

GEOQUÍMICA DE ELEMENTOS TRACO EM ROCHAS METAPELÍTICAS DA REGIÃO DO MÉDIO RIO DOCE, MINAS GERAIS

J.H. Grossi Sad
GEOSOL - Geologia e Sondagens Ltda.

ABSTRACT - Representatives samples of schists and gneisses, which was metamorphosed in the sillimanite isograd, have been submitted to spectrographic analyses for trace-elements. The concentrations and standart deviation (in ppm) are: Be : 6,25 (3,6); Sc : 29 (12); Ti : 5714 (2102); V : 111,5 (29); Cr : 118 (78); Co : 17 (11); Ni : 44 (25); Cu : 24 (22); Ga : 30 (20); Sr : 134 (70); Y : 51 (21); Zr : 241 (69); Nb : 24 (9); Mo : 4,4 (1,2); Sn : 11,5 (6); Ba : 601 (314); La : 112 (27); Pb : 54 (58).

The statistic error in the determination of the average concentrations is less than 15% for Ti, V, Zr, Mo and La, between 15% and 25% for Be, Sc, Ni, Sr, Y, Nb, Sn and Ba. The error for Cr, Co and Ga is between 25% and 30%. Cu and Pb show error near 40%. The figures indicate slight variations in the original composition of the rocks, which seems to be typical of a graywacke geosinclinal association. The results show a very large similarity with the world average for "shales", in relation to Ba, Cr, Co, Nb, Ti, V, Zr. For La, Ca, Pb, Mo, Sn, Sc, Be and Y the results are quite greater, while for Cu, Ni and Sr are smaller.

There is good positive correlation between Ba-La, Ba-Sr, Be-Mo, Be-Sn, Y-Nb, Cu-Sn, Ca-Ba and Ca-La. As the elements La, Ca, Mo, etc. show high values in relation to the known concentration levels in pelitic rocks, and considering the correlation between them, we believe that a metasomatism process took place in the region, with introduction of that elements, from intrusive granitic rocks.

INTRODUÇÃO

A sequência de rochas metapelíticas que ocorre na região do Médio Rio Doce, em Minas Gerais, compõe um pacote bem exposto e de grande importância econômica, pois é a hospedeira de pegmatitos graníticos férteis, mineralizados em berilo, feldspato, moscovita, turmalina, água marinha, etc. É óbvio que todos os caracteres geológicos, estruturais e petrográficos destas rochas são de interesse, na medida que podem atuar como controles da mineralização pegmatítica. Até o momento tais rochas não foram estudadas regionalmente, destacando-se apenas o trabalho de Licínio Barbosa *et al.* (1964), em parte do Médio Rio Doce, compreendendo as folhas Barra do Cuieté e Conselheiro Pena (cerca de 1450 km²), cartografadas na escala 1/40.000 (Fig. 1). Decorridas quase duas décadas, o único avanço do conhecimento geológico regional é o mapeamento executado pela CPRM para o DNPM (escala 1/250.000), no chamado Projeto Jequitinhonha. Tal escala de trabalho não permitiu ampliar o conhecimento geológico dos metapelitos, nem aprimorou os dados disponíveis sobre os controles de mineralização dos pegmatitos.

Os metapelitos são as rochas regionais mais antigas do Médio Rio Doce. Suas relações de contato com outras sequências regionais são mal conhecidas. Sabe-se que são limitadas a ocidente por charnockitos e granulitos do cinturão que ocorre na divisa Minas - Espírito Santo; a oriente, rochas do geossinclinal Espinhaço servem como limite. Os charnockitos e granulitos da região de Juiz de Fora - Leopoldina avançam para o Médio Rio Doce, até as proximidades de Governador Valadares; estas rochas são envolvidas a oeste, norte e leste pelos metapelitos. O contato de leste é marcado pela presença de intrusiva granitóide (Tonálito Caillóia) entre os metapelitos e as rochas da fácies granulítica. O contato a oeste e norte não foi ainda investigado.

Em linhas gerais esta é a situação de conhecimento da geologia regional de vasta área do Estado de Minas Gerais, abrangendo cerca de 40.000 km².

No presente trabalho o autor discute a geoquímica dos elementos traço dos metapelitos, nas folhas Barra do Cuieté e Conselheiro Pena; os dados apresentados poderão eventualmente, ser usados como base para futuras comparações, quando se dispuser de trabalhos regionais em escala adequada.

GEOLOGIA DOS METAPELITOS

As rochas metapelíticas da região do Médio Rio Doce (Fig. 1) pertencem a quatro formações, a saber, Tumiritinga, Palmital do Sul, São Tomé e Córrego do Funil, isoladas entre si por massas de uma rocha plutônica denominada Tonalito Galiléia (Licínio Barbosa *et al.*, 1964); por isto não é possível estabelecer com certeza seu empilhamento estratigráfico. As formações Tumiritinga e São Tomé ocorrem como sinformes com eixo voltado aproximadamente para o meridiano; as dobras em escala menor, associadas a estes sinformes são relativamente apertadas; a Formação Córrego do Funil compõe massas mais ou menos isoladas, alongadas e verticalizadas, no interior do tonalito, enquanto a Formação Palmital do Sul compõe a base de um pacote coroado por quartzitos relativamente finos e puros (Formação Crenaque) e mostra-se amplamente migmatizada. A Formação Tumiritinga é formada essencialmente por anfibólio gnaiss e biotita xisto com algum quartzito impuro e mármore calcítico. A Formação São Tomé compõe-se de xisto gnaissóide e gnaiss xistoso de caráter grauvaquiano, enquanto a Formação Córrego do Funil contém anfibólio gnaiss e biotita xisto, além de conglomerado polimictico e é fortemente granitizada. A Formação Palmital do Sul é formada por migmatitos derivados de anfibólio gnaiss, biotita xisto e algum quartzito impuro, em geral migmatizados. As formações São Tomé (em especial) e Palmital do Sul são as unidades preferidas pelos pegmatitos férteis, para sua localização.

O autor acredita, mas não pode demonstrar, que as unidades mencionadas originaram-se durante um mesmo ciclo sedimentar e seu empilhamento estratigráfico, não se considerando possíveis mudanças de facies é: Córrego do Funil, Palmital do Sul, Crenaque, Tumiritinga e São Tomé.

A paragênese mineral dos metapelitos descrita por Licínio Barbosa *et al.* (op. cit.) indica que foi atingida a isógrada da sillimanita durante o metamorfismo regional.

GEOQUÍMICA DOS METAPELITOS

Os dados analíticos relacionados aos metapelitos do Médio Rio Doce foram apresentados por Dutra e Grossi Sad (*apud* Licínio Barbosa *et al.*, 1964). Foram analisados por espectrografia ótica os seguintes elementos: Be, Sc, Ti, V, Cr, Co, Ni, Cu, Ga, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Sn, Ba, La e Pb. Trabalhou-se com 22 amostras de rochas xistosas das formações Córrego do Funil, Palmital do Sul, Tumiritinga e São Tomé, evitando-se a coleta nas proximidades de contato com intrusivas e em áreas migmatizadas. As médias para cada unidade foram apresentadas por Dutra & Grossi Sad (op. citado) e foram obtidas para todos os elementos considerados. Na Tabela 1 são apresentados os valores médios para o conjunto de metapelitos, os desvios padrão e o erro na determinação da média (para probabilidade de 95%, expressado em percentagem).

No trabalho de Dutra & Grossi Sad (op. citado) consta o relato do método usado, os resultados obtidos, a precisão analítica e algumas comparações, por sequência. No presente trabalho os metapelitos são tratados como uma sequência metassedimentar única, pois que os valores médios obtidos por unidade, não apresentam diferenças significativas; por outro lado, a faixa de variação dos conteúdos individuais é semelhante para todas as unidades.

Os resultados analíticos da Tabela 1 são apresentados em valores arredondados, segundo prática corrente. Não se procedeu a teste estatístico rigoroso para a verificação da lei de distribuição. Um teste gráfico (não apresentado) indica distribuição segundo a lei gaussiana.

Na Fig. 2 são mostrados graficamente os valores médios obtidos e a faixa de variação por elemento analisado, que também pode ser apreciada a partir dos valores dos desvios padrão indicados na Tabela 1. Os erros na determinação das médias variam de 10 a 15% para Ti, V, Zr, Mo e La, de 15 a 20% para Sc, Y e Nb, de 20 a 25% para Be, Ni, Sr, Sn e Ba, de 25% a 30% para Cr, Co e Ga e de 40 a 46% para Cu e Pb. Os resultados

obtidos são considerados, a partir dos valores calculados para o erro, como representativos das rochas investigadas. Quando se considera os intervalos de confiança, para 95% de probabilidade (Fig. 3) nota-se que são pequenos em geral e para aqueles que exibem erros superiores a 25% na determinação da média nota-se: o Cr fornece valor médio de 118 ppm (intervalo de confiança 88 e 147), o Co tem valor médio 17 ppm (intervalo 13 e 21), o Ga tem valor médio 30 ppm (intervalo 23 e 37,5), o Cu tem valor médio 24 ppm (intervalo 15 e 30) e o Pb, valor médio 54 ppm (intervalo 32 e 76). Isto significa, por exemplo, que se metapelitos contêm uma média de 17 ppm de Co, não seria inesperado que algumas amostras pudessem conter o triplo deste valor. Ao contrário, se metapelitos contêm valor médio de 54 ppm de Cu, seria inesperado que algumas amostras contivessem 540 ppm, pois todas as rochas, independentemente de origem, são função de leis termodinâmicas que são efetivas dentro de certos limites. No nosso caso, a probabilidade de variações puramente aleatórias parece eliminada, a partir dos dados obtidos.

COMPARAÇÕES

Um aspecto importante a considerar, quando se processam comparações a nível preliminar, é verificar se nossas rochas são mais ricas ou menos ricas nos elementos analisados, quando comparadas com médias mundiais. Parece natural, então, compará-las com o "folhelho médio" (ver Tabela 2), segundo dados de Vinogradov (1962). Os resultados para o folhelho médio foram calculados a partir de análises de argilas e folhelhos, não incluindo argilas abissais. O fator de enriquecimento indicado na Tabela 2 expressa um valor que indica se o elemento está concentrado ou diluído em nossas rochas, quando comparado com o folhelho médio. Para o titânio, vanádio, cromo, cobalto, zircônio, nióbio e bário não há variações que mereçam comentários. Para o berilo, escândio, gálio, ítrio, molibdênio, estanho, lantânio e chumbo o fator de enriquecimento é elevado. No caso do níquel, cobre e estrôncio há acentuado empobrecimento.

Dos elementos enriquecidos, o berilo, o escândio, o ítrio, o molibdênio, o estanho e o lantânio podem ter sido introduzidos metassomaticamente a partir de fluidos residuais emanados durante a cristalização do Tonalito Galiléia. Uma forte evidência favorecendo tal hipótese é oferecida pelos conteúdos médios destes elementos no tonalito obtidos em 49 espécimes analisados: Be : 4,45 (1,97); Sc : 30 (15,8), Y : 47 (25,8), Mo : 4,3 (1,0), Sn : 11 (4,3) e La : 103 (56,9). Os valores entre parêntesis expressam o desvio padrão. Exceto para o berilo, os resultados são idênticos aos dos metapelitos.

Os resultados para gálio e chumbo nos metapelitos não são simples de explicar. No caso do gálio, considera-se existir maior riqueza do elemento em folhelhos continentais que em folhelhos marinhos (Keith & Degens, 1959). Para o chumbo não há dados disponíveis. O gálio apresenta boa correlação (ver adiante) positiva com o Sn (0,44), Ba (0,52), La (0,52), enquanto o chumbo não apresenta correlação significativa para nenhum dos elementos que mostram enriquecimento.

Os elementos que se mostram empobrecidos (Ni, Cu e Sr), contrariam as regras conhecidas de concentração em sedimentos; assim, sedimentos de granulação mais fina são mais ricos em metais que outros sedimentos; por outro lado, reações de oxidação e redução e reações com matéria orgânica são também fatores de importância.

RELAÇÕES ENTRE ELEMENTOS

Devido à peculiaridades cristalquímicas, certos elementos mostram correlação entre si. Na Tabela 3, diversos valores de coeficientes de correlação são apresentados.

Os valores mais elevados para a correlação foram obtidos para os pares Be - Sn, Be - Mo, Ga - Ba e Ga - La. Estes elementos aparentemente, mostram-se enriquecidos por metassomatismo, conforme já se comentou, a partir de fluidos residuais de cristalização de rochas ácidas ígneas, que são enriquecidos nestes elementos. Em princípio, a boa correlação entre os mesmos pode ser explicada deste modo. Para os pares restantes, com valores moderados para o coeficiente de correlação, os resultados são os que teoricamente deveríamos esperar; assim, por exemplo, rochas mais ricas em vanádio, são também mais ricas em níquel, cobre e cromo. O níquel mostra correlação positiva com Cr (0,34) e V (0,22); o cobre com V (0,30) e o estrôncio com Ba (0,40). O cromo, o vaná-

... e o bário mostram teores "normais" em nossas rochas e o níquel, o cobre e o estanho são empobrecidos, contudo. Não há uma explicação para os resultados obtidos.

Um dado que pode ser tentativamente utilizado em futuros estudos dos metapelitos da região investigada é a razão entre certos elementos. Por exemplo, em rochas ricas as razões Ba/Sr, K/Sr, K/Rb, etc são importantes. No nosso caso, parece conveniente estabelecer apenas aquelas razões entre elementos que mostram valores significativos de correlação. Para os pares de elementos da Tabela 3 tem-se as seguintes razões:

Par	Razão
Ba/La	5,36
Ba/Sr	4,48
Be/Mo	1,42
Be/Sn	0,54
Y / Nb	2,12
Ga/Sn	2,60
Ga/Ba	0,04
Ga/La	0,26

Desta lista, apenas o Ba e Nb têm concentração "normal"; La, Be, Mo, Sn, Y, Ga correm com teores muito elevados. O Sr tem valor médio muito baixo. Isto significa que as razões obtidas só poderão ser consideradas "representativas" para os metapelitos do Médio Rio Doce. Assim, a razão 5,36 obtida para Ba/La é muito baixa, quando comparada com a mesma razão em pelitos (ou metapelitos) "normais". Para o folhelho médio da Tabela 2, o valor Ba/La é 14,5. O mesmo pode ser dito em relação às relações Ba/Sr, Be/Mo, etc.

Com a compilação do conhecimento sobre as rochas metapelíticas do Médio Rio Doce será possível determinar se as relações estabelecidas são corretas. Por outro lado, se regionalmente os conteúdos médios e as relações entre elementos traço persistirem, a hipótese de enriquecimento metassomático não poderá ser sustentada.

CONCLUSÕES

1. Os conteúdos médios em rochas metapelíticas do Médio Rio Doce correspondem a valores usualmente encontrados em pelitos, para os seguintes elementos: Ti, V, Cr, Co, Zr, Nb e Ba. Nossas rochas são ricas em Be, Sc, Ga, Y, Mo, Sn, La e Pb e pobres em Ni, Cu e Sr. A maior riqueza nos elementos enunciados pode ser atribuída a enriquecimento metassomático, através da ação de rocha granitóide intrusiva. Não se conhece a causa do empobrecimento em certos elementos. É possível que reflita a composição da área fonte.

2. Os resultados obtidos indicam que as rochas metapelíticas podem ter se originado a partir de um embasamento granito-gnássico cuja composição química média corresponde a de um granodiorito. Isto significa que os conteúdos médios obtidos refletem a geoquímica de elementos traço de antigos sedimentos grauvaquianos, metamorfoseados e transformados em rochas xistosas e gnássoides.

BIBLIOGRAFIA

Barbosa, A. Lícínio M., Grasi Sad, J.H., Torres, N. & Vaz de Melo, M.T. (1964). Geologia das quadrículas de Barra do Cuieté e Conselheiro Pena, Minas Gerais. Relatório GEOSOL para DNPM. Belo Horizonte.

Turekian, K.K. & Wedepohl, K.H. (1961). Distribution of the elements in some major units of the earth's crust. Geol. Soc. Am. Bull., 72.

Vinogradov, A.P. (1962). Sredniya soderzhaniya khimicheskikh elementov glavnikh tipakh izverzhennykh gornyykh porod zemnoi kory. Geokhimiya, 1962.

Tabela 1. Conteúdos médios em elementos traços, com respectivos valores de desvios padrão, de rochas metapelíticas. (\bar{x} : valor médio; s: desvio padrão; n: número de determinações; e: erro percentual).

	\bar{x}	s	n	e
Be	6,25	3,6	21	25
Sc	29	12	21	18
Ti	571	2102	22	15
V	111,5	29	22	11
Cr	118	78	21	28
Co	17	11	22	27
Ni	44	25	22	24
Cu	24	22	19	41
Ga	30	20	22	28
Sr	134	70	20	23
Y	51	21	22	18
Zr	241	69	22	12
Nb	24	9	22	16
Mo	4,4	1,2	20	12
Sn	11,5	6	21	22
Ba	601	314	20	23
La	112	27	15	12
Pb	54	58	21	46

Tabela 2. Comparação entre os conteúdos médios nos metapelitos do Médio Rio Doce e o "folhelho médio" de Vinogradov (1962); valores em asterisco segundo Turekian & Wedephol, 1961.

	1	2	Fator de enriquecimento
Be	6,25	3	2,1
Sc	29	10	2,9
Ti	5714	4500	1,3
V	111,5	130	0,8
Cr	118	100	1,2
Co	17	20	0,8
Ni	44	95	0,5
Cu	24	57	0,4
Ga	30	19*	1,6
Sr	134	450	0,3
Y	51	26	1,9
Zr	241	200	1,2
Nb	24	20	1,2
Mo	4,40	2	2,2
Sn	11,50	6*	1,9
Ba	601	580*	1,0
La	112	40	2,8
Pb	54	20	2,7

Tabela 3. Correlação entre elementos nos metapelitos (os pares assinalados com asterisco apresentam valores de coeficiente não significativos).

V - Ni*	0,22
V - Cu*	0,30
V - Cr*	0,26
V - Sr*	-0,35
Ba - La	0,48
Ba - Sr	0,40
Be - Mo	0,52
Be - Sn	0,62
Y - Nb	0,39
Ni - Cr*	0,34
Zr - La*	0,32
Mo - Sn	0,37
Ga - Zr*	0,22
Ga - Sn	0,44
Ga - Ba	0,52
Ga - La	0,53

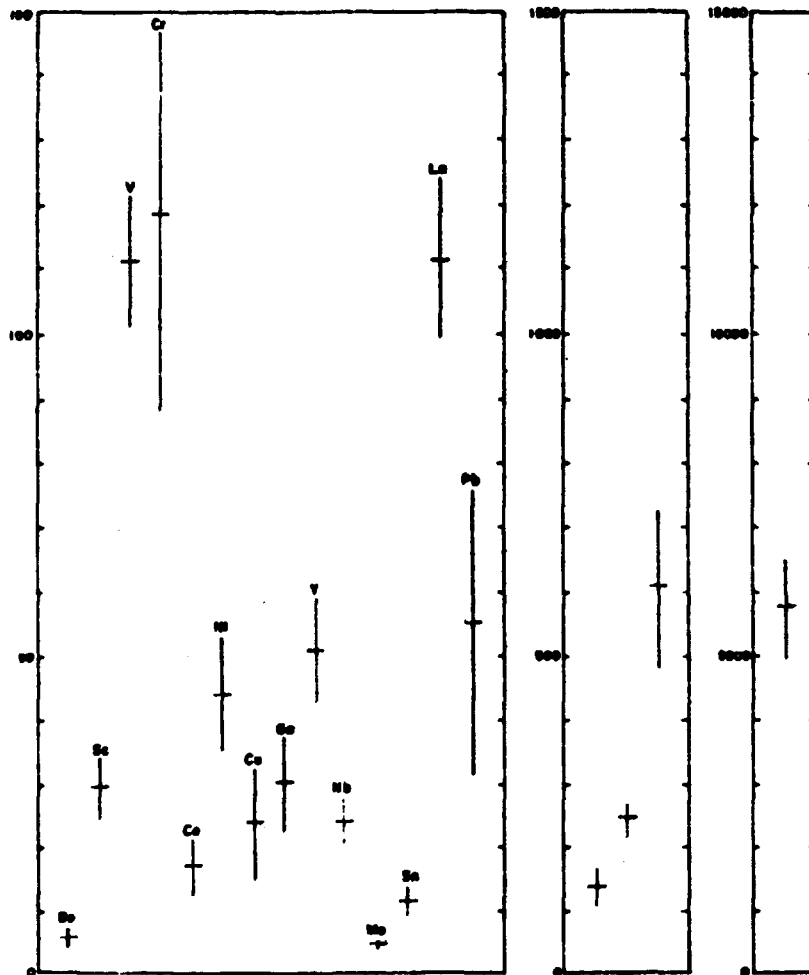


Fig 3 - Intervalo de confiança (teste de Student) dos conteúdos de metapelitos. O traço vertical indica o valor médio para o elemento.