

MARTIM PORTUGAL V. FERREIRA
Coordenação

A Geologia de Engenharia e os Recursos Geológicos

VOL. 2 • RECURSOS GEOLÓGICOS E FORMAÇÃO



Coimbra • Imprensa da Universidade

EXPLORAÇÕES DE SERPENTINITO, TALCO E ASBESTO TREMOLÍTICO NO NORDESTE DE PORTUGAL

R. J. S. TEIXEIRA¹, A. M. R. NEIVA² e M. E. P. GOMES¹

PALAVRAS-CHAVE: serpentinito, talco, asbestos anfíbólicos, maciços de Bragança e Morais.

KEY WORDS: Serpentine, talc, amphibole asbestos, Bragança and Morais massifs.

RESUMO

No maciço de Bragança, exploram-se o serpentinito de Donai como rocha ornamental e o talco de Sete Fontes e Soeira, estando desactivadas a exploração de talco e asbesto tremolítico de Pena Maquieira. No maciço de Morais, explora-se, de forma descontínua, talco na região de Vale da Porca. Em Donai, distinguem-se três graus crescentes de serpentinização, que são acompanhados de enriquecimento progressivo em volume, massa, SiO_2 , $\text{H}_2\text{O}+$ e Cu e empobrecimento progressivo em Al_2O_3 e Zn. Neste serpentinito existe antigorite, lizardite, penina, talco, breunerite, dolomite, espinelas cromíferas, magnetite e pentlandite, mas tremolite, materiais de alteração com características ópticas intermédias entre crisólito e lizardite e pirrotite existem apenas nas amostras que contêm crisólito. Em Sete Fontes e Soeira distinguem-se talcoxistos e esteatitos, em Pena Maquieira ocorrem esteatitos, enquanto em Vale da Porca predominam talcoxistos. Além de talco, estas rochas esteatíticas contêm penina, breunerite, dolomite, magnetite cromífera, magnetite, pentlandite, milerite, siegenite, pirite, calcopirite e ilmenite. A esteatização dos serpentinitos é acompanhada de aumento em volume, massa,

¹ Departamento de Geologia da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Apartado 1013, 5000-911 Vila Real, Portugal.

² Departamento de Ciências da terra da Universidade de Coimbra, 3000-272 Coimbra, Portugal.

SiO₂ e Ge e perdas de Be e Cs. Os asbestos de Pena Maqueira são tremolíticos e estão associados a serpentinitos, enquanto em Mourisqueiro são actinolíticos, ocorrendo em zonas mistas com rochas esteatíticas intensamente deformadas.

ABSTRACT: Exploitations of serpentinite, talc and tremolite asbestos in northeastern Portugal

In Bragança massif, Donai serpentinite and talc from Sete Fontes and Soeira are being exploited, whereas Pena Maqueira talc and tremolite asbestos exploitations are closed down. Talc is also exploited at Vale da Porca area, in the Morais massif. At Donai, three increasing degrees of serpentinization are distinguished and accompanied by progressive increases in SiO₂, H₂O+, Cu and progressive decreases in Al₂O₃ and Zn. Donai serpentinite contains antigorite, lizardite, penninite, talc, breunerite, dolomite, chromian spinels, magnetite and pentlandite, but tremolite, alteration products with intermediate optical properties between those of chrysolite and lizardite and also pyrrhotite were also found in samples containing chrysolite. At Sete Fontes and Soeira, there are talc schists and steatites, at Pena Maqueira steatites occur, while at Vale da Porca talc schists dominate. Steatitic rocks contain mainly talc, but penninite, breunerite, dolomite, chromian magnetite, magnetite, pentlandite, millerite, siegenite, pyrite, chalcopyrite and ilmenite were also found. Steatization of serpentinites is accompanied by increase in mass, volume, SiO₂, Ge and decrease in Be, Cs at the four localities. At Pena Maqueira, tremolite asbestos fill faults cutting serpentinite. At Mourisqueiro, actinolite asbestos occurs in mixed zones with highly deformed steatitic rocks.

INTRODUÇÃO

O Prof. Doutor J. M. Cotelo Neiva foi pioneiro na realização de estudos geológicos em Trás-os-Montes Oriental, particularmente na região de Bragança-Vinhais, efectuando também importantes estudos petrográficos e geoquímicos das rochas e minérios aí existentes (COTELO NEIVA, 1946, 1948a, 1948b, 1949). Com esses trabalhos foram inventariados inúmeros locais com elevado interesse económico, sendo alguns, posteriormente, explorados pela indústria extractiva. Actualmente, a pedreira do serpentinito de Donai e as minas de talco de Sete Fontes e Soeira, na região de Bragança, são exemplos de explorações com actividade regular, enquanto as minas de talco de Vale da Porca e Mourisqueiro, na região

de Macedo de Cavaleiros, estão activas embora de forma descontínua. Na região de Bragança, encontra-se por explorar o talco da concessão de Pena Maquieira, que foi a única no Nordeste de Portugal com alvará para exploração de asbesto, tendo havido trabalhos mineiros no passado.

O serpentinito de Donai é uma rocha ornamental comercializada com a designação “Verde Donai” (CASAL MOURA e MARTINS, 1983), sendo utilizada de várias formas na construção civil. Devido à sua beleza característica e rara, esta rocha também tem sido utilizada na construção de monumentos (nomeadamente na Câmara Municipal de Bragança) e estátuas.

O talco nacional é geralmente utilizado na indústria da cerâmica, em fertilizantes e em rações para animais. Devido às suas características, este talco dificilmente é aplicado na indústria do papel, nas indústrias de cosmética e farmacêutica e nas indústrias de tintas, plásticos e borrachas.

Apesar das propriedades do asbesto tremolítico de Pena Maquieira permitirem múltiplas utilizações industriais (é incombustível, muito resistente aos ácidos, mau condutor de electricidade, tem fraca condutibilidade calorífica, poroso em camadas apertadas), o seu fraco valor económico quando comparado com o asbesto crisotílico (com excelentes propriedades têxteis), as pequenas concentrações de asbesto na região (COTELO NEIVA, 1948a) e, principalmente, a proibição definitiva da sua utilização, inviabilizaram a sua exploração.

Para compreender a dimensão do impacte ambiental de cada exploração durante e após a fase extractiva, realizaram-se levantamentos geológicos de pormenor e estudos petrográficos e geoquímicos dos materiais explorados (TEIXEIRA, 2000). Neste trabalho apresenta-se uma síntese dos dados geoquímicos que melhor permitem entender os processos envolvidos na génese desses materiais.

ENQUADRAMENTO GEOLÓGICO

Os locais estudados enquadram-se, geologicamente, nos maciços de Bragança e Morais. No maciço de Bragança, a pedreira do serpentinito de Donai, as minas de talco de Sete Fontes e Soeira e a concessão de talco e asbesto tremolítico de Pena Maquieira situam-se em formações metaperidotíticas do Complexo Alóctone Intermédio, apresentando-se sempre serpentinizadas e esteatizadas, especialmente em zonas afectadas pelos principais acidentes tectónicos, cuja orientação preferencial é NW-SE, NE-SW e E-W (MEIRELES, 2000). No maciço de Morais, as explorações de talco de Vale da Porca e Mourisqueiro localizam-se ao longo de um importante acidente tectónico (carreamento de Vale da Porca), através do qual o Complexo Alóctone Superior se sobrepõe a formações do Complexo Alóctone Inferior (RIBEIRO *et al.* 1990).

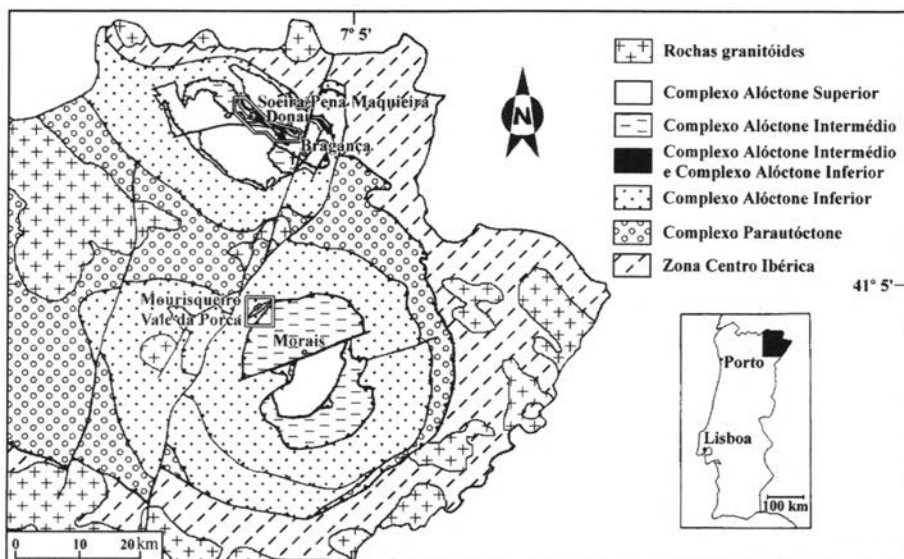


Fig. 1 – Localização das áreas Donai, Sete Fontes, Soeira/Pena Maquieira e Vale da Porca/Mourisqueiro (adaptado de RIBEIRO, 1974).

A pedraira de Donai implanta-se numa lâmina serpentínica, de forma elíptica, com cerca de 200 m por 50 m, que está intercalada tectonicamente em xistos cloritíticos do Complexo Alóctone Inferior. Encontra-se recortada por cisalhamentos N80°W (geralmente sub-verticais) e por fracturas N40-70°W (também sub-verticais) que são rejeitadas por outras de atitude N70°E. Estes cisalhamentos e fracturas apresentam, geralmente, sinais de esteatização, asbestos tremolíticos, clorititos e xistos anfíbólicos.

Em Sete Fontes aflora, em flanco de encosta, uma massa de rocha esteatítica alongada segundo NE-SW, com cerca de 200 m por 100 m, contactando, a muro, com quartzofiládios e filádios cinzentos pertencentes ao Complexo Alóctone Inferior e, a tecto, com serpentinitos da mesma unidade. Neste corpo esteatítico, é frequente encontrar-se intercalações cloritíticas e, mais raramente, serpentínicas (VILELA DE MATOS *et al.*, 1990).

A jazida de talco de Soeira encontra-se limitada, no extremo Sul, por granulitos máficos anfibolitizados do Complexo Alóctone Superior carreados sobre a rocha esteatítica ao longo de um plano com atitude N30-50°W, 40°SW. No extremo Norte, observa-se a passagem de um serpentinito não esteatizado ou com esteatização incipiente à rocha esteatítica (FARINHA RAMOS *et al.*, 1989).

A concessão de Pena Maquieira situa-se próximo da mina de Soeira e contém uma jazida de talco com estrutura em antifórma, em que o flanco Nordeste é caracterizado por uma massa de rocha esteatítica contínua alongada segundo NW-SE, enquanto o flanco Sudoeste corresponde ao alinhamento de ocorrências de talco

situado a Sudoeste da banda intermédia de serpentinitos (COTELO NEIVA, 1948a, 1949; VILELA DE MATOS e ALVES, 1990). Nas fracturas que cortam estes serpentinitos e os das imediações da mina de Soeira ocorrem asbestos tremolíticos.

Nas frentes de exploração da mina de Vale da Porca é bem visível o plano de carregamento principal, com atitude N50°E,65°SE, através do qual se sobrepõem gnaisses quartzo-feldspáticos do Complexo Alóctone Superior a quartzofiládios e xistos cloritíticos do Complexo Alóctone Inferior, sendo o talco explorado em caixas de falha e em níveis lenticulares ou bolsadas.

Na mina de Mourisqueiro verifica-se a sobreposição de granulitos máficos anfibolitizados sobre uma formação milonítica (ambas do Complexo Alóctone Superior). Esta última formação é constituída por nódulos de serpentinitos e clorititos inclusos numa matriz formada por talco e alguma anfíbola e sobrepõe-se a uma zona constituída por serpentinitos intercalados em anfibolitos e xistos anfibólicos. Neste local, ocorrem ainda talcoxistos, de excelente qualidade, associados a falhas e são frequentes asbestos actinolíticos associados a anfibolitos, xistos anfibólicos e serpentinitos.

PETROGRAFIA

Os serpentinitos de Donai têm cor verde escura e apresentam macrocristais de crisólito verde acinzentados, mas também existem amostras mais homogéneas. Encontram-se frequentemente cortados por veios de carbonatos, que conferem um aspecto bastante apreciado na rocha polida. Distinguem-se três graus de serpentinição: a) amostras com macrocristais de crisólito pouco serpentinizados e dispostos numa matriz antigorítica; b) amostras com macrocristais de crisólito bastante serpentinizados, apresentando texturas em malhas e em ampulheta constituídas por lizardite e dispostos numa matriz antigorítica; c) amostras totalmente serpentinizadas com textura interpenetrativa (constituída por antigorite) e com alguns vestígios de texturas em malha e em ampulheta. Em Sete Fontes, Soeira/Pena Maqueira e Vale da Porca/Mourisqueiro, os serpentinitos têm cor verde turquesa e são homogéneos, estão totalmente serpentinizados e apresentam texturas interpenetrativas e mais raramente justapostas, mas o serpentinito de Soeira também pode apresentar texturas em malhas e em ampulheta. Todos os serpentinitos são constituídos por antigorite, penina, talco, breunerite, dolomite, espinelas cromíferas, magnetite e pentlandite, mas tremolite, materiais de alteração (X, Y e Z), com características ópticas intermédias entre crisólito e lizardite, e pirrotite foram apenas identificados nas amostras que contêm crisólito. Os serpentinitos de Donai e Soeira contêm bastites derivadas de clinopiroxenas. De uma forma geral, os serpentinitos da região de Vale da Porca encontram-se muito deformados e podem conter veios de picrolite a preencher algumas fracturas.

Em Donai, Sete Fontes e Soeira distinguem-se dois tipos de rochas enriquecidas em talco: talcoxistos, com foliação nítida e esteatitos, com cristais lamelares de talco dispostos aleatoriamente. Em Pena Maqueira existem esteatitos, enquanto na região de Vale da Porca predominam os talcoxistos. Estas rochas esteatíticas apresentam uma elevada percentagem de talco, mas também têm penina, breunnerite, dolomite, magnetite cromífera, magnetite, pentlandite, milerite, siegenite, pirite, calcopirite e ilmenite.

Os asbestos anfibólicos são constituídos por agregados de cristais fibrosos de tremolite (em Donai e Soeira/Pena Maqueira) e actinolite (em Mourisqueiro), que se dispõem paralelamente nas “slip-fiber” e “cross-fiber” e se entrecruzam em diferentes direcções nas “mass-fiber”. Os asbestos do tipo “cross-fiber” foram apenas observados em Soeira/Pena Maqueira, tendo, frequentemente, evidentes sinais de um intenso dobramento posterior à sua formação, enquanto que os asbestos do tipo “mass-fiber” ocorrem principalmente em Donai. Acessoriamente, ocorre espinela cromífera e, como minerais secundários, clorite, talco e antigorite.

MÉTODOS ANALÍTICOS

Silicatos, óxidos, sulfuretos e carbonatos foram analisados por microsonda electrónica no Laboratório do Instituto Geológico e Mineiro de São Mamede de Infesta e no Department of Earth Sciences, Bristol, U. K. Os elementos maiores, Cr, Ni, Co, Zn e Cu de serpentinitos, rochas esteatíticas, asbestos anfibólicos e alguns minerais separados foram determinados por métodos de análise química clássica, espectrometria de absorção atómica e molecular nos Departamentos de Química da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro e de Ciências da Terra da Universidade de Coimbra. Os restantes elementos menores e terras raras das rochas e asbestos anfibólicos foram determinados por espectrometria de massa (ICP-MS) no Department of Earth Sciences, Bristol, U. K.

GEOQUÍMICA DE MINERAIS

340

O crisólito dos macrocristais bastante serpentinizados é o mais rico em forsterite (F₀₈₅ a F₀₉₀), enquanto o crisólito dos macrocristais pouco serpentinizados tem F₀₇₅-F₀₈₄. Os macrocristais de crisólito bastante serpentinizados têm textura em malhas com os bordos constituídos por lizardite, com $Fe^{2+}/(Fe^{2+} + Mg)$ menores do que os dos crisólito e lizardite no interior das malhas (fig. 2a). Nestes macrocristais, os materiais X, Y e Z ocorrem no interior das malhas e também são os principais constituintes das orlas de alteração dos macrocristais pouco serpentinizados e representam um estágio de evolução intermédio entre o crisólito

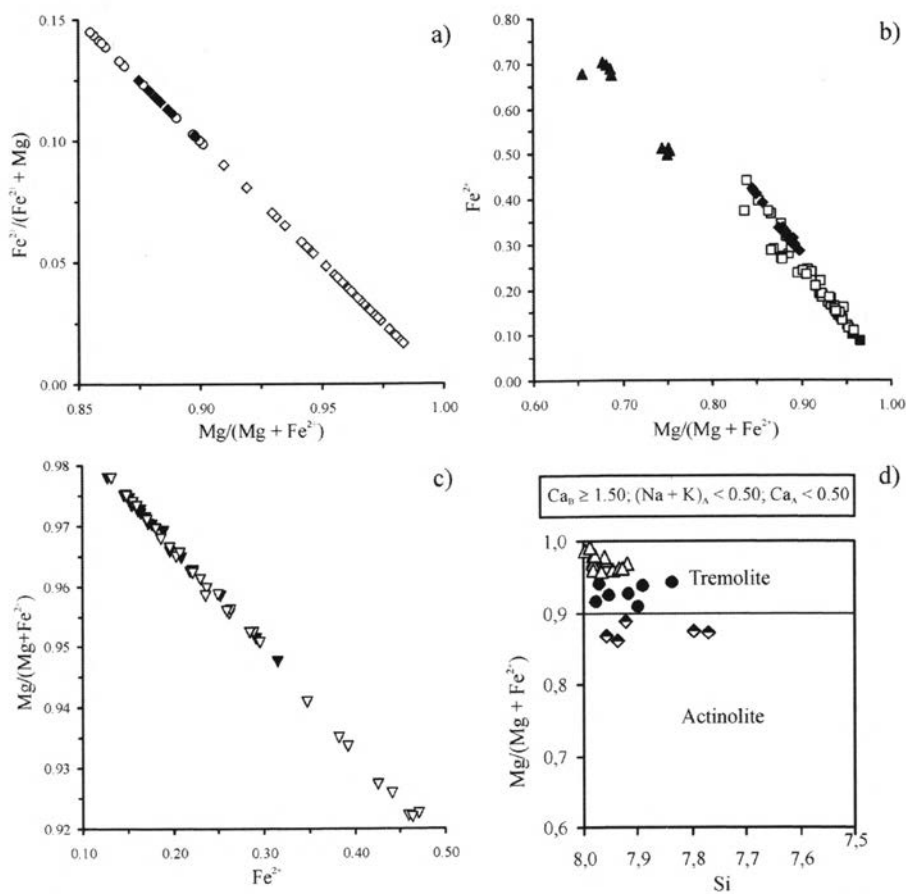


Fig. 2 – Diagramas de minerais de serpentinitos, rochas esteatíticas e asbestos do Nordeste de Portugal. a) $Fe^{2+}/(Fe^{2+} + Mg)$ versus $Mg/(Mg + Fe^{2+})$ do crisólito (\circ) dos macrocristais bastante serpentinizados e da lizardite do interior (\blacklozenge) e do bordo (\diamond) das malhas do serpentinito de Donai; b) Fe^{2+} versus $Mg/(Mg + Fe^{2+})$ dos materiais X (\blacktriangle), Y (\blacksquare) e Z (\square) e lizardite do interior (\blacklozenge) das malhas do serpentinito de Donai; c) $Mg/(Mg + Fe^{2+})$ versus Fe^{2+} do talco de serpentinitos (\blacktriangledown) e rochas esteatíticas (\triangledown) de Donai, Sete Fontes, Socira/Pena Maqueira e Vale da Porca/Mourisqueiro; d) composição dos asbestos anfibólicos de Donai (\bullet), Pena Maqueira (\triangle) e Mourisqueiro (\blacklozenge) no diagrama de nomenclatura da IMA (LEAKE *et al.*, 1997).

e a lizardite 1-*T* (WICKS e PLANT, 1979). O material X é mais rico em Si e Fe^{2+} e mais pobre em Mg do que os materiais Y e Z e lizardite (fig. 2b). A antigorite de Donai tende a ser a mais pobre em Si, Ni e a mais rica em Cr, enquanto a antigorite de Vale da Porca/Mourisqueiro tende a ser a mais rica em Fe^{2+} . COTELO NEIVA (1946, 1948a) já tinha referido que os silicatos de alteração do crisólito eram níquelíferos e cobaltíferos e admitiu a existência, na região de Bragança-Vinhais,

de formações serpentínicas com teores de Ni com interesse económico. Nos serpentínitos e rochas esteatíticas, o talco (fig. 2c) e a penina apresentam composições idênticas em todos os locais. Contudo, o talco de Donai é o mais pobre em Ni e Cr, enquanto o de Sete Fontes é o mais rico em Ni e o de Vale da Porca/Mourisqueiro é o mais rico em Cr. Além disso, a penina de Donai é mais rica em Cr, Ni, Zn e Cu. A tremolite e a actinolite dos asbestos (fig. 2d) têm geralmente mais Ni do que Cr, sendo a tremolite de Soeira/Pena Maqueira a mais pobre em Cr.

GEOQUÍMICA DOS SERPENTINITOS, ROCHAS ESTEATÍTICAS E ASBESTOS ANFIBÓLICOS E DISCUSSÃO DOS PROCESSOS ENVOLVIDOS

O serpentinito de Donai é o mais rico em CaO, Cs e W, enquanto o serpentinito de Vale da Porca/Mourisqueiro é o mais pobre em CaO e o único com teores de terras raras (REE) acima do limite de detecção. O enriquecimento em CaO do serpentinito de Donai é explicado pela presença de dolomite e alguma tremolite, enquanto o empobrecimento generalizado dos serpentínitos em terras raras pode ser justificado atendendo à natureza peridotítica do protólito de que derivaram (MCDONOUGH e FREY, 1989). Apesar de provavelmente se ter modificado durante a alteração, o perfil não fraccionado das terras raras do serpentinito de Vale da Porca/Mourisqueiro (fig. 3a) é correlacionável com o de metaperidotitos do Maciço de Morais (BEETSMA, 1995), enquanto o veio de picrolite mostra maior enriquecimento em terras raras leves e médias o que pode indicar maior grau de metassomatismo (MCDONOUGH e FREY, 1989).

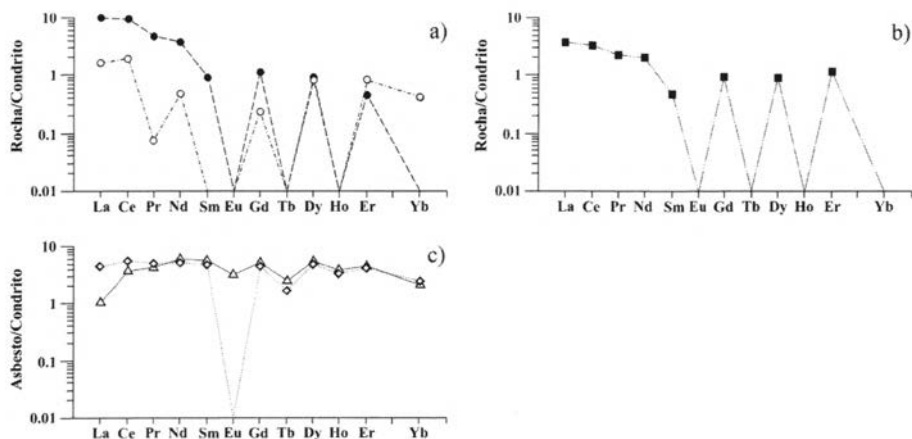


Fig. 3 – Diagramas de terras raras (normalizadas para a média de condritos do tipo C1) de algumas rochas do Nordeste de Portugal. a) Serpentinito (○) e veio de picrolite (●) de Mourisqueiro; b) veio de talco de Sete Fontes (■); c) asbestos de Soeira/Pena Maqueira (△) e de Mourisqueiro (◇).

O aumento progressivo do grau de serpentinização das amostras estudadas conduz a um enriquecimento progressivo em volume, massa, SiO_2 , H_2O^+ e Cu e a um empobrecimento progressivo em Al_2O_3 e Zn, mas também há decréscimo em FeO, MnO, K_2O e Ni (fig. 4a). O ganho em SiO_2 pode ser explicado pela maior quantidade de talco nas amostras mais serpentinizadas, enquanto a progressiva serpentinização do crisólito parece justificar a perda de MnO. A alteração da espinela cromífera terá sido responsável pela perda de Al_2O_3 e a transformação do material X em serpentina parece explicar a perda de K_2O e Ni. Estes resultados estão de acordo com COTELO NEIVA (1948a) e O'HANLEY (1996), pois a serpentinização das amostras estudadas é acompanhada por um aumento progressivo de volume. Os ganhos e perdas ocorridos podem não se dever exclusivamente a este processo, mas também estar relacionados com os fenómenos de esteatização e carbonatização mais tardios.

Há tendência para as rochas esteatíticas portuguesas apresentarem elevados teores em óxidos de ferro, o que infelizmente provoca um carácter comercial bastante negativo (FARINHA RAMOS *et al.*, 1989). No entanto, esses valores são inferiores nos veios de talco de Sete Fontes e em amostras de qualidade superior à média, como a analisada por Cotelo Neiva (1948a). A rocha esteatítica de Donai apresenta os teores mais elevados de SiO_2 e os mais baixos de Fe_2O_3 , enquanto a de Sete Fontes é a mais pobre em Ba e a mais rica em CaO e Sr provavelmente por ser a mais rica em dolomite. Geralmente, as rochas esteatíticas têm teores de REE inferiores ao limite de detecção. O veio de talco de Sete Fontes apresenta empobrecimento em terras raras médias (fig. 3b). A esteatização dos serpentinitos é acompanhada de aumento em volume, massa, SiO_2 e Ge e perdas de Be, Cs, mas, geralmente, também há ganhos de Fe_2O_3 , Na_2O , K_2O , Ba e perdas de FeO, Al_2O_3 , P_2O_5 , Zn, Sc, Zr, Cu, Y, Rb e U (figs. 4b, c, d, e). Em Donai, os aumentos em volume, massa e SiO_2 são mais intensos durante a esteatização do que nos graus crescentes de serpentinização, indicando que a esteatização é posterior à serpentinização, como foi sugerido por COTELO NEIVA (1948a, 1949) para Sete Fontes, Soeira e Pena Maquieira e O'HANLEY (1996) para outras áreas. Em ambos os processos, há enriquecimento em SiO_2 e perda em FeO, mas Cu aumenta e K_2O decresce durante graus progressivos de serpentinização, enquanto Cu decresce e K_2O aumenta durante a esteatização, sugerindo que a esteatização não pode ter sido contemporânea da serpentinização como é defendido por FERREIRA (1964) para alguns locais em Vinhais, nem anterior à serpentinização como refere MITTWEDE (1989) para Piedmont (U.S.A.). As soluções hidrotermais envolvidas na esteatização terão composição distinta das responsáveis pela serpentinização.

As soluções hidrotermais responsáveis pela serpentinização de rochas ultrabásicas são complexas, pois podem ter a influência de quatro tipos de água: 1) água derivada da desidratação de placas subductadas, 2) água oceânica, 3) água metamórfica e 4) água meteórica (PROENZA *et al.*, 2000). Embora haja ganho em

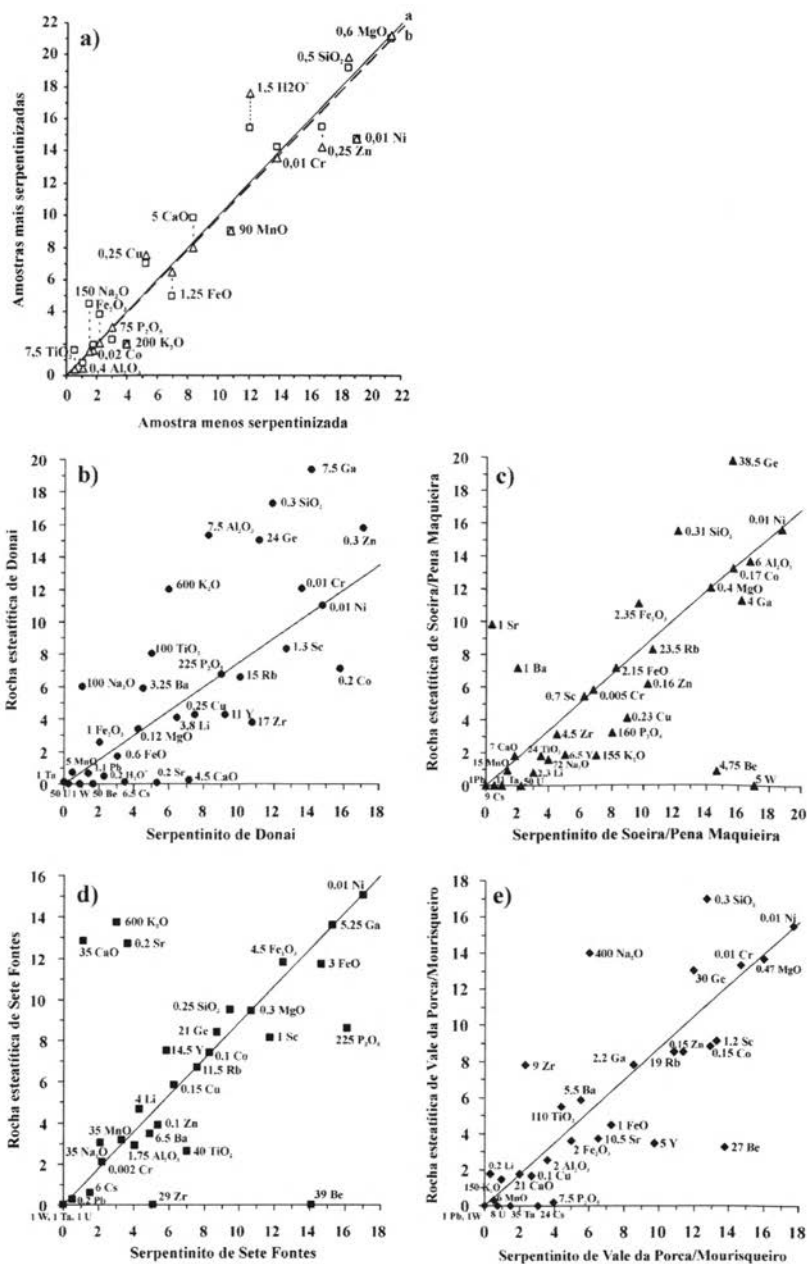


Fig. 4 – Diagramas de isóconas que comparam graus crescentes de serpentinização (□ e △) em Donai (a) e a transformação de serpentinitos em rochas esteatíticas em Donai (b), Soeira/Pena Maqueira (c), Sete Fontes (d) e Vale da Porca/Mourisqueiro (e). As linhas a cheio mostram as isóconas. Na fig. a) a linha a tracejado é a isócona de maior grau de serpentinização e as linhas a pontado mostram os ganhos e perdas progressivas em óxidos e elementos.

K₂O durante a esteatização, observa-se perda em Rb e Cs e ganho em Ba o que sugere que as soluções hidrotermais, embora sejam relativamente ricas em SiO₂ e K₂O, podem ter derivado da intrusão de rochas ácidas (COTELO NEIVA, 1948a; FARINHA RAMOS, *et al.*, 1989), mas não muito evoluídas.

Durante a esteatização foram distinguidos dois tipos de transformação tendo o talco como produto final: 1) serpentina → talco e 2) serpentina → tremolite → talco, clorite e/ou carbonato que são semelhantes aos encontrados por COTELO NEIVA (1948a).

Os asbestos tremolíticos e actinolíticos estudados desenvolvem-se, de uma forma geral, em zonas fracturadas de rochas ultrabásicas. O asbesto tremolítico de Soeira/Pena Maquieira está associado a serpentinitos e é o mais rico em Mg, Sr e o mais pobre em Fe³⁺, Fe²⁺, Cr, Zn e Be, enquanto o asbesto actinolítico de Mourisqueiro que ocorre associado a rocha esteatítica é o mais rico em Na, Ni, Be, Zr e Sc. O perfil de terras raras do asbesto de Soeira/Pena Maquieira é cortado pelo perfil do asbesto de Mourisqueiro (fig. 3c). Em Donai, o asbesto do tipo "slip-fiber" é mais rico em Si e mais pobre em Al, Zn, Cu e Ba do que o asbesto do tipo "mass-fiber". Nestes três locais, durante a transformação do serpentinito em rocha esteatítica, geralmente CaO e MgO mantêm-se e FeO decresce (figs. 4b, c, e), mas CaO decresce em Donai (fig. 4b), onde além disso a esteatização é menos abundante do que a serpentinição. Portanto, nos dois primeiros locais, os asbestos podem ter derivado tanto do serpentinito como da rocha esteatítica, enquanto em Donai é mais provável que derivem do serpentinito, o que está de acordo com COTELO NEIVA (1948a) para os asbestos anfibólicos de Bragança que terão resultado da alteração hipogénica de antigorite dos serpentinitos e da passagem de antigorite a talco e deste a tremolite. Segundo GASPAR (1971) o asbesto anfibólico do Arado do Castanheiro derivará segundo: rocha peridotítica → serpentinição → tremolite + quartzo que é o processo indicado por COLEMAN (1966) nas rochas ultrabásicas da Nova Zelândia. As soluções hidrotermais que provocam a asbestização serão muito provavelmente distintas das soluções responsáveis pela esteatização (COTELO NEIVA, 1948a).

AGRADECIMENTOS

Ao Professor B. J. Wood pelos estágios concedidos a R. J. S. Teixeira através de "Geochemical Facilities EUGF - Bristol Facility, contract ERBFMGECT 980128" para utilizar microsonda electrónica e ICP-MS, bem como ao Prof. Doutor M. R. Machado Leite e Prof. Doutor J. M. Farinha Ramos pelo uso da microsonda electrónica no IGM. Este trabalho foi desenvolvido com o apoio do Centro de Geociências da Universidade de Coimbra.

BIBLIOGRAFIA

- BEETSMA, J. J. (1995) – *The Late Proterozoic/Paleozoic and Hercynian crustal evolution of the Iberian massif, N Portugal*. Tese de doutoramento, Vrije Universiteit Amsterdam.
- CASAL MOURA, A. e MARTINS, O. R. (1983) – *Catálogo de rochas ornamentais portuguesas*. Porto: Direção Geral de Geologia e Minas.
- COLEMAN, R. G. (1966) – New Zealand serpentinites and associated metasomatic rocks. *New Zealand Geol. Surv. Bull.*, 76.
- COTELO NEIVA, J. M. (1946) – Cromite, platina, silicatos níquelíferos e silicatos cobaltíferos em rochas do Distrito de Bragança (Portugal). *Estudos, Notas e Trabalhos do Serviço de Fomento Mineiro*, 2 (1), 1-21.
- COTELO NEIVA, J. M. (1948a) – Rochas e minérios da região Bragança - Vinhais. *Serviço de Fomento Mineiro*, 14, 1-251.
- COTELO NEIVA, J. M. (1948b) – Serpentines et serpentinitization. *Estudos, Notas e Trabalhos do Serviço de Fomento Mineiro*, 4 (1), 14-30.
- COTELO NEIVA, J. M. (1949) – Jazigos portugueses de talco. *Publ. do Museu e Lab. Mineralógico e Geológico da Fac. de Ciências do Porto*, (55 - 3ª série), 5-11.
- FARINHA RAMOS, J. M., CASAL MOURA, A., GRADE, J. e AMARANTE, M. (1989) – Estudo químico-mineralógico e de beneficiação de talcos de Bragança-Vinhais (NE de Portugal). *Estudos, Notas e Trabalhos do Serviço de Fomento Mineiro e do Laboratório*, 31, 29-77.
- FERREIRA, M. R. P. V. (1964) – Geologia e petrologia da região de Rebordelo - Vinhais. *Memórias e Notícias do Museu e Lab. Mineralógico e Geológico da Universidade de Coimbra e do Centro de Estudos Geológicos*, 58, 168-219.
- GASPAR, O. C. (1971) – O asbesto do Arado do Castanheiro (Portel). *Estudos, Notas e Trabalhos do Serv. de Fom. Min.*, 20 (1-2), 107-132.
- LEAKE, B. E., WOOLLEY, A. R., ARPS, C. E. S., BIRCH, W. D., GILBERT, M. C., GRICE, J. D., HAWTHORNE, F. C., KATO, A., KISCH, H. J., KRIVOVICHEV, V. G., LINTHOUT, K., LAAIRD, J., MANDARINO, J. M. A., MARESCH, W. V., NICKEL, E. H., ROCK, N. M. S., SCHUMACHER, J. C., SMITH, D. C., STEPHENSON, N. C. N., UNGARETTI, L., WHITTAKER, E. J. W. e YOUZHI, G. (1997) – Nomenclature of amphiboles: report of the subcommittee on amphiboles of the I. M. A. Commission on new minerals and mineral names. *Mineral. Mag.*, 61, 295-321.
- MEIRELES, C. A. (2000) – Notícia explicativa da folha 3-D (Espinhosela) da Carta Geológica de Portugal na escala de 1/50 000. Instituto Geológico e Mineiro.
- MCDONOUGH, W. F. e FREY, F. A. (1989) – Rare earth elements in upper mantle rocks. In Lipin, B. R. e McKay, G. A. (Eds.). *Geochemistry and mineralogy of rare elements. Min. Soc. Am., Rev. Mineral.*, 21, 99-145.
- MITTWEDE, S. K. (1989) – The Hammett Grove meta-igneous suite: a possible ophiolite in the northwestern South Carolina Piedmont. *Geol. Soc. Am., Spec. Paper*, 231, 45-62.
- O'HANLEY D. S. (1996) – *Serpentinites: Records of tectonic and petrological history*. New York: Oxford University Press.
- PROENZA, J. A., ALFONSO, P., MELGAREJO, J. C., GERVILLA, F., TRITLLA, J. e FALLICK, A. E. (2000) – Origen de las aguas responsables del proceso de serpentinitización en la Faja Ofiolítica Mayarí- Baracoa (Cuba oriental). Un estudio isotópico de H y O. *Cadernos Lab. Xeológico de Laxe*, 25, 115-118.
- RIBEIRO, A. (1974) – Contribution à l'étude tectonique de Trás-os-Montes Oriental. *Serviços Geológicos de Portugal* (Memória nº 24 - Nova Série).

- RIBEIRO, A., PEREIRA, E. e DIAS, R. (1990) – Allochthonous sequences: Structure in the NW of the Iberian Peninsula. In Dallmeyer, R. D. e Martinez Garcia, E. (Eds.). *Pre-Mesozoic Geology of Iberia*, 220-246. Springer-Verlag: Berlin.
- TEIXEIRA, R. J. S. (2000) – *Serpentina, asbesto e talco: Impacte ambiental das suas explorações no Nordeste de Portugal*. Tese de Mestrado, Universidade de Coimbra.
- VILELA DE MATOS, A., ALVES, P. H. e COKE, C. (1990) – *Valorização das jazidas de talco - COMITAL: Relatório final*. UTAD - Acções preparatórias do Programa Integrado de Desenvolvimento Regional de Trás-os-Montes.
- WICKS, F. J. e PLANT A. G. (1979) – Electron-microprobe and X-ray-microbeam studies of serpentine textures. *Can. Mineral.*, 17 (4), 785-830. ✓