



Caracterização geoquímica do monte submarino de Fontanelas, Margem Oeste Ibérica

Geochemical characterization of the Fontanelas seamount, West Iberian Margin

Rui Miranda^{1,2,3}, Pedro Terrinha⁴, João Mata^{1,2}, Maria do Rosário Azevedo⁵, Jane Chadwick⁶, Nuno Lourenço⁷, Mário Moreira^{8,2}

¹ Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa; Departamento de Geologia (GeoFCUL)

² Centro de Geologia da Universidade de Lisboa (CeGUL), Campo Grande, Lisboa, Portugal

³ Laboratório Associado Instituto Dom Luiz, Campo Grande, Lisboa, Portugal

⁴ Departamento de Geologia Marinha, LNEG, Alfragide, Portugal

⁵ Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro, Unidade de Investigação GeoBioTec, Aveiro, Portugal

⁶ Department of Petrology, Vrije Universiteit, Amsterdam, Netherlands

⁷ EMEPC, Paço de Arcos, Portugal

⁸ ACF, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Lisboa, Portugal

Resumo

O monte submarino de Fontanelas (39° 06' 06" N, 10° 32' 50"W) foi identificado com base em anomalias batimétricas e geomagnéticas presentes no Esporão da Estremadura, entre a região de Sintra e a montanha submarina de Tore.

Durante o verão de 2008 foram realizadas dragagens a bordo do RV Professor Logachev que permitiram a amostragem deste monte submarino tendo em vista a sua comparação petrográfica e geoquímica (elementar e isotópica) com ocorrências magmáticas alcalinas onshore e offshore, datadas do Cretácico Superior.

O monte submarino é constituído por lavas em almofada bastante alteradas que correspondem a rochas ultrabásicas e básicas alcalinas (foiditos e basaltos alcalinos).

As amostras são enriquecidas em elementos incompatíveis e apresentam assinaturas elementares e isotópicas semelhantes às das rochas magmáticas alcalinas do Cretácico Superior presentes em Portugal continental, sugerindo uma fonte sublitosférica para estas ocorrências

Palavras chave: magmatismo alcalino, monte submarino, geoquímica elementar e isotópica

Abstract

The Fontanelas seamount (39° 06' 06" N, 10° 32' 50"W) was identified through bathymetric and geomagnetic anomalies detected in the Estremadura Spur, between the Sintra region and the Tore seamount.

During the summer of 2008, dredging operations on board of the RV Professor Logachev allowed the sampling of this seamount with the objective of comparing its petrographic and geochemical characteristics with those of the basic alkaline magmatic occurrences of Late Cretaceous age present onshore.

The seamount is constituted by substantially altered pillow lavas of ultrabasic to basic alkaline rocks (foidites and alkali basalts).

The samples are enriched in incompatible elements and show element and isotopic signatures similar to the Late Cretaceous alkaline magmatic rocks that crop out in continental Portugal, suggesting a sublithospheric source for both the seamount and the onshore occurrences.

Keywords: alkaline magmatism, seamount, elementar and isotopic geochemistry

Introdução

A existência, na Margem Oeste Ibérica (MOI), de reciprocidade entre anomalias magnéticas positivas e a ocorrência de corpos ígneos de natureza predominantemente básica e alcalina, datados do Cretácico Superior, era já conhecida para os Maciços Ígneos de Sintra, Sines e Monchique. Mais recentemente foi também identificada uma série de anomalias magnéticas no Esporão da Estremadura, que definem um lineamento entre a região de Sintra e a montanha submarina de Tore (e.g. Silva, 2000). A natureza das rochas que causam estas anomalias offshore continua por esclarecer, uma vez que até ao presente momento apenas um ankaramito foi dragado na proximidade de umas destas anomalias e datado em 74 Ma (Ar-Ar; Féraud in Mougnot, 1989).

O monte submarino de Fontanelas ($39^{\circ} 6' 6''$ N, $10^{\circ} 32' 50''$ W, fig. 1) localiza-se coincidentemente com uma destas anomalias, em zona de talude continental, cerca de 100 km a Oeste da Ericeira. O seu topo encontra-se a aproximadamente -1300 m de profundidade, cerca de 500 m acima do fundo do oceano naquela região.

Tendo em vista a confirmação da sua origem magmática e, em caso afirmativo, a sua comparação geocronológica e geoquímica com as ocorrências magmáticas alcalinas onshore (94-72 Ma, Miranda et al., 2009a) e offshore (magmatismo com 102 a 65 Ma ocorrente na Crista Madeira-Tore: Merle et al., 2006, 2009; Geldmacher et al., 2006; e monte submarino de Ormonde: 67-65 Ma Féraud et al., 1982, 1986) procedeu-se à amostragem deste monte submarino.

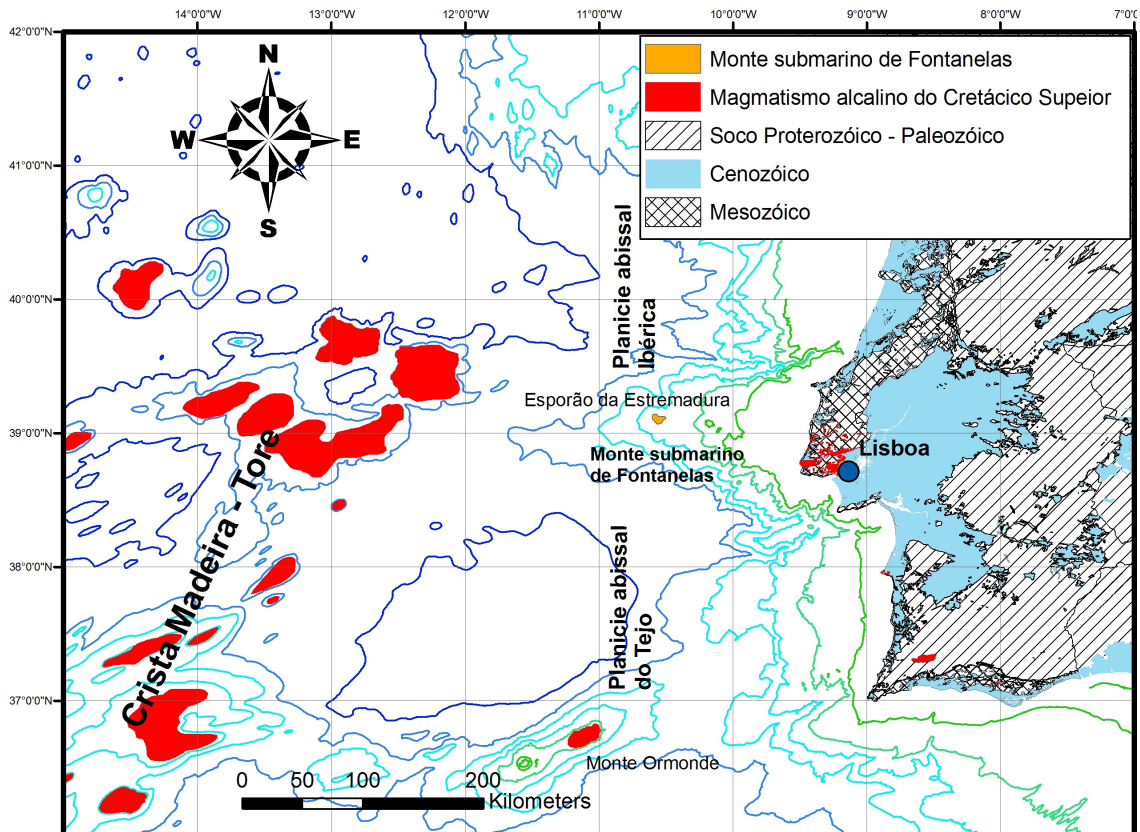


Fig. 1 – Mapa com a localização das principais ocorrências magmáticas alcalinas do Cretácico Superior da Margem Oeste Ibérica. Geologia de Portugal adaptada dos dados disponíveis em <http://www.iambiente.pt/atlas/est/index.jsp>. Dados relativos à geologia de Espanha adaptados de Alvaro et al. (1994).

Amostragem

A amostragem do monte submarino de Fontanelas realizou-se no âmbito do projecto MAGMAFLUX e decorreu a bordo do RV Professor Logachev. Foram realizadas 5 dragagens nos flancos e topo do monte submarino, tendo o seu planeamento sido feito com recurso a dados

de batimetria de alta resolução cedidos pela EMEPC (Estrutura de Missão para a Extensão da Plataforma Continental).

Nestas dragagens, foram recuperadas quantidades variáveis de rochas basálticas muito vesiculares, alteradas e com capas de óxidos de Fe e Mn, que ocorriam em conjunto com diferentes proporções de lama pelágica, material biogénico (principalmente coral e placas de cirripedes), nódulos de Fe-Mn e fostato e até material alóctone (provavelmente *dropstones* ou rochas usadas como pesos em redes).

A maioria dos pedaços de rocha ígnea recolhida correspondia a fragmentos de lavas em almofada mostrando, por vezes, o típico aspecto de "crosta de pão". As lavas amostradas apresentam fortes indícios de alteração, cor castanho-esverdeada e texturas muito vesiculares, verificando-se que as vesículas estão frequentemente preenchidas por calcite ou minerais do grupo das argilas.

Petrograficamente são rochas porfíricas com fenocristais de olivina e de piroxena. A olivina está pseudomorfizada por calcite, serpentina e minerais de argila e a clinopiroxena é rosada, por vezes zonada, com núcleos verdes. Refira-se também a presença de óxidos de Fe-Ti e, em algumas amostras, até de anfíbola. A matriz encontra-se intensamente alterada e quase completamente substituída por minerais secundários, embora ainda seja possível identificar plagioclase, clinopiroxena e óxidos de Fe-Ti. Em algumas amostras também se observaram xenólitos constituídos, maioritariamente, por anfíbola castanha e por quantidades menores de apatite e biotite.

Geoquímica

Devido à elevada vesicularidade das amostras e ao facto destas se encontrarem preenchidas por carbonato secundário, procedeu-se à lixiviação dos fragmentos destas amostras antes destes serem reduzidos a pó, tendo em vista a remoção do carbonato secundário e a consequente obtenção de dados analíticos que melhor reflectissem a composição original da rocha. O ataque foi feito, durante 15 minutos, com HCl 3N a frio.

As amostras são rochas ultrabásicas e básicas que se classificam como foiditos e basaltos (fig. 2). As rochas apresentam composições relativamente primitivas (Mg# 62-52) com teores de Ni (314-67 ppm) e Cr (990-290 ppm) que tendem a diminuir dos foiditos para os basaltos, indicando que a fraccionação de olivina e clinopiroxena terá desempenhado um papel importante na variabilidade litológica observada.

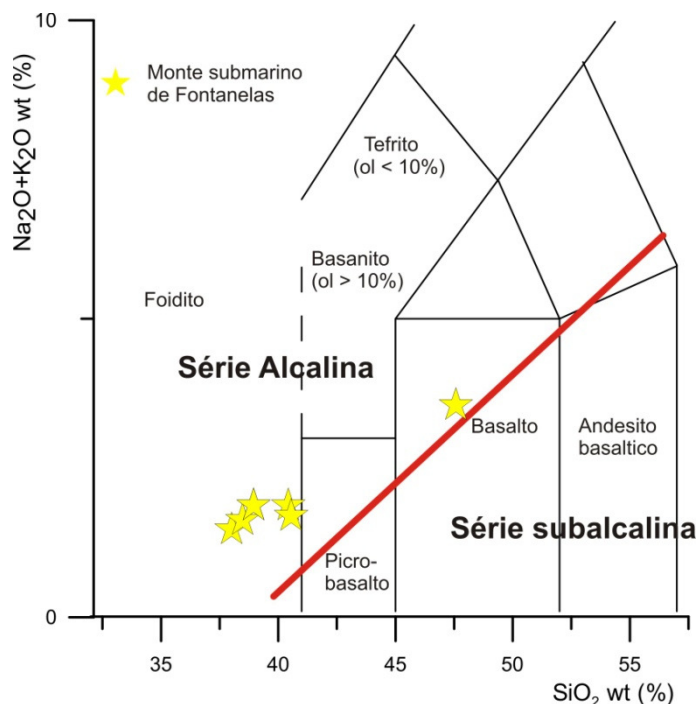


Fig. 2 – Diagrama TAS para as amostras analisadas, segundo LeMaitre et al. (1989). Linha de separação entre as series alcalina e subalcalina de MacDonald (1968).

Os diagramas multielementares normalizados para a composição do manto primitivo para as amostras estudadas (fig. 3a) são caracterizados por um enriquecimento em elementos incompatíveis. Contudo, todas as amostras apresentam anomalias negativas em K e Sr, sendo que uma apresenta também anomalias negativas em Zr e Hf.

As anomalias negativas de Sr foram provavelmente causadas pela remoção do Sr durante a alteração da plagioclase da matriz ou durante a lixiviação que pode ter removido os produtos de alteração deste mineral. Já a anomalia em K, por outro lado, pode ser primária, sendo idêntica à descrita para as rochas magmáticas do Cretácico Superior aflorantes na área continental adjacente (Miranda et al., 2009a). Não pode excluir-se, contudo, a hipótese de também ter sido provocada ou intensificada devido à alteração e/ou lixiviação. Por outro lado, a anomalia positiva em P detectada numa das amostras deverá estar relacionada com a ocorrência de cristais de anfíbola com inclusões de apatite nesta rocha.

Em terra, a presença simultânea de anomalias negativas de K, Zr e Hf só foi reconhecida nas rochas associadas ao segundo pulso do ciclo alcalino que teve lugar na MOI durante o Cretácico Superior, entre 75 e 72 Ma (Miranda et al., 2009a). Assim, por analogia, poderá admitir-se que as amostras do monte submarino de Fontanelas também foram geradas durante o segundo pulso de actividade magmática alcalina, o que carece de confirmação através do recurso a métodos de datação absoluta.

As referidas anomalias estariam relacionadas com a retenção destes elementos em fases mantélicas residuais com os quais estes magmas terão estado em equilíbrio (e.g. anfíbola e/ou flogopite em caso do K e a baddeleyite no caso do Zr e Hf; Miranda et al., 2009).

Tal como as rochas alcalinas do Cretácico Superior presentes no continente, os padrões de REE normalizados para composições condriticas das amostras estudadas mostram um enriquecimento em REE leves em relação às pesadas ($(La/Yb)_N = 25.3-16.6$; fig. 3b), sugerindo a presença de granada residual na fonte durante os eventos de fusão. Estes, terão decorrido a profundidades superiores a 60 km, a partir das quais a granada é uma fase mantélica estável.

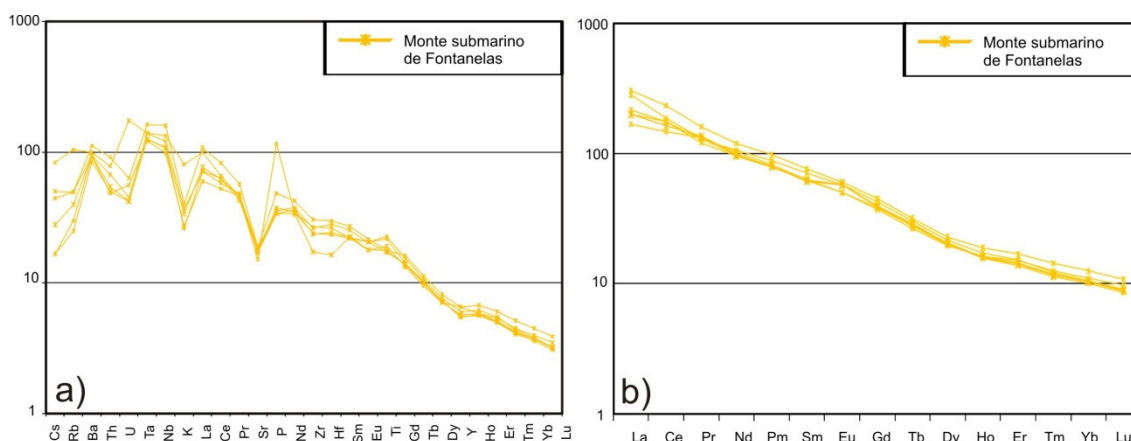


Fig. 3 – Diagramas multielementares normalizados para (a) composição do manto primitivo (b) e para composições condriticas (Palme e O’Neil, 2003) para as amostras do monte submarino de Fontanelas.

Os dados isotópicos obtidos para as lavas do monte submarino ($^{87}Sr/^{86}Sr_i = 0.70306-0.70315$; $^{143}Nd/^{144}Nd_i = 0.5128$) revelam composições de Sr e Nd relativamente empobrecidas, indicando um empobrecimento integrado no tempo que contrasta com o enriquecimento em elementos incompatíveis das amostras (fig. 4). As amostras apresentam composições isotópicas de Sr e Nd bastante próximas às do magmatismo alcalino do Cretácico superior da Margem Oeste Ibérica (Miranda et al., 2009b) mas com $^{143}Nd/^{144}Nd_i$ inferior às amostras de idade Cretácica da crista Madeira-Tore e do monte submarino de Ormonde (fig. 4), para as quais se propõe uma origem relacionada com a actividade dos “hotspots” das Canárias e da Madeira, respectivamente (Geldmacher et al., 2000, 2006).

Já no que diz respeito composição isotópica de Pb ($^{206}Pb/^{204}Pb = 19.70-20.04$, $^{207}Pb/^{204}Pb = 15.58-15.59$), as amostras analisadas projectam-se abaixo da North Hemisphere Reference Line (NHRL) fora do campo definido pelas suas equivalentes da MOI. O seu ligeiro enriquecimento em $^{207}Pb/^{204}Pb$ e empobrecimento em $^{206}Pb/^{204}Pb$ aponta para a existência de alguma heterogeneidade nas fontes mantélicas sub-MOI.

As características relativamente enriquecidas do manto litosférico amostrado na planície abissal Ibérica ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}=0.7042-0.7059$; $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}=0.5123-0.5127$, Chazot et al., 2005) diferem claramente do empobrecimento integrado no tempo que caracteriza a composição isotópica do monte submarino de Fontanelas, e exclui aquele reservatório como fonte deste magmatismo.

Com efeito, as composições isotópicas das amostras de Fontanelas, como aliás também acontece com a maioria das rochas alcalinas Cenozóicas da região do Mediterrâneo, são mais compatíveis com uma derivação a partir de fontes de tipo "Common Mantle Reservoir" (CMR, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}=0.703-0.7037$; $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}=0.513-0.51279$, $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}=18.95-19.85$, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}=15.55-15.65$), envolvendo um componente astenosférico que terá sido modificado pela reciclagem de material introduzido no manto durante eventos de subducção ou delaminação (Lustrino e Wilson, 2007).

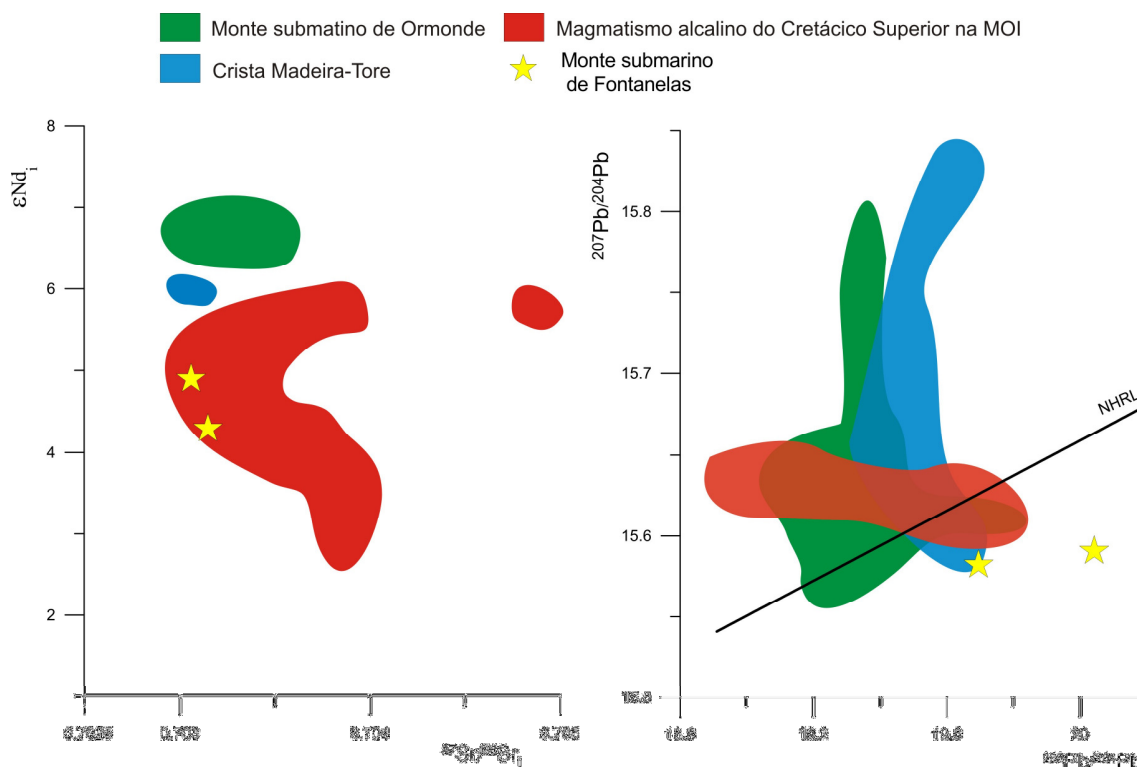


Fig. 4 – Diagramas a) $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_i$ vs. ϵNd_i e b) $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ vs. $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ para as amostras estudadas. Dados para o monte submarino de Ormonde de Bernard-Griffiths et al. (1997) e dados relativos à crista Madeira-Tore de Geldmacher et al. (2006) e Merle et al. (2006) e dados relativos ao magmatismo alcalino da MOI de Miranda et al. (2009a, b).

A existência de anomalias negativas em K nas amostras de Fontanelas e no 2º pulso de actividade magmática do Cretácico superior descrito onshore por Miranda et al. 2009a, sugere que estes magmas terão interagido com a litosfera durante a sua ascensão, visto que a anfíbola residual onde deverá ter ficado retido o K não é estável a temperaturas astenosféricas (e.g. Class e Goldstein, 1997).

Conclusões e implicações

O magmatismo alcalino do monte submarino de Fontanelas foi gerado por uma fonte mantélica sublitosférica com uma composição isotópica caracterizada por um empobrecimento integrado no tempo em Nd e Sr mas enriquecida em elementos incompatíveis à altura da magmatogénese. A sua composição elementar e isotópica aponta para uma fonte de características idênticas à que foi responsável pelo magmatismo presente, onshore, na MOI no final do Cretácico.

No entanto, a ausência de uma progressão espácio-temporal nítida deste magmatismo, descarta a hipótese de que tenha resultado de uma pluma mantélica. Sugere, antes, a presença na região de uma anomalia térmica mais fraca e, portanto, caracterizada por um mais baixo

fluxo de flotabilidade (buoyancy flux). Tal terá permitido que a distribuição espaço-temporal do magmatismo tenha sido controlada pela estrutura local e pelo contexto geodinâmico da Ibéria durante o Cretácico (ver também Miranda et al., 2009a). Neste caso em concreto, há que destacar, a coincidência de importante falha de desligamento com uma orientação WNW-ESSE identificada por Badagola (2008) com o lineamento de anomalias magnéticas Sintra-Tore que presumivelmente materializa, como é aqui comprovado para este monte submarino, um conjunto de ocorrências magmáticas.

Referências

- Alvaro, M. Apalategui, O., Baena, J., Balcells, R., Barnolas, A., Barrera, J.L., Bellido, F., Cueto, L., Díaz de Neira, A., Elízaga, E., Fernández-Gianotti, J. R., Ferreira, E., Gabaldón, V., García-Sansegundo, J., Gómez, J., Heredia, N., Hernández-Urroz, J., Hernández-Samaniego, A., Lendínez, A., Levya, F., López-Olmedo, F., Lorenzo, S., Martín, L., Martín Serrano, A., Matas, J., Monteserrín, V., Nozal, F., Olive, A., Ortega, E., Piles, E., Ramírez, J., Robador, A., Roldán, F., Rodríguez, L., Ruiz, P., Ruiz, M. T., Sánchez-Carretero, R., Teixell, A., 1994. Mapa Geológico Nacional a escala 1:1.000.000. IGME, Madrid.
- Badagola, A., 2008. Evolução morfo-tectónica da plataforma continental do Esporão da Estremadura. Tese de Mestrado, FCUL, 171pp.
- Bernard-Griffiths, J., Gruau, G., Cornen, G., Azambre, B., Mace, J., 1997. Continental Lithospheric Contribution to Alkaline Magmatism: Isotopic (Nd, Sr, Pb) and Geochemical (REE) Evidence from Serra de Monchique and Mout Ormonde Complexes. *Journal of Petrology*. 38, 1, pp. 115-132.
- Chazot, G., Charpentier, S., Kornprobst, J., Vannucci, R., Luais, B., 2005. Lithospheric Mantle Evolution during Continental Break-Up: The West Iberia Non-Volcanic Passive Margin, *Journal of Petrology*. 46, 2527-2568.
- Class, C., Goldstein, S. L., 1997. Plume-lithosphere interactions in the ocean basins: constrains from the source mineralogy. *Earth and Planetary Science Letters*, vol. 150, pp. 245-260.
- Geldmacher, J., Bogaard, P., Hoernle, K., Klügel, Schmincke, H. U., 2000. The $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating of the Madeira Archipelago and hotspot track (eastern North Atlantic). *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*. 1, 1008, doi:10.1029/1999GC000018.
- Geldmacher, J., Hoernle, K., Klügel, A., Bogaard, P., Wombacher, F., Berning, B., 2006. Origin and geochemical evolution of the Madeira-Tore Rise (eastern North Atlantic). *Journal of Geophysical Research*. 111, B9, B09206.
- Féraud, G., Gastaud, J., Auzende, J.-M., Olivet, J.-L., Cornen, G., 1982. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ ages for the alkaline volcanism and basement of the Goringe Bank, N Atlantic Ocean, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 57, 211-226.
- Féraud, G., York, D., Mével, C., Cornen, G., Hall, C., Auzend, J., 1986. Additional $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating of the basement and alkaline volcanism of Goringe Bank (Atlantic Ocean). *Earth and Planetary Science Letters*, 79, 255-269.
- LeMaitre, R. W., 1989. A classification of igneous rocks and glossary of terms. Blackwell Scientific Publications, Oxford, p. 193.
- Lustrino, M., Wilson, M., 2007. The circum-Mediterranean anorogenic Cenozoic igneous province. *Earth Science Reviews*. 81, 1-65.
- MacDonald, G. A., 1968. Composition and origin of Hawaiian lavas. In: Coats, R.R., Hay, R.L. e Anderson, C.A. (Eds), *Studies in volcanology: a memoir in honour of Howel Williams*. Geol. Soc. Amer. Mem. 116, 477-522.
- Merle, R., Schärer, U., Cornen, G., Girardeau, J., 2006. Cretaceous seamounts along the continent-ocean transition of the Iberian Margin: U-Pb ages and Pb-Sr-Hf isotopes. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 70, 4950-4976.
- Merle, R., Jourdan, F., Marzoli, A., Renne, P., Grange, M., Girardeau J., 2009. Evidence of multi-phase Cretaceous to Quaternary alkaline magmatism on Tore-Madeira Rise and neighbouring seamounts from $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ ages. *Journal of the Geological Society*. v. 166, 5, p. 879-894.
- Miranda, R., Valadares, V., Terrinha, P., Mata, J., Azevêdo, M. R., Gaspar, M., Kullberg, J.C., Ribeiro, C., 2009a. Age constrains on the Late Cretaceous alkaline magmatism on the West Iberian Margin. *Cretaceous Research*. 30, 575-586.
- Miranda, R., Mata, J., Terrinha, P., Azevêdo, M. R., 2009b. Isotopic and trace element constrains on the source of the Late Cretaceous alkaline magmatism of the West Iberian Margin. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 73, 13, A885.
- Mougenot, D., 1989. *Geologia da Margem Portuguesa*. Instituto Hidrográfico, pp. 259, Portugal.
- Palme, H., O'Neill, H. St. C., 2003. Cosmochemical Estimates of Mantle Composition. *Treatise on Geochemistry*. 2, 1-38.
- Silva E. A., Miranda, J. M., Luís, J. F., Galdeano, A., 2000. Correlation between the Palaeozoic structures from West Iberian and Grand Banks margins using inversion of magnetic anomalies. *Tectonophysics*. 321, 1, 57-71.