

## **Análise de proveniência dos sedimentos siliciclásticos do Grupo do Flysch do Baixo Alentejo, Zona Sul Portuguesa**

### ***Sediment provenance analysis of the Baixo Alentejo Flysch Group, South Portuguese Zone***

**P. FERNANDES** – pfernandes@ualg.pt (Universidade do Algarve, Centro de Investigação Marinha e Ambiental)

**R.C.G.S. JORGE** – rjorge@fc.ul.pt (CREMINER LA/ISR, Departamento de Geologia, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa)

**J.T. OLIVEIRA** – tomas.oliveira@ineti.pt (LNEG, LGM, Unidade de Recursos Minerais e Geofísica)

**Z. PEREIRA** – zelia.pereira@ineti.pt (LNEG, LGM, Unidade de Geologia e Cartografia Geológica)

**B. RODRIGUES** – bmgrodrigues@sapo.pt (Universidade do Algarve, Centro de Investigação Marinha e Ambiental)

**RESUMO:** Os estudos de análise de proveniência dos sedimentos siliciclásticos do Grupo do Flysch do Baixo Alentejo sugerem mudanças na natureza das áreas fonte ao longo da sua história deposicional. Petrograficamente regista-se uma mudança de áreas iniciais caracterizadas por rochas magmáticas para áreas representadas por rochas (meta)sedimentares recicladas. Os indicadores geoquímicos de proveniência sugerem mistura de fontes, envolvendo quer rochas ígneas félsicas, quer litologias máficas para a Fm. Mértola, evoluindo para um predomínio de rochas (meta)félsicas associada à área fonte dos sedimentos siliciclásticas da Fm. Brejeira.

**PALAVRAS-CHAVE:** Análise de Proveniência, Grupo do Flysch do Baixo Alentejo, Zona Sul Portuguesa.

**ABSTRACT:** *Sediment provenance analysis of the Baixo Alentejo Flysch Group suggests that significant changes occurred in nature of the source areas throughout its depositional history. Petrography records a change from initial source areas characterised by young magmatic rocks to areas represented by recycled meta-sedimentary rocks. Geochemical provenance indicators suggest a mixture of source areas for the Mértola Fm., with both felsic and mafic igneous rocks, which evolved to source areas characterised by recycled meta-sedimentary rocks during the deposition of the Brejeira Fm.*

**KEYWORDS:** *Provenance, Baixo Alentejo Flysch Group, South Portuguese Zone.*

## **1. INTRODUÇÃO E ENQUADRAMENTO GEOLÓGICO**

O Grupo do Flysch do Baixo Alentejo (GFBA) é um dos domínios da Zona Sul Portuguesa (ZSP) onde ocupa uma vasta área. O GFBA consiste em sedimentos turbidíticos, com uma espessura superior a 5 km (Oliveira, 1990). Estratigraficamente o GFBA encontra-se dividido em três formações, da base para o topo: i) Formação Mértola ii) Formação Mira e iii) Formação Brejeira, cujas idades se distribuem do Mississipiano Médio (Viseano) ao Pensilvaniano Médio (Moscoviano) (Oliveira *et al.*, 1979; Pereira, 1999).

Evidências de natureza sedimentológica (paleocorrentes) e paleontológica (associações de biozonas de miosporos) (e.g., Oliveira, 1990; Pereira 1999) indicam, em geral, áreas fonte de sedimentos do GFBA localizadas a norte-nordeste (coordenadas actuais). Todavia, a natureza geológica das áreas fonte de sedimentos e as mudanças ocorridas nestas últimas áreas, ao longo da história de deposição do GFBA ainda permanecem incertas. Neste trabalho apresentam-se resultados geoquímicos e petrográficos das litologias dominantes do GFBA, cuja finalidade é contribuir para a discussão da proveniência dos sedimentos e as suas implicações na evolução da ZSP.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

Com o objectivo de proceder à análise de proveniência dos sedimentos do GFBA, foi realizado um amplo trabalho de amostragem ao longo do sector português da ZSP e que inclui as principais manchas de rochas aflorantes das Fms. Mértola, Mira e Brejeira. Paralelamente, foi realizada a caracterização petrográfica/mineralógica das litofacies amostradas com vista a uma melhor compreensão dos diversos factores que condicionaram a sua génese. Neste contexto, as diferentes populações de grauvaques foram alvo de análise modal com base nos critérios definidos por Gazzi-Dickinson. Procedeu-se à contagem, em média de 320 grãos por amostra não tendo sido contabilizado o cimento e a matriz. A identificação dos grãos de feldspato e plagioclase realizou-se por via do método proposto por Houghton (1980). Do universo de amostras estudadas, foram seleccionadas 75, consideradas representativas das diferentes unidades do GFBA, para estudo de química de rocha total. A totalidade das análises geoquímicas foi efectuada nos laboratórios da empresa canadiana ACTLBS pelo método ICP/MS.

## 3. CARACTERIZAÇÃO PETROGRÁFICA

A média dos componentes modais dos grauvaques das Fms. Mértola, Mira e Brejeira é, respectivamente a seguinte:  $Qt_{50}F_{28}Lt_{22}$ ,  $Qt_{69}F_9Lt_{22}$ ,  $Qt_{81.6}F_{0.9}Lt_{17.5}$ , respectivamente, onde Qt é a totalidade dos grãos de quartzo (monocristalino e policristalino), F a soma das plagioclases e feldspato potássico e Lt os fragmentos líticos. No diagrama ternário de discriminação da proveniência QtFLt de Dickinson (1985), os grauvaques das Fms. Mértola e Mira projectam-se no campo dos arcos magmáticos, enquanto que os da Fm. Brejeira se projectam no campo dos sistemas orogénicos reciclados. Estes dados sugerem que ocorreu uma mudança na natureza da área de proveniência dos sedimentos do GFBA. De uma área inicial caracterizada por rochas magmáticas jovens ocorreu uma mudança gradual para áreas caracterizadas, predominantemente, por rochas (meta)sedimentares recicladas.

## 4. GEOQUÍMICA

As diferentes populações de grauvaques do GFBA exibem uma geoquímica dominada por  $SiO_2$  (Mértola =  $65.30 \pm 3.47\%$ ; Mira =  $69.25 \pm 4.86\%$ ; Brejeira =  $78.32 \pm 5.58\%$ ),  $Al_2O_3$  (Mértola =  $15.79 \pm 1.76\%$ ; Mira =  $13.27 \pm 1.51\%$ ; Brejeira =  $8.99 \pm 1.21\%$ ) e  $Fe_2O_3$  (Mértola =  $6.42 \pm 1.17\%$ ; Mira =  $5.76 \pm 1.34\%$ ; Brejeira =  $4.40 \pm 2.80\%$ ). Em oposição, os conteúdos em MgO (Mértola =  $2.31 \pm 0.45\%$ ; Mira =  $2.13 \pm 1.38\%$ ; Brejeira =  $1.02 \pm 0.65\%$ ) e  $K_2O$  (Mértola =  $1.82 \pm 0.71\%$ ; Mira =  $1.66 \pm 0.25\%$ ; Brejeira =  $1.32 \pm 0.16\%$ ) assumem invariavelmente reduzidos valores. Característica igualmente comum neste grupo de rochas são os baixos valores em MnO (<0.2%), CaO (<0.5%) e  $P_2O_5$  (<0.2%).

O quimismo dos xistos argilosos do GFBA é igualmente marcado por elevados conteúdos em  $SiO_2$  (Mértola =  $58.13 \pm 1.64$ ; Mira =  $55.30 \pm 3.33$ ; Brejeira =  $54.10 \pm$  %),  $Al_2O_3$  (Mértola =  $18.97 \pm 0.87\%$ ; Mira =  $23.24 \pm 2.00\%$ ; Brejeira =  $23.96 \pm 1.92\%$ ) e  $Fe_2O_3$  (Mértola =  $7.03 \pm$

0.56%; Mira =  $6.76 \pm 1.13\%$ ; Brejeira =  $6.55 \pm 0.77\%$ ). As concentrações em MgO, K<sub>2</sub>O e CaO são similares aos reportados para as rochas siliciclásticas grosseiras do GFBA. O índice de variabilidade composicional (Cf. Cox *et al.*, 1995) dos xistos argilosos da Fm. Mértola ( $0.88 \pm 0.55$ ), Mira ( $0.69 \pm 0.08$ ) e Brejeira ( $0.61 \pm 0.03$ ) é sempre inferior a 1, facto que revela a elevada maturidade sedimentar/composicional destas litologias.

Os grauvaques da Fm. Mértola exibem valores das razões La/Sc, Th/Sc e V/V+Ni de 1.93 ( $\pm 0.38$ ), 0.60 ( $\pm 0.09$ ) e 0.80 ( $\pm 0.04$ ), respectivamente. Idênticos valores observam-se quer nos xistos argilosos da Fm. Mértola quer nas diferentes litologias que integram a Fm. Mira. Por outro lado, os grauvaques da Fm. da Brejeira pautam-se por razões La/Sc, Th/Sc e V/V+Ni de 0.71 ( $\pm 0.07$ ), 0.99 ( $\pm 0.16$ ) e 0.70 ( $\pm 0.04$ ), respectivamente.

Embora variando quanto às respectivas abundâncias absolutas, os xistos argilosos e os grauvaques das três formações possuem um padrão normalizado em Terras Raras similar, caracterizado por um enriquecimento em Terras Raras Leves e um reduzido fraccionamento das Terras Raras Pesadas. Contudo, a razão Eu/Eu\* nas diferentes litologias do GFBA assume valores variáveis. Nos grauvaques da Fm. Mértola, Mira e Brejeira os valores de Eu/Eu\* são respectivamente de  $0.84 \pm 0.10$ ,  $0.75 \pm 0.08$ , e  $0.68 \pm 0.01$ . Por outro lado, as rochas siliciclásticas grosseiras da Fm. Mértola, exibem valores de Eu/Eu\* compreendidos entre 0.65 e 1.05. Em oposição, os de xistos argilosos do GFBA pautam-se por menores variações no valor da razão Eu/Eu\* (Mértola =  $0.69 \pm 0.07$ ; Mira =  $0.73 \pm 0.05$ ; Brejeira =  $0.72 \pm 0.02$ ).

## 5. DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

Os grauvaques da Fm. Mértola possuem um padrão normalizado em Terras Raras, caracterizado por um enriquecimento relativo em Terras Raras Leves, uma anomalia negativa ou inexistente de Eu (Eu/Eu\* = 0.65-1.0), e um reduzido fraccionamento das Terras Raras Pesadas. Em conjunto, estas características são compatíveis com a possibilidade de, relativamente à Fm. Mértola, se poder invocar uma mistura de fontes, envolvendo quer rochas ígneas félsicas, quer litologias máficas.

Por outro lado, no diagrama clássico de proveniência Th/Sc vs. Zr/Sc, (cf. McLennan *et al.*, 1990) as rochas siliciclásticas da Fm. Brejeira, e em particular os grauvaques, projectam-se em campos distintos aos definidos pelas Fms. Mértola e Mira, exibindo invariavelmente, valores mais elevados da razão Zr/Sc, reflectindo não só, uma clara filiação félsica como também um significativo incremento das taxas de reciclagem associadas à génese destas litologias.

Em oposição, os grauvaques da Fm. Mértola exibem valores mais baixos nas razões Th/Sc (0.4-1) e Zr/Sc e possuem comparativamente às suas congéneres da Fm. Brejeira, maiores intervalos de variabilidade em quase todos os elementos em traço, facto que é igualmente consentâneo com a provável mistura de fontes associada à génese desta população de rochas do GFBA. Esta conclusão é igualmente suportada com base nas razões Fe/Ti, La/Sc e V/V+Ni, e no diagrama A-CN-K (Cf. Fernandes *et al.*, 2008).

A população de grauvaques da Fm. Brejeira pauta-se por variações significativas nos valores de *Chemical Alteration Index* (CIA; Cf. Nesbitt & Young, 1984). De facto, os valores de CIA desta formação distribuem-se ao longo do intervalo 63.34 - 83.0 sendo a média de  $74.61 \pm 6.95$ . Idêntico padrão de distribuição observa-se para o *Plagioclase Index Alteration* (PIA, Cf. Fedo *et al.*, 1995; Fm. Brejeira: Méd. =  $84.48 \pm 9.91$ ; Min. = 67.24 - Máx. = 94.61). Em oposição, os valores médios de CIA e PIA relativos aos grauvaques da Fm. Mértola (CIA =  $66.20 \pm 3.89$ ; PIA =  $69.78 \pm 6.38$ ) e Mira (CIA =  $66.20 \pm 3.89$ ; PIA =  $76.36 \pm 4.25$ ) são invariavelmente inferiores aos reportados para a Fm. Brejeira e exibem uma menor dispersão entre os valores mínimos e máximos.

Significativamente, os xistos argilosos das três formações estudadas exibem valores de CIA superiores aos registados para as populações congéneres de grauvaques, facto que é consentâneo

com um historial de meteorização química mais complexo e prolongado no tempo associadas à génese deste grupo de rochas. Em conjunto, os valores de CIA e PIA registados para as diferentes litologias das Fms Mértola, Mira e Brejeira revelam a ocorrência de variações expressivas das condições de meteorização química, de moderadas a intensas, associada a(s) área(s) de fonte(s) dos (meta)sedimentos do GFBA.

Não obstante, as limitações dos parâmetros geoquímicos com vista à inferência do enquadramento tectónico da bacia de deposição de rochas siliciclásticas, e caso seja tomado como referência o conjunto de indicadores de proveniência propostos por McLennan *et al.* (1990, 1993), importa destacar o seguinte: as rochas siliciclásticas da Fm. Mértola, Mira e Brejeira exibem um quimismo variável com diferentes graus de enriquecimento em LILEs, variáveis valores de CIA e PIA, assim como das razões Si/Al, Th/Sc e Th/U. Contudo, os diferentes indicadores geoquímicos apontam claramente para um significativo incremento das taxas de reciclagem e um claro predomínio de rochas (meta)féisicas associada à área fonte dos sedimentos siliciclásticos da Fm. Brejeira, facto que contrasta de forma notória com o observado para a Fm de Mira e Mértola do GFBA. Neste contexto, a totalidade dos indicadores geoquímicos relativos às três formações estudadas sugerem que a bacia de deposição do GFBA deverá ter estado na dependência de um arco jovem diferenciado (*Young Differentiated Arc*).

### Agradecimentos

*Este trabalho é um contributo para o projecto POCI/CTE-GEX/60278/2004 financiado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia, Portugal.*

### Referências

- Cox R., Lowe D.R. & Cullers R., L. (1995) - The influence of sediment recycling and basement composition on evolution of mudrock chemistry in the southwestern United States. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 59, pp. 2919-294.
- Dickinson, W. R. (1985) - Interpreting provenance relations from detrital modes of sandstones. In: Zuffa, G. G. (ed.) *Provenance of Arenites*. Dordrecht, Holland: Reidel, pp. 333-361.
- Fedo, C.M., Nesbitt, H.W. & Young, G.M. (1995) - Unraveling the Effects of Potassium Metasomatism in Sedimentary-Rocks and Paleosols, with Implications for Paleoweathering Conditions and Provenance. *Geology*, v. 23, pp. 921-924.
- Fernandes, P., Jorge, R. C. G. S., Pereira, Z. & Oliveira, J. T. (2008) - Geochemistry of the Baixo Alentejo Flysch Group, South Portuguese Zone: Implications for provenance and palaeoweathering. *Geochimica Cosmochimica Acta*, vol. 72(12), Supplement 1, p. A264.
- Houghton, H. F. (1980) - Refined techniques for staining plagioclase and alkali feldspars in thin section. *Journal of Sedimentary Petrology*, 50, pp. 629-631.
- Korn, D. (1997) - The Palaeozoic ammonoids of the South Portuguese Zone. *Mem. Inst. Geol. Min. Portugal*, 33, pp. 1-131.
- McLennan S.M., Taylor S.R., McCulloch M.T., & Maynard J.B. (1990) - Geochemical and Nd-Sr isotopic composition of deep-sea turbidites: Crustal evolution and plate tectonics associations. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 54, pp. 2015-2050.
- McLennan, S.M., Hemming, S., McDaniel, D.K., and Hanson, G.N. (1993) - Geochemical approaches to sedimentation, provenance, and tectonics. In: *Processes controlling the composition of clastic sediments*, Basu, M.J.J.a.A., ed., The Geological Society of America, pp. 21-40.
- Nesbitt, H.W., and Young, G.M. (1984) - Prediction of Some Weathering Trends of Plutonic and Volcanic-Rocks Based on Thermodynamic and Kinetic Considerations: *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v. 48, pp. 1523-1534.
- Oliveira, J. T., Horn, M., & Paproth, E., (1979) - Preliminary note on the stratigraphy of the Baixo Alentejo Group, Carboniferous of Portugal, and on the palaeogeography development compared to corresponding units in Northwest Germany. *Comum. Serv. Geol. Portugal*, 65, pp. 151-168.
- Oliveira, J. T. (1990) - Stratigraphy and syn-sedimentary tectonism in the South Portuguese Zone. In: Dallmeyer, R. D. & Martinez Garcia, E. (eds.) *Pre-Mesozoic Geology of Iberia*. Springer Verlag, pp. 334-347.
- Pereira, Z. (1999) - Palinoestratigrafia do Sector Sudoeste da Zona Sul Portuguesa. *Comum. Serv. Geol. Portugal*, 86, pp. 25-57.