

UTILIZAÇÃO DE DIAGRAMA FERRO-TITÂNIO NA DISTINÇÃO QUÍMICA ENTRE ORTO- E PARA-ANFIBOLITOS

A.U.G.Peloggia¹
M.C.H.Figueiredo¹

RESUMO

Um diagrama simples, confrontando os valores em peso % de ferro total como FeO versus TiO_2 , parece ser muito eficaz na distinção química de para- e orto-anfibolitos. Os para-anfibolitos derivados por metamorfismo e descarbonatação de misturas de pelitos com carbonatos têm, de modo característico valores mais reduzidos de FeO^t e TiO_2 do que os dos orto-anfibolitos. Uma distinção particularmente boa ocorre com o FeO^t que apresenta valores mais baixos do que 8% em peso para os anfibolitos metassedimentares.

No caso de contribuição significativa de detritos ou tufos básicos, estes anfibolitos supra-crustais deverão ter uma composição bastante semelhante à de orto-anfibolitos, como seria de se esperar, embora muitos autores os classifiquem como para-derivados. Outra possibilidade de confusão pode ocorrer com orto-anfibolitos derivados do metamorfismo de rochas básicas que sofreram processos de acumulação de cristais (e.g., de clinopiroxênio e plagioclásio), que podem ter teores baixos de Fe e Ti. Essas rochas acumuladas, contudo, podem geralmente ser distinguidas pelos conteúdos de outros elementos químicos e eventualmente por evidências de campo ou petrográficas.

ABSTRACT

A simple total iron (as FeO) versus TiO_2 diagram appears to be highly effective in the chemical distinction between ortho- and para-amphibolites. The distinction is particularly sharp for iron, with para-amphibolites having FeO^t values less than 8%.

The distinction is less clear when the para-amphibolites include considerable amounts of basic detritus or tuffs and, therefore, have a composition similar to ortho-amphibolites. Ortho-amphibolites derived by metamorphism of basic cumulitic rocks (e.g.,

¹Departamento de Geologia Geral, Instituto de Geociências/USP, São Paulo.

cumulitic clinopyroxene and plagioclase) may have low Fe and Ti contents but should be distinguishable from para-amphibolites on the basis of other chemical elements in conjunction with field and petrographic evidence.

INTRODUÇÃO

Orto-anfibolitos são derivados do metamorfismo de rochas ígneas básicas, como basaltos, diabásios, gabros, dioritos, etc. Os para-anfibolitos correspondem essencialmente ao metamorfismo de misturas descarboxatadas de calcita e/ou dolomita com pelitos (metamargas).

Até a década de 1950 era comum a tentativa de distinguir orto- e para-anfibolitos através de critérios petrográficos e de campo, entre os quais destacavam-se o caráter acamadado e a íntima associação com meta-sedimentos típicos, para os últimos.

Vários artigos e os próprios livros-texto de petrografia dessa época destacavam tais diferenças. Assim (e.g., HEINRICH, 1956) os orto-anfibolitos teriam como características comuns a ocorrência de zoneamento normal em plagioclásios, texturas reliquárias ígneas, restos de piroxênios em núcleos de hornblendas, ausência geral de bandamento e relações discordantes (intrusivas) com rochas meta-sedimentares; enquanto os para-anfibolitos, além de poderem gradar lateralmente para meta-sedimentos, seriam algo mais quartzosos, teriam abundância de biotita e feldspato alcalino, presença de turmalina e um bandamento mineralógico pronunciado. As características químicas significativas do primeiro grupo seriam as concentrações relativamente altas de Ni, Cr, Sc, Co e Cu, ao passo que as do segundo teriam teores mais elevados de Pb, Ba, Mn e Au.

WILLIAMS et al. (1955), por sua vez, indicaram como características petrográficas dos anfibolitos orto-derivados a abundância equivalente de plagioclásio e hornblenda, ao passo que nos derivados de margas ou sedimentos tufaceos o plagioclásio seria menos abundante, além de maiores quantidades de quartzo e biotita. A presença de dióxido de vanádio em abundância e a ausência geral de granada seriam especialmente típicas do último grupo, assim como a presença conspicua de epidoto.

WILCOX & POLDEVAART (1958) sugeriram que o intercamadamento de anfibolitos com outros tipos litológicos e a falta de uniformidade nas bandas da hornblenda seriam características do tipo para-derivado, enquanto os orto-anfibolitos seriam mais homogêneos.

ORVILLE (1969) sugeriu que anfibolitos acamadados com rochas metassedimentares poderiam ser produzidos por diferenciação metamórfica, com redistribuição metassomática de material por reações químicas em um volume relativamente restrito de rocha. Neste caso, a composição e mineralogia da rocha encaixante adjacente às camadas anfibolíticas devem mostrar diferenças sistemáticas em relação com as encaixantes distantes destes anfibolitos. Este autor observou, também, que qualquer rocha composta

essencialmente de anfibólio e plagioclásio terá aproximadamente uma composição basáltica, independentemente de sua origem.

Anfibolitos que ocorram em uma seqüência litológica onde mármores ou rochas cálcio-silicatadas estão ausentes, tem pouca probabilidade de corresponderem a para-anfibolitos, visto que margas estão comumente associadas a carbonatos mais puros.

No entanto, as características petrográficas e associações litológicas, apesar de indicativas e sugestivas, nem sempre se mostram suficientes. A natureza ígnea ou sedimentar de uma camada ou veio estreitos em uma determinada seqüência litológica não pode ser extrapolada para o volume global da seqüência em estudo. Intercalações tectônicas entre rochas meta-sedimentares e ígneas ou mesmo relações embasamento/cobertura podem ser obscurecidas por deformações comuns em terrenos metamórficos de médio-alto grau, como transposições, dobramentos isoclinais e zonas de cisalhamento.

Desse modo, já desde os anos 60, tem-se procurado utilizar critérios geoquímicos como uma ferramenta auxiliar na distinção do caráter ígneo ou sedimentar primário dos anfibolitos.

GEOQUÍMICA DE ORTO- E PARA-ANFIBOLITOS

EVANS & LEAKE (1960) demonstraram, por comparação às características químicas dos diabásios do Karroo, que os anfibolitos de Connemara, na Irlanda, cujo caráter usualmente bandado e associação em campo a quartzitos e mármores sugeriam origem sedimentar, deveriam ser, antes do metamorfismo, intrusões, lavas ou tufos de composição basáltica. Para esses autores, processos tectônicos e metamórficos poderiam controlar a presença ou ausência de bandamento.

Alguns autores (e.g., EVANS & LEAKE, 1960; VAN de KAMP, 1968) sugeriram que as misturas carbonato-pelito, metamorfozadas, não teriam a mesma composição de rochas ígneas básicas, pois Al e K seriam muito elevados e Na e Fe deveriam ter teores mais baixos.

O problema da distinção química entre orto- e para-anfibolitos foi tratado detalhadamente por LEAKE (1964). Partindo da demonstração de que características como bandamento e associação a meta-sedimentos não são necessariamente distintas do caráter para-derivado, esse autor critica as tentativas anteriores de discriminação química sustentadas nessas premissas. Comenta ainda a dificuldade em se estabelecerem critérios diagnósticos distintivos baseados nas abundâncias de elementos, admitindo, todavia, que anfibolitos ricos em Cr, Ni e Ti e com valores baixos do parâmetro "k" de Niggli seriam quase certamente ígneos em origem, mas que os anfibolitos com baixos Cr, Ni e Ti e altos "k" poderiam ser orto- ou para-derivados.

Para LEAKE (1964) a classificação e distinção entre orto- e para-anfibolitos deveria basear-se não na concentração absoluta de elementos, mas na natureza das tendências

de variação das quantidades relativas dos elementos, em comparação com as tendências de rochas ígneas e sedimentares (basicamente misturas pelito-carbonato) conhecidas.

Dentre os vários diagramas propostos por LEAKE (1964), o que tem sido mais utilizado é o que confronta os parâmetros "c" e "mg" de Niggli, onde as tendências de anfibólitos orto-derivados são geralmente sub-horizontais e aproximam-se da tendência dos diabásios do Karroo, enquanto as tendências de para-anfibólitos são muito inclinadas a sub-verticais, dependendo do componente carbonático da mistura ser predominantemente dolomítico ou calcário, respectivamente.

Mais recentemente, GOKHALE & GOTHE (1978), a partir de uma análise estatística da composição de anfibólitos, concluíram que alguns elementos maiores poderiam ser utilizados na discriminação dos caracteres para- e orto-derivados e conceberam um diagrama que os distinguiria com base nos teores relativos de SiO_2 , FeO e Fe_2O_3 .

SHAW & KUDO (1965), por outro lado, adotaram um método de análise estatística para vários elementos em cada amostra, estabelecendo funções discriminantes envolvendo elementos traços e maiores (Cr, V, Ni, Co, Sc, Sr, Ba, Zr, TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , FeO , MnO , MgO , CaO , P_2O_5 e CO_2). O valor positivo ou negativo dessas funções, para cada amostra, definiria a condição orto- ou para-derivada. Tal método exige, portanto, a disponibilidade de análises de vários elementos, além de extensos cálculos.

FRASCÁ et al. (1987) observaram, para a região de Itaberaba (SP), a ocorrência de orto- e para-anfibólitos, com base em critérios macroscópicos e petrográficos, que foram investigados quimicamente. Essas duas seqüências, além de distinguirem-se bem nos diagramas "c" versus "mg" (LEAKE, 1964) e SiO_2 - FeO - Fe_2O_3 (GOKHALE & GOTHE, 1978), apresentaram tendências claramente distintas em diagramas de Harker e AFM, sendo que os para-anfibólitos eram relativamente empobrecidos em Ti, Na, Fe, Cu, Co, Ni, Cr e V e enriquecidos em Mg, Ca, K, F, Ba, Rb e Zr, comparados aos orto-anfibólitos.

MISRA (1971) sugeriu, para a distinção de orto- e para-metabasitos de alto grau, utilizar-se das variações no conteúdo de Ti versus a razão de enriquecimento de ferro ($F = \text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3 / \text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MgO}$), obtendo um diagrama com uma linha que separaria os campos dos orto- e para-anfibólitos. Outro diagrama proposto utiliza-se das variações de MnO e TiO_2 , definindo um campo para os orto-anfibólitos. Obtém-se uma discriminação bem razoável, embora haja uma superposição considerável em alguns casos.

PELOGGIA et al. (1990) mostraram, para os anfibólitos da região de Amparo (SP), através da utilização de análise de agrupamentos, que o conjunto de óxidos FeO - TiO_2 - MgO é o que melhor individualizaria os para-anfibólitos dessa região.

O DIAGRAMA FeO versus TiO_2

A utilização de Fe e Ti para a distinção química entre anfibólitos para- e orto-derivados parte da premissa que misturas carbonato-pelito teriam concentrações desses

elementos consideravelmente mais baixas que magmas básicos. Os teores de Fe e Ti em pelitos são geralmente baixos e em carbonatos as concentrações seriam praticamente negligíveis. Por outro lado, magmas básicos tem teores variáveis desses elementos, dependendo do ambiente tectônico que os teria gerado (e.g., CONDIE, 1985).

Inúmeros autores que se preocuparam com a diferenciação química entre anfibolitos já haviam percebido que para-anfibolitos eram sistematicamente mais pobres em Fe (e.g., EVANS & LEAKE, 1960; VAN de KAMP, 1968; MISRA, 1971; GOKHALE & GOTHE, 1978; FRASCÁ et al., 1987) e em Ti (e.g., WILCOX & POLDERVAART, 1958; WALKER et al., 1960; MISRA, 1971; FRASCÁ et al., 1987). Desse modo, a utilização desses elementos na distinção entre anfibolitos de origem ígnea ou sedimentar deveria ser avaliada.

Utilizando-se dados da literatura, principalmente os apresentados por vários dos autores citados anteriormente, além de dados inéditos (PELLOGIA, 1990), observa-se em um diagrama FeO^+ versus TiO_2 (Fig. 1) uma clara distinção entre para-anfibolitos que correspondem a misturas pelito-carbonatos e orto-anfibolitos. Meta-tufos básicos distribuem-se preferencialmente no campo dos orto-anfibolitos. No entanto, misturas de tufos básicos ou detritos de rochas básicas com carbonatos podem ter uma distribuição intermediária, com alguma superposição nos campos de para- e orto-anfibolitos. Por exemplo, no caso dos para-anfibolitos de VAN de KAMP (1968) observou-se alguns com características típicas de para-anfibolitos enquanto outros parecem ter um importante componente tufáceo envolvido, como indicado pelo próprio autor. No caso dos supostos para-anfibolitos estudado por HOLDHUS (1971), o próprio autor sugere que correspondessem a misturas de carbonatos com fragmentos de rochas básicas.

CONCLUSÕES

O diagrama FeO^+ versus TiO_2 mostra-se capaz de distinguir claramente orto-anfibolitos de para-anfibolitos originados de misturas pelito-carbonato. Estes para-anfibolitos distribuem-se em um campo restrito com teores de FeO^+ variando de cerca de 2 a 8% e TiO_2 de próximos a zero até por volta de 1%. Os orto-anfibolitos distribuem-se em um campo maior, refletindo os diferentes tipos de magmas básicos originais, mas geralmente com teores de FeO^+ e TiO_2 mais elevados.

Poderá haver alguma superposição quando nos "para-anfibolitos" houver importante contribuição tufácea básica e/ou de fragmentos de rochas básicas.

Recentemente (FRASCÁ et al., 1990; CAMPOS NETO et al., 1990) foram descritos anfibolitos que têm composições algo fora do comum, com teores baixos de Fe e Ti e que no diagrama c versus mg (LEAKE, 1964) poderiam ser interpretados como para-anfibolitos. Contudo, algumas destas rochas tinham evidências de campo e petrográficas sugestivas de origem ígnea. Além disso, demonstravam algumas características químicas como, por exemplo, teores muito elevados de Cr, sugestivas de processos de acumulação de cristais de

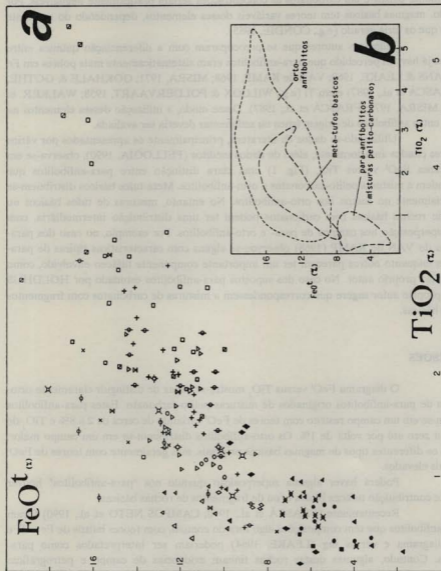


Figura 1 - a) Diagrama TiO_2 versus FeO^{I} (ferro total expresso como FeO^{I}) em peso %, de vários para- e orto-amfibolitos, descritos abaixo; b) mesmo diagrama discriminando os campos de para- e orto-amfibolitos. Observe-se que metatufos têm composições parecidas com as de orto-amfibolitos, como seria de se esperar.

Simbologia

- ▲ para-anfibolitos (SHAW & KUDO, 1965)
- ✖ para-anfibolitos (VAN de KAMP, 1968)
- para-anfibolitos de Itaberaba (FRASCÁ et al., 1987)
- supostos para-anfibolitos de Amparo (BASEI et al., 1986)
- ◆ supostos para-anfibolitos (HOLDHUS, 1971)
- ◊ supostos para-anfibolitos de Langoy (HEIER, 1962), considerados orto-anfibolitos por LEAKE (1964)
- meta-diabásios e orto-anfibolitos de Bakersville-Roan (WILCOX & POLDERVAART, 1958)
- ⊠ orto-anfibolitos de Langoy (HEIER, 1962)
- ⊞ orto-anfibolitos (SHAW & KUDO, 1965)
- △ orto-anfibolitos (GOKHALE & GOTHE, 1978)
- ⊕ meta-ígneas básicas de Itaberaba (FRASCÁ et al., 1987)
- ▲ anfibolitos homogêneos de Arcadas (PELOGGIA, 1990)
- ⋈ granada-anfibolitos intercalados a ortognaisses (PELOGGIA, 1990)
- ▽ prováveis orto-anfibolitos (VAN de KAMP, 1968)
- orto-anfibolitos de Amparo (BASEI et al., 1986)
- ⊕ anfibolitos bandados de Connemara (EVANS & LEAKE, 1960), supostos orto-anfibolitos
- + supostos meta-tufos (VAN de KAMP, 1968)
- × meta-tufos básicos de Itaberaba (FRASCÁ et al., 1987)

clinopiroxênio e plagioclásio. Desse modo, rochas ígneas básicas cumulativas podem ser eventualmente confundidas com para-ambolitos, necessitando um maior detalhamento de sua geoquímica, principalmente de elementos traços, e atenção para evidências de campo e petrográficas.

O diagrama discriminante aqui proposto poderá ser utilizado como uma primeira aproximação na caracterização da origem de ambolitos, em virtude de não necessitar nem de análises completas nem de um número elevado de amostras. Contudo, os autores sugerem que ele seja aplicado em conjunto com outros diagramas discriminantes sugeridos na bibliografia (e.g., diagrama c vs. mg de LEAKE, 1964; diagrama $\text{SiO}_2\text{-FeO-Fe}_2\text{O}_3$ de GOKHALE & GOTHE, 1978) e com as evidências de campo e petrográficas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BASEI, M.A.S.; CAMPOS NETO, M.C.; BERGMANN, M.; FIGUEIREDO, M.C.H. (1986) *Geologia da Folha Amparo*, 1:50.000. São Paulo, IG-USP/Pró-Minério. 109p. (Relatório, Convênio IG-USP/Pró-Minério).
- CAMPOS NETO, M.C.; BERGMANN, M.; SIGA Jr., O.; FIGUEIREDO, M.C.H. (1990) *Geologia da Folha Pilar do Sul*, 1:25.000. São Paulo, IG-USP/Pró-Minério. 161p. (Relatório IG-USP/Pró-Minério).
- CONDIE, K.C. (1985) Secular variation in the composition of basalts: an index to mantle evolution. *Journal of Petrology*, 26(3):545-563.
- EVANS, B.W. & LEAKE, B.E. (1960) The composition and origin of the striped amphibolites of Connemara, Ireland. *Journal of Petrology*, 1(3):337-363.
- FRASCÁ, M.H.B.O.; COUTINHO, J.M.V.; RODRIGUES, E.P.; FIGUEIREDO, M.C.H.; YAMAMOTO, J.K.; ZAINE, J.E.; BRAGA, T.O. (1987) Estudo petrográfico-litoquímico da seqüência vulcano-sedimentar de Itaberaba-SP. In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOLOGIA, 6., Rio Claro, 1987. *Atas*. Rio Claro, SBG. V.1, p.63-81.
- FRASCÁ, M.H.B.O.; FIGUEIREDO, M.C.H.; ALMEIDA, M.A.; COUTINHO, J.M.V. (1990) Petrografia e geoquímica da Formação Água Clara - região de Araçuaia, SP. *Boletim IG-USP, Série Científica*, 21:73-92.
- GOKHALE, N.W. & GOTHE, N.N. (1978) Chemical distinction of amphibolites. *Journal of the Geological Society of India*, 19(8):376-379.

- HEIER, K.S. (1962) The possible origins of Amphibolites in an area of high metamorphic grade. *Norsk Geologisk Tidsskrift*, 42:157-165.
- HEINRICH, E.W. (1956) *Microscopic petrography*. New York, McGraw-Hill. 296p.
- HOLDHUS, S.(1971) Para-amphibolites from Gurskoy and Sandsoy, Summore, West Norway. *Norsk Geologisk Tidsskrift*, 51:231-246.
- LEAKE, B.E. (1964) The chemical distinction between ortho- and para-amphibolites. *Journal of Petrology*, 5(2):238-254.
- MISRA, S.N. (1971) Chemical distinction of high-grade ortho- and para-metabasites. *Norsk Geologisk Tidsskrift*, 51:311-316.
- ORVILLE, P.M. (1969) A model for metamorphic differentiation origin of thin-layered amphibolites. *American Journal of Science*, 267:64-86.
- PELOGGIA, A.U.G. (1990) *A Faixa Alto Rio Grande na região de Amparo (SP)*. São Paulo, 124p. (Dissertação de Mestrado - Instituto de Geociências/USP).
- PELOGGIA, A.U.G.; TAKIYA, H.; LANDIM, P.M.B. (1990) Aplicação de análise de agrupamento às características químicas das rochas anfíbolíticas da região de Amparo (SP). In: SIMPÓSIO DE QUANTIFICAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS, 4., Rio Claro, 1990. *Boletim de Resumos*. Rio Claro, UNESP. 51p.
- SHAW, D.M. & KUDO, A.M. (1965) A test of the discriminant function in the amphibolite problem. *Mineralogical Magazine*, 34:423-435.
- VAN DE KAMP, P.C. (1968) Geochemistry and origin of metasediments in the Haliburton-Madoc area, southeastern Ontario. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 5:1337-1370.
- WALKER, K.R.; JOPLIN, G.A.; LOVERING, J.F.; GREEN, R. (1960) Metamorphic and metasomatic convergence of basic igneous rocks and lime magnesia sediments of Precambrian of north-western Queensland. *Geological Society of Australia*, 6:149-178.
- WILCOX, R.E. & POLDEVAART, A. (1958) Metadolerite dike swarm in Bakersville - Roan mountain area, north Carolina. *Bulletin of the Geological Society of America*, 69:1323-1368.

WILLIAMS, H.; TURNER, F.J.; GILBERT, C.N. (1955) Petrography: an introduction to the study of rocks in thin sections. San Francisco, W.H.Freeman. 406p.

HEINRICH, E.W. (1955) *Micropetrography*. New York, McGraw-Hill, 70pp.

HOLMÖ, B. (1971) *Four-empirical formulae for oxides from chemistry and X-ray fluorescence*. *Journal of Petrology*, 12(1): 21-26.

LEAKE, B.E. (1964) *The chemical distinction between ortho- and para-amphiboles*. *Journal of Petrology*, 5(2): 204-224.

MIRKA, Z.N. (1971) *Chemical distinction of high-grade ortho- and para-amphiboles*. *Journal of Petrology*, 12(1): 27-34.

ORVILLE, P.M. (1969) *A study of metamorphic differentiation origin of amphiboles*. *American Journal of Science*, 267: 64-88.

PELLOTTA, A.U.G. (1974) *A Tabela das Rochas e Minerais do Estado de Alagoas* (2ª ed.). São Paulo: 124p. (Instituto de Mineração - Instituto de Geociências/USP).

PELLOTTA, A.U.G., TAKAYAMA, H., LARSEN, P.M.B. (1974) *Aplicação de análise de espectroscopia de raios catódicos para a identificação de rochas metamórficas do Estado de Alagoas*. (2ª ed.). *INFORMAÇÃO DE QUANTIFICAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS*, 1, Rio Claro, 1970. Instituto de Mineração, Rio Claro, 102pp. 21p.

SHAW, D.M. & KLING, A.M. (1965) *A test of the discriminant function in the amphiboles*. *Journal of Petrology*, 6: 422-425.

VAN DE KAMP, P.C. (1962) *Composition and origin of metamorphoses in the Highlands*. *Mineralogical Magazine*, 28: 127-137.

WALKER, R.T., JONES, G.A., LOVING, P., ORRIS, R. (1970) *Metamorphic and mineralogical characteristics of basic igneous rocks and their associated schists in the Precambrian of north-western Queensland*. *Geological Survey of Australia*, 41: 14-17.

WILSON, R.B. & POIDEVAERT, A. (1951) *Mineralogical characteristics of basic igneous rocks*. *Canadian Journal of the Geological Society of America*, 52: 123-128.

Recebido em 28/01/1991.
Aprovado em 25/02/1991.