag das abundâncias de ETR, efeito Oddo-Harkins



Fonte: Extraído de HDESÁ PAYE, 2014.

Após realizar a normalização dos dados de ETR ao condrito é possível de criar gráficos de distribuição dos elementos, utilizar diagramas e calcular parâmetros geoquímicos. Os parâmetros geoquímicos estabelecem as relações entre os ETRL e ETRP, quantificam anomalias de európio e servem para caracterizar o comportamento geoquímico dos ETR permitindo interpretar possíveis processos geológicos.

Os parâmetros geoquímicos utilizados ficam a critério da conveniência do autor em destacar uma relação que teoricamente se considere importante para o estudo. O comportamento dos ETR em minerais de diferentes tipos de rochas foi resumido no trabalho de Clark em 1984. De forma consensual os mais frequentes parâmetros utilizados são apresentados na Figura 7

Figura 7— Organização dos parâmetros a ser utilizado na caracterização geoquímicas das amostras referente as concentrações de ETR.

AMOSTRAS	$\Sigma$ ETR	Y/ $\Sigma$ ETR	$\Sigma$ ETRL/ $\Sigma$ ETRP	$\Sigma$ ETRP/ $\Sigma$ ETRL	La/Sm	Gd/Lu	La/Lu	Eu/Eu*
<p><b>LEGENDA:</b>  <math>\Sigma</math>ETR: Abundância total de elementos terras raras  Y/<math>\Sigma</math>ETR: Razão de Ítrio por abundância total de ETR  <math>\Sigma</math>ETRL/<math>\Sigma</math>ETRP: Razão da abundância total dos ETR leves por ETR pesados  La/Sm: Proporção de Lantânio por Samário  Gd/Lu: Proporção de Gadolínio por Lutécio  La/Lu: Proporção de Lantânio por Lutécio  Eu/Eu*: Razão obtida através de uma interpolação linear entre os valores normalizados de Sm e Gd (Eu*). Parâmetro utilizado para quantificar anomalias de Európio.</p>								

Fonte: Extraído e modificado de MACHADO,1998.

A explicação detalhado dos parâmetros geoquímicos e sua interpretação é apresentado em tópicos a seguir:

I. Abundância total de elementos terras raras ( $\Sigma$ ETR): Calculado através da soma de todos ETR normalizados em cada amostra. Utilizado para quantificar o enriquecimento de ETR nas amostras, sendo que os valores mais altos são ditos como tendo um maior enriquecimento. Parâmetro importante para determinar processos de evolução magmática e pós-magmáticos, pegmatíticos a hidrotermais.

II. Razão de YN/( $\Sigma$ ETR): Dividindo o valor de Ítrio normalizado pela abundancia total de ETR em cada amostra. É um parâmetro utilizado para relacionar com um enriquecimento de  $\Sigma$ ETRP/ $\Sigma$ ETRL, devendo estes valores ter uma relação diretamente proporcional.

III. Razão dos  $\Sigma$ ETRL/ $\Sigma$ ETRP: Calculado pela divisão do somatório dos ETRL (La ao Eu) e dos ETRP (Gd ao Lu). Quantifica o grau de fracionamento de ETRL em relação aos ETRP, mostrando se as amostras contem maiores concentração de ETRL ou ETRP.

IV. Proporção de La/Sm, La/Lu e Gd/Lu: Parâmetro calculado dividindo o valor normalizado do Lantânio pelo Samário, Lantânio por Lutécio, e o valor do Gadolínio pelo Lutécio. Utilizado para medir o grau de fracionamento dos ETRL tendo estes parâmetros uma relação diretamente proporcional com os ETRL.

V. Razão Eu/Eu\*: É uma divisão dos valores normalizados de Európio pela concentração esperada obtida através de uma interpolação linear entre os valores normalizados de Sm e Gd (Eu\*). Parâmetro utilizado para quantificar anomalias de Európio.

A concentração dos ETR é responsável pela entrada preferencial dos ETRP nas posições do cálcio, o que faz com que os ETRL fiquem concentrados nas frações tardias da cristalização fracionada, nos líquidos residuais e fluidos pós-magmáticos, ou então, nos fluídos/líquidos iniciais da fusão parcial (MACHADO, 1998).

O conceito de distintos “estágios” do magma é importante se considera a abundância de ETR nos pórfiros: quando uma variedade de pórfiro é encontrada, as seqüências mais tardias tendem a concentrar os maiores níveis de ETR e portanto a maior abundância de minerais de terras raras.

#### **5.4. Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV)**

A primeira pessoa a obter imagens da superfície de um sólido advindas da varredura por elétrons foi o engenheiro alemão Max Knoll, em 1935. Os princípios inerentes a esta técnica foram estabelecidos posteriormente, em 1938, pelo físico também alemão von Ardenne (STOCKES, 2008).

Realizado esta etapa no laboratório da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFGRS) utilizando o equipamento MEV JSM 6060 que opera numa tensão de 0,1 a 30kV, podendo ser utilizado em observações convencionais de imagem em elétrons secundários.

O MEV constitui uma técnica de grande importância, sendo amplamente utilizada pela comunidade científica e tecnológica, com grande aplicação no campo das Geociências. O microscópio eletrônico de varredura moderno é capaz de produzir imagens na ordem de Ângströms, combinado com um imageamento de alta resolução.

A forte interação dos elétrons com a matéria produz uma ampla variedade de “sinais” que podem revelar todos os tipos de segredos sobre a matéria no nível microscópico e até nanoscópico (STOCKES, 2008). Denominam-se elétrons primários àqueles que quando focados em formato de um feixe são capazes de escanear uma determinada superfície através do bombardeamento de elétrons no espécime a ser analisado. Desta forma, uma ampla gama de interações pode ocorrer, levando à emissão de partículas carregadas e fótons que são posteriormente coletados e utilizados para formar uma imagem, um padrão de difração ou um espectro químico. Este feixe de elétrons pode ser operado de modo a realizar uma varredura

na superfície da amostra possibilitando, por exemplo, a identificação da variação composicional dentro de um mesmo mineral (STOCKES, 2008).

Os tipos de sinais produzidos pelo MEV incluem os elétrons que são emitidos, também chamados de secundários, elétrons refletidos conhecidos como *back-scattered electrons* (BSB), elétrons transmitidos, fótons de raios-X e fótons de luz visível (Cátodo Luminescência), entre outros. Neste estudo serão utilizadas imagens em tons de cinza geradas por BSB, formadas por elétrons retroespalhados que refletem mudanças composicionais na região ionizada em estudo: tons claros indicam porções constituídas por elementos com massas atômicas maiores que aquelas em tom de cinza escuros. Para identificar composicionalmente os minerais será utilizado o sistema de detecção de energia dispersiva (EDS), que pode ser acoplado ao MEV com a finalidade de fornecer uma análise qualitativa e semiquantitativa das amostras a partir da identificação da emissão de raios-X. (STOCKES, 2008; DUARTE *et al.*, 2003).

O feixe de elétrons é produzido termoionicamente através da aplicação de uma alta voltagem em um filamento, geralmente composto por tungstênio, aquecendo-o a uma temperatura de cerca 2700K. Posteriormente, o feixe é focalizado por uma série de lentes eletromagnéticas, compostas por milhares de fios de cobre dentro de uma cápsula de ferro. O mínimo diâmetro de feixe já alcançado por um MEV de alta-performance é cerca de 2 nanômetros (REED, 2005; STOCKES, 2008). Aquelas em tom de cinza escuros. Para identificar composicionalmente os minerais será utilizado o sistema de detecção de energia dispersiva (EDS), que pode ser acoplado ao MEV com a finalidade de fornecer uma análise qualitativa e semiquantitativa das amostras a partir da identificação da emissão de raios-X. (STOCKES, 2008; DUARTE *et al.*, 2003).

## **6. MATERIAIS E MÉTODOS**

### **6.1. Etapa pré-campo**

Está etapa compreende uma revisão bibliográfica que consistiu na compilação de dados publicados para reunir um conjunto de informações sobre a área de estudo e o tema do trabalho. Foram utilizados livros e artigos científicos para dar subsídio teórico para o desenvolvimento do trabalho, para a delimitação do tema e caracterização do problema científico. Também foram utilizados mapas, banco de dados e relatórios técnicos internos que foram cedidos pela empresa SQM, os quais se aplicam as áreas de estudo e arredores.

## **6.2. Etapa de campo**

Esta etapa consistiu na saída de campo para coleta de amostras de pórfiros que são alvos de prospecção da empresa SQM. Durante a saída de campo foi utilizado mapas geológicos confeccionado pela empresa na escala de 1: 5000.

Foram realizados 15 dias de campo, com descrição e georreferenciamento de 36 pontos distribuídos irregularmente em uma franja cretácea, que compreendem afloramentos de rochas em topo de morro (Anexo A). Nos afloramentos foram descritos a cor, textura, alteração, estruturas e mineralogia das rochas.

Adicionalmente foi feito descrições de furos de sondagem, com objetivo de observar e descrever com detalhe as mineralizações e os tipos de alteração das rochas em profundidade, alcançando até 500 m.

Para o trabalho de campo foi utilizado os materiais tradicionais para geólogo: caminhonete, caderneta de campo, martelo, lupa de mão, ácido clorídrico 30%, canivete, imã e borrifador de água. As amostras de rocha coletadas durante o campo foram identificadas de acordo com as normas da empresa, visando garantir a melhor organização dos dados.

## **6.3. Etapa pós-campo**

Consiste no tratamento dos dados geoquímicos de rocha total fornecidos pela empresa SQM. A integração e interpretação dos dados obtidos a partir de todas as etapas foram fundamentais na realização desta pesquisa. Para a normatização e processamento dos dados geoquímicos foi utilizado o software Microsoft Office Excel. Para analisar os elementos traços das amostras foi a técnica de Inductivelycoupled plasma massspectrometry (ICP-MS), que é atualmente a principal ferramenta analítica para pesquisa geoquímica básica e aplicações prospectivas. Para especificar cada amostra foi utilizado o nome da área requerida para pesquisa mineral seguido do código numérico entre parênteses, por exemplo: Nome do setor (número da amostra).

No estudo da área prospectiva de Búfalo foram selecionadas 6 amostras as quais foram laminadas no laboratório da UNIPAMPA e estudadas no laboratório de microscopia da mesma universidade. Posteriormente, nesta laminas foi realizado o estudo de química mineral no MEV, realizado no laboratório da UFRGS.

## 7. RESULTADOS

### 7.1 Estudo dos ETR em escala regional

#### 7.1.1 Divisão e análise dos resultados geoquímicos

Os dados geoquímicos foram analisados e interpretados a partir de diagramas e gráficos em conjunto com breves descrições, possibilitando que seja observado o comportamento químico das rochas, para identificar padrões, tendências, possíveis contaminações e anomalias em elementos presentes.

Processando os dados geoquímicos que a empresa SQM disponibilizou, utilizamos a normalização dos valores dos elementos terras raras para gerarmos as curvas de padrão dos ETR, e conseqüentemente conseguir dividir as amostras de acordo com suas características geoquímicas.

Com intuito de organização e caracterização dos resultados geoquímicos obtidos, a Tabela 1 é apresentada com os valores dos parâmetros calculados a partir da normalização para condrito e será usado para interpretação dos processos geoquímicos.

Tabela 2— Parâmetros calculados para quantificar as tendências geoquímicas relacionada aos elementos terras raras.

GRUPOS	$\Sigma$ ETR	Y/ $\Sigma$ ETR	Nb/ $\Sigma$ ETR	$\Sigma$ ETRL/ $\Sigma$ ETRP	$\Sigma$ ETRP/ $\Sigma$ ETRL	La/Sm	Gd/Lu	La/Lu	Eu/Eu*
<b>Grupo 1</b>									
<b>Maior Valor</b>	192,169	0,088	0,037	3,695	0,586	3,714	2,137	8,758	3,914
<b>Menor Valor</b>	27,805	0,054	0,007	1,708	0,271	1,647	1,084	2,907	0,729
<b>Média</b>	<b>103,195</b>	<b>0,069</b>	<b>0,022</b>	<b>2,505</b>	<b>0,412</b>	<b>2,658</b>	<b>1,611</b>	<b>5,870</b>	<b>1,229</b>
<b>Grupo 2</b>									
<b>Maior Valor</b>	247,238	0,104	0,077	3,961	0,663	4,141	3,851	11,678	1,217
<b>Menor Valor</b>	128,744	0,043	0,008	1,509	0,252	1,876	1,056	3,168	0,736
<b>Média</b>	<b>182,608</b>	<b>0,069</b>	<b>0,024</b>	<b>2,668</b>	<b>0,399</b>	<b>3,130</b>	<b>1,673</b>	<b>6,911</b>	<b>0,935</b>
<b>Grupo 3</b>									
<b>Maior Valor</b>	714,005	0,095	0,048	5,791	0,708	6,138	6,207	23,150	1,262
<b>Menor Valor</b>	184,570	0,031	0,005	1,413	0,173	1,728	0,936	2,632	0,372
<b>Média</b>	<b>347,274</b>	<b>0,063</b>	<b>0,020</b>	<b>3,049</b>	<b>0,370</b>	<b>3,270</b>	<b>1,727</b>	<b>8,126</b>	<b>0,790</b>

Fonte: Autor.

Nas amostras estudadas, o parâmetro mais importante é a abundância geral dos ETR, sendo este valor determinante para a divisão do banco de dados em três distintos grupos. Utilizando os valores obtidos pela média dos parâmetros calculados para cada amostra, encontramos um valor médio para nossos parâmetros geoquímicos de cada grupo, possibilitando afirmar diferentes significados geoquímicos e de processos geológicos atuantes nas amostras de cada grupo.

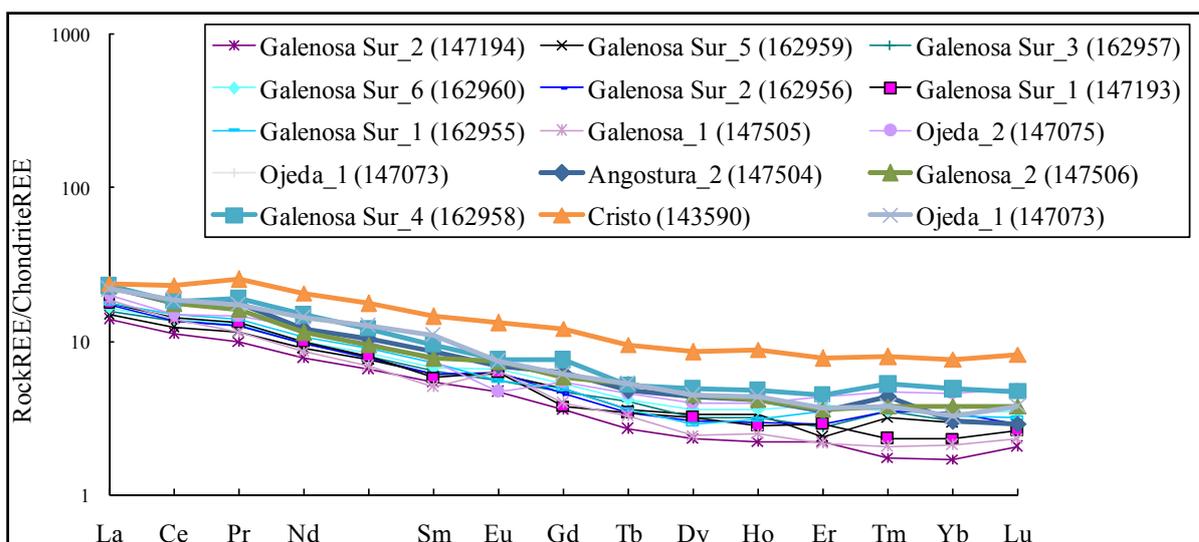
O Grupo 1 tem baixa abundancia de ETR, com valores médios de 103,19ppm, possuindo maior proporção da ETRP/ETRL comparado aos outros grupos. Apresenta leve enriquecimento em ETRL (ETRL/ETRP = 2,5), e as relações de La/Sm, Gd/Lu e La/Lu indicam predomínio de ETR com tamanhos de raio iônico maior, ou seja, domínio de ETR incompatíveis. Os valores de Eu/Eu\* são predominantemente positivos tendo uma média de 1,22 (Tabela 1).

O Grupo 2 apresenta uma concentração de ETR total moderada, com valor médio de 182,6ppm. Maior fracionamento de ETRL em relação aos ETRP com predomínio dos ETR mais incompatíveis. As anomalias de európio são sutis, pouco evidenciadas, dominando as anomalias positivas, tendo valor médio de Eu/Eu\* de 0,93 (Tabela 1).

Contrastando bastante dos demais, o Grupo 3 está bastante enriquecido em ETR total, com valores médios de 347,27ppm. O valor de fracionamento de ETRL em relação aos pesados é de 3,04, evidenciando maior freqüência de ETRL de raio iônico maiores, de tendências incompatíveis. A anomalia de európio é predominantemente negativa em todas as amostras, tendo um valor médio de Eu/Eu\* de 0,79 (Tabela 1).

As curvas de distribuição dos ETR do Grupo 1, Grupo 2 e Grupo 3 são mostrados na Figura 8, Figura 9, e Figura 10 respectivamente.

Figura 8— Curva de distribuição dos ETR para o Grupo 1.

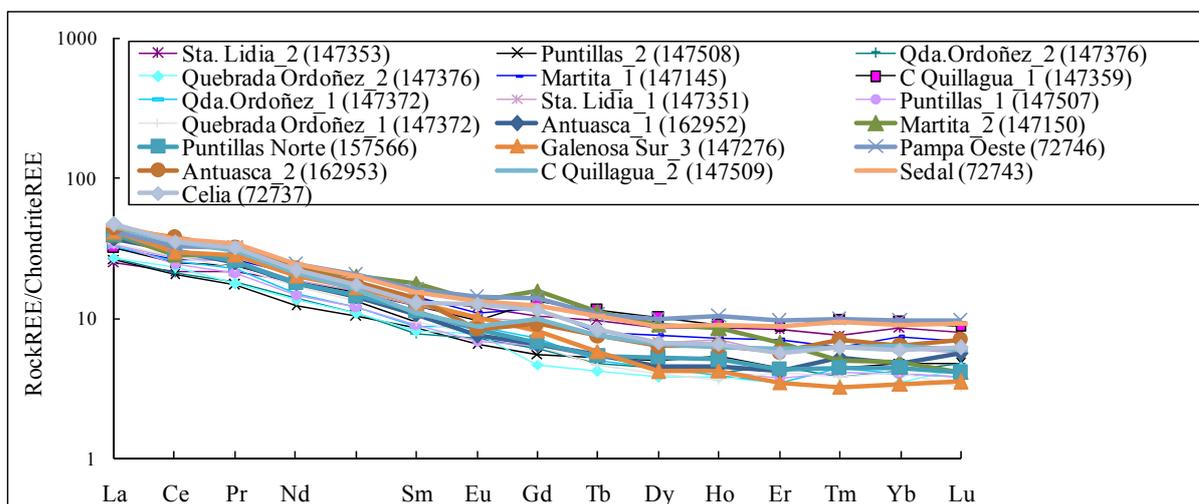


Fonte: Autor.

Pode ser observado na Figura 8 o comportamento geoquímico com padrões semelhantes de todas as amostras, com baixos valores dos ETR total e pouco enriquecimento

em ETRL, não evidenciando grandes valores anômalos de európio, seguindo o trend geral definido pelos outros ETR e predominando suaves anomalia positiva.

Figura 9— Curva de distribuição dos ETR para o Grupo 2.



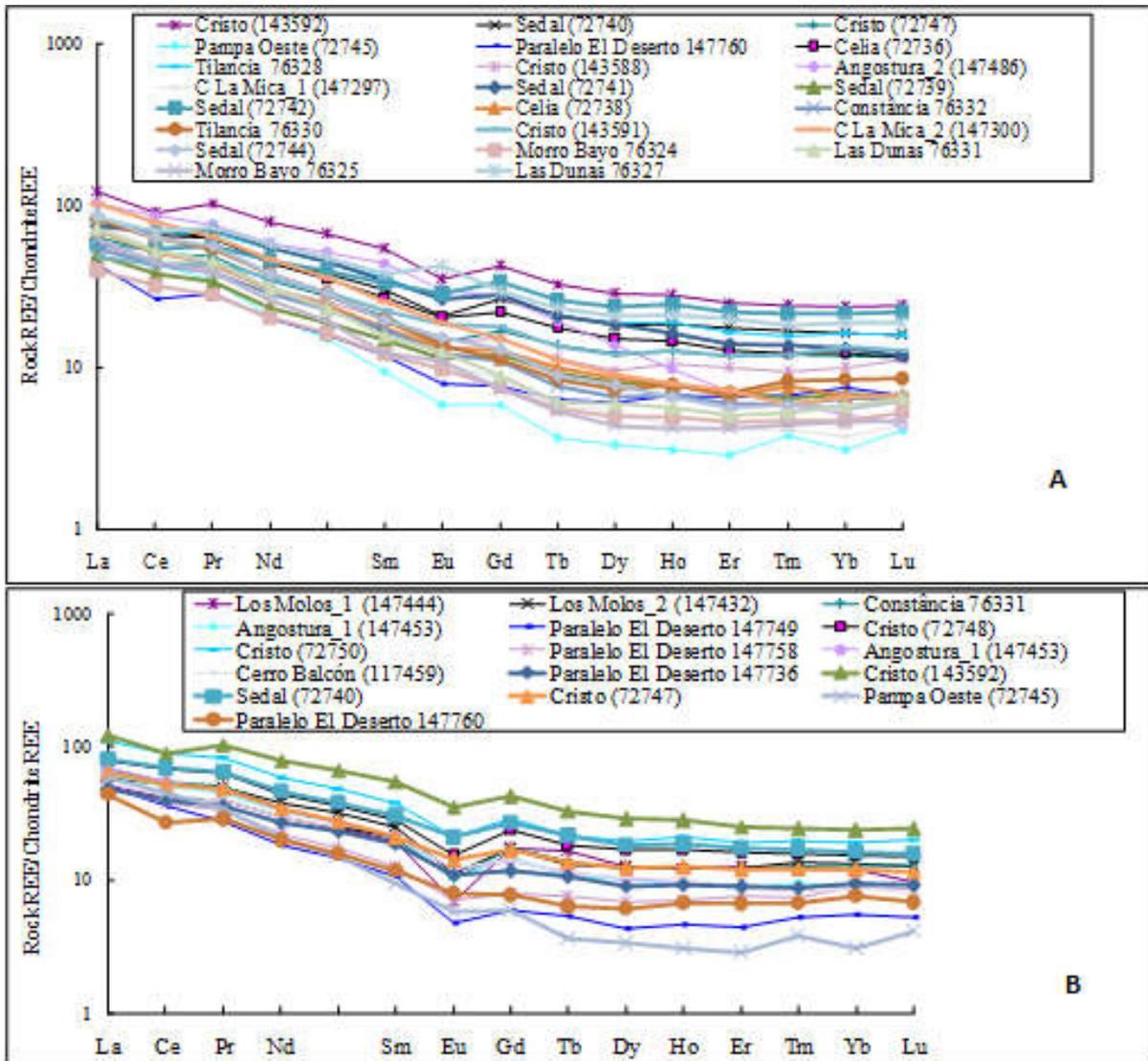
Fonte: Autor.

Nas amostras do Grupo 2, apresentadas na Figura 9 observa-se um comportamento geoquímico com padrões muito similares entre todas as amostras, com valores intermediários de ETR total e um significativo enriquecimento em ETRL, no geral não evidencia valores anômalos de európio.

O comportamento geoquímico das amostras do Grupo 3, mostrado pelo padrão de distribuição dos ETR na Figura 10 apresentam padrões mais diferenciados e irregulares, porém têm semelhanças bem notórias, permitindo considerá-las em apenas um grupo. A curva de distribuição mostra valores altos de ETR total e um forte enriquecimento em ETRL, apresentando valores anômalos de európio mais evidenciados, dominando quase que absolutamente a ocorrência de anomalias negativas nas amostras.

Com objetivo de destacar as amostras que apresentaram anomalias de európio mais fortemente negativas a Figura 10 está organizada de forma a separar essas amostras de anomalias mais exuberantes. A Figura 10(A) representa as amostras com valores anômalos de európio predominantemente negativos menos evidenciados. A Figura 10(B): destaca as amostras com anomalias negativas de európio mais evidenciadas.

Figura 10— Curva de distribuição dos ETR para o Grupo 3.



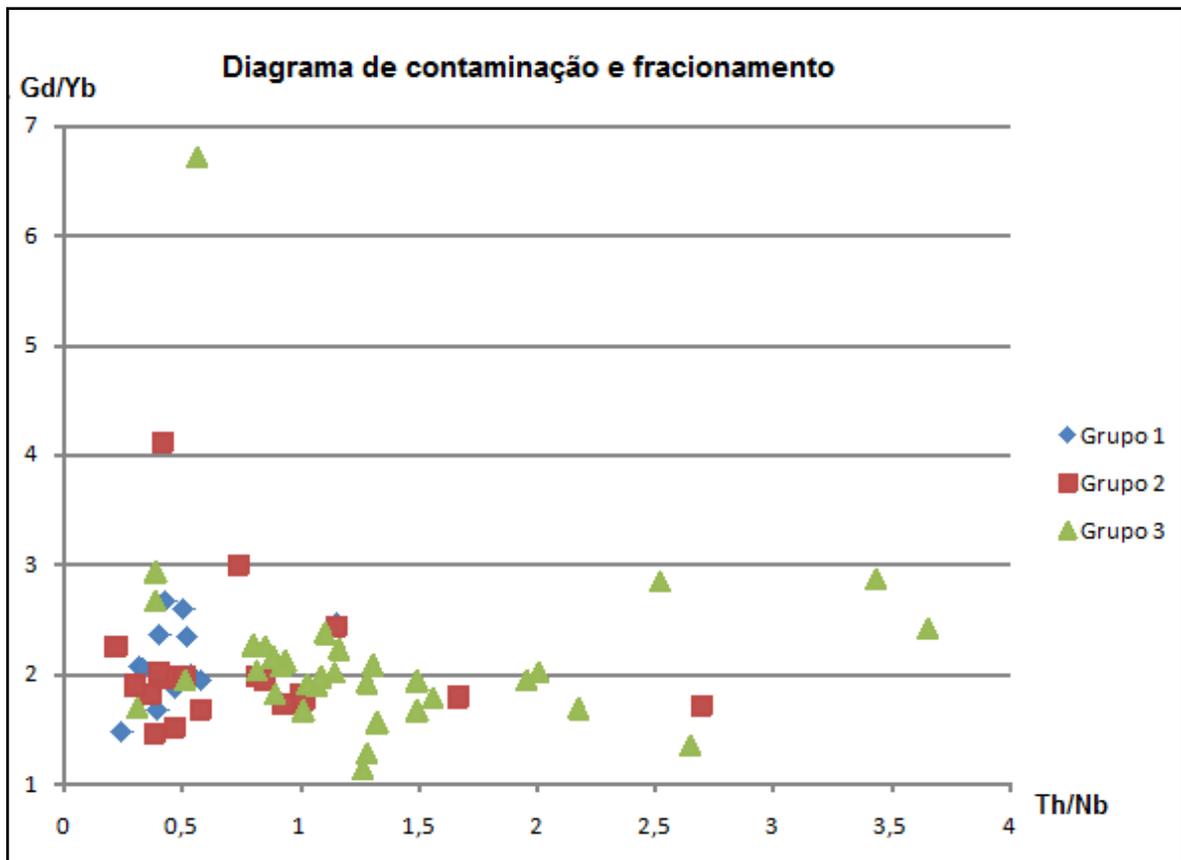
Fonte: Autor.

Os valores dos parâmetros geoquímicos de ETR calculados para cada amostra estão apresentados em tabelas e as amostras estão divididas por grupo (ANEXO A)

### 7.1.2 Contaminação e fracionamento

Análise de contaminação versus fracionamento mostrado na Figura 11 consiste na utilização dos valores da razão de Gd/Yb vs. Th/Nb, sendo utilizado para quantificar o grau de contaminação ou fracionamento das amostras. É estabelecido que quanto maior for o valor da razão de Gd/Yb maior o fracionamento e quanto maior o valor de Th/Ta maior será a contribuição de contaminação crustal (WOOD, 1980).

Figura 11— Diagrama de contaminação e fracionamento, mostrando a distribuição das amostras dos Grupos 1, 2 e 3 em relação a proporção de Gd/Yb e Th/Nb.



Fonte: Autor.

O diagrama evidencia que de forma generalizada é possível dizer que existe uma relação direta entre a abundância total dos ETR e o grau de contaminação, observada essa diferenciação à medida que aumenta o valor da razão Th/Nb no eixo horizontal. No eixo de Gd/Yb a expressa maioria das amostras estão no mesmo intervalo, não sendo visível uma diferenciação quanto ao fracionamento.

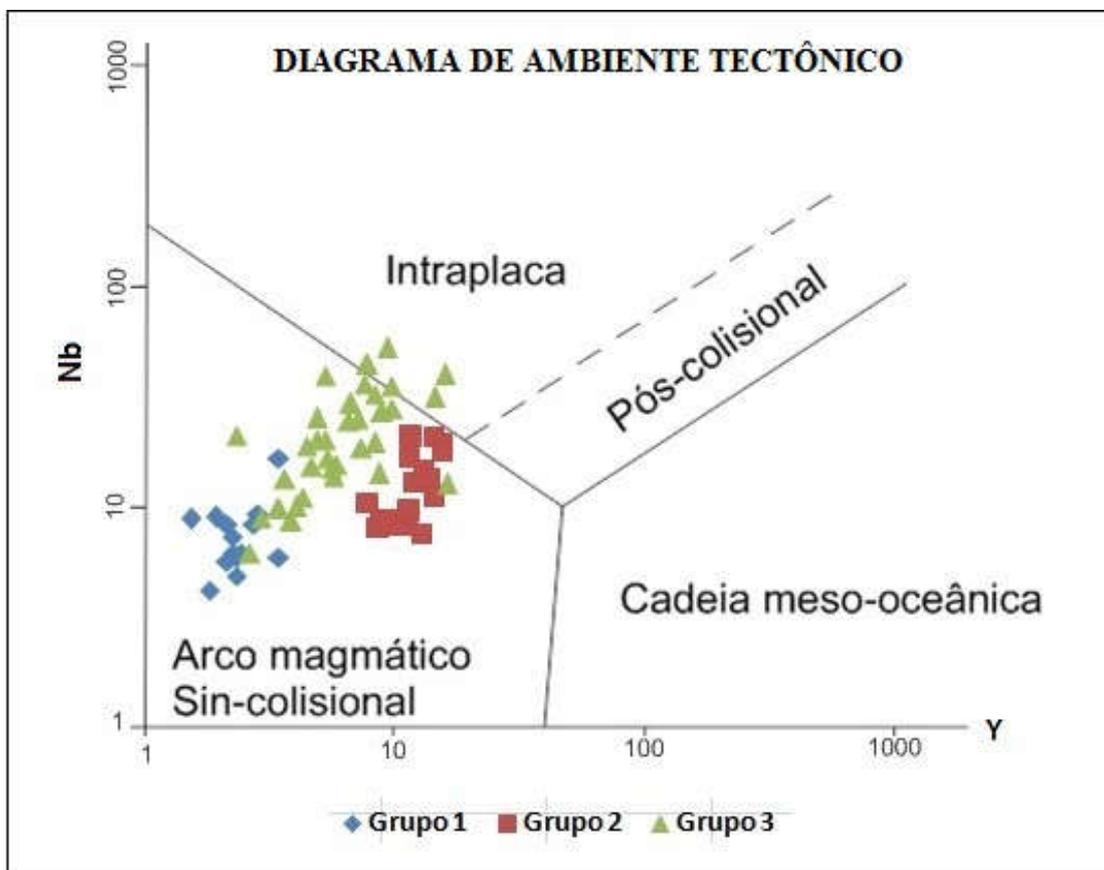
As amostras do Grupo 3 são as que apresentam maior contribuição de contaminação crustal e o Grupo 2 tem um característica intermediária com pouca contaminação crustal. As amostras do Grupo 1 têm uma distribuição muito localizada sem apresentar considerável influencia de contaminação crustal.

### 7.1.3 Ambiente Tectônico

O diagrama de ambiente tectônico proposto por Pearce em 1984 relaciona os valores nióbio e ítrio em um gráfico de escala logarítmica para classificar o ambiente tectônico das amostras.

A grande maioria das amostras podem ser classificadas como de ambiente de arco magmático sin-colisional como mostrado na Figura 12. Esse comportamento é típico de magmas cálcio-alcálinos.

Figura 12— Diagrama discriminante de ambientes tectônicos para rochas graníticas proposto por Pearce, 1984.



Fonte: Autor

É notório que as amostras de cada grupo não se sobrepuseram significativamente, sendo possível interpretar uma diferenciação ao longo do magmatismo. Uma evolução magmática poderia ser sugerida se existisse uma diferença significativa de idades entre as amostras de cada grupo, porém neste caso de todas serem provenientes do mesmo

magmatismo está tendência de migra para intraplaca deve-se a uma crescente contribuição de material crustal nas amostras partindo do Grupo 1 ao Grupo 3.

#### 7.1.4 Conclusões

Ao analisar os gráficos e os parâmetros geoquímicos das amostras, é notável que a curva de distribuição normalizada apresenta uma inclinação íngreme para a direita, mais evidente no Grupo 3, Figura 10, sendo que a maioria das amostras apresenta uma anomalia de európio pouco evidenciada ( $Eu / Eu^* > 0,7$ ).

De forma geral o conteúdo total de ETR nas amostras varia de moderado a alto. Os ETRL têm fracionamento forte, enquanto que para o ETRP é discreto, ocorrendo em algumas amostragens selecionadas ( $ETRL \gg ETRP$ ). A relação La/Lu é muito superior a 1, valor que permite considerar o enriquecimento de ETRL.

As relações de La/Sm permitem caracterizar os ETRL em termos de proporções de incompatibilidade (resultado do tamanho do raio iônico) e os resultados superiores a 2,5 apontam uma maior proporção de ETRL de raio iônico maiores. Enquanto a relação de Gd/Lu caracteriza os ETRP a proporção superior a 1,5 indica que predominam ETR de maior incompatibilidade.

Utilizando o trabalho pioneiro de Taylor e Fryer de 1983, que foi atualizado e aumentado de forma competente pela escola chinesa, todos os parâmetros de nossas amostras se encaixam na classificação de metalogênese de granitoides com fonte mista (tipo FM). São rochas formadas pelo magma derivado da fusão de rochas ultramáficas da placa oceânica e pela sua cobertura sedimentar (predominantemente material do manto superior). Eles são distribuídos em margem continental ativa, em depressões falidas ou áreas de falha de foco profundo, relacionadas ao processo de subdução e vulcanismo comagmático, com seqüências vulcânicas que variam de andesitos a dacitos, sendo essencial também enfatizar que os granitos tendem a ser injetados mais tarde que a extrusão das lavas. As amostras são enquadradas na seqüência petrográfica dita como quartzodiorita, granodiorita, pórfiro de granito. A predominância de magnetita na ilmenita é bastante acentuada, com a ocorrência de minerais acessórios como titanita, apatita, alanita e ocasionalmente cromita. Os voláteis característicos incluem CO<sub>2</sub>, Cl e S, com mineralizações que podem ser Cu, (Mo) ou Cu, (Pb, Zn, Mo, Ag, Au).

No Grupo 1, temos uma amostra com baixa abundância total em elementos de terras raras, moderado fracionamento para ETRL e pequenas anomalias positivas de európio. As amostras do Grupo 2 quando comparadas às amostras do Grupo 1, têm um aumento na

proporção de ETRL e a redução do fracionamento da ETRP, também neste grupo a anomalia de európio é predominantemente positiva, mas com valores inferiores às amostras do Grupo 1.

Os padrões mais diferentes pertencem ao Grupo 3 das amostras que apresentam altas concentrações de ETR total, alto grau de fracionamento para ETRL e bom marcador de anomalias negativas de Európio. É muito evidente que, neste grupo de amostras, os conteúdos totais de ETR indicam a tendência mais evoluída nos processos magmáticos e / ou pós-magmáticos, sendo também ou grupo que recebeu maior contaminação proveniente das rochas encaixantes.

Em relação ao comportamento do európio, podemos ver que o Grupo 1 e o Grupo 2, a predominância é de anomalias positivas, podendo significar rochas com assimilação ou acumulação de feldspatos, provavelmente na redução do meio ambiente. As amostras do grupo 3 apresentaram anomalias negativas de európio, Chase em 1963, atribuíram anomalias negativas de Eu em granitos devido à estabilização de  $\text{Eu}^{2+}$  por íons de sulfato presentes no magma.

O conceito de distintos estágios do magma é importante no sistema pórfiro, sendo este processo o principal controlador das mineralizações, sendo consenso evidenciado nos atuais depósitos que os pórfiros tardios são mais empobrecidos em minério. Quando considera a abundância de ETR nos pórfiros, as seqüências mais tardias tendem a concentrar os maiores abundâncias de ETR total. Devido ao fato de os ETR serem mais incompatíveis que os elementos metálicos da mineralização dos pórfiros, os ETR são concentrados no magma residual e podem ser usados para marcar os estágios do magma e aplicá-los com viés prospectivo na seleção de alvos.

É descrito também por Taylor, 1983 que a alteração potássica pode mobilizar os ETR e enriquecer a rocha de ETRL. Sendo a alteração potássica a principal concentradora de minério de cobre no sistema pórfiro, pode as amostras com maiores proporções de ETRL/ETRP estarem mineralizadas. Em função das diferentes influencias que os processos geológicos implicam nas amostras é imprescindível a integração da descrição petrográfica e o resultado geoquímico.

Para determinação do Grupo com maior potencial econômico observa-se os dados descritivos das amostras e via de regra não há uma forte ocorrência de alteração potássica distribuída em muitas amostras, permitindo então, de forma mais segura afirmar que as amostras do Grupo 3 apresentam menores chances de estarem enriquecidas em minério de

cobre, devido ao maior enriquecimento dos ETR total, proveniente de uma diferenciação magmática mais evoluída típica dos pórfiros tardios. Portanto o Grupo 1 e 2 apresentam maiores chances de serem pórfiros primários, definindo assim pela análise de ETR as massas específicas de rochas hidrotermalmente alteradas que indique a conveniência de se investigar uma dada massa em detrimento de outras.

A Tabela 3 quantifica a porcentagem de amostras de pórfiros mineralizados e de ocorrência juvenil em função do grupo que foi classificado. As descrições das amostras são apresentadas no ANEXO C.

Tabela 3—Porcentagem de amostras com ocorrência de minério de cobre e de pórfiros primários em função do número total de amostras classificada por grupo.

	<b>Pórfiros mineralizados/intraminal</b>	<b>Total</b>	<b>%</b>
Grupo 3	8	35	22,85
Grupo 2	8	16	50,00
Grupo 1	7	13	53,84

Fonte: Autor.

Torna-se evidenciado na Tabela 3 que os ETR apontam diferenças relevantes que respondem a processos geológicos atuantes no sistema cobre pórfiro e que podem ser utilizados como ferramenta para indicar possíveis alvos que tendem a ser mais associadas com as mineralizações. Contudo a relação geoquímica sempre deve estar considerando as condições petrográficas para tornar decisões mais confiáveis.

## **7.2 Área prospectiva de Búfalo**

### **7.2.1 Geologia regional da área de estudo**

A área de estudo é de idade entre 51-53 milhões de anos, Paleógeno, sendo descrita uma evolução de arco magmático, posterior a orogenia K-T e anterior a orogenia Incaica, no norte do Chile, o arco magmático tinha uma largura de cerca de 90 a 100 km nesse período, mostrado seu intervalo na Figura 13. Sua localização pode ser deduzida pela distribuição das unidades intrusivas e vulcânicas desta época permitem determinar que, no norte do Chile, o arco magmático se estendia, entre 23°S e 27°S, ao longo da Depressão Central (CHARRIER, 2009).

Figura 13— Período de evolução tectônica descrito para o Andes. Em vermelho destacado o intervalo de idade correspondente a área de Búfalo.

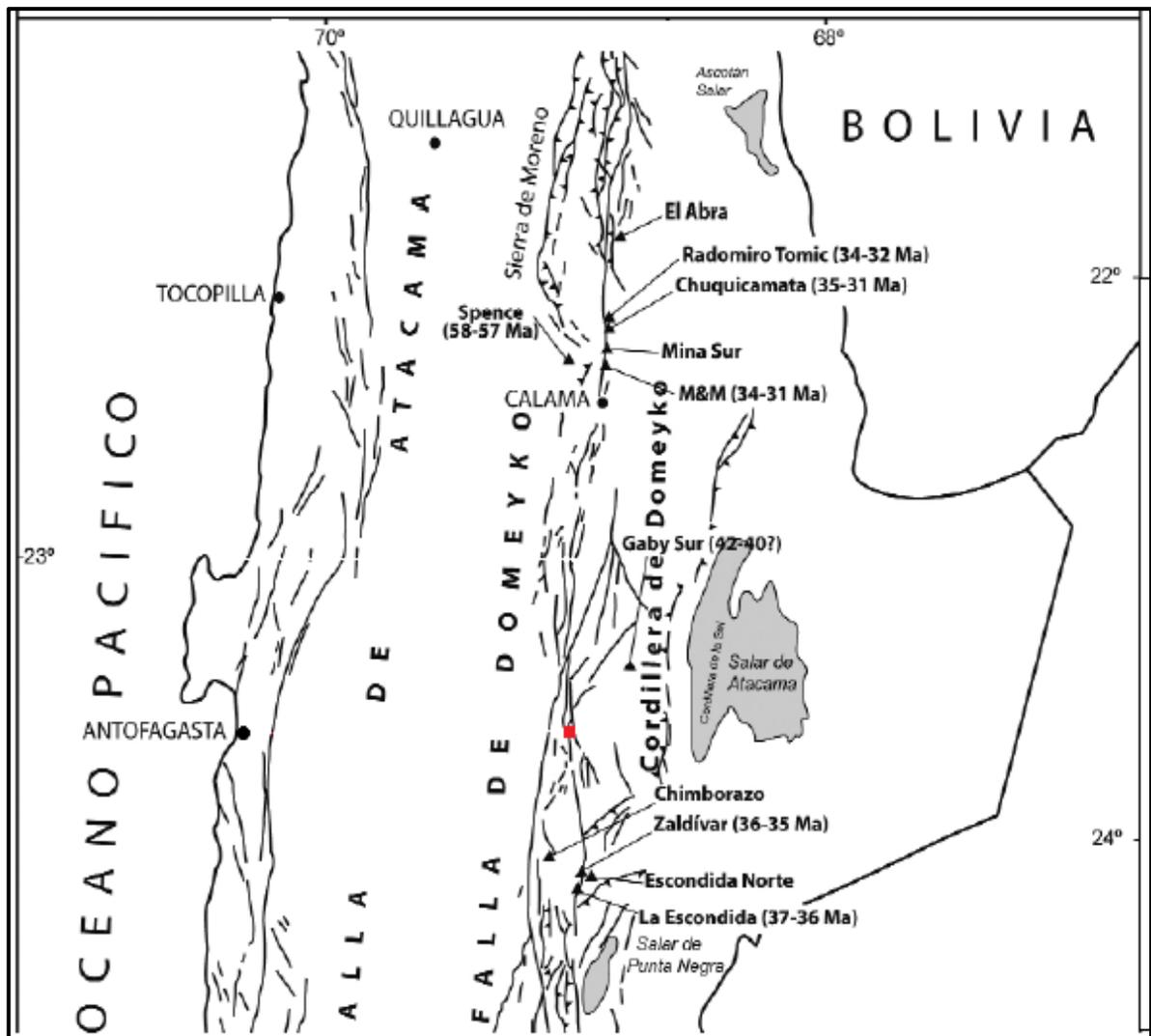
EDAD	ERA	PERIODO	CICLO TECTONICO	ETAPAS	SUBETAPAS	EVENTOS TECTONICOS
-10	CENOZOICO	NEOGENO	CICLO ANDINO	Tercera	Segunda	<i>Orogenia Pehuenche</i>
		Primera			Extensión	
PALEOGENO					Segunda	<i>Orogenia Incaica</i>
					Primera	Extensión
-50					Segunda	Transtensión
				Segunda		<i>Orogenia K-T</i>
					Primera	Extensión

Fonte: Modificado e extraído de Charrier, 2009.

O Paleógeno foi caracterizado pela presença de um arco magmático com desenvolvimento e predomínio de condições extensionais e transtensionais. Este arco tinha uma orientação NNE e se estendia por mais de 3.000 km ao longo da margem continental com atividade magmática cenozóica correspondia à localização de plútons, cúpulas, intrusivas subvulcânicas de composições gabroicas a dacíticas e erupção de abundantes depósitos vulcânicos de caráter basáltico, andesítico e dacítico-riolítico, frequentemente relacionados a grandes caldeiras e extensas zonas de alteração hidrotermal (CHARRIER, 2007).

Ao longo do arco vulcano-plutônico, durante o paleoceno até o início do eoceno, formaram-se pórfiros de Cu-Mo (~ 59 a 52 Ma, CAMUS, 2003). Eles estão distribuídos ao longo de uma faixa de cerca de 1.500 km de comprimento e 30 a 50 km de largura, do sul do Peru ao centro do Chile (17 ° a 29 ° 30'S). Este conjunto de depósitos minerais constitui a terceira maior concentração de cobre nos Andes Centrais. No Chile, esta faixa se estende aproximadamente ao longo da Depressão Central mostrando esse contexto de mineralização e domínio geológico na Figura 14.

Figura 14— Localização da área prospectiva Búfalo no contexto estrutural do Andes Central e sua proximidade com depósitos atuais de cobre pórfiro.

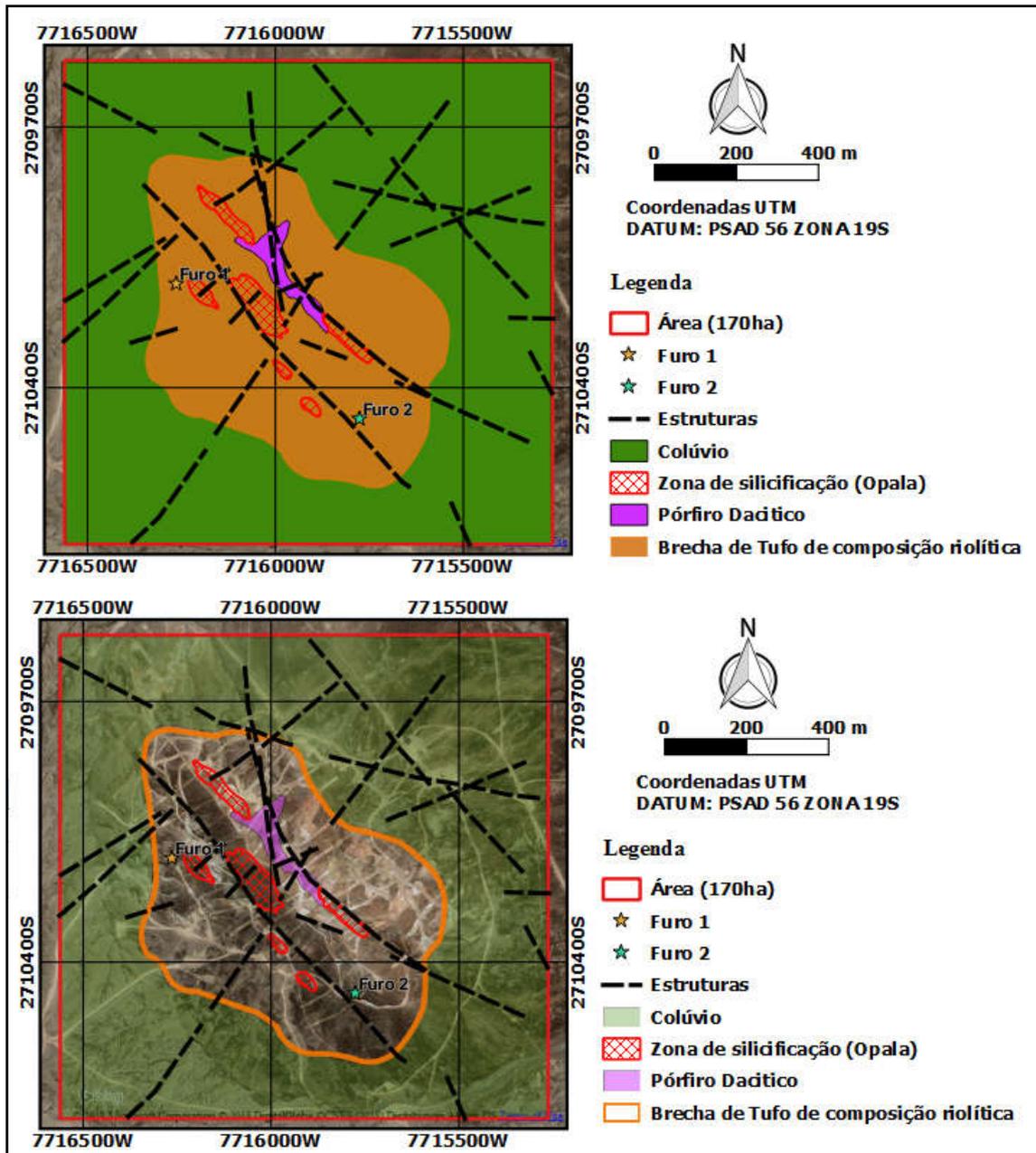


Fonte: Extraído e modificado de Reynaldo Charrier, 2009

### 7.2.2 Geologia local da área de estudo

A área corresponde a ilhas montanhosas que compreendem sequências vulcânicas, compostas principalmente de níveis de brechas vulcanoclásticas dacíticas e rio-dacíticas do início do eoceno (53 - 50 Ma). Afloramentos correspondentes a brechas hidrotermais com matriz de sílica também são apreciados. Estas informações foram obtidas do relatório de mineração da SQM. A Figura 15 mostra o mapeamento geológico da área e também as feições morfológicas do terreno

Figura 15— Mapa geológico da área prospectiva de Búfalo.



Fonte: Extraído e modificado da SQM.

A presença de setores fortemente silicificados, com remanescentes de alteração vuggy-sílica e associações mineralógicas de quartzo-alunita-caulinita, definem uma zona de litocapa com alteração do tipo argílica avançada.

A característica estrutural mais significativo corresponde a uma orientação média de falha subvertical N50°W, que é manifestada no flanco ocidental da Cerro Grande e é caracterizada por uma zona de danos com forte argilização supergênica, cobrindo-se até 30 metros de espessura. É nesse setor que surge uma quantidade significativa de cobre oxidado,

disposto de forma descontínua ao longo do traçado da falha e sua zona de dano, com ocorrências máximas de até 40 metros aproximadamente.

Os óxidos de cobre compreendem brocantita, crisocola, e óxido de preto (provavelmente óxidos de manganês com teores de cobre), que ocorrem principalmente em fraturas e em impregnação nos feldspatos reliquiares (plagioclásio alterado para um teor de cobre argilas). Também vale ressaltar a presença de hematitos de cobre, os quais estariam associados e/ou são produtos de processos de lixiviação que afetaram a mineralização de sulfetos pré-existentes, provavelmente calcocita e /ou enargítica.

O pórfido biotita dacito, altamente alterado, que parece estar largamente confinado ao Cerro Búfalo, é interpretado como uma provável cúpula vulcânica que sofreu extensa erosão, deixando apenas suas partes basais. O pórfido dacito corta uma sucessão superficial de fluxos andesíticos e siltitos vulcanoclásticos intercalados, alguns deles de cor vermelho-acastanhada.

O pórfido dacito e suas rochas hospedeiras imediatas apresentam alteração argílica avançada, que parece ser dominada pelo quartzo-caulinita. No entanto, saliências siliciosas controladas por falhas, algumas com quartzo residual vuggy fracamente desenvolvido, estão presentes em vários locais no Cerro Búfalo que, além disso, as regiões de topo do Cerro Búfalo são sustentadas por intensa alteração quartzo-alunita.

O melhor óxido de cobre e a mineralização de ouro que o acompanha parecem ser hospedados pelas bordas siliciosas, que contêm brocantita e o arseniato de cobre e ferro, chenevixita, em um intervalo vertical de até ~ 200 metros. Acredita-se que essas espécies de cobre sejam desenvolvidas pela oxidação de pirita e enargita enriquecidas com calcocita. No entanto, o transporte de cobre supergênico para além das bordas silíceas deu origem a mineralização exótica de brocantita, atacamita e neotocita na superfície e provavelmente também em profundidade.

### **7.2.3 Interpretação**

Com base nas informações disponíveis atualmente, parece que o sistema de Búfalo está centrado na suspeita cúpula de pórfido dorsal que sustenta o Cerro Búfalo. A cúpula teria sido alimentada por um ou mais diques de pórfido dacito subjacentes, que provavelmente estavam localizados pelas falhas do noroeste que abrigam pelo menos uma das bordas silíceas. Presume-se que o *stock* de pórfido que gerou os fluidos responsáveis pela formação

do litocapa de Búfalo fica abaixo da cúpula de pórfiro dacítico. No entanto, a profundidade até o topo do *stock* poderia ser de muitas centenas de metros.

Búfalo oferece três opções de exploração diferentes: zona oxidada, enriquecimento de calcocita subjacente e centro de cobre pórfiro hipogeo profundo, o último localizado bem abaixo da base de quaisquer efeitos de supergene. Os dados atuais sugerem que tanto a mineralização oxidada quanto a rica em calcocita é desenvolvida de forma irregular e, na maioria das vezes, de baixo grau, mas um trabalho mais detalhado é necessário para verificar zonas de maior qualidade, particularmente no caso de enriquecimento.

#### **7.2.4 Resultados do MEV aplicado a área de Búfalo**

Neste trabalho, a distinção dos minerais foi realizada através da comparação das análises obtidas pelo MEV-EDS com químicas minerais encontradas na literatura, apurando assim a identificação mineralógica.

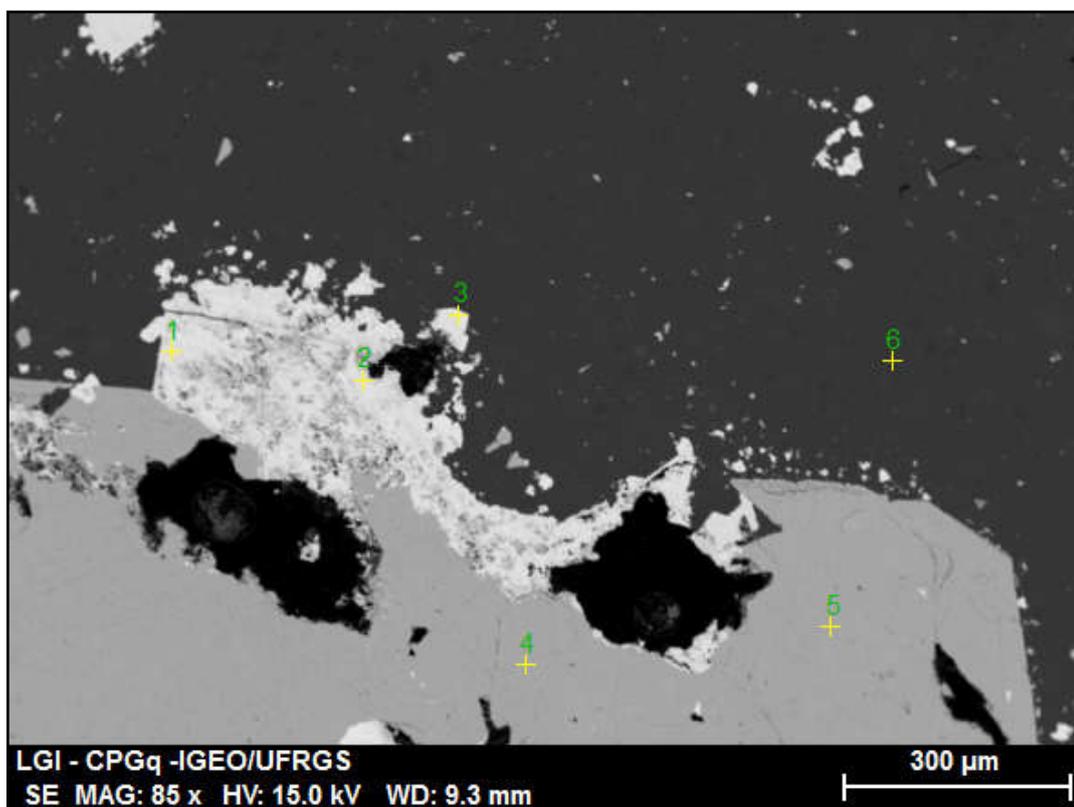
##### **7.2.4.1 Lâmina 74304**

Amostra de brecha hidrotermal com silicificação penetrante e mineralização de enargita distribuída na matriz. Proveniente da sondagem 01 extraída da profundidade de 658,4 metros Foram marcados 6 pontos de interesse para realizar a geoquímica através do MEV (Figura 16).

A geoquímica obtida pelo MEV caracterizou a composição mineralógica da lâmina 74304 e distinguiu o mineral de interesse econômico, a enargita com teores de cobre com pouca variação em torno da média de 31,94% e ocorrendo presença de elementos de vanádio, estanho, magnésio e arsênio. Também foi caracterizada a composição da pirita e de sulfetos de alumínio.

Os resultados da geoquímica dos pontos de interesse são apresentados na Figura 17, Figura 18, e Figura 19.

Figura 16— Distribuição dos pontos selecionados para caracterizar a composição mineralógica da lâmina 74304. Pontos 1, 2 e 3 mineral de enargita, pontos 4 e 5 mineral de pirita, ponto 6 mineral sulfeto de alumínio.



Fonte: Autor.

Figura 17— Resultados da composição mineralógica em porcentagem, para os pontos 1, 2 e 3, determinando-se mineral de enargita.

Lâmina 74304 Espectro: 1		Lâmina 74304 Espectro: 3	
Composição Química	(%)	Composição Química	(%)
MgO	4,16	SO3	48,81
SO3	55,95	Cu	29,23
V	2,09	Zn	6,95
Cu	32,68	As	14,96
Sn	5,12	<b>Total</b>	<b>99,95</b>
<b>Total</b>	<b>100</b>		
Lâmina 74304 Espectro: 2			
Composição Química	(%)		
MgO	5,08		
SO3	53,97		
V	2,17		
Cu	33,92		
Sn	4,79		
<b>Total</b>	<b>99,93</b>		

Fonte: Autor

Figura 18— Resultados da composição mineralógica em porcentagem, para os pontos 4 e 5, determinando-se mineral de Pirita.

<b>Lâmina 74304 Espectro: 4</b>	
<b>Composição Química</b>	<b>(%)</b>
SO <sub>3</sub>	65,25
FeO	34,7
<b>Total</b>	<b>99,95</b>

<b>Lâmina 74304 Espectro: 5</b>	
<b>Composição Química</b>	<b>(%)</b>
SO <sub>3</sub>	64,19
FeO	35,71
<b>Total</b>	<b>99,9</b>

Fonte: Autor.

Figura 19— Resultados da composição mineralógica em porcentagem, para o ponto 6. Determinando-se mineral de sulfeto de alumínio.

<b>Lâmina 74304 Espectro: 6</b>	
<b>Composição Química</b>	<b>(%)</b>
Na <sub>2</sub> O	2,32
SO <sub>3</sub>	43,92
K <sub>2</sub> O	8,82
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	44,93
<b>Total</b>	<b>99,99</b>

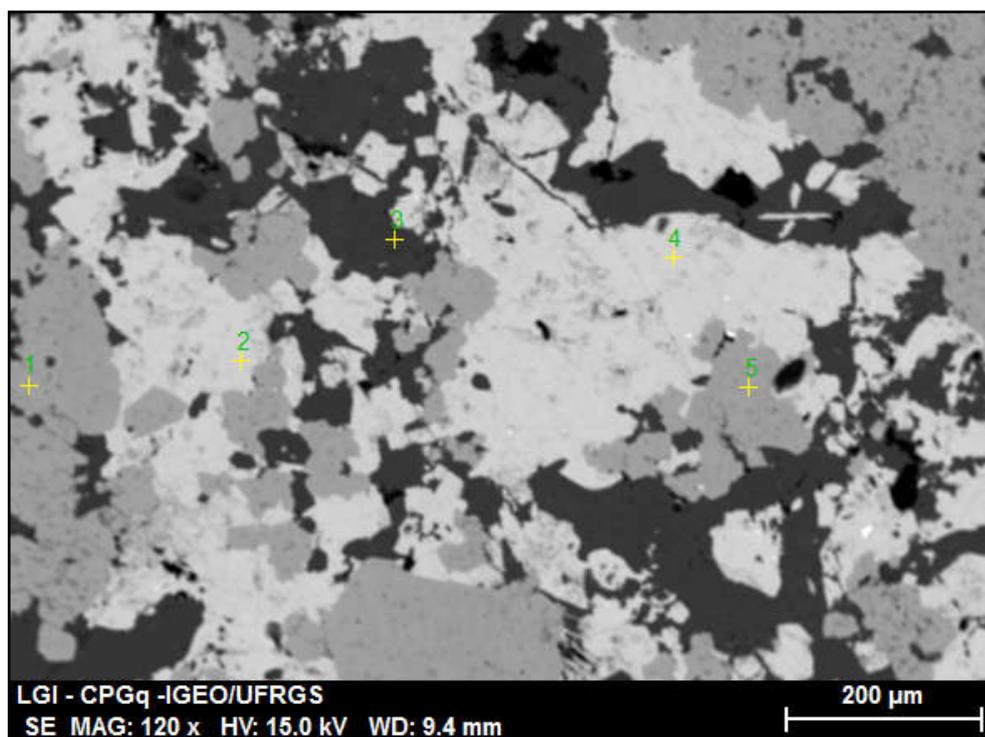
Fonte: Autor.

#### 7.2.4.2 Lâmina 74305

Amostra de rocha de arenito com textura obliterada por silicificação avançada, com ocorrência de mineralização de enargita em veios, determinado pelo MEV. Proveniente da sondagem 01, extraída da profundidade de 326,9 metros. Foram marcados 5 pontos de interesse para realizar a geoquímica através do MEV, mostrado a seleção na Figura 20.

A geoquímica obtida pelo MEV caracterizou a composição mineralógica da lâmina 74305 e distinguiu o mineral de interesse econômico, a enargita com teores de cobre com pouca variação em torno da média de 31,74% e ocorrendo presença de elementos de arsênio com teor médio de 13,55%. Também foi caracterizada a composição da pirita e de sulfetos de alumínio (Figura 20, 21, 22 e 23).

Figura 20— Distribuição dos pontos selecionados para caracterizar a composição mineralógica da lâmina 74305. Pontos 2 e 4 mineral de enargita, pontos 1 e 5 mineral de pirita, ponto 3 mineral sulfeto de alumínio.



Fonte: Autor.

Figura 21— Resultados da composição mineralógica em porcentagem, para os pontos 2 e 4, determinando-se mineral de enargita.

<b>Lâmina 74305 Espectro: 2</b>	
<b>Composição Química</b>	<b>(%)</b>
SO3	54,32
Cu	31,96
As	13,63
<b>Total</b>	<b>99,91</b>
<b>Lâmina 74305 Espectro: 4</b>	
<b>Composição Química</b>	<b>(%)</b>
SO3	55
Cu	31,52
As	13,47
<b>Total</b>	<b>99,99</b>

Fonte: Autor.

Figura 22— Resultados da composição mineralógica em porcentagem, para os pontos 1 e 5, determinando-se mineral de Pirita.

<b>Lâmina 74305 Espectro: 1</b>	
<b>Composição Química</b>	<b>(%)</b>
SO <sub>3</sub>	65,36
FeO	34,58
<b>Total</b>	<b>99,94</b>

<b>Lâmina 74305 Espectro: 5</b>	
<b>Composição Química</b>	<b>(%)</b>
SO <sub>3</sub>	65,5
FeO	34,43
<b>Total</b>	<b>99,93</b>

Fonte: Autor.

Figura 23— Resultados da composição mineralógica em porcentagem, para o ponto 3, determinando-se mineral de sulfeto de alumínio.

<b>Lâmina 74305 Espectro: 3</b>	
<b>Composição Química</b>	<b>(%)</b>
Na <sub>2</sub> O	1,95
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	43,35
SO <sub>3</sub>	43,7
K <sub>2</sub> O	9,34
BaO	0,76
FeO	0,9
<b>Total</b>	<b>100</b>

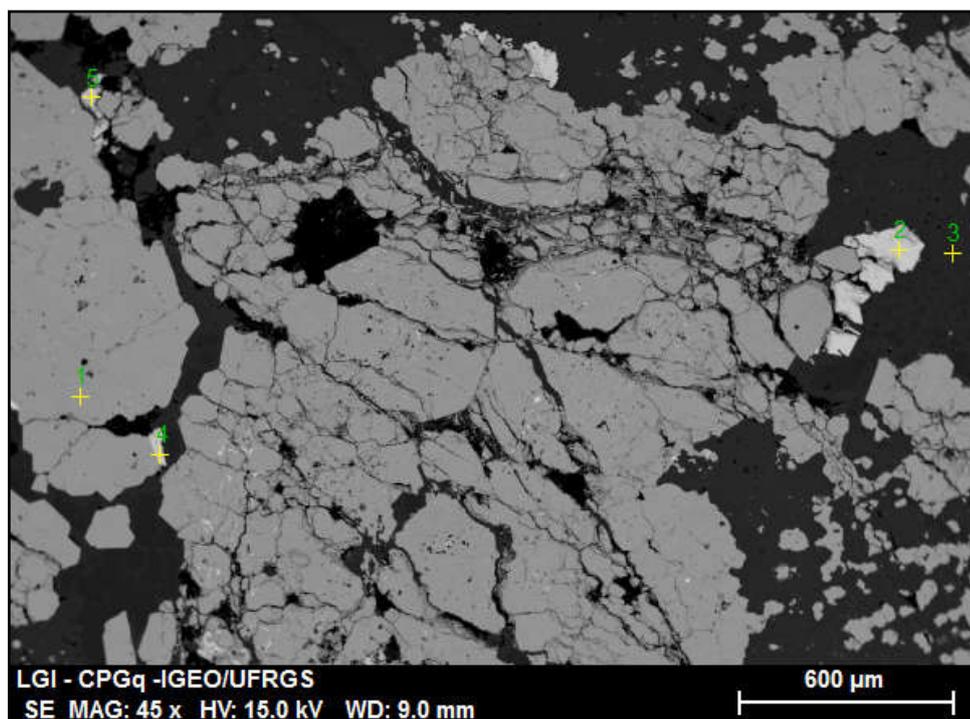
Fonte: Autor.

#### 7.2.4.3 Lâmina 74306

Amostra de rocha de brecha hidrotermal com silicificação avançada, com ocorrência de mineralização de enargita em matriz e fragmentos, determinado através do MEV. Proveniente da sondagem 01, extraída da profundidade de 486,25 metros. Foram marcados 5 pontos de interesse para realizar a geoquímica através do MEV, mostrado a seleção na Figura 24. A geoquímica obtida pelo MEV caracterizou a composição mineralógica da lâmina 74306 e distinguiu o mineral de interesse econômico, a enargita com teores de cobre com pouca variação em torno da média de 31,01% e ocorrendo presença de elementos de arsênio e ferro.

Também foi caracterizada a composição da pirita e de sulfetos de alumínio (Figuras 25, 26, 27).

Figura 24— Distribuição dos pontos selecionados para caracterizar a composição mineralógica da lâmina 74306. Pontos 2, 4 e 5 mineral de enargita, pontos 1 mineral de pirita, ponto 3 mineral sulfeto de alumínio.



Fonte: Autor.

Figura 25— Resultados da composição mineralógica em porcentagem, para os pontos 2, 4 e 5 determinando-se em mineral de enargita.

<b>Lâmina 74306 Espectro: 2</b>		<b>Lâmina 74306 Espectro: 4</b>	
<b>Composição Química</b>	<b>(%)</b>	<b>Composição Química</b>	<b>(%)</b>
SO3	53,97	Cu	30,66
Cu	31,69	SO3	56,06
FeO	14,34	As	13,14
<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>Total</b>	<b>99,86</b>

<b>Lâmina 74306 Espectro: 5</b>	
<b>Composição Química</b>	<b>(%)</b>
SO3	55,67
Cu	30,69
As	13,53
<b>Total</b>	<b>99,89</b>

Fonte: Autor.

Figura 26— Resultados da composição mineralógica em porcentagem, para o ponto 1, determinando-se mineral de Pirita.

<b>Lâmina 74306 Espectro: 1</b>	
<b>Composição Química</b>	<b>(%)</b>
SO <sub>3</sub>	65,26
FeO	34,66
<b>Total</b>	<b>99,92</b>

Fonte: Autor.

Figura 27— Resultados da composição mineralógica em porcentagem, para o ponto 3, determinando-se mineral de sulfeto de alumínio.

<b>Lâmina 74306 Espectro: 3</b>	
<b>Composição Química</b>	<b>(%)</b>
Na <sub>2</sub> O	1,97
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	44,54
SO <sub>3</sub>	43,64
K <sub>2</sub> O	9,85
<b>Total</b>	<b>100</b>

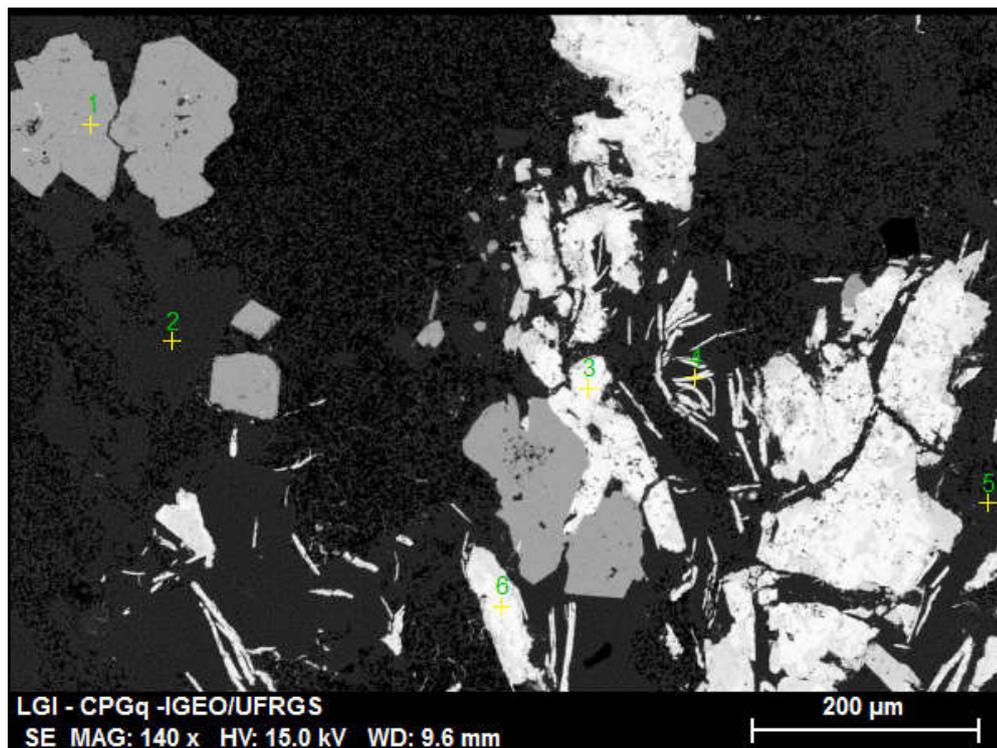
Fonte: Autor.

#### **7.2.4.4 Lâmina 74307**

Amostra de rocha de arenito parcialmente brechado com alteração maior de silicificação e menos dominante alteração argílica avançada, com ocorrência de mineralização de enargita disseminada. Proveniente da sondagem 02, extraída da profundidade de 238,75 metros. Foram marcados 5 pontos de interesse para realizar a geoquímica através do MEV, mostrado a seleção na Figura 28.

A geoquímica obtida pelo MEV caracterizou a composição mineralógica da lâmina 74307 e distinguiu o mineral de interesse econômico, a enargita com teores de cobre com pouca variação em torno da média de 31,89% e ocorrendo presença de elementos de estânio, escândio, índio, cálcio e alumínio. Também foi caracterizada a composição da pirita e de sulfetos de alumínio (Figuras 29, 30 e 31).

Figura 28— Distribuição dos pontos selecionados para caracterizar a composição mineralógica da lâmina 74307. Pontos 3, 4 e 6 mineral de enargita, pontos 1 mineral de pirita, ponto 2 e 5 mineral sulfeto de alumínio.



Fonte: Autor.

Figura 29— Resultados da composição mineralógica em porcentagem, para os pontos 3, 4 e 6 determinando-se mineral de enargita.

<b>Lâmina 74307 Espectro: 3</b>		<b>Lâmina 74307 Espectro: 4</b>	
<b>Composição Química</b>	<b>(%)</b>	<b>Composição Química</b>	<b>(%)</b>
SO3	56,93	Al2O3	1,02
CaO	5,34	SO3	42,34
Sc	0,94	FeO	1,75
Sn	4,44	Cu	29,29
Cu	32,35	Sn	25,06
<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>Total</b>	<b>99,46</b>
<b>Lâmina 74307 Espectro: 6</b>			
<b>Composição Química</b>	<b>(%)</b>		
SO3	54,94		
CaO	5,31		
Sn	0,91		
Cu	34,04		
In	1,17		
Sn	3,57		
<b>Total</b>	<b>99,94</b>		

Fonte: Autor.

Figura 30— Resultados da composição mineralógica em porcentagem, para o ponto 1, determinando-se mineral de Pirita contendo teor de cobre.

<b>Lâmina 74307 Espectro: 1</b>	
<b>Composição Química</b>	<b>(%)</b>
SO <sub>3</sub>	65,91
FeO	32,65
Cu	1,44
<b>Total</b>	<b>100</b>

Fonte: Autor.

Figura 31— Resultados da composição mineralógica em porcentagem, para os pontos 2 e 5 determinando-se mineral de sulfeto de alumínio.

<b>Lâmina 74307 Espectro: 2</b>	
<b>Composição Química</b>	<b>(%)</b>
Na <sub>2</sub> O	2,68
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	49,57
SO <sub>3</sub>	44,48
K <sub>2</sub> O	3,08
<b>Total</b>	<b>99,81</b>

<b>Lâmina 74307 Espectro: 5</b>	
<b>Composição Química</b>	<b>(%)</b>
Na <sub>2</sub> O	1,95
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	51,38
SO <sub>3</sub>	43,6
K <sub>2</sub> O	3,06
<b>Total</b>	<b>99,99</b>

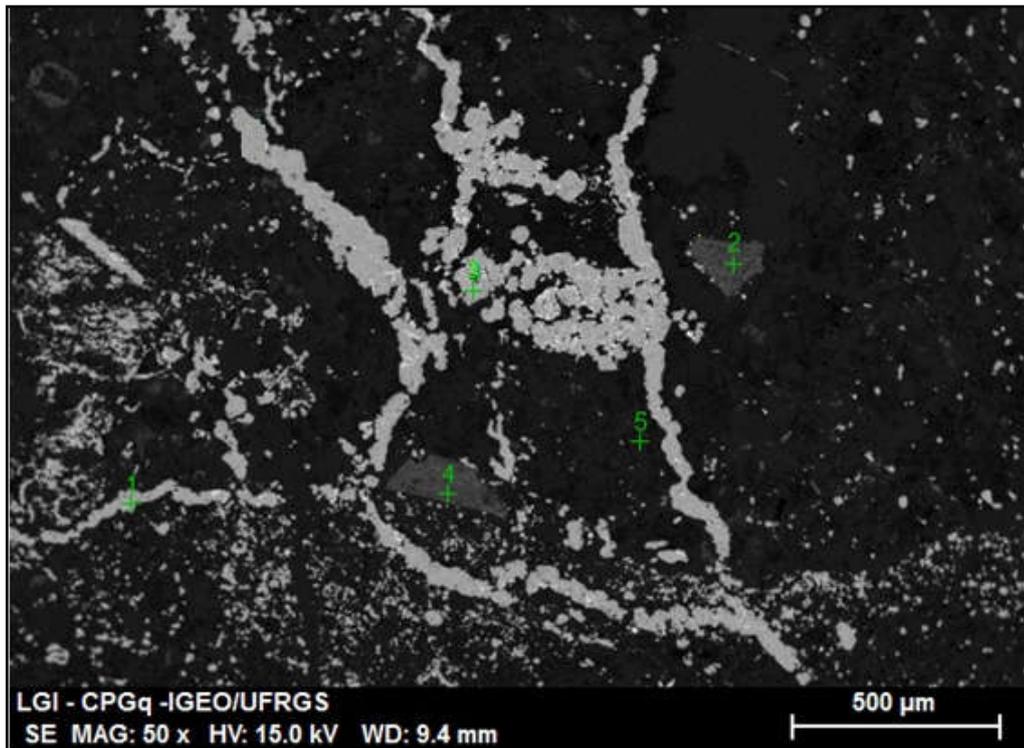
Fonte: Autor.

#### 7.2.4.5 Lâmina 74308

Amostra de rocha de tufo andesítico com alteração de silicificação avançada, com ocorrência de mineralização de enargita disseminada e em veios. Proveniente da sondagem 02, extraída da profundidade de 311,81 metros. Foram marcados 5 pontos de interesse para realizar a geoquímica através do MEV, mostrado a seleção na Figura 32. A geoquímica obtida pelo MEV caracterizou a composição mineralógica da lâmina 74308, porém não distinguiu o

mineral de interesse econômico, a enargita. Ocorrendo distinção apenas de pirita em veios, cristais de óxidos de titânio e quartzo na matriz (Figuras 33, 34 e 35).

Figura 32— Distribuição dos pontos selecionados para caracterizar a composição mineralógica da lâmina 74308. Pontos 1 e 3 mineral de pirita, ponto 2 e 4 mineral de óxidos de titânio, ponto 5 mineral de quartzo.



Fonte: Autor.

Figura 33— Resultados da composição mineralógica em porcentagem, para os pontos 1 e 3, determinando-se mineral de pirita em veios.

<b>Lâmina 74308 Espectro: 1</b>	
<b>Composição Química</b>	<b>(%)</b>
SO <sub>3</sub>	65,8
FeO	34,14
<b>Total</b>	<b>99,94</b>
<b>Lâmina 74308 Espectro: 3</b>	
<b>Composição Química</b>	<b>(%)</b>
SO <sub>3</sub>	65,45
FeO	34,46
<b>Total</b>	<b>99,91</b>

Fonte: Autor.

Figura 34— Resultados da composição mineralógica em porcentagem, para os pontos 2 e 4, determinando-se mineral de óxidos de titânio

<b>Lâmina 74308 Espectro: 2</b>	
<b>Composição Química</b>	<b>(%)</b>
Na <sub>2</sub> O	1,19
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12,23
SO <sub>3</sub>	9,54
K <sub>2</sub> O	2,06
TiO <sub>2</sub>	74,49
<b>Total</b>	<b>99,51</b>

<b>Lâmina 74308 Espectro: 4</b>	
<b>Composição Química</b>	<b>(%)</b>
SiO <sub>2</sub>	31,33
TiO <sub>2</sub>	68,63
<b>Total</b>	<b>99,96</b>

Fonte: Autor.

Figura 35— Resultados da composição mineralógica em porcentagem, para o ponto 5, determinando-se mineral de quartzo na matriz.

<b>Lâmina 74308 Espectro: 5</b>	
<b>Composição Química</b>	<b>(%)</b>
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15,51
SiO <sub>2</sub>	81,02
K <sub>2</sub> O	3,39
<b>Total</b>	<b>99,92</b>

Fonte: Autor.

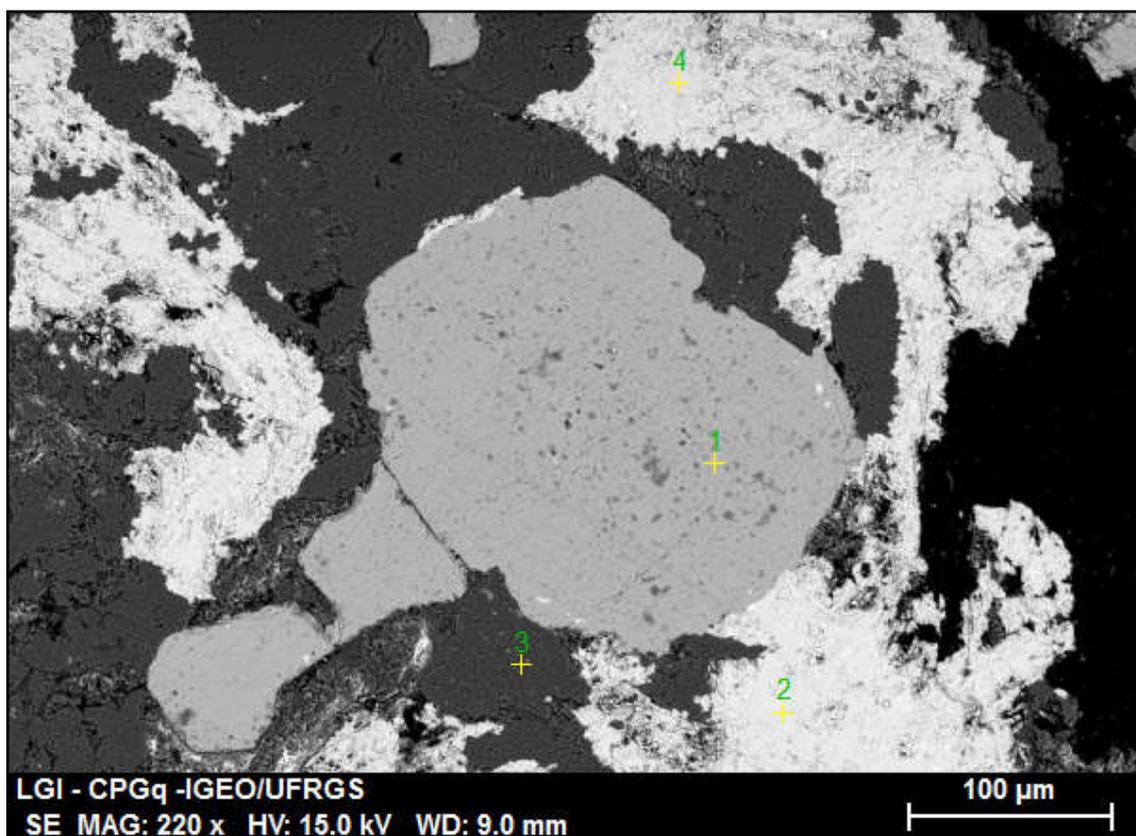
#### 7.2.4.6 Lâmina 74309

Amostra de rocha de tufo lítico com alteração mais expressiva de silicificação do que argilítica avançada, com ocorrência de mineralização de enargita disseminada. Proveniente da sondagem 02, extraída da profundidade de 503,25 metros. Foram marcados 4 pontos de interesse para realizar a geoquímica através do MEV, mostrado a seleção na Figura 36.

A geoquímica obtida pelo MEV caracterizou a composição mineralógica da lâmina 74309, distinguindo o mineral de interesse econômico, a enargita, com teor de cobre em torno

da média de 24,70%. Ocorrendo distinção de minerais de pirita e cristais de quartzo (Figuras 37, 38 e 39).

Figura 36— Distribuição dos pontos selecionados para caracterizar a composição mineralógica da lâmina 74309. Pontos 2 e 4 mineral de enargita, ponto 1 mineral de pirita, ponto 3 mineral de quartzo.



Fonte: Autor.

Figura 37— Resultados da composição mineralógica em porcentagem, para os pontos selecionados em mineral de pirita

<b>Lâmina 74309 Espectro: 1</b>	
<b>Composição Química</b>	<b>(%)</b>
SO <sub>3</sub>	68,74
FeO	31,2
<b>Total</b>	<b>99,94</b>

Fonte: Autor.

Figura 38— Resultados da composição mineralógica em porcentagem, para os pontos selecionados em mineral de enargita.

<b>Lâmina 74309 Espectro: 2</b>	
<b>Composição Química</b>	<b>(%)</b>
MgO	12,86
SO <sub>3</sub>	58,82
Cu	24,03
Se	4,22
<b>Total</b>	<b>99,93</b>

<b>Lâmina 74309 Espectro: 4</b>	
<b>Composição Química</b>	<b>(%)</b>
MgO	13,35
SO <sub>3</sub>	56,81
Cu	25,38
Se	4,46
<b>Total</b>	<b>100</b>

Fonte: Autor.

Figura 39— Resultados da composição mineralógica em porcentagem, para o ponto selecionado em mineral de quartzo na matriz.

<b>Lâmina 74309 Espectro: 3</b>	
<b>Composição Química</b>	<b>(%)</b>
MgO	1,78
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3
SiO <sub>2</sub>	94,96
<b>Total</b>	<b>99,74</b>

Fonte: Autor.

### 7.2.5 Considerações do MEV

As análises geoquímicas realizadas pelo MEV tiveram boa representatividade em termo de estimativa total, mostrado no somatório total de cada elemento sempre superior a 99%, não sendo necessário realizar uma normalização para adequar os valores. Os resultados geoquímicos se mostraram muito semelhantes nas amostradas dos diferentes furos de sondagem, em conformidade com o que é esperado no estudo de um único alvo prospectivo.

O mineral de minério que foi identificado era exclusivamente a enargita, associado com a pirita. Adicionalmente ocorrendo elementos de arsênio, estanho, vanádio e titânio. A Tabela 4 organiza o valor médio de cobre quantificados nos minerais de minério identificados nas amostras.

Tabela 4—Teor médio de cobre presente nos minerais de minérios analisados pelo MEV.

<b>AMOSTRA</b>	<b>TEOR MÉDIO DE COBRE (%)</b>
Furo 1: Lâmina 74304	31,94
Furo 1: Lâmina 74305	31,74
Furo 1: Lâmina 74306	31,01
Furo 2: Lâmina 74308	31,89
Furo 2: Lâmina 74309	24,03

Fonte: Autor.

A enargita é interpretada como mineral hidrotermal primário encontrado na zona de oxidação de veios hidrotermais associadas com outros sulfetos. Vale ressaltar como descrito na geologia de detalhe anteriormente, que a explicação para a questão da presença de hematitos de cobre, os quais estariam associados a produtos de processos de lixiviação que afetaram a mineralização de sulfetos pré-existentes, provavelmente calcocita e /ou enargítica, podem agora ser melhor entendida após o estudo do MEV, apontando a questão como provenientes em sua maior parte da enargita. O processo de lixiviação mobilizou teores de cobre da enargita reduzindo sua concentração na composição mineralógica e também explica este teor de cobre considerado baixo para minério de enargita.

## **8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

CAMUS, Francisco. **Geología de los sistemas porfíricos en los Andes de Chile**. Servicio Nacional de Geología y Minería, 2003.

CHARRIER, Reynaldo; FARÍAS, Marcelo; MAKSAEV, Víctor. **Evolución tectónica, paleogeográfica y metalogénica durante el Cenozoico en los Andes de Chile norte y central e implicaciones para las regiones adyacentes de Bolivia y Argentina**. Revista de la Asociación Geológica Argentina, v. 65, n. 1, p. 05-35, 2009.

CHASE, John W.; WINCHESTER, John W. **A procedure for geochemical interpretation of terrestrial rare-earth abundance patterns**. Journal of Geophysical Research, v. 68, n. 2, p. 559-566, 1963.

CLARK, Andrew M. **Mineralogy of the rare earth elements**. In: Developments in geochemistry. Elsevier, 1984. p. 33-61.

DALZIEL, Ian WD; FORSYTHE, Randall D. **Andean evolution and the terrane concept**. 1985.

DEDAVID, Berenice Anina; GOMES, Carmem Isse; MACHADO, Giovanna. **Microscopia eletrônica de varredura**. Aplicações e preparações de amostras, 2007.

FORMOSO, Milton LL. **Geoquímica dos elementos terras raras no Brasil**. CPRM, 1989.

GUSTAFSON, L. B. **Some major factors of porphyry copper genesis**. Economic Geology, v. 73, n. 5, p. 600-607, 1978.

GUSTAFSON, Lewis B.; HUNT, John P. **The porphyry copper deposit at El Salvador, Chile**. Economic Geology, v. 70, n. 5, p. 857-912, 1975.

JOSÉ CABELLO. **Copper exploration and mining development in Chile: A forty years review**. Chilean Institute of Mining Engineers. 2013

LEZAUN, J. et al. **Metamorphic basement and the stratigraphy of overlying volcano-sedimentary rocks at 18 S: implications for style and timing of Andean deformations**. 1996.

LOTTERMOSER, B. G. **Rare earth elements and hydrothermal ore formation processes.** Ore Geology Reviews, v. 7, n. 1, p. 25-41, 1992.

MACHADO, Geysa Angelis Abreu. **Jazidas de esmeralda de Capoeirana e Belmont-MG: Geologia, petrogênese e metalogênese.** 1998. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

MPODOZIS, Constantino; RAMOS, Victor. **The Andes of Chile and Argentina.** 1990.

NAKAMURA, Noboru. **Determination of REE, Ba, Fe, Mg, Na and K in carbonaceous and ordinary chondrites.** Geochimica et Cosmochimica Acta, v. 38, n. 5, p. 757-775, 1974.

PAYE, HENRIQUE DE SÁ. **Teor e distribuição de elementos terras raras e comparação de métodos de extração de elementos traço em solos brasileiros.** 2014. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Viçosa.

PEARCE, Julian A.; HARRIS, Nigel BW; TINDLE, Andrew G. **Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks.** Journal of petrology, v. 25, n. 4, p. 956-983, 1984.

SEEDORF, E. **Porphyry deposits: Characteristics and origin of hypogene features.** Economic Geology, v. 100, p. 251-298, 2005.

SEYFRIED, Hartmut et al. **Introducción a la geología y morfología de los Andes en el norte de Chile.** Chungara (Arica), v. 30, n. 1, p. 7-39, 1998.

SILLITOE, Richard H. **Porphyry copper systems.** Economic Geology, v. 105, n. 1, p. 3-41, 2010.

STOCKES, D. **Principles and practice of variable pressure: environmental scanning electron microscopy (VP-ESEM).** John Wiley & Sons. 2008.

TAYLOR, R. P.; FRYER, B. J. **Rare earth element lithogeochemistry of granitoid mineral deposits.** CIM (Can. Inst. Min. Metall.) Bull, v. 76, n. 860, p. 74-84, 1983.

WOOD, David A. **The application of a Th-Hf-Ta diagram to problems of tectonomagmatic classification and to establishing the nature of crustal contamination of**

**basaltic lavas of the British Tertiary Volcanic Province.** Earth and planetary science letters, v. 50, n. 1, p. 11-30, 1980.

## ANEXO A

Pontos de afloramentos em topo de cerros selecionados para coletas de amostra:



## ANEXO B

Valores dos parâmetros geoquímicos de ETR calculados para cada amostra:

Amostras	ΣETR	Y/ΣETR	Nb/ΣETR	ΣETRL/ ΣETRP	ΣETRP/ ΣETRL	La/Sm	Gd/Lu	La/Lu	Eu/Eu*
Cristo (72749)	27,805	0,054	0,007	3,695	0,271	3,617	1,965	8,758	3,914
Galenosa Sur_2 (147194)	71,949	0,060	0,025	2,838	0,352	2,557	1,772	6,771	1,024
Galenosa Sur_5 (162959)	87,126	0,072	0,025	2,239	0,447	2,468	1,670	5,152	1,101
Galenosa Sur_3 (162957)	91,238	0,066	0,025	2,319	0,431	2,468	1,597	5,358	1,005
Galenosa Sur_6 (162960)	98,411	0,076	0,022	2,155	0,464	2,441	1,494	4,723	1,091
Galenosa Sur_2 (162956)	92,908	0,062	0,023	2,448	0,409	2,814	1,560	5,873	1,183
Galenosa Sur_1 (147193)	90,972	0,066	0,037	2,857	0,350	2,982	1,447	6,640	1,278
Galenosa Sur_1 (162955)	99,211	0,064	0,024	2,478	0,403	2,443	1,519	5,527	0,910
Galenosa_1 (147505)	85,654	0,058	0,027	3,079	0,325	3,714	1,689	7,986	1,434
Ojeda_2 (147075)	111,092	0,083	0,017	2,025	0,494	2,715	1,084	4,000	0,729
Ojeda_1 (147073)	125,848	0,072	0,012	2,592	0,386	1,974	1,606	5,707	0,859
Angostura_2 (147504)	120,074	0,071	0,017	2,567	0,389	2,644	2,137	7,728	0,940
Galenosa_2 (147506)	118,708	0,072	0,023	2,374	0,421	2,968	1,540	6,024	1,082
Galenosa Sur_4 (162958)	134,755	0,070	0,021	2,209	0,453	2,417	1,604	4,894	0,895
Cristo (143590)	192,169	0,088	0,018	1,708	0,586	1,647	1,483	2,907	0,988
<b>Maior Valor</b>	<b>192,169</b>	<b>0,088</b>	<b>0,037</b>	<b>3,695</b>	<b>0,586</b>	<b>3,714</b>	<b>2,137</b>	<b>8,758</b>	<b>3,914</b>
<b>Menor Valor</b>	<b>27,805</b>	<b>0,054</b>	<b>0,007</b>	<b>1,708</b>	<b>0,271</b>	<b>1,647</b>	<b>1,084</b>	<b>2,907</b>	<b>0,729</b>
<b>Média</b>	<b>103,195</b>	<b>0,069</b>	<b>0,022</b>	<b>2,505</b>	<b>0,412</b>	<b>2,658</b>	<b>1,611</b>	<b>5,870</b>	<b>1,229</b>

Amostras	ΣETR	Y/ΣETR	Nb/ΣETR	ΣETRL/ ΣETRP	ΣETRP/ ΣETRL	La/Sm	Gd/Lu	La/Lu	Eu/Eu*
Sta. Lidia_2 (147353)	181,924	0,092	0,014	1,609	0,621	1,876	1,301	3,168	1,004
Puntillas_2 (147508)	131,083	0,080	0,035	2,316	0,432	3,085	1,182	5,603	0,918
Qda.Ordoñez_2 (147376)	131,558	0,066	0,021	2,573	0,389	3,415	1,297	5,667	1,024
Quebrada Ordoñez_2 (147376)	128,744	0,063	0,019	3,127	0,320	3,328	1,056	6,114	1,217
Martita_1 (147145)	192,416	0,077	0,014	2,116	0,473	2,250	1,714	4,704	0,845
C Quillagua_1 (147359)	202,050	0,104	0,034	1,509	0,663	2,627	1,486	3,641	0,766
Qda.Ordoñez_1 (147372)	149,744	0,055	0,077	3,126	0,320	3,709	1,871	8,481	1,108
Sta. Lidia_1 (147351)	181,895	0,071	0,014	2,354	0,425	2,718	1,694	6,020	0,937
Puntillas_1 (147507)	146,690	0,061	0,031	3,059	0,327	3,756	1,672	8,877	0,889
Quebrada Ordoñez_1 (147372)	153,404	0,054	0,021	3,506	0,285	3,613	1,988	10,585	0,977
Antuasca_1 (162952)	169,605	0,055	0,021	3,140	0,318	3,481	1,157	6,670	0,875
Martita_2 (147150)	214,993	0,097	0,008	2,297	0,435	2,222	3,851	9,568	0,786
Puntillas Norte (157566)	173,887	0,056	0,029	3,367	0,297	3,588	1,632	9,715	0,942
Galenosa Sur_3 (147276)	178,613	0,043	0,016	3,961	0,252	3,227	2,293	11,678	0,968
Pampa Oeste (72746)	246,272	0,080	0,015	1,938	0,516	2,572	1,437	4,309	0,943
Antuasca_2 (162953)	214,801	0,053	0,021	2,863	0,349	3,173	1,290	6,182	0,736
C Quillagua_2 (147509)	206,087	0,066	0,037	2,778	0,360	4,141	1,664	7,676	0,838
Sedal (72743)	247,238	0,072	0,016	2,212	0,452	3,045	1,351	5,085	0,950
Celia (72737)	218,539	0,062	0,020	2,835	0,353	3,641	1,848	7,556	1,037
<b>Maior Valor</b>	<b>247,238</b>	<b>0,104</b>	<b>0,077</b>	<b>3,961</b>	<b>0,663</b>	<b>4,141</b>	<b>3,851</b>	<b>11,678</b>	<b>1,217</b>
<b>Menor Valor</b>	<b>128,744</b>	<b>0,043</b>	<b>0,008</b>	<b>1,509</b>	<b>0,252</b>	<b>1,876</b>	<b>1,056</b>	<b>3,168</b>	<b>0,736</b>
<b>Média</b>	<b>182,608</b>	<b>0,069</b>	<b>0,024</b>	<b>2,668</b>	<b>0,399</b>	<b>3,130</b>	<b>1,673</b>	<b>6,911</b>	<b>0,935</b>

Amostras	$\Sigma$ ETR	Y/ $\Sigma$ ETR	Nb/ $\Sigma$ ETR	$\Sigma$ ETRL/ $\Sigma$ ETRP	$\Sigma$ ETRP/ $\Sigma$ ETRL	La/Sm	Gd/Lu	La/Lu	Eu/Eu*
Morro Bayo 76324	184,570	0,054	0,018	3,362	0,297	3,324	1,426	7,556	0,992
Paralelo El Deserto 147760	193,595	0,072	0,029	2,537	0,394	3,733	1,137	6,451	0,815
Paralelo El Deserto 147736	257,725	0,074	0,017	2,359	0,424	2,545	1,272	5,252	0,715
Cristo (143591)	319,982	0,080	0,015	2,008	0,498	2,198	1,422	3,858	0,921
Sedal (72739)	235,758	0,066	0,020	2,666	0,375	3,330	1,789	7,302	0,846
Paralelo El Deserto 147758	224,855	0,064	0,038	2,644	0,378	3,968	0,936	5,827	0,682
Los Molos 1 (147444)	293,587	0,093	0,030	1,804	0,554	2,598	1,787	5,246	0,372
Paralelo El Deserto 147749	189,476	0,054	0,021	3,652	0,274	4,777	1,105	9,617	0,580
Cerro Balcón (117459)	278,937	0,073	0,017	2,495	0,401	2,552	1,788	6,755	0,691
Constância 76332	252,233	0,054	0,014	3,440	0,291	3,138	1,686	8,384	0,872
Sedal (72742)	471,059	0,095	0,016	1,413	0,708	1,728	1,547	2,632	0,849
Pampa Oeste (72745)	203,591	0,031	0,013	5,791	0,173	6,138	1,439	14,131	0,757
Cristo (143588)	296,809	0,069	0,018	2,404	0,416	2,897	1,338	5,206	0,828
Los Molos 2 (147432)	341,893	0,087	0,019	2,185	0,458	2,333	1,374	4,649	0,523
Angostura 1 (147453)	302,790	0,066	0,027	2,714	0,368	2,814	1,632	6,714	0,565
Morro Bayo 76325	235,510	0,039	0,012	4,977	0,201	5,084	1,574	13,266	1,118
Cristo (72747)	337,766	0,074	0,019	2,292	0,436	3,100	1,464	5,654	0,748
Constância 76331	345,061	0,073	0,021	2,238	0,447	3,254	1,323	5,199	0,534
Angostura 1 (147453)	319,742	0,059	0,023	2,924	0,342	3,362	1,474	7,438	0,687
Celia (72738)	296,124	0,053	0,020	3,430	0,292	4,039	1,965	11,006	0,870
Las Dunas 76331	277,654	0,040	0,015	4,636	0,216	4,579	1,368	11,053	1,027
Sedal (72741)	469,777	0,068	0,030	2,437	0,410	2,168	2,380	6,363	0,845
C La Mica 1 (147297)	276,974	0,032	0,014	5,788	0,173	4,564	1,949	17,173	0,843
Cristo (72748)	434,690	0,076	0,019	2,148	0,466	2,755	1,580	5,233	0,586
Tilancia 76328	483,163	0,076	0,016	2,200	0,455	2,215	1,754	4,980	0,827
Sedal (72740)	463,560	0,077	0,021	2,061	0,485	2,676	1,683	5,057	0,735
Tilancia 76330	338,664	0,045	0,016	4,051	0,247	4,160	1,313	9,629	0,879
Celia (72736)	421,501	0,067	0,023	2,570	0,389	3,046	1,921	7,213	0,826
Las Dunas 76327	538,467	0,074	0,010	2,142	0,467	2,226	1,572	4,508	1,262
Sedal (72744)	338,930	0,038	0,048	4,697	0,213	4,423	2,088	14,033	0,948
Angostura 2 (147486)	492,446	0,044	0,005	4,282	0,234	2,308	6,207	23,150	0,842
C La Mica 2 (147300)	408,061	0,042	0,013	4,835	0,207	4,011	2,222	15,232	0,922
Cristo (72750)	568,364	0,071	0,028	2,377	0,421	2,885	1,440	5,470	0,633
Cristo (143592)	714,005	0,075	0,013	2,112	0,474	2,239	1,760	5,039	0,726
<b>Maior Valor</b>	<b>714,005</b>	<b>0,095</b>	<b>0,048</b>	<b>5,791</b>	<b>0,708</b>	<b>6,138</b>	<b>6,207</b>	<b>23,150</b>	<b>1,262</b>
<b>Menor Valor</b>	<b>184,570</b>	<b>0,031</b>	<b>0,005</b>	<b>1,413</b>	<b>0,173</b>	<b>1,728</b>	<b>0,936</b>	<b>2,632</b>	<b>0,372</b>
<b>Média</b>	<b>347,274</b>	<b>0,063</b>	<b>0,020</b>	<b>3,049</b>	<b>0,370</b>	<b>3,270</b>	<b>1,727</b>	<b>8,126</b>	<b>0,790</b>

## ANEXO C

As descrições das amostras:

SECTOR	ESTE	NORTE	OBSERVAÇÃO	CÓDIGO	GRUPO
Angostura	420950	7559900	Pórfidogranodioríticotardío	147504	1
Cristo	432572	7412114	Roca pórfiro anfibliogranodiorita com alteração moderada para clorita e epidoto, ocorrendo magnetita dissiminada	143590	1
Galenosa	419180	7573840	Pórfidogranodiorítico	147505	1
Galenosa	419170	7573840	Pórfidotonalítico	147506	1
GalenosaSur	417940	7571250	Pórfidodacíticointramíneral principal	147194	1
GalenosaSur	417931	7571245	Pórfidogranodioríticointramíneral principal	162957	1
GalenosaSur	417914	7571141	Pórfidogranodioríticointramíneral	162960	1
GalenosaSur	417817	7571051	Pórfidogranodioríticointramíneraltardío	162956	1
GalenosaSur	417790	7571360	Pórfidodacíticointramíneral	147193	1
GalenosaSur	417663	7570872	Pórfidogranodioríticointramíneraltardío	162955	1
GalenosaSur	417925	7571212	Pórfidogranodioríticointramíneral	162958	1
Ojeda	411420	7552980	Pórfidodaciandesítico	147075	1
Ojeda	411400	7552880	Pórfidodiorítico	147073	1
Antuasca	405518	7746654	Pórfidogranodioríticointramíneral (Sondaje DDHAN-2 metro 191)	162952	2
Antuasca	405985	7747065	Pórfidodacíticointramíneral	162953	2
Celia	416512	7434189	Roca pórfiro biotita granito com pouco alteração de lixiviação argilitica	72737	2
Cerro Quillagua	420655	7599605	Pórfidoriolíticointramíneral principal	147359	2
Cerro Quillagua	420590	7599225	Pórfidoriolíticointramíneraltardío	147509	2
GalenosaSur	417665	7571040	Pórfidodacíticotardío	147276	2
Martita	406720	7556050	Pórfidogranodioríticointramíneral	147145	2
Martita	407340	7555100	Pórfidogranodioríticotardío	147150	2

Puntillas	425870	7575700	Pórfidodacíticointramineral principal	147508	2
Puntillas	426370	7575480	Pórfidodacíticotardío	147507	2
Puntillas Norte	426610	7578080	Pórfidodacíticointramineral principal	157566	2
Quebrada Ordoñez	416435	7582190	Pórfidodacíticointramineraltardío	147376	2
Quebrada Ordoñez	413965	7580470	Pórfidodacíticointramineraltardío	147372	2
Santa Lidia	413090	7604870	Pórfidogranodiorítico textura seriada	147353	2
Santa Lidia	413150	7605950	Pórfidogranodiorítico textura seriada	147351	2
Sedal	400788	7434261	Roca pórfiro quartzo diorita de biotita com alteração de lixiviação argilítica	72743	2
Angostura	419710	7560070	Pórfidogranodioríticointramineral principal	147453	3
Angostura	419710	7560070	Pórfidodacíticointramineral	147453	3
Angostura	419235	7561670	Pórfidodacíticointramineral	147486	3
Celia	416878	7433196	Roca pórfiro biotita granito com olhos de quartzo e alteração de lixiviação gerando clorita e preenchendo microfraturas com ilmenita	72738	3
Celia	416471	7434983	Roca pórfiro monzodiorito de biotita com alteração de lixiviação para clorita e epidoto	72736	3
Cerro Balcón	397926	7810180	Pórfidogranodiorítico	162954	3
Cerro La Mica	403124	7599290	Pórfidogranodiorítico	147297	3
Cerro La Mica	403675	7599970	Pórfidogranodiorítico	147300	3
Constância	404875	7782587	Roca granodiorita de biotita de textura média a grossa, pouca alteração de lixiviação para clorita e ocorrência de sulfetos oxidados. Zona perto da falha e formação posterior aos skarnitos	76332	3
Constância	404664	7782671	Skarnitos de calisas negras (calcário preto) com garnetes (granadas). Ocorrência de óxidos de cobre disseminados e em fraturas, presença de ventilhas de quartzo e de sulfetos oxidados.	76331	3
Cristo	433573	7410808	Roca de quartzo diorita com textura equigranular e sal e pimenta. Alteração de lixiviação, moderadamente alterada para clorita e preenchimento de óxidos de ferro nas fraturas.	72749	3

Cristo	432490	7410939	Roca pórfiro anfiboliodiorita de textura sal e pimenta alteração debil de lixiviação para clorita	143588	3
Cristo	432556	7409891	Roca pórfiro diorítico com alteração para clorita e epidoto. Ocorrencia de magnetita disseminada.	143592	3
Cristo	435213	7410288	Roca pórfiro de biotita monzodiorita com alteração moderada de lixiviação para clorita e ocorrencia de magnetita disseminada e enclaves máficos de até 4 cm.	72747	3
Cristo	434543	7410175	Roca pórfiro diorita de biotita com bastante alteração para clorita e presença de enclaves máficos de até 2 cm	72748	3
Cristo	432980	7410590	Roca pórfiro riolítico de textura porfiritica com alteração debil de lixiviação para clorita. Ocorrencia de magnetitadissemnada	72750	3
Cristo	433433	7412500	Roca de pórfiro andesítico (dique) de cor cinza, moderadamente alterado para biotita e epidoto	143591	3
Las Dunas	399357	7738215	Porfirogranodioríticos grossos mineralizados com oxido de cobre e com ventilhas de quartzo e sulfetos oxidados. (alto teor de W 200 ppm)	76326	3
Las Dunas	399619	7738269	Roca granodiorita mineralizado com oxidos de cobre intrudindo andesita. (zona de contato)	76327	3
Los Molos	426530	7589950	Pórfidodaciticotardío	147444	3

Los Molos	421970	7586285	Pórfidodacíticotardío	147432	3
Morro Bayo	394407	7734183	Roca pórfiro granodioritos de cor escura com mineralização de óxidos de Cu de cor verde em fraturas. Alteração moderada argilitica e oxidos de ferro.	76324	3
Morro Bayo	394834	7734010	Roca pórfiro granodiorito com mineralização de oxido de cobre e oxidos de ferro ocorrendo nas fraturas	76325	3
Pampa Oeste	393557	7443030	Roca pórfiro biotita granito alteração moderada para clorita, epidoto e argilominerais. Presença de enclaves de diorito de até 3 cm.	72746	3
Pampa Oeste	396198	7440752	Roca pórfiro monzodiorita de biotita e presença de olho de quartzo com alteração de lixiviação formando clorita, epidoto e argilominerais.	72745	3
Paralelo El Deserto	423472	7392540	Porfirogranodiorito bastante alterado com vetillas de quartzo e sulfetos oxidados. Alteração argilitica com pouco minérios de cobre, porém valores anomolos para Molibdenio (>50 ppm).	147760	3
Paralelo El Deserto	428210	7340054	Tufo de cristal de composição acida, debil alteração de lixiviação sem ocorrencia de mineralização	147736	3
Paralelo El Deserto	426354	7392557	Porfirogranodioritico bastante alterado, alteração argilitica avançada. Ocorrencia de aluminita, vetillas de quartzo	147758	3
Paralelo El Deserto	424690	7389250	Tufo de cristal de composição acida, alteração argilitica avançada com ocorrencia de mineralização de calcocita e calcopirita (oxidos negros)	147749	3

Sedal	410043	7433477	Roca pórfiro granodiorito com enclaves de diorita de até 20cm, alteração de lixiviação gerando cloritas e epidoto.	72739	3
Sedal	401833	7433055	Roca pórfiro diorita de biotita com alteração de lixiviação argílica e para clorita	72742	3
Sedal	402572	7432649	Roca pórfiro monzodiorito de biotita com alteração de lixiviação argílica e para clorita e epidoto, com presença de magnetita dissimulada	72741	3
Sedal	406956	7430464	Roca pórfiro monzodiorito de biotita com alteração de lixiviação argílica e para clorita e epidoto	72740	3
Sedal	397988	7439825	Roca pórfiro monzodiorita de biotita e presença de óxido de cobre de cor verde com alteração moderada de lixiviação formando clorita e epidoto.	72744	3
Tilancia	392366	7743890	Brecha de andesito mineralizada com bastante ocorrência de óxidos de cobre	76328	3

 **Presença de mineralização**

 **GRUPO 3**

 **GRUPO 2**

 **GRUPO 1**