

Desligamentos WNW-ESE como limite de placas litosféricas SW Eurásia – NW África no Golfo de Cádiz no Plio-Quaternário

Pedro Terrinha¹, Luís Matias², Eulália Gràcia³, João Duarte^{1,2}, Vasco Valadares^{1,2}, Filipe Rosas², Nevio Zitellini⁴,

¹INETI, Dep. Geologia Marinha (pedro.terrinha@ineta.pt; joao_moedas@hotmail.com; vasco.valadares@ineta.pt)
²FCUL, IDL (lmatias@fc.ul.pt; frosas@fc.ul.pt)
³UTM, CMIMA (egracia@utm.csic.es)
⁴ISMAR (nevio.zitellini@bo.ismar.cnr.it)

Abstract

Swath bathymetry data acquired in 2004 by the MATESPRO project, onboard the oceanographic vessel NRP D. Carlos I, allowed the identification of morphological rectilinear lineaments striking WNW-ESE, more than 200km long, with associated en echelon folds on the Recent hemipelagic sediment cover. Inspection of multi-channel seismic reflection profiles show that these lineaments are faults that cut vertically across the Horseshoe Abyssal Plain, the Gulf of Cadiz chaotic bodies and the Mesozoic rift sediments. Further swath bathymetric mapping accomplished in 2006 (SWIM dataset) showed that these faults extend from the Morocco shelf across the Gulf of Cadiz reaching the Hirondele Seamount, adding up to a 600km long fault zone (SWIM Fault) that connects the eastern end of the Gloria Fault with the Rif-Tell Fault Zone, both recognized as Eurasia-Africa plate boundaries. The SWIM Fault corresponds to a segment of a small circle centred on the pole of rotation of Africa with respect to Eurasia, thus it is proposed that it constitutes new plate boundary.

Keywords: *Africa-Iberia plate boundary, SWIM strike-slip faults, swath bathymetry*

Resumo

O levantamento de batimetria multi-feixe adquirido pelo projecto MATESPRO em 2004, a bordo do navio oceanográfico NRP D. Carlos I, permitiu a identificação de lineamentos morfológicos, de orientação WNW-ESE, com mais de 200km de extensão, e com dobras *en échelon* associadas nos sedimentos hemi-pelágicos de idade Holocénica. A inspecção de perfis sísmicos de reflexão multicanal permitiu verificar que estes se constituem como falhas que atravessam verticalmente os corpos caóticos da Planície Abissal da Ferradura e do Golfo de Cadiz, assim como os sedimentos sin-rifte de idade Mesozóica. Em 2006 completou-se o levantamento batimétrico do Golfo de Cádiz (batimetria SWIM) permitindo reconhecer aquelas falhas de desligamento desde a plataforma continental marroquina até aos montes submarinos de Hirondele e Gorringe, totalizando uma extensão de 600km. Esta zona de falha, a Falha SWIM, estabelece a ligação entre os limites litosféricos “Falha da Glória” e “Zona de Falha Rif-Tell”, correspondendo a um círculo menor centrado no pólo de rotação da África em relação à Eurásia, propondo-se que corresponda ela própria a um limite litosférico.

Palavras-chave: *Africa Iberia limite de placas, desligamentos SWIM, batimetria multi-feixe*

Introdução

A cadeia alpina que se estende desde a Turquia até aos Pirinéus e às Béticas resulta da colisão das placas litosféricas África e Eurásia. O limite entre a Núbia e a Ibéria, na região Mediterrânica, é geralmente marcado pela linha de sismicidade do Rif-Tell (Moruel e Meghraouie, 1996), caracterizado por uma zona de cisalhamento transpressiva dextrógiro, geradora de importante sismicidade e sísmos devastadores. A oeste da Ibéria, na região de litosfera oceânica, a oeste da montanha submarina de Gorringe, o limite é aceite como coincidente com a Falha da Glória, desligamento dextrógiro, gerador de sísmos instrumentais de magnitude $M=8$. O traço da Falha da Glória no fundo marinho é um segmento dum círculo menor centrado no pólo de rotação da Núbia em relação à Ibéria (Fernandes et al., 2003). Ainda mais a ocidente, no planalto oceânico e arquipélago dos Açores, o limite torna-se difuso, transtensivo e com acreção de litosfera oceânica.

Entre a montanha submarina de Gorringe e o Estreito de Gibraltar, região designada por Golfo de Cádiz s.l., o limite de placas litosféricas tem sido, desde há várias décadas, matéria de investigação e discussão. Muitas vezes descrito como o segmento este da Zona de Fractura Açores-Gibraltar, este limite aparece em muitas publicações científicas genéricas, como uma linha recta, simbolizando um desligamento dextrógiro ou, em alternativa, como uma linha em zig-zag, associando cavalgamentos de direcção NE-SW ligados por desligamentos de direcção

NW-SE (e.g. Purdy, 1975, Srivastava et al., 1990, Dewey et al., 1989). Outros autores, como Sartori et al. (1994), com base em perfis sísmicos de reflexão optaram por definir o limite entre a Ibéria e a Núbia, como um limite transicional, não discreto, i.e uma região de aproximadamente 200km de largura, acomodando deformação compressiva, localizado entre as montanhas submarina de Coral Patch Ridge e Goringe, ambas estruturas anticlinais, com transporte para norte, a tecto de cavalgamentos com mais de 150km de comprimento.

Embora a localização do limite entre as placas litosféricas tenha sido matéria de debate intenso, a cinemática entre as duas placas, é em geral concordante. Convergência, desde o Cenomaniano (~92Ma), quando a trajectória de África em relação à Eurásia mudou de NW-SE para SW-NE, implicando o fim do rifting na Bacia Algarvia e o início da inversão das bacias marginais ibéricas e as orogenias Pirenaica e Bética. Srivastava et al. (1990) propõem mesmo um limite destrutivo com subducção de crosta oceânica sob a Margem SW Ibérica durante o Paleogénico e parte do Miocénico. O deslocamento da África em relação à Eurásia tem vindo a rodar no sentido directo, de SW para NE no fim do Cretácico, para N-S no Paleogénico, até se encontrar hoje, com uma direcção ESE-WNW, aproximadamente. Estudos de neotectónica, de campos de tensão de idade Plio-Quaternária e sismicidade levaram Ribeiro et al. (1996) a propôr a existência duma tectónica compressiva na Margem Ocidental Portuguesa, com transporte tectónico para Oeste e formação duma zona de subducção incipiente.

Gutscher et al. (2002) propuseram a existência duma zona de subducção activa no Golfo de Cadiz, associada a uma laje oceânica subductada sob o arco orogénico de Gibraltar que teria formado o prisma acreccionário do Golfo de Cádiz com transporte tectónico para oeste e com marcada expressão batimétrica.

Gràcia et al. (2003) e Terrinha et al. (2003) descreveram estruturas e depósitos de massa associados ao transporte tectónico para Oeste, no Golfo de Cádiz e sudoeste de Portugal, e soerguimento continental e Zitellini et al. (2004) sumarizaram as estruturas tectónicas activas existentes no Golfo de Cádiz.

É de acordo geral que o sismo de Lisboa de 1 de Novembro de 1755, de magnitude estimada entre 8.4 e 8.9 (Martinez-Solares e Lopez-Arroyo, 2004) tenha tido o seu epicentro localizado na região do Golfo de Cádiz no sentido lato, ou seja, entre o estreito de Gibraltar e a montanha submarina de Goringe. Do ponto de vista dos riscos naturais, o entendimento das estruturas geradoras de sismos e tsunamis devastadores nesta zona é de primordial importância devido à densidade populacional nos litorais do Atlântico. Deste modo, a investigação das estruturas tectónicas activas no Golfo de Cádiz tem sido financiada por diversos estados europeus tendo sido, em Agosto de 2007, instalada uma estação de detecção precoce de tsunamis a 3000m de profundidade, a 100km a sul do Cabo de São Vicente, no âmbito da actividade do projecto NEAREST. Hoje, o Golfo de Cádiz e o Sudoeste de Portugal encontram-se mapeados por batimetria multi-feixe que permite o estudo da morfologia do fundo marinho com resolução horizontal superior a 100 m e vertical da ordem da dezena de metros.

Os desligamentos SWIM

Os desligamentos SWIM foram inicialmente identificados durante a campanha de multi-feixe financiada pelo projecto MATEPRO (fig. 1) e posteriormente mapeados em toda a sua extensão pela associação de diversas bases de dados multi-feixe sob a égide do projecto SWIM do programa EUROMARGINS / EUROCORES. Trata-se duma cobertura batimétrica de alta resolução, adquirida durante 19 de campanhas de mar, que envolveram equipas de investigação de 14 países.

Morfologicamente os desligamentos manifestam-se como um conjunto de lineamentos de direcção WNW-ESE, aproximadamente rectilíneos, intersectando as maiores estruturas da região, como as montanhas submarinas de Hirondelle e Goringe, a Planície Abissal da Ferradura, a Falha da Ferradura, o prisma acreccionário do Golfo de Cádiz e a plataforma continental noroeste marroquina, totalizando um comprimento máximo de aproximadamente 600km. Trata-se de um conjunto de lineamentos aproximadamente paralelos entre si, que definem uma zona de cisalhamento de aproximadamente 80km de largura. O critério cinemático é deduzido a partir da disposição de dobras *en échelon* que indicam movimentação dextrógrina

(Terrinha et al., submetido). Rosas et al. (submetido) procederam a modelação análoga e analítica para calcular a movimentação e idade dum dos desligamentos, obtendo valores de aproximadamente 7km e 1,8 milhão de anos, respectivamente.

Os desligamentos SWIM foram estudados em profundidade, utilizando perfis sísmicos de reflexão nos quais se constatou o enraizamento profundo destas falhas, ao nível das falhas controladoras do rifting mesozóico e mesmo da estruturação da litosfera oceânica.

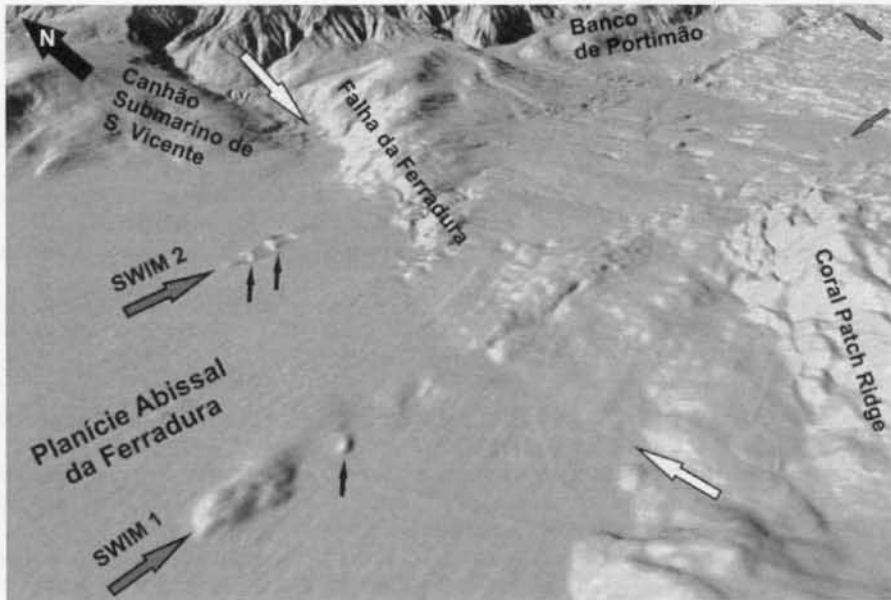


Figura 1- Imagem em perspectiva vista de sudoeste, construída a partir da batimetria multi-feixe MATEPRO. Os desligamentos WNW-ESE estão assinalados como SWIM 1 e SWIM 2. Associado a SWIM 1 podem ver-se na imagem as dobras em échelon indicando a movimentação dextrógiira. A escarpa visível da Falha da Ferradura serve como escala aproximada, tem aproximadamente 120 km.

Conclusões

Considerando que: a) o mais longo dos lineamentos SWIM constitui a projecção dum círculo menor com centro no pólo de rotação da África (Núbia) em relação à Ibéria, calculado por Fernandes et al. (2003) e, b) estabelece a ligação entre dois limites litosféricos, a Falha da Glória e a Zona de Falha de Rif-Tell, conclui-se que o mais longo dos lineamentos SWIM, pode constituir-se como o limite de tipo conservativo entre as placas litosféricas Eurásia-Núbia, entre a montanha submarina de Hirondelle e o noroeste de Marrocos, numa extensão de aproximadamente 600 km.

Agradecimentos

Agradecemos o apoio dos seguintes projectos MATEPRO (Major Tectonic and Sedimentary Processes in the Portuguese Margins. FCT/PDCTM/P/MAR/15264/199), SWIM (Earthquake and Tsunami hazards of active faults at the South-West Iberian Margin: deep structure, high-resolution imaging and paleo-seismic signature, REN2002-11234-EMAR, 01-LEC-EMA09 F (http://www.swim.ul.pt/index_topo.htm)), NEAREST (Integrated observations from NEAR shore sourceS of Tsunamis: towards an early warning system, GOCE Contract n. 037119 (<http://nearest.bo.ismar.cnr.it/>)). Os autores Vasco Valadares e João Duarte beneficiam de bolsas de doutoramento da FCT, respectivamente, SFRH/BD/17603/2004 e SFRH / BD / 31188 / 2006. O trabalho beneficiou do apoio da Landmark Graphics Corporation via Landmark University Grant Program (ref.).

Referências

Buform, E., Udías, A., and Colombás, M.A. (1988), *Seismicity, source mechanisms and tectonics of the Azores-Gibraltar plate boundary*, *Tectonophysics* 152, 89-118.

- Dewey, J.F., M.L. Helman, E. Turco, D.H. Hutton & S.D. Knott, Kinematics of the Western Mediterranean, in: Coward, M.P., Dietrich, D. & Park, R.G (eds), *Alpine Tectonics*, Geol. Soc. Spec. Publ. No. 45, pp. 265-283, 1989
- Duarte, J.C., Vasco Valadares, Pedro Terrinha, Filipe Rosas, Nevio Zitellini, Eulàlia Gracia (accepted) - Anatomy and tectonic significance of WNW-ESE and NE-SW lineaments at a transpressive plate boundary (Nubialberia), *Trabajos de Geologia*.
- Fernandes, R.M.S., B.A.C. Ambrosius, R. Noomen, L. Bastos, M.J.R. Wortel, W. Spakman, and R. Govers, The relative motion between Africa and Eurasia as derived from ITRF2000 and GPS data, in *Geophysical Research Letters*, vol. 30, 2003.
- Gràcia, E., J. Dañoibeitia, J. Vergés, and R. Bartolome, D. Córdoba. *Crustal architecture and tectonic evolution of the Gulf of Cadiz (SW Iberian margin) at the convergence of the Eurasian and African plates*. *Tectonics*, vol. 22, NO.4, 1033, doi:10.1029/2001TC901045, 2003.
- Gràcia, E., Dañoibeitia, J.J., Vergés J., Cordoba, D., and Parsifal Cruise Party(2003) *Mapping active faults at the SW Iberia Margin (38°-36°) from high-resolution swath-bathymetry data. Implications for earthquake hazard assessment*, *Geology*, v.31; n.1, 83-86.
- Gutscher M.-A., J. Malod, J.-P. Rehault, I. Contrucci, F. Klingelhoefer, W. Spakman, L. Mendes-Victor (2002). Evidence for active subduction beneath Gibraltar. *Geology*; December 2002; v. 30; no. 12; p. 1071-1074.
- Martínez-Solares, J. M., and A. López Arroyo (2004), The great historical 1755 earthquake: Effects and damage in Spain, *J. Seismol.*, 8, 275-294.
- Morel, J.L., Meghraoui, M. Goringe-Alboran-Tell tectonic zone: A transpression system along the Africa-Eurasia plate boundary. *Geology*; August 1996; v. 24; no. 8; p. 755-758;
- Purdy, G.M., The eastern end of the Azores-Gibraltar plate boundary, *Gophys. J.R. Astr.Soc.*, 43,p.973-1000, 1975
- Ribeiro, A., J. Cabral, R. Baptista and L. Matias, Stress pattern in Portugal mainland and the adjacent Atlantic region, West Iberia, *Tectonics*, Vol. 15, no.2, pp. 641-659, 1996
- Ribeiro, A., L. Mendes-Victor, J. Cabral, L. Matias and P. Terrinha. The 1755 Lisbon earthquake and the beginning of closure of the Atlantic. *European Review*, Volume 14, Issue 02, May 2006, pp 193-205. doi: 10.1017/S1062798706000196, Published online by Cambridge University Press 12 Abr 2006.
- Rosas, F.M., J.M. Duarte, P. Terrinha, V. Valadares, L. Matias. Morphotectonic characterization of major bathymetric lineaments in NW Gulf of Cadiz (Africa-Iberia plate boundary): insights from analogue modelling experiments. In press in *Marine Geology*.
- Sartori, R., Torelli, L., Zitellini, N., Peis, D. and Lodolo, E. (1994), *Eastern segment of the Azores-Gibraltar line (central-eastern Atlantic): An oceanic plate boundary with diffuse compressional deformation*, *Geology*, 22, 555-558.
- Srivastava, S.P., W.R. Roest, L.C. Kovacs, G. Oakey, S. Levesque, J. Verhoef and R. Macnab, Motion of Iberia since the Late Jurassic: results from aeromagnetic measurements in the Newfoundland Basin, *Tectonophysics*, 184, 229-260, 1990
- Terrinha, P., Pinheiro, L. M., Henriët, J.-P., Matias, L., Ivanov, M. K., Monteiro, J.H., Akhmetzhanov, A., Volkonskaya, A., Cunha, T., Shaskin, P., Rovere, M., and the TTR10 Shipboard Scientific Party; Tsunamigenic-seismogenic structures, neotectonics, sedimentary processes and slope instability on the southwest Portuguese Margin. doi:10.1016/S0025-3227(02)00682-5, *Marine Geology* 3266 (2003) 1-19.
- Terrinha, P., Matias, L., Vicente, J., Duarte, J., Luís, J., Pinheiro, L., Lourenço, N., Diez, S., Rosas, F., Magalhães, V., Valadares, V., Zitellini, N., Mendes Víctor, L. and MATESPRO Team. Strain Partitioning and Morphotectonics at the Iberia-Africa plate boundary from multibeam and seismic reflection data. Submitted to *Marine Geology*.
- Torelli, L., Sartori, R., and Zitellini, N. (1997), *The giant chaotic body in the Atlantic Ocean off Gibraltar: new results from a deep seismic reflection survey*, *Mar. Pet. Geol.*, 14, 125-138.
- Tortella, D., Torné, M., and Perez-Estaun, A. (1997), Geodynamic Evolution of the Eastern Segment of the Azores-Gibraltar Zone: The Goringe Bank and the Gulf of Cadiz Region, *Mar. Geophys. Res.*, 19, 211-230. UDÍAS, A., Lopez-Arroyo, A., and Mezcua, J., (1976), *Seismotectonic of the Azores-Alboran Region*, *Tectonophysics*, 31, 259-289.
- Udias, A., Lopez-Arroyo, A. and Mezcua J., (1976), *Seismotectonic of the Azores-Alboran Region*, *Tectonophysics*, 31, 259-289.
- Zitellini, N., E. Gràcia, M.A. Gutscher, L. Matias, D. Masson, T. Mulder, P. Terrinha, L. Somoza, G. DeAlteriis, J.P. Henriët, J.J. Dañoibeitia, R. Ramella, M.A. Abreu and S. Diez. The quest for the Iberia-Africa Plate boundary west of Gibraltar. Submitted to *Science*.
- Zitellini, N., Rovere, M., Terrinha, P., Chierici, F., Matias, L. and BIGSETS Team – Neogene through Quaternary tectonic reactivation of the SW Iberian passive margin. *Pure and Applied Geophysics*, (2004)161, pp 565-587.
- Zitellini, N., L. A. Mendes Victor, D. Cordoba, J. Danobeitia, R.Nicolich, G.Pellis, A. Ribeiro, R. Sartori, L.Torelli, R.Bartolome, G. Bortoluzzi, A. Calafato, F. Carrilho, L. Casoni, F. Chierici, C. Corela, A.Correggiari, B. Della Vedova, E. Gracia, P. Jornet, M. Landuzzi, M. Ligi, A. Magagnoli, G. Marozzi, L. Matias, D. Penitenti, P. Rodriguez, M. Rovere, P. Terrinha, L.Vigliotti and A. Zahinos Ruiz. The 1755 Lisbon earthquake and Tsunami: localization and investigation of the tectonic source. *EOS, Transactions, American Geophysical Union*, volume 82, number 26, June 26, 2001.
- Zitellini, N., Chierici, F., Sartori, R. and Torelli, L. (1999), *The tectonic source of the 1755 Lisbon earthquake and tsunami*, *Annali di Geofisica*, 42, 1, 49-55.