

## A CLORITIZAÇÃO NA MINA URUGUAI, MINAS DO CAMAQUÃ, RS – BRASIL.

Guilherme C. TROIAN<sup>1</sup>, André S. MEXIAS<sup>2</sup>, Márcia E. B. GOMES<sup>2</sup>, Denise CANARIM<sup>3</sup>.

1 - CPRM – Serviço Geológico do Brasil. [guilherme.troian@cprm.gov.br](mailto:guilherme.troian@cprm.gov.br); 2- Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). [andre.mexias@ufrgs.br](mailto:andre.mexias@ufrgs.br), [marcia.boscato@ufrgs.br](mailto:marcia.boscato@ufrgs.br); 3- Programa de Pós-graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. [dedigeo@gmail.com](mailto:dedigeo@gmail.com)

### RESUMO

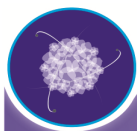
A região das Minas do Camaquã é parte constituinte da Bacia do Camaquã, a qual possui direção NE-NW e é preenchida por sedimentos siliciclásticos intercalados com rochas vulcânicas. A clorita é o argilomineral mais abundante na área, ocorrendo em grande quantidade nos halos de alteração hidrotermal presentes nas rochas encaixantes das mineralizações. O presente trabalho consiste na caracterização petrológica, química e estrutural das cloritas, que fornecem importantes informações sobre diferentes processos e condições de formação do ambiente hidrotermal. Para isso se realizou petrografia óptica, difratometria de raios X, modelamento dos difratogramas, e microscopia eletrônica de varredura. As cloritas se apresentam com três diferentes tendências: A Clorita I ocorre com aspecto pervasivo sobre a matriz das rochas localizadas próximo aos filões mineralizados. É classificada como Fe-clinocloro, apresenta na fração <1µm predominância do polítipo IIb e um enriquecimento em Mg<sup>2+</sup> e na fração <10µm predominância do polítipo Ib (90<sup>0</sup>) e enriquecimento em Fe<sub>total</sub>; a Clorita II ocorre como veios preenchendo pequenas fraturas. É classificada como Chamosita e apresenta polítipo estrutural IIb; e a Clorita III ocorre alterando minerais detríticos sendo classificada como Mg-chamosita. A variação na quantidade de ferro das cloritas geradas por processos hidrotermais (Clorita I <10 µm e clorita II) fornecem indícios da ocorrência de pelo menos dois pulsos no processo de alteração hidrotermal: um responsável pela intensa alteração da matriz e dos clastos das rochas e outro responsável pela geração dos veios tardios. A variação na quantidade de Fe<sub>total</sub> dos dois diferentes fluidos responsáveis pela cristalização das cloritas fica evidenciada pela associação de co-geneticidade da Clorita II com a hematita, mostrando que o fluido final foi muito mais enriquecido em ferro que o fluido precoce que cristalizou a Clorita I <10 µm.

**Palavras-chave:** Cloritas, Alteração Hidrotermal, Geoquímica

### ABSTRACT

The region of the Camaquã Mines is a constitutional part of the Camaquã Basin and is accomplished by siliciclastic sediments intercalated with volcanic rocks. Chlorite is the most abundant clay mineral, occurring in great amounts on the hydrothermal alteration halos present in the host rocks of mineralizations. This work consists on the petrologic, chemical and structural characterization of chlorites, which provide important information about different processes and formation conditions of the hydrothermal environment. It was made optical petrography, X ray diffraction, diffractograms modeling, and scanning electron microscopy. The chlorites are presented in three different trends: The Chlorite I occurs with pervasive aspect in the hydrothermal alteration halos. It is classified as Fe-clinoclore, and presents in the fraction <1µm the predominance of polytype IIb and an enrichment in Mg<sup>2+</sup> and in the fraction <10µm the predominance of the polytype Ib (90<sup>0</sup>) and enrichment in Fe<sup>2+</sup>; The Chlorite II occurs as veins filling small fractures. It is classified as Chamosite and presents structural polytype IIb; and the Chlorite III occurs altering detritic minerals is classified as Mg-chamosite. The variation on the amount of Fe of the chlorites generated by hydrothermal processes (Chlorite I < 10 µm and Chlorite II) provides indications of the occurrence of at least two pulses on the hydrothermal alteration process: one responsible for the intense alteration of the matrix and clasts of the rocks and the other responsible for the generation of the late veins. This variation on the amount of Fe is evidenced by the co-geneticity association of the Chlorite II with the hematite, showing that the final fluid was much more enriched in iron than the early fluid that crystallized the Chlorite I < 10 µm.

**Keywords:** Chlorite, Hydrothermal Alteration, Geochemistry



## 1. Objetivo

O presente trabalho tem como objetivo a caracterização química e petrográfica das diferentes ocorrências de cloritas presentes na Mina Uruguai. Isso se faz necessário para um maior detalhamento das fases de alteração hidrotermal e suas paragêneses, contribuindo assim com futuros trabalhos que visem o entendimento da gênese do minério presente na área.

## 2. Geologia Local

Na área da MU, as rochas aflorantes são representadas pela formação Arroio dos Nobres, a qual foi dividida em dois membros: Membro Mangueirão e Membro Vargas, sendo as rochas deste último hospedeiras das mineralizações de Cu-Pb-Zn (Au). O Membro Mangueirão apresenta aproximadamente 200m de espessura. É caracterizado pela intercalação de arenitos finos e siltitos micáceos marrom avermelhados. O Membro Vargas consiste de uma seqüência de conglomerados e arenitos imaturos. Teixeira & Gonzáles (1988), subdividiram o Membro Vargas na área da mina Uruguai em cinco unidades litológicas, que são da base para o topo: (I) Arenito Inferior; (II) Conglomerado Inferior; (III) Arenito intermediário; (IV) Conglomerado superior; e (V) Arenito superior.

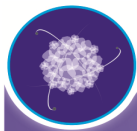
## 3. Materiais e Métodos

Para caracterização dos diferentes tipos de cloritas se realizou petrografia óptica, difratometria de raios X, modelamento dos difratogramas através do programa Reynolds Newmod®, e microscopia eletrônica de varredura em amostras representativas de diferentes zonas de alteração hidrotermal identificadas.

## 4. Resultados e Conclusões

Os estudos químicos e petrográficos permitiram a identificação de três diferentes tipos de cloritas, sendo (i) a clorita I que ocorre alterando a matriz da rocha encaixante das mineralizações; (ii) a clorita II que ocorre como veios/vênulas e (iii) a clorita III, produto da alteração dos minerais detríticos, principalmente biotita.

A Clorita I, classificada como Fe-clinocloro, ocorre com aspecto pervasivo sobre a matriz das rochas localizadas próximo aos filões mineralizados. Esta intensa alteração dificulta o reconhecimento da mineralogia e das texturas originais das rochas, fato comum quando se trata de rochas encaixantes de filões em ambientes hidrotermais. Através da DRX e da modelagem por simulação no programa Reynolds Newmod®, se podem observar variações entre as diferentes frações granulométricas da clorita I. A fração <10µm apresenta predominantemente politipo estrutural Ib(90<sup>0</sup>) e uma tendência a serem enriquecidas em Fe.



Já a fração  $<1\mu\text{m}$  apresenta predominantemente polítipo IIb e uma tendência a composição mais magnesianas. As análises químicas ao MEV confirmaram a tendência observada na DRX mostrando a composição predominantemente magnesianas da clorita I.

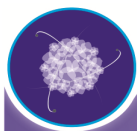
Com esse trabalho se pode evidenciar que as frações mais finas ( $< 1\mu\text{m}$ ) presentes na matriz das rochas sejam produto da diagênese atuante na área. Já as frações maiores ( $<10\mu\text{m}$ ) ocorrem sobre a fração mais fina e provavelmente apresentam origem hidrotermal.

A Clorita III, classificada como Mg-chamosita, é produto da alteração dos clastos de minerais ferro-magnesianos presentes na matriz dos conglomerados, e apresenta composição química intermediária entre a clorita I e a clorita II. Devido a dificuldade de desagregação e separação deste tipo de clorita, não foram realizadas análises de seus polítipos. As análises morfológicas e químicas indicam que estas cloritas apresentam origem hidrotermal e que tenham sido formadas no mesmo evento de geração das granulometrias maiores presentes na matriz.

A Clorita II, classificada como chamosita, ocorre em veios milimétricos cortando a rocha previamente cloritizada (clorita I e III). Tanto a análise por DRX quanto a microanálise no MEV mostraram a composição predominantemente ferrosa destas cloritas, que estruturalmente apresentam polítipos IIb.

A variação na quantidade de ferro das cloritas geradas por processos hidrotermais (Clorita I  $<10\mu\text{m}$  e Clorita II) fornecem indícios da ocorrência de pelo menos dois pulsos no processo de alteração hidrotermal. Um teria sido responsável pela intensa alteração da matriz e dos clastos das rochas e outro pela geração dos veios e vênulos tardios da Clorita II que cortam a Clorita I  $<10\mu\text{m}$ . A variação na quantidade de Fe dos dois diferentes fluidos responsáveis pela cristalização das cloritas fica evidenciada pela associação de co-geneticidade da Clorita II com a hematita, mostrando que o fluido final foi muito mais enriquecido em ferro que o fluido precoce que cristalizou a Clorita I  $<10\mu\text{m}$ . A composição intermediária (entre clorita I e II) da clorita III sugere a influência da composição química do mineral detrítico na composição da clorita.

No geral as cloritas apresentam proporção direta na razão  $\text{Fe}/(\text{Fe}+\text{Mg})$  e  $\text{Al}^{\text{IV}}$ , sendo esta variação consistente com a concomitante substituição de  $\text{Fe} + \text{Al}$  por  $\text{Mg}^{2+} + \text{Si}$  (Teagle & Alt 2004). As cloritas analisadas apresentam  $\text{Al}^{\text{IV}}$  variando entre 0,9-1,3 enquanto  $\text{Al}^{\text{VI}}$  varia de 1,1 a 1,5, com um aumento de  $\text{Al}^{\text{IV}}$  à medida que há aumento nas razões  $\text{Fe}/\text{Fe}+\text{Mg}$  (clorita I), feição também observada por Kranidiotis e MacLean (1987) e Zang & Fyfe (1995). Este aumento pode ser atribuído a mudanças de tamanho dos cátions e a ajustes estruturais, pelo fato de que o aumento da substituição de  $\text{Al}^{\text{IV}}$  por  $\text{Si}^{4+}$  gera deficiência de carga que é suprida, pelo menos em parte, pela entrada de  $\text{Fe} + \text{Mg}^{2+}$  na camada octaédrica. As razões  $\text{Al}^{\text{IV}}/\text{Al}^{\text{VI}}$  apresentam valor médio de 0,88, sugerindo que há um desequilíbrio de



carga gerado pela substituição  $Al^{IV}/Si$  no tetraedro, sendo esta diferença de carga não compensada pela presença de  $Fe$  ou  $Mg^{2+}$  na camada octaédrica.

O fato de que tanto a clorita I  $<1\mu m$  (diagenética rica em magnésio) quanto a clorita II (hidrotermal rica em ferro) apresentarem politipo IIb é explicado por este ser o politipo mais estável, podendo terem sido formadas em ambientes com grande variação de temperatura (50 – 300 °C) (Walker, 1990). No trabalho de Hayes (1970) o politipo IIb é considerado como característico de cloritas geradas a partir de metamorfismo de alta temperatura. Contudo, Walker (1993) estudando cloritas autigênicas formadas a partir de metamorfismo de muito baixo grau em pelitos e rochas vulcânicas ao norte de Maine identificou que são exclusivamente IIb. O autor sugere que para se analisar politipos de cloritas como geotermômetros, devem se levar em consideração além da temperatura, parâmetros como pressão litostática, fugacidade de oxigênio e composição química da clorita (incluindo determinação de  $Fe^{3+}$ ). Segundo o autor, a transformação do politipo I para o politipo II envolve dissolução e recristalização por causa de rotações e/ou translações dos elementos estruturais e necessita de um grande acréscimo de temperatura no sistema.

Com o objetivo de se obter resultados mais conclusivos com relação às características físico-químicas do fluido hidrotermal atuante na área, se sugere, em trabalhos futuros, a realização de estudo dos isótopos estáveis de oxigênio e hidrogênio, e a determinação do estado de oxidação através da quantidade de  $Fe^{3+}$  presente nas cloritas.

## 5. Referências Bibliográficas

- HAYES J.B. (1970) Polytypism of chlorite in sedimentary rocks. *Clays Clay Minerals*. 18, 285-306.
- Kranidiotis, P. & MacLean, W.H. 1987. Systematics of chlorite alteration at the Phelps Dodge massive sulfide deposit, Matagami, Quebec. *Economic Geology*, 82: 1898-1911.
- Reynolds, R. C. Jr. 1996. *NEWMOD<sup>®</sup> a computer program for the calculation of the one-dimensional diffraction patterns of mixed layered Clays*. 8 book Dr. Hanover, New Hampshire, USA.
- Teixeira, G. & Gonzáles, A. P. 1988. *Minas do Camaquã, município de Caçapava do Sul, RS*. In: Schobbenhaus & Coelho (ed.). Principais depósitos minerais do Brasil. DNPM, v.III. p.33-41.
- Teagle, D.A.H. & Alt, J.C. 2004. Hydrothermal alteration of basalts beneath the Bent Hill Massive Sulfide Deposit, Middle Valley, Juan de Fuca Ridge. *Economic Geology*, 99: 561-584.
- Walker J.R. & Thompson G.R. (1990). Structural variations in chlorite and illite in a diagenetic sequence from the Imperial Valley, California. *Clays Clay Minerals*. 38, 315-321.
- Walker, J.R. (1993). Chlorite polytype geothermometry. *Clays and Clay Minerals*, 41:260-267.
- Zang, W. & Fyfe, W. S 1995. Chloritization of the hydrothermally altered bedrock at the Igarapé Bahia gold deposits, Carajas, Brazil. *Mineralium Deposita* 30: 30-38.