

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA DE UMA MINERALIZAÇÃO
EPITERMAL PALEOPROTEROZÓICA NA PROVÍNCIA AURÍFERA DO
TAPAJÓS**

Aline Mota de Souza

Orientador: Prof. Dr. Caetano Juliani

Co-Orientador: Prof. Dr. Jorge Silva Bettencourt

**MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA
(TF – 10/02)**

**SÃO PAULO
2010**

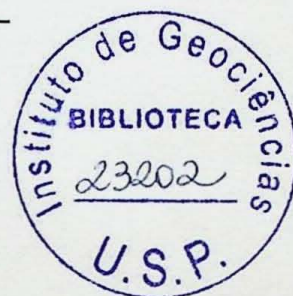
TF
S729
AM.c

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA DE UMA MINERALIZAÇÃO
EPITERMAL PALEOPROTEROZOICA NA PROVÍNCIA AURÍFERA DO
TAPAJÓS**

Aline Mota de Souza

Aline Mota de Souza



Caetano Juliano

Orientador: Prof. Dr. Caetano Juliano

Co-Orientador: Prof. Dr. Jorge Silva Bettencourt

TRABALHO DE FORMATURA
(TF – 10/02)

SÃO PAULO
2010

DEDALUS - Acervo - IGC



30900028379

TF
5729
AM C

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA DE UMA MINERALIZAÇÃO
EPITERMAL PALEOPROTEROZOICA NA PROVÍNCIA AURIFERA DO
TARALÓS



Aline Mota de Souza

Orientador: Prof. Dr. Cristiano Juniani

Co-Orientador: Prof. Dr. Jorge Silva Botelho

TRABALHO DE FORMATURA

(TF - 10102)

SÃO PAULO
2010

AGRADECIMENTOS

Antes de iniciar a redação do trabalho, gostaria de agradecer a todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste projeto. Em primeiro lugar, agradeço aos meus pais, especialmente ao meu pai, por todo o apoio e incentivo durante a minha vida acadêmica e profissional. Também agradeço aos meus amigos, em especial aos meus colegas de curso, por todo o suporte e amizade durante a minha jornada. Por fim, agradeço ao meu orientador, pelo apoio e orientação durante a elaboração deste trabalho.

Em segundo lugar, gostaria de agradecer ao meu orientador, pelo apoio e orientação durante a elaboração deste trabalho. Também agradeço aos meus amigos, em especial aos meus colegas de curso, por todo o suporte e amizade durante a minha jornada. Por fim, agradeço ao meu orientador, pelo apoio e orientação durante a elaboração deste trabalho.

Por fim, gostaria de agradecer a todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste projeto. Em primeiro lugar, agradeço aos meus pais, especialmente ao meu pai, por todo o apoio e incentivo durante a minha vida acadêmica e profissional. Também agradeço aos meus amigos, em especial aos meus colegas de curso, por todo o suporte e amizade durante a minha jornada. Por fim, agradeço ao meu orientador, pelo apoio e orientação durante a elaboração deste trabalho.

Por fim, gostaria de agradecer a todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste projeto. Em primeiro lugar, agradeço aos meus pais, especialmente ao meu pai, por todo o apoio e incentivo durante a minha vida acadêmica e profissional. Também agradeço aos meus amigos, em especial aos meus colegas de curso, por todo o suporte e amizade durante a minha jornada. Por fim, agradeço ao meu orientador, pelo apoio e orientação durante a elaboração deste trabalho.

Por fim, gostaria de agradecer a todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste projeto. Em primeiro lugar, agradeço aos meus pais, especialmente ao meu pai, por todo o apoio e incentivo durante a minha vida acadêmica e profissional. Também agradeço aos meus amigos, em especial aos meus colegas de curso, por todo o suporte e amizade durante a minha jornada. Por fim, agradeço ao meu orientador, pelo apoio e orientação durante a elaboração deste trabalho.

Por fim, gostaria de agradecer a todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste projeto. Em primeiro lugar, agradeço aos meus pais, especialmente ao meu pai, por todo o apoio e incentivo durante a minha vida acadêmica e profissional. Também agradeço aos meus amigos, em especial aos meus colegas de curso, por todo o suporte e amizade durante a minha jornada. Por fim, agradeço ao meu orientador, pelo apoio e orientação durante a elaboração deste trabalho.

Por fim, gostaria de agradecer a todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste projeto. Em primeiro lugar, agradeço aos meus pais, especialmente ao meu pai, por todo o apoio e incentivo durante a minha vida acadêmica e profissional. Também agradeço aos meus amigos, em especial aos meus colegas de curso, por todo o suporte e amizade durante a minha jornada. Por fim, agradeço ao meu orientador, pelo apoio e orientação durante a elaboração deste trabalho.

"Faça o que tem que fazer e deixe os outros discutirem se é certo ou não."
(Calvin)

Por fim, gostaria de agradecer a todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste projeto. Em primeiro lugar, agradeço aos meus pais, especialmente ao meu pai, por todo o apoio e incentivo durante a minha vida acadêmica e profissional. Também agradeço aos meus amigos, em especial aos meus colegas de curso, por todo o suporte e amizade durante a minha jornada. Por fim, agradeço ao meu orientador, pelo apoio e orientação durante a elaboração deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente ao Caetano por ter sido uma das pessoas que mais me deixaram empolgada a respeito dessa ciência incrível que é a geologia. Acredito que as aulas de metamórfica me estimularam a tentar ser a melhor cientista que eu pudesse e a ter um dos melhores professores como orientador. Agradeço a ele também por confirmar que eu tenho mais de 18 anos quando se negam a me vender cerveja em bares de Ponte Nova por eu estar sem R.G.

Em segundo lugar, porém não menos importante, agradeço ao Meninão por ter me ajudado o ano inteiro sempre de boa vontade, seja respondendo dúvidas pelo Orkut, seja me substituindo nas monitorias de metamórfica enquanto eu escrevia esse TF ou ainda propiciando momentos engraçados pós-churrasco-de-metamórfica que serão lembrados para sempre. Meninão (Bini?), nem que eu te desse todos os barris de Heineken do mundo seria suficiente pra expressar minha gratidão.

Também preciso agradecer ao Fares que sempre tentou me ajudar em tudo que podia quanto a esse TF, sempre 'numa relax, numa tranquila, numa boa' e me deu abrigo muitas vezes na casa dele já que eu moro 'praticamente no Rio de Janeiro'. Ao Carlos Mário (fofoqueiro, cara) que também me ajudou em várias etapas do trabalho e sempre fez todo mundo rir com piadas gatunas.

Outras pessoas essenciais pra realização desse TF foram o Andres (manja tudo de MINPET), também ao trio Juba, Erica e Dailto, fora a Lena pelo considerável tempo de MEV na UNICAMP. Ao Marcos da microsonda, cujo único defeito é ser são-paulino e ao Flávio do DRX. Ao Jaú que abria a porta dos laboratórios pra mim quando estavam trancadas.

Agradeço o apoio financeiro do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia da Amazônia (INCT-Geociam), que marcou uma reunião no Congresso de Belém bem na manhã seguinte ao Mormaço. Me ajudou a perceber que sou mais forte do que imaginava.

Tenho que agradecer a alguns professores, não por terem me ajudado nesse trabalho, mas por também terem me inspirado a ser a melhor geóloga que eu conseguir. São eles os Renatos (de metamórfica e o Ninguém, ambos me ajudaram a enfrentar eventuais vacas em campo), Mario Campos, Egydio, Boggiani, Gergely, Marly, Frutinha, Guano, Bisteca e Thomas.

Agradeço aos motoras que sempre deixaram o campo mais divertidos ou mais enfeitados com flores cor-de-rosa (né, Tomaz?), às tias da biblioteca, principalmente à Sandra. Ao Henrique, Ivoneide e Marilda pela ajuda.

Meus amigos da geo, também tenho que agradecer a vocês por esses 5 anos de momentos de alegria (quintas-feiras, campos), desespero (sub de cálculo I, relatório de

metamórfica, nota da última prova de prospec), ócio (no banco do pátio) e estudo... Bilóba (companheira de rock'n'roll), Sertão (amor da minha vida, mas eu divido com o Vivi), Kabong (de todas as quintas), Atoladinha (pessoa mais gente boa do mundo), Sarinha (de cerveja à aula de inglês), Mari (exemplo!), Lituana (essa me deu trabalho...), Mimoso (e aí? Fi-fiu), Arregazzo (e seu mau humor Peanuts característico), Facinha (grupooooo) e Pinky (que com certeza será um dos melhores geólogos do Brasil).

Meus amigos de fora da geo, que não me entenderam, mas me aceitaram quando decidi fazer geologia (que? Biologia?) e que cresceram comigo. Bruna (a advogada que sabe o que são rochas ígneas, sedimentares e metamórficas), Marcela (desde o futebol até as conversas sobre a vida e o mundo aos 16 anos na esquina do colégio), Letícia (m.a.), Siri (que odeia o apelido que eu coloquei nela e não o entende até hoje), Marcão (que me levou pro lado negro da força) e Tiemi (das unhas e cabelo colorido).

Finalmente, agradeço e dedico esse trabalho à minha família por sempre apoiar, embora as vezes sem entender, as decisões estranhas que eu tomo, pela paciência, pelos presentes sempre que volto de campo (:D) e pelo amor de toda a vida.

Ahhh, e eu não poderia deixar de agradecer ao Todo Poderoso Timão que acabou de vencer os bambis por 2 x 0, me animando pra terminar de escrever agora esse TF!! Quatro anos de freguesia!!

A todos vocês,

Muito obrigada!

RESUMO

A Província Aurífera do Tapajós (PAT), situada no sudoeste do Pará, é uma das regiões produtoras de ouro mais importantes do Brasil. O objetivo deste trabalho de formatura foi a caracterização da mineralogia de ganga, minério e alteração hidrotermal de uma mineralização epitermal *low-sulfidation* paleoproterozóica hospedada em rochas vulcânicas e vulcanoclásticas do Grupo Iriri, Supergrupo Uatumã, da PAT. O trabalho foi realizado principalmente com base em estudos petrográficos, e, devido a granulação muito fina de diversas fases minerais, foram utilizados microscopia eletrônica de varredura, microsonda eletrônica e difração de raios-X para complementar a caracterização mineralógica.

Os resultados obtidos mostram que há pelo menos três tipos de alteração hidrotermal nas rochas estudadas. A alteração propilítica, que afetou os arenitos tufáceo arcoseanos e os andesitos de forma fissural a pouco pervasiva representada principalmente por clorita + epídoto, seguida pela alteração sericítica pervasiva, apresentando assembléia típica sericita + quartzo + pirita (QSP), em todos os litotipos e, por fim, alteração argílica fissural, representada por veios de caolinita, observada nas rochas vulcanoclásticas.

Os minerais de minério caracterizados foram sulfetos de cobre como calcopirita, covelita e calcosina com molibdênio associado, mineralogia típica de *low-sulfidation* (adulária-sericita) e *intermediate-sulfidation*, indicando que o sistema hidrotermal evoluiu de um estágio mais com fluidos mais reduzidos para mais oxidados.

A mineralogia encontrada é análoga às mineralizações epitermais cenozóicas e mesozóicas, o que sugere, tal qual já indicado no estudo da mineralização *high-sulfidation* por Juliani *et al.* (2005), que os sistemas hidrotermais paleoproterozóicos associados com o vulcanismo Uatumã na Província Aurífera do Tapajós são muito semelhantes aos geologicamente mais modernos. Assim, considerando-se que as mineralizações epitermais de metais preciosos de ouro e de metais de base sabidamente se relacionam geneticamente com mineralizações do tipo pórfiro (Arribas Jr. 1995), seria esperável a ocorrência de depósitos minerais de grande porte na PAT. Neste contexto, os modelos exploratórios para depósitos epitermais e do tipo pórfiro deveriam ser considerados nos trabalhos de prospecção mineral na região.

Por fim, a semelhança desses sistemas hidrotermais com os sistemas modernos indica que outros terrenos antigos com vulcanismo semelhante em outras partes da Amazônia e em outros arcos magmáticos, metamorfisados ou não, podem constituir alvos potenciais para pesquisa de depósitos minerais magmático-hidrotermais desses tipos.

ABSTRACT

The Tapajos Gold Province (TGP), located in the southwest of the Pará state, is one of the most important gold producer places in Brazil. The purpose of this work was the mineralogical characterization of a paleoproterozoic low-sulfidation epithermal mineralization, hosted in volcanic and volcanoclastic rocks from the Iriri Group, Uatumã Supergroup, in the TGP. This work was mainly based on petrographic studies and due to several very fine grained mineral phases, scanning electron microscopy, electron microprobe and X-ray diffraction were used to complement the mineralogical characterization.

The results show that there are at least three types of hydrothermal alteration on the studied rocks. The propylitic alteration affected tuffaceous sandstones and andesites in a fissural to rather pervasive way, represented by chlorite + epidote. There is a pervasive sericitic alteration, showing the sericite – quartz – pyrite typical assemblage, in all lithotypes. Lastly, fissural argillic alteration, represented by caolinite veins, is observed on volcanoclastic rocks.

The ore minerals characterized are typical from low-sulfidation and intermediate-sulfidation mineralogy, such as copper sulfides like chalcopyrite, covellite and chalcocite with associated molybdenum, showing that the hydrothermal system evolved from a reduced fluid stage to a more oxidized one.

The mineralogy observed in this work is analogous to Cenozoic and Mesozoic epithermal mineralizations which suggest, as already indicated at the high-sulfidation mineralization studies by Juliani *et al.* (2005), that the paleoproterozoic hydrothermal systems associated with the Uatumã volcanism at the TGP are very similar to the latest systems. So, considering that gold and base metals epithermal mineralizations are genetically related with porphyry type mineralizations (Arribas Jr., 1995), it would be expected the occurrence of large mineral deposits at the TGP. In this context, exploration models for porphyry type and epithermal deposits should be considered in the mineral prospecting works in the region.

Finally, the similarity of these hydrothermal systems with modern ones indicates that other ancient terrains with similar volcanism in the Amazonian Craton and in other magmatic arcs, metamorphosed or not, could compose potential targets for research of this kind of magmatic–hydrothermal mineral deposits.

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS.....	iv
RESUMO	vi
ABSTRACT	vii
LISTA DE FIGURAS.....	ix
LISTA DE TABELAS.....	x
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DO ESTUDO.....	2
3. OBJETIVOS.....	2
4. JUSTIFICATIVAS	3
5. MATERIAIS E MÉTODOS.....	3
5.1 Revisão Bibliográfica	3
5.2 Petrografia	4
5.3 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e Química Mineral em Microsonda Eletrônica (MSE).....	4
5.4 Difração de Raios X (DRX)	5
6. CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL.....	5
6.1 Província Aurífera do Tapajós.....	5
6.2 Mineralizações.....	11
7. ALTERAÇÃO HIDROTHERMAL	11
8. SISTEMAS EPITERMAIS.....	13
9. DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO	16
10. RESULTADOS	17
10.1 Petrografia	17
10.2 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e Difração de Raios X (DRX).....	23
10.3 Química Mineral em Microsonda Eletrônica (MSE).....	30
10.3.1 Micas brancas.....	30
10.3.2 Clorita.....	31
11. DISCUSSÃO.....	31
12. CONCLUSÃO	33
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	34
ANEXOS	37

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Imagem de satélite da área de estudo. O círculo amarelo indica a localização das sondagens de onde foram obtidas as amostras estudadas. _____ 2
- Figura 2.** Principais províncias geocronológicas do Cráton Amazônico, segundo Santos *et al.* (2000) com a localização dos sistemas hidrotermais paleoproterozóicos associados ao magmatismo Uatumã, segundo Juliani *et al.* (2009). _____ 5
- Figura 3.** Área de ocorrência das rochas vulcânicas e granitóides associados ao magmatismo Uatumã, em amarelo. Extraído de Juliani *et al.* (2009). _____ 7
- Figura 4.** Esquema de evolução da atividade hidrotermal conforme a variação da temperatura e da quantidade de H^+ e K^+ no sistema. À medida que o sistema evolui para temperaturas e pressões mais baixas ocorre um incremento de H^+ e uma gradação da alteração alcalina para argílica (Guilbert & Park, 1985 e Burnham & Ohmoto, 1980 em Pirajno, 2009). _____ 13
- Figura 5.** Diagrama de correlação entre temperatura e fugacidade de enxofre para os estados de sulfuração relativos dos fluidos hidrotermais definidos segundo os campos de estabilidade de minerais chave. Extraído de Camprubi & Albinson (2006). _____ 14
- Figura 6.** Sequência de cristalização dos minerais do estágio magmático e pós-magmático (alteração hidrotermal) em riolito. _____ 18
- Figura 7.** Sequência de cristalização dos minerais do estágio magmático e pós-magmático (alteração hidrotermal) em andesito. _____ 19
- Figura 8.** (A) Riolito porfirítico cortado por veios hidrotermais onde se observa alteração sericitica fissural mudando a coloração da rocha. (B) Megacristal de quartzo com feição de corrosão em golfo, em riolitos porfiríticos. Fotomicrografia com polarizadores cruzados. (C) Megacristal de quartzo arredondado e com borda corroída. Fotomicrografia com polarizadores cruzados. (D) Megacristal preservado representando a primeira geração de plagioclásio parcialmente sericitizado em riolitos porfiríticos. Fotomicrografia com polarizadores cruzados. _____ 21
- Figura 9.** (A) Aspecto petrográfico do andesito com textura ofítica. Fotomicrografia com polarizadores paralelos. (B) Alteração argílica fissural em tufo representada por veios de caolinita. (C) Aspecto petrográfico do tufo cortado por veio de caolinita, indicando alteração argílica fissural. Fotomicrografia com polarizadores paralelos. _____ 22
- Figura 10.** Imagens de elétrons retro-espalhados com: (A) Pirita (Py) com inclusão de monazita (Mz), chumbo nativo (Pb) e mineral não identificado. (B) Pirita (Py), ferro-molibdenita (Fe-mo), zircão (Zrc) e calcopirita (Ccp). _____ 23
- Figura 11.** Espectrogramas obtidos através de MEV em amostra de riolito (A) Pirita (FeS_2) (B) Mineral não identificado (C) Chumbo nativo (Pb) com interferência do mineral hospedeiro (pirita). (D) Calcopirita ($CuFeS_2$). (E) Ferro-molibdenita ($Fe_2[MoO_4]_3 \cdot nH_2O$) com U como impureza. _____ 25
- Figura 12.** Imagens de elétrons retro-espalhados de sulfetos de cobre calcopirita (Ccp), covelita (Cv), calcosina (Cc) e anilita (An), além de pirita (Py). _____ 26

Figura 13. Espectogramas obtidos através de MEV em amostra de tufo (A) Pirita (FeS_2) (B) Calcopirita (CuFeS_2) (C) Anilita (Cu_7S_4) com Fe como impureza (D) Covelita (CuS) com Fe como impureza (E) Calcosina (Cu_2S) com Fe como impureza. _____ 27

Figura 14. Imagens de elétrons retro-espalhados com: (A) Cristais de calcopirita (Ccp) com inclusão de esfalerita (Sp). (B) Cristais de calcopirita (Ccp) associados a cristais de pirita (Py). _ 28

Figura 15. Espectogramas obtidos através de MEV em amostra de arenito arcoseano tufáceo (A) Pirita (FeS_2) (B) Calcopirita (CuFeS_2) (C) Esfalerita (ZnS) com interferência do mineral hospedeiro (calcopirita). _____ 29

Figura 16. Diagrama (Tischendorf, 1997) mostrando a classificação das micas brancas analisadas. _____ 30

Figura 17. Diagrama (Hey, 1954) de classificação de clorita indicando composição de ripidolita para as amostras analisadas. _____ 31

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Principais unidades geológicas da Província Aurífera do Tapajós _____ 9

Tabela 2. Principais características dos sistemas epitermais *low-sulfidation* e *high-sulfidation*. _ 15

Tabela 3. Cronograma de atividades realizadas. _____ 16

Tabela 4. Dados de MEV de mineral não identificado. _____ 23

Tabela 5. Porcentagem atômica dos elementos dos diferentes sulfetos de cobre. _____ 28

1. INTRODUÇÃO

A Província Aurífera do Tapajós (PAT), situada na região central do Cráton Amazônico, sudoeste do estado do Pará, caracteriza-se como uma das mais importantes produtoras de ouro do Brasil, sendo estimada uma geração histórica de mais de 700 ton, quase que essencialmente em garimpos. Nos últimos anos, entretanto, com a diminuição das reservas secundárias, algumas mineralizações primárias têm sido lavradas por empresas, como a Mina do Palito, constituída por enxames de veios de quartzo mineralizados em ouro encaixados em rochas graníticas.

As mineralizações auríferas da PAT associam-se predominantemente a granitos de arcos magmáticos gerados por sucessivos episódios de subducção no final do Paleoproterozóico. De modo geral as mineralizações são filonianas e os veios têm sua gênese atribuída a processos orogenéticos, ou seja, formados por fluidos hidrotermais derivados de devolatilização metamórfica. Entretanto, mais recentemente, foram identificadas mineralizações epitermais *high-* (quartzo–alunita) e *low-sulfidation* (adulária–sericita), bem como do tipo pórfiro na PAT.

A baixa profundidade de ocorrência das mineralizações epitermais as deixa suscetíveis a erosão, fazendo com que apenas depósitos encaixados em rochas de idade cenozóica e algumas mesozóicas estejam preservados (Arribas, 1995) e, nesse contexto, estudos recentes revelaram a existência de sistemas epitermais paleoproteróicos *high-sulfidation* não metamorfisados e quase não deformados relacionados a grandes complexos de caldeiras vulcânicas na Província Aurífera do Tapajós (Juliani *et al.*, 2000), constituindo então a mineralização epitermal *high-sulfidation* bem preservada mais antiga do mundo até hoje descrita.

Essas descobertas ampliam o potencial metalogenético da região, pois abrem a possibilidade de ocorrência de depósitos epitermais de alto teor e do tipo pórfiro de ouro e de metais de base, de baixo teor e grande volume, já que os pórfiros relacionam-se geneticamente com as mineralizações epitermais.

Este trabalho apresenta a caracterização mineralógica de uma dessas mineralizações epitermais hospedadas em rochas vulcânicas e vulcanoclásticas da Província Aurífera do Tapajós e adentra na discussão da possibilidade da existência de outros depósitos epitermais preservados em terrenos pré-cambrianos do mundo.

2. OBJETIVOS

2. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DO ESTUDO

A área de estudo localiza-se próxima a cidade de Itaituba e à confluência dos rios Jamanxim e Tapajós, sudoeste do Estado do Pará (Fig. 1). O acesso a partir da cidade de Itaituba se dá pela rodovia Transamazônica, em seguida de barco pelo rio Tapajós e, finalmente, por uma trilha na mata. O acesso à área foi feito em picadas abertas para pesquisa mineral desenvolvida pela Rio Tinto Brasil. Como não existem mapas topográficos da região, a localização das sondagens estudadas foi feita com o uso de imagens de satélite.

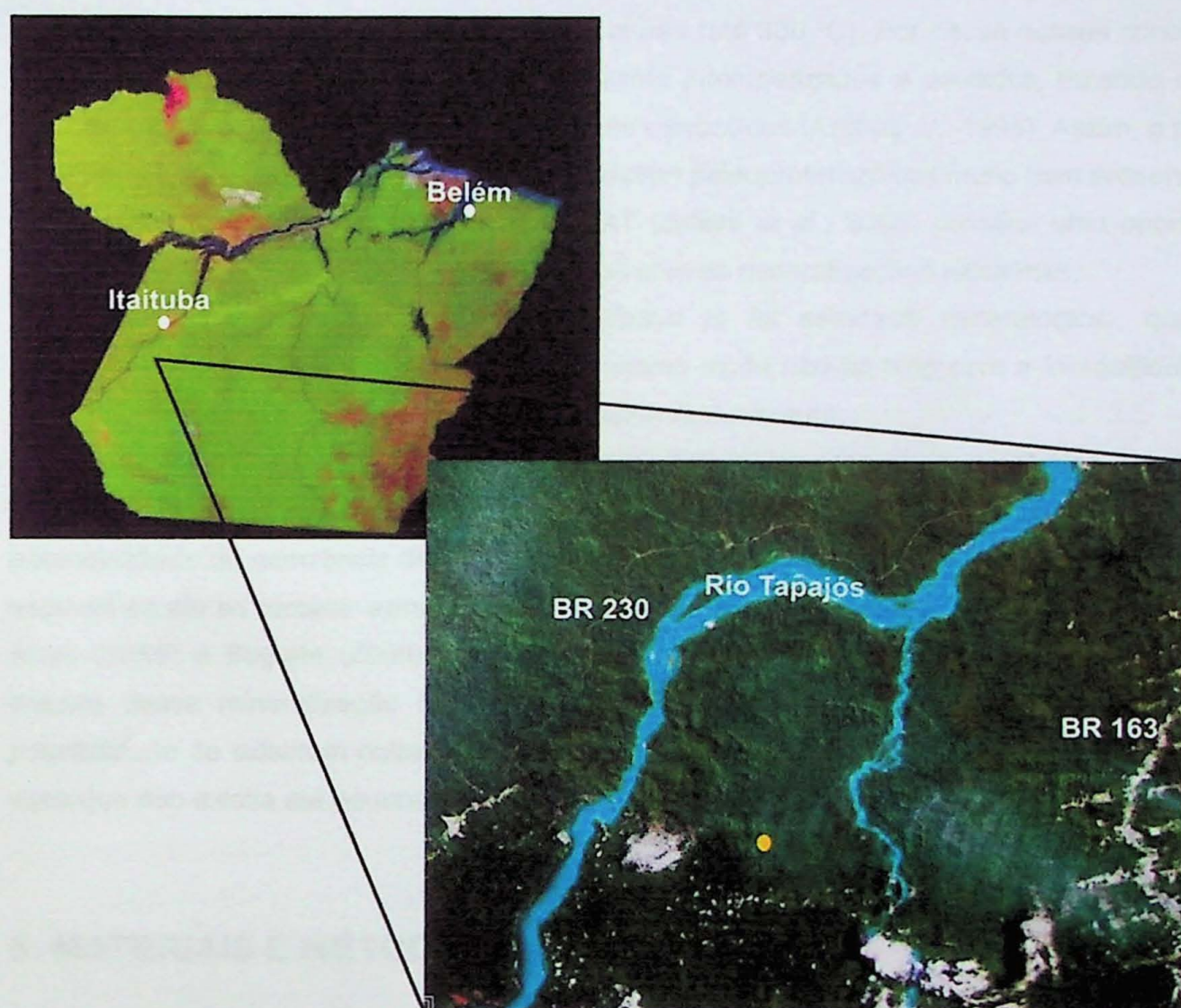


Figura 1. Imagem de satélite da área de estudo. O círculo amarelo indica a localização das sondagens de onde foram obtidas as amostras estudadas.

3. OBJETIVOS

O objetivo principal deste trabalho foi a caracterização dos minerais de minério e ganga de uma mineralização *low-sulfidation* paleoproterozóica, assim como de suas rochas encaixantes.

A partir do conjunto de dados obtidos por microscopia ótica convencional, microscopia eletrônica de varredura, microsonda eletrônica e difração de raios X foi possível caracterizar os diferentes tipos de alteração hidrotermal que ocorrem na área e comparar a mineralização da PAT com depósitos modernos do mesmo tipo.

4. JUSTIFICATIVAS

Mineralizações epitermais *low-sulfidation* são formadas, segundo Pirajno (2009), a pouca profundidade (0 – 1000 m) e a baixas temperaturas (até 300 °C). Por causa dessas condições de formação, os depósitos costumam ser facilmente intemperizados e erodidos, fazendo com que ocorram quase que exclusivamente em terrenos cenozóicos (Arribas Jr., 1995). Assim, a presença de mineralizações epitermais *high-* e *low-sulfidation* paleoproterozóicas muito bem preservadas do intemperismo, erosão e metamorfismo na PAT (Juliani *et al.*, 2005) constitui uma oportunidade única para estudos mineralógicos comparativos com as mineralizações modernas.

A mineralização epitermal *high-sulfidation* já foi estudada mineralógica-, química- e isotopicamente (Juliani *et al.*, 2005), mas o mesmo ainda não foi feito com a *low-sulfidation* Cu–Mo–(Au), justificando as pesquisas desse trabalho de formatura.

A caracterização da mineralização epitermal paleoproterozóica no Cráton Amazônico é também importante para subsidiar os trabalhos de prospecção mineral e para indicação da potencialidade de ocorrência de depósitos minerais epitermais e do tipo pórfiro na Amazônia, em especial se ela se mostrar semelhante às mineralizações modernas, tal qual verificado por Julianni *et al.* (2005) e Bugarin (2009) na mineralização *high-sulfidation*. Além disso, a caracterização precisa dessa mineralização reveste-se de significado científico e econômico, por indicar a possibilidade de existirem outras do mesmo tipo em terrenos pré-cambrianos no mundo, hipótese essa que não existia até poucos anos atrás.

5. MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 Revisão Bibliográfica

Foram realizados levantamentos bibliográficos por meio de consultas ao acervo da biblioteca do IGUSP e aos sistemas de buscas de dados, fornecidos pelo Sistema Integrado de Bibliotecas da Universidade de São Paulo (SIBi/USP).

Esse levantamento buscou a compilação de artigos e teses sobre a geologia regional e local, incluindo estudos metalogenéticos. Também foram realizados estudos sobre a formação e a evolução de sistemas epitermais e de mineralizações associadas, em especial acerca da sua

mineralogia, tipo de rochas encaixantes e ambiente tectônico de formação, visando a comparação da mineralização *low-sulfidation* do Tapajós com as mais recentes de outras regiões do mundo.

5.2 Petrografia

A área onde se localiza a mineralização *low-sulfidation* é de acesso muito difícil, mas há um bom conjunto de rochas, tanto de afloramentos como de testemunhos de sondagens para realização desses estudos e, incluindo um bom acervo de lâminas e secções polidas. Essas amostras foram reavaliadas e mais algumas amostras foram selecionadas para confecção das lâminas e secções polidas. No total foram descritas 26 lâminas petrográficas.

O estudo de lâminas delgadas foi feito no Laboratório Didático do IGc-USP acompanhado por bibliografia específica, como Bard (1986), Deer *et al.* (1967), Hibbard (1995), Ixer (1990), Klein & Hurlbut (1993), MacKenzie & Adams (1994), Melgarejo (1997) e Tröger (1979).

5.3 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e Química Mineral em Microsonda Eletrônica (MSE)

As rochas vulcânicas e hidrotermalizadas estudadas apresentam minerais de granulação fina, dificultando sua identificação na microscopia ótica convencional. Por esse motivo, foi utilizada microscopia eletrônica de varredura e microsonda eletrônica para identificação de fases minerais, fornecendo assim subsídios para a caracterização de fases hidrotermais.

Para as análises em MEV e microsonda eletrônica foram confeccionadas 6 lâminas delgadas polidas metalizadas com película de carbono em metalizador Edwards. As análises em microsonda eletrônica foram obtidas em microsonda JEOL, modelo JXA 8600 Superprobe, do Laboratório de Microsonda Eletrônica (ME) do Instituto de Geociências da USP, sob coordenação do técnico Marcos Mansueto. As condições para obtenção de análises químicas pontuais foram de 15 kV e corrente de 10 nA, com um feixe de elétrons com diâmetro de 5 μ .

Os estudos por microscopia eletrônica de varredura foram feitos num microscópio LEO, modelo 430i, com EDS acoplado, do Laboratório de Microscopia Eletrônica de Varredura (LABMEV) do Instituto de Geociências da UNICAMP, sob coordenação do técnico Daílto Silva. Para tratamento dos dados, foi utilizado o software *MINPET 2.02* (Richards, 1995). As imagens apresentadas foram obtidas pelo retro-espalhamento de elétrons e as análises pontuais são semi-quantitativas.

5.4 Difração de Raios X (DRX)

Para complementar a identificação mineralógica e caracterização das fases hidrotermais, foi utilizada a difratometria de raios X em 10 amostras. Essas análises foram realizadas no Laboratório de Difratometria de Raios X (LDRX) do Instituto de Geociência da USP, sob coordenação do técnico Dr. Flávio Machado de Souza Carvalho, mediante uso do difratômetro SIEMENS D5000.

6. CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

6.1 Província Aurífera do Tapajós

A Província Aurífera do Tapajós localiza-se na borda sudoeste do Cráton Amazônico, no Escudo Brasil Central, no limite entre as províncias Tapajós–Parima e Amazônia Central, e é uma das províncias metalogenéticas mais importantes da Amazônia (Fig. 2).

A intensificação dos estudos geocronológicos tem levado a novas discussões e mudanças na estratigrafia da região Amazônica nos últimos anos. Uma síntese da estratigrafia está apresentada na Tabela 1. As principais unidades estão descritas abaixo:

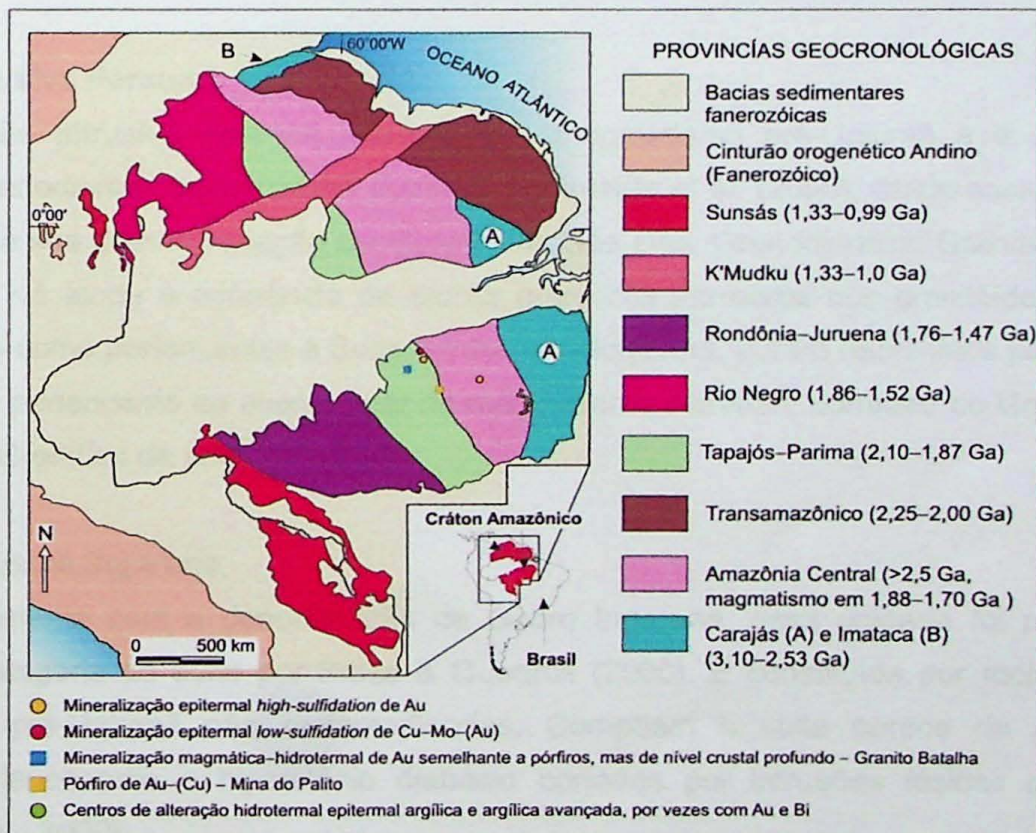


Figura 2. Principais províncias geocronológicas do Cráton Amazônico, segundo Santos *et al.* (2000) com a localização dos sistemas hidrotermais paleoproterozóicos associados ao magmatismo Uatumã, segundo Juliani *et al.* (2009).

a) Grupo Jacareacanga

O Grupo Jacareacanga inclui associação de rochas metassedimentares e metavulcânicas, tais como, micaxistos, quartzo micaxistos, actinolita xistos, talco xistos, quartzitos, *metacherts*, metargilitos, metagrauvacas e filitos (Ferreira *et al.*, 2000). Apresenta metamorfismo na fácies xisto verde e representa a unidade mais antiga reconhecida na Província Aurífera do Tapajós, com idade máxima de 2,1 Ga (Santos *et al.*, 1997, U–Pb em zircão detrítico).

b) Complexo Cuiú-Cuiú

O Complexo Cuiú-Cuiú é composto por gnaisses, migmatitos, anfibolitos e granitóides, com metamorfismo citado como variando da fácies anfibolito médio a alto (Almeida *et al.*, 1998). Essa unidade está em contato com as rochas do Grupo Jacareacanga e tem idade ao redor de 2.005 Ma (Santos *et al.*, 1997).

c) Suíte Intrusiva Creporizão

Esta unidade é composta predominantemente por sieno- e monzogranitos, além de granodiorito, tonalito e quartzo monzodiorito subordinados (Ricci *et al.*, 1999; Lamarão *et al.*, 1999; Klein & Vasquez, 2000). São granitos intrusivos no embasamento gnáissico pouco remobilizado e quase sempre milonitizados, com idades de 1.974 ± 6 e 1.957 ± 6 Ma (Santos *et al.*, 2001).

d) Suíte Intrusiva Parauari

A Suíte Intrusiva Parauari representa o magmatismo pré-Uatumã e é composta por granitos e granodioritos muitas vezes porfíricos. Almeida *et al.* (2000), divide essa suíte em três fácies, dada a sua grande variação composicional. São elas: Granodiorítica, Granítica e Granítica com titanita. Há ainda a ocorrência de *stocks* graníticos intrusivos nos granitóides dessa suíte considerados como pertencentes à Suíte Intrusiva Maloquinha, porém redefinidos por Juliani *et al.* (2001) como pertencente ao evento final do magmatismo Parauari, correlato ao Granito Rosa de Maio (fácies Granítica da suíte).

d) Suíte Intrusiva Ingarana

Inicialmente com a denominação de Gabro Ingarana, essa unidade foi posteriormente elevada à categoria de suíte por Bahia & Quadros (2000). É constituída por rochas máficas e ultramáficas pré-Uatumã não metamorfasadas. Compõem a suíte corpos de augita gabro, leucogabro, leuconorito e hiperstênio diabásio cortados por intrusões félicas do Grupo Iriri (Almeida *et al.*, 2000).

e) Supergrupo Uatumã

Uma das unidades mais importantes do Cráton Amazônico, devido à sua extensão de mais de 1.100.000 km² (Fig. 3), mas sua litoestratigrafia ainda não está muito bem compreendida. Alguns autores, como Pessoa *et al.* (1977), Rambrag & Santos (1974), Silva *et al.* (1974) e Santos *et al.* (1975) iniciaram a caracterização e individualização das unidades do então Grupo Uatumã e o consideraram como formado por um evento vulcano-plutônico anorogênico. Melo *et al.* (1978) em Almeida *et al.* (2000) elevaram o Grupo Uatumã à categoria de Supergrupo por este englobar suítes intrusivas e extrusivas de caráter heterogêneo, sendo então composto pelo Grupo Iriri e pela Suíte Intrusiva Maloquinha.

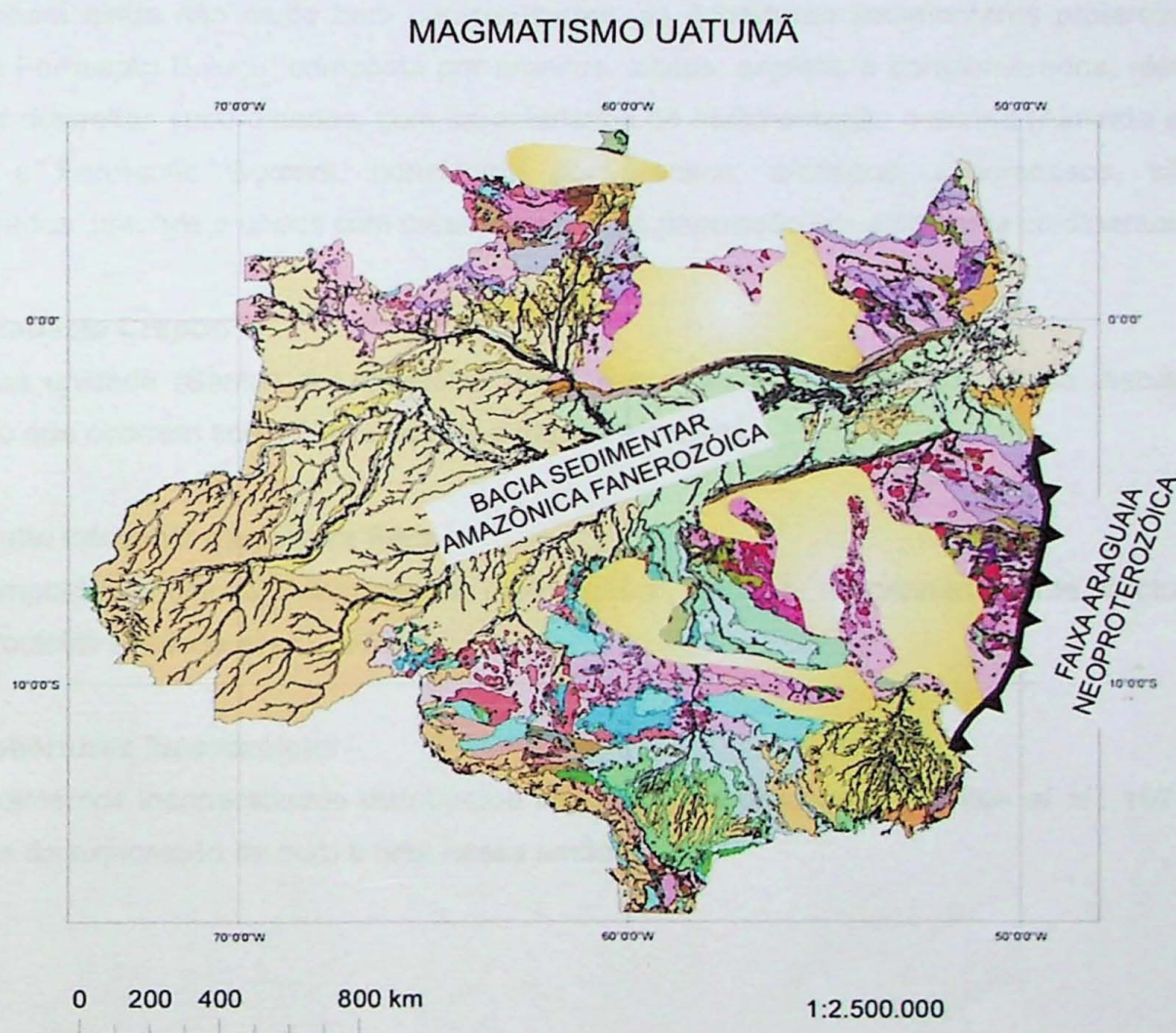


Figura 3. Área de ocorrência das rochas vulcânicas e granitóides associados ao magmatismo Uatumã, em amarelo. Extraído de Juliani *et al.* (2009).

O Grupo Iriri, hospedeiro da mineralizações epitermais, compreende rochas vulcânicas ácidas e piroclásticas com tendências cálcio-alcálinas. Juliani *et al.* (2005) indica a possibilidade da existência de mais de um tipo de vulcanismo associado a esse grupo. É composto pelas seguintes unidades: Formação Bom Jardim (Almeida *et al.*, (2000), formada por andesito, andesito

basáltico, traquiandesito e latito. Juliani *et al.* (2002) descrevem ainda hialoclastito, hornblenda riodacito e corpos de brechas hidrotermais em andesito; Formação Salustiano (Pessoa *et al.*, 1977) composta por riolito, riodacito, dacito, latito, ignimbrito e tufos diversos; Formação Aruri (Pessoa *et al.*, 1977), constituída por rochas piroclásticas, incluindo tufos, ignimbritos e brechas vulcânicas, e epiclástica, com tufitos e arenitos tufáceos.

A Suíte Intrusiva Maloquinha é formada por granito alaskítico, biotita granito, anfibólio granito, granodiorito, granito sódico, riolito e granáfiro. Tais rochas são intrusivas nas rochas vulcânicas do Grupo Iriri, representando o final do evento magmático Uatumã.

f) Coberturas sedimentares proterozóicas

Embora ainda não muito bem caracterizadas, as coberturas sedimentares proterozóicas incluem: a Formação Buiçu, composta por arenitos, siltitos, argilitos e conglomerados, além de calcários e dolomitos subordinados, com característica de sedimentação marinha (Almeida *et al.*, 2000); e a Formação Gorotire, constituída por arenitos, arcóseos, subarcóseos, siltitos, conglomerados, brechas e *cherts* com características de deposição em ambientes continentais.

g) Diabásio Crepori

Essa unidade (Santos & Loguércio, 1984) é composta por diabásio, olivina diabásio e microgabro que ocorrem sob a forma de *sills* e diques extensos.

h) Suíte Intrusiva Cachoeira Seca

Composta por diques e derrames de olivina gabro, diorito e, subordinadamente, troctolito e diabásio troctolito (Pessoa *et al.*, 1977).

i) Coberturas fanerozóicas

Sedimentos inconsolidados distribuídos ao longo das drenagens (Santos *et al.*, 1975). A maior parte da exploração de ouro é feita nessa unidade.

Tabela 1. Principais unidades geológicas da Província Aurífera do Tapajós e suas respectivas idades extraído de Juliani *et al.* (2005).

Unidades geológicas	Litologia	Idade (Ga)	Ambiente tectônico
Cobertura Fanerozoica	Rochas sedimentares clásticas, laterita, aluvião	-	Intracratônico
Suíte Intrusiva Cachoeira Seca	Olivina gabro subalcalino a tholeítico, diorito, troctolito, diabásio	1.192 ±0.012 1.099 ±0.012	Intracratônico
Diabásio Crepori	Augita diabásio tholeítico, olivina diabásio	1.778 ±0.009	Intracratônico
Formação Buiucu	Arenito feldspático, arenito, arcóseo, conglomerado, argilito, siltito, tufo félsicos	-	Bacia tafrogênica
Granito Maloquinha	Biotita-hornblenda-álcali-feldspato granito, sienogranito, monzogranito, riebeckita-arfvedsonita micromonzonito com textura rapakivi, subvulcânicos, subalcalinos a alcalinos	1.877 to 1.864 1.880 ±0.009	Pós-colisional e anorogênico
Formação Moraes Almeida	Riolito alcalino, ignimbritos	1.890 to 1.875	Pós-colisional e anorogênico
<i>Grupo Iriri</i>			
Formação Aruri	Tufos de fluxo de cinza, brecha, arenito tufáceo	-	Tardi- a pós-orogênico
Formação Salustiano	Rochas vulcanoclásticas riolíticas, riolíticas e dacíticas, fayalita-hedenbergita riolito	1.870 ±0.008 1.888 ±0.002	Tardi- a pós-orogênico
Formação Bom Jardim	Andesito, dacito, traquiandesito, latito, com rochas vulcanoclásticas e depósitos de fluxo piroclástico riolíticos e basálticos subordinados	1.893 ±0.005 1.888 ±0.007	Tardi- a pós-orogênico
Granito Rosa de Maio e Batalha	Hornblenda-biotita e biotita granito calci-alcalinos	1.883±0.004 1.879±0.011	Tardi- a pós-arco magmático Parauari (II)
Suíte Intrusiva Ingarana	Olivina gabro subalcalino, augita gabro, norito, anortosito, ferrosilita diabásio	1.879 a 1.873 1.887 ±0.003	Magmatismo básico do arco Parauari

Suíte Intrusiva Parauari	Homblenda-biotita monzogranito porfírtico, granodiorito, sienogranito, tonalito	1.898 a 1.880 1.883 ±0.002	Arco magmático cálcio- alcalino (II)
Formações Abacaxis e Sequeiro	Siltito róseo, arenito, argilito, quartzo wackes	1.900 to 1.895	Bacias de ante- e retro-arco Parauari (II)
Suíte Intrusiva Creporizão	Sieno- e monzogranito porfítico metamorfisado, granodiorito, tonalito	1.974 to 1.957 1.968 ±0.019	Tardi-arco magmático (I)
Formação Vila Riozinho	Andesito basáltico cálcio-alcalino a shoshonítico, traquiandesito basáltico, traquito, riolito	2.000 ±0.004 1.998 ±0.003	Arco magmático cálcio- alcalino (I)
Complexo Cuiú-Cuiú	Gnaiss granodiorítico a tonalítico, migmatito, encraves de anfibolito	2.033 to 2.005	Arco magmático cálcio- alcalino (I)
Grupo Jacareacanga	Filito, xisto, metaturbidito, quartzito, metabasito, BIF (baixo a médio grau metamórfico)	2.125 to 2.098	Bacia de trincheira

6.2 Mineralizações

O refinamento das pesquisas realizadas durante as décadas de 80 e 90 revelaram que as mineralizações auríferas primárias da Província Aurífera do Tapajós poderiam ser de diferentes tipos, incluindo:

a) Filões orogênicos mesotermiais em zonas de cisalhamento, com ouro disseminado em veios de quartzo com pirita e carbonato, encaixados predominantemente em granitóides e rochas metamórficas do Complexo Cuiú-Cuiú (Santos *et al.*, 2001);

b) *Intrusion-Related Gold Systems*, também caracterizado por veios de quartzo e pirita em rochas graníticas potássicas associadas às suítes Creporizão, Parauari e Maloquinha (Santos *et al.*, 2001);

c) Mineralizações epitermais com adularia, associadas a rochas básicas intrusivas no Garimpo do Davi (Dreher *et al.*, 1998);

d) Mineralizações epitermais *high-* e *low-sulfidation* hospedadas em rochas vulcânicas ácidas do Grupo Iriri e do tipo Pórfiro em granitos e granodioritos como o Granito Palito. (Juliani *et al.*, 2002; 2005; Misas, 2010).

7. ALTERAÇÃO HIDROTHERMAL

Alteração hidrotermal é um processo complexo que envolve mudanças mineralógicas, químicas e texturais, resultantes da interação de fluidos aquosos quentes com a rocha, sob determinadas condições físico-químicas (Pirajno, 2009).

Os fluidos hidrotermais podem formar-se a temperaturas entre 50 e 500 °C e conter Na, K, Ca, e Cl, além de Mg, B, S, Sr, CO₂, H₂S, NH₄, Cu, Pb, Zn, Sn, Mo, Ag e Au em menores quantidades. A origem desses fluidos pode ser meteórica, marinha, conata, metamórfica ou magmática, porém é comum que as soluções hidrotermais sejam formadas por água proveniente de mais de uma origem. As razões isotópicas de oxigênio e deutério em minerais hidratados são normalmente utilizadas como indicadoras da origem dos fluidos envolvidos nos processos hidrotermais, bem como da temperatura da solução que precipitou o mineral hidrotermal.

O processo de alteração hidrotermal consiste na lixiviação de parte das rochas percoladas pelos fluidos hidrotermais e posterior precipitação, formando uma nova assembléia mineralógica compatível quimicamente com o fluido.

A alteração hidrotermal pode afetar a rocha em três estilos, segundo Pirajno (2009). No estilo **fissural** ocorrem substituições ou preenchimentos diretamente em veios e/ou fraturas e ao redor deles. Em rochas pouco permeáveis, o controle da alteração é relacionado com zonas de fraturas e microfraturas. Caso a substituição de determinados minerais pela paragênese

hidrotermal se dê além dos veios e/ou fraturas, gerando texturas psudomórficas, o estilo é classificado como **seletivamente pervasivo**. Quando todos os minerais formadores da rocha original, ou a maior parte deles, são substituídos, resultando na obliteração parcial a total das texturas originais, o estilo é definido como **pervasivo**.

As variações dos tipos da alteração hidrotermal são função de processos metassomáticos e reações de troca de base, dependentes da atividade de álcalis e hidrogênio no sistema (Fig. 4). Para Pirajno (2009), essas variações produzem os seguintes tipos de alteração:

- **Metassomatismo alcalino** (sódico e potássico): baseia-se em reações de troca de base de feldspatos, com introdução de sódio ou potássio no sistema, mudança na estrutura do feldspato, albitização acompanhada por muscovitização da biotita, microclinitização e cristalização de micas tri-octaédricas. Em depósitos epitermais, a assembléia característica desse tipo de alteração é albita + feldspato potássico + biotita, geralmente acompanhada por sulfetos, tais como calcopirita, pirita e molibdenita.

- **Alteração propilítica**: é caracterizada pela adição de H_2O , CO_2 e, localmente S. A assembléia mineralógica típica é composta por epidoto + clorita + carbonato + albita + feldspato potássico + pirita. Podem ainda ocorrer óxidos de ferro, sericita, zeólita e montmorilonita em menores quantidades.

- **Alteração sericítica**: é formada pela associação quartzo–sericita–pirita (QSP, onde o P pode representar outros sulfetos) e pode ser acompanhada por feldspato potássico (incluindo adulária, nesse caso, podendo caracterizar a mineralização epitermal *low-sulfidation*), caolinita, biotita, rutilo, anidrita e apatita. Esse tipo de alteração grada, com o aumento da temperatura, para o metassomatismo potássico, resultando no aumento da quantidade de feldspato potássico e/ou biotita, ou para a alteração argílica com incremento da quantidade de argilo-minerais, em temperaturas mais baixas. Tipicamente esse tipo de alteração hidrotermal forma-se quando ocorre mistura de fluidos magmáticos com os meteóricos, relativamente mais oxidados. Quando os fluidos são aproximadamente neutros (pH ~7), ocorre a geração de mineralizações epitermais *low-sulfidation*, tipicamente identificada pela associação adulária–sericita.

- **Alteração argílica**: é caracterizada pela formação de argilo-minerais substituindo principalmente plagioclásio e silicatos máficos (hornblenda, biotita) devido à lixiviação por metassomatismo ácido (H^+). A lixiviação de fases alumino-silicáticas gera um enriquecimento em sílica. A assembléia característica é montmorilonita + illita + clorita + argilas do grupo da caolinita e pouca sericita.

- **Alteração argílica avançada:** esse tipo de alteração é devido a um intenso ataque ácido com lixiviação quase total dos cátions alcalinos e destruição total dos feldspatos e das fases silicáticas máficas, resultando na formação de pirofilita e caolinita. Quando os fluidos são fortemente ácidos, o enxofre em estado mais oxidado forma sulfatos, especialmente alunite e natroalunite, e faz com que a rocha apresente alteração argílica avançada, que caracteriza a mineralização *high-sulfidation*. As zonas dessa alteração hidrotermal são comumente capeada por um corpo de sílica porosa (*vuggy silica*) com hematita.

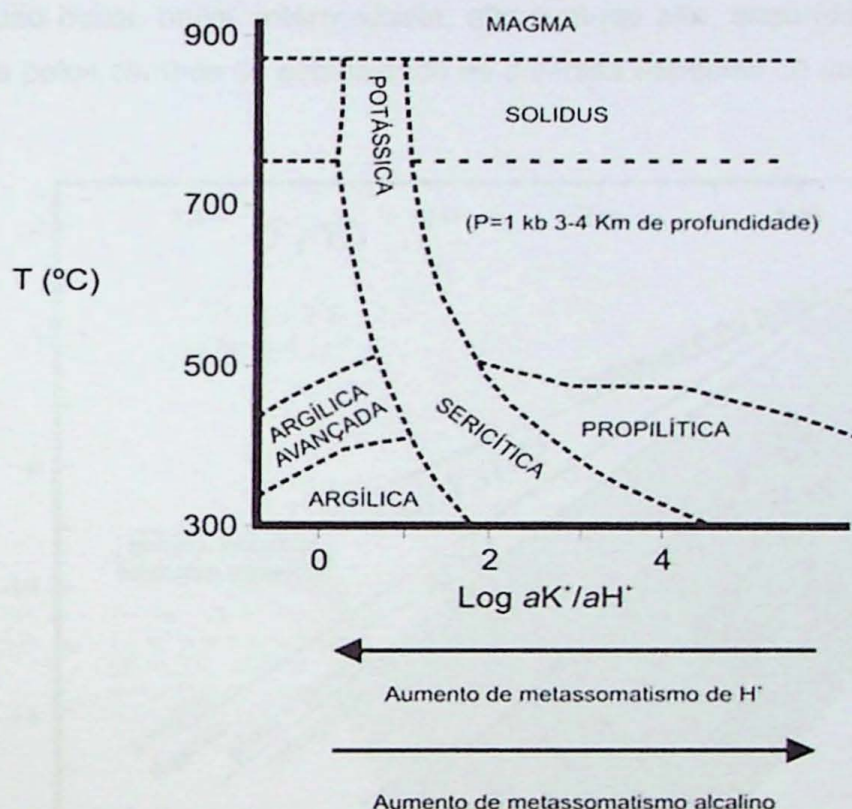


Figura 4. Esquema de evolução da atividade hidrotermal conforme a variação da temperatura e da quantidade de H^+ e K^+ no sistema. À medida que o sistema evolui para temperaturas e pressões mais baixas ocorre um incremento de H^+ e uma gradação da alteração alcalina para argílica (Guilbert & Park, 1985 e Burnham & Ohmoto, 1980 em Pirajno, 2009).

8. SISTEMAS EPITERMAIS

Os sistemas epitermais ocorrem principalmente em ambientes relacionados a arcos vulcânicos em zonas de subducção, em margens de placas em zonas de colisão e, em menor escala, associados à *riffs* de retroarco. O papel da atividade vulcânica é fundamental, principalmente por propiciar a formação das células convectivas hidrotermais. O caráter do magmatismo nesse tipo de sistema é de ácido a intermediário, podendo ocorrer suítes vulcânicas bimodais e, raramente, do tipo básico.

A melhor classificação para os sistemas epitermais, segundo White & Hedenquist (1990), diz respeito ao estado de oxidação do enxofre no fluido mineralizante, e divide-se em *low-sulfidation* (adulária-sericita) e *high-sulfidation* (quartzo-alunita). A Tabela 2 mostra as principais características desses dois tipos de sistema.

Além dessa classificação, recentemente os tipos de depósitos epitermais foram redefinidos, introduzindo o termo *intermediate-sulfidation* (Einaudi *et al.*, 2003; Sillitoe e Hedenquist, 2003). Inicialmente foram considerados como um tipo de *low-sulfidation* por serem estruturalmente muito similares a estes, mas as características geoquímicas do fluidos mineralizantes possuem uma afinidade maior com o *high-sulfidation*. Os limites entre as condições de sulfuração muito baixa, baixa, intermediária, alta e muito alta, segundo Einaudi *et al.* (2003), são determinadas pelos campos de estabilidade de diversas espécies de sulfetos (Fig. 5).

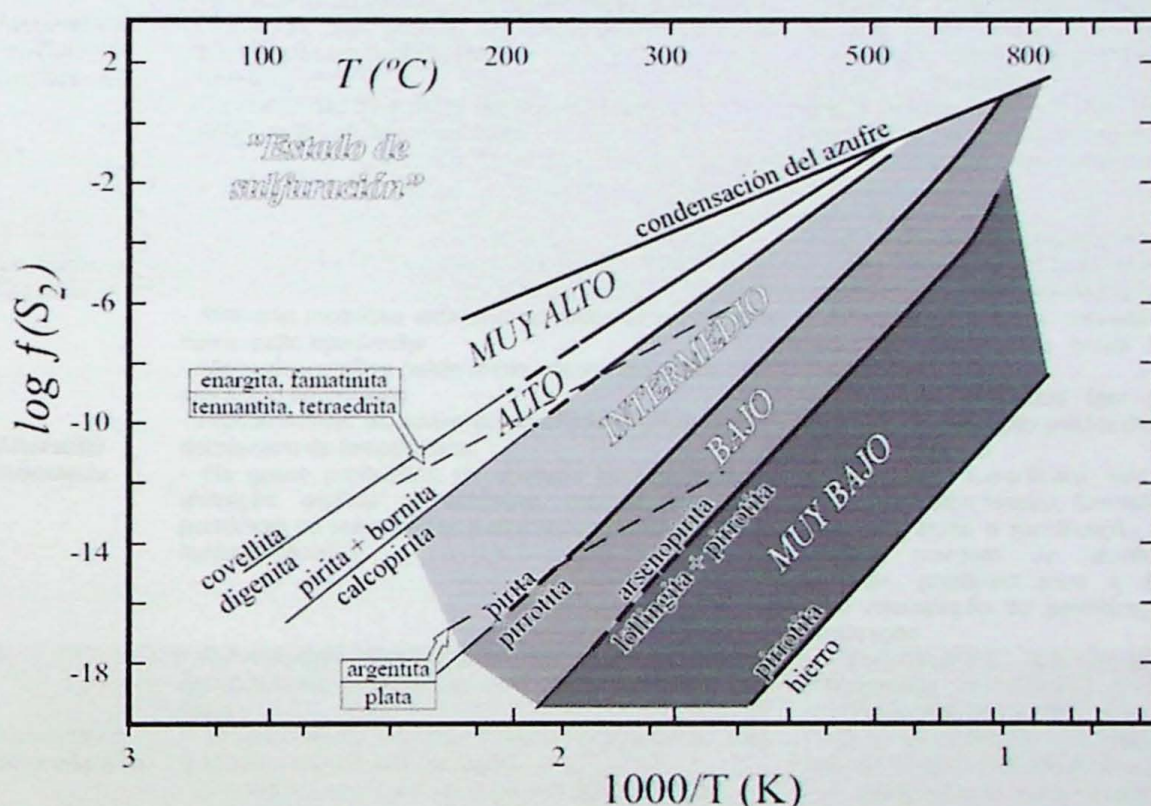


Figura 5. Diagrama de correlação entre temperatura e fugacidade de enxofre para os estados de sulfuração relativos dos fluidos hidrotermais definidos segundo os campos de estabilidade de minerais chave. Extraído de Camprubi & Albinson (2006).

Todas essas mineralizações tipicamente formam-se nos edifícios e domos vulcânicos, na ou muito próximo da superfície. Os fluidos hidrotermais presentes no sistema são originados a partir da consolidação de magmas em profundidades rasas, onde usualmente formam-se os depósitos minerais do tipo pórfiro (Arribas Jr., 1995, Arribas Jr. *et al.*, 1995). Assim, devido à descoberta dos sistemas epitermais na Província Aurífera do Tapajós, Juliani (2001) e Juliani *et al.* (2002; 2005) indicam haver também potencialidade para ocorrência de mineralizações do tipo pórfiro na região.

Tabela 2. Principais características dos sistemas epitermais *low-sulfidation* e *high-sulfidation* segundo White & Hedenquist (1990, em Côrrea-Silva, 2002).

	<i>Low-sulfidation</i>	<i>High-sulfidation</i>
Rochas hospedeiras	Vulcânicas ácidas a intermediárias subaéreas e rochas do embasamento ígneas ou metamórficas	Vulcânicas ácidas a intermediárias subaéreas e rochas ígneas ou metamórficas do embasamento
Controles estruturais	Falhas ou zonas de fratura especialmente relacionadas a centros vulcânicos	Falhas regionais maiores ou intrusões subvulcânicas
Profundidade de formação	Predominantemente 0 – 100 m	Predominantemente 500 – 2000 m
Temperatura de formação	100 a 320 °C, predominando temperaturas entre 150 a 250 °C	100 a 320 °C
Características do fluido mineralizante	- Baixa salinidade - Águas meteóricas com possível interação com fluido magmático - Ph próximo ao neutro podendo tornar-se alcalino por ebulição; as fases gasosas separadas podem oxidar-se para produzir um fluido ácido - Reduzido - Conteúdo total de enxofre tipicamente baixo - Baixo conteúdo de metais base	- Predominantemente baixa salinidade, mas alguns depósitos podem apresentar alta salinidade - Fluidos magmáticos misturados com águas meteóricas - Ph ácido produzido por HCl de origem magmática e por desproporcionamento de SO₂, resultando em neutralização por reações com a encaixante ou por diluição - Oxidado - Conteúdo de S tipicamente alto - Conteúdo de metais base pode ser elevado, principalmente de Cu
Alteração associada	- Alteração propilítica extensiva ao redor de zonas com baixa razão água/rocha - Alteração sericitica (<i>white mica</i>) intensa em zonas com alta razão água/rocha - Predominância de zonas de alteração argílica com o decréscimo da temperatura. - Os gases produzidos na ebulição podem produzir alteração argílica e alteração argílica avançada periféricas ou sobrepostas a alterações provocadas por fluidos profundos	- Alteração propilítica extensiva ao redor de zonas com baixa razão água/rocha - Depósitos profundos tem como minerais de alteração predominantes pirofilita e sericita - Depósitos superficiais tem um núcleo de sílica maciça, formado por lixiviação ácida e mobilização, com estreita margem de alunita e caolinita, gradando para a zonas com intercalação de sericitização e argilização
Características da mineralização	- Mineralização caracterizada pelo preenchimento de espaços aberto e cavidades, com típicos <i>sharp-walled veins</i> - Preenchimento bandado típico, comumente com múltiplos estágios de brechagem - Próximo à superfície podem ocorrer mineralizações em <i>stockwork</i> ou disseminadas dependendo da natureza local da permeabilidade primária e secundária	- Mineralização em veios e disseminada associada à sericita-pirofilita ou à sílica maciça. - O preenchimento de espaços abertos e cavidades não é comum - A mineralização está usualmente associada a alteração argílica avançada e a pirita é tipicamente muito abundante
Características texturais	Bandamento crustiforme, textura em pente, bandamento coloforme, bandamento quartzo-calcédônia, drusas, <i>vugs</i> , veios brechados e pseudomorfos de sílica sobre calcita placóide	- <i>Vug</i> sílica com quartzo recristalizado - Sílica maciça com quartzo de granulação fina - Calcédônia comumente ausente
Mineralogia característica	- Comumente calcédônia em veios - Adulária em veios e disseminada - Alunita e pirofilita subordinadas - Enargita-luzonita ausentes	- Adulária ausente - Alunita e pirofilita podem ser abundantes - Enargita-luzonita tipicamente presentes
Exemplos	Pajingo (Austrália), Emperor (Fiji), Lebong Donok (Indonésia), Wapulu (Papua Nova Guiné), Acupan (Filipinas) e Golden Cross (Nova Zelândia)	Temora (Austrália), Mount Kasi (Fiji), Motombo (Indonésia), Nena (Papua Nova Guiné), Lepanto (Filipinas) e Nansatsu (Japão)

9. DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

Este trabalho consistiu da caracterização mineralógica dos minerais de minério, ganga e rochas encaixantes de uma mineralização epitermal encaixada em rochas vulcânicas e vulcanoclásticas paleoproterozóicas do Grupo Iriri. Sendo assim, base deste trabalho foi a descrição petrográfica de alguns litotipos da região, coletados em etapas de campo anteriores pelo orientador deste trabalho de formatura. Esta etapa foi concluída no primeiro semestre deste ano, sendo que o segundo semestre foram feitos os demais estudos. A Tabela 3 mostra o cronograma realizado.

As análises em Microscopia Eletrônica de Varredura foram feitas em três etapas, duas em julho e uma no final de setembro, mas os dados só puderam ser tratados em outubro pois o *software* que calcula as análises por EDS não estava funcionando nas duas primeiras etapas e foi necessário aguardar o conserto para que todos os dados pudessem ser tratados. Infelizmente esses primeiros dados não puderam ser recuperados, restando apenas os da terceira etapa.

As análises em Microsonda Eletrônica foram feitas no mês de setembro e os dados foram tratados no mês de outubro com a utilização do *software MINPET 2.02*.

As análises de DRX foram feitas no mês de outubro, para análise de minerais de alteração hidrotermal de difícil caracterização em microscópio óptico convencional e para complementar dados obtidos durante o MEV.

Por fim, apesar das dificuldades citadas em relação ao MEV, este trabalho pôde ser desenvolvido sem grandes problemas.

Tabela 3. Cronograma de atividades realizadas.

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov
Pesquisa Bibliográfica											
Descrição Mesoscópica											
Descrição Microscópica											
Preparação de Amostras											
MEV											
Difração de raios X											
Microsonda Eletrônica											
Análise dos resultados											
Estudos comparativos											
Relatório de Progresso											
Monografia											

10. RESULTADOS

10.1 Petrografia

Foram descritas 26 lâminas delgadas e realizadas análises por microscopia eletrônica de varredura em 6 delas, sendo 9 de riolito, 1 de andesito, 6 de tufo e 5 de arenito arcoseano tufáceo. As amostras são provenientes do testemunho de sondagem FV-6 e de afloramentos da área, informalmente nomeada como X4. Abaixo estão descritas as principais características observadas nos litotipos presentes.

a) Riolito porfirítico

Macroscopicamente possui estrutura maciça cortada por veios de quartzo, por vezes com limonita nas bordas e com pirita e calcopirita associadas. Apresenta cor rosa a esbranquiçada nas proximidades dos veios (Fig. 8a) e textura porfirítica, com matriz fanerítica muito fina a afanítica e megacristais de quartzo e feldspato de até 5 mm.

Microscopicamente, a rocha apresenta estrutura maciça e é cortada por veios hidrotermais e fraturas preenchidas por quartzo. Possui textura porfirítica com megacristais de quartzo, feldspato potássico e plagioclásio variando de 0,25 mm a 3 mm em matriz inequigranular fanerítica muito fina composta por quartzo (40 a 60%), feldspato potássico (10 a 15%), plagioclásio (~5%), sericita (30 a 45%), minerais opacos (1 a 4%) e minerais traço, tais como zircão, apatita e monazita. Algumas amostras apresentam ainda clorita em veios.

Quartzo ocorre em mais de três gerações. A primeira, na forma de fenocristais de granulação fina a média, extinção ondulante, euhédricos, com feições de corrosão em golfo (Fig. 8b) e, por vezes, em cristais arredondados com bordas corroídas, durante a ascensão do magma (Fig. 8c). A segunda geração, ainda ígnea, encontra-se na matriz associada com feldspato, com cristais anhedrais de granulação muito fina. Já as gerações seguintes são de origem hidrotermal e ocorrem associadas a silicificação em veios de quartzo de granulação fina e outros de granulação média a grossa preenchendo fraturas, ambos anhedrais a subeuhédricos. Todos apresentam extinção ondulante, indicando terem sido deformados pelas zonas de falhas que cortam a região. Esses veios tem ainda associados sericita e pirita.

Feldspato potássico e plagioclásio ocorre em duas gerações, uma como megacristais quase que completamente substituídos por sericita, gerando textura pseudomórfica, mas por vezes estão um pouco mais preservados (Fig. 8d). No plagioclásio mais preservado foi possível medir o teor de anortita e classificá-lo como oligoclásio. A segunda geração de feldspato ocorre na matriz como cristais anhedrais e muito finos, associados ao quartzo, por vezes com hábito pseudo-ortorrômbico indicando tratar-se de adularia e, em alguns casos, também estão quase completamente substituídos por sericita. Em amostras onde a sericita substitui totalmente megacristais de feldspato, podem-se observar coronas de quartzo envolvendo os pseudomorfos.

Sericita tem origem hidrotermal e ocorre em granulação muito fina, sempre associada ao quartzo e substituindo feldspato, tanto os megacristais quanto os cristais da matriz. Próximo aos veios de quartzo a sericitização é mais intensa.

Minerais opacos anhedrais ocorrem associados aos veios e microfraturas ou dispersos na matriz.

A alteração hidrotermal nessas rochas é principalmente do tipo fissural, passando para pervasiva e possui assembléia mineralógica de alteração sericítica com quartzo + sericita + pirita.

A sequência de cristalização dos minerais está apresentada na figura 6.

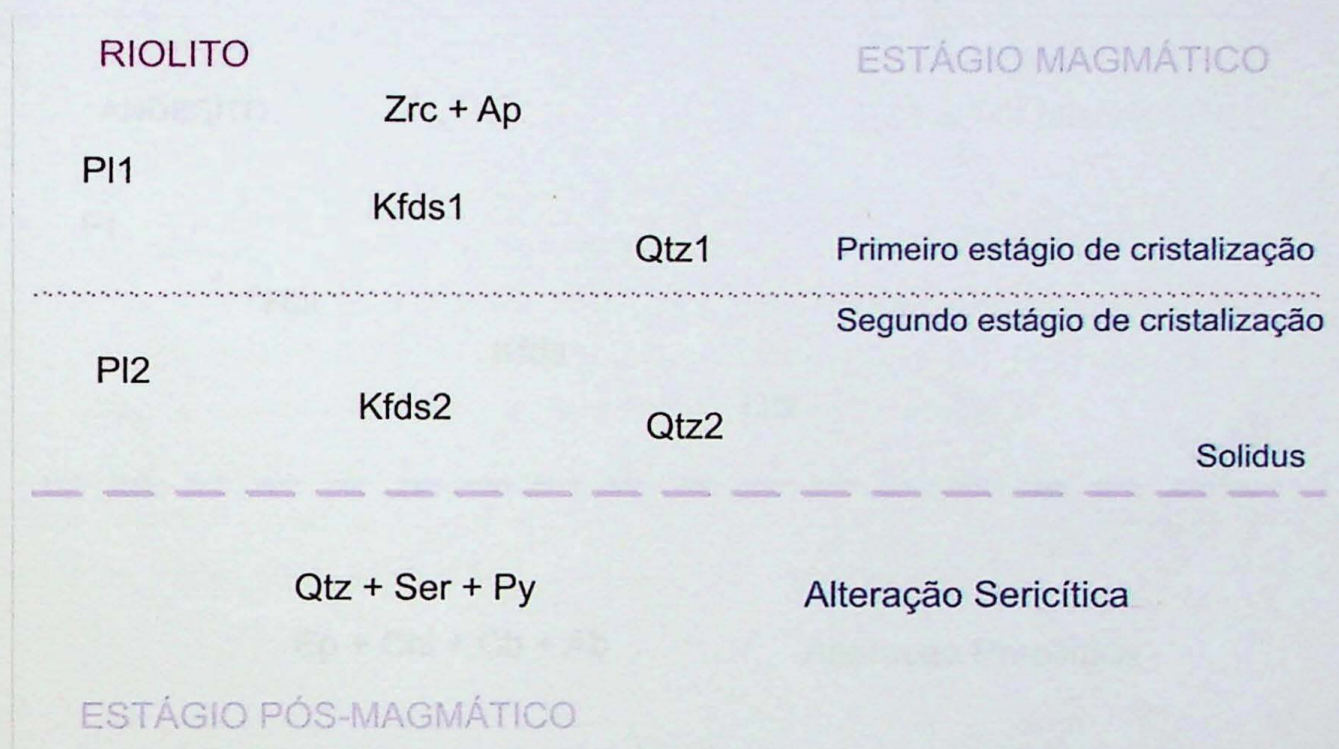


Figura 6. Sequência de cristalização dos minerais do estágio magmático e pós-magmático (alteração hidrotermal) em riolito.

b) Andesito

Foi descrita uma amostra de andesito que apresenta cor verde-escuro, estrutura maciça, textura holocristalina ofítica (Fig. 9a), inequigranular, fanerítica fina a média. A mineralogia é dada por plagioclásio (56%), hornblenda (20%), clorita (7%), quartzo (5%), feldspato potássico (5%), pirita (4%), leucoxênio (3%), e minerais secundários subordinados, principalmente carbonatos e epídoto.

O plagioclásio ocorre como cristais ripiformes com geminações polissintética e Carlsbad combinadas. O teor de anortita medido classifica-os como andesina-labradorita e alguns cristais apresentam borda de albíta. Plagioclásio também ocorre na matriz como cristais menores variando de anhedrais a euhédricos.

A hornblenda tem cor castanho-esverdeado e ocorre com formas aciculares subeuhedral, freqüentemente intersticial à rede de plagioclásio.

Quartzo e feldspato potássico se apresentam com formas anhedrais e granulação mais fina, distribuídos entre os cristais de plagioclásio e hornblenda.

Pirita apresenta forma euhedral e ocorre sempre associada à leucoxênio.

Clorita preenche vesículas juntamente com carbonato e quartzo.

A alteração hidrotermal nessa unidade é propilítica, em estilo fissural a, principalmente, pervasivo. É representada pela assembléia clorita + carbonato + epídoto + pirita + leucoxênio + albita + feldspato potássico.

A seqüência de cristalização dos minerais é apresentada na Figura 7.

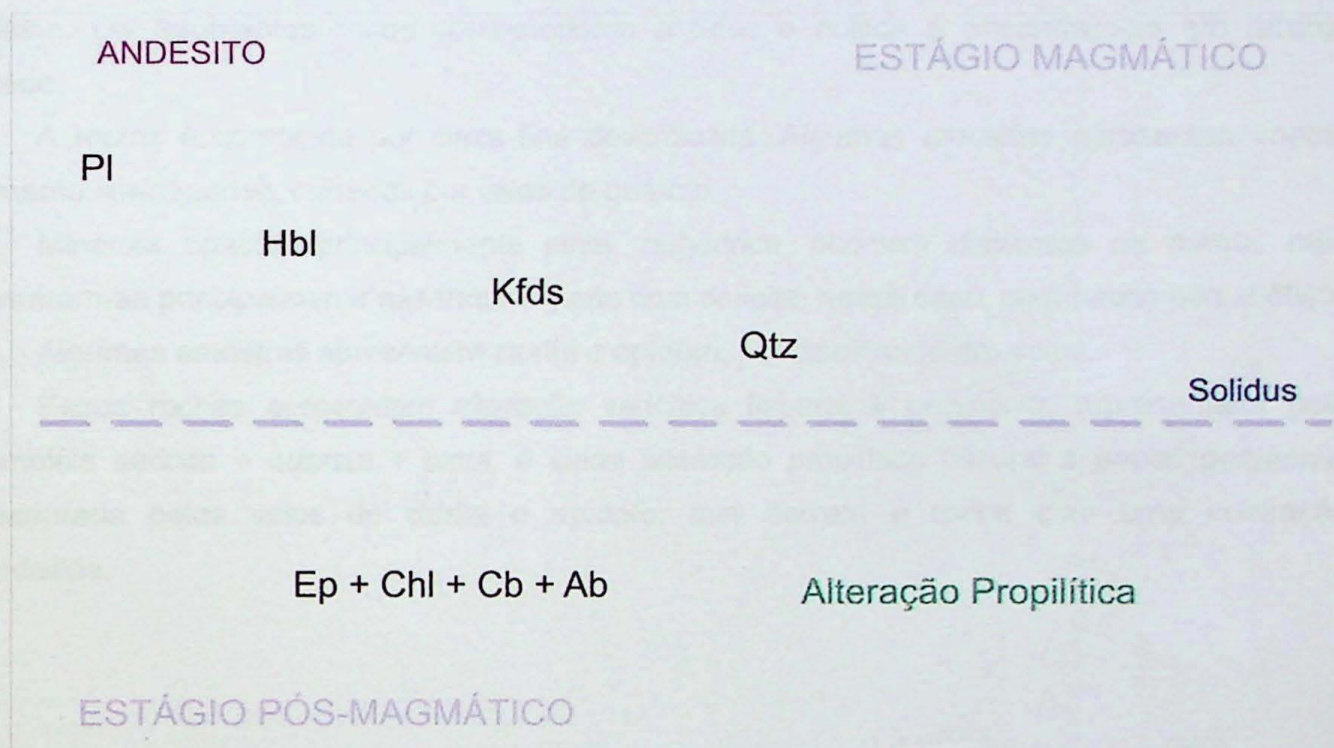


Figura 7. Seqüência de cristalização dos minerais do estágio magmático e pós-magmático (alteração hidrotermal) em andesito.

c) Tufos

Os tufos (Fig. 9b) apresentam cor cinza a creme, estrutura predominantemente maciça, mas às vezes preservando um acamamento plano-paralelo, textura hipocristalina, inequigranular. É composto por matriz (90%) com granulação fina devitrificada e clastos (10%) de 0,1 mm bastante fragmentados, angulosos a subangulosos, principalmente de quartzo, além de feldspato potássico, plagioclásio, sericita e opacos oxidados.

Ocorrem também veios milimétricos de quartzo de granulação muito fina cortados por veios de caolinita (Fig. 9c).

Essas rochas apresentam alteração sericítica com sericita substituindo a matriz da rocha no estilo pervasivo. Apresenta também alteração argílica fissural, indicada pelos veios de caolinita.

d) Arenito arcoseano com contribuição vulcânica

As amostras dessa unidade apresentam cor variando de creme-acinzentado a rosa, estrutura maciça, por vezes com estratificação sedimentar plano-paralela, textura clasto sustentada e possui baixa maturidade textural e mineralógica. O arcabouço é composto por quartzo (35 a 45%), feldspato potássico (20 a 30%), plagioclásio (15 a 20%), fragmentos líticos (5 a 10%), opacos (3%) e zircão e rutilo como minerais acessórios.

Quartzo ocorre como grãos angulosos a subarredondados, assim como feldspato potássico e plagioclásio, cujo teor de anortita é indicativo de composição de oligoclásio a andesina. Os fragmentos líticos correspondem a tufos e riolitos e encontram-se em arranjo aleatório.

A matriz é composta por cinza fina devitrificada. Algumas amostras apresentam matriz totalmente sericitizadas, cortadas por veios de quartzo.

Minerais opacos, principalmente pirita, euhédrica, ocorrem dispersos na matriz, mas concentram-se principalmente nas fraturas junto com sericita, nesse caso, com hábito esquelético.

Algumas amostras apresentam clorita e epídoto, principalmente em veios.

Essas rochas apresentam alteração sericítica fissural a pervasiva, representada pela assembléia sericita + quartzo + pirita, e ainda alteração propilítica fissural a pouco pervasiva, representada pelos veios de clorita e epídoto, que deixam a rocha com uma coloração esverdeada.

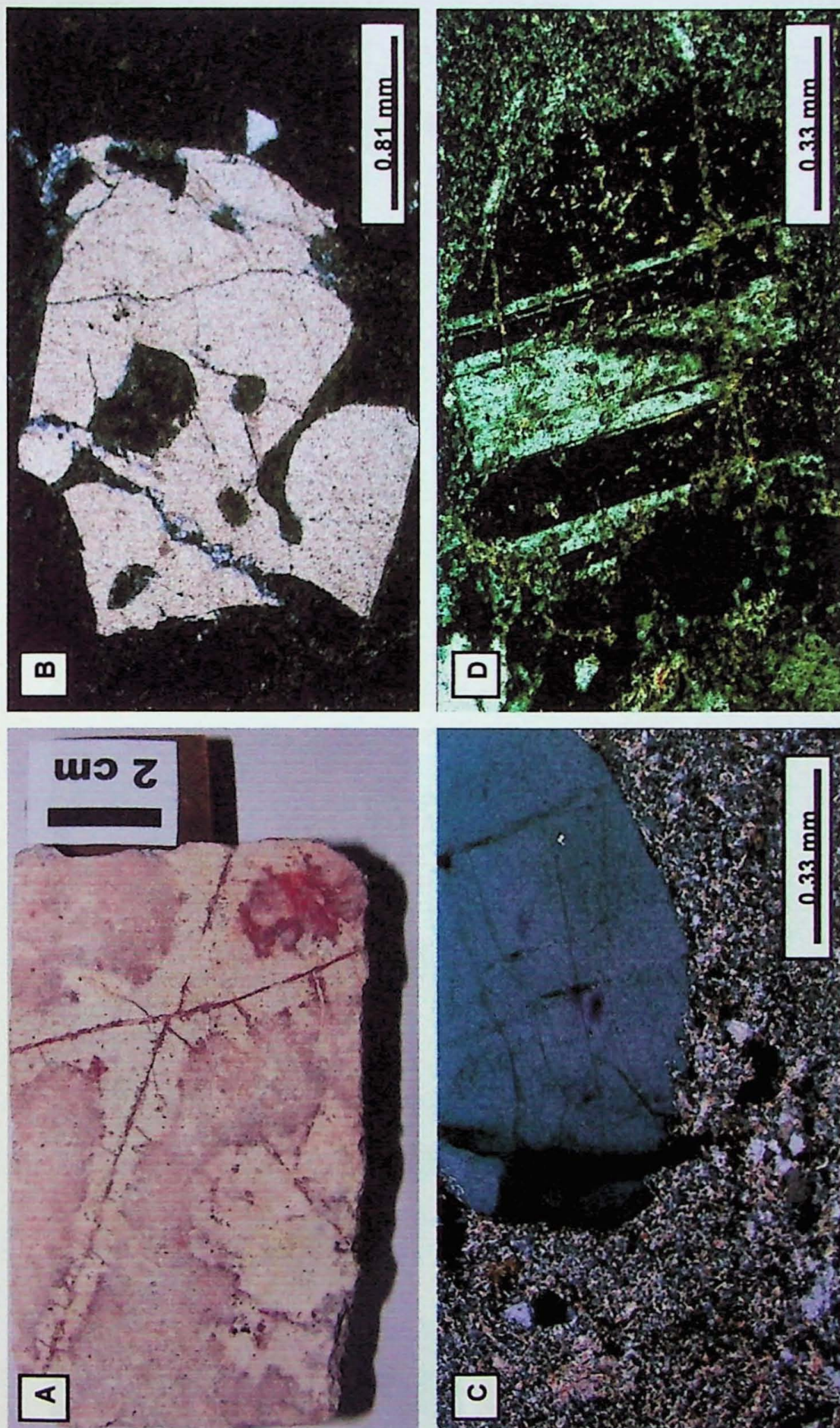


Figura 1. (A) Riolito porfírico cortado por veios hidrotermais onde se observa alteração sericitica fissural mudando a coloração da rocha. (B) Megacristal de quartzo com feição de corrosão em golfo, em riolitos porfíricos. Fotomicrografia com polarizadores cruzados. (C) Megacristal de quartzo arredondado e com borda corroída. Fotomicrografia com polarizadores cruzados. (D) Megacristal preservado representando a primeira geração de plagioclásio parcialmente sericitizado em riolitos porfíricos. Fotomicrografia com polarizadores cruzados.

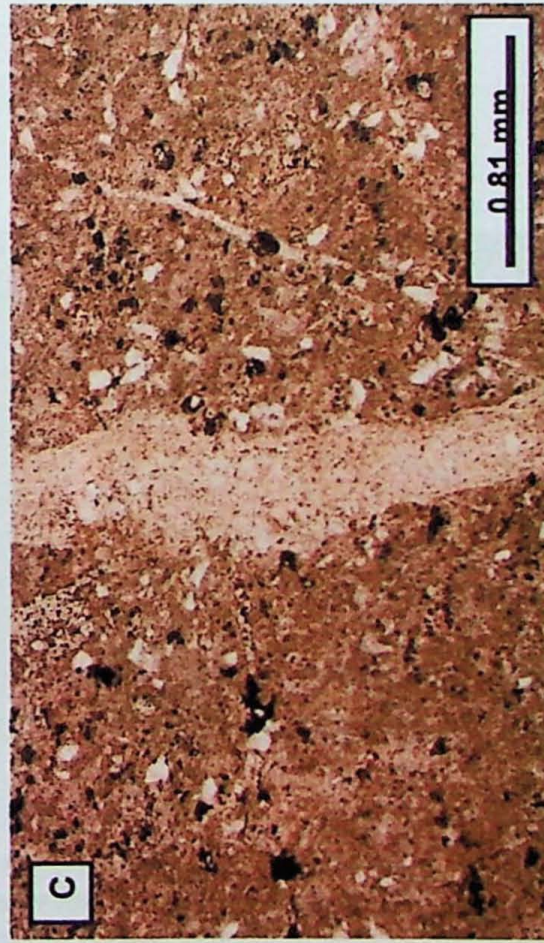
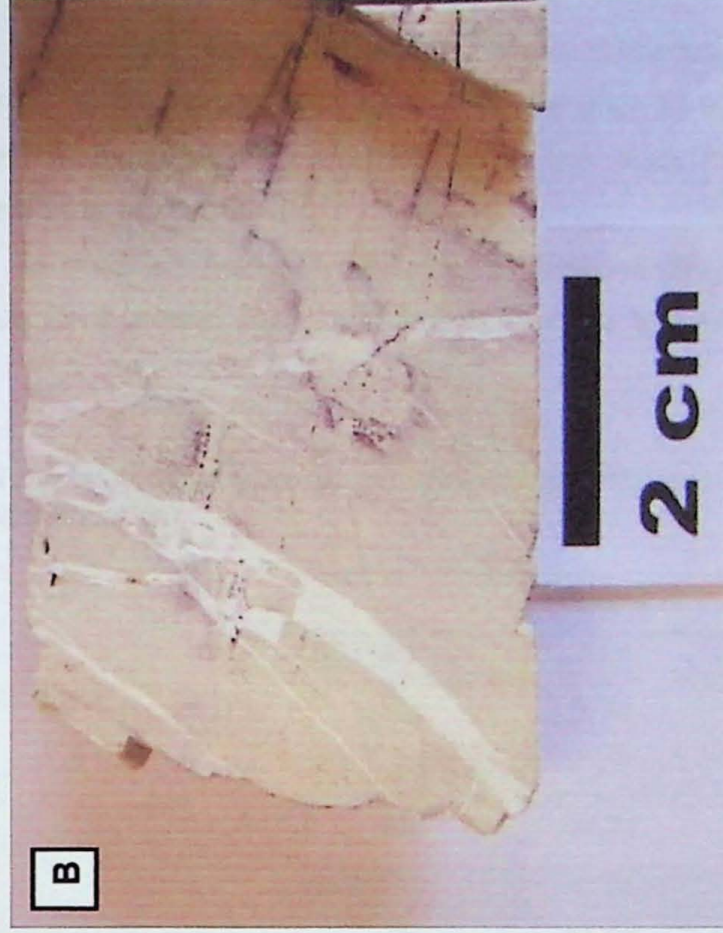


Figura 2. (A) Aspecto petrográfico do andesito com textura com polarizadores paralelos. (B) Alteração argílica fissural em tufos representada por veios de caolinita. (C) Aspecto petrográfico do tufo cortado por veio de caolinita, indicando alteração argílica fissural. Fotomicrografia com polarizadores paralelos.

10.2 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e Difração de Raios X (DRX)

Na unidade dos riolitos, os minerais identificados através de MEV foram pirita, calcopirita e ferro-molibdenita com urânio como impureza (Fig. 10 e 11). Além disso, ocorre incluso na pirita, chumbo nativo e um outro mineral de Mo e Bi não identificado, com as características apresentadas na Tabela 4.

As análises em DRX indicaram a presença de quartzo, feldspato potássico, albita, illita e óxido de ferro (anexo 1A). Em amostras de veios foi verificada ainda a presença de calcita (Anexo 1B).

Tabela 4. Dados semi-quantitativos de EDS calculados a partir de MEV de mineral não identificado.

	Element %	Atomic %
Fe	9,24	17,07
Cu	3,73	6,06
Sr	1,49	1,76
Mo	52,81	56,81
Ag	4,89	4,68
Bi	25,23	12,46
Th	2,61	1,16
Total	100,00	100,00

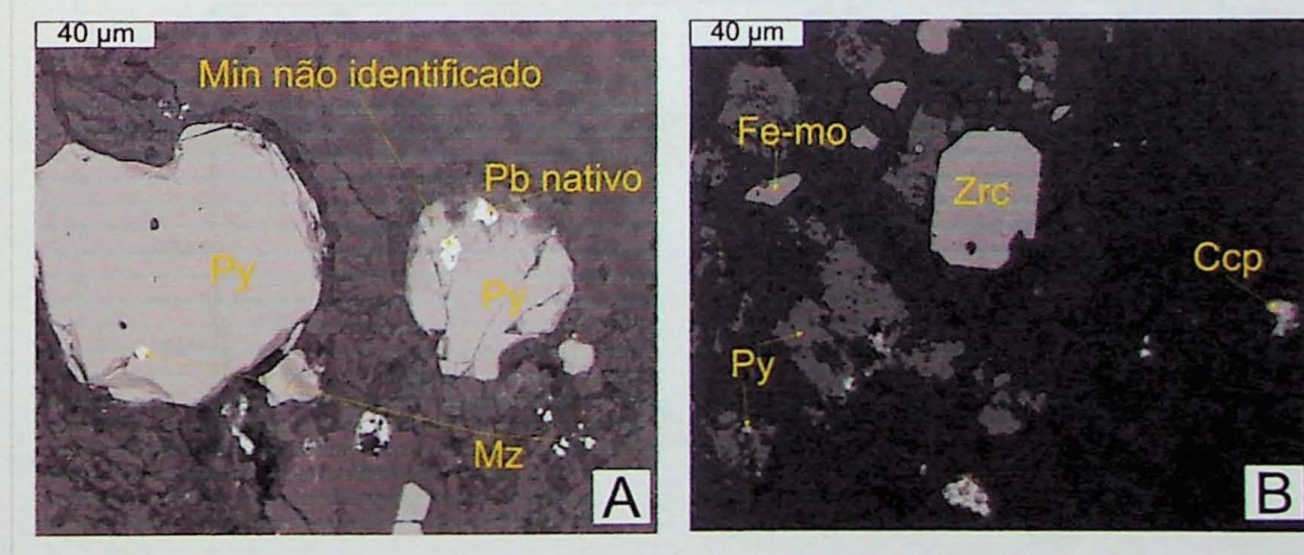
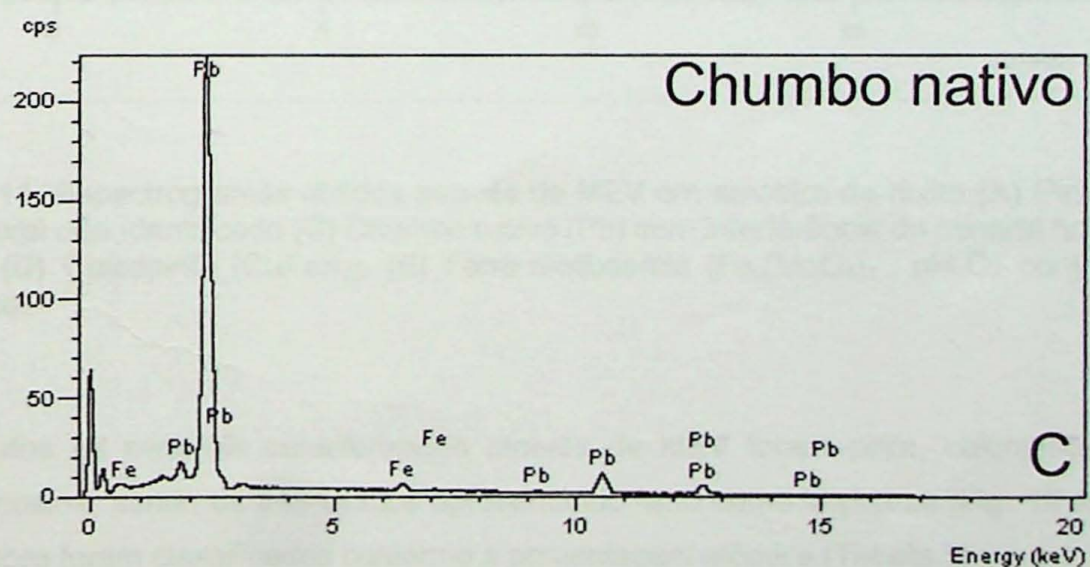
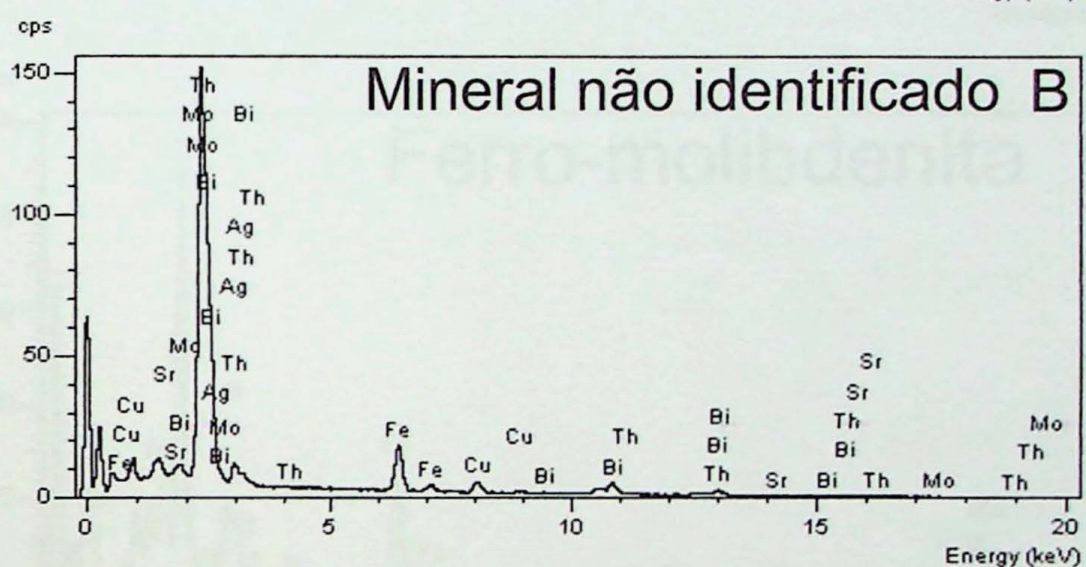
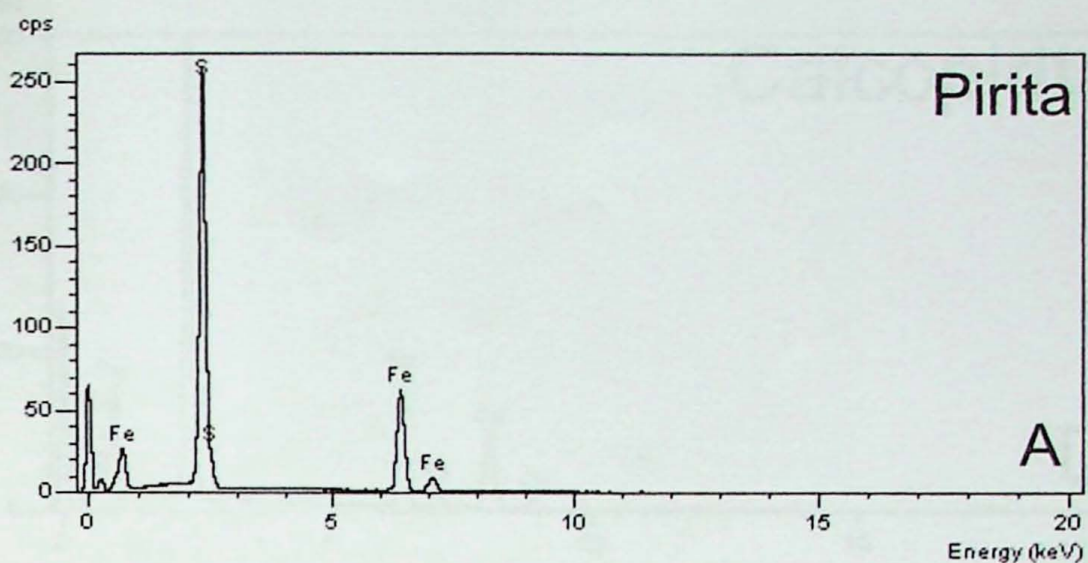


Figura 10. Imagens de elétrons retro-espalhados com: (A) Pirita (Py) com inclusão de monazita (Mz), chumbo nativo (Pb) e mineral não identificado. (B) Pirita (Py), ferro-molibdenita (Fe-mo), zircão (Zrc) e calcopirita (Ccp).



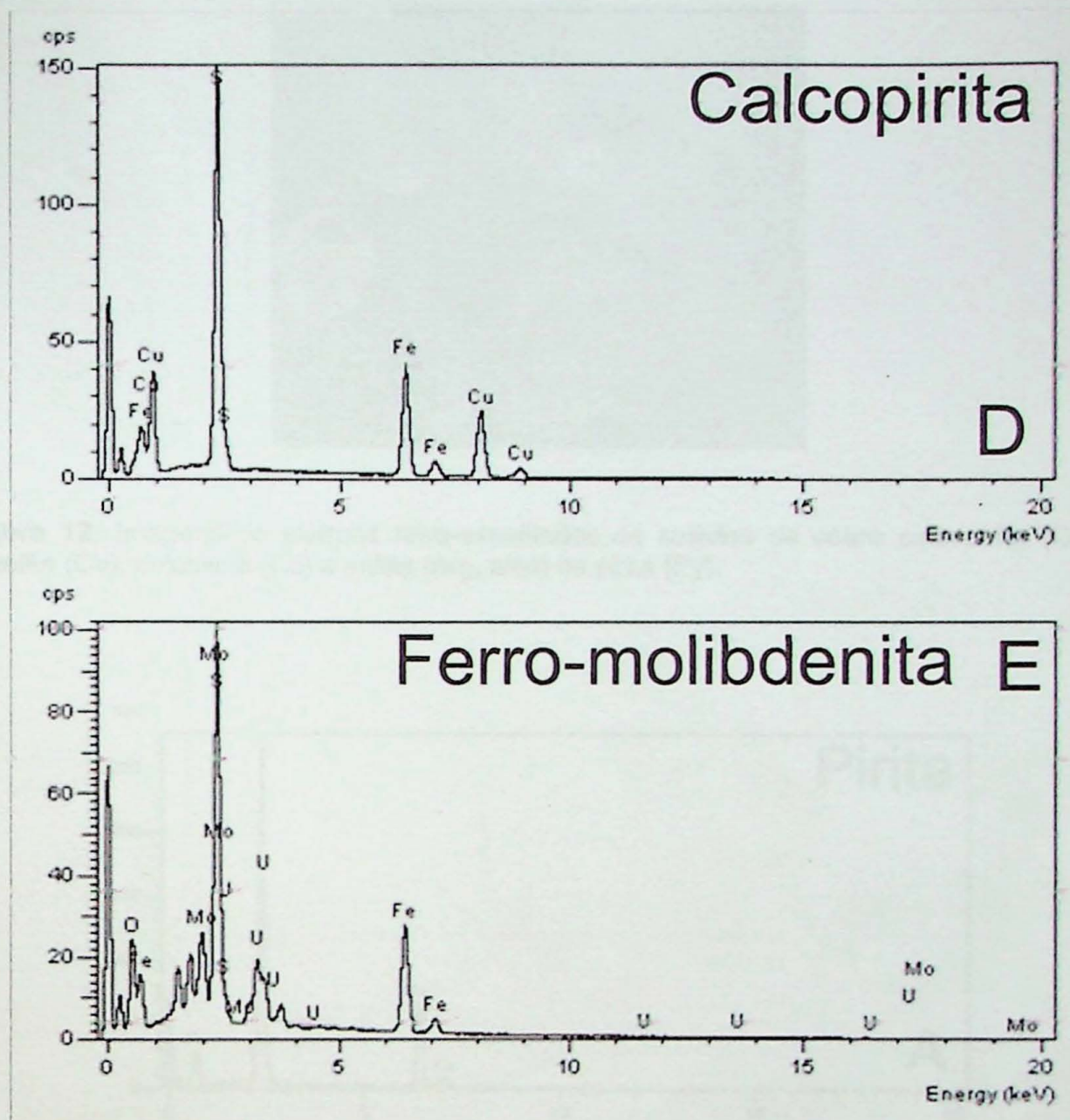


Figura 11. Espectrogramas obtidos através de MEV em amostra de riolito **(A)** Pirita (FeS_2) **(B)** Mineral não identificado **(C)** Chumbo nativo (Pb) com interferência do mineral hospedeiro (pirita). **(D)** Calcopirita (CuFeS_2). **(E)** Ferro-molibdenita ($\text{Fe}_2[\text{MoO}_4]_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) com U como impureza.

Nos tufos os minerais caracterizados através de MEV foram pirita, calcopirita, anilita, coquelita e calcosina, sendo os três últimos apresentando ferro como impureza (Fig. 12 e 13). Os sulfetos de cobre foram classificados conforme a porcentagem atômica (Tabela 5).

As análises em DRX de amostras dos veios de alteração hidrotermal ou próximo deles indicaram a presença de quartzo, feldspato potássico, plagioclásio, pirita, illita e caolinita (Anexo 1C).

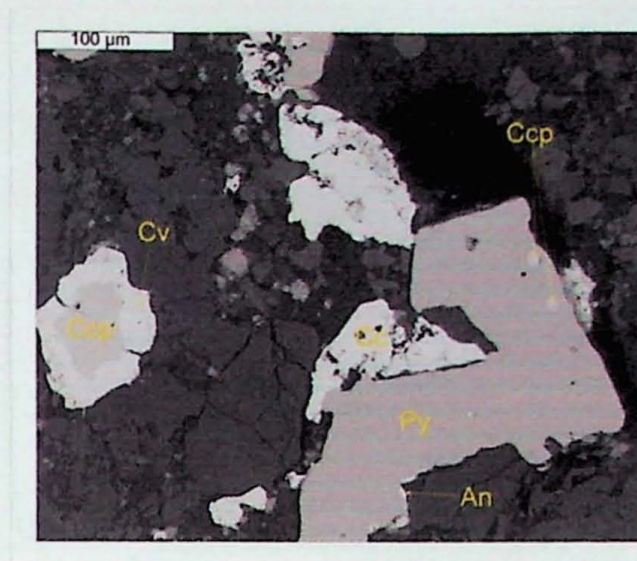
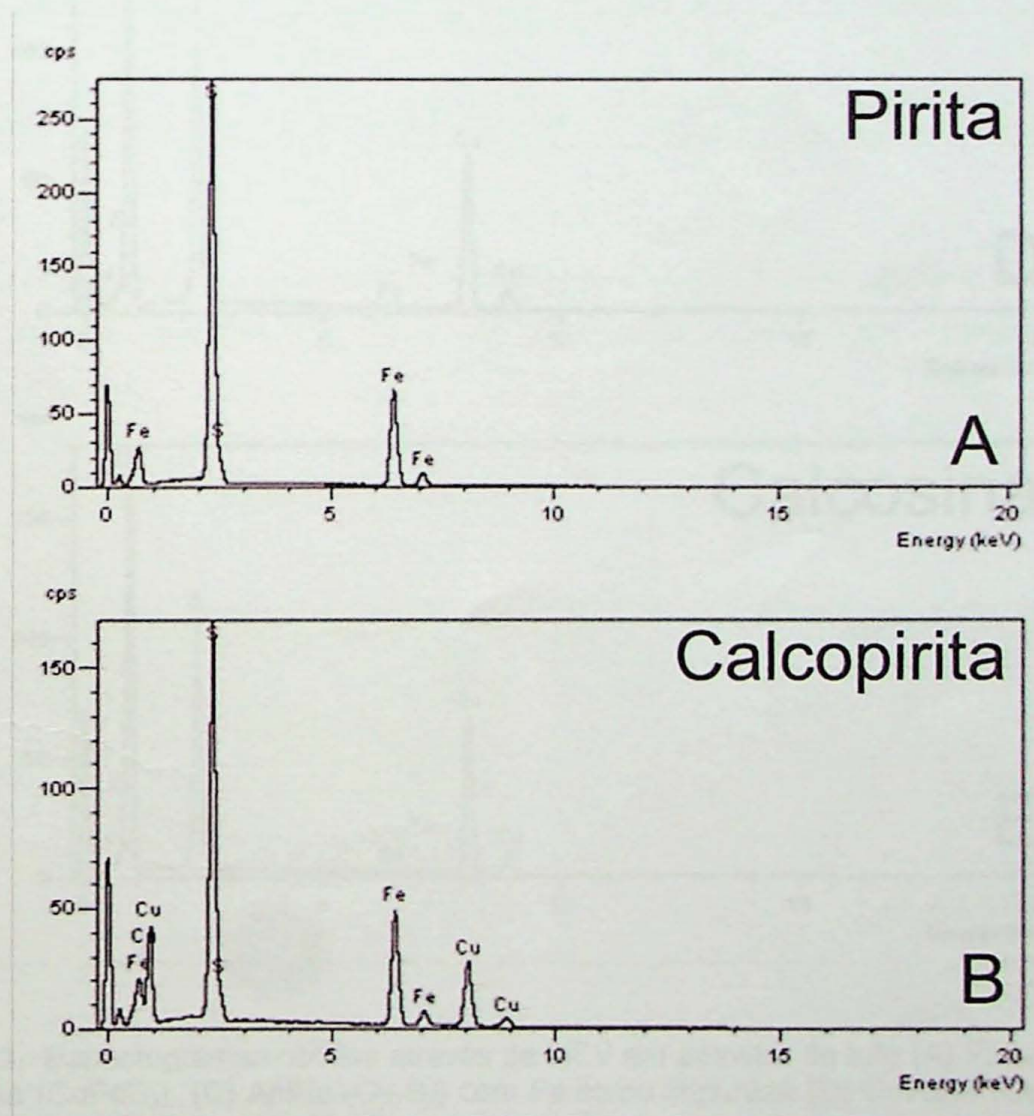


Figura 12. Imagens de elétrons retro-espalhados de sulfetos de cobre calcopirita (Ccp), covellita (Cv), calcosina (Cc) e anilita (An), além de pirita (Py).



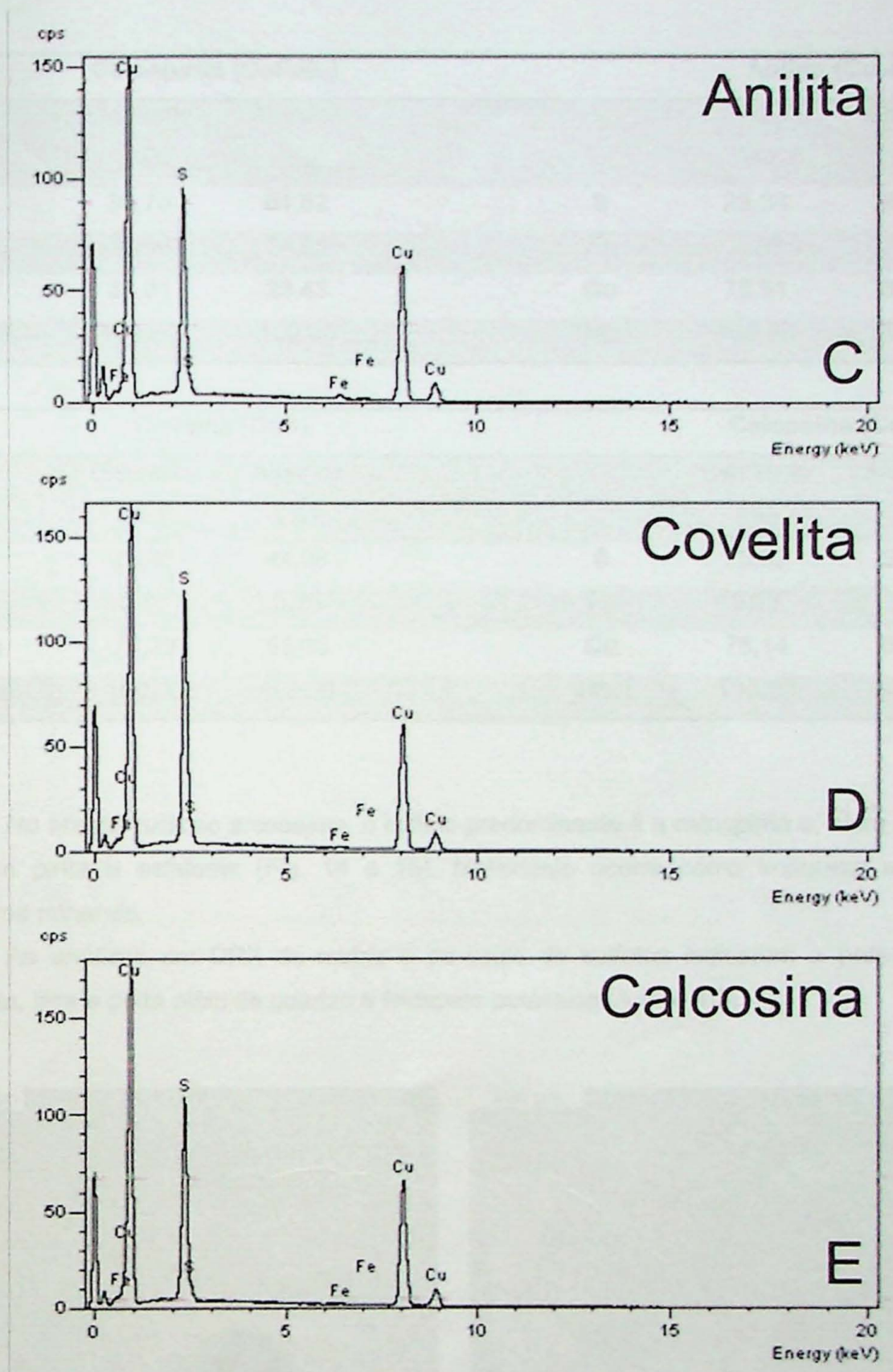


Figura 13. Espectogramas obtidos através de MEV em amostra de tufo (A) Pirita (FeS_2) (B) Calcopirita (CuFeS_2) (C) Anilita (Cu_7S_4) com Fe como impureza (D) Covelita (CuS) com Fe como impureza (E) Calcosina (Cu_2S) com Fe como impureza.

Tabela 5. Porcentagem atômica dos elementos dos diferentes sulfetos de cobre.

Calcopirita (CuFeS_2)			Anilita (Cu_7S_4)		
	Elemento (%)	Atômica (%)		Elemento (%)	Atômica (%)
S	36,70	51,62	S	23,34	37,58
Fe	30,90	24,95	Fe	1,15	1,07
Cu	33,01	23,43	Cu	75,51	61,35
Total	100,60	100,00	Total	100,00	100,00

Covelita (CuS)			Calcosina (Cu_2S)		
	Elemento (%)	Atômica (%)		Elemento (%)	Atômica (%)
S	28,47	44,08	S	25,02	39,66
Fe	0,30	0,26	Fe	0,26	0,24
Cu	71,23	55,65	Cu	75,14	60,10
Total	100,00	100,00	Total	100,00	100,00

No arenito tufáceo arcoseano, o sulfeto predominante é a calcopirita e, além dela, há também pirita e esfalerita (Fig. 14 e 15). Molibdênio ocorre como impureza nos dois primeiros minerais.

As análises em DRX da matriz e de veios de sulfetos indicaram a presença de caolinita, illita e pirita além de quartzo e feldspato potássico (Anexo 1D).

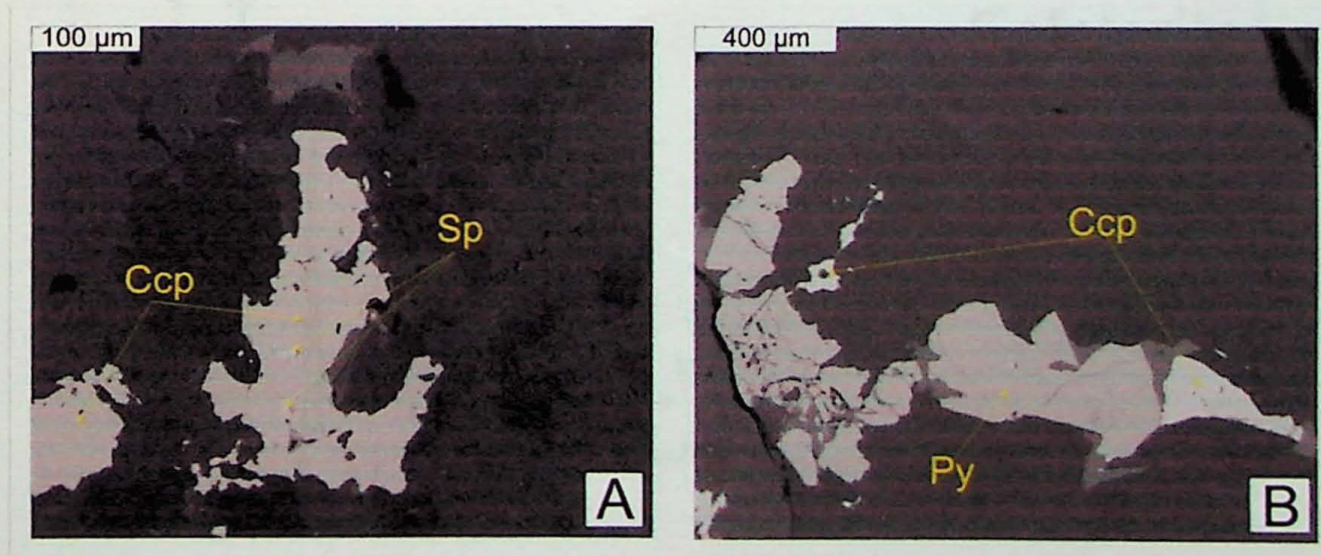


Figura 14. Imagens de elétrons retro-espalhados com: (A) Cristais de calcopirita (Ccp) com inclusão de esfalerita (Sp). (B) Cristais de calcopirita (Ccp) associados a cristais de pirita (Py).

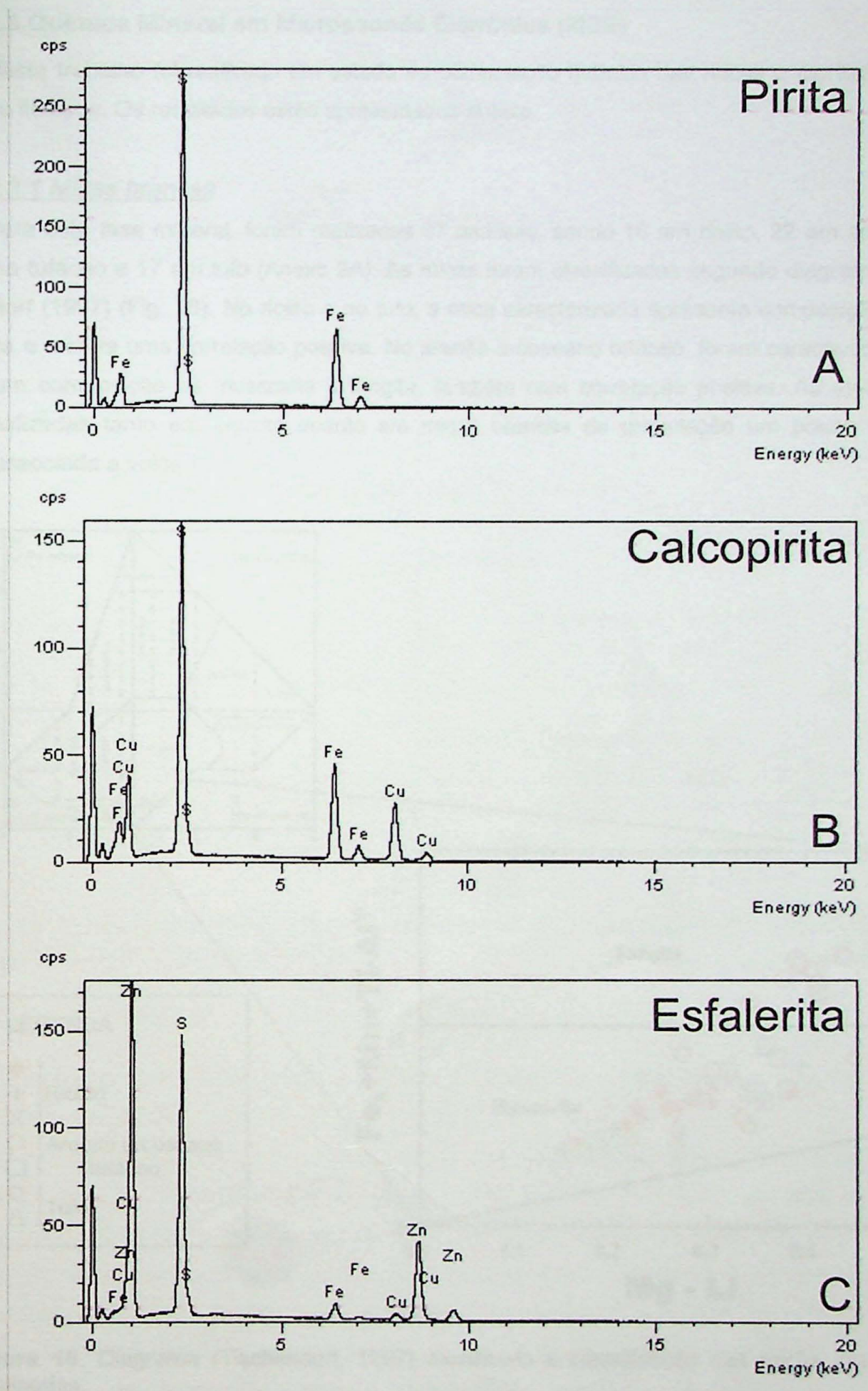


Figura 15. Espectogramas obtidos através de MEV em amostra de arenito arcoseano tufáceo **(A)** Pirita (FeS_2) **(B)** Calcopirita (CuFeS_2) **(C)** Esfalerita (ZnS) com interferência do mineral hospedeiro (calcopirita).

10.3 Química Mineral em Microsonda Eletrônica (MSE)

Neste trabalho foi realizado um estudo da composição química das micas e cloritas dos diferentes litotipos. Os resultados estão apresentados abaixo.

10.3.1 Micas brancas

Para esta fase mineral, foram realizadas 57 análises, sendo 18 em riolito, 22 em arenito arcoseano tufáceo e 17 em tufo (Anexo 2A). As micas foram classificadas segundo diagrama de Tischendorf (1997) (Fig. 16). No riolito e no tufo, a mica caracterizada apresenta composição de muscovita e mostra uma correlação positiva. No arenito arcoseano tufáceo, foram caracterizadas micas com composição de muscovita e fengita, também com correlação positiva. As análises foram realizadas tanto em sericita quanto em micas brancas de granulação um pouco mais grossa, associada a veios.

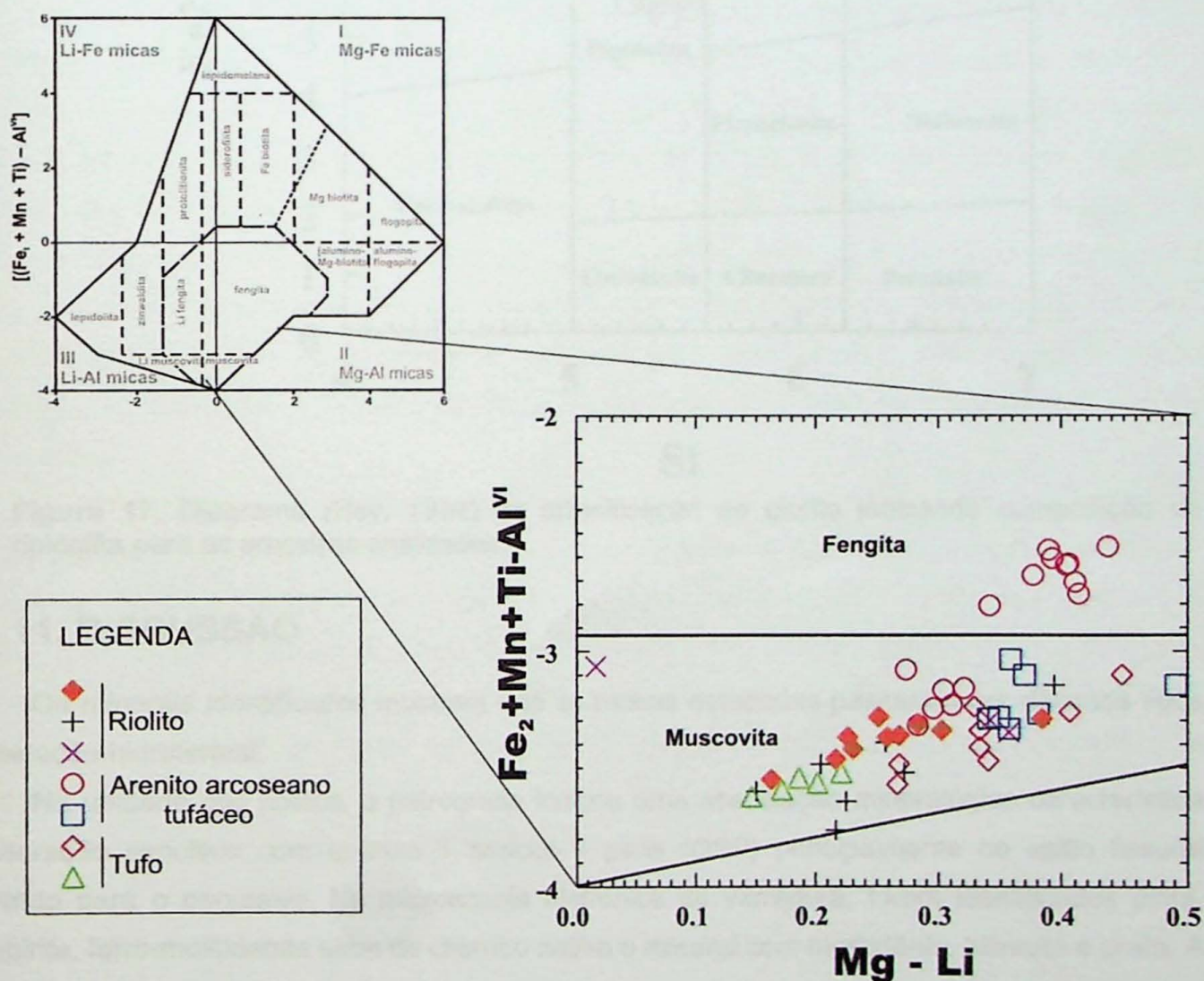


Figura 16. Diagrama (Tischendorf, 1997) mostrando a classificação das micas brancas analisadas.

10.3.2 Clorita

Para caracterização dessa fase mineral hidrotermal foram feitas 15 análises, todas de minerais de veios em arenito tufáceo arcoseano (Anexo 2B). A clorita foi classificada como ripidolita segundo o diagrama de Hey (1954) (Fig. 17).

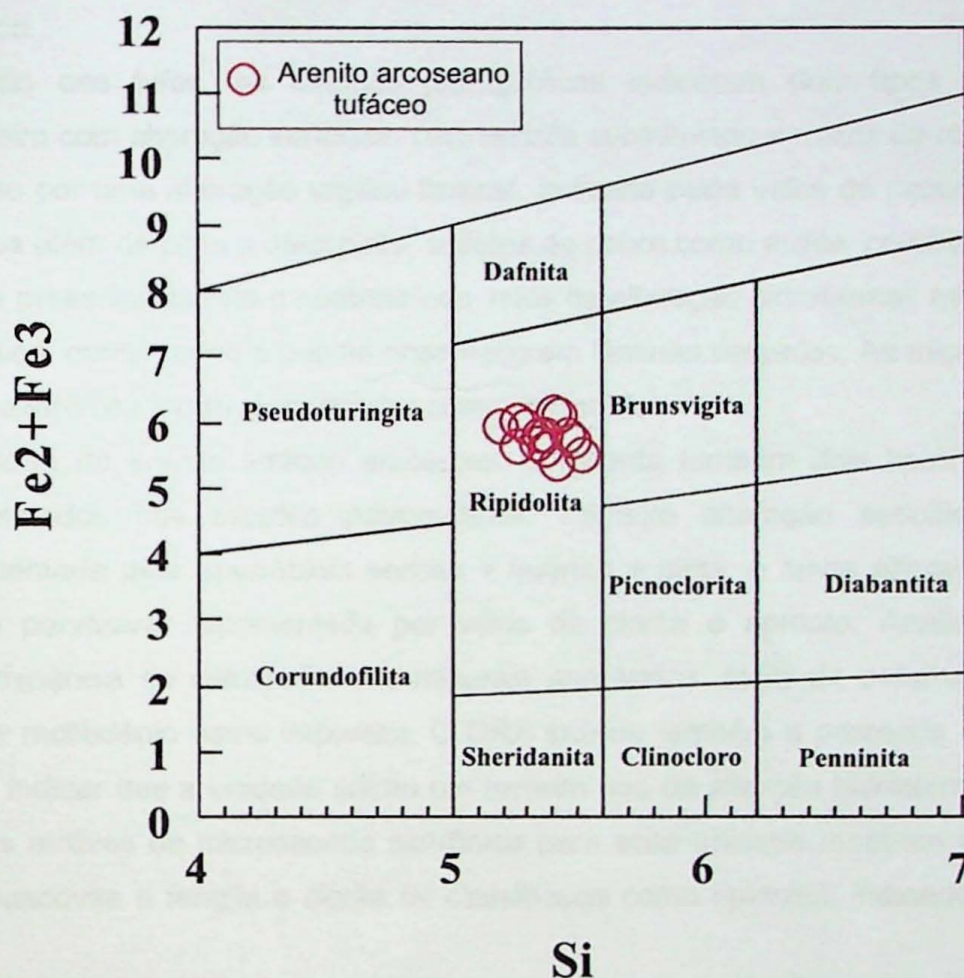


Figura 17. Diagrama (Hey, 1954) de classificação de clorita indicando composição de ripidolita para as amostras analisadas.

11. DISCUSSÃO

Os minerais identificados mostram que as rochas estudadas passaram por diversos tipos de alteração hidrotermal.

Na unidade dos riolitos, a petrografia indicou uma associação mineralógica característica de alteração sericítica com quartzo + sericita + pirita (QSP) principalmente no estilo fissural gradando para o pervasivo. Na microscopia eletrônica de varredura, foram identificados pirita, calcopirita, ferro-molibdenita além de chumbo nativo e mineral com molibdênio, bismuto e prata. A presença desses elementos é comum em depósitos desse tipo, apesar do bismuto normalmente ocorrer em depósitos *high-sulfidation*. A sericita foi caracterizada por microsonda eletrônica e classificada como muscovita. Os dados de DRX mostram a presença de feldspato potássico. Algumas das amostras recolhidas para análise foram de veios ou da borda de veios de alteração

sericitica e formas pseudo-ortorrómbicas, o que leva a conclusão que o feldspato encontrado é de baixa temperatura, podendo ser adularia.

Nos andesitos foram feitos apenas estudos petrográficos, tendo sido possível caracterizar que a alteração hidrotermal é propilítica, com estilo fissural a principalmente pervasivo, representada pela assembléia clorita + carbonato + epidoto + pirita + leucóxênio + albíta + feldspato potássico.

Em relação aos tufos, os estudos petrográficos indicaram dois tipos de alteração hidrotermal, primeiro com alteração sericitica, com sericita substituindo a matriz da rocha em estilo pervasivo, seguido por uma alteração argílica fissural, indicada pelos veios de caolinita. No MEV, foram identificados além de pirita e calcopirita, sulfetos de cobre como anilita, covelita e calcosina. Já o DRX indicou presença de illita e caolinita nos veios de alteração hidrotermal, minerais típicos de alteração argílica, confirmando o que foi observado em lâminas delgadas. As micas analisadas em microsonda eletrônica foram classificadas como muscovita.

Já a unidade do arenito tufáceo arcoseano apresenta também dois tipos de alteração hidrotermal observados nos estudos petrográficos. Primeiro alteração sericitica fissural a pervasiva, representada pela assembléia sericita + quartzo + pirita, e ainda alteração propilítica fissural a pouco pervasiva, representada por veios de clorita e epidoto. Análises em MEV indicaram predominância de calcopirita nos minerais analisados, além de pirita e esfalerita. É comum encontrar molibdênio como impureza. O DRX indicou também a presença de caolinita e illita, o que pode indicar que a unidade sofreu um terceiro tipo de alteração hidrotermal, a argílica. Os dados obtidos através de microsonda eletrônica para essa unidade mostram que as micas presentes são muscovita e fengita e clorita foi classificada como ripidolita, indicadora de baixas temperaturas.

A mineralogia de alteração hidrotermal, incluindo os sulfetos da mineralização paleoproterozoica estudada é condizente com a dos depósitos epitermais recentes do mundo, como os sintetizados por Camprubí & Albison (2006) no México e White & Hedenquist (1995) no mundo. Os principais minerais de alteração encontrados foram quartzo, sericita e pirita, típicos de alteração sericitica; clorita, carbonato, epidoto, pirita, leucóxênio, albíta e feldspato potássico, representando alteração propilítica típica e ainda caolinita e illita, representando alteração argílica.

Uma característica da mineralização estudada que chama a atenção é a quantidade de sulfetos, principalmente calcopirita, relativamente alta, o que não deveria ocorrer devido ao baixo estado de oxidação do enxofre que ocorre nas mineralizações *low-sulfidation*. Nesse contexto, a mineralização estudada poderia ser classificada como *intermediate-sulfidation*, segundo Einaudi *et al.* (2003) que caracteriza essa zona entre os minerais-chave pirita (*low*) e calcopirita (*high*) como mostrado na Figura 5.

Algumas texturas de substituição nos sulfetos, como a representadas na Figura 12, onde a calcopirita é envolvida por covelita, sugerem um evolução do sistemas hidrotermal de estágios

menos para mais oxidados, o que sugere que o tipo *intermediate-sulfidation* corresponde ao estágio final dessa mineralização epitermal de cobre e molibdênio.

12. CONCLUSÃO

A mineralização epitermal estudada tem mineralogia típica de *low-sulfidation* (adulária-sericita) e *intermediate-sulfidation*, indicando que o sistema hidrotermal evoluiu de um estágio mais com fluidos mais reduzidos para mais oxidados.

Os tipos de alteração hidrotermal encontrados foram: alteração propilitica, que afetou a os arenitos tufáceo arcoseanos e os andesitos de forma fissural a pouco pervasiva, seguida pela alteração sericítica pervasiva em todos os litotipos, e, por fim, alteração argílica fissural, observada nas rochas vulcanoclásticas.

A presença de adulária foi detectada através das análises de DRX que, em amostras de veios de alteração hidrotermal, indicaram presença de feldspato potássico de baixa temperatura.

As rochas estudadas estão mineralizadas principalmente em cobre, com molibdênio associado. Não foi encontrado ouro nativo, apesar de estudos anteriores, como Corrêa-Silva (2002) já terem caracterizado essa ocorrência.

A mineralogia encontrada é análoga às mineralizações epitermais cenozóicas e mesozóicas, o que sugere, tal qual já indicado no estudo da mineralização *high-sulfidation* por Juliani *et al.* (2005), que os sistemas hidrotermais paleoproterozóicos associados com o vulcanismo Uatumã na Província Aurífera do Tapajós são muito semelhantes aos geologicamente mais modernos. Assim, considerando-se que as mineralizações epitermais de metais preciosos de ouro e de metais de base sabidamente se relacionam geneticamente com mineralizações do tipo pórfiro (Arribas Jr. 1995), seria esperável a ocorrência de depósitos minerais de grande porte na PAT. Neste contexto, os modelos exploratórios para depósitos epitermais e do tipo pórfiro deveriam ser considerados nos trabalhos de prospecção mineral na região.

Por fim, a semelhança desses sistemas hidrotermais com os sistemas modernos indica que outros terrenos antigos com vulcanismo semelhante em outras partes da Amazônia e em outros arcos magmáticos, metamorfisados ou não, podem constituir alvos potenciais para pesquisa de depósitos minerais magmático-hidrotermais desses tipos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida M.E., Brito, M.F.L., Ferreira, A.L., Monteiro, M.A.S., Popini, M.V.F. 1998. Mineralizações auríferas associadas a vulcanismo ácido e intermediário na Folha Vila Mamãe Anã, Província Mineral do Tapajós. *In: Congresso Brasileiro de Geologia. Boletim de resumos expandidos*, Belo Horizonte, p 148.
- Almeida M.E., Brito, M.F.L., Ferreira, A.L., Monteiro, M.A.S. 2000 Geologia e Recursos Minerais da Folha Mamãe-Anã (SB 21-V-D). Estados do Amazonas e Pará. Escala 1:250.000. Nota explicativa. M.E. Almeida (Editor), *Projeto Especial Província Mineral do Tapajós. PROMIM Tapajós/CPRM*, Brasília.
- Arribas Jr., A. 1995. Characteristics of high-sulfidation epithermal deposits, and their relation to magmatic fluid. *In: Thompson, J.F.H. (Ed.) Magmas, fluids and ore deposits*. Mineralogical Association of Canada Short Course, **23**: 419–454.
- Arribas Jr., A., Hedenquist, J.W., Itaya, T., Okada, T., Concepción, R.A., Garcia, J.S. 1995. Contemporaneous formation of adjacent porphyry and epithermal Cu–Au deposits over 300 ka in northern Luzon, Philippines. *Geology*, **23**(4): 337–340.
- Bahia, R.B.C. & Quadros, M.L.E.S. 2000. Geologia e recursos minerais da Folha Caracol (SB-21-X-C). Estado do Pará. Escala 1:250.000. Nota explicativa. *Projeto Especial Província Mineral do Tapajós. PROMIM Tapajós/CPRM*, Brasília.
- Bard, J.P. 1986. *Microtextures of igneous and metamorphic rocks*. D. Reidel Publishing company, Dordrecht, 261 p.
- Bugarin, Y. 2009. *Caracterização mineralógica do depósito epitermal paleoproterozóico high-sulfidation da Província Aurífera do Tapajós: uma comparação com depósitos modernos*. Monografia de Trabalho de Formatura, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 57 p.
- Camprubi, A., Albison, T. 2006. Depósitos epitermais em México: actualización de su Conocimiento y reclassificación empírica. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana. Volume Comemorativo del Centenario*, **1**:27-81.
- Corrêa-Silva, R.H. 2002. *Caracterização de um sistema epitermal low-sulfidation (adulária-sericita) mineralizado em Au–Cu–Mo em vulcânicas paleoproterozóicas na Província Aurífera do Tapajós: Implicações metalogenéticas e tectônicas*. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 159 p.
- Deer, W.A., Howie, R.A., Zussman, J. 1967. *Rock forming Minerals*. Longman, London.
- Dreher, A.M., Vlach, S.R.F., Martini, E.S.L. 1998. Adulária associated with epithermal gold veins in the Tapajós mineral province, Pará state, northern Brazil. *Revista Brasileira de Geociências*, **28**:397-404.
- Einaudi, M.T., Hedenquist, J.W., Inan, E.E. 2003. Sulfidation state of fluids in active and extinct hydrothermal systems: transitions from porphyry to epithermal environments. *Society of Economic Geologists. Special Publication Series*, **10**:285-313.
- Ferreira, A.L., Almeida, M.E., Brito, M.F.L., Monteiro, M.A.S. 2000. Geologia e Recursos Minerais da Folha Jacareacanga (SB.21-Y-B). Estados do Amazonas e Pará. Escala 1:250.000. Nota explicativa. *Projeto Especial Província Mineral do Tapajós. PROMIM Tapajós/CPRM*, Manaus, CD-room.

- White, N.C., Hedenquist, W. 1995. Epithermal gold deposits: styles, characteristics and exploration. *SEG newsletter*, **23**:9-13.
- Hey, M.H. 1954. A new review of the chlorites. *Mineralogical Magazine*, **30**:277-292.
- Hibbard, M.J. 1995. *Petrography to petrogenesis*. Prentice-Hall, New Jersey, 587 p.
- Ixer, R.A. 1990. *Atlas of opaque and ore minerals in their associations*. Van Nostrand Reinhold, New York, 208 p.
- Juliani, C., Corrêa-Silva, R.H., Monteiro, L.V.S.M., Bettencourt, J.S., Nunes, C.M.D. 2001. Gênese e evolução da alteração hidrotermal no Granito Batalha, Província Aurífera do Tapajós (PA). Simpósio de Geologia da Amazônia, 7, Belém, CD-Room.
- Juliani, C., Silva, R.H.C., Monteiro, L.V.S., Bettencourt, J.S., Nunes, C.M.D. 2002. The Batalha Au-granite system – Tapajós Gold Province, Amazonian craton, Brazil: Hydrothermal alteration and regional implications. *Precambrian Research*, **119**(1-4):225–256.
- Juliani, C., Rye, R.O., Nunes, C.M.D., Snee, L.W., Silva, R.H.C., Monteiro, L.V.S., Bettencourt, J.S., Neumann, R., Neto, A.A. 2005. Paleoproterozoic high-sulfidation mineralization in the Tapajós gold province, Amazonian Craton, Brazil: geology, mineralogy, alunite argon age and stable-isotope constraints. *Chemical Geology*. **215**:95-125.
- Juliani, C., Fernandes, C.M.D., Monteiro, L.V.S., Misas, C.M.E., Lagler, B. 2009. Possível zoneamento metalogenético associado ao evento vulcano-plutônico de ~2,0 a 1,88 Ga na parte sul do Cráton Amazônico. 2º Simpósio Brasileiro de Metalogenia, Gramado.
- Klein, C. & Hurlbut, C.S.J. 1993. *Manual of Mineralogy (After J. D. Dana)*. John Wiley & Sons, Inc., New York, 681 p.
- Klein, E.L. & Vasquez, M.L.. 2000. Geologia e recursos minerais da Folha Vila Riozinho (SB.21-Z -A) Estado do Pará. Escala 1:250.000. Nota explicativa. In: E.L. Klein (Ed.), *Projeto Especial Província Mineral do Tapajós. PROMIM Tapajós/CPRM*, Brasília, CD-Room.
- Lamarão, C.N., Lafon, J.M., Lima, E.F. 1999. As associações vulcânicas e plutônicas de Vila Riozinho e Morais Almeida, Província Aurífera do Tapajós, SW do Estado do Pará. 1º Simpósio Sobre Vulcanismo e Ambientes Associados. *Boletim de Resumos*, Gramado, p. 93.
- Mackenzie, W.S. & Adams, A.E. 1994. *A color atlas of rocks and minerals in thin section*. John Wiley & Sons, Inc, New York, 192 p.
- Melgarejo, J.C., 1997. *Atlas de asociaciones minerales en lámina delgada*. Edicions de La Universitat de Barcelona, Barcelona, 1076 p.
- Misas, C.M.E. 2010. *Evolução magmática, alteração hidrotermal e gênese da mineralização de ouro e cobre do Palito, Província Aurífera do Tapajós (PA)*. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 179 p.
- Pessoa, M.R., Santiago, A.F., Andrade A.F., Nascimento, J.O., Santos, J.O., Oliveira, J.R., Lopes, R.C., Prazeres, W.V. 1977. *Projeto Jamaxim*. Relatório final. 1(A), DNPM/CPRM.
- Pirajno, F. 2009. *Hydrothermal Processes and Mineral Systems*. Springer. 1250p.
- Richard, L.R. 1995. Minpet Software. Mineralogical and Petrological data processing system.

Santos, D.B. dos, Fernandes, P.E.C. A., Dreher, A.M., Cunha, F.B. da, Basei, M.A.S., Teixeira, J.B.G. 1975. Geologia – Folha SB 21 Tapajós, Projeto RADAM, Levantamento de Recursos Naturais 7, Rio de Janeiro, *DNPM*, 15-99.

Santos, J.O.S. & Loguércio, S.O.C. 1984. A parte meridional do Cráton Amazônico (Escudo Brasil Central) e as bacias do Alto Tapajós e Parecis-Alto Xingu. In: C.C. Schobbenhaus, D. A, Derze, G. R, Asmus, H. E. (Eds., *Geologia do Brasil: Texto Explicativo do Mapa Geológico do Brasil e da Área Adjacente Incluindo Depósitos Minerais*. Escala 1:2.500.000. *DNPM/MME*, Brasília. 93-127.

Santos, J.O.S., Hartmann, L.A., Gaudette, H.E. 1997 Reconnaissance U/Pb in zircon, Pb/Pb in sulphides and review of Rb/Sr geochronology in Tapajós gold Province, Pará/Amazonas States, Brazil. In: South-American Symposium on Isotope Geology, Campos de Jordão, SP. *Extended abstracts*, 280-282.

Santos, J.O.S., Hartmann, L.A., Moura, M.A., McNaughton, N.J., Fletcher, I.R. 2000. A new understanding of the provinces of Amazon Craton based on integration of field mapping and U–Pb and Sm–Nd geochronology. *Gondwana Res.* **3**:453-488.

Santos, J.O.S., Groves, D.I., Hartmann, L.A., Moura, M.A., McNaughton, N.J. 2001. Gold deposits of the Tapajós and Alta Floresta Domains, Tapajós-Parima orogenic belt, Amazon Craton, Brazil. *Mineralium Deposita.* **36**:278-299.

Sillitoe, R.H., Hedenquist, J.W. 2003. Linkages between Volcanotectonic Settings, Ore-Fluid Compositions, and Epithermal Precious Metal Deposits. Society of Economic Geologists. *Special Publication Series*, **10**:314-343.

Silva, G.G., Lima, M.I.L., Andrade, A., F., Issler, R.S., Guimarães, G. 1974. Geologia – Folha SB.22 Araguaia e parte da SC.22 Tocantins. *Projeto Radam, Levantamentos de recursos minerais*, Rio de Janeiro, **4**: 1-60.

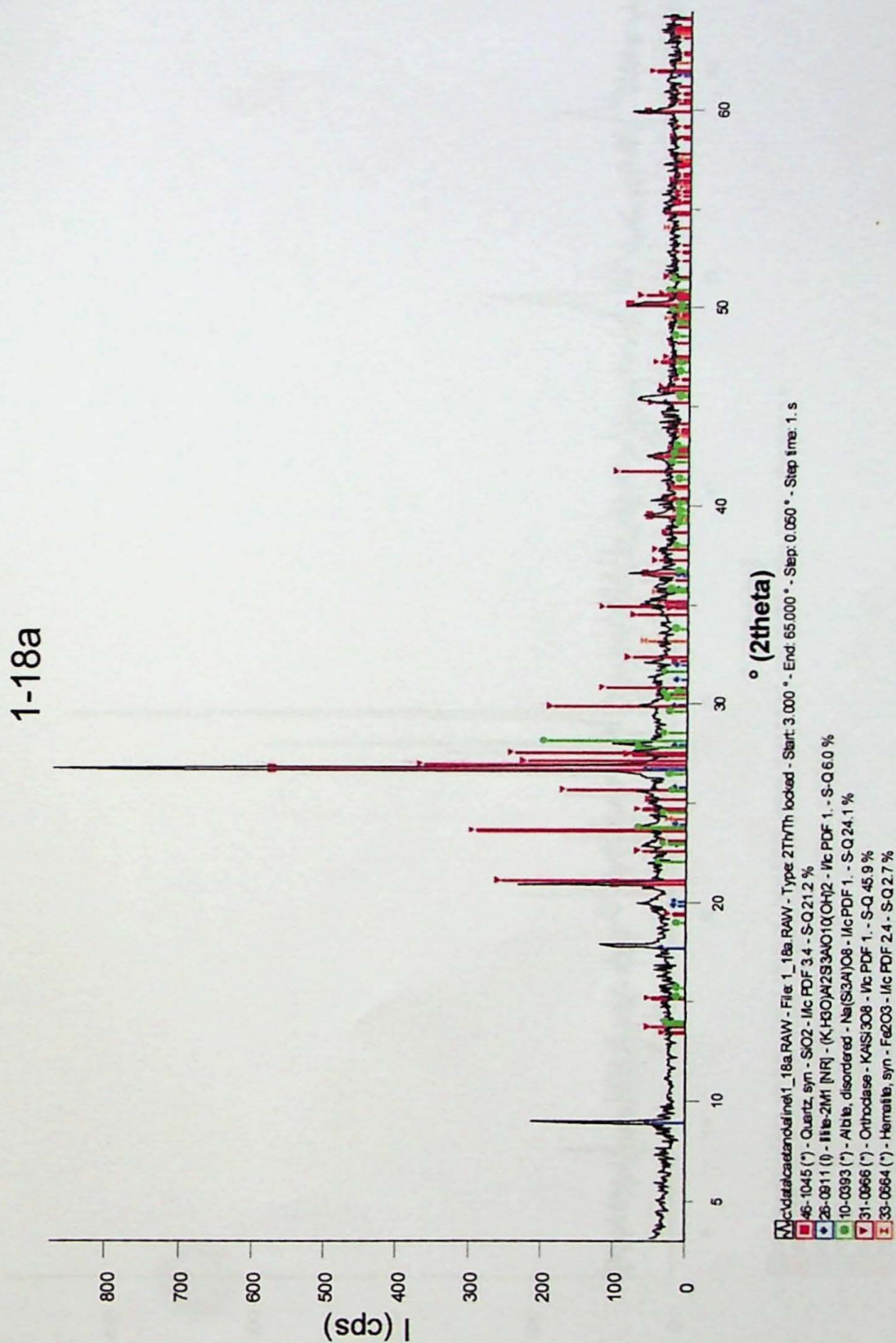
Tischendorf, G. 1997. On Li-bearing micas: estimating Li from electron microprobe analyses and an improved diagram for graphical representation. *Mineralogical Magazine*, **61**:809-834.

Tröger, W.E. 1979. *Optical determination of rock-forming minerals*. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, 188 p.

White, N.C., Hedenquist, J.W. 1990. Epithermal environments and styles of mineralization: Variations and their causes, and guidelines for exploration. *Journal of Geochemical Explorations*, **36**: 445-474.

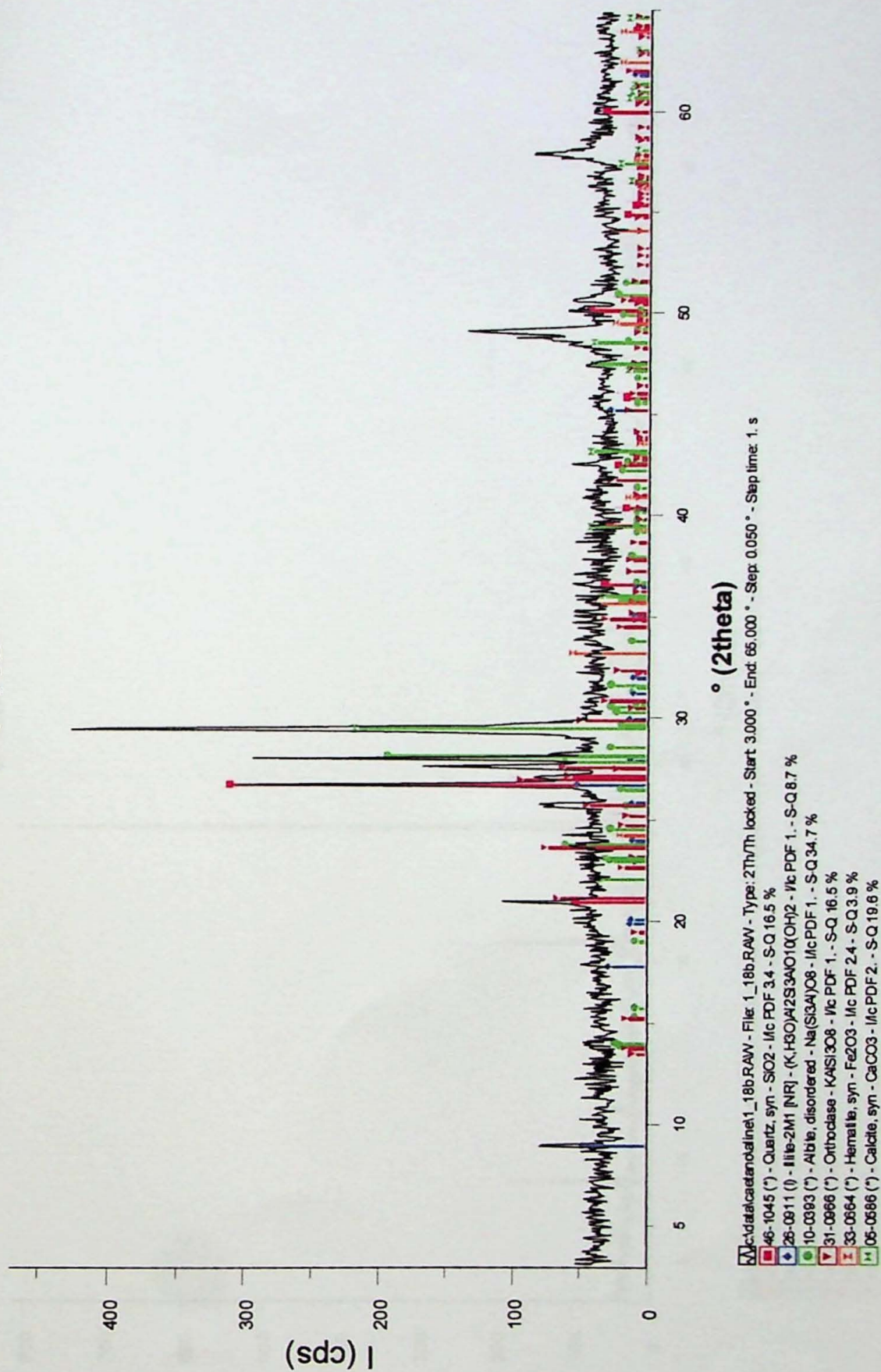
ANEXOS

Anexo 1A – Difractograma de amostra da matriz de riolito. Minerais identificados: quartzo, ilita, albita, feldspato potássico e óxido de ferro.

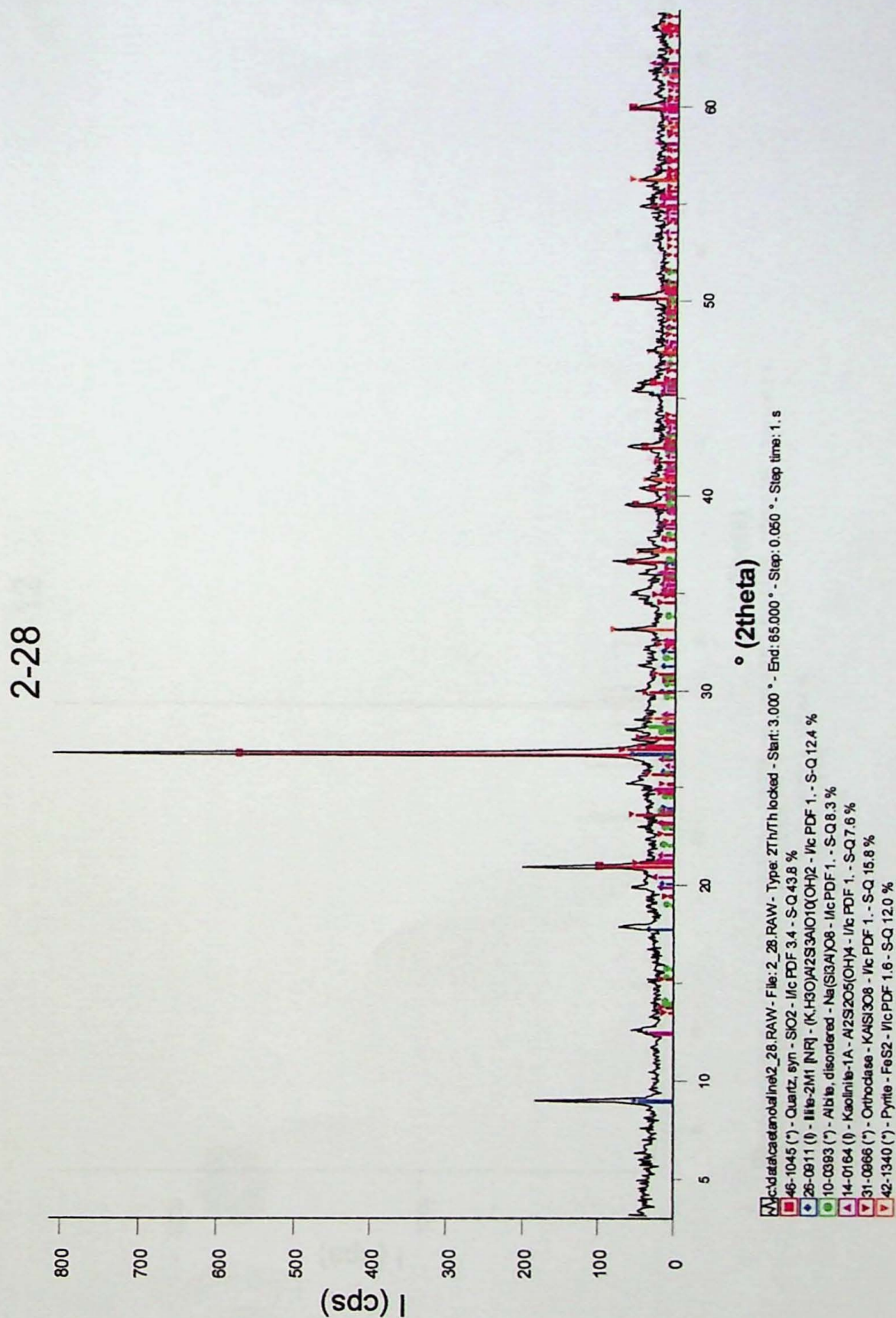


Anexo 1B – Difractograma de amostra de veio em riolito. Minerais identificados: quartzo, ilita, albita, feldspato potássico, óxido de ferro e calcita.

1-18b

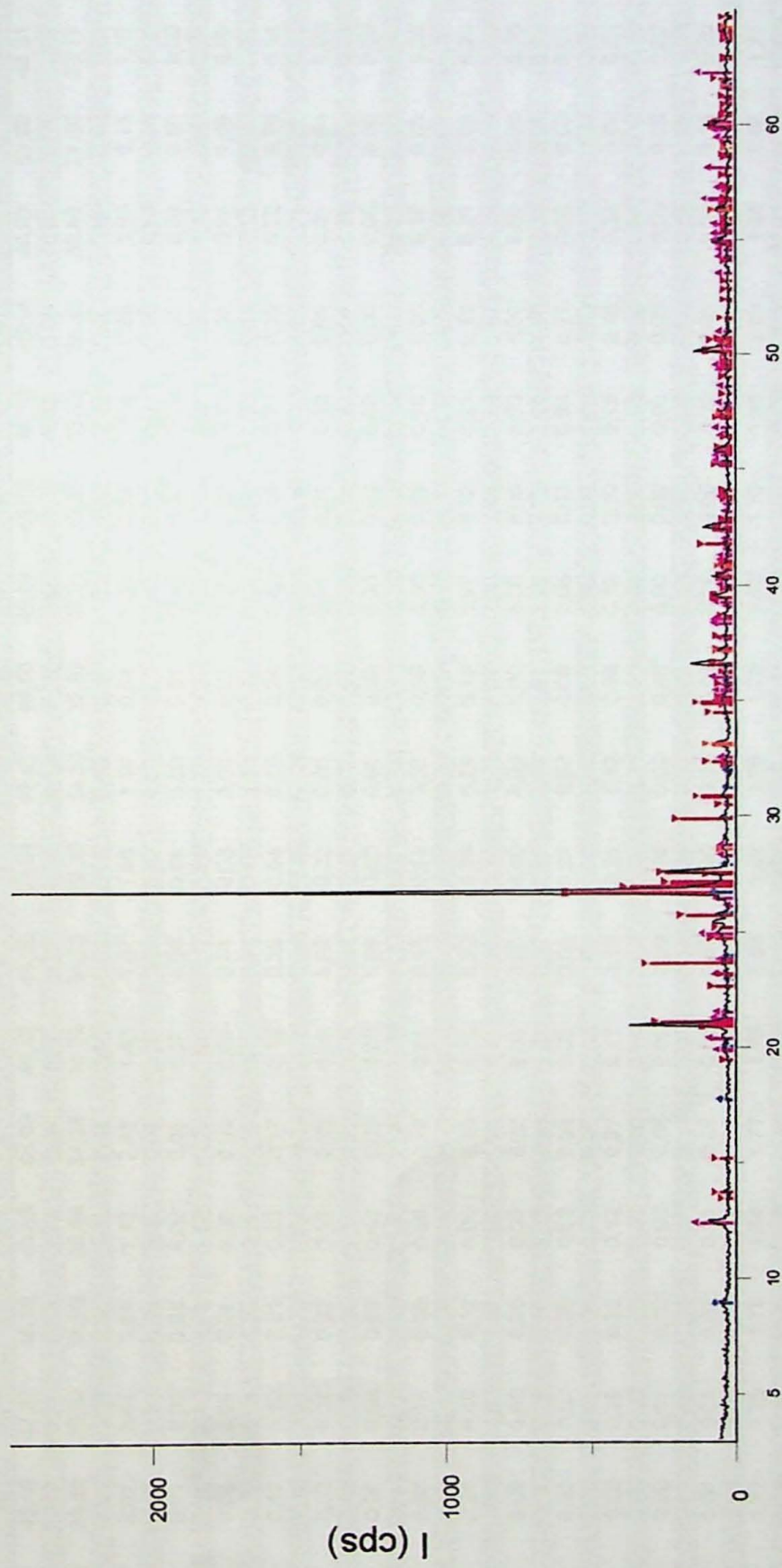


Anexo 1C – Difractograma de amostra tufo. Minerais identificados: quartzo, illita, albita, caolinita, feldspato potássico e pirlita.



Anexo 1D – Difratoograma de amostra de arenito arcoseano tufáceo. Minerais identificados: quartzo, illita, caolinita, feldspato potássico e pirlita.

2-12



☒ C:\data\caetandol\2_12_RAW - File: 2_12_RAW - Type: 2Th/Th locked - Start: 3.000 ° - End: 65.000 ° - Step: 0.060 ° - Step time: 1. s
☒ 46-1045 (*) - Quartz, syn - SiO2 - I/c PDF 3.4 - S-Q 22.6 %
☒ 28-0911 (l) - Illite-2M1 [NR] - (K,H3O)Al2Si3AlO10(OH)2 - I/c PDF 1. - S-Q 6.4 %
☒ 14-0164 (l) - Kaolinite-1A - Al2Si2O5(OH)4 - I/c PDF 1. - S-Q 15.7 %
☒ 31-0966 (*) - Orthoclase - KAlSi3O8 - I/c PDF 1. - S-Q 49.1 %
☒ 42-1340 (*) - Pyrite - FeS2 - I/c PDF 1.6 - S-Q 6.2 %

Anexo 2A – Tabela de dados de microsonda para análise de mica. (continuação)

AMOSTRA	2/15	2/15	2/15	2/15	2/15	2/15	2/23	2/23	2/23	2/23	2/23	2/29	2/29	2/29	2/29	2/29	2/29	2/29	2/29	2/29	2/29	2/29
ANALISE	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	1	1b	1c	1d	1e	2	2b	2c	2d	2e	
SiO2	47,20	46,01	45,23	45,85	46,00	47,09	45,69	45,34	45,70	46,75	49,70	49,53	48,12	47,99	48,88	47,49	47,86	47,14	48,36	47,86	47,14	48,36
TiO2	0,40	0,41	0,34	0,45	0,58	0,14	0,25	0,25	0,08	0,09	0,01	0,08	0,10	0,03	0,06	0,05	0,08	0,11	0,09	0,08	0,11	0,09
Al2O3	31,84	33,15	33,49	33,68	31,96	33,07	35,40	36,12	35,37	34,63	33,59	27,18	29,27	30,09	28,28	29,42	29,37	29,77	29,46	29,37	29,77	29,46
CR2O3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
FeO	1,62	1,60	1,82	1,71	2,58	1,69	1,26	1,09	1,32	1,28	0,96	4,79	5,08	4,51	5,26	5,28	4,93	5,59	4,76	4,93	5,59	4,76
FE2O3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
MNO	0,04	0,03	0,00	0,00	0,03	0,00	0,02	0,02	0,01	0,00	0,00	0,07	0,09	0,08	0,09	0,06	0,08	0,09	0,02	0,08	0,09	0,02
MGO	2,45	1,73	1,68	1,90	1,77	1,79	0,93	0,73	1,01	1,11	0,87	1,92	1,99	1,69	1,92	1,98	1,85	2,15	2,04	1,85	2,15	2,04
CAO	0,02	0,01	0,00	0,05	0,00	0,03	0,01	0,04	0,00	0,02	0,00	0,04	0,07	0,11	0,03	0,05	0,02	0,05	0,04	0,02	0,05	0,04
BAO	0,02	0,22	0,26	0,08	0,03	0,18	0,03	0,00	0,03	0,00	0,03	0,03	0,04	0,00	0,01	0,00	0,10	0,00	0,00	0,10	0,00	0,00
NA2O	0,24	0,22	0,29	0,31	0,21	0,29	0,51	0,55	0,32	0,28	0,38	0,03	0,01	0,03	0,00	0,00	0,04	0,05	0,02	0,04	0,05	0,02
K2O	11,14	11,18	10,78	10,72	10,97	10,72	10,69	10,65	10,94	11,09	10,40	9,71	9,74	9,79	10,09	9,70	9,91	9,49	9,76	9,91	9,49	9,76
CL	0,02	0,00	0,02	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,01	0,00	0,04	0,00	0,00	0,04	0,00
F	0,31	0,00	0,46	0,35	0,11	0,11	0,53	0,47	0,35	0,65	0,29	0,00	0,24	0,07	0,05	0,34	0,23	0,17	0,00	0,23	0,17	0,00
H2O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TOTAL	95,27	94,34	94,10	95,02	94,21	94,93	95,28	95,25	95,09	95,91	96,21	93,36	94,70	94,38	94,70	94,39	94,36	94,68	94,54	94,36	94,68	94,54
O_F_CL	0,13	0,00	0,20	0,15	0,05	0,05	0,22	0,20	0,15	0,28	0,12	0,00	0,10	0,03	0,03	0,15	0,10	0,08	0,00	0,10	0,08	0,00
CTOTAL	95,14	94,34	93,90	94,87	94,16	94,88	95,06	95,05	94,94	95,63	96,09	93,36	94,60	94,35	94,67	94,24	94,26	94,60	94,54	94,26	94,60	94,54
SI	6,34	6,22	6,16	6,17	6,27	6,31	6,12	6,07	6,13	6,24	6,51	6,79	6,55	6,52	6,65	6,50	6,54	6,43	6,56	6,50	6,43	6,56
ALIV	1,66	1,78	1,84	1,83	1,73	1,69	1,88	1,93	1,87	1,77	1,49	1,21	1,45	1,48	1,35	1,50	1,47	1,57	1,44	1,47	1,57	1,44
SUM_T	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00
ALVI	3,38	3,50	3,54	3,51	3,40	3,53	3,71	3,77	3,72	3,67	3,69	3,18	3,23	3,33	3,18	3,24	3,26	3,22	3,26	3,26	3,22	3,26
TI	0,04	0,04	0,04	0,05	0,06	0,01	0,03	0,03	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
FE3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FE2	0,18	0,18	0,21	0,19	0,29	0,19	0,14	0,12	0,15	0,14	0,11	0,55	0,58	0,51	0,60	0,60	0,56	0,64	0,54	0,56	0,64	0,54
CR	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MN	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
MG	0,49	0,35	0,34	0,38	0,36	0,36	0,19	0,15	0,20	0,22	0,17	0,39	0,40	0,34	0,39	0,41	0,38	0,44	0,41	0,38	0,44	0,41
CA	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,02	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01
NA	0,06	0,06	0,08	0,08	0,06	0,08	0,13	0,14	0,08	0,07	0,10	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
K	1,91	1,93	1,87	1,84	1,91	1,83	1,83	1,82	1,87	1,89	1,74	1,70	1,69	1,70	1,75	1,69	1,73	1,65	1,69	1,73	1,65	1,69
CATIONS	14,08	14,07	14,07	14,06	14,08	14,00	14,03	14,03	14,04	14,01	13,80	13,85	13,94	13,92	13,94	13,96	13,95	13,99	13,92	13,95	13,99	13,92
CF	0,26	0,00	0,39	0,30	0,10	0,09	0,45	0,40	0,30	0,55	0,24	0,00	0,20	0,06	0,05	0,30	0,20	0,15	0,00	0,20	0,15	0,00
CCL	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,02	0,00
OH	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
O	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00
FE_FEMG	0,27	0,34	0,38	0,33	0,45	0,35	0,43	0,46	0,43	0,39	0,38	0,58	0,59	0,60	0,61	0,60	0,60	0,59	0,57	0,60	0,59	0,57
MG_FEMG	0,73	0,66	0,62	0,67	0,55	0,65	0,57	0,54	0,57	0,61	0,62	0,42	0,41	0,40	0,39	0,40	0,40	0,41	0,43	0,40	0,41	0,43
EIXOY	-3,15	-3,28	-3,29	-3,27	-3,04	-3,33	-3,54	-3,62	-3,56	-3,52	-3,59	-2,61	-2,64	-2,81	-2,57	-2,63	-2,68	-2,56	-2,71	-2,63	-2,56	-2,71

Anexo 2A – Tabela de dados de microsonda para análise de mica. (continuação)

anexo ao relatório anual de administração do hospital - 2011

ANO	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045	2046	2047	2048	2049	2050	2051	2052	2053	2054	2055	2056	2057	2058	2059	2060	2061	2062	2063	2064	2065	2066	2067	2068	2069	2070	2071	2072	2073	2074	2075	2076	2077	2078	2079	2080	2081	2082	2083	2084	2085	2086	2087	2088	2089	2090	2091	2092	2093	2094	2095	2096	2097	2098	2099	2100	2101	2102	2103	2104	2105	2106	2107	2108	2109	2110	2111	2112	2113	2114	2115	2116	2117	2118	2119	2120	2121	2122	2123	2124	2125	2126	2127	2128	2129	2130	2131	2132	2133	2134	2135	2136	2137	2138	2139	2140	2141	2142	2143	2144	2145	2146	2147	2148	2149	2150	2151	2152	2153	2154	2155	2156	2157	2158	2159	2160	2161	2162	2163	2164	2165	2166	2167	2168	2169	2170	2171	2172	2173	2174	2175	2176	2177	2178	2179	2180	2181	2182	2183	2184	2185	2186	2187	2188	2189	2190	2191	2192	2193	2194	2195	2196	2197	2198	2199	2200	2201	2202	2203	2204	2205	2206	2207	2208	2209	2210	2211	2212	2213	2214	2215	2216	2217	2218	2219	2220	2221	2222	2223	2224	2225	2226	2227	2228	2229	2230	2231	2232	2233	2234	2235	2236	2237	2238	2239	2240	2241	2242	2243	2244	2245	2246	2247	2248	2249	2250	2251	2252	2253	2254	2255	2256	2257	2258	2259	2260	2261	2262	2263	2264	2265	2266	2267	2268	2269	2270	2271	2272	2273	2274	2275	2276	2277	2278	2279	2280	2281	2282	2283	2284	2285	2286	2287	2288	2289	2290	2291	2292	2293	2294	2295	2296	2297	2298	2299	2300	2301	2302	2303	2304	2305	2306	2307	2308	2309	2310	2311	2312	2313	2314	2315	2316	2317	2318	2319	2320	2321	2322	2323	2324	2325	2326	2327	2328	2329	2330	2331	2332	2333	2334	2335	2336	2337	2338	2339	2340	2341	2342	2343	2344	2345	2346	2347	2348	2349	2350	2351	2352	2353	2354	2355	2356	2357	2358	2359	2360	2361	2362	2363	2364	2365	2366	2367	2368	2369	2370	2371	2372	2373	2374	2375	2376	2377	2378	2379	2380	2381	2382	2383	2384	2385	2386	2387	2388	2389	2390	2391	2392	2393	2394	2395	2396	2397	2398	2399	2400	2401	2402	2403	2404	2405	2406	2407	2408	2409	2410	2411	2412	2413	2414	2415	2416	2417	2418	2419	2420	2421	2422	2423	2424	2425	2426	2427	2428	2429	2430	2431	2432	2433	2434	2435	2436	2437	2438	2439	2440	2441	2442	2443	2444	2445	2446	2447	2448	2449	2450	2451	2452	2453	2454	2455	2456	2457	2458	2459	2460	2461	2462	2463	2464	2465	2466	2467	2468	2469	2470	2471	2472	2473	2474	2475	2476	2477	2478	2479	2480	2481	2482	2483	2484	2485	2486	2487	2488	2489	2490	2491	2492	2493	2494	2495	2496	2497	2498	2499	2500	2501	2502	2503	2504	2505	2506	2507	2508	2509	2510	2511	2512	2513	2514	2515	2516	2517	2518	2519	2520	2521	2522	2523	2524	2525	2526	2527	2528	2529	2530	2531	2532	2533	2534	2535	2536	2537	2538	2539	2540	2541	2542	2543	2544	2545	2546	2547	2548	2549	2550	2551	2552	2553	2554	2555	2556	2557	2558	2559	2560	2561	2562	2563	2564	2565	2566	2567	2568	2569	2570	2571	2572	2573	2574	2575	2576	2577	2578	2579	2580	2581	2582	2583	2584	2585	2586	2587	2588	2589	2590	2591	2592	2593	2594	2595	2596	2597	2598	2599	2600	2601	2602	2603	2604	2605	2606	2607	2608	2609	2610	2611	2612	2613	2614	2615	2616	2617	2618	2619	2620	2621	2622	2623	2624	2625	2626	2627	2628	2629	2630	2631	2632	2633	2634	2635	2636	2637	2638	2639	2640	2641	2642	2643	2644	2645	2646	2647	2648	2649	2650	2651	2652	2653	2654	2655	2656	2657	2658	2659	2660	2661	2662	2663	2664	2665	2666	2667	2668	2669	2670	2671	2672	2673	2674	2675	2676	2677	2678	2679	2680	2681	2682	2683	2684	2685	2686	2687	2688	2689	2690	2691	2692	2693	2694	2695	2696	2697	2698	2699	2700	2701	2702	2703	2704	2705	2706	2707	2708	2709	2710	2711	2712	2713	2714	2715	2716	2717	2718	2719	2720	2721	2722	2723	2724	2725	2726	2727	2728	2729	2730	2731	2732	2733	2734	2735	2736	2737	2738	2739	2740	2741	2742	2743	2744	2745	2746	2747	2748	2749	2750	2751	2752	2753	2754	2755	2756	2757	2758	2759	2760	2761	2762	2763	2764	2765	2766	2767	2768	2769	2770	2771	2772	2773	2774	2775	2776	2777	2778	2779	2780	2781	2782	2783	2784	2785	2786	2787	2788	2789	2790	2791	2792	2793	2794	2795	2796	2797	2798	2799	2800	2801	2802	2803	2804	2805	2806	2807	2808	2809	2810	2811	2812	2813	2814	2815	2816	2817	2818	2819	2820	2821	2822	2823	2824	2825	2826	2827	2828	2829	2830	2831	2832	2833	2834	2835	2836	2837	2838	2839	2840	2841	2842	2843	2844	2845	2846	2847	2848	2849	2850	2851	2852	2853	2854	2855	2856	2857	2858	2859	2860	2861	2862	2863	2864	2865	2866	2867	2868	2869	2870	2871	2872	2873	2874	2875	2876	2877	2878	2879	2880	2881	2882	2883	2884	2885	2886	2887	2888	2889	2890	2891	2892	2893	2894	2895	2896	2897	2898	2899	2900	2901	2902	2903	2904	2905	2906	2907	2908	2909	2910	2911	2912	2913	2914	2915	2916	2917	2918	2919	2920	2921	2922	2923	2924	2925	2926	2927	2928	2929	2930	2931	2932	2933	2934	2935	2936	2937	2938	2939	2940	2941	2942	2943	2944	2945	2946	2947	2948	2949	2950	2951	2952	2953	2954	2955	2956	2957	2958	2959	2960	2961	2962	2963	2964	2965	2966	2967	2968	2969	2970	2971	2972	2973	2974	2975	2976	2977	2978	2979	2980	2981	2982	2983	2984	2985	2986	2987	2988	2989	2990	2991	2992	2993	2994	2995	2996	2997	2998	2999	3000	3001	3002	3003	3004	3005	3006	3007	3008	3009	3010	3011	3012	3013	3014	3015	3016	3017	3018	3019	3020	3021	3022	3023	3024	3025	3026	3027	3028	3029	3030	3031	3032	3033	3034	3035	3036	3037	3038	3039	3040	3041	3042	3043	3044	3045	3046	3047	3048	3049	3050	3051	3052	3053	3054	3055	3056	3057	3058	3059	3060	3061	3062	3063	3064	3065	3066	3067	3068	3069	3070	3071	3072	3073	3074	3075	3076	3077	3078	3079	3080	3081	3082	3083	3084	3085	3086	3087	3088	3089	3090	3091	3092	3093	3094	3095	3096	3097	3098	3099	3100	3101	3102	3103	3104	3105	3106	3107	3108	3109	3110	3111	3112	3113	3114	3115	3116	3117	3118	3119	3120	3121	3122	3123	3124	3125	3126	3127	3128	3129	3130	3131	3132	3133	3134	3135	3136	3137	3138	3139	3140	3141	3142	3143	3144	3145	3146	3147	3148	3149	3150	3151	3152	3153	3154	3155	3156	3157	3158	3159	3160	3161	3162	3163	3164	3165	3166	3167	3168	3169	3170	3171	3172	3173	3174	3175	3176	3177	3178	3179	3180	3181	3182	3183	3184	3185	3186	3187	3188	3189	3190	3191	3192	3193	3194	3195	3196	3197	3198	3199	3200	3201	3202	3203	3204	3205	3206	3207	3208	3209	3210	3211	3212	3213	3214	3215	3216	3217	3218	3219	3220	3221	3222	3223	3224	3225	3226	3227	3228	3229	3230	3231	3232	3233	3234	3235	3236	3237	3238	3239	3240	3241	3242	3243	3244	3245	3246	3247	3248	3249	3250	3251	3252	3253	3254	3255	3256	3257	3258	3259	3260	3261	3262	3263	3264	3265	3266	3267	3268	3269	3270	3271	3272	3273	3274	3275	3276	3277	3278	3279	3280	3281	3282	3283	3284	3285	3286	3287	3288	3289	3290	3291	3292	3293	3294	3295	3296	3297	3298	3299	3300	3301	3302	3303	3304	3305	3306	3307	3308	3309	3310	3311	3312	3313	3314	3315	3316	3317	3318	3319	3320	3321	3322	3323	3324	3325	3326	3327	3328	3329	3330	3331	3332	3333	3334	3335	3336	3337	3338	3339	3340	3341	3342	3343	3344	3345	3346	3347	3348	3349	3350	3351	3352	3353	3354	3355	3356	3357	3358	3359	3360	3361	3362	3363	3364	3365	3366	3367	3368	3369	3370	3371	3372	3373	3374
-----	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

