

GEOQUÍMICA IBÉRICA

(COMPENDIO DE LOS TRABAJOS PRESENTADOS
EN EL XIII CONGRESO NACIONAL DE
GEOQUÍMICA Y XIII CONGRESO IBÉRICO)



PUERTOLLANO (CIUDAD-REAL)
ESPAÑA
25-27 ABRIL 2022



COLEGIO OFICIAL DE QUÍMICOS Y ASOCIACIÓN QUÍMICOS
E INGENIEROS QUÍMICOS DE MADRID
GRUPO GEOQUIMICA SOCIEDAD GEOLOGIA PORTUGAL
CONSEJO SUPERIOR DE COLEGIOS DE INGENIEROS DE MINAS
COLEGIO OFICIAL DE GEOLOGOS DE ESPAÑA

ISBN: 978 – 84-09 -38946-9

Maquetación: Oliver Fernández – Ilustre Colegio Oficial de Químicos y Asociación de Químicos e Ingenieros Químicos de Madrid

Sumario

- Caracterización ambiental del entorno de los bonales de Puebla de don Rodrigo (Ciudad Real): análisis químico semicuantitativo.** *Environmental characterization of the surroundings of the bonales of Puebla de don Rodrigo (Ciudad Real): semi-quantitative chemical analysis.*
I.S. DE SOTO GARCÍA, M. CORRAL RIBERA, C. FIDALGO HIJANO, J.A. GONZÁLEZ MARTÍN y R. GARCÍA GIMÉNEZ.....8-21
- Control de la distribución de REE en soluciones termales alcalinas y reductoras del Pirineo Central (España).** *Control on the Rare Earth Elements distribution in alkaline and reducing thermal solutions of the Central Pyrenees (Spain).*
B. BUIL, P. GÓMEZ, A. GARRALÓN, E. TORRES y M.J. TURRERO.....22-32
- Química del suelo y expansión de *Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle.** *Soil chemistry and expansion of Ailanthus altissima (Mill.) Swingle.*
M. CORRAL RIBERA, I.S. DE SOTO GARCÍA, C. FIDALGO HIJANO y R. GARCÍA GIMÉNEZ.....33-43
- El estado del arte de la fabricación del salitre en los inicios del s. XIX en España.** *The state of the art of the manufacture of saltpeter at the beginning of the XIX century in Spain.*
S. ORDÓÑEZ y M.A. GARCÍA DEL CURA.....44-53
- Residuos de balasto como adiciones al cemento.** *Track ballast wastes on the railway as additions to cement.*
S. YAGÜE GARCÍA, V.F. ROSALES PRIETO y C. GONZÁLEZ GAYA.....54-70
- Biocorrosión de acero al carbono bajo condiciones controladas.** *Biocorrosion of carbon steel under controlled conditions.*
F. CÓRDOBA, J.A. GRANDE, A.T. LUÍS, M. CARABALLO y J.C. FORTES.....71-80
- Eliminación de hierro de losas de granito por lixiviación química con ácido oxálico.** *Iron removal from granite slabs by chemical leaching with oxalic acid.*
M.J. GARCÍA-MARTÍNEZ, Y. SÁNCHEZ-PALENCIA, D. BOLONIO, M.F. ORTEGA, J.E. ORTIZ, J.F. LLAMAS y L. CANOIRA.....81-90



Caracterización de ceniza procedente de la erupción de la Isla de la Palma como constituyente del cemento Portland.

Characterization of ash from the La Palma island eruption as a constituent Portland cement.

R. GARCÍA GIMÉNEZ, M. FRÍAS, R. VIGIL DE LA VILLA,
M. ÁLAMO ÁLVAREZ y M.A. SANJUÁN.....91-80

Caracterización geoquímica y movilidad de elementos traza para la restauración de suelos afectados por actividades mineras en la mina de Lousal (Portugal). *Geochemical characterization and trace-element mobility assessment for the reclamation of soils affected by mining activities at the Lousal pyrite mine (Portugal).*

R. SÁNCHEZ-DONOSO, M.L. GARCÍA-LORENZO, J.M. ESBRI, P. HIGUERAS,
E. CRESPO y J. LILLO.....99-115

Estudio de la corrosión de acero en AMD mediante análisis gráfico-estadístico. *Study of steel corrosion in AMD through graphical-statistical analysis.*

J.C. FORTES, J.A. GRANDE, A.T. LUÍS, F. CÓRDOBA, M. CARABALLO,
J. CASTILLA, M. SANTISTEBAN, J.M. DÁVILA, A. SARMIENTO y
C.A. RODRÍGUEZ.....116-125

Contribuições da litogeoquímica na discriminação de processos sedimentares e metassomáticos dentro de halos exomórficos de pegmatitos evoluídos: conclusões do projecto LIGHTS. *Contributions of lithochemistry to discriminate sedimentary and metasomatic processes within evolved pegmatite exomorphic haloes: insights from the LIGHTS project.*

J. CARDOSO-FERNANDES, M.A. RIBEIRO, A. LIMA, E. RODA-ROBLES,
J. ERRANDONEA-MARTIN, I. GARATE-OLAVE y A.C. TEODORO.....126-136

Riesgo de exposición a compuestos orgánicos provenientes de explotaciones de gas no convencional. *Risk of exposure to organic compounds from unconventional gas developments.*

L. MA, A. HURTADO, S. EGUILIOR y J.F. LLAMAS BORRAJO.....137-144

Combinación de métodos de laboratorio y modelización para la evaluación de incertidumbres en la técnica de déficit de radón. *Combination of laboratory and modelling methods for the assessment of uncertainties in the radon-deficit technique.*



- F. BARRIO-PARRA, A. HIDALGO, H. SERRANO, M. IZQUIERDO-DÍAZ,
L. ARÉVALO-LOMAS, B. BIOSCA, J. DÍAZ-CURIEL, R. MEDINA-FERRO,
L.F. MAZADIEGO, L.J. FERNÁNDEZ-GUTIÉRREZ DEL ÁLAMO,
A. ORDOÑEZ, R. ÁLVAREZ, J.A. GRANDE, J. LOREDO
y E. de MIGUEL.....155-163
- Radioatividade de resíduos mineiros da exploração de carvão na Bacia Carbonífera do Douro (Portugal) - efeitos da autocombustão.** *Radioactivity of coal mining wastes in the Douro Coalfield (Portugal) - effects of self-combustion.*
J.E. FILHO, J. RIBEIRO y A. PEREIRA.....164-174
- Geoquímica de Granitos Variscos del Área de Penedos-Borralha (Norte de Portugal).** *Geochemical Signatures of Variscan Granites from the Penedos-Borralha Area (Northern Portugal).*
A. GONÇALVES, L. LIMA, H. SANT'OVAIA y F. NORONHA.....175-185
- Petrologia e geoquímica de diques hipabissais da área de Vila Nova de Foz Côa no norte de Portugal (Zona Centro Ibérica).** *Petrology and geochemistry of hypabyssal dykes from the Vila Nova de Foz Côa area of northern Portugal (Central Iberian Zone).*
A.J.T. OLIVEIRA, H.C.B. MARTINS y H. SANT'OVAIA.....186-198
- Caracterização da fração inorgânica de carbonatos da Bacia Lusitânica (Portugal).** *Characterization of the inorganic fraction of carbonates from the Lusitanian Basin (Portugal).*
P.A. GONÇALVES, R. SANTOS y D. FLORES.....199-207
- Método de colheita em águas superficiais para análise do gás radão: estudo preliminar em perfis transversais no rio Mondego (Portugal).** *Surface water sampling method for radon gas analysis: preliminary study on transverse profiles in the Mondego River (Portugal).*
G. LUÍS, J. CARVALHO y A. PEREIRA.....208-213
- Geochemistry of the Rare Earth Elements in Granites from Northern and Central Portugal and Castilla-León in Spain.** *Geoquímica dos elementos de terras raras nos granitos das regiões Norte e Centro de Portugal e de Castela e Leão em Espanha.*
A. MOTA, A. GONÇALVES, O. FADÓN y F. NORONHA.....214-222



- Magmatic sources and emplacement mechanisms of the Santa Eulália Plutonic Complex facies: integrating geochronological and geochemical data.** *Fontes magmáticas e mecanismo de instalação das fácies do Complexo Plutónico de Santa Eulália: integração de dados geocronológicos e geoquímicos.*
C. CRUZ, J. ROSEIRO, H.C.B. MARTINS, P. NOGUEIRA, F. NORONHA y H. SANT'OVAIA.....223-231
- Caracterización geoquímica de formaciones geológicas lacustres en España Central.** *Geochemical characterization of geological lacustrine formations in Central Spain.*
J.E., ORTIZ, T. TORRES, Y. SÁNCHEZ-PALENCIA, I. QUÍLEZ, J. LLAMAS, M.J. GARCÍA y I. LÓPEZ CILLA.....232-240
- Suscetibilidade magnética de xistos negros associados a mineralizações de Cu em Portugal: correlação com a mineralogia e composição química.** *Magnetic susceptibility of black shales associated with Cu mineralization in Portugal: correlation with mineralogy and geochemical composition.*
V. LARANJEIRA, J. RIBEIRO, N. MOREIRA, P. NOGUEIRA, H. SANT'OVAIA y D. FLORES.....241-250
- Assinatura geoquímica de fluidos ígneos nos carvões da Bacia Carbonífera do Douro: setores de São Pedro da Cova e Pejão.** *Geochemical signature of igneous fluids in the coals of Douro Carboniferous Basin: São Pedro da Cova and Pejão coalfields.*
M. COSTA, H. MOURA, A. PINTO DE JESUS y D. FLORES.....251-264
- Potentially toxic elements in mining waste affected by coal-fires in a Douro Coalfield waste pile.** *Elementos potencialmente tóxicos em resíduos mineiros afetados por autocombustão de carvão numa escombreira da Bacia Carbonífera do Douro.*
P. SANTOS, M. MONTEIRO, J.A. RIBEIRO, C. PEREIRA, J. ESPINHA MARQUES, J. RIBEIRO, M. AZENHA y D. FLORES.....265-274
- Análisis de la distribución del contenido de metal(oid)es en presas mineras mediante el uso de técnicas geoquímicas y geofísicas (ERT, IP): mina Federico (La Carolina, sur de España).** *Analysis of the spatial distribution of metal(loid) contents in tailings dams with geochemical and geophysical techniques (ERT, IP): Federico mine (La Carolina, southern Spain).*
R. MENDOZA, J. MARTÍNEZ, J. REY, M.C. HIDALGO y M.J. CAMPOS.....275-283



Mineralogía y microanálisis frente a extracción secuencial química en suelos afectados por antigua minería de Sb.

Mineralogy and microanalysis versus chemical sequential extraction in soils affected by old Sb mining.

J. ÁLVAREZ-QUINTANA, A. ORDOÑEZ, E. GARCÍA-ORDIALES,
F. BARRIO-PARRA, P. CIENFUEGOS, M. IZQUIERDO y R. ÁLVAREZ.....284-293

Evaluación de la contaminación por elementos potencialmente tóxicos cerca de áreas mineras auríferas en Santa Rosa (El Oro), Ecuador. *Assessment of potentially toxic elements contamination near gold mining areas in Santa Rosa (El Oro), Ecuador.*

A. VALDIVIEZO, D. CAPA SARANGO, S. JIMÉNEZ-OYOLA,
J. CEDEÑO LAJE, E. CHAVEZ, P. ROMERO CRESPO y P. VALVERDE ARMAS.....294-302

Impacto ambiental das atividades mineiras da Faixa Pirítica Ibérica na hidrobiologia (águas ediatomáceas) de sistemas acuáticos. *Environmental impact of mining activities from the Iberian Pyritic Belt in the hidrobiology (waters and diatoms) of aquatic systems.*

A.T. LUÍS, J.A. GRANDE, F. CÓRDOBA, M. CARABALLO,
J.C. FORTES, M. SANTISTEBAN, J.M. DÁVILA, A. SARMIENTO
y E. FERREIRA DA SILVA.....303-312

Geoquímica de los feldespatos: las arcillas o materia prima crítica y de interés industrial, activadas térmicamente, para aminorar bastante los derechos de emisión de CO₂ de las cementeras y su contribución al calentamiento global.

Geochemistry of feldspars: clays or critical raw material of industrial interest, thermally activated, to significantly reduce the CO₂ emission rights of cement plants and their contribution to global warming.

C. PEDRAJAS, C. ARÁMBURO, L.F. DE PINHO y R. TALERO.....313-323

Biomarcadores y contaminación por metales en el registro del Holoceno de la Bahía de Cartagena (SE de España). *Biomarkers and metal pollution in the Holocene record of Cartagena Bay (SE Spain).*

J.E. ORTIZ, T. TORRES, Y. SÁNCHEZ-PALENCIA, M. ROS, S. RAMALLO,
I. LÓPEZ-CILLA, L.A. GALÁN, I. MANTECA, T. RODRÍGUEZ-ESTRELLA,
A. BLÁZQUEZ, A. GÓMEZ-BORREGO, B. RUIZ-ZAPATA, M.J. GIL, D. MARTÍN
Y I. ARRIBAS.....314-332



Suscetibilidade magnética de xistos negros associados a mineralizações de Cu em Portugal: correlação com a mineralogia e composição química.

Magnetic susceptibility of black shales associated with Cu mineralization in Portugal: correlation with mineralogy and geochemical composition.

Laranjeira, V.¹, Ribeiro, J.², Moreira, N.³, Nogueira, P.⁴, Sant'Ovaia, H.⁵, Flores, D.⁶

¹ Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território, Universidade do Porto; Instituto de Ciências da Terra - Pólo Porto, vanessa.laranjeira@fc.up.pt

² Departamento de Ciências da Terra, Universidade de Coimbra; Instituto de Ciências da Terra - Pólo Porto, joana.ribeiro@uc.pt

³ Instituto de Investigação e Formação Avançada, Universidade de Évora; Instituto de Ciências da Terra - Pólo Évora, nafm@uevora.pt

⁴ Departamento de Geociências, Universidade de Évora; Instituto de Ciências da Terra - Pólo Évora, pmn@uevora.pt

⁵ Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território, Universidade do Porto; Instituto de Ciências da Terra - Pólo Porto, hsantov@fc.up.pt

⁶ Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território, Universidade do Porto; Instituto de Ciências da Terra - Pólo Porto, dflores@fc.up.pt

Resumo: Na Zona Ossa-Morena (ZOM), nomeadamente na Faixa Metalogénica Sousel-Barrancos, estão identificados depósitos de Cu associados a filões mineralizados cuja génese resultou da circulação de fluidos hidrotermais. Muitos destes depósitos ocorrem espacialmente associados a xistos negros (XN) datados do Silúrico. Este trabalho tem como objetivo determinar a suscetibilidade magnética de amostras de XN, de afloramento e sondagens, ocorrentes na ZOM, e correlacionar as propriedades magnéticas com a sua composição química e mineralógica. A suscetibilidade magnética das 39 amostras de XN estudadas varia entre $0,66 \times 10^{-8}$ e $20,26 \times 10^{-8} \text{ m}^3\text{kg}^{-1}$. Aos valores mais elevados ($>7 \times 10^{-8} \text{ m}^3\text{kg}^{-1}$) correspondem as amostras que apresentam a concentração de Fe mais elevado, localizadas na zona de oxidação. A microscopia eletrónica de varrimento com microanálise por raios-X permitiu confirmar a maior abundância de óxidos de Fe nas amostras em que a suscetibilidade magnética apresenta os valores mais elevados.

Palavras-chave: concentração de Fe, depósitos de Cu, mineralogia magnética, zona Ossa-Morena.

Abstract: In the Ossa-Morena Zone (OMZ), namely in the Sousel-Barrancos Metallogenic Belt, Cu deposits are identified associated with mineralized veins, which genesis resulted from the circulation of hydrothermal fluids. Several of these deposits occur spatially associated with black shales (BS) dating from the Silurian. This work aims to determine the magnetic susceptibility of BS samples, from outcrops and drill cores, occurring in OMZ, and to correlate the magnetic properties with their chemical and mineralogical composition. The magnetic susceptibility of the 39 studied BS varies between $0,66 \times 10^{-8}$ and $20,26 \times 10^{-8} \text{ m}^3\text{kg}^{-1}$. The highest values ($>7 \times 10^{-8} \text{ m}^3\text{kg}^{-1}$) correspond to samples that present the highest values of Fe concentration, located in the oxidation zone. The high-resolution scanning electron microscopy with X-ray microanalysis allowed confirming the greater abundance of Fe oxides in the samples in which the magnetic susceptibility presents the highest values.

Keywords: Cu deposits, Fe concentration, magnetic mineralogy, Ossa-Morena zone.



1. Introdução

O estudo do comportamento magnético das rochas e dos seus minerais constituintes pode ser realizado através da determinação de parâmetros magnéticos, como a suscetibilidade magnética (K). A suscetibilidade magnética é uma propriedade física inerente às rochas e pode definir-se como a capacidade que uma determinada rocha ou mineral tem em se magnetizar na presença de um campo magnético (Hunt *et al.*, 1995).

Quando uma rocha ou mineral são expostos a um campo magnético (H) adquire uma magnetização induzida (M). A razão entre o campo magnético aplicado e a respetiva magnetização induzida é representada pela suscetibilidade magnética ($K = M/H$), parâmetro indicador da tendência de um determinado material magnetizar (Sant'Ovaia *et al.*, 2013).

Este parâmetro tem aplicações diversas, nomeadamente em estudos ambientais, estudos de anisotropia de suscetibilidade magnética em rochas magmáticas, bem como em reconstruções paleoclimáticas e paleodeposicionais (Potter, 2007; da Silva *et al.*, 2013).

Os valores de suscetibilidade magnética são controlados pela presença e comportamento magnético dos minerais numa rocha, podendo assim correlacionar-se com a presença de determinados elementos químicos, nomeadamente o Fe. Assim, os minerais com Fe, como os óxidos de Fe, óxidos de Fe-Ti e sulfuretos de Fe que podem estar presentes nas rochas, influenciam os valores de suscetibilidade magnética.

Face ao exposto, os objetivos deste trabalho passam por determinar a suscetibilidade magnética de amostras de xistos negros (XN) do Silúrico correlacionando as

propriedades magnéticas destas rochas com sua composição química e mineralógica, inferindo a natureza destas rochas e a sua possível relação com as mineralizações presentes na região.

2. Enquadramento geológico

Tendo em conta as características dos depósitos e ocorrências minerais presentes, a ZOM (Figura 1A) foi subdividida em diferentes faixas metalogénicas (Figura 1B; Oliveira, 1986; Mateus *et al.*, 2013); de Norte para Sul: (1) Arronches - Campo Maior; (2) Alter do Chão - Elvas; (3) Sousel - Barrancos; (4) Arraiolos - Sto. Aleixo; (5) Montemor-o-Novo - Ficalho e (6) S. Cristóvão - Beja - Serpa.

Nos domínios portugueses da Faixa Metalogénica Sousel-Barrancos definem-se dois importantes núcleos de antigas minas de Cu, exploradas durante os séculos XIX e XX (Figura 1B): (1) do Alandroal, onde se inserem as minas do Bugalho, Mociços, Miguel Vacas e, Zambujeira, e (2) de Barrancos, onde se inserem, por exemplo, as minas de Minancos, Aparis, Botefa e Defesa das Mercês (Matos e Filipe, 2013; Mateus *et al.*, 2013). Para além das antigas minas, outras ocorrências de Cu-Fe, como por exemplo, a de Ferrarias (Alandroal), é também reportada (Mateus *et al.*, 2013).

Estas mineralizações de Cu estão associadas a estruturas filonianas, com vários estágios evolutivos desde a deposição primária de sulfuretos (localizado a profundidades superiores a 80 m), aos processos tardios de enriquecimento supergénico (localizado a níveis mais superficiais, inferiores a 80 m de profundidade) (Fernandes, 2012; Mateus *et al.*, 2013; Maia *et al.*, 2019, 2020). As estruturas filonianas comportam preenchimentos hidrotermais polifásicos (Mateus *et al.*, 2013 e 2020), apresentando quartzo, carbonatos e sulfuretos incluindo calcopirite, pirite, arsenopirite, esfalerite,



pirrotite e galena. À superfície é possível identificar domínios de oxidação e de enriquecimento supergénico, evidenciado pela presença de óxidos e hidróxidos de Fe e Mn e pela abundância de carbonatos de

Cu, como a malaquite (Mateus *et al.*, 2003 y 2013).

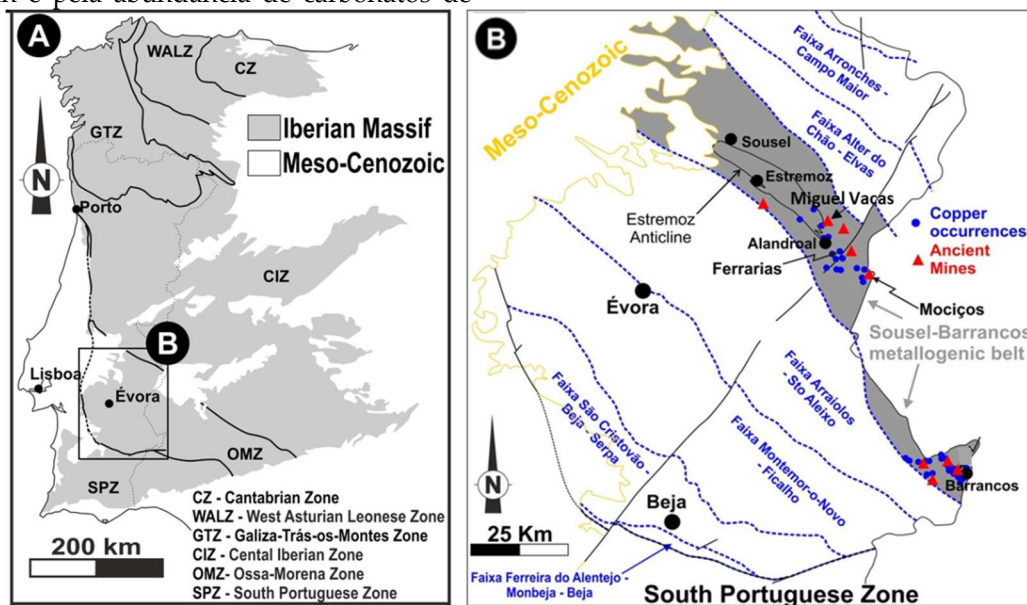


Figura 1. A) Enquadramento da área estudada nas zonas paleogeográficas do Maciço Ibérico (Ribeiro *et al.*, 2007); B) Zaixas Metalogénicas da ZOM com destaque (a cinzento) para a Faixa de Sousel-Barrancos de onde são provenientes as amostras estudadas (adaptado de Oliveira, 1986; Mateus *et al.*, 2013; Matos e Filipe, 2013).

Estas estruturas filonianas têm sido interpretadas como estando relacionadas com as fases tardias da orogenia Varisca, desenvolvidas em condições frágeis (p.e. Mateus *et al.*, 2013; Moreira *et al.*, 2017; Maia *et al.*, 2020), cortando sucessões de idade paleozóica. Um olhar mais atento, revela uma relação espacial entre várias destas ocorrências e a presença de xistos negros (XN), intercalados com liditos e quartzitos negros, agrupados na Formação dos Xistos com Nódulos (Fig. 1B), de idade Silúrica (Oliveira *et al.*, 1991; Piçarra, 2000; Araújo *et al.*, 2013). Os litótipos desta formação são caracterizados pela presença de matéria orgânica disseminada resultante da deposição em ambientes essencialmente anóxicos/euxínicos (Piçarra, 2000; Carvalho *et al.*, 2019; Roseiro *et al.*, 2020).

Embora vários trabalhos tenham sido realizados nas mineralizações filonianas de Cu presentes na Faixa Metalogénica Sousel-Barrancos para caracterização e compreensão dos processos mineralizantes (Oliveira, 1986; Mateus *et al.*, 2003 y 2013; Fernandes, 2012; Moreira *et al.*, 2017; Maia *et al.*, 2019 y 2020), só recentemente alguns trabalhos se têm focado no estudo dos XN da Formação de Xistos com Nódulos de forma a compreender a relação entre as mineralizações de Cu e a presença de matéria orgânica dispersa nestes litótipos.

3. Amostragem e metodologias

Para este trabalho foram selecionadas 39 amostras de XN pertencentes à Faixa Metalogénica de Sousel-Barrancos: 8 amostras de afloramento colhidas na região de Alandroal (6 das quais proximais às ocorrências de Mociços e Ferrarias e 2



afastadas de zonas com mineralizações), 2 amostras de afloramento colhidas na região de Barrancos, localizadas afastadas de mineralizações, e 29 amostras de 5 sondagens realizadas na antiga mina de Miguel Vacas, também no setor do Alandroal.

Uma porção representativa de cada amostra foi seca e moída para obtenção de frações <1 mm para determinação da suscetibilidade magnética e análise por microscopia eletrónica de varrimento com microanálise por raios-X (MEV-EDX), e <212 µm para determinação da composição química.

A medição da suscetibilidade magnética foi realizada com a balança AGICO KAPPABRIGE KLY-4S e suportada pelo software SUMEAN na Faculdade de Ciências da Universidade do Porto e Instituto de Ciências da Terra - Pólo do

Porto. As medições em cada amostra foram realizadas em triplicado, a partir das quais se calculou o valor médio.

Para a análise de MEV-EDX foram preparadas superfícies polidas de rocha de acordo com a norma ISO 7404-2 (2009). As análises através de MEV-EDX foram efetuadas no Centro de Materiais da Universidade do Porto, e teve como objetivo de auxiliar a identificação e caracterização da mineralogia presente nas amostras estudadas. Para a determinação da composição química, as amostras foram analisadas por espectrometria de massa acoplada a plasma indutivo após digestão com solução ácida de H₂O-HF-HClO₄-HNO₃, no *Bureau Veritas Mineral Laboratories* (Canada). A análise de materiais de referência, duplicados e brancos foi realizada para garantia e controlo de qualidade.

4. Resultados e discussão

Tabela 1. Valores mínimos, máximos e médios para a suscetibilidade magnética (SM) e concentração em Fe nas amostras estudadas (N representa o número de amostras).

Região		N	SM (x10 ⁻⁸ m ³ kg ⁻¹)			Fe (%)		
			Mínimo	Máximo	Médio	Mínimo	Máximo	Médio
Alandroal	Próximo da mineralização	6	2,11	15,9	8,27	0,52	5,54	3,47
	Afastado da mineralização	2	12,0	12,9	-	3,22	5,32	-
Barrancos	Afastado da mineralização	2	1,60	1,78	-	0,23	0,63	-
Miguel Vacas	MV S1	5	1,64	15,7	5,62	0,84	5,74	2,65
	MV S2	6	1,28	20,3	8,19	0,88	7,63	3,70
	MV S3	5	1,52	8,34	4,21	1,06	5,11	2,76
	MV S4	6	0,85	10,2	4,93	0,42	5,02	3,14
	MV S5	7	0,66	3,92	2,15	0,69	3,74	1,66

Na tabela 1 apresentam-se os valores mínimos, máximos e médios da

suscetibilidade magnética por unidade de massa (x10⁻⁸ m³kg⁻¹) e da concentração de Fe



(%) determinados nas amostras de XN em estudo.

Tabela 2. Valores médios de suscetibilidade magnética por unidade de massa (SM) para diferentes rochas, óxidos de Fe e sulfuretos de Fe (adaptado de Hunt et al., 1995).

SM ($\times 10^{-8} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$)	Rochas			Óxidos de Fe			Sulfuretos de Fe		
	Argilito	Ardósia	Arenito	Hematite	Goethite	Limonite	Magnetite	Pirite	Pirrotite
	3 - 886	0 - 1400	0 - 931	10 - 760	26 - 280	66 - 74	20000 - 110 000	1 - 100	10 - 30 000

Verifica-se que os valores da suscetibilidade magnética nas amostras de afloramento das regiões do Alandroal e de Barrancos variam entre $1,60 \times 10^{-8}$ e $15,9 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$, enquanto nas amostras de sondagem (Miguel Vacas) oscilam entre $0,66 \times 10^{-8}$ e $20,3 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$.

As amostras de afloramento da região do Alandroal, colhidas próximo das mineralizações de Mociços e Ferrarias, apresentam valores relativamente altos ($> \approx 7 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$), com exceção para uma amostra. As amostras provenientes de locais afastados de mineralizações apresentam valores consistentemente mais elevados (entre $12,0 \times 10^{-8}$ e $12,9 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$). Por outro lado, as amostras de afloramento de Barrancos apresentam valores significativamente mais baixos ($< 1,8 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$). Nas amostras de sondagem, colhidas a diferentes profundidades, a suscetibilidade magnética apresenta uma variabilidade significativa. No entanto, do total das 29 amostras de sondagem, apenas 6 apresentam suscetibilidade magnética $> 7 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$ (cinco das quais a profundidades inferiores a 80 m), sendo que as restantes apresentam valores inferiores. Os valores obtidos são todos eles compatíveis com o intervalo de valores de suscetibilidade magnética obtidos em arenitos e argilitos (Tabela 2; Hunt et al., 1995), aproximando-se geralmente dos valores inferiores dos intervalos em causa.

Relativamente à concentração de Fe para as amostras de afloramento do Alandroal próximo da mineralização, os valores variam entre 0,52% e 5,54% com valor médio de 3,47%, enquanto os valores das amostras localizadas afastadas da mineralização oscilam entre 3,22% e 5,32% com valor médio de 4,27%. Em Barrancos os valores são significativamente mais baixos (0,23 - 0,63%). Nas amostras de sondagem (Miguel Vacas) os valores variam entre 0,42% e 7,63% e o valor médio da concentração de Fe nas diferentes sondagens varia entre 1,66 % e 3,70%.

Os valores de suscetibilidade magnética e a concentração de Fe nas amostras estudadas apresentam uma correlação positiva forte, considerando a correlações do tipo linear $R = + 0,79$ e exponencial $R = + 0,80$ entre as duas variáveis (Figura 2 e Tabela 3), ou seja, a suscetibilidade magnética é tendencialmente mais elevada nas amostras com maiores concentrações de Fe.

Ao observar os dois tipos de curvas de correlação, linear e exponencial, em relação ao conjunto de dados estudados (Figura 2), a que melhor parece adequar-se é a correlação exponencial, embora a diferença seja pouco significativa ($R^2 = 0,65$ na correlação exponencial versus $R^2 = 0,62$ na correlação linear; Figura 2 e Tabela 3). O valor de R^2 para a correlação exponencial indica que 65% da variabilidade da variável dependente (suscetibilidade magnética) pode ser explicadas pela concentração de Fe nas amostras. Tal facto é expectável, muito embora a correlação direta não seja



obrigatória, uma vez que o valor da suscetibilidade magnética medida depende da fase mineralógica portadora de Fe, bem

como de toda a restante mineralogia das amostras.

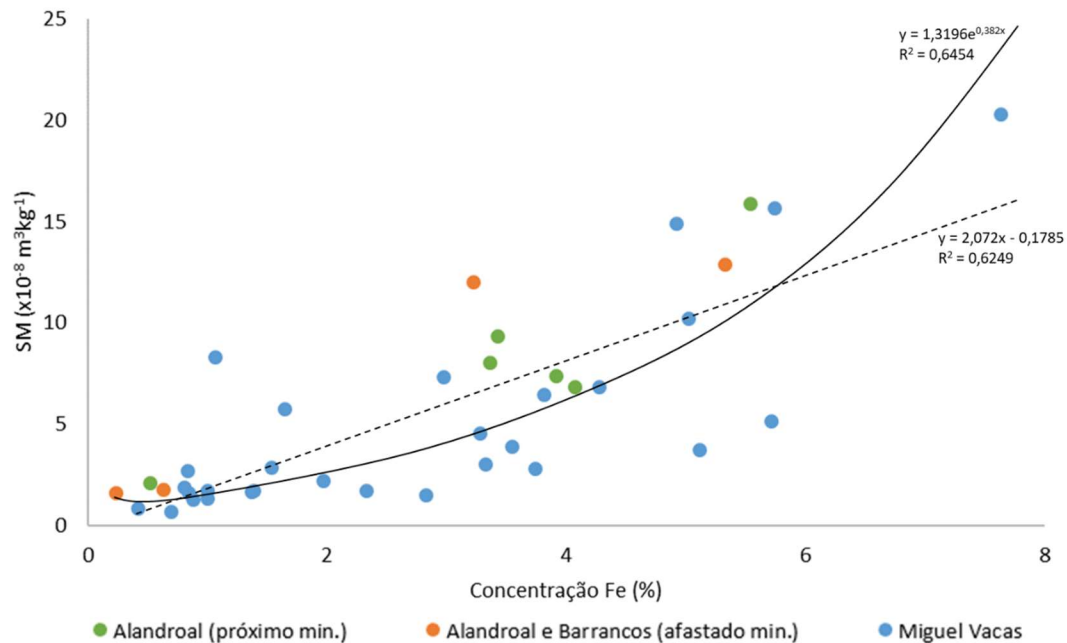


Figura 2. Variação dos valores de suscetibilidade magnética (SM) com a concentração de Fe nas amostras dos diferentes setores com representação das correlações linear e exponencial.

Contudo, o tipo de correlação mais adequado se as amostras forem separadas em diferentes populações amostrais é menos claro. Com efeito, para as amostras superficiais coletadas junto das ocorrências de Mociços e Ferrarias e as amostras de sondagem de Miguel Vacas localizadas na zona de oxidação (profundidade < 80 m; Fernandes, 2012) apresentam um valor de R^2 superior considerando uma correlação exponencial (Tabela 3 e Figura 3). Por outro

lado, as amostras de afloramento coletadas em áreas afastadas de zonas mineralizadas (Barrancos e Alandroal) e as amostras de sondagem de Miguel Vacas localizadas na zona de sulfuretos primários (profundidade > 80 m; Fernandes, 2012) apresentam valores semelhantes para ambas as tipologias de correlação, embora com maior coeficiente de determinação aplicando uma correlação linear (Tabela 3 e Figura 3).

Tabela 3. Coeficiente de correlação de Pearson (R) e de determinação (R^2) para o conjunto de todas e para as diferentes populações amostrais para correlações do tipo linear e exponencial.

	Total de amostras	Alandroal (próximo mineralizações)	Alandroal e Barrancos (afastado mineralizações)	Miguel Vacas (prof. < 80 m)	Miguel Vacas (prof. > 80 m)
Número de amostras	39	6	4	22	7
Correlação linear R^2 (R)	0,62 (+0,79)	0,79 (+0,89)	0,90 (+0,95)	0,54 (+0,73)	0,92 (+0,96)
Correlação exponencial R^2 (R)	0,65 (+0,80)	0,87 (+0,93)	0,89 (+0,94)	0,65 (+0,81)	0,89 (+0,94)



Os valores de suscetibilidade magnética mais elevados ($> 7 \times 10^{-8} \text{ m}^3\text{kg}^{-1}$) são obtidos, em geral, nas amostras superficiais (na zona de oxidação), com exceção para uma amostra coletada na zona dos sulfuretos primários em Miguel Vacas (Figura 3), apresentando concentrações de Fe variáveis entre 1,06 e 7,63 %. Tal facto poderá resultar da diferença entre os minerais portadores

de Fe presentes. Com efeito, as amostras de afloramento apresentam geralmente valores mais altos de suscetibilidade magnética para a mesma concentração de Fe quando comparadas com as amostras de sondagem de Miguel Vacas quer nos domínios de oxidação, quer dos sulfuretos primários (Figura 3).

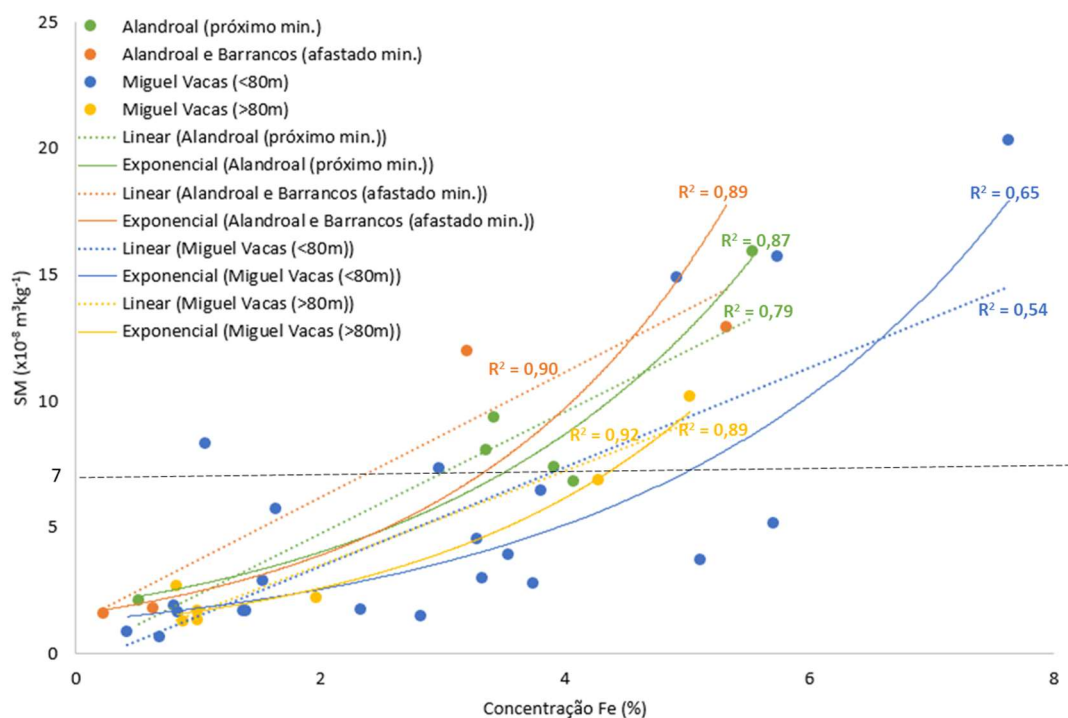


Figura 3. Variação dos valores de suscetibilidade magnética (SM) com a concentração de Fe nas amostras dos diferentes setores com representação da correlação linear e exponencial.

Nas amostras de sondagem, o comportamento das correlações é em tudo semelhante nas amostras da zona oxidada (profundidade $< 80\text{m}$) e na zona dos sulfuretos primários (profundidade $> 80\text{m}$), embora sete amostras da zona oxidada se destaquem devido aos elevados valores de suscetibilidade magnética para concentrações semelhantes de Fe. Estes valores de suscetibilidade magnética mais elevados podem ser um indicador dos níveis enriquecidos em óxidos e hidróxidos de Fe, que apresentam geralmente valores mais elevados de suscetibilidade magnética (Tabela 2; Hunt et al., 1995).

Contudo, as amostras de sondagem de Miguel Vacas estão associadas, em geral, a valores de suscetibilidade magnética relativamente mais baixos para igual concentração de Fe. Tal facto poderá indicar a presença de sulfuretos de Fe, nomeadamente a pirite que apresenta geralmente valores mais baixos de suscetibilidade magnética em relação aos óxidos de Fe (Tabela 2; Hunt et al., 1995), como um dos minerais portadores de Fe.

Para reforçar a discussão anterior, foram analisadas por MEV-EDX 4 amostras de



afloramento da região do Alandroal, 1 amostra de afloramento de Barrancos e 7 amostras de sondagem (Miguel Vacas).

Nas amostras superficiais da região do Alandroal foi possível identificar a presença de óxidos de Fe (Figura 3A, espectro Z1), enquanto em Barrancos não foram observados óxidos ou sulfuretos de Fe,

corroborando assim os baixos valores de suscetibilidade magnética obtidos nestas amostras. Por outro lado, nas amostras de sondagem de Miguel Vacas foi possível identificar óxidos de Fe nas amostras localizadas a profundidades < 80 m (Figura 3B, espectro Z2) e sulfuretos de Fe nas amostras localizadas a profundidades > 80 m (Figura 3C, espectro Z3).

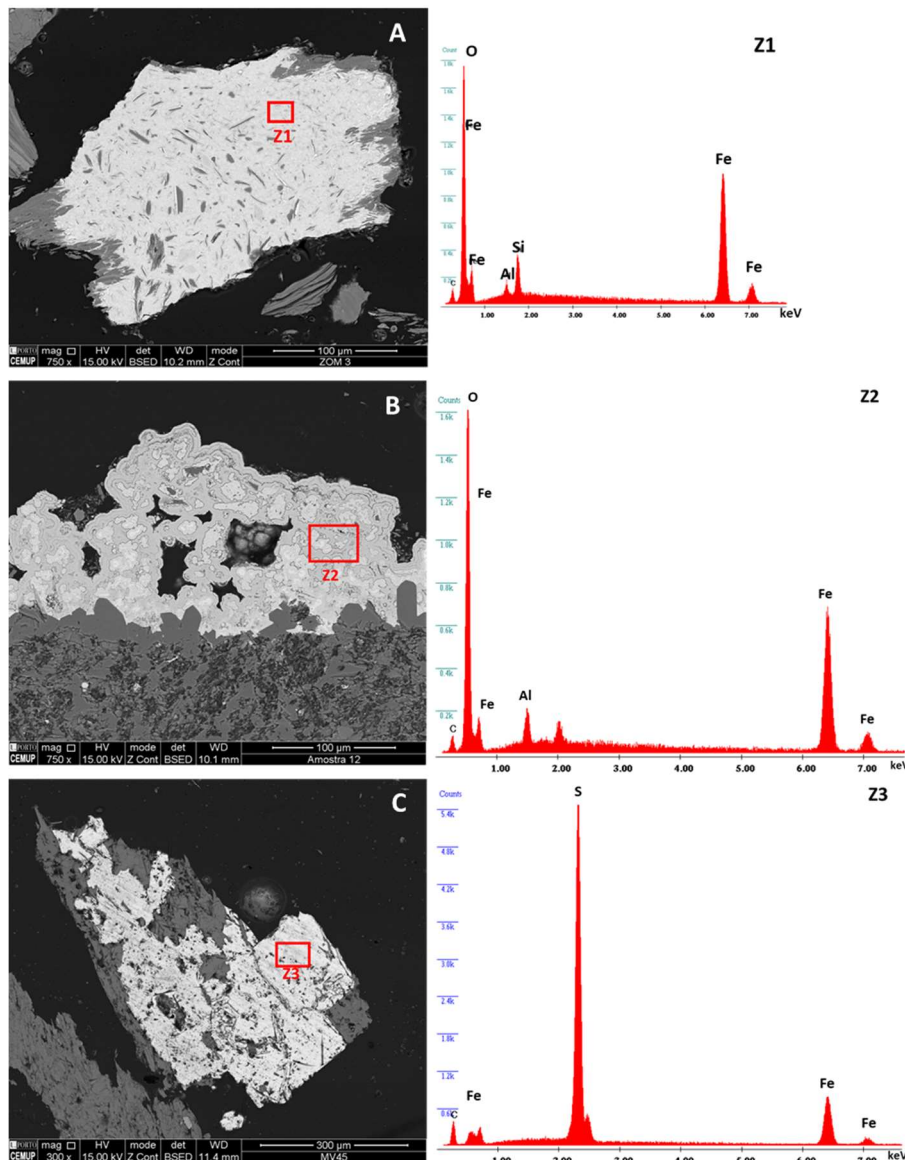


Figura 4. Imagens de MEV e espectros EDX de A) óxidos de Fe (Z1) em amostra de afloramento do Alandroal; B) óxidos de Fe (Z2) em amostra de Miguel Vacas localizada na zona de oxidação; C) pirite (Z3) em amostra de Miguel Vacas localizada na zona de sulfuretos primários.

A mineralogia e o quimismo apresentados nestes estudos por MEV-EDX parecem

corroborar as hipóteses acima mencionadas. Contudo, e para uma melhor



caracterização do papel das diferentes fases minerais nos valores de suscetibilidade magnética obtidos, será fundamental a caracterização e quantificação das fases minerais presentes em cada uma das amostras (utilizando técnicas de difração de Raios-X e/ou análises petrográficas com análise modal das diferentes fases presentes).

5. Considerações finais

O estudo da suscetibilidade magnética dos XN da Formação Xistos com Nódulos revelou poder ser uma ferramenta útil na correlação com a mineralogia magnética e composição química destas rochas.

Os valores de suscetibilidade magnética e da concentração de Fe nas amostras estudadas apresentam uma forte correlação positiva entre si, contudo com variações se forem definidas diferentes populações amostrais.

Os valores de suscetibilidade magnética mais elevados são obtidos nas amostras localizadas nas zonas superficiais da região do Alandroal e de Miguel Vacas (na zona de oxidação a profundidades inferiores a 80 m).

Nas amostras de sondagem de Miguel Vacas destacam-se sete amostras da zona oxidada (profundidade < 80 m) que apresentam valores mais elevados e que pode ser indicador dos níveis enriquecidos em óxidos e hidróxidos de Fe, tendo a sua presença sido comprovada com o auxílio do MEV-EDX. No geral, as amostras de Miguel Vacas estão associadas a valores de suscetibilidade magnética relativamente mais baixos para igual concentração de Fe, o que poderá indicar a presença de sulfuretos de Fe, particularmente a pirrite, que foi identificada através do MEV-EDX e que corrobora os resultados obtidos.

Agradecimentos

Este trabalho é apoiado por financiamento nacional atribuído pela FCT - Fundação para a Ciência e Tecnologia, I.P., através dos projetos UIDB/04683/2020 e UIDP/04683/2020. Vanessa Laranjeira agradece o financiamento da bolsa de doutoramento (SFRH/BD/137567/2018) atribuída pela FCT e pela UE, através de fundos nacionais e do Fundo Social Europeu (FSE). N. Moreira e P. Nogueira agradecem o contributo do projeto ZOM-3D (ALT20-03-0145-FEDER-000028), financiado pelo Alentejo 2020 através do FEDER/FSE/FEEI.

Referências

- Araújo, A., Piçarra, J.M., Borrego, J., Pedro, J., Oliveira, J.T. (2013). As Regiões Central e sul da Zona de Ossa Morena. Mineralizações no sector português da Zona de Ossa-Morena. In: Dias, R., Araújo, A., Terrinha, P., Kullberg, J.C. (Eds.). *Geologia de Portugal*, 1, 503-543.
- Carvalho, A., Vicente, S., Afonso, P., Moreira, N., Maia, M., Nogueira, P., Ribeiro, J., Laranjeira, V., Flores, D. (2019). Matéria Orgânica em Leditos e Xistos Negros do Silúrico da Zona de Ossa-Morena (Mina dos Mociços – Alandroal). In: Borges, J.F., Afonso, P., Salgado, R. (Eds.). *Livro de actas do Workshop em Ciências da Terra e do Espaço*, Évora, 45-50.
- Da Silva, A.C., De Vleeschouwer, D., Boulvain, F., Claeys, P., Fagel, N., Humblet, M., Mabilhe, C., Michel, J., Sardar Abadi Pas, M.D., Dekkers, M.J. (2013). Magnetic susceptibility as a high-resolution correlation tool and as a climatic proxy in Paleozoic rocks - Merits and pitfalls: Examples from the Devonian in Belgium. *Marine and Petroleum Geology*, 46, 173-189.
- Dekkers, M.J. (1997). Environmental magnetism: an introduction. *Geologie en Mijnbouw*, 76, 163-182.
- Fernandes, G. (2012). Mineralizações de Cobre da Mina de Miguel Vacas: Caracterização Petrográfica e Geoquímica. Tese de Mestrado. Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Portugal, 345 páginas.



Hunt, C.P., Moskowitz, B.M., Banerjee, S.K. (1995). Magnetic Properties of Rocks and Minerals. Rock Physics and Phase Relations. A Handbook of Physical Constants. American Geophysical Union, 189-204.

ISO 7404-2 (2009). Methods for the petrographic analysis of Coals - Part 2: Methods of preparing coal samples, 12 páginas.

Maia, M., Moreira, N., Mirão, J., Noronha, F., Nogueira, P. (2019). Fluid inclusions study of Cu - rich deposits from Sousel-Barrancos metallogenic belt (Ossa-Morena Zone, Portugal). Acta Mineralogica - Petrographica Abstract (ECROFI 2019), 10, 79 páginas.

Maia, M., Moreira, N., Vicente, S., Mirão, J., Noronha, F., Nogueira, P. (2020). Multi-Stage Fluid System Responsible for Ore Deposition in the Ossa-Morena Zone (Portugal): Constraints in Cu-Ore Deposits Formation. Geology of Ore Deposits, 62 (6), 508-534.

Mateus, A., Matos, J.X., Rosa, C., Oliveira, V. (2003). Cu ores in quartz-carbonate veins at Estremoz-Alandroal and Barrancos-Sto Aleixo regions (Ossa-Morena Zone): a result of Late-Variscan hydrothermal activity. VI Congresso Nacional de Geologia, Lisboa, Portugal.

Mateus, A., Munhá, J., Inverno, C., Matos, J.X., Martins, L., Oliveira, D., Jesus, A., Salgueiro, R. (2013). Mineralizações no sector português da Zona de Ossa-Morena, Geologia de Portugal. In: Dias, R., Araújo, A., Terrinha, P., Kullberg, J.C. (Eds.). Escolar Editora, 1, 577-619.

Matos, J.X., Filipe A. (2013). Carta de Ocorrências Mineiras do Alentejo e Algarve, Escala 1:400 000. Laboratório Nacional de Energia e Geologia, Lisboa, Portugal.

Moreira, N., Vicente, S., Maia, M., Nogueira, P., Araújo, A. (2017). Controlo estrutural de mineralizações de Cobre na Mina dos Mociços (Zona de Ossa-Morena); dados preliminares. VII Congresso Jovens Investigadores em Geociências, LEG (abstract book), 5-48.

Oliveira, J.T., Oliveira, V., Piçarra, J.M. (1991). Traços gerais da evolução tectono-estratigráfica da Zona de Ossa Morena, em Portugal: síntese crítica do estado actual dos conhecimentos. Comunicações Serviços Geológicos Portugueses, 77, 3-26.

Oliveira, V. (1986). Prospecção de minérios metálicos a sul do Tejo. Geociências, 1, 15-22.

Piçarra, J.M., 2000. Estudo stratigráfico do sector de Estremoz- Barrancos, Zona de Ossa Morena, Portugal. Tese de Doutoramento, Vol. I e II, 268 páginas.

Potter, D. (2007). Magnetic susceptibility as a rapid, nondestructive technique for improved petrophysical parameter prediction. Petrophysics, 48 (3), 191-201.

Ribeiro, A., Munhá, J., Dias, R., Mateus, A., Pereira, E., Ribeiro, M.L., Fonseca, P., Araújo, A., Oliveira, T., Romão, J., Chaminé, H., Coke, C., Pedro J. (2007). Geodynamic evolution of SW Europe Variscides. Tectonics, 26, 23-31.

Roseiro, J., Moreira, N., Nogueira, P., Maia, M., Araújo, A., Pedro, J. (2020). Depositional environment and passive-to-active margin transition as recorded by trace elements chemistry of lower-middle Palaeozoic detrital units from the Ossa-Morena Zone (SW Iberia). Comunicações Geológicas, 107 (2), 39-46.

Sant'Ovaia, H., Martins, H., Noronha, F. (2013). Oxidized and reduced Portuguese Variscan granites associated with W and Sn hydrothermal lode deposits: magnetic susceptibility results. Comunicações Geológicas, 100 (1), 33-39.