

Magnetismo remanescente e tectónica da região Terra Sirenum – Terra Cimmeria: implicações para a evolução geológica de Marte

Remanent magnetism and tectonics of the Terra Sirenum – Terra Cimmeria region: implications for the geological evolution of Mars

Alves, E. I.^{*1}, Azevedo, J. M.^{*2}, Alte da Veiga, N. M.^{*3}, Fernandes, V. A.^{*4}, Baptista, A. R.^{*5}, Madeira, R. M.^{*6}

¹ e.ivo.alves@netc.pt

² jazevedo@ci.uc.pt

³ nuno.altdaveiga@mail.telepac.pt

⁴ verafernandes@yahoo.com

⁵ aritacastro@clix.pt

⁶ rmmad@hotmail.com

* Centro de Geofísica da Universidade de Coimbra, Av. Dr. Dias da Silva, 3000-134 Coimbra, Portugal

Dados recentes (Purucker et al., 2000), adquiridos pelo magnetómetro MAG-ER, transportado pela sonda Mars Global Surveyor (MGS), revelaram anomalias magnéticas muito intensas ($>\pm 500$ nT a uma altitude normalizada de 200 Km) na superfície de Marte. As anomalias magnéticas têm grande extensão (à escala planetária) mas localizam-se quase exclusivamente na zona Sul da dicotomia hemisférica, nos terrenos mais antigos de idade Noaquiana e Hesperiana. A região onde as anomalias são mais intensas situa-se nas Terra Sirenum e Cimmeria (TS-TC), centrada nas coordenadas 50°S, 180°E.

A geometria superficial das anomalias magnéticas nesta área mostra uma estrutura em bandas paralelas, de polaridades alternadas, simétricas em torno de um alinhamento de orientação EW localizado à latitude 50°S. Esta geometria é análoga à que, na Terra, se forma em zonas de rifte,

Para além da simetria de eixo EW existe uma outra, menos marcada, em torno de uma linha aproximadamente NS, localizada à longitude 180° E, aparentemente posterior.

A crosta da região TS-TC é interpretada como sendo maioritariamente de idade Noaquiana (>3600 Ma) (Scott e Tanaka, 1998). A era Noaquiana caracteriza-se por ter elevado grau de craterismo: mais de 25 crateras com diâmetro superior a 16 Km por 106 Km².

A área sobre a qual o presente estudo se debruça com maior pormenor situa-se entre as latitudes 40°S e 60°S e as longitudes 160°E e 150°W, com altitudes médias superiores aos 2000 m, densamente craterizado. É aqui que se situam as anomalias magnéticas mais intensas. A contagem de crateras nesta área – mais de 200 crateras com diâmetro superior a 16 Km por 106 Km² – permite datar a superfície como Noaquiano Inferior. O facto de as maiores crateras deformarem ou mesmo obliterarem as anomalias magnéticas mostra que a origem destas deverá ser procurada em processos de rifting (continental?) muito antigo, no Noaquiano Inferior, ou seja, nos primórdios da história geológica de Marte, há mais de 4200 Ma, ainda no período de diferenciação da crosta.

Por outro lado, esta área apresenta um denso registo de tectonismo. A tectónica da Terra Sirenum foi interpretada como sendo condicionada pelo extenso sistema de grabens que constitui as Sirenum Fossae (Anderson et al., 2001). Este é um dos vários sistemas de grabens que irradiam da região de Tharsis, todos caracterizados por um regime extensional de falhamento, sem componente de desligamento sensível. Todos os processos magmato-tectónicos relacionados com o empolamento da região de Tharsis têm sido associados com a ascensão diapírica de magmas num regime termodinâmico de tipo “hot-spot” (Wilson e Head, 2002) a partir do

Hesperiano Inferior (Scott e Tanaka, 1986). Note-se que os dados MAG-ER não revelaram magnetização das lavas de Tharsis, pelo que estas devem ter extruído quando o mecanismo de dínamo interno já estava extinto. A extrusão dessas lavas é posterior à implantação dos sistemas de grabens.

Na área limitada em estudo podem observar-se dois alinhamentos estruturais mais nítidos. A direcção N70°E, marcada por falhas sem desligamento visível, é a dominante. O outro alinhamento corresponde a um sistema de falhas com componente de desligamento, sendo visíveis falhas N30°W com movimento esquerdo, em particular nos bordos da cratera Copernicus onde chegam a apresentar movimentos horizontais da ordem dos 10 Km. Este sistema de falhas é posterior ao alinhamento dominante. O entrecruzamento das duas direcções tectónicas mais significativas produz uma topografia em “boxwork”, visível nas imagens MOLA (Mars Orbiter Laser Altimeter) da sonda MGS (MOLA Science Team, 2003).

O conjunto de dados analisados permite sugerir uma cronologia relativa para os eventos na região Terra Sirenum – Terra Cimmeria. Assim, sucessivamente:

1. Implantação em regime de tipo *rifting* das rochas que preservaram as anomalias magnéticas de orientação geral EW;
2. Evento distensivo de orientação geral NS;
3. Extinção do mecanismo de dínamo planetário;
4. Principais eventos de bombardeamento meteorítico Noaquiano;
5. Formação do sistema de grabens radiais a partir do empolamento diapírico de Tharsis, aqui marcados pela fracturação N70°E, a partir do Hesperiano Inferior;
6. Formação do sistema de falhas com componente de desligamento.

Embora não seja ainda possível datar com maior rigor este último sistema de falhas, ele é seguramente tardí-Hesperiano a Amazoniano, o que implica que, nesse período, Marte ainda teria uma tectónica activa.

Referências

Anderson, R. C., Dohm, J. M., Golombeck, M. P., Haldemann, A. F. C., Franklin, B. J., Tanaka, K. L., Lias, J. e Peer, B. (2001) Primary centers and secondary concentrations of tectonic activity through time in the western hemisphere of Mars. *Jour. Geophys. Res.* 106, E9, 20563-20586.

MOLA Science Team (2003) <http://ltpwww.gsfc.nasa.gov/tharsis/mola.html>

Purucker, M., Ravat, D., Frey, H., Voorhies, C., Sabaka, T. and Acuña, M. (2002) An altitude-normalized magnetic map of Mars and its interpretation. *Geophys. Res. Lett.*, 27, 2449-2452.

Scott, D. H. e Tanaka, K. L. (1998) Geological map of the western equatoria region of Mars. USGS Misc. Invest. Ser. Map I -1802-A, scale 1:15,000,000.

Wilson, L. e Head III, J. W. (2002) Tharsis radial graben systems as the surface manifestation of plume-related dike intrusion complexes: Models and implications. *Jour. Geoph. Res.* 107, E8, 10.

Um projecto de prospecção magnética em Marte

A project for magnetic exploration on Mars

Alves, E. I.^{*1}, Azevedo, J. M.^{*2}, Alte da Veiga, N. M.^{*3}, Fernandes, V. A.^{*4}

¹ e.ivo.alves@netc.pt

² jazevedo@ci.uc.pt

³ nuno.altdaveiga@mail.telepac.pt

⁴ verafernandes@yahoo.com

* Centro de Geofísica da Universidade de Coimbra, Av. Dr. Dias da Silva, 3000-134 Coimbra, Portugal

Dos planetas telúricos principais do Sistema Solar (Mercúrio, Vénus, a Terra e Marte), apenas dois têm campos magnéticos dipolares, de origem interna, provavelmente gerados por mecanismos análogos de dínamo nos seus núcleos: Mercúrio e a Terra. Na Terra, as variações de longo período do campo geomagnético, incluindo as suas inversões caóticas, têm sido registadas nas rochas sob a forma de magnetizações remanescentes, principalmente pelos processos de magnetização termo-remanescente (dominante nas rochas ígneas) e magnetização detritica (dominante nas rochas sedimentares).

Foi com surpresa, portanto, que se descobriu recentemente (Connerney et al., 1999) que também se encontram anomalias magnéticas na superfície de Marte. Os dados que permitiram essa descoberta foram adquiridos pelo magnetómetro MAG-ER, transportado pela sonda Mars Global Surveyor (MGS). A cartografia dessas anomalias apresenta razoáveis semelhanças com a das anomalias magnéticas terrestres: na sua zona mais intensa (entre as Terra Cimmeria e Sirenum), dispõem-se em bandas paralelas com alternância de polaridade (Purucker et al., 2002). A principal diferença é que a intensidade dessas anomalias chega a ser duas ordens de grandeza maior que na Terra. Outro aspecto interessante, e que diferencia Marte da Terra, é que, ao contrário do nosso planeta, é nas zonas mais antigas que se encontram as anomalias, em particular nos terrenos fortemente craterizados dos períodos Noaquiano e Hesperiano, quase sempre a Sul da dicotomia hemisférica planetária. Esta disposição indica que Marte terá tido um dínamo interno e, provavelmente, uma tectónica activa mas que a pequena dimensão do planeta terá levado a um arrefecimento precoce, por alturas do limite temporal Hesperiano-Amazoniano, com consequente paragem do dínamo.

O conhecimento pormenorizado das anomalias magnéticas de Marte reveste-se da maior importância, não só para o conhecimento da história geológica do planeta mas também para a sua caracterização exobiológica e mesmo para a sua futura exploração humana. De facto, um dos principais obstáculos ao desenvolvimento de vida num planeta são as radiações energéticas provenientes do vento solar. A Terra está protegida dessas radiações pela magnetosfera. Será que as zonas das anomalias magnéticas em Marte produzem campos locais suficientemente fortes para proteger as putativas formas de vida? Será que esses campos são bastante fortes para proteger futuros exploradores humanos?

Os dados MGS não são bastantes para responder a estas perguntas. Em termos de sobrevivência, é muito diferente possuirmos uma grande área coerentemente magnetizada ou várias pequenas áreas (menores que a resolução espacial do instrumento MAG-ER) com uma resultante aparentemente coerente. As áreas de Marte em que haverá maior probabilidade de se encontrar vida, passada ou presente, serão aquelas em que, simultaneamente, houver maior disponibilidade de água e protecção das radiações (Alves e Madeira, 2003). Além disso, a escolha

de um local “protegido” para o pouso de missões tripuladas evitaria a construção ou o escavamento de abrigos anti-radiações.

A única solução para conhecer em pormenor a geometria e a intensidade das anomalias magnéticas e das suas fontes será realizar perfis magnéticos na superfície do planeta. Foi essa a proposta do projecto MAGMA (*a MAGnetic Gradiometer on MArS*), coordenado pelo Centro de Geofísica da Universidade de Coimbra, e que inclui um total de 19 investigadores de Portugal, Grã-Bretanha, Espanha, França, Itália, República Checa e Suíça.

Nunca esteve um magnetómetro, nem fixo, na superfície marciana. Há agora a oportunidade de incluir um sistema magnetométrico no *rover* ExoMars que a Agência Espacial Europeia deverá enviar em 2009 para pousar na superfície de Marte e aí realizar um perfil com pelo menos 34 Km de extensão horizontal, amostrando periodicamente rochas, solos e atmosfera. Os objectivos da missão ExoMars são dois: “procurar sinais de vida passada e presente em Marte” e “identificar possíveis riscos para humanos na superfície” (Gardini et al., 2002).

O sistema que propusemos foi um gradiômetro magnético, composto por dois magnetómetros *fluxgate* triaxiais, localizados no exterior do *rover* a duas alturas separadas pelo menos 1 m. Os magnetómetros terão peso e consumo eléctrico muito baixos (<200 g; <375 mW) e não obrigarão a construir infra-estruturas específicas. A escolha do dispositivo duplo – gradiômetro – deveu-se a este apresentar as seguintes vantagens: 1) redundância; 2) os gradientes filtram a variação diurna; 3) permitem obter directamente as anomalias residuais, filtradas de possíveis tendências regionais; 4) melhoraram a sensibilidade do instrumento; 5) melhoraram a discriminação entre anomalias adjacentes; 6) melhoraram a estimativa da profundidade da fonte da anomalia (Telford et al., 1993).

A realização deste perfil magnético será uma importante ferramenta para melhorar a compreensão da evolução geológica e do potencial exobiológico de Marte. Além disso, o muito baixo consumo eléctrico dos magnetómetros MAGMA permite antever que um deles possa continuar em serviço como observatório magnético fixo até um ano depois de os recursos energéticos do *rover* já não permitirem nem o movimento nem a operação de qualquer dos outros instrumentos.

Referências

- Alves, E. I. and Madeira, V. M. C. (2003)** Magnetic Gradiometry: a tool to enhance the exobiological and geological understanding of Mars. Proc. Sixth Int. Conf. on Mars, Pasadena, USA. In prelu.
- Connerney, J., Acuña, M., Wasilewski, P., Ness, N., Rème, H., Mazelle, C., Vignes, D., Lin, R., Mitchell, D. and Cloutier, P. (1999)** Magnetic lineations in the Ancient Crust of Mars. Science, 284, 794 -798.
- Gardini, B. and the ExoMars Study Team (2002)** ExoMars09 CDF Study Report. ESA document CDF -14(A).
- Purucker, M., Ravat, D., Frey, H., Voorhies, C., Sabaka, T. and Acuña, M. (2002)** An altitude-normalized magnetic map of Mars and its interpretation. Geophys. Res. Lett., 27, 2449-2452.
- Telford, W. M., Geldart, L. P. and Sheriff, R. E. (1993)** Applied Geophysics. 2nd ed. Cambridge Univ. Press.

Control tectónico en la sedimentación en cuencas piggy-back. Ejemplos de la zona central-surpirenaica.

Tectonic controls on sedimentary trends. Examples from the South-Central Pyrenees piggy-back basins.

Beamud, E.¹; Garcés, M.²; Muñoz, J. A.²; Cabrera, L.²

¹ Grup de Geodinàmica i Anàlisi de Conques. Universitat de Barcelona, Laboratori de Paleomagnetisme (UB-CSIC-CIRIT), Institut de Ciències de La Terra *J. Almera* (CSIC), Solé i Sabarís s/n, 08028 Barcelona. betbeamud@ub.edu

² Grup de Geodinàmica i Anàlisi de Conques. Universitat de Barcelona. Facultat de Geologia. C/Martí i Franqués s/n. 08028 Barcelona.

La sedimentación sintectónica aluvial en regímenes compresivos está fuertemente influenciada por movimientos verticales diferenciales (subsidiencia y levantamiento) y por cambios en los aportes sedimentarios, resultantes de las rápidas transformaciones en la topografía y red de drenaje. En este escenario, la progradación aluvial se suele interpretar como la respuesta sedimentaria a un incremento en el levantamiento tectónico y en la erosión del área fuente. La visión clásica que relaciona una progradación aluvial con una alta tasa de sedimentación, deriva probablemente de la escasez de dataciones precisas en materiales aluviales que permitan establecer con fiabilidad sus tasas de acumulación.

Los conglomerados de La Pobla de Segur (Rosell and Riba, 1966, Mellere, 1992) y de la Sierra de Sis (Vincent, 1993) representan el relleno sinorogénico de cuencas piggy-back de la Zona Surpirenaica central durante el Eoceno medio-superior. Los datos magnetoestratigráficos de estos materiales (Fig. 1) ponen de manifiesto un considerable descenso de las tasas de sedimentación durante el Bartonense (c18n), coincidiendo con una progradación de gravas a escala de cuenca. Bentham (1992) documenta también un descenso de las tasas de sedimentación para el mismo periodo en la zona de Mediano, igualmente asociado a una progradación de los conglomerados de la Formación Escanilla.

El levantamiento de las zonas internas de la cadena pirenaica durante este tiempo (Fitzgerald et al., 1999) garantizaba los aportes sedimentarios necesarios para mantener la acumulación de material en equilibrio con la subsidiencia. Por lo tanto, una progradación aluvial, acompañada de un descenso en la tasa de acumulación, sugiere una disminución del espacio de acomodación como principal factor de control en las tasas de sedimentación, arquitectura sedimentaria y composición de los materiales.

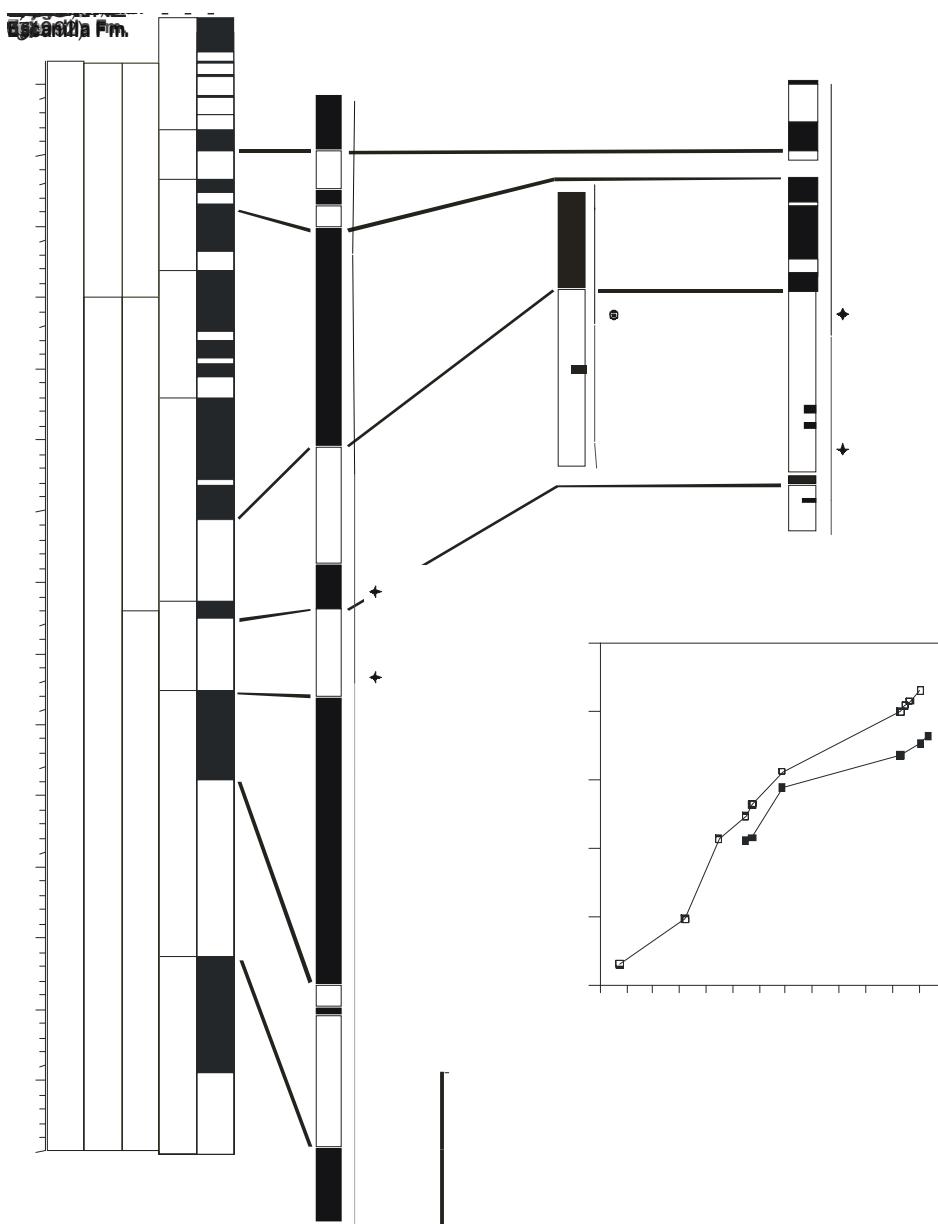


Fig. 1- Correlación magnetoestratigráfica de los conglomerados de la Pobla de Segur y Sierra de Sis con la ETPG (Cande & Kent, 1995). La serie “Mediano area” está compuesta por las series magnetoestratigráficas de Mediano y Eripol (Bentham, 1992). (b) tasas de sedimentación para las series de La Pobla de Segur y Mediano, derivadas de la correlación propuesta.

Referencias

Bentham, P.A. (1992) The tectono-stratigraphic development of the western oblique ramp of the South -Central Pyrenean thrust system, Northern Spain [PhD Thesis thesis]: California, University of Southern California.

Cande, S.C. and Kent, D.V. (1995) Revised calibration of the geomagnetic polarity time scale for the Late Cretaceous and Cenozoic: Journal of Geophysical Research, B, Solid Earth and Planets 100(4), 6093 -6095.

Fitzgerald, P.G., Muñoz, J.A., Coney, P.J., and Baldwin, S.L. (1999) Asymmetric exhumation across the Pyrenean orogen: implications for the tectonic evolution of a collisional orogen: Earth and Planetary Science Letters, v. 173, p. 157 -170.

Mellere, D. (1992) I conglomerati di Pobla de Segur: S stratigrafia fisica e relazioni tettonica -sedimentazione [Tesi di dottorato in scienze della terra thesis]: Padova, Universita degli studi di Padova.

Rosell, J., and Riba, O. (1966) Nota sobre la disposición sedimentaria de los conglomerados de Pobla de Segur (provincia de Lérida), Quinto Congreso Internacional de Estudios Pirenaicos: Jaca -Pamplona, p. 3-16.

Vincent, S.J. (1993) Fluvial paleovalleys in mountain belts: an example from the south central Pyrenees [Ph. D. thesis]: Liverpool, University of Liverpool

Determinación de la magnetización remanente de las fuentes magnéticas en entornos volcánicos activos a partir del análisis y la modelización de las anomalías magnéticas y gravimétricas. Aplicación a la isla de Lanzarote.

Estimation of the remanent magnetization of magnetic sources in active volcanic environments through the analysis and modelling of magnetic and gravity anomalies. Application to Lanzarote island.

Blanco-Montenegro, I.¹, Montesinos, F.G.², García, A.³, Vieira, R.²

¹ Dep. Física, Universidad de Burgos, Escuela Politécnica Superior, c/Villadiego s/n, 09001 Burgos, España,
iblanco@ubu.es

² Instituto de Astronomía y Geodesia (CSIC-UCM), Facultad de Ciencias Matemáticas, Av. Complutense s/n, 28040
Madrid, fuen@iaamat1.mat.ucm.es

³ Dep. Volcanología, Museo Nacional de Ciencias Naturales (CSIC), José Gutiérrez Abascal 2, 28006 Madrid,
aliciag@mncn.csic.es

Un mapa de anomalías magnéticas constituye el reflejo en superficie de las heterogeneidades en la magnetización (remanente e inducida) de la corteza terrestre, directamente ligadas a las diferentes estructuras presentes en el subsuelo. Por esta razón, la elaboración de un modelo de la corteza a partir de un mapa de anomalías magnéticas puede aportar información muy valiosa acerca de dichas estructuras. Sin embargo, el problema fundamental de este tipo de estudio radica en la no unicidad del problema inverso, según la cual existen infinitas distribuciones de magnetización que podrían ser la fuente de las anomalías observadas en superficie. En el caso de las áreas volcánicas activas, se da además la circunstancia de que la razón de Koenigsberger de las rocas suele ser mucho mayor que uno, razón por la cual la contribución fundamental al mapa de anomalías magnéticas la produce la magnetización remanente de las rocas cuya dirección es, en general, desconocida. En el proceso de modelización, por tanto, los parámetros a estimar son, por un lado, la geometría y dimensiones de las fuentes y, por otro, el módulo y la dirección del vector magnetización total que caracteriza a cada estructura. En general, la obtención de un modelo geológicamente razonable sólo es posible cuando se cuenta con información geológica y geofísica (gravimétrica, sísmica, etc.) con la que acotar las infinitas soluciones.

El mapa de anomalías magnéticas de la isla de Lanzarote, extraído del vuelo aeromagnético del archipiélago canario (Socías y Mézcua, 1996) revela la presencia de una intensa anomalía dipolar sobre esta isla, lo que implica la existencia de una gran estructura directamente magnetizada como fuente magnética principal. Por otro lado, el mapa de anomalías de Bouguer de Lanzarote (Camacho et al., 2001) revela un máximo gravimétrico que se correlaciona claramente con el dipolo magnético, y cuya fuente es modelizada por estos mismos autores mediante inversión 3D, dando como resultado un cuerpo prismático que se identifica como el núcleo intrusivo emplazado durante los primeros estadios de la génesis de la isla.

Asumiendo la hipótesis de que dicho cuerpo es también el origen de la anomalía magnética dipolar y, en consecuencia, que la geometría de la fuente es conocida, el proceso de modelización magnética se ha estructurado en dos pasos: 1) estimación de la dirección del vector magnetización; 2) estimación de la intensidad de la magnetización. Para la primera parte el procedimiento propuesto consiste en calcular el mapa de pseudogravedad y de anomalía reducida al polo para distintos pares de valores de declinación e inclinación de la magnetización. Con ejemplos sintéticos puede demostrarse que los máximos del gradiente horizontal de

pseudogravedad y reducción al polo señalan con bastante precisión el contorno de la fuente, siempre que la dirección asignada a la magnetización sea la real. Así, comparando el contorno real de la fuente con el resultado de las distintas transformaciones del mapa de anomalías, ha podido estimarse la dirección de la magnetización de esta estructura anómala. Una vez obtenida la dirección de la magnetización, el último paso ha consistido en la determinación del módulo de dicho vector. Para ello se ha modelizado la estructura en 2.75D a lo largo de varios perfiles que la atraviesan. Considerando como parámetros de entrada la geometría de la fuente y la dirección de la magnetización, se ha obtenido el valor del módulo de la magnetización remanente ajustando la anomalía observada. Este procedimiento ha permitido obtener un modelo magnético realista del núcleo máfico de Lanzarote, así como extraer conclusiones extrapolables a otros estudios similares en otras áreas.

Referencias

Camacho, A.G., Montesinos, F.G., Vieira, R. and Arnoso, J. (2001) Modelling of crustal anomalies of Lanzarote (Canary Islands) in light of gravity data, *Geophys. J. Int.* 147, 403-414.

Socías, I. y Mézcue, J. (1996) Levantamiento aeromagnético del archipiélago canario, Instituto Geográfico Nacional, Publicación Técnica nº 35, 28 pp.

Análisis del efecto del calentamiento sobre la remanencia magnética en experimentos de paleointensidad

Analysis of the effect of heating on magnetic remanence in palaeointensity experiments

Calvo Rathert, M.¹, Prévot, M.², Perrin, M.²

¹Dpto. de Física, Univ. Burgos, Av. de Cantabria s/n, 09006 Burgos. E-mail: mcalvo@ubu.es

²Géophysique, Tectonique et Sedimentologie, CNRS-UMII 5573, U. Montpellier II, Francia

1 Introducción

El estudio de la paleointensidad del campo magnético terrestre presenta mayores dificultades que las determinaciones paleomagnéticas clásicas, ya que dicha magnitud – a diferencia de lo que ocurre con la dirección del campo magnético terrestre – no se obtiene directamente del vector imanación. Mientras que la dirección de la imanación es, en la mayor parte de los casos, prácticamente paralela a la del campo imanador, su magnitud es únicamente proporcional a la de éste, de forma que, con el fin de obtener el valor de la paleointensidad se hace necesaria la realización de experimentos de reimanación. Los métodos de determinación de la paleointensidad que cuentan con un fundamento físico más riguroso y proporcionan los resultados más fiables, son los basados en el método original de Thellier (Thellier, 1937), en los cuales la intensidad del campo magnético imanador original se obtiene en el laboratorio a partir de un experimento de reimanación térmica.

Por regla general, en los estudios de paleointensidad un amplio porcentaje de las muestras no proporciona resultados fiables. Por añadidura, la dispersión de los resultados es muy superior a la que se observa en los resultados direccionales obtenidos en experimentos paleomagnéticos. El problema reside en la dificultad de que se cumplan todas las condiciones necesarias para una determinación correcta de la paleointensidad absoluta: (i) La remanencia primaria de una roca debe ser una termorremanencia (TRM), (ii) las muestras estudiadas deben obedecer las llamadas *leyes de Thellier* de reciprocidad, independencia y aditividad de termorremanencias parciales (pTRM) adquiridas en intervalos de temperatura que no se superpongan (Thellier y Thellier, 1959) y (iii) las muestras no deben sufrir cambios químicos, mineralógicos o físicos durante los calentamientos a los que son sometidas durante los experimentos. El presente trabajo se limita al análisis de este último aspecto.

2 Imanación remanente de calentamiento (HRM)

Con el fin de investigar las razones que subyacen a la dificultad de obtener estimaciones fiables de la paleointensidad mediante experimentos de tipo Thellier, se diseño un procedimiento específico para su determinación, que se aplicó a una selección de muestras de 6 coladas del volcán Etna, correspondientes a las erupciones de 1910 y 1928 (Calvo, 2002). Aparte de la paleointensidad, este procedimiento permite determinar, entre otras magnitudes, la remanencia adquirida debido al calentamiento de las muestras durante el experimento. Durante el calentamiento en un campo de intensidad débil, pueden producirse, al menos, tres tipos de imanación remanente: (i) una imanación termoviscosa (TVRM), adquirida durante los intervalos de tiempo en los cuales se mantiene la temperatura constante entre el calentamiento y el enfriamiento; (ii) una imanación cristalina o química (CRM), debido a la creación de nuevas fases magnéticas o a la alteración de fases magnéticas preexistentes y (iii)

una imanación transdominio (TDRM), relacionada con la reestructuración, durante el calentamiento, de la configuración de dominios magnéticos (Moon y Merrill, 1986; Sholpo et al., 1991). Las remanencias producidas por el calentamiento se denominarán, de forma genérica, HRM (*heating remanent magnetisation*). En el presente trabajo, el valor de la HRM se obtuvo de dos formas independientes. Por una parte, el procedimiento diseñado permitía su determinación directa (HRM_{dir}), la cual se llevó a cabo en todas las muestras. Por otra parte, en determinadas muestras también se calculó de forma indirecta a partir de la desviación de la NRM en dirección del campo aplicado (HRM_{ind}), (Coe et al., 1984; Goguitchaichvili et al., 1999). Debido a las características del experimento, mientras que HRM_{dir} refleja la HRM adquirida a una determinada temperatura T_i , HRM_{ind} , representa el efecto cumulativo del calentamiento a T_i y de todos los calentamientos previos.

Consideramos que la HRM observada en las muestras del Etna estudiadas no es una TVRM. Durante el experimento de paleointensidad, en la etapa correspondiente a la determinación de HRM, las muestras se calentaban hasta una temperatura T_i en presencia de un campo magnético de $50\mu T$, permaneciendo en dicho campo durante 10 minutos a T_i . Posteriormente, se anulaba el campo, y se mantenía la muestra durante otros 10 minutos a T_i , antes de enfriarla. Este procedimiento debería bastar para eliminar la mayor parte de una TVRM. El hecho de que la HRM y la pTRM posean intensidades de un orden de magnitud comparable parece confirmar que no se trata de una TVRM.

La comparación de HRM_{dir} y HRM_{ind} permite establecer si la imanación producida por el calentamiento es una CRM. La CRM adquirida a una temperatura T_i sólo se desimanía parcialmente en los calentamientos posteriores, de forma que HRM_{ind} , que representa el efecto cumulativo correspondiente a varias etapas de calentamiento, debería ser mayor que HRM_{dir} , que refleja la CRM adquirida a una determinada temperatura. Sin embargo, esto no se observa en ninguno de los casos estudiados.

Proponemos, por tanto, que la HRM observada es una TDRM, adquirida probablemente durante los intervalos de tiempo entre el calentamiento y el enfriamiento, en los cuales, en presencia de un campo magnético de $50\mu T$, se mantenía la temperatura constante. Según esta hipótesis, se produce una reorganización de la estructura de dominios en cada nuevo calentamiento, destruyendo TDRMs adquiridas previamente, de forma que el valor de HRM_{dir} debe ser similar al de HRM_{ind} , lo cual se halla en concordancia con los resultados experimentales. Esta hipótesis se ve reforzada por la comparación de los valores obtenidos para la HRM y el llamado *pTRM-tail* – la pTRM no desimanada a la temperatura máxima de adquisición de la misma -, que constituye una característica de los granos multidominio, guardando por tanto, una estrecha relación con los cambios en la estructura de dominios.

Referencias

- Calvo, M., Prévot, M., Perrin, M. y Riisager, J. (2002)** Investigating the reasons for the failure of palaeointensity experiments. A study on historical lava flows from Mt. Etna. *Geophys. J. Int.*, 149, 44 -63.
- Coe, R.S., Grommé, S. y Mankinen, E. (1984)** Geomagnetic palaeointensities from excursion sequences in lavas on Oahu, Hawaii, *J. Geophys. Res.*, 89, 1059-1069.
- Goguitchaichvili, A., Prévot, M., Thompson, J. y Roberts, N. (1999)** An attempt to determine the absolute geomagnetic field intensity in Southwestern Iceland during the Gauss-Matuyama reversal. *Phys. Earth planet. Int.*, 115, 53 -66.
- Moon T. y Merrill, R.T. (1986)** A new mechanism for stable remanent magnetization and overprinting during long magnetic polarity intervals, *Geophys. Res. Lett.*, 13, 737-740.
- Sholpo, L.Y., Ivanov, V.A. y Borisova, G.P. (1991)** Thermomagnetic effects of reorganization of domain structure. *Izvestiya, Earth Physics*, 27, 617-623.
- Thellier, E. (1937)** Sur l'aimantation dite permanente des basalts. *C.R. Acad. Sci.*, 204, 876 -879.
- Thellier, E. y Thellier, O. (1959)** Sur l'intensité du champ magnétique terrestre dans le passé historique et géologique, *Ann Geophys.*, 15, 285-376.

Distribución de las rotaciones paleomagnéticas en los anticlinales de Boltaña y Añisclo (Pirineos Centrales)

Distribución de las rotaciones paleomagnéticas en los anticlinales de Boltaña y Añisclo (Pirineos Centrales)

Fernández, O.¹, Beamud, E.², Muñoz, J.A.³, Dinarés-Turell, J.⁴, Poblet, J.⁵

¹ Grup de Geodinàmica i Anàlisi de Conques, Fac. de Geologia (Univ. de Barcelona), c/Martí i Franquès s/n, 08028
Barcelona, España, ofernand@geo.ub.es

² Grup de Geodinàmica i Anàlisi de Conques, Lab. de Paleomagnetisme (UB-CSIC), Inst. J. Almera, c/ Solé i
Sabaris s/n, 08028 Barcelona, España, betbeamud@ub.edu

³ Grup de Geodinàmica i Anàlisi de Conques, Fac. de Geologia (Univ. de Barcelona), c/Martí i Franquès s/n, 08028
Barcelona, España, josep@geo.ub.es

⁴ Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Via de Vigna Murata 605, 00143 Roma, Italia, dinares@ingv.it

⁵ Departamento de Geología (Univ. de Oviedo), Campus de Llamaquique, Jesús Arias de Velasco s/n, 33005 Oviedo,
España, jpoblet@geol.uniovi.es

Los anticlinales de Añisclo y Boltaña, junto con los anticlinales de Mediano y Olsón forman parte de un conjunto de anticlinales de orientación N-S que afectan los materiales eocenos de la cuenca de Ainsa (Fig. 1). Estos pliegues, de edad luteciense-bartoniente (Poblet et al., 1998, Soto y Casas, 2001), se han en el bloque superior del cabalgamiento de Gavarnie-Sierras Exteriores, y en el bloque inferior del manto del Montsec-Peña Montañesa. Algunos autores han tratado estos pliegues como estructuras de rampa lateral u oblícua (e.g., Holl y Anastasio, 1995), como el resultado de diferentes fases de plegamiento (Garrido Megías, 1973) o incluso como consecuencia del emplazamiento del manto del Montsec-Peña Montañesa (Seguret, 1970, Holl y Anastasio, 1993).

Los pliegues de orientación N-S de la cuenca de Aínsa junto con los de Sierras Exteriores han sido objeto de diversos estudios paleomagnéticos. Dinarés (1992) y Parés y Dinarés (1993) documentan rotaciones de eje vertical en sentido horario de entre 30° y 40° en la cuenca de Ainsa. Bentham (1992) detecta rotaciones horarias cercanas a los 30° en los sedimentos sintectónicos asociados al anticlinal de Mediano. Finalmente, Pueyo (2000) describe rotaciones horarias de hasta 40° en los pliegues N-S de las Sierras Exteriores, y constata que la edad de la rotación es bartoniente-priaboniente.

Se presenta un estudio que comprende datos de rotaciones de direcciones paleomagnéticas en los anticlinales de Añisclo y Boltaña, en el Pirineo central. Estos datos revelan una rotación horaria de hasta 80° en los materiales de la plataforma de edad cuisiense del anticlinal de Boltaña en la transversal del Río Ara, y que disminuye progresivamente hacia el norte hasta los 20° en su terminación septentrional. La misma distribución de rotaciones se observa a lo largo del anticlinal de Añisclo.

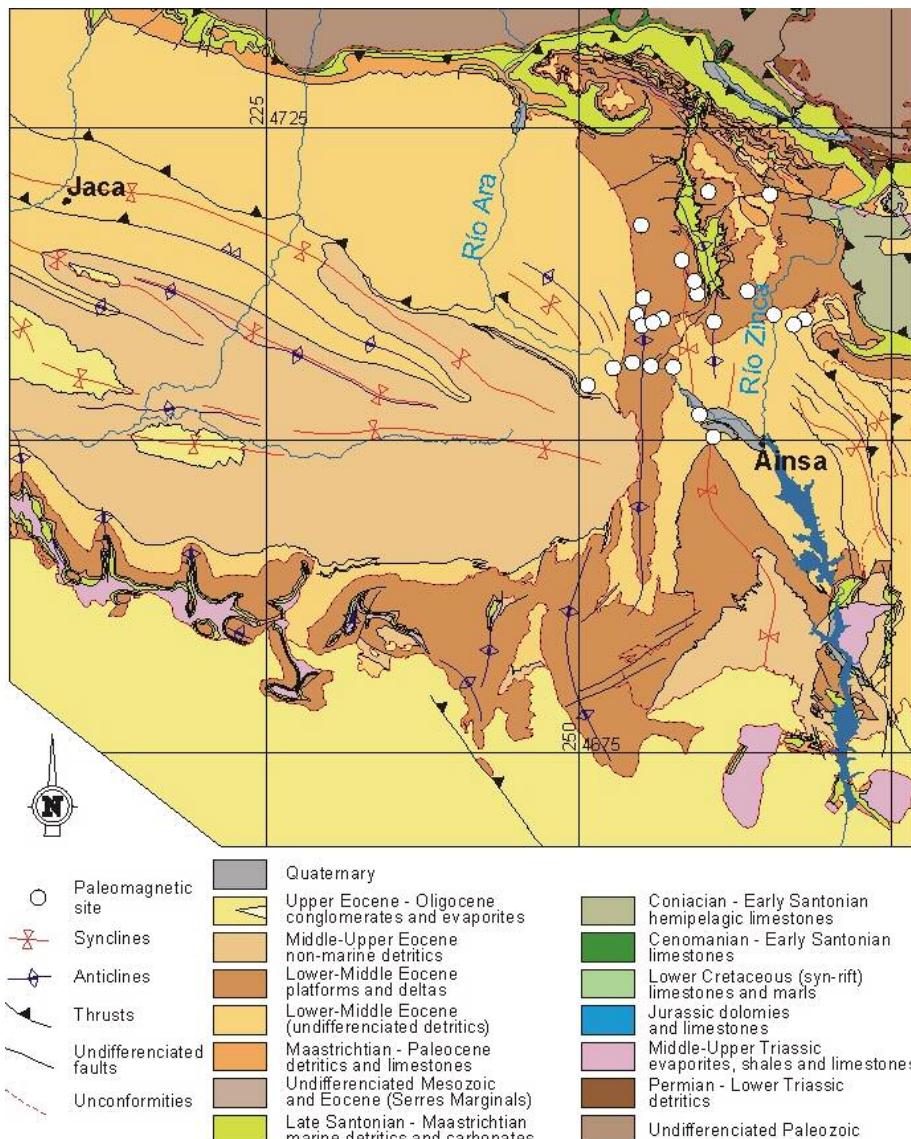


Fig. 1. Mapa geológico de la zona de estudio con la posición de las estaciones de muestreo.

Referencias

- Parés, J. M. y Dinarès-Turell, J. (1993)** Magnetic fabric in two sedimentary rock-types from the Southern Pyrenees. *J. Geomag. Geoelectr.* 45, 193-205.
- Bentham, P. A. (1992)** The tectono-stratigraphic development of the western oblique ramp of the south-central Pyrenean thrust system, Northern Spain. PhD thesis, Univ. of Southern California.
- Dinarés-Turell, J. (1992)** Paleomagnetisme a les unitats sudpirinenques superiors. Implicacions estructurals. PhD thesis, Univ. de Barcelona.
- Garrido-Megías, A. (1973)** Estudio geológico y relación entre tectónica y sedimentación del Secundario y Terciario de la vertiente meridional pirenaica en su zona central (provincias de Huesca y Lérida). PhD Thesis thesis, Univ. de Granada.
- Holl, J. E. y Anastasio, D. J. (1993)** Paleomagnetically derived folding rates, southern Pyrenees, Spain. *Geology* 21, 271-274.
- Holl, J. E. y Anastasio, D. J. (1995)** Kinematics around a large-scale oblique ramp, southern Pyrenees, Spain. *Tectonics* 14(5), 1368-1379.
- Poblet, J., Muñoz, J. A., Travé, A. y Serra-Kiel, J. (1998)** Quantifying the kinematics of detachment folds using three-dimensional geometry: Application to the Mediano anticline (Pyrenees, Spain). *Geological Society of America Bulletin* 110(1), 111-125.
- Pueyo, E. (2000)** Rotaciones paleomagnéticas en sistemas de pliegues y cabalgamientos. Tipos, causas, significado y aplicaciones. (Ejemplos de

las Sierras Exteriores y Cuenca de Jaca, Pirineo Aragonés). PhD thesis, Univ. de Zaragoza.

Seguret, M. (1970) Etude tectonique des nappes et séries décollées de la partie centrale du versant sud des Pyrénées. PhD thesis, Univ. de Montpellier.

Soto, R. y Casas, A. M. (2001) Geometría y cinemática de las estructuras norte -sur de la Cuenca de Aínsa. *Revista de la Sociedad Geológica de España* 14(3-4), 199-211.

Datos Paleomagnéticos preliminares del Paleozoico de Ossa Morena (SW Península Ibérica)

Preliminary paleomagnetic results from the Paleozoic of Ossa Morena (SW Iberian Peninsula)

Garcés, M.¹, Eguiluz, L.² y Palacios, T.³

¹Grupo de Geodinámica y Análisis de Cuenca, Universidad de Barcelona

²Departamento de Geodinámica, Universidad del País Vasco, Aptdo 2111, Vitoria

³Facultad de Ciencias, Universidad de Extremadura, E-06071, Badajoz

La Zona de Ossa Morena, en el SO del Macizo Ibérico, es conocida por las numerosas evidencias sobre magmatismo, deformación y metamorfismo de edad Cadomiense (Eguiluz et al., 2000), una fase orogénica que se desarrolló entre 700 y 450 Ma, y que tiene su área tipo en el macizo Armoricano. A pesar de la superposición del ciclo hercínico, la fase cadomiense cuenta con evidencias geocronológicas de una serie de episodios tectónicos de edad 620 a 480 Ma, asociados a la generación de un arco volcánico, extensión en una cuenca de tras arco, inversión tectónica y consiguiente acreción en un margen continental de tipo andino. La deformación asociada al ciclo hercínico (entre 390 y 300 Ma), dio lugar a la reactivación de estructuras previas, como la zona de sutura cadomiense de la banda de Badajoz-Cordoba, y también a la generación de nuevas bandas de deformación, como la zona de sutura de Beja-Acebúches, que limita al SO con la Zona Surportuguesa. El metamorfismo regional hercínico es en general de bajo grado, si bien existen zonas con asociaciones de alta presión y domos térmicos.

El modelo de evolución paleogeográfica de la zona de Ossa Morena durante el Paleozoico inferior y su proceso de agregación con la zona centroibérica no está perfectamente determinado. Partiendo de la correlación de dominios orogénicos en Ossa Morena con el macizo armoricano, los modelos que consideran un orógeno cadomiense de tipo andino, elongado y con una misma polaridad en la subducción, predicen giros horarios en la Zona de Ossa Morena muy importantes previos a la fase de compresión hercínica (Eguiluz et al., 2000).

Hasta la fecha no existen datos paleomagnéticos que permitan la verificación de los modelos de evolución paleogeográfica durante el Paleozoico inferior en Ossa Morena. En el presente trabajo se presentan los primeros resultados obtenidos en distintas formaciones del Cámbrico y del Carbonífero de Ossa Morena. Dada la ausencia de estudios previos en la zona, el primer objetivo de este trabajo fue la caracterización paleomagnética de diferentes unidades, tanto ígneas como sedimentarias y vulcanosedimentarias, y la consiguiente selección de zonas y litologías favorables. En segundo lugar, se perseguía detectar posibles rotaciones de eje vertical previas a la deformación hercínica con el fin de testar los distintos modelos geodinámicos propuestos para esta zona.

Los resultados preliminares indican la existencia de una remagnetización de edad carbonífera que afecta a numerosas áreas donde no existen evidencias de metamorfismo hercínico. Entre estas se encuentra el granito del Castillo (al Sur de Monesterio, Badajoz),

tan solo afectado localmente por deformación frágil-dúctil en relación con la orogenia hercínica (Eguíluz et al., 1999). También, en las series vulcanosedimentarias del Cámbrico y Carbonífero próximas a Zafra, el test del pliegue indica una remagnetización posterior al plegamiento y concordante con una dirección tardi-hercínica. Esta misma dirección se encuentra en unidades tan alejadas como las calizas del Cámbrico Inferior de la Fm. Sto Domingo (Córdoba), o las series pelíticas de la misma edad en la Nava de Ricomalillo (Zona Centroibérica, Toledo).

No obstante, no todos los datos obtenidos son concordantes con una remagnetización carbonífera generalizada. En dos localidades se han hallado direcciones paleomagnéticas que no corresponden con la referencia carbonífera ni tampoco de edad posterior mesozoica o terciaria. Una de estas localidades se encuentra en la granodiorita de las Palomas (550 Ma), y la otra en la unidad de Calizas de Zafra (al Sur de Zafra, Cámbrico inferior-medio). Hasta el momento no ha sido posible determinar la edad relativa de la magnetización en estas dos localidades. No obstante, ambas aportan una posición paleolatitudinal de -43° y -51° , respectivamente, que es en principio coherente con la paleolatitud estimada de Armónica y Gondwana en el Cámbrico Inferior (van der Voo, 1993).

Referencias

- Eguíluz, L., Gil Ibarguchi, Ábalos, B. y Apraiz, A. (2000)** Superposed Hercinian and Cadomian orogenic cycles in the Ossa -Morena zone and related areas of the Iberian Massif. *GSA Bul letin*, 112(9):1398-1413.
- Eguíluz, L., Apraiz, A. Y Ábalos, B. (1999)** Structure of the Castillo granite, southwest Spain: Variscan deformation of a late Cadomian pluton. *Tectonics*, 18 (6), 1041-1063.
- Van der Voo, R. (1993)** Paleomagnetism of the Atlantic, Tethys and Iapetus oceans. Cambridge Univ. Press. 411 pp.

Una remagnetización con dos polaridades y previa al plegamiento en el macizo del Cotiella (Cretácico Superior, Huesca, Pirineos Centrales)

A dual polarity pre-folding remagnetisation in the Cotiella Massif (Late Cretaceous, South Central Pyrenees)

Garcés, M., García-Senz, J. and Muñoz, J.A.

Group of Geodynamics and Basin Analysis, Faculty of Geology, University of Barcelona, Campus de Pedralbes
08028-Barcelona, Spain.

The internal structure of the Cotiella massif in the South Central Pyrenees constitutes an extraordinary example of extensional listric growth faults which formed at the northern Iberian rift margin during the late Cretaceous. Subsequent tectonic inversion lead to thrusting and relative uplift of the Cotiella Unit. Further compression during the Eocene resulted in the tectonic transport of the Cotiella Unit on top of a southwards verging thin-skinned thrust system. The superposition of extensional and compressional tectonics has a lead to a complex pattern of deformation with non horizontal fold axis.

Approximately 150 paleomagnetic samples were taken from the syn-extension carbonates of the Aguas Salenz Fm (10 sites), and their overlying syn-compressional units of the Campo Breccia (1 site) and the Campo Marls Mbs (7 sites). The seven sites of the Campo marls were sampled in two stacked structural units: the Cotiella thrust sheet (4 sites) and its underlying Monte Perdido thrust sheet unit (3 sites).

Samples from all 18 sites were stepwise TH and AF demagnetised. The two methods were able to remove a soft north and down secondary component with both low unblocking temperature (250°C) and low coercivity (<15mT). Isolation and complete demagnetisation of a stable Characteristic Remanent Magnetisation (ChRM) was possible in the majority of samples. Unstable spurious magnetisations at temperatures above 400°C were relatively frequent in samples from the Margas de Campo, and some sites could not yield paleomagnetic results. The ChRM yields maximum unblocking temperatures of about 475°C, and low coercivity (<100 mT). IRM analysis supports the presence of magnetite as the only magnetic phase in both the Aguas Salenz Fm. and the Margas de Campo Mb.

The paleomagnetic sites in the Margas de Campo Mb. have yielded pre-folding ChRM. 2 of 7 sites yielded only reversed polarity and 4 only normal. One site (ES05) yielded both normal (7 samples) and reversed (1 sample) polarities (Annex Fig. 6D). The mean directions of both the footwall (3 sites) and the hangingwall (4 sites) of the Cotiella thrust sheet give similar results, and the overall mean indicates a vertical axis rotation of 40° ccw, which is coherent with the recorded rotation of younger Eocene rocks to the south (Dinarès-Turell, 1992).

The ChRM in the Aguas Salenz Fm. is of reversed polarity in 4 of 11 sites (Annex Table I) (Fig. 6A & B). Exceptionally, a third component of antipodal normal polarity can be observed in few samples. The 7 sites of normal polarity ChRM are clustered in the upper part of the Aguas Salenz Fm. Among these, ES02 (Fig. 6C) is the oldest, and has few samples with an intermediate temperature component of reversed polarity. The sites of the Aguas Salenz Fm. do not yield consistent paleomagnetic directions neither in geographic coordinates nor after correction for bedding tilt. It is concluded that rocks were remagnetised in a syn-folding stage.

Unfolding the Aguas Salenz Fm. can not be achieved by applying simple bedding tilt correction, since the rocks were affected by non-coaxial multiple deformation. Correction of

paleomagnetic directions to pre-folding coordinates needs a stepwise unfolding procedure. The results of a stepwise unfolding indicate that magnetisation of the Aguas Salenz Fm is older than the deformation of the Brecha de Campo, that is, older than Early Eocene southwards tectonic transport of the Cotiella and Monte Perdido thrust sheets. The mean paleomagnetic direction after partial tectonic correction records (at least) the same clockwise rotation as the younger Margas de Campo Mb sites.

A correlation exists between magnetic polarity and burial depth in a late Cretaceous balanced cross-section: reversed polarity sites in deeper levels and normal polarity sites at shallow burial levels. This polarity zonation is coherent with an scenario of burial diagenetic remagnetisation. Clay diagenesis is not a plausible mechanism because clay minerals are nearly absent in rocks of the Aguas Salenz Fm. XRD analysis indicates, however, the presence of pyrite. Pyrite is particularly abundant in sites AR01, AR02 and ES01, which have very high NRM intensity and reversed magnetisation. Replacement of pyrite by magnetite in the organic-rich carbonates of the Aguas Salenz Fm. may be a feasible mechanism for remagnetisation of sites in depth.

The occurrence of sites with different polarities indicates that the remagnetisation process was a time lasting process or, alternatively, that there were two succeeding remagnetisation events. The transition from reversed to normal sites occurs close to site ES02, which yield both reversed and normal remagnetisation (Annex Fig. 6 C). It is noticeable that when antipodal components occur simultaneously, the normal component is detected in the higher unblocking temperature interval. This may suggests that the normal magnetisation was first acquired, and subsequently reversed magnetisation overprinted the normal component. It is speculated that the normal remagnetisation was acquired at a shallow burial depth soon after deposition, and coeval with the tectonic inversion of the Cotiella and deposition of the Brecha de Campo (late Santonian). Subsequent burial diagenesis caused pervasive reversed (lower Campanian) remagnetisation focused in the deeper levels of the Cotiella basin.

The particular tectonic and depositional setting of the Cotiella Basin, with very fast deformation and sedimentation rates, has made compatible early (but deep) diagenetic remagnetisation and its syn-folding signature. The paleomagnetic signature of the carbonates of the Aguas Salenz Fm is a rare case of pre-compression, syn-folding, dual-polarity, early diagenetic magnetisation.

Acknowledgments

This is a contribution of the Research Group of "Geodinámica y Análisis de Cuenca (2001 SGR 00074) of the "Comissionat de Universitats i Recerca de la Generalitat de Catalunya".

Supported by project REN 2001-1734-CO3-03 of the spanish Ministry of Science and Technology.

References

- Dinarès-Turell, J. (1992)** Paleomagnetisme a les Unitats Sudpirinenques Superiors: Implicacions estructurals. PhD Thesis, University of Barcelona.
- García-Senz, Jesús. (2002)** Cuencas extensivas del Cretácico Inferior en los Pirineos Centrales: Formación y subsecuente Inversión. PhD Thesis, University of Barcelona.
- McClay, K., Muñoz, J.A., García -Senz, J. (in press)** Extensional Raft Tectonics, Spanish Pyrenees. *Geology*.

Paleomagnetismo do maciço de Monchique (Sul de Portugal): implicações tectónicas

Paleomagnetism of Monchique massif (South Portugal): tectonic implications

Gomes, C.S.R ; Pereira, L.C.G.

Departamento de Ciências da Terra e Centro de Geociências da Universidade de Coimbra (Portugal)

O maciço de Monchique (Fig.1) está localizado na região SW da Zona Sul Portuguesa (Lotze, 1945). Intruiu em rochas do flysh carbónico onde produziu uma auréola de metamorfismo de contacto. Ocupa uma área aproximada de 63 km² e apresenta uma forma mais alongada segundo a direcção E-W, com eixo maior de cerca de 16 km e menor de cerca de 6 km. É constituído essencialmente por sienito nefelínico (95%) e apresenta uma idade radiométrica de 72 ± 2 Ma, pelo método K/Ar (Storetvedt *et al.*, 1990).

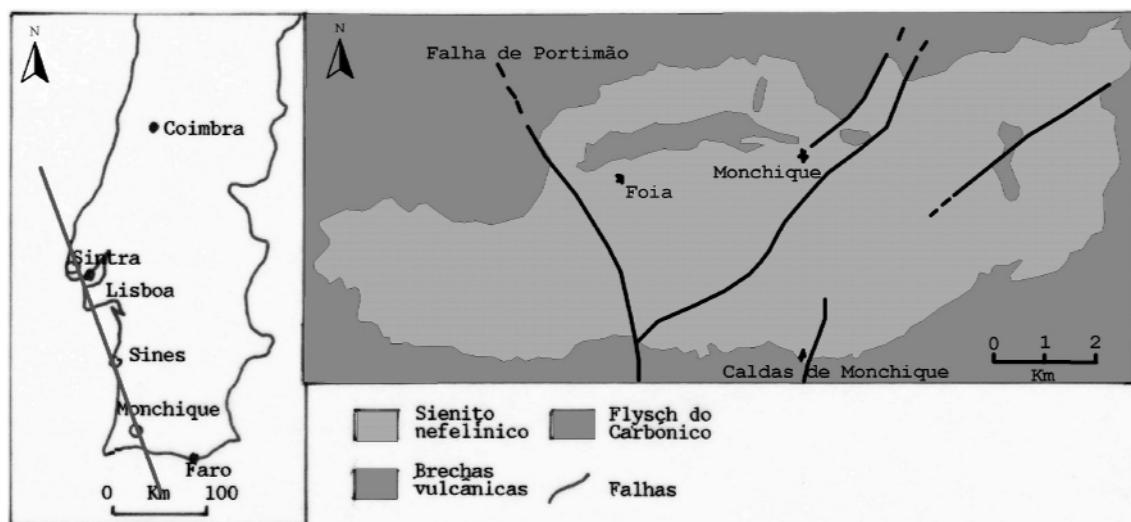


Fig.1 – A geologia do maciço de Monchique (segundo Gonçalves, 1967, modificado).

O maciço é recortado por um sistema de fracturas que têm uma direcção geral média N55E e estão bem expressas no sector oriental. É seccionado na parte ocidental por uma falha norteada (Falha de Portimão) que, ao atravessar o maciço, inflete para NW. Este fica, assim, seccionado, grosso modo, em três sectores (Fig.2): sector I, (occidental), que engloba a zona a oeste da Falha de Portimão; sector II (central) que define uma área centro/norte do maciço; e o sector III, que é constituído pela região mais oriental.

Os primeiros dados paleomagnéticos obtidos em amostras do maciço de Monchique foram publicados em 1969 por Van der Voo. Desde então, têm vindo a ser apresentados mais dados que estão resumidos na Tabela 1.

Tabela 1- Resumo de alguns resultados paleomagnéticos publicados sobre o maciço de Monchique

Direcção	N	Dec. (°)	Inc. (°)	α_{95}	referência
1	8	182	-37	6,5	Van der Voo (1969)
2	27	181	-42	4,5	Storetvedt <i>et al.</i> (1990)
3	38	174	-40,6	3,8	Gomes <i>et al.</i> (1992)
4	26	190,6	-39,5	5,4	Gomes & Sant'Ovaia (2000)

Observando os dados da Tabela 1 podemos verificar que as direcções 1 e 2 são concordantes. A direcção 3, em relação a 2, apresenta uma diferença angular de 7° para Este ($R = -7^\circ$, com $\Delta R = 6,6^\circ$, de acordo com Demarest, 1983). Estas três direcções foram obtidas a partir do estudo de amostras pertencentes aos sectores II e III do maciço. A direcção 4, obtida com amostras dos sectores I e II, apresenta uma diferença angular de $9,6^\circ$ para Oeste ($R = 9,6^\circ$, com $\Delta R = 7,2^\circ$) em relação à direcção 2. A direcção 4 é discordante das anteriores, o que levantou a hipótese de o sector I apresentar uma direcção distinta (que poderia resultar de acções tectónicas regionais actuantes sobre o maciço após a sua implantação).

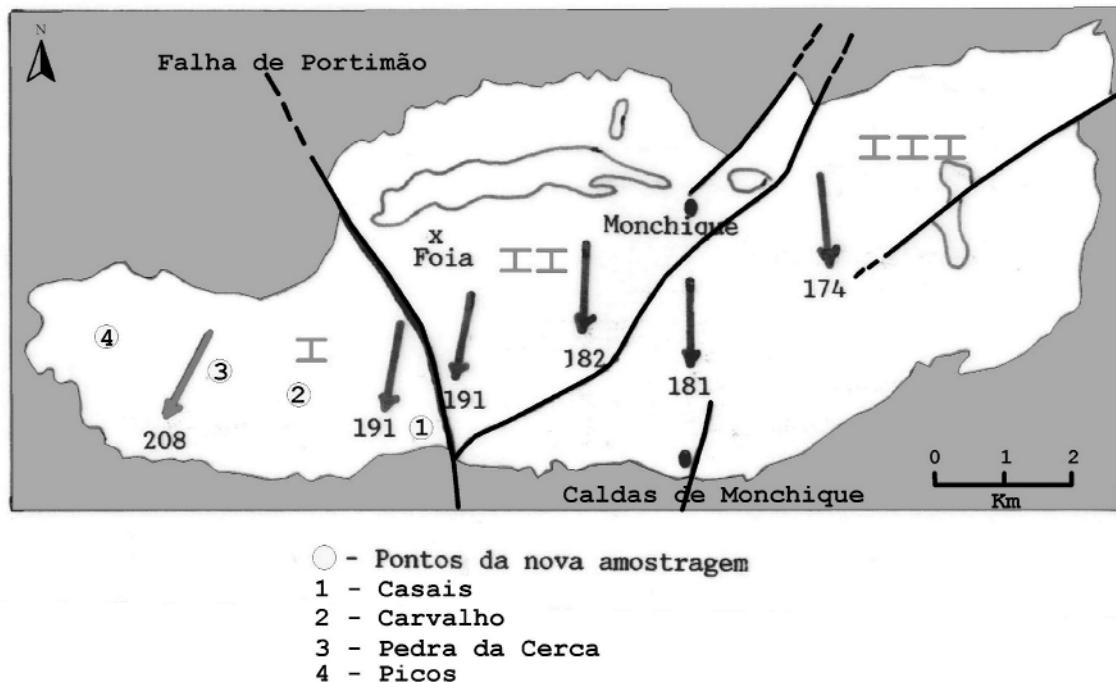


Fig.2 – Direcções do vector declinação paleomagnética nos três sectores do maciço de Monchique.

Por essa razão, procedeu-se a nova amostragem (Fig.2), distribuída por quatro sítios (Picos, Pedra da Cerca, Carvalho e Casais 2), todos no sector I do maciço, de onde se colheram um total de 50 amostras. Desta colecção, 23 foram desmagnetizadas por campos magnéticos alternos, até 100 mT. As amostras foram medidas e desmagnetizadas no Laboratório do Departamento de Geociências Marinhas e Ordenamento do Território da Universidade de Vigo. Os resultados obtidos foram comparados com as componentes

já calculadas, para o sector I, em trabalhos anteriores (Gomes, 2002), e a média calculada é dec/inc = $206,3^\circ / -37,4^\circ$; $\alpha_{95} = 2,9^\circ$; $K = 63$ para $N = 39$. Esta direcção é, em relação a 2, ainda mais discordante.

As direcções do vector declinação (Fig.2), obtidas nos três sectores do maciço, parecem ser diferentes. A Falha de Portimão, que atravessa o maciço segundo a direcção NW-SE, constitui o limite este dos valores mais discordantes, obtidos precisamente no sector I. Os valores da declinação obtidos nos sectores II e III, a Este daquela falha, parecem estar rodados no sentido anti-horário, em relação aos do sector I; e os valores do sector III parecem ser, ainda, um pouco maiores do que os do II (esta hipótese está a ser analisada). Se considerarmos os valores dos sectores I e III em relação aos do sector II, parece haver uma rotação simétrica em relação à parte central.

Não havendo argumentos para considerar registos paleomagnéticos em momentos diferentes, temos de reconhecer que a figura levemente sigmoidal, desenhada pelas linhas perpendiculares às suas direcções, é posterior. (Fig.3).

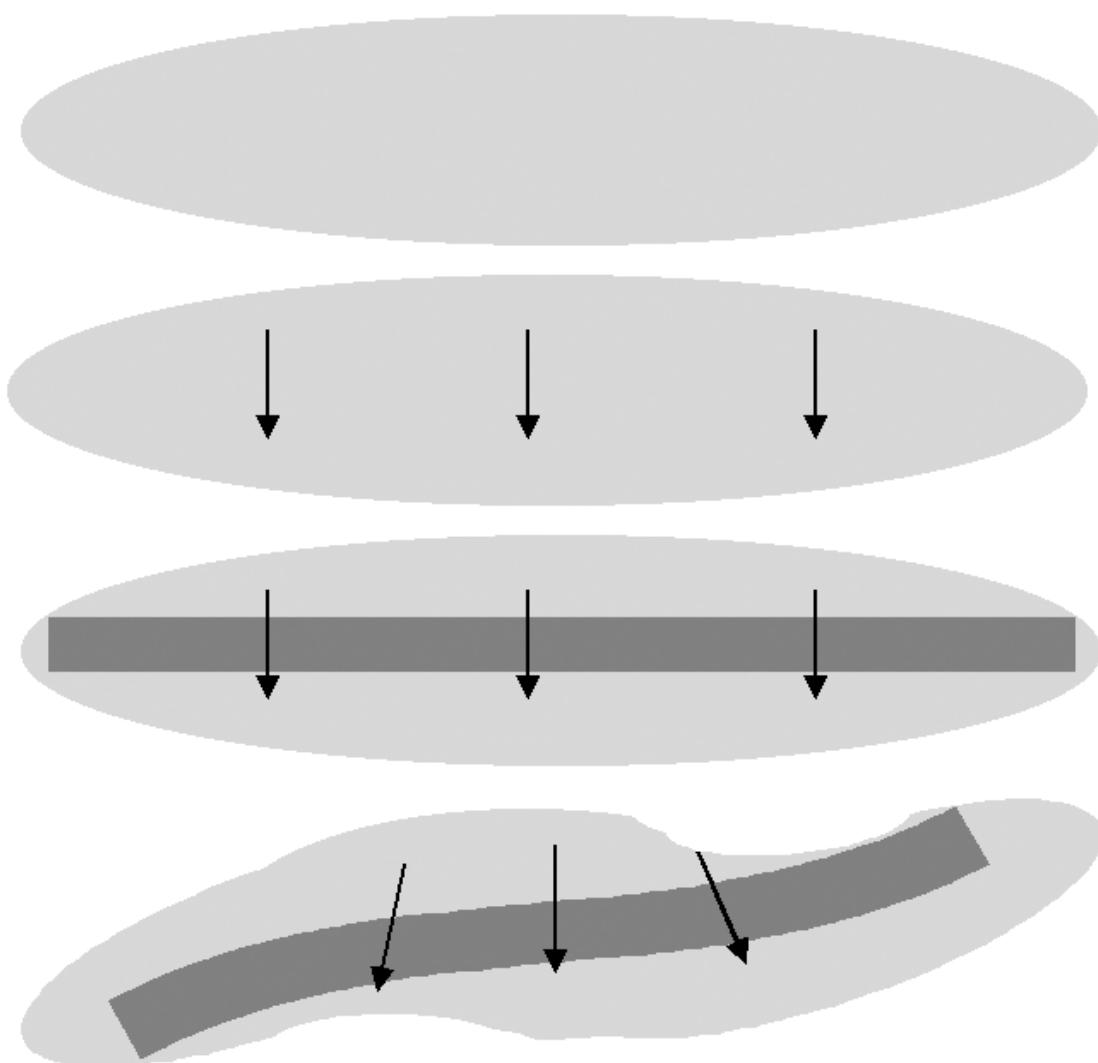


Fig.3 - Modelo de deformação pós-implantação do maciço de Monchique.

A intrusão parece ocupar o eixo de uma estrutura anticlinal em que a direcção maior apresenta uma leve rotação nos extremos, este e oeste. O extremo este tende a rodar para NE, isto é, no sentido anti-horário, enquanto o extremo oeste inflete para SW, rodando no sentido horário.

Esta possível deformação, pós-implantação, não é fácil de compatibilizar com faixas de deformação (cisalhamento) com direcção NW-SE, direitas, que materializam a direcção do alinhamento conjunto Sintra-Sines-Monchique (Ribeiro *et al.*, 1979, em Terrinha *et al.*, 1999). A direcção da superfície axial da estrutura anticlinal, onde se implantou o maciço de Monchique, é que pode harmonizar-se dentro de faixas crustais com aquela direcção NW-SE, (Fig.4).

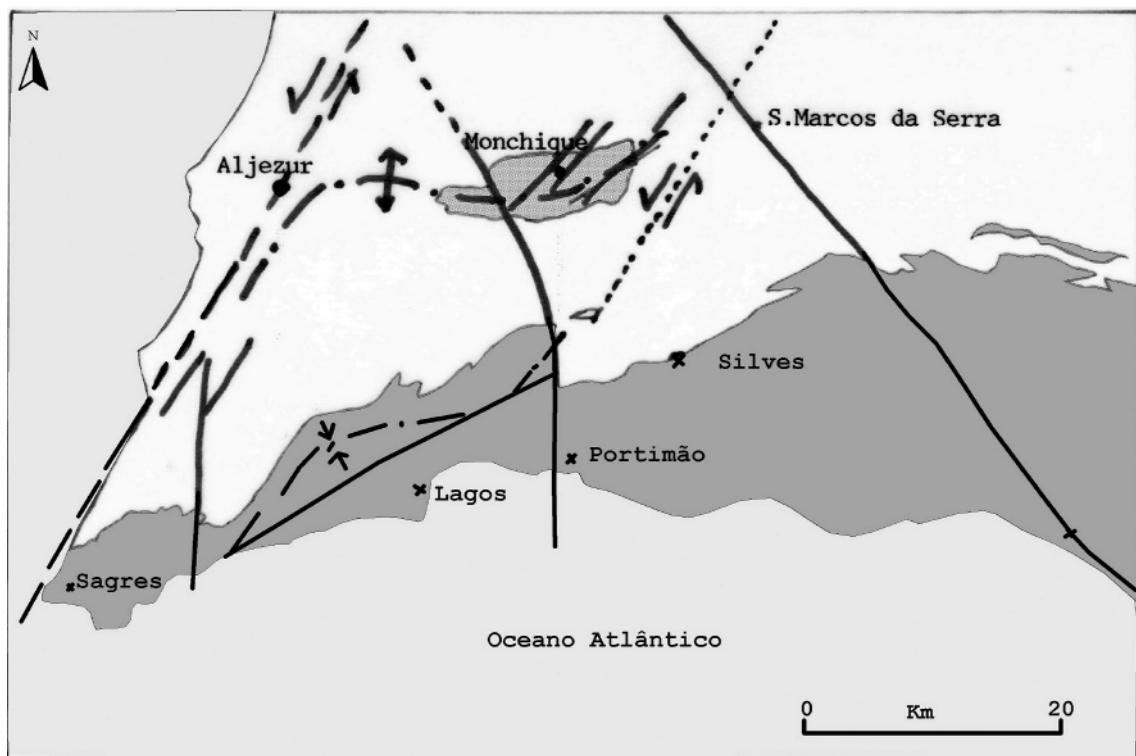


Fig. 4 - A interpretação tectono-estrutural harmoniza as orientações do alinhamento de Monchique com o alinhamento das grandes dobras da Orla sul Portuguesa.

A deformação sigmoidal, que deve seguir-se à implantação do plutonito, parece harmonizar-se melhor com uma deformação contínua, por cisalhamento esquerdo, de blocos crustais, mas com direcção simétrica, para NE, que parece ser uma resposta ao ajustamento da Ibéria, depois da abertura do golfo da Biscaia.

Agradecimentos: Os autores agradecem ao Prof. Doutor Daniel Rey as facilidades concedidas na utilização do Laboratório de Paleomagnetismo da Universidade de Vigo.

Referências

Demarest, H.H. (1983) Error analysis for the determination of tectonic rotation from paleomagnetic data. *J.Geophys. Res.* 88, pp. 4321- 4328.

Gomes, C.S.R., Leite, I., Sant’Ovaia, H., Monteiro, M. e Montenegro, J. (1992) Análise da orientação do elipsóide da susceptibilidade magnética em rochas do Maciço de Monchique. Livro de Resumos da 8ª Conferência Nacional de Física (Física -92), Vila Real, pp.243-244.

Gomes, C.S.R. e H. Sant’Ovaia (2000) Marcas de paleomagnetismo no maciço de Monchique. 6ª Conferência do GGET – Évora, 21-22 de Outubro, pp.59.

Gonçalves, F. (1967) Subsídios para o conhecimento geológico do maciço eruptivo de Monchique. Com. Serv. Geol. Portugal, 52, pp.169-184.

Lotze, F. (1945) Observaciones respecto a la división de los variscides de la Meseta Iberica - Inst.L.Mallada, Publ.extrangeras.Vol.27, pp 149-166.

Storetvedt, K.M.; J:G.Mitchell, M.C.Abranhes and S. Oftedahl (1990) A new Kinematic model for Iberia; further palaeomagnetic and isotopic age evidence. Physics of the Earth and Planetary Interiors, 62, pp.109 -125.

Terrinha, P., R.P.Dias, A. Ribeiro & J.Cabral (1999) The Portimão Fault, Algarve Basin, South Portugal . Comun. Inst.Geol. e Mineiro,t.86, pp.107-120.

Van der Voo, R. (1969) Paleomagnetic evidence for the rotation of the Iberian Peninsula. Tectonophysics, 7 (1), pp. 5 -56.

Parâmetros magnéticos de folhas de árvores e níveis de poluição em Coimbra

Magnetic parameters of tree leaves and pollution levels in Coimbra

Gomes, C.S.R.¹; Rey, D.²; Rocha, A.L.F.³

¹ Departamento de Ciências da Terra, Universidade de Coimbra, 3000-272, Portugal,
romualdo@ci.uc.pt.

² Depo. de Xeociencias Mariñas e Ordenación do Território da Univ. de Vigo, Espanha.
³ Agrupamento Vertical Ferrer Correia. EBI/JI Professor Doutor Ferrer Correia

São apresentados os primeiros resultados de um estudo, ainda em desenvolvimento, no qual se aplicam os métodos do magnetismo ambiental a estudos de poluição em zonas urbanas e peri-urbanas. Estes métodos têm vindo a ser testados, com êxito, noutras cidades como, por exemplo, Norwich (Matzka e Maher, 1999), Madrid (McIntosh *et al.*, 2001), Roma (Moreno *et al.*, 2003) e Leoben (Hanesch *et al.*, 2003). Estes trabalhos têm mostrado a eficácia dos parâmetros magnéticos, medidos em folhas de árvores de diferentes espécies, na avaliação, ainda que de forma indirecta, de diferentes níveis de poluição, provocada essencialmente pela circulação automóvel mas, também, pela actividade industrial.

Assim, este estudo foi planificado para o perímetro urbano da cidade de Coimbra e arredores (em especial a área de Souselas), com uma população aproximada de 130 000 habitantes e um elevado movimento automóvel, em especial em alguns pontos da cidade, mas praticamente sem indústria, e visa essencialmente:

- escolher uma ou mais espécies que se encontrem bem representadas na área de interesse e, simultaneamente, sejam eficazes na concentração de poeiras, em especial naquelas com origem na actividade antrópica;
- conhecer a variação dos parâmetros magnéticos na área seleccionada, em especial da susceptibilidade magnética e da magnetização remanescente isotérmica a 1 Tesla (MRI_{1T});
- verificar a possibilidade de detectar eventual contribuição da fábrica de cimento de Souselas;
- avaliar a evolução dos parâmetros magnéticos, medidos nas folhas ao longo do seu tempo de vida e a influência das variações climáticas, em especial da precipitação.

Para amostragem seleccionaram-se dois tipos de árvores (*Tilia sp.* e *Platanus sp.*) devido ao facto de apresentarem uma distribuição elevada na cidade e arredores, serem árvores de folha caduca e, também, porque as folhas apresentam uma área adequada e capacidade de funcionar como colectores de poeiras (folhas de plátano já tinham sido objecto de estudo, com bons resultados, em Vigo, por Perez-Guerra *et al.*, 2002). A distribuição espacial dos sítios amostrados teve como finalidades: (1) abranger a maior área possível; (2) permitir a comparação dos valores obtidos para um e outro dos géneros utilizados; (3) verificar a variação temporal dos parâmetros; (4) avaliar a acção das variações climáticas, em especial da precipitação; (4) comparar os valores, função da distância às fontes de poluição.

Em cada sítio de amostragem foram retiradas 3 folhas, aproximadamente do mesmo tamanho e com o mesmo grau de desenvolvimento e a uma altura entre 1,5 e 2 metros do chão. De cada folha cortou-se um rectângulo de 10 por 5 cm. Os três rectângulos, obtidos por sítio, foram colocados em caixas cilíndricas (com volume interno de 6,24cm³), compatíveis com as especificações dos aparelhos de medida.

As medições foram efectuadas no Laboratório de Paleomagnetismo, Magnetismo Ambiental e Arqueomagnetismo do Depo. de Xeociencias Mariñas e Ordenación do Território da Univ. de Vigo. Foram medidas a susceptibilidade magnética e a magnetização remanescente isotérmica a 1 Tesla (MRI_{1T}) em cerca de 200 amostras (N=199). Para as amostras da última coleção foram igualmente determinados os valores de MRI_{-100mT} e MRI_{-1000mT}.

$_{300\text{mT}}$, para avaliar o tipo de estruturas magnéticas presente. Para algumas amostras obtiveram - se igualmente as curvas de MRI, até 3 Tesla. A susceptibilidade magnética foi medida numa ponte de susceptibilidade Bartington MS2 e a MRI num magnetómetro spinner MOLSPIN Minispin e os campos foram aplicados com um magnetizador de pulsos MMPM9.

Os valores da susceptibilidade magnética são, em média, muitas vezes baixas. Contudo, apresentam um elevado coeficiente de correlação linear com os valores da MRI $_{1\text{T}}$ ($r = 0,88$). Assim, na interpretação serão analisadas essencialmente os valores de MRI $_{1\text{T}}$ cujos mínimo e máximo são $1,2 \text{ mAm}^{-1}$ (amostra de plátano) e 304 mAm^{-1} (amostra de tília), obtidos em Vale de Canas e na zona do Calhabé, respectivamente. Quando comparados os valores da MRI das folhas de plátano e de tília, para o mesmo sítio de amostragem, verifica -se que as tílias são mais eficazes como colectoras de poeiras (numa relação, aproximada de 2:1).

Existem variações espaciais dos valores da MRI que estão claramente associadas à intensidade de tráfico e à exposição às substâncias libertadas; pode mesmo afirmar -se que a principal fonte de poluição detectada é a actividade dos veículos automóveis.

Verifica-se um aumento dos valores, para o mesmo sítio, durante o primeiro mês de medição/exposição (Julho de 2002 e Junho de 2003), que corresponde a intervalos sem níveis de precipitação; em seguida verifica -se, em média, um decréscimo, após as primeiras chuvas, até Outubro (nas amostras de 2002). Contudo, a água da chuva não é totalmente eficaz na remoção das partículas magnéticas, como se pode comprovar através dos dados. Por outro lado, as folhas parecem manter a capacidade de funcionar como colectores de poeiras mesmo durante o Inverno, como mostram os valores obtidos em amostras residuais de Janeiro de 2003.

Os sítios com maior quantidade de material magnético são igualmente sítios com muito movimento automóvel, destacando -se as rotundas e os cruzamentos.

As curvas de MRI denunciam a presença de estruturas ferrimagnéticas, como a magnetite. Os valores da relação $\text{MRI}_{-100\text{mT}}/\text{MRI}_{1\text{T}}$ ou $S_{-100\text{mT}}$ (média = 0,65; $N = 20$) e $S_{-300\text{mT}}$ (média = 0,91, $N = 20$) são ligeiramente inferiores àqueles obtidos, por exemplo, pelo estudo efectuado para as cidades de Leoben ($S_{-100\text{mT}} = 0,77$, Hanesch *et al.*, 2003) e de Roma ($S_{-300\text{mT}} = 0,97$ e 0,98, Moreno *et al.*, 2003), respectivamente. Contudo, pelo menos uma fração significativa do material será magnetite, com origem em processos da actividade automóvel, dado a variação dos valores de MRI, quando comparados, por exemplo, os valores relativos às amostras de Vale de Canas (Parque nos arredores da Cidade) com os de sítios com elevado tráfego (p. ex. S. José, a Av. Emídio Navarro, a Praça da República e a Av. Sá da Bandeira ou a rua do Padrão). Verificou -se, ainda, que quanto menor a distância às vias de comunicação, maior também a concentração de material magnético.

Agradecimento: Os autores agradecem a consulta dos registos de precipitação, durante os anos de 2002 e 2003, disponibilizados pelo Instituto Geofísico da Universidade de Coimbra.

Este trabalho foi desenvolvido no âmbito do Centro de Geociências da Universidade de Coimbra.

Bibliografia

- Moreno, E.; Sagnotti, L.; Dinarès-Turell, J.; Winkler, A.; Castella, A. (2003)** Biomonitoring of traffic air pollution in Rome using magnetic properties of tree leaves. *Atmospheric Environment*, 37, 2967 -2977.
- Matzka, J.; Maher, B.A. (1999)** Magnetic biomonitoring of roadside tree leaves, identification of spacial and temporal variations in vehicle-derived particulates. *Atmospheric Environment*, 33, 4565 -4569.
- Perez-Guerra, A.; Fernandez-Davila, A.; Mohamed, K.J.; Rey, D.; Rubio B.; Méndez, G.; Emiroglu, S.,(2002)** Vicus magnetofolia. *Geophysical Research Abstracts*, EGS02 -A-0398.
- MCIntosh, G.; Paccard, M.G.; Osete, M.L. (2001)** The magnetic properties of tree leaves: a measure of urban pollution. *MAGIBER I, Livro de Comunicações*, 24, Burgos.

Caracterização magnética dos materiais da escombreira e de deposímetros da Barragem Velha (Urgeiriça, Portugal Central): resultados preliminares.

Magnetic characterization of deposimetres and tailings from Barragem Velha (Urgeiriça, Portugal Central): preliminary results

Gomes,C.S.R.¹, Vicente,A. P.¹, Pereira, A.J.S.C.¹, Neves,L.J.P.F.¹, Rey,D. ²

¹ Departamento de Ciências da Terra, Universidade de Coimbra, 3000-272, Portugal,
romualdo@ci.uc.pt

² Depo. de Xeociencias Mariñas e Ordenación do Território da Univ. de Vigo, Espanha.

A avaliação dos parâmetros magnéticos de materiais geológicos, no âmbito do magnetismo ambiental, tem permitido a elaboração de estudos bastante diversificados (Thompson e Oldfield, 1986; Dekkers, 1997, Maher e Thompson, 1999). São apresentados os primeiros resultados de um estudo, ainda em desenvolvimento, no qual se aplicam os métodos do magnetismo ambiental à caracterização de materiais provenientes da exploração de urânio (resíduos), acumulados ao longo de cerca de 40 anos na designada escombreira da Barragem Velha (Urgeiriça). Estes materiais, provenientes da exploração de rochas como granitos, xistos e filões (essencialmente de quartzo e rochas básicas) foram moídos a 0,074 mm e tratados com ácido sulfúrico, para extração do urânio. O presente estudo visa: (1) caracterizar os materiais da escombreira, relativamente às suas propriedades magnéticas; (2) comparar os parâmetros magnéticos das amostras das escombreiras com os de poeiras colectadas em deposímetros, na mesma região; (3) avaliar a variação espacial e temporal do material dos deposímetros; (4) correlacionar os parâmetros magnéticos com o químismo das mesmas amostras.

Trabalhos de cartografia radiométrica (dados não publicados) serviram de base à selecção da amostragem dos materiais da escombreira utilizada neste estudo. Com base nesta informação, e no âmbito de um estudo ambiental mais alargado (Estudo Director das Áreas de Minérios Radioactivos), foram colocados numa área de aproximadamente 27 Km², que inclui a escombreira da Barragem Velha, 6 deposímetros. Os materiais retidos nos filtros dos deposímetros foram igualmente objecto de análise.

Foram medidas 14 amostras dos materiais das escombreiras e 7 amostras, obtidas a partir dos deposímetros, neste último caso, com repetição temporal da amostragem num dos locais seleccionados. As amostras foram previamente colocadas em caixas cilíndricas (com volume interno de 6,24cm³). As medições foram efectuadas no Laboratório de Paleomagnetismo, Magnetismo Ambiental e Arqueomagnetismo do Depo. de Xeociencias Mariñas e Ordenación do Território da Univ. de Vigo. Foram medidas a susceptibilidade magnética (Hf e Lf) e a magnetização remanescente isotérmica a 1 Tesla (MRI_{1T}). Os valores de MRI_{100mT} e MRI_{300mT} foram, igualmente, determinados, bem como as curvas de MRI, até 3 Tesla. A susceptibilidade magnética foi medida numa ponte de susceptibilidade Bartington MS2 e a MRI num magnetómetro spinner MOLSPIN Minispin e os campos foram aplicados com um magnetizador de pulsos MMPM9.

Podemos verificar que será possível obter igualmente uma cartografia da escombreira, com base nos parâmetros magnéticos: são especialmente relevantes os valores da susceptibilidade magnética e os valores de MRI a 1Tesla que, como seria de esperar, apresentam um elevado coeficiente de correlação linear entre si ($r = 0,98$). Estes valores permitem uma caracterização, por um lado, do tipo de estruturas magnéticas presente, por outro, da sua quantidade relativa. São, porém, os valores de $S_{-100\text{mT}}$ e $S_{-300\text{mT}}$ aqueles que permitem efectuar uma melhor caracterização da composição da fracção magnética do material da escombreira. Assim, numa primeira análise, distinguem-se dois grupos de amostras, predominando num estruturas ferrimagnéticas e, no outro, antiferromagnéticas.

Os valores obtidos para o material dos depositímetros permitem verificar que as amostras são uniformes relativamente à composição da fracção magnética, que aparenta ser dominada por magnetite, se atendermos aos valores de $S_{-100\text{mT}}$ e $S_{-300\text{mT}}$; observam-se variações apenas em quantidade, função da localização do depositímetro e do mês de exposição.

O padrão de valores obtidos para os materiais da escombreira parece poder justificar-se, essencialmente, pela heterogeneidade composicional desta, que incorpora materiais graníticos, xistentos e rochas básicas (pelo tipo de material original explorado), não sendo de excluir contudo, a possibilidade de ocorrência de minerais autigénicos e/ou a possibilidade de ocorrência de magnetite biogénica. Os materiais que compõem a escombreira de rejeitados, em especial os mais finos, mantêm, durante grande parte do ano, uma elevada humidade e uma cobertura vegetal desenvolvida, mas apresentam valores de pH muito baixos.

Quanto ao material dos depositímetros, e tendo em atenção os parâmetros magnéticos, este deverá ter origem essencialmente em actividade antrópica, o que concorda com a interpretação efectuada com base nas análises químicas (dados não publicados). A magnetite presente no material dos depositímetros parece ter, na sua quase totalidade, origem no tráfego rodoviário, o que é compatível com a realidade da área em estudo, que inclui uma povoação (Urgeiriça) e é atravessada pelo IC12/EN234, com elevado tráfego. Para um dos depositímetros foram medidos materiais colectados em Dezembro de 2002, Janeiro de 2003 e Fevereiro de 2003, verificando-se uma diminuição da quantidade de material magnético presente. Como seria de esperar, no entanto, os valores de MRI apresentam uma correlação linear elevada com o peso das amostras ($r=0,8$), para um nível de significância de 0,05. Estas variações estão relacionadas, essencialmente, com os factores climáticos, em especial com a precipitação.

Agradecimentos: Os autores agradecem à ExMin a consulta de informação não publicada. Este trabalho foi desenvolvido no âmbito do Centro de Geociências da Universidade de Coimbra.

Referências

- Dekkers, M.J. (1997) Environmental magnetism: an introduction. *Geologie en Mijnbouw*, 76; 163 -182.
- Maher, B.A.; Thompson, R. (1999) Quaternary Climates, Environments and Magnetism, Cambridge University Press.
- Thompson, R.; Oldfield, F.(1986) Environmental Magnetism. Allen & Unwin, London.

Resultados preliminares de alta resolución del estudio magnético de sedimentos de la plataforma continental gallega

High resolution preliminary results of the magnetic study of sediments from the galician continental shelf.

Mohamed, K.; Rey, D.; Rubio, B.; Vilas, F.

Dpto. de Geociencias Marinas y O.T. Facultad de Ciencias. Universidad de Vigo. Lagoas – Marcosende, 36200, Vigo. España. kmohamed@uvigo.es ; danirey@uvigo.es; brubio@uvigo.es ; fvilas@uvigo.es

El magnetismo ambiental aplicado a sedimentos marinos recientes ha sido una de las líneas de investigación principales del grupo de Geología Marina de la Universidad de Vigo. Los primeros estudios acerca de la distribución superficial de la susceptibilidad magnética, en medios de transición llevaron a la investigación del resto de las propiedades magnéticas tanto en superficie como en profundidad a fin de conocer el origen de esa señal y su evolución.

Las principales conclusiones de estos trabajos son: a) la señal magnética observada en los sedimentos superficiales es una función del tamaño de grano, la cantidad de materia orgánica y las condiciones energéticas. b) los procesos de diagénesis temprana son los principales responsables de las variaciones en las propiedades magnéticas con la profundidad. c) la magnetita domina la señal en los primeros cm. de sedimento. Durante la degradación de la materia orgánica se disuelve y la goetita residual pasa a ser la principal responsable de la señal observada. La profundidad a la que ocurre depende de las características redox en superficie. El mineral dominante en las condiciones anóxicas infrayacentes es de coercitividad media. Su identificación es uno de los objetivos actuales de investigación, aunque podría tratarse de algún otro tipo de sulfuro ferrimagnético.

El creciente interés del grupo por los procesos sedimentarios de la plataforma continental permitió obtener 16 testigos de vibración de esta zona en el año 2001.

Material y Métodos

En este trabajo se presentan los resultados preliminares del estudio de los testigos de vibración ZV-24 y el ZV-18 obtenidos en la campaña COCAPRIBA'01. Éstos testigos fueron obtenidos en la plataforma continental adyacente a la Ría de Vigo (ZV-24) y a la Ría de Pontevedra (ZV-18). Su posición es 42° 11' 44" N, 8° 57' 10" W y 42° 23' 24" N, 9° 2' 11" W respectivamente. La profundidad del muestreo fue de aproximadamente 100 m.

Las características litológicas de los testigos permiten diferenciar tres tramos principales. La superior se compone de arenas muy finas fangosas de color verde oliva. Bajo ésta existe una zona rica en gravas bioclásticas. Finalmente, se observa una capa de arenas medias-finás de color grisáceo-verdoso, muy bien seleccionadas y con laminación.

Basándonos en la exposición de Larrasoña y Roberts, 2001, los testigos se muestrearon con U-channel de 150 x 2 x 2 cm. Se tomaron muestras discretas con el fin de validar los resultados de los U-channel y compensar los efectos del suavizado, especialmente en los bordes.

Se midió la κ y la desimanación AF de la NRM. Tras esto se impartió una ARM en un campo AF de 100 mT y DC de 50 μ T. Se determinaron las curvas de IRM hasta 700 mT. A continuación se procedió a su desimanación AF y DC en el caso de la IRM. Además se midió la pérdida viscosa de IRM tras 24 h. (IRM_{24h}) como análogo de la κ_{fd} (Funk *et al.*, *in press*).

Resultados y Discusión

La κ , IRM y ARM presentan los mayores valores en la parte superior (Fig. 1) alcanzando el máximo en torno a 10-15 cm. Bajo esta zona la intensidad de la señal decrece, con un pico secundario, más evidente en el testigo ZV-24. A 70 cm en el testigo ZV-24 y a 45 cm en el ZV-18 se observa otro pico de intensidad moderada. La existencia de un pico de características similares ya se apreció en el testigo CGPL-00-2 obtenido en la misma zona en el año 2000. Estos picos se corresponden con mineralogías de menor coercitividad.

A mayor profundidad no se observan más picos de intensidad comparable, salvo a 160 cm en el testigo ZV-24. Este pico es especialmente notable en el perfil de ARM. El perfil de ARM_{100}/IRM_{100} sugiere que la causa es una disminución del tamaño de grano

La κ del testigo ZV-18 presenta 3 picos significativos bajo esta zona. El observado entre 85 y 90 cm de profundidad es especialmente intenso. Su magnitud, sin embargo, no se corresponde con la de la IRM o la ARM. La disminución del MDF de la IRM y de la ARM (sin figura) y el aumento de la IRM_{24h} ponen de manifiesto un cambio magnetomineralógico a esta profundidad. La existencia de un marcado cambio de litología confirma esta hipótesis.

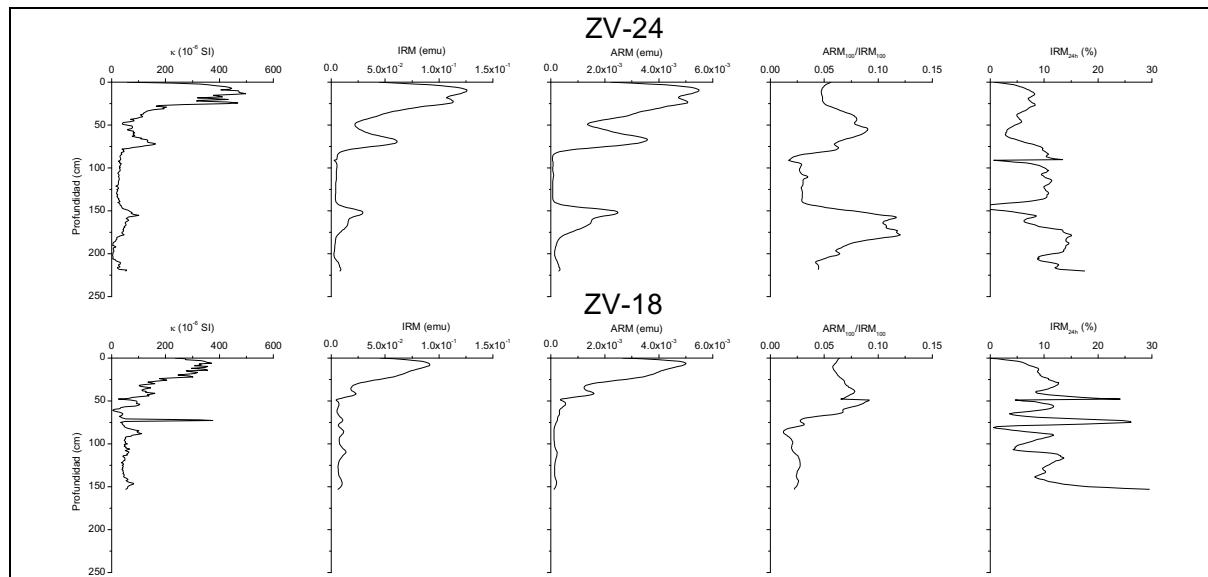


Fig. 1. Perfiles de κ , IRM, ARM, ARM_{100}/IRM_{100} , IRM_{24h}

Conclusiones

La parte superior de estos testigos presenta similitudes con los testigos del interior de las rías. Por tanto, el comportamiento magnético de esta zona es posible que se deba a los procesos diagenéticos implicados en la oxidación de la materia orgánica. Los picos observados a mayores profundidades están relacionados con disminuciones de coercitividad. Su carácter detrítico o diagenético todavía necesita ser demostrado.

Referencias

Funk, J. A; von Dobeneck, T.; Reitz, A. (en prensa) Integrated Rock Magnetic and Geochemical Quantification of Redoxomorphic Iron Mineral Diagenesis in Late Quaternary Sediments from the Ecuatorial Atlantic . En: Wefer, G; Mulitza, S.; Ratmeyer, V. (en prensa): *The South Atlantic in the Late Quaternary: Reconstruction of Material Budget an d Current Systems*. Springer-Verlag. Berlin Heidelberg.

Larrasoña, J. C. ; Roberts, A. P. (2001) El uso de “u-channels en paleomagnetismo; fundamento, ventajas, problemas y aplicaciones. *MAGIBER I, Libro de comunicaciones* , p.23

Magnetoestratigrafía de la Formación Tudela (Bardenas Reales de Navarra) y calibración de las biozonas de mamíferos Ramblenses (Mioceno inferior); resultados iniciales.

Magnetostratigraphic calibration of Ramblian mammal biozones in the early Miocene continental deposits of the Tudela Formation (Bardenas Reales de Navarra); initial results

Larrasoña, J. C.^{1,*}; Garcés, M.²; Murelaga, X.³; Beamud, E.¹,

^{1,*} Laboratori de Paleomagnetisme UB-CSIC, Institut de Ciències de la Terra "Jaume Almera", C/ Sole i Sabaris s/n, 08028 Barcelona, e-mail jc11@soc.soton.ac.uk

² Grupo de Geodinámica y Análisis de Cuencas, Facultad de Geología, Universidad de Barcelona, Campus de Pedralbes, 08028 Barcelona

³ Departamento de Estratigrafía y Paleontología, Universidad del País Vasco, Aptdo. 644, E-48080 Bilbao

Pese a los avances realizados en los últimos años, el estado actual de la cronología continental del Neógeno europeo muestra un marcado déficit en el Mioceno inferior y el tránsito al Mioceno medio. En particular, uno de los intervalos de tiempo peor conocidos es el Ramblense, cuya calibración está todavía por determinar. En la Cuenca de Calatayud-Daroca, donde fue definido el Ramblense (Daams et al., 1987), se cuenta con buenos registros fósiles pero la alta densidad de fracturación y la falta de secciones continuas dificultan la aplicación de la magnetoestratigrafía (Alcalá et al., 2000). En el sector central de la cuenca del Ebro se cuenta con buenos perfiles magnetoestratigráficos pero no existen yacimientos fosiles (Pérez-Rivarés et al., 2002). En otras regiones (p.e. Alpes), se cuenta con datos bioestratigráficos y magnetoestratigráficos pero su baja resolución no permite afinar con detalle la posible calibración. Los materiales de origen fluvial y lacustre de la Formación Tudela constituyen el relleno sedimentario de la parte central de la Cuenca del Ebro en el Mioceno inferior y medio (~11-24 Ma). Recientemente, Murelaga (2000) ha estudiado numerosos yacimientos de macro y micromamíferos en la parte basal de dicha formación, que incluiría las biozonas Z y A y abarcaría, por tanto, todo el Ramblense. La presencia de estos yacimientos convierte a las Bardenas Reales en el lugar idóneo para llevar a cabo la datación y calibración de las biozonas Ramblenses, ya que la continuidad y calidad de los afloramientos es óptima y el comportamiento magnético de los materiales a estudiar es, *a priori*, excelente, tal y como sucede con otras formaciones continentales de la Cuenca del Ebro. En esta comunicación se presentarán los datos preliminares obtenidos en un total de 6 perfiles, que forman una sección compuesta del Ramblense de unos 500 m. de espesor.

Referencias

- Alcalá, L. et al. (2000)** El registro sedimentario y faunístico de las cuencas de Calatayud -Daroca y Teruel. Evolución paleoambiental y paleoclimática durante el Neógeno. Revista de la Sociedad Geológica de España 13 (2), 323 -343.
- Daams, R., Freudenthal, M. y Alvarez -Sierra, M.A. (1987)** Ramblian, a new Stage for continental deposits of Early Miocene age. Geo I. Mijnbow, 65, 297-308.
- Murelaga, X. (2000).** Estudio de las faunas de vertebrados del Mioceno inferior de las Bardenas Reales de Navarra y áreas colindantes (Cuenca del Ebro, Navarra). Tesis Doctoral, Universidad del País Vasco. 363pp.
- Pérez-Rivarés, J., Garcés, M., Arenas, C. y Pardo, G. (2002)** Magnetocrónología de la Sierra de Alcubierre. Revista de la Sociedad Geológica de España 15 (3-4), 211-225.

Propiedades magnéticas de sedimentos marinos del Mediterráneo oriental (ODP Leg 160); implicaciones paleoceanográficas y paleoclimáticas

Rock magnetic properties of eastern Mediterranean sediments recovered during ODP Leg 160; paleoceanographic and paleoclimatic implications

Larrasoña, J. C.^{1,*}; Roberts, A. P.¹, Rohling, E. J.¹, Winklhofer, M.¹, Wehausen, R.², Stoner, J. S.³, Richter, C.⁴, Hayes, A.⁵

¹ School of Ocean and Earth Science, Southampton Oceanography Centre, University of Southampton,
Southampton SO14 3ZH, UK

² Institut für Chemie und Biologie des Meeres (ICBM), Carl-von-Ossietzky-Universität, Oldenburg D-26111,
Germany

³ Institute of Arctic and Alpine Research (INSTAAR), University of Colorado,
Campus Box 450, Boulder, CO 80309-0450, USA

⁴ Ocean Drilling Program, 1000 Discovery Drive, Texas A & M Research Park, College Station, TX 77845-
9547, USA.

⁵ Department of Geology, Royal Holloway, University of London, Surrey, TW20 0EX, UK.

* Laboratori de Paleomagnetisme UB-CSIC, Institut de Ciències de la Terra "Jaume Almera", C/ Sole i Sabarís
s/n, 08028 Barcelona, España, e-mail jc11@soc.soton.ac.uk

La mineralogía magnética de los sedimentos depositados en el Mediterráneo oriental está relacionada con las condiciones diagenéticas en el medio sedimentario como con las condiciones climáticas en las zonas continentales adyacentes. Así, la acumulación de materia orgánica en los sapropeles origina la disolución de minerales de baja coercitividad (e.g., magnetita) y la formación de pirita tanto en los sapropeles como en los sedimentos infrayacentes. La posterior modificación diagenética de la materia orgánica condiciona la reoxidación de la pirita y la formación de magnetita. Estos procesos diagenéticos dan lugar a una peculiar señal magnética, que puede ser utilizada tanto para identificar sapropeles que han pasado desapercibidos en el registro sedimentario al oxidarse la materia orgánica original, como para evaluar las variaciones temporales de las condiciones sedimentarias (e.g. la productividad oceánica y oxigenación de las aguas profundas) que controlan dichos procesos diagenéticos.

A diferencia de la magnetita, los minerales de alta coercitividad (hematites) no se ven afectados por los procesos diagenéticos y presentan variaciones de concentración correlacionables con cambios climáticos (establecidos a partir de datos geoquímicos). En concreto, la concentración de hematites refleja las variaciones en la cantidad de polvo sahariano acumulado en el Mediterráneo oriental, que se relacionan con los cambios climáticos acaecidos en el norte del Sahara en respuesta a la penetración del monzón africano.

En esta comunicación se presentarán con más detalle los principales resultados obtenidos del estudio, realizado a partir de propiedades magnéticas de alta resolución (1 cm; “u-channels”), de sondeos marinos procedentes del Mediterráneo oriental (ODP Leg 160), así como las principales implicaciones paleoclimáticas y paleoceanográficas que de dichos datos se derivan.

Parâmetros magnéticos de solos na periferia de Coimbra

Lourenço, A.¹; Gomes, C.¹; Pratas, J.¹ e Rey, D.²

¹Dep.º de Ciências da Terra, Univ. de Coimbra; ²Dep.º de Geociências Marinas y O. T., Univ. Vigo

A área de estudo, com cerca de 16 Km², engloba uma parte da planície aluvionar da margem direita do rio Mondego, ocupada essencialmente por explorações agrícolas. Situa-se na periferia da cidade de Coimbra, centro urbano de dimensão média, com cerca de 130 mil habitantes. Trata-se de uma zona aplanada, com cotas a rondar os 13 metros, rasgada por numerosos canais de drenagem e atravessada pela estrada E.N-111, que liga Coimbra à cidade da Figueira da Foz, pela auto-estrada A1 e ainda outras estradas e caminhos secundários. O depósito aluvionar é heterogéneo, com predominância de areias e argilas. Os objectivos principais do trabalho são: a) caracterizar os solos da área seleccionada, quanto às suas propriedades magnéticas; b) fazer o estudo da variabilidade dos resultados, em função da localização espacial e, verificar se existe alguma influência de eventuais fontes poluidoras antrópicas, nomeadamente da circulação automóvel; c) comparar os parâmetros magnéticos com a concentração em elementos químicos como o Pb, Zn, Co, Cr, Cu e Ni.

Procedeu-se à amostragem segundo uma malha quadrada de 500x500m, e também em alguns outros locais seleccionados. Foram efectuados dois perfis: um transversal à estrada EN-111 e outro transversal à auto-estrada A1. À entrada de Coimbra, onde o tráfego rodoviário se concentra nas horas de ponta, efectuaram-se perfis com espaçamento 1m. No total foram estudadas 97 amostras, previamente preparadas no Laboratório de Sedimentologia do Dep.º de Ciências da Terra da Universidade de Coimbra. As propriedades magnéticas foram medidas no Laboratório de Paleomagnetismo, Magnetismo Ambiental e Arqueomagnetismo do Dep.º de Xeociencias Mariñas e Ordenación do Território da Univ. de Vigo e incluíram a medição da susceptibilidade magnética (em LF e HF); medição da MRN, medição da MRI a -100mT, -300mT, -40mT e 1T. Para algumas amostras obtiveram-se igualmente as curvas de MRI até 3 Tesla. A susceptibilidade magnética foi medida numa ponte de susceptibilidade Bartington MS2 e a MRI num magnetómetro spinner MOLSPIN Minispin e os campos foram aplicados com um magnetizador de impulsos MMPM9. Foram ainda realizadas análises químicas complementares para o Pb, Co, Cu, Cr, Zn e Ni, por espectrofotometria de absorção atómica (Perkin-Elmer 2380), no Laboratório de Tratamento de Minérios da Secção de Minas do Dep.º de Ciências da Terra da Univ. de Coimbra.

Os valores da susceptibilidade magnética são, em média, baixos (méd.=29; min.= 6; max.=325 x 10⁻⁶ S.I.) e apresentam, como seria de esperar, correlação elevada com a MRI 1T ($r=0,8$). De modo geral, os valores mais elevados da susceptibilidade registaram-se junto às linhas de água e estradas. A elevada susceptibilidade de solos junto a estradas está descrita em vários autores (*e.g* Knabb *et al.*, 2000). Junto às linhas de água, factores como o transporte de sedimentos contendo partículas magnéticas, de origem antrópica ou detritica, que em situação de cheias se depositam preferencialmente nas zonas mais próximas do leito, podem justificar os valores elevados da susceptibilidade magnética. O valor mais alto, para este parâmetro, foi registado junto à linha da CP (325x10⁻⁶S.I.). O perfil realizado na auto-estrada exibe os valores máximos da susceptibilidade nos primeiros 10 cm de solo que ladeiam a faixa de asfalto,

observando-se um decaimento com a distância, de acordo com estudos similares (Hoffmann *et al.*, 1999). A distribuição espacial dos valores da susceptibilidade magnética revela, assim, a influência da circulação automóvel nas propriedades magnéticas dos solos adjacentes.

A MRI 1T varia de 252,5 a 18174 mAm⁻¹ (para a amostra 9, colhida junto à linha da CP). As curvas de aquisição de MRI até 3T, indicam a presença de estruturas ferrimagnéticas, como a magnetite/maghemite. Foram igualmente calculadas as "S-ratio" para MRI a -100mT e a -300mT. Os valores médios são, respectivamente, 0,8 e 0,95 confirmando a presença estruturas ferrimagnéticas.

O conteúdo em metais pesados como o Pb, Cr, Cu, Co, Ni e Zn foi analisado para um conjunto seleccionado de amostras (N=40). Verifica-se que os teores médios em chumbo (115mg/Kg), níquel (48 mg/Kg), zinco (387 mg/Kg) e cobre (78 mg/Kg) são elevados, comparativamente com os valores médios de fundo para os solos mundiais (Reimann e Caritat, 1998), o que pode estar relacionado com a poluição derivada do próprio centro urbano e ainda da existência das infraestruturas rodoviárias (tráfego automóvel e pavimentos) e, nos casos de solos agrícolas, com a utilização de fertilizantes e pesticidas. Analisou-se ainda a correlação entre estes elementos e a susceptibilidade magnética: as correlações mais elevadas foram observadas para o Cu e Pb (0,5 e 0,4 respectivamente, significativos para o nível 0,01).

Este trabalho foi desenvolvido no âmbito do Centro de Geociências da Universidade de Coimbra.

Referências

- Knab M., Hoffmann V., Appel E. (2000)** Magnetic susceptibility as a proxy for heavy metal contamination in roadside soils. Geologica Carpathica, 51, nº 3, p.199.
- Hoffmann V., Knab M. e Appel E. (1999)** Magnetic susceptibility mapping of roadside pollution. J. Geoch. Expl., 66 , pp.313-326.
- Reimann, C. e Caritat, P. (1998)** Chemical elements in the environment. Springer -Verlag, 398p.

PALEOMAGNETIC STUDY OF THE FOUM ZGUID DYKE (MOROCCO).

Palencia, A.^{1*}, Osete, M.L.¹, Ruiz-Martínez, V.C.¹, McIntosh, G.¹, Julivert, M.², Hafid, A.³.

¹Dept. de Geofísica, Facultad de C.C Físicas. Universidad Complutense, 28040 Madrid, Spain.

²Facultat de Ciencies. Universitat Autònoma de Barcelona.

³Faculte des Sciences et Techniques. Universite Cadi Ayya. Marrakech.

*ali@fis.ucm.es /Fax: +34 91394-4398

The Foum Zguid dyke in Morocco together with the Messejana dyke in Spain and several other volcanic and volcano-sedimentary series within North Africa, Iberia and North America, are associated with a magmatic province that is presumed to be related with the Central Atlantic rifting in early Mesozoic times, [1]. The Foum Zguid is a northeast-trending dolerite dyke located in southern Morocco (Fig.1). This dyke has an overall extension of about 200 Km and 150 m wide, traversing the Hercynian-folded Precambrian and Paleozoic strata of the Anti-Atlas and itself overlain by Cretaceous beds, [2]. The Foum Zguid dyke was dated by the $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ step-heating method, giving a mean age of 196.9 ± 1.8 Ma [1]. The authors concluded that the age of the emplacement of this dyke is probably 200 Ma, as well as the Messejana dyke (Iberia).

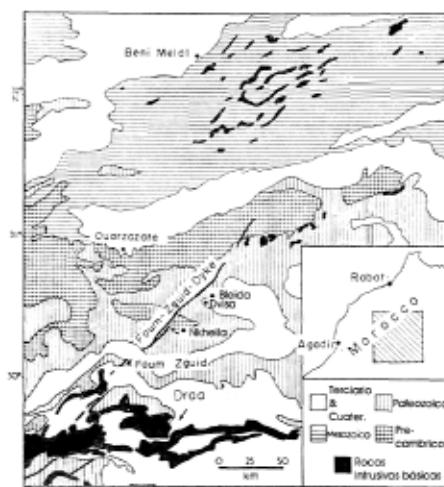


Fig. 1: Outline geological map of South Morocco, showing the location of the Foum Zguid dyke.

A total of 285 samples belong to 11 different sites of the Foum Zguid dyke had been collected. One or two magnetic components were observed both by AF and thermal demagnetisation, with different degrees of overlapping. The magnetic behaviour of pilot samples indicates that AF demagnetisation procedure was more effective than thermal demagnetisation in isolating the Characteristic Remanent Magnetisation (ChRM).

When the two magnetic components were not highly overlapped, the first one was isolated between 10 mT and 20 mT, obtaining scattered directions. The second magnetic component was always isolated between 10-20 mT and 40-50 mT and presented normal clustered polarities (ChRM). In these cases, magnetic components were calculated by Principal Component Analysis. When they were highly overlapped, ChRM was calculated using remagnetization circles and the mean direction was calculated by Great Circle Analysis and sometimes mixing planes and directed lines. The median destructive fields ranged between 5mT and 20mT. Maximum unblocking temperature ranged between 450°C to 575-600°C.

Considering all these magnetic properties, titanomagnetites with low titanium content are likely main magnetic minerals carrying the ChRM.

In spite of the presence of two magnetic components, in all the sites a well-grouped ChRM direction could be obtained. The ChRM presented always normal polarity. Considering that this period is a period of mixed polarity, paleomagnetic results could indicate that the dike intruded during a brief and unique magmatic episode.

Vgps average leads to a well defined Lower Jurassic Paleomagnetic Pole (197 ± 2 Ma) for the African Plate, with values of **Plat=68.8°N**, **Plong=248.0°E** and **A₉₅=4.1°**.

The Foum Zguid Paleopole has been compared with a selection of Jurassic Paleopoles for the Africa Plate [3], and with the Pole for the Messejana Dyke (Iberian Plate) [4], (table 1). The pole calculated for the Foum Zguid in this study is consistent with most of them. Fig. 2 illustrates the similarity of the Paleomagnetic Poles for the African Plate and the Iberian Plate with the Foum Zguid Paleopole. The similitude of the African pole with the Iberian pole means that the two plates have undergone quite parallel movements since the early Jurassic.

Ref.	N	Slat	Slong	Plat	Plong	K	A ₉₅	Age (Ma.)
[3]	6	-21.8	31.2	58.6	259.7	65.8	8.3	173 ± 8
[3]	22	-24	31.7	66	279	24	8	178 ± 10
[3]	47	-29.3	28.6	71.6	273.5	33	3.7	180 ± 10
[3]	25	6.5	349.5	68.5	242.4	31	5.3	185 ± 5
[3]	8	-22.1	30.7	70.2	285.1	39.9	8.9	186 ± 6
[3]	16	29.5	353.5	65.5	230.5	121	3.5	187 ± 6
[3]	10	-24	31	65.4	255.1	16.4	12.3	193 ± 10
[4]	16	39	353	16	70.1	248	4.7	200
this study	11	30.3	353.3	68.6	248.0	127.6	4.1	197 ± 2

Table 1: Jurassic Paleopoles for the Africa Plate [3], Messejana Dyke Plaleopole [4].

N = number of sites; Slat, Slong= Site latitude and longitude; Plat, Plong = Pole position; K= estimate of Fisher's precision parameter; A₉₅= semiangle of cone 95% confidence of the mean pole.

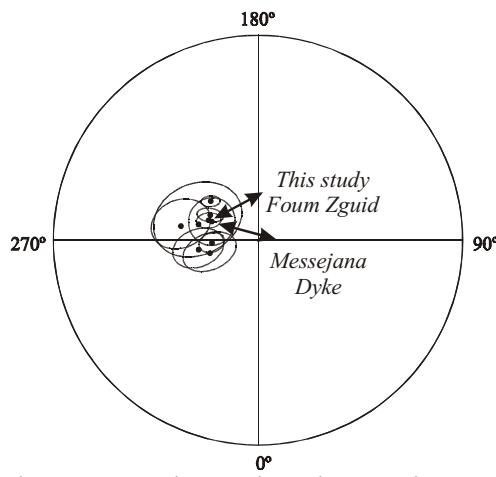


Fig. 2: African paleomagnetic poles [3], Messejana Dyke Pole [4] and Foum Zguid Pole (this study).

References:

- [1] Sebai, A., Feraud, G., Bertrand, H. and Hanes, J. (1991) “ $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating and geochemistry of tholeitic magmatism related to the early opening of the central atlantic rift”. Earth and Planetary Science Letters.
- [2] Hailwood, E.A. and Mitchell, J.G. (1971) Paleomagnetic and radiometric dating results from the Jurassic intrusions in South Morocco. Geophys. J.R. Astro. Soc. 24. 351-364.

[3] **Besse, J. and Courtillot, V. (2002)** "Apparent and true polar wander and the Geometry of the magnetic Field in the last 200 Million Years", Journal of Geophys.Research, Vol. 107, N. B11, 2300, doi:10.1029/2000JB000050, 2002.

[4] **Palencia, A., Osete, M.L., Vegas, R., Villasante, V.Silva, P., Fonseca, P.E and Miranda, J.M (2000)** "Paleomagnetic and AMS study of the southern part of Messejana -Plasencia dyke ". European Geophysical Society. XXV General Assembly.

Nuevos datos magnetoestratigráficos del sector Central de la Cuenca del Ebro: Mioceno de los Montes de Castejón

New Magnetostatigraphic data of the Central sector of the Ebro Basin: Miocene of the Montes de Castejon

Pérez-Rivarés, F. J.¹; Garcés, M.²; Arenas, C.¹, Pardo, G.¹

¹ Dpto. Ciencias de la Tierra, Facultad de Ciencias, Universidad de Zaragoza, Pedro Cerbuna 12, 50009 Zaragoza, Spain, Tel.: 34-976-761080, E-mail: perezr@unizar.es

² Grupo de Geodinámica y Análisis de Cuenca, Facultad de Geología, Universitat de Barcelona, Campus de Pedralbes, 08028 Barcelona, Spain, E-mail: garces@natura.geo.ub.es.

En esta contribución se muestran los resultados de los estudios magnetoestratigráficos llevados a cabo en los Montes de Castejón y se presentan algunas implicaciones estratigráficas y sedimentológicas que se desprenden de los mismos.

Durante el Mioceno, los Montes de Castejón constituyeron un área importante de sedimentación lacustre y aluvial en el sector central de la Cuenca del Ebro. La total ausencia de información cronológica en el área y la desconexión física con otros afloramientos del sector dificultan en gran medida cualquier intento de estudio con implicación temporal. Hasta ahora únicamente se contaba con la correlación con otras áreas de la cuenca, realizada por Arenas (1993) y Arenas y Pardo (2000) a partir del análisis tectosedimentario. El análisis tectosedimentario (Pardo et al., 1989) se basa en la semejanza de la evolución secuencial de las Unidades Tectosedimentarias (UTS) reconocidas localmente y las características de las rupturas sedimentarias de sus límites. Una de estas áreas es la Sierra de Alcubierre, donde recientemente Pérez-Rivarés et al. (2002) han realizado estudios magnetoestratigráficos que, según Arenas (1993) y Arenas y Pardo (2000), cubren un registro equivalente al de las UTS presentes en los Montes de Castejón. La comparación de las secciones magnetoestratigráficas entre estos dos relieves permitirá comprobar su correlación previa.

Se han muestreado dos secciones estratigráficas (Castillo de Sora, SO, y Esteban, ES). Se ha aplicado un intervalo de muestreo de un metro por estación aproximadamente, mediante el cual se han podido analizar un total de 210 muestras cilíndricas. Los materiales estudiados han sido calizas (margosas o arenosas en algunos casos), dolomías, margas y lutitas. Todas las muestras se han desmagnetizado por procedimientos térmicos. La mayor parte de las medidas de la magnetización remanente se han realizado con un magnetómetro 2G SRM 755R de 2G Enterprises; para el resto se ha utilizado un magnetómetro superconductor de 3 ejes GM400 de Criogenic Consultants Ltd. (Laboratorio de paleomagnetismo de Barcelona). Los ensayos de adquisición de magnetización remanente isotérmica (MRI) y desmagnetización progresiva indican que los minerales portadores de la magnetización remanente son magnetita y hematites. Es frecuente la presencia de una componente viscosa de orientación aleatoria, adquirida durante el muestreo o manipulación de las muestras, que desaparece al exponer los especímenes a 100°C (raramente hasta 150°C). Entre 300° y 340°C se desmagnetiza una segunda componente que presenta orientaciones similares al campo magnético actual. La última componente constituye la Magnetización Remanente Característica (MRC) que presenta polaridades normales e inversas. Una parte de las muestras necesita alcanzar al menos 500°C para desmagnetizarse completamente. Otras

no pierden su remanencia hasta más de 650°C.

La sucesión magnetoestratigráfica de los Montes de Castejón está integrada por 12 magnetozonas que equivalen a los crones de la GPTS C5Cr a C5ADn. La correlación sugerida por Arenas (1993) y Arenas y Pardo (2000) queda confirmada por la comparación de los patrones magnéticos de Montes de Castejón y Sierra de Alcubierre. También es posible ajustar la edad asignada al límite entre las unidades tectosedimentarias T5/T6 (Pérez-Rivarés et al. 2002), pasando de 16,40 (C5Cn.2n) a 16,16 Ma (C5Cn.1n). Este ajuste implica, además, un replanteamiento en la situación propuesta por Arenas (1993) y Arenas y Pardo (2000) para el límite T5/T6 en la sección de Lanaja, en el área de la Sierra de Alcubierre, que debe situarse estratigráficamente más alto.

La comparación de las sucesiones de Montes de Castejón y Sierra de Alcubierre muestra que, en diversos intervalos, las tasas de sedimentación de estas áreas vecinas son similares. Sin embargo en otros intervalos las tasas son notablemente diferentes. Tal es el caso de las secciones de Esteban, ES (Montes de Castejón) y San Caprasio, SC (Sierra de Alcubierre) en torno al cron C5Bn, o de las secciones de Castillo de Sora, SO (Montes de Castejón) y Lanaja, LN (Sierra de Alcubierre) en torno al cron C5Cn. Parte de estas disparidades pueden ser explicables por diferencias de ambiente sedimentario: mayores tasas para depósitos detríticos de abanico aluvial (SO) y de influencia deltaica (SC) y menores para depósitos de calizas y margas en ambientes lacustres (LN). En cambio, en torno al cron C5Bn.1n las diferencias entre ES y SC se dan dentro de ambientes de sedimentación lacustre. En este caso, el modelo de sedimentación propuesto por Arenas y Pardo (1999) para los sistemas lacustres miocenos del sector central de la Cuenca del Ebro, explica adecuadamente la disparidad de tasas. ES (tasas más altas) corresponde a facies lacustres marginales y palustres de situación de nivel lacustre alto y aguas dulces, con alta productividad biológica, mientras que SC (tasas menores) registra facies lacustres marginales de nivel bajo y aguas bicarbonatadas salinas, así como facies de llanura de barros con bombeo evaporítico asociado, correspondientes a niveles lacustres aún más bajos, con precipitación de sulfatos.

Trabajo financiado por el proyecto PB97-0882-C03 de la DGES

Referencias

- Arenas, C. (1993)** Sedimentología y paleogeografía del Terciario del margen pirenaico y sector central de la Cuenca del Ebro (zona aragonesa occidental). Tesis Doctoral, Universidad de Zaragoza, 858.
- Arenas, C. y Pardo, G. (1999)** Latest Oligocene-Late Miocene lacustrine system of the north-central part of the Ebro Basin (Spain): sedimentary facies model and palaeogeographic synthesis. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*, 151, 127 -148.
- Pardo, G., Villena, J. y González, A. (1989)** Contribución a los conceptos y a la aplicación del análisis tectosedimentario. Rupturas y unidades tectosedimentarias como fundamento de correlaciones estratigráficas. En: *División de unidades estratigráficas en el análisis de cuencas*, J. A. Vera, ed., Rev. Soc. Geol. España, 2, 199 -221.
- Arenas, C. y Pardo, G. (2000)** Neogene lacustrine deposits of the north-central Ebro Basin, northeastern Spain. En: *Lake basins through space and time* (E. H. Gierlowski-Kordesch y K. R. Kelts, eds.). American Association of Petroleum Geologists, Spec. Vol., Studies in Geology, 46: 395 -406.
- Pérez-Rivarés, F.J., Garcés, M., Arenas, C., Pardo, G. (2002)** Magnetocronología de la sucesión miocena de la Sierra de Alcubierre (sector central de la Cuenca del Ebro). *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 15, 210 -225.

Stacking of paleomagnetic data: an objective approach to the ChRM

Pueyo, E. L. (*); Feischl, T.; Scholger, R.; Mauritsch, H. J.

Inst. of Geophysics. Montanuniversität Leoben. Paleomagnetic Laboratory Gams. Austria. unaim@unizar.es
 (*) Present address: Lab. des Mécanismes de Transfert en Géologie, Université Paul Sabatier, Toulouse, France

A recently developed software for PC is introduced as a paleomagnetic data processing tool that allows applying a modified stacking routine (SR: as it originally was proposed by Scheepers and Zijderveld, 1992) and offers significant methodological improvements on the original technique. In the Gamsstack program the stacked-step error and mean can be calculated via spherical statistics using a Fisher (1954) distribution (original choice) or like standard error (considering the vector intensity in a normal distribution). Both choices may be also merged. This treatment does not assume the homogeneity of the magnetic intensity for the different samples on a site, which certainly is in better agreement with the natural magnetic response of the rocks to the external magnetic field (Fig. 1).

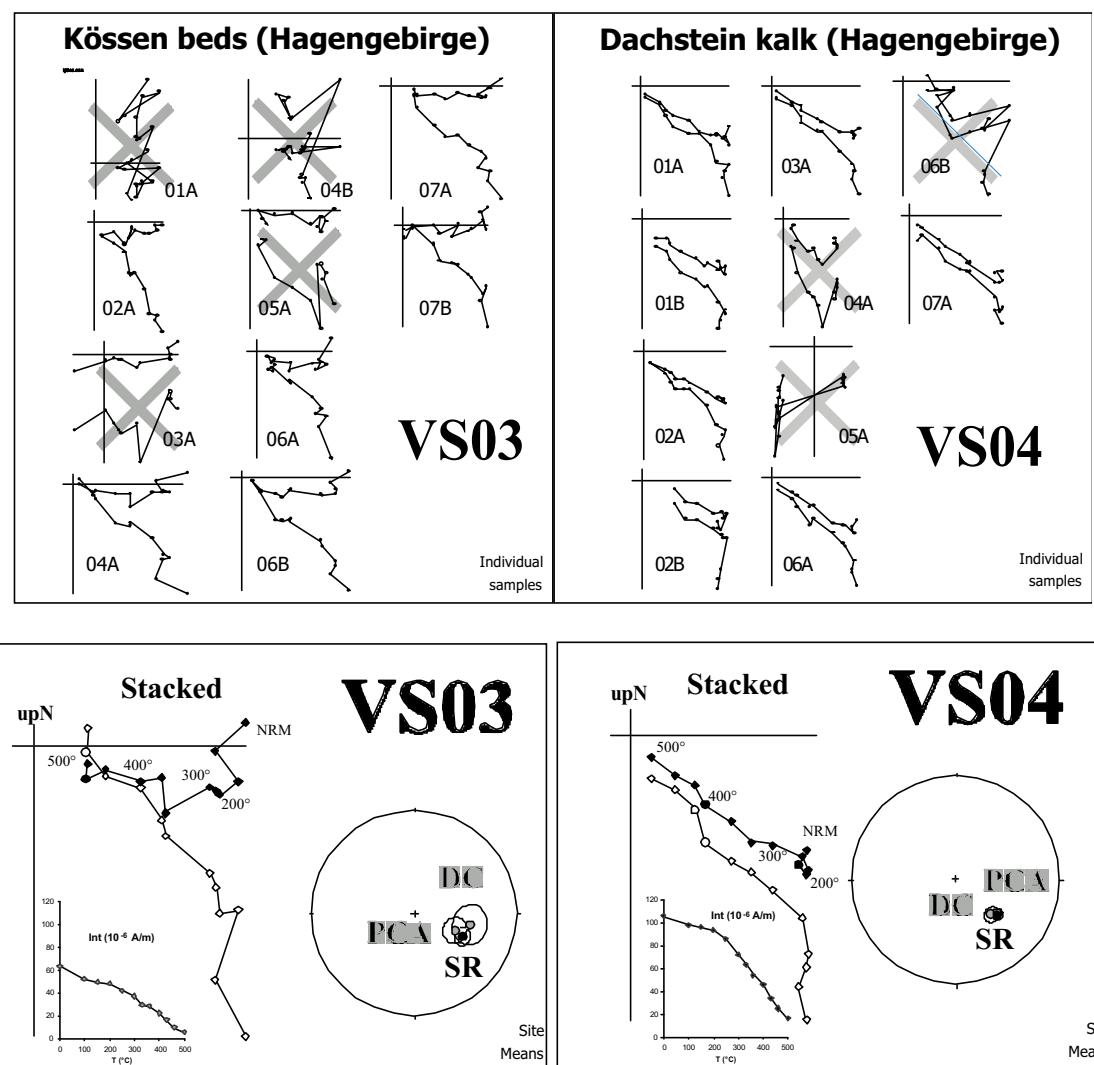


Figure 1: A) Individual demagnetization diagrams at the sites VS03 and VS04. Crossed out samples have not been considered in the stacked samples B) Stacked samples with the magnetic intensity decay curve and the

derived orthogonal diagram from two paleomagnetic sites (10 samples each). ChRM direction calculated from the stacked diagram and their comparison with PCA and DC mean are projected all together in the stereo net.

The program also allows the calculation of a mean (step by step) of the instrumental error (Fig. 2), which implies a qualitative link among the three different statistical levels (measurements, samples and site). An interactive stacking menu displays complete instrumental information and permits to reject anomalous steps (e.g. erroneous measurements) or even to skip spurious samples from the initial data set (in case of the tectonic and lithologic homogeneity is failed). Some natural examples from the Northern Calcareous Alps are shown. The ChRM fitted using classical methods (principal component analysis [PCA; Kirschvink, 1980] and demagnetization circles [DC; Bailey and Halls, 1984]) are compared with the results derived from fitting the ChRM (PCA) directly from the stacked sample (Gamsstack). The angular departures among the different results (PCA, DC and SR) are non significant and their confidence cones are overlapped (Fig. 1).

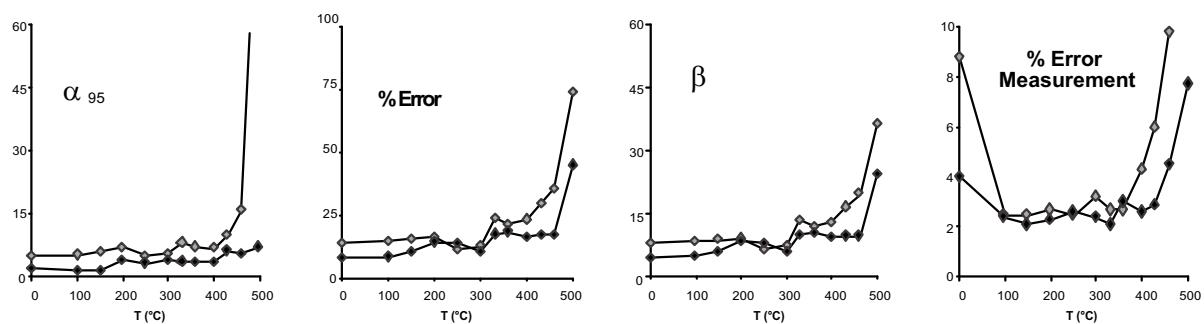


Figure 2: Comparison of different stacked errors. Gray circles correspond to site VS03 and the black ones to site VS04. □95: Fisherian error (Fisher, 1953) for a given stacked step (unit vector treatment); % error: relation between the mean intensity and the error intensity for a given step (non unit vector). b: angular difference between the mean and its 100% confidence cone non unit vector. % error-measurement: mean instrumental error (first statistical level) for a given step.

The modified stacking method run by the Gamsstack software is so powerful that is proposed as an automatic, objective and preliminary method to obtain a reliable averaged out demagnetization path (diagram) for a single and homogeneous data set (site) in any rock type and not only in weak or viscous samples. The filtering of spurious steps or inconsistent samples, loses the objectivity of the automatic method but it is an efficient way to calculate to ChRM in a paleomagnetic site. When the quality of the measurements and the natural scatter are reasonable (evaluated by the different error trends), the directions fitted from the filtered stacked diagram will display an excellent approach to the ChRM. In the studied examples, the comparison with other methods (PCA and DC) show angular departures below 10°, which in turn are not statistically significant if the respective confidence angles are considered. Therefore the stacking technique has the advantage (against other time-consuming methods) of being a very fast and reliable preliminary analysis for large data sets. The program also allows the conversion between 2G (frequently used) and "Paldir" (Utrecht) formats (ASCII) extending the possibilities to be applied to most paleomagnetic laboratories.

References

- Bailey, R.C. and Halls, H.C. (1984) Estimate of confidence in paleomagnetic directions derived from mixed remagnetization circle and direct observational data. Journal of Geophysics, 54, 174-182
- Fisher, R. A. (1953) Dispersion on a sphere. Proc. R. Soc., A217, 295 - 305.
- Kirschvink, J.L. (1980) The least-squares line and plane and the analysis of the paleomagnetic data. Geophys. J. R. Astron. Soc., 62, 699 - 718.

Scheepers, P.J.J.; Zijderveld, J.D.A. (1992) Stacking in Paleomagnetism: Application to marine sediments with weak NRM. *Geophysical Research Letters*, 19(14), 1519-1522.

Paleomagnetismo en el Cinturón Volcánico Trans-Mexicano. Implicaciones Tectónicas.

Paleomagnetism on the Trans-Mexican Volcanic Belt. Tectonic implications.

Ruiz-Martínez, V.C.¹; Osete, M.L.²

¹ Dpto. Geofísica, Fac. CC. Físicas, U.Complutense de Madrid.. Ciudad Universitaria s/n, 28040 Madrid,
Estado español, vcarlos@fis.ucm.es

² Dpto. Geofísica, Fac. CC. Físicas, U.Complutense de Madrid.. Ciudad Universitaria s/n, 28040 Madrid,
Estado español, mlosete@fis.ucm.es

Se han muestreado un total de 51 sitios volcánicos en los sectores central y occidental del Cinturón Volcánico Trans-Mexicano con objeto de evaluar espacial y temporalmente la existencia de rotaciones de bloques corticales sobre ejes verticales en este arco volcánico, y completar así el estudio regional comenzado en su sector oriental (Ruiz-Martínez et al, 2000). La estrategia de muestreo, en analogía con este primer estudio, fue la de seleccionar sitios con dataciones isotópicas disponibles (Ferrari, 1999) o cuya edad podía correlacionarse geológicamente a las épocas Mioceno Superior, Plioceno o Cuaternario (Fig. 1).

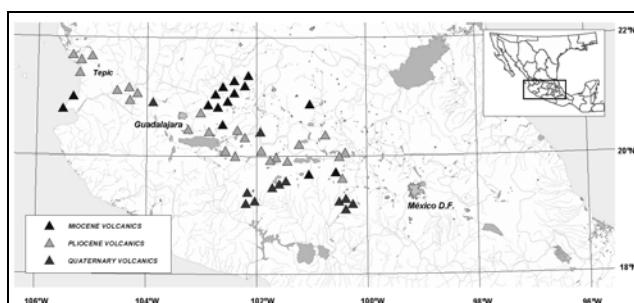


Fig.1. Localización de los sitios muestreados en los sectores central y occidental del Cinturón Volcánico Trans-Mexicano (de edades Mioceno Superior, Plioceno y Cuaternario).

La Magnetización Remanente Natural inicial de los sitios (cada uno con entre 7 y 11 muestras individualmente orientadas) presentó alta dispersión -80% de ellos con parámetros de precisión $k < 10$ (Fisher, 1953)-, debido a la existencia de remagnetizaciones parciales. Estas componentes generalmente IRMs están inducidas por la caída de rayos (fácilmente reconocibles por su anómala intensidad de magnetización, trayectorias direccionales y rango de coercitividades), mientras que en otros casos (a juzgar por su localización geográfica y sus temperaturas de desbloqueo) están asociadas a una TRM y/o CRM originada por alteración hidrotermal. En 4 sitios, ni la desmagnetización por campos alternos decrecientes ni la térmica fueron capaces de destruir estas componentes secundarias y disminuir significativamente esta dispersión inicial (direcciones medias, tras la desmagnetización total, con $k < 2$, $\alpha_{95} > 30^\circ$). En cambio, en los otros 47 sitios, ambos métodos de desimanación lograron aislar la componente característica (ChRM) con la precisión solicitada para este estudio tectónico (direcciones medias con $k > 20$, $\alpha_{95} < 10^\circ$). Estas ChRMs se han determinado incluyendo al menos cinco puntos de la desimanación progresiva, y han sido calculadas por análisis de la componente principal (Kirschvink, 1980) y por análisis de círculos máximos, a veces combinando estos círculos con direcciones lineales (McFadden & McElhinny, 1988). El

análisis, en muestras representativas de cada sitio, de las temperaturas de desbloqueo de IRMs inducidas en tres ejes perpendiculares (Lowrie, 1990), así como el rango de sus parámetros de histéresis (Dunlop, 2002), sugiere que los portadores de estas ChRMs son magnetitas y titanomagnetitas de alto contenido en titanio, en algunos casos ligeramente maghemitzadas, con diferentes proporciones de mezcla de estados monodominio y multidominio. Para el análisis tectónico (Fig. 2) no se han incluido 4 direcciones (con colatitudes de sus correspondientes VGPs superiores a 46°) que se han considerado como excursiones o transiciones de polaridad del campo geomagnético. Los 43 sitios restantes (que presentaron colatitudes de sus correspondientes VGPs inferiores a 32°) se han agrupado de diferentes maneras tanto por sectores geográficos como en función de su edad, para el análisis estadístico de sus direcciones medias mediante pruebas del test de inversión (McFadden y McElhinny, 1990) y para calcular los parámetros de rotación y aplanamiento de la inclinación con sus límites de confianza (Beck, 1980; Demarest, 1983), comparando sus direcciones medias con los polos de referencia (Besse y Courtillot, 2002) para Norte América estable (épocas Mioceno Superior y Plioceno) y con el polo geográfico (Cuaternario). Los resultados de todos los diferentes agrupamientos (combinaciones de los sectores central o/y occidental en función de su edad Mioceno Superior, Plioceno o Cuaternario) presentan VGPs fisherianos, tests de inversión positivos, son estadísticamente indistinguibles por sectores y por edades, y los parámetros de rotación y de aplanamiento de la inclinación están dentro de los márgenes de error (inferiores a 7°); por lo que no apoyan rotaciones corticales a escala regional, detectables paleomagnéticamente, posteriores al Mioceno superior.

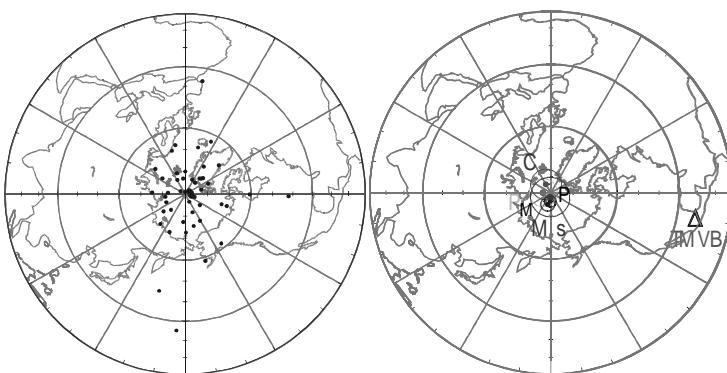


Fig.2. Izquierda: VGPs de los sitios de los sectores central y occidental del Cinturón Volcánico Trans-Mexicano. Derecha: Direcciones medias de los sitios de edad Mioceno Superior (Ms), Plioceno (P) y Cuaternario (C) y polos de referencia para NA estable (M, P).

Referencias

- Beck Jr, M.E. (1980)** Paleomagnetic record of plate-margin tectonic processes along the western edge of North America. *J. Geophys. Res.* 85, 7115-7131.
- Besse, J. and Courtillot, V. (2002)** Apparent and true polar wander and the Geometry of the magnetic Field in the last 200 Million Years, *J. Geophys. Res.*, vol. 107, no. b11, 2300, doi:10.1029/2000jb000050
- Demarest, H.H. (1983)** Error analysis for the determination of tectonic rotation from paleomagnetic data. *J. Geophys. Res.* 88, 4321-4328.
- Dunlop, D. J. (2002)** Theory and application of the Day plot (M_r/M_s versus H_r/H_c) 1. Theoretical curves and tests using titanomagnetite data, *J. Geophys. Res.*, 107(B3), 2056, doi:10.1029/2001JB000486.
- Ferrari, L., Lopez-Martinez, M., Aguirre-Díaz, G. and Carrasco-Nuñez, G. (1999)** Space-time patterns of Cenozoic arc volcanism in central Mexico: from the Sierra Madre Occidental to the Mexican Volcanic Belt. ("Data Repository, Compilation of ages of magmatic rocks in central Mexico") *Geology* 27, pp. 303-306.)
- Fisher, R.A. (1953)** "Dispersion on a sphere". *Proc. R. Soc. (London) A.* 217, 295 -305.
- Kirschvink, J.L. (1980)** The least-squares line and plane and the analysis of paleomagnetic data. *Geophys. J. R. Astron. Soc.* 62, 699-718.

Lowrie, W. (1990) Identification of ferromagnetic minerals in a rock by coercity and unblocking temperature properties. *Geophysical Research Letters*. 17, 159-162.

McFadden, P.L., and McElhinny, M.W. (1988) The combined analysis of remagnetization circles and direct observations in paleomagnetism, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 87, 161–172.

McFadden, P.L. and McElhinny, M.W. (1990). “Classification of the reversal test in palaeomagnetism”. *Geophys. J. Int.* 103, 725 -729.

Ruiz-Martínez, V.C., Osete, M.L., Vegas, R., Núñez-Aguilar, J.I., Urrutia-Fucugauchi, J. y Tarling, D.H. (2000) Palaeomagnetism of Late Miocene to Quaternary volcanics from the eastern segment of the Trans-Mexican Volcanic Belt. *Tectonophysics* 318, 217-233.

Anisotropia da Susceptibilidade Magnética de granitos hercínicos portugueses: alguns exemplos

Anisotropy of Magnetic Susceptibility of portuguese hercynian granites: some examples

Sant’Ovaia, H.¹ & Noronha, F.²

¹ Departamento de Geologia da Faculdade de Ciências do Porto e Centro de Geologia da Universidade do Porto. Praça Gomes Teixeira 4099-002, Porto, Portugal, hsantov@fc.up.pt

² Departamento de Geologia da Faculdade de Ciências do Porto e Centro de Geologia da Universidade do Porto. Praça Gomes Teixeira 4099-002, Porto, Portugal, fmnoronh@fc.up.pt

Introdução

A técnica da anisotropia da susceptibilidade magnética (ASM) permite um estudo sistemático dum maciço granítico, proporcionando dados direcionais (foliação e lineação magnética) que podem ser relacionados com a foliação e a lineação magmática. Para além disso, obtém-se também parâmetros quantitativos que estão relacionados com a composição química das rochas e com a taxa de deformação que sofreram. Neste trabalho apresentam-se alguns exemplos de aplicação da ASM a alguns maciços graníticos portugueses com vista à caracterização magnética e estrutural das rochas que os constituem, e assim contribuir para um melhor conhecimento geológico desse maciços.

Enquadramento geológico

Os maciços cujos resultados apresentamos incluem-se em três grupos: granitos pós-tectónicos e granitos sintectónicos e granitos sin a tardí-tectónicos relativamente à terceira fase da deformação hercínica intra-vestefaliana. No primeiro grupo, incluem-se os maciços de Vila Pouca de Aguiar (VPA), Águas Frias (Chaves), Lavadores (Gaia), Caria e Vila da Ponte; no segundo grupo, incluem-se os granitos da Gralheira, Serapicos Minheu e Lagoa e no terceiro grupo, inclui-se o maciço de Castro Daire (Fig. 1). Estes maciços localizam-se na Zona Centro-Ibérica (ZCI) com exceção de granito de Lavadores que se localiza na fronteira desta zona com a Zona Ossa Morena (ZOM).

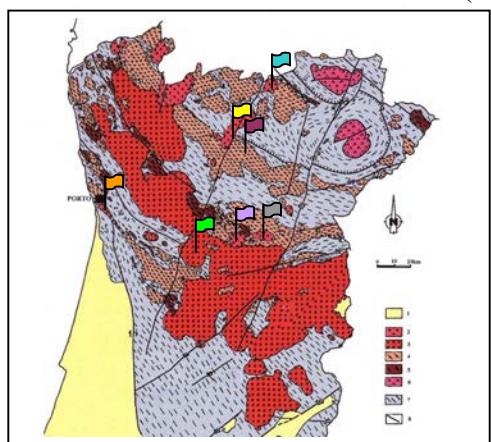


Fig. 1. Localização dos granitos estudados.

Legenda: 1- Pós-Paleozóico; 2-5 Granitóides hercínicos: 2- Granitos biotíticos pós-tectónicos; 3- Granitos biotíticos tardí-tectónicos; 4- Granitos de duas micas sintectónicos; 5- Granitos biotíticos sintectónicos; 6-Complexos ultrabásicos; 7- Rochas metassedimentares de idade do Cámbrico ao Carbonífero; 8-Falhas (Ferreira et al. 1987, modificado).

- Vila Pouca de Aguiar
- Águas Frias (Chaves)
- Lavadores
- Caria
- Vila da Ponte

■ Castro Daire

■ Gralheira, Serapicos, Minheu e Lagoa

Os granitos dos maciços de VPA, Águas Frias, Vila da Ponte e Caria são porfiróides biotíticos de granulometria variável, todos semelhantes em termos mineralógicos e geoquímicos. O granito de Lavadores é também biotítico porfiróide mas evidencia a presença de magnetite que está ausente em todos os outros granitos estudados. O complexo granítico de

Castro Daire é constituído por fácies biotíticas porfiróides assim como por granitos de duas micas. Os granitos da Gralheira, Serapicos, Minheu e Lagoa são de duas micas e apresentam mineralogia muito semelhante.

Susceptibilidade Magnética e Anisotropia Magnética

Com exceção do granito de Lavadores, todos os outros granitos estudados apresentam valores de susceptibilidade fracos (Fig. 2) evidenciando um comportamento paramagnético. Este comportamento é devido ao ferro contido em silicatos como a biotite. É notória a diferença entre valores de susceptibilidade magnética de granitos com duas micas e granitos biotíticos, apresentando estes últimos sempre valores médios superiores a 70×10^{-6} SI. No caso de Lavadores, valores de susceptibilidade superiores a 10^{-3} SI, evidenciam o seu comportamento ferromagnético e a presença de magnetite e permitiram incluir este granito no grupo dos “magnetite-type”, o que tem implicações petrogenéticas importantes (Martins et al. 2003), tal como foi definido por Ishihara (1977).

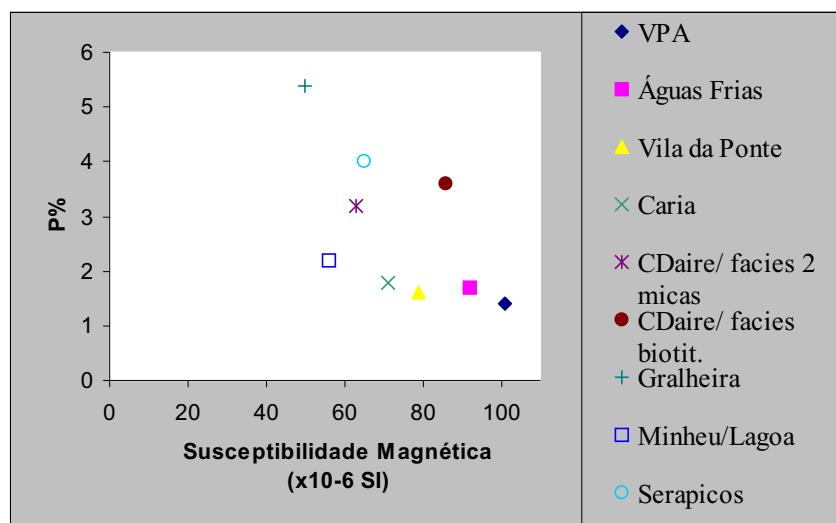


Fig.2 Susceptibilidade magnética versus anisotropia paramagnética.

Quanto à anisotropia paramagnética (P_{para}), para os granitos pós-tectónicos temos sempre valores de P_{para} inferiores a 2%. Nos granitos sin a tarditectónicos os valores de P_{para} são sempre mais elevados dependendo do grau de deformação dos granitos. No entanto na maioria dos granitos estudados os “fabric” magnéticos são essencialmente magmáticos, somente em casos em que P_{para} é superior a 4% se observa uma deformação já num estado sólido, o que permite a classificação destes granitos quanto ao período de instalação.

Dados magneto-estruturais

Os dados magneto-estruturais incluem três tipos de dados: a forma do elipsóide de ASM, as lineações e as foliações magnéticas. Quanto ao elipsóide de ASM, verifica-se que nos granitos paramagnéticos estudados a forma é geralmente achatada o que se relaciona com o facto dos minerais mais anisotrópicos (do ponto de vista magnético) presentes serem as micas. As micas apresentam uma anisotropia magnetocristalina que condiciona um plano de fácil magnetização que coincide com o plano de clivagem. A organização planar dos planos de clivagem, essencialmente da biotite, condiciona a forma achatada do elipsóide de ASM.

Nos granitos estudados as foliações magnéticas tendem a ser paralelas aos contornos dos maciços. Nos granitos de VPA e Águas Frias são pouco inclinadas, já nos restantes granitos apresentam pendentes mais elevados, relacionáveis com a forma mais laminar ou mais

enraizada dos maciços estudados. As lineações magnéticas têm azimutes geralmente paralelizáveis com os acidentes ao longo dos quais estes maciços se intruiram. Para os maciços de VPA (Sant’Ovaia et al. 2000) e Águas Frias (Sant’Ovaia et al. 2003a) há um paralelismo entre as lineações magnéticas e a falha Penacova-Régua-Verin. Já em Castro Daire há duas famílias principais: uma que materializa um fluxo magmático controlado pelo Sulco Dúrico-Beirão e outra que materializa o fluxo magmático segundo a intersecção de estruturas antigas do Sulco Dúrico-Beirão com estruturas mais recentes associadas à falha Penacova-Régua-Verin (Sant’Ovaia et al. 2003b). No granito de Lavadores encontram-se lineações médias paralelizáveis com o acidente Porto-Coimbra-Badajoz-Cordova, que marca o limite entre a ZCI e a ZOM. Nos granitos de 2 micas da Gralheira, Serapicos, Lagoa e Minheu, registam-se lineações magnéticas paralelizáveis com a estruturação D3.

Discussão

Nos estudos efectuados, procedeu-se, sempre que possível, a um estudo prévio dos maciços que englobasse conhecimentos geológicos, geoquímicos, petrográficos, geocronológicos e geofísicos (gravimetria), verificando-se que a utilização de todas estas ferramentas, juntamente com a análise da ASM é extremamente importante no conhecimento da petrogénesis e cinemática da instalação dos corpos graníticos.

Referências

- Ferreira, N., Iglesias, M., Noronha, F., Pereira, E., Ribeiro, A. & Ribeiro, M.L. (1987)** Granitóides da Zona Centro Ibérica e seu enquadramento geodinâmico. In: F. Bea, A. Carnicer, J. Gonzalo, M. Lopez Plaza & M. Rodriguez Alonso, Eds, Geología de los Granitoides y Rocas Asociadas del Macizo Hesperico, p. 37 -51. Editorial Rueda, Madrid. (Libro de Homenaje a L.C. García de Figuerola).
- Ishihara, S. (1977)** The Magnetite-series and the Ilmenite-series Granitic rocks. Mining Geology, 27: 292 -305.
- Martins, H.C.B., Sant’Ovaia, H. & Noronha, F. (2003)** Magnetic susceptibility and zircon tipology of a magnetite -type granite (Northern Portugal). In: A.M.R. Neiva, L.J.P.F. Neves, M.M.V.G. Silva e E.M.C. Gomes , (Eds), Livro de Resumos do IV Congresso Ibérico de Geoquímica e XIII Semana de Geoquímica. Universidade de Coimbra, Portugal, pp.62 -64.
- Sant’Ovaia, H., Bouchez, J.L., Noronha, F., Leblanc, D., Vigneresse, J.L . (2000)** Composite-laccolith emplacement of the post-tectonic Vila Pouca de Aguiar granite pluton (northern Portugal): a combined AMS and gravity study. Trans. R. Soc. Eding. Earth Sci. 91,123 -137.
- Sant’Ovaia, H., Martins, H.C. & Noronha, F. (2003a)** Estudo petro-estrutural do maciço pós-tectónico de Águas Frias (Chaves). Resultados preliminares. Ciências da Terra, volume especial V, 57. VI Congresso Nacional de Geologia. Faculdade de Ciências e Tecnologia de Lisboa.
- Sant’Ovaia, H., Olivier, P. & Noronha, F. (2003b)** “Fabric” magnético do complexo granítico hercínico de Castro Daire. Ciências da Terra, volume especial V, 58. VI Congresso Nacional de Geologia. Faculdade de Ciências e Tecnologia de Lisboa.

Evidencia de una remagnetización cretácica en la Cuenca de Cameros. Una metodología para la definición de la geometría de la Cuenca.

Evidence of a Cretaceous remagnetization in the Cameros Basin. Methodology for basin analysis.

Villalaín, J.J.¹, Fernández-González, G. ¹, Casas, A. M. ², Gil-Imaz, A. ²

¹ Departamento de Física, Universidad de Burgos, Escuela Politécnica Superior, Avda. Cantabria S/N, 09006 Burgos, Spain.; email: villa@ubu.es

² Departamento de Geología, Universidad de Zaragoza. Facultad de Ciencias, Pza. S. Francisco S/N, E-50009 Zaragoza, Spain

La cuenca mesozoica de Cameros es una cuenca fuertemente subsidente situada en el extremo noroccidental de la Cordillera Ibérica. Su evolución se caracteriza por una etapa de rifting Jurásico superior - Cretáceo inferior, con 8000 m de espesor acumulado de sedimentos, y una etapa de inversión Eoceno inferior - Mioceno inferior, que permite la exposición en superficie de los depósitos sin-rift.

En este trabajo se presentan los resultados obtenidos en 24 sitios procedentes del Macizo de Cameros (Oeste del Sistema Ibérico). Las secciones muestreadas son lechos rojos (areniscas, lutitas y conglomerados) de secuencias fluviales con edades comprendidas entre el Berriasiense y el Aptiense-Albiense. La NRM está dominada casi exclusivamente por una sola componente paleomagnética que muestra sistemáticamente polaridad normal y cuyo mineral responsable es hematites.

Dos tests de conglomerado y cinco tests de pliegue indicaron que esta componente es una remagnetización sintectónica. Además, se ha podido concluir que su edad está comprendida entre el Albiense y el Paleoceno, siendo más probablemente Albiense. Esta datación se apoya en diversos argumentos: 1) La rocas más jóvenes investigadas son de edad Albiense y están ya remagnetizadas. 2) La adquisición de la remanencia es sintectónica, pero anterior a los pliegues inequívocamente relacionados con la inversión de la cuenca (evento compresivo Eoceno-Oligoceno). 3) La ChRM presenta sólo polaridad normal, por lo que probablemente ha sido adquirida durante el Superchron Cretáceo de Polaridad Normal. 4) El proceso de adquisición puede asociarse al evento térmico de bajo grado que sufrió el interior de la Cuenca de Cameros (Mata 2001) y que ha podido ser datado entre 95 y 100 millones de años (Goldberg et al., 1988).

Los tests de pliegue incrementales presentan soluciones dispersas y alejadas de la dirección esperada para el cretácico inferior. Este resultado se debe a que la remagnetización fue adquirida por rocas previamente basculadas por la deformación extensional; esta circunstancia impide que se cumplan las hipótesis del test del pliegue incremental (rotación simultánea de ambos flancos del pliegue). Se ha propuesto un procedimiento alternativo para obtener una solución al test del pliegue considerando una rotación asimétrica de los flancos de los pliegues. Las direcciones medias obtenidas a partir de estas *soluciones asimétricas* son consistentes con la dirección esperada para el Albiense-Cenomaniano y presentan un nivel de confianza superior al 95% en todos los test del pliegue realizados.

Puesto que la remagnetización fue adquirida antes de la deformación contractiva pero antes de la fase extensional durante la formación de la cuenca (Berriasiense-Albiense), esta *reconstrucción asimétrica* permite determinar los basculamientos de las capas en el momento de

la adquisición de la magnetización. Estos datos han permitido elaborar un modelo de la geometría original del borde norte de la cuenca, posteriormente modificado durante la inversión terciaria de la misma, y por tanto, discriminar entre los modelos de evolución de la cuenca propuestos hasta el momento (Guimerà et al., 1995; Casas-Sainz y Gil-Imaz, 1998).

La integración de estudios paleomagnéticos, estructurales, estratigráficos y sísmicos aplicados al borde norte de la cuenca invertida de Cameros indica una geometría extensional compleja definida por: 1) una geometría de sinclinal sinsedimentario a gran escala, con capas buzando al sur en el margen norte de la cuenca, formando una cuña sedimentaria abierta hacia el sur, con buzamientos progresivamente menores de abajo hacia arriba 2) anticlinales de *roll over* en el contacto entre la secuencia pre-rift y las fallas normales que limitan la cuenca por el norte.

Referências

Casas-Sainz, A.M. & Gil-Imaz, A. (1998) Extensional subsidence, contractional folding and thrust inversion of the Eastern Cameros Massif, northern Spain. Geologische Rundschau, 86, 802 -818.

Guimerà, J., Alonso, A. & Mas, J.R. (1995) Inversion of an extensional-ramp basin by a newly formed thrust: the Cameros basin (N Spain). In: Basin Inversion (Ed. by J.G. Buchanan and P.G. Buchanan), Geol. Soc. Special Publication, 88, 433-453.

Goldberg, J.M., Guiraud, M., Maluski, H. &, Séguert, M. (1988) Caractères pétrologiques et âge du métamorphisme en contexte distensif du bassin sur décrochement de Soria (Crétacé inférieur, Nord Espagne). C. R. Acad. Sciences Paris 307, 521 -527.

Mata, M.P., Casas, A., Canals, A., Poco vi, A. and Gil, A., and Pocovi, P. (2001) Thermal history during Mesozoic extension and Tertiary uplift in the Cameros Basin, northern Spain. Basin Research, 13, 1 -22