

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/334468922>

Caracterização dos Mármorez de Estremoz no contexto dos Mármorez da Antiguidade Clássica da Zona de Ossa-Morena

Chapter · May 2019

CITATIONS

0

READS

102

2 authors:



Noel Moreira

Universidade de Évora

87 PUBLICATIONS 144 CITATIONS

SEE PROFILE



Luis Lopes

Universidade de Évora

28 PUBLICATIONS 212 CITATIONS

SEE PROFILE

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



ZOM3D: Modelos Metalogénicos 3D de Recursos Minerais da Zona de Ossa Morena [View project](#)

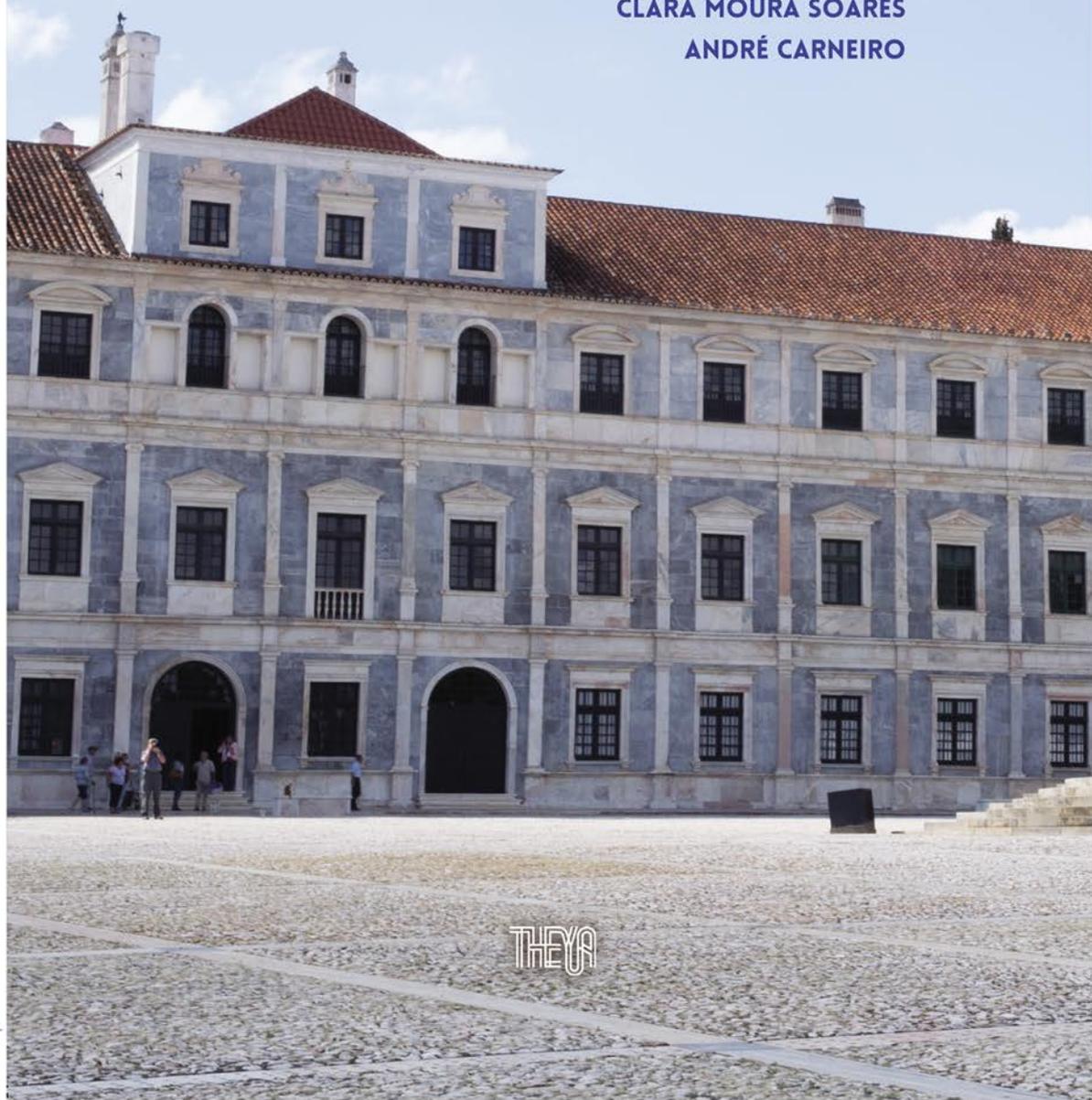


Devonian carbonates of the Ossa-Morena Zone, Southwest Iberia [View project](#)

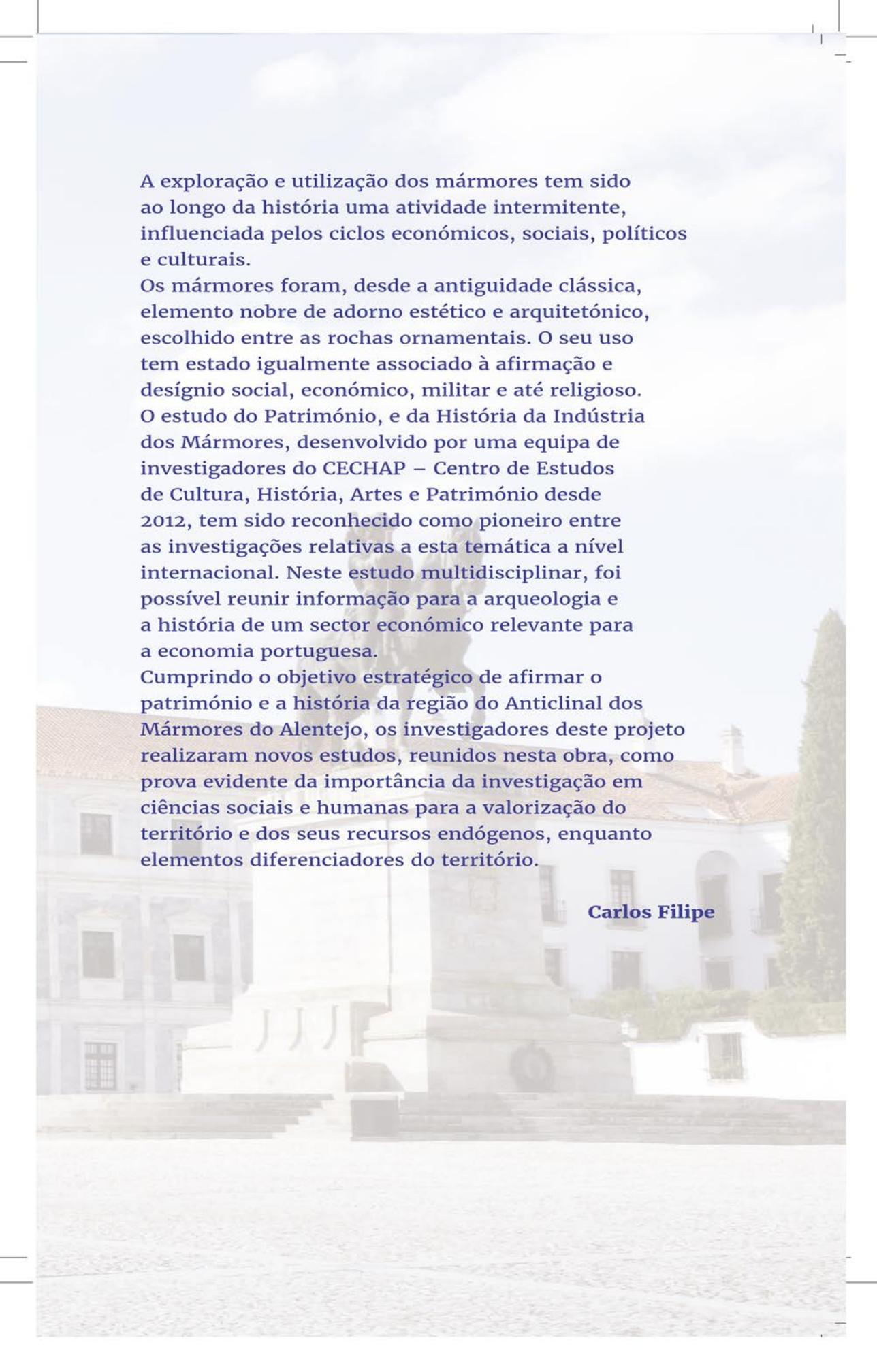
MÁRMORE 2 000 ANOS DE HISTÓRIA

VOLUME I
DA ANTIGUIDADE À IDADE MODERNA

COORDENAÇÃO
VÍTOR SERRÃO
CLARA MOURA SOARES
ANDRÉ CARNEIRO



THEYA



A exploração e utilização dos mármorem tem sido ao longo da história uma atividade intermitente, influenciada pelos ciclos económicos, sociais, políticos e culturais.

Os mármorem foram, desde a antiguidade clássica, elemento nobre de adorno estético e arquitetónico, escolhido entre as rochas ornamentais. O seu uso tem estado igualmente associado à afirmação e desígnio social, económico, militar e até religioso. O estudo do Património, e da História da Indústria dos Mármorem, desenvolvido por uma equipa de investigadores do CECHAP – Centro de Estudos de Cultura, História, Artes e Património desde 2012, tem sido reconhecido como pioneiro entre as investigações relativas a esta temática a nível internacional. Neste estudo multidisciplinar, foi possível reunir informação para a arqueologia e a história de um sector económico relevante para a economia portuguesa.

Cumprindo o objetivo estratégico de afirmar o património e a história da região do Anticlinal dos Mármorem do Alentejo, os investigadores deste projeto realizaram novos estudos, reunidos nesta obra, como prova evidente da importância da investigação em ciências sociais e humanas para a valorização do território e dos seus recursos endógenos, enquanto elementos diferenciadores do território.

Carlos Filipe

MÁRMORE

2 000 anos de história

VOLUME I

DA ANTIGUIDADE À IDADE MODERNA

THEYA

COORDENAÇÃO DO VOLUME

Vítor Serrão, Clara Moura Soares e André Carneiro

CONCEÇÃO DA CAPA

Índice Consultores Lda.

FOTOGRAFIA DA CAPA

Fachada principal do Paço Ducal de Vila Viçosa

DESIGN E PAGINAÇÃO

Carolina Grilo

EDIÇÃO

Theya Editores

COORDENAÇÃO EDITORIAL

Joana Balsa de Pinho e José Bernardino

TRADUÇÃO

José Bernardino, José Luís de Almeida Monteiro e Júlia Bogado

REVISÃO

Ana Rita Araújo, Carlos Serra, Maria José Figueiredo, Milene Alves
e Patrícia Pereira

ISBN

978-989-99164-3-2

DEPÓSITO LEGAL

DATA DA EDIÇÃO

2019

THEYA EDITORES

Instituto Europeu de Ciências da Cultura Padre Manuel Antunes – IECCPMA
Rua Professor João Barreira, n.º 18 – 8.º A, 1600-637 Lisboa
theyaeditores@gmail.com . 934 323 983



MÁRMORE

2 000 anos de história

VOLUME I
DA ANTIGUIDADE À IDADE MODERNA

Coordenação do volume
Vitor Serrão
Clara Moura Soares
André Carneiro

THEYA



ÍNDICE

INTRODUÇÃO 7

PARTE I

**OS MÁRMORES DURANTE
O IMPÉRIO ROMANO** 11

Caracterização dos Mármorez de Estremoz
no contexto dos mármorez da Antiguidade
clássica da Zona de Ossa-Morena

**NOEL MOREIRA E
LUÍS LOPES** 13

A exploração romana do mármore
no anticlinal de Estremoz: extração,
consumo e organização

ANDRÉ CARNEIRO 55

Do afloramento à coluna (deambular
breve nas antigas pedreiras)

NUNO MIGUEL CASACA MOURINHA 121

*Os marmora da villa romana de
Noheda (Cuenca, Espanha).*

Antecipação dos primeiros resultados

MIGUEL ÁNGEL VALERO TÉVAR 141

PARTE II

ARTISTAS E OBRAS (SÉCULOS XVI-XVIII) 171

Testemunhos da "nobre arte do mármore"
na arquitetura e na escultura maneirista
alentejana (séculos XVI-XVII): três casos de estudo
VÍTOR SERRÃO 173

Famílias de pedreiros na "região do mármore":
os Cordeiro
PATRÍCIA MONTEIRO 197

Os mármore do Alentejo no século XVIII,
entre a procura e a oferta
CARLOS FILIPE 237

PARTE III

O MÁRMORE NA ARQUITETURA DA ÁGUA..... 295

A aplicação do mármore na hidráulica: chafarizes
PATRÍCIA ALHO 297

PARTE IV

DOCUMENTOS DE ARQUIVO (SÉCULOS XVI-XVIII)..... 313

Encomendas de obras em "pedra branca":
os mármore alentejanos nos documentos
de arquivo dos séculos XVI a XVIII
LINA MARIA MARRAFA DE OLIVEIRA 315



PARTE I

Os Mármores durante
o Império Romano

.....

Caracterização dos Mármore de Estremoz no contexto dos
mármore da Antiguidade Clássica da Zona de Ossa-Morena

.....

NOEL MOREIRA¹
LUÍS LOPES²

¹ Departamento de Geociências da Escola de Ciência e Tecnologia da Universidade de Évora; Instituto de Ciências da Terra, Polo de Évora; CIDADE - Cidadãos pela Defesa do Património de Estremoz; nmoreira@estremoz.cienciaviva.pt.

² Departamento de Geociências da Escola de Ciência e Tecnologia da Universidade de Évora; Instituto de Ciências da Terra, Polo de Évora; lopes@uevora.pt.

Caractérisation des Marbres d'Estremoz dans le contexte des marbres de l'Antiquité Classique dans la Zone d'Ossa-Morena

RÉSUMÉ: Ce travail présente, de manière non exhaustive, les principales caractéristiques géologiques des marbres de l'anticlinal d'Estremoz (historiquement connus comme Marbres d'Estremoz). Cette caractérisation géologique comprend la description des principales caractéristiques de ces marbres depuis leur évolution géodynamique, mais autant que possible on cherchera à faire un lien avec les sciences archéologiques. Les Marbres d'Estremoz sont exploités au moins depuis l'Antiquité Classique. On sait qu'ils ont été largement utilisés dans d'innombrables lieux de l'Empire Romain car leurs caractéristiques pétrographiques (texturales et minéralogiques), composition chimique et signature isotopique, qui sont intrinsèques à sa nature et évolution géodynamique, permettent une identification digne de foi de leur provenance géographique. Cependant, cette approche de provenance doit être aussi une vision comparative avec d'autres marbres exploités dans la même période temporelle et qui se localisent dans la même zone tectonique-stratigraphique (Zone d'Ossa-Morena). Tous les marbres de la Zone d'Ossa-Morena ont expérimenté une évolution géologique similaire pendant le Paléozoïque (541-252 millions d'années), bien que chacun de ces marbres ait des spécificités propres du point de vue évolutif, qui permettent de les différencier des autres marbres classiques, de provenance méditerranéenne. Ce sont les caractéristiques géologiques de chacun de ces marbres qui conditionnent, soit les méthodes de démontage soit ses applications. En somme, ce travail, au caractère multidisciplinaire, met en relation : la géomorphologie, la composition et l'arrangement structurel, les propriétés technologiques, les techniques d'extraction, le procédé et l'application, et la dispersion géographique des Marbres d'Estremoz dans l'Antiquité Classique, et montre comment ces facteurs sont fortement conditionnés par la géologie et l'évolution géodynamique, qui au fond racontent l'*histoire géologique* des Marbres d'Estremoz.

Characterization of the Marbles of Estremoz in the context of the marbles of Classical Antiquity of the Ossa-Morena Zone

ABSTRACT: This work presents, in a non-exhaustive way, the main geological features of the Estremoz Anticline marbles (historically known as Estremoz Marbles). This geological characterization comprises the description of the main features of these marbles from their origin and geodynamic evolution, but whenever possible it will seek to make a connection with the archaeological sciences. The Estremoz Marbles have been exploited at least since Classical Antiquity. It is known that they had widespread use in many places of the Roman Empire, for their petrographic characteristics (both textural and mineralogical), their chemical composition and isotopic signature, which are intrinsic to their nature and geodynamic evolution, allowing a very reliable identification of their geographical origin. However, this approach of their origin must also be a comparative view with other marbles used in the same time period and also located in the same tectono-stratigraphic zone (Ossa-Morena Zone). All the marbles from the Ossa-Morena Zone experienced a similar geological evolution during the Palaeozoic (541-252 million years), although each one of these marbles has its own evolutionary specificities that allow the differentiation from other classic marbles, namely the marbles with Mediterranean origin. The geological features of each of those marbles control both the methods of extraction and their uses. In summary, this multidisciplinary work correlates geomorphology, composition and structural arrangement, technological properties, extraction, processing and application techniques, and the geographic dissemination of the Estremoz Marbles in Classical Antiquity, also showing how these factors are strongly conditioned by geology and geodynamic evolution, telling us the *geological history* of the Estremoz Marbles.

Caracterización de los Mármoles de Estremoz en el contexto de los Mármoles de la Antigüedad Clásica de la Zona de Ossa-Morena

RESUMEN: El presente trabajo presenta, de forma no exhaustiva, las principales características geológicas de los mármoles del anticlinal de Estremoz (históricamente conocidos como Mármoles de Estremoz). Esta caracterización geológica comprende la descripción de las principales características de estos mármoles, desde su origen y evolución geodinámica, pero siempre que es posible procurará hacer una ligación a las ciencias arqueológicas. Los Mármoles de Estremoz son explorados más o menos desde la Antigüedad Clásica. Se sabe que fueron profusamente utilizados en inúmeros locales del Imperio Romano pues sus características petrográficas (texturales y mineralógicas), composición química y materia isotópica, que son intrínsecas a su naturaleza y evolución geodinámica, permiten la identificación mucho fidedigna de su proveniencia geográfica. Con todo, esta aproximación de proveniencia debe también ser una visión comparativa con otros mármoles explorados en el mismo período temporal y que se localizan en la misma zona tectono-estratigráfica (Zona de Ossa-Morena). Todos los mármoles de la Zona Ossa-Morena experimentaron una evolución geológica similar durante el Paleozoico (541-252 millones de años), aunque cada uno de estos mármoles tenga especificidades propias del punto de vista evolutivo, que permiten la diferenciación entre si y los demás mármoles clásicos, de proveniencia mediterránea. Son las características geológicas de cada uno de estos mármoles que condicionan, tal los métodos de desmonte como sus aplicaciones. En síntesis, este trabajo, de cariz multidisciplinar, correlaciona: la geomorfología, la composición y orden estructurales, las propiedades tecnológicas, la técnica de extracción, procesamiento y aplicación y la dispersión geográfica de los Mármoles de Estremoz en la Antigüedad Clásica, y muestra como estos factores son fuertemente condicionados por la Geología y Evolución Geodinámica, que en el fondo cuentan la *Historia Geológica* de los Mármoles de Estremoz.

1. INTRODUÇÃO

Em função do enquadramento em que é utilizado, o termo “mármore” tem vários significados, pelo que uma explicação prévia é exigida. Assim, a etimologia da palavra “mármore” provém do grego “marmairein” ou do latim “marmor” e significa “pedra de qualidade” ou “pedra branca”. Para os geólogos o mármore é uma rocha metamórfica cristalina e carbonatada, composta por cristais de calcite (mármore calcítico) ou dolomite (mármore dolomítico), resultante da recristalização de rochas calcárias ou dolomíticas, na maior parte de natureza sedimentar, previamente existentes. Um conceito comercial mais comum define o mármore como toda a rocha cristalina sedimentar ou metamórfica, carbonatada ou não, que apresentando um aspeto semelhante ao do mármore *s.s.*, que possa ser extraída em blocos, que evidencie boas características para o corte e que seja suscetível de adquirir bom polimento. Associados à indústria e na nomenclatura internacional, utilizam-se ainda os termos “rocha ornamental”, que apela para a função marcadamente estética que os mármore desempenham e, principalmente no mundo anglo-saxónico, é amplamente utilizado o termo *dimension stone*, que se reporta à obrigação de estas rochas serem extraídas em blocos de dimensão que permita o processamento industrial em fábrica, gerando lucro e riqueza para as respetivas empresas³ e obviamente ao nível local.

No caso dos Mármore de Estremoz, apenas se exploram os mármore calcíticos, pois embora os mármore dolomíticos sejam mais abundantes, estes encontram-se muito fraturados, pelo que deles não é possível obter blocos com dimensão comerciável (dimensões médias próximas de: 2 m x 1,5 m x 1,2 m). Para além das explorações de mármore no anticlinal de

³ Lopes, Luís. “O triângulo do mármore: estudo geológico”. *Monumentos* 27 (2007): 6–15.

Estremoz, existem ainda outros mármore portugueses intensivamente explorados no passado, por ordem crescente de importância: Brinches, Escoural, Serpa, Viana do Alentejo, Trigaches e Vila Verde de Ficalho⁴. Nestes locais, exploravam-se rochas únicas pelas cores e texturas, no entanto apenas em Viana do Alentejo há pedreiras ativas.

Esta tipologia de rochas é amplamente utilizada desde a Antiguidade clássica, particularmente durante a época romana, estando intimamente ligada à cultura e sentido estético do povo romano⁵. Tal facto é evidente em toda a Península Ibérica, onde o mármore foi utilizado num vasto e diversificado conjunto de elementos arquitetónicos⁶. Durante a época romana, os mármore têm proveniências distintas, havendo registo de exploração

⁴ Lopes, Luís, e Francisco Gonçalves. "Potencial económico das jazidas de rochas ornamentais na Zona de Ossa-Morena". In *Estudos sobre a Geologia da Zona de Ossa-Morena. Livro de Homenagem ao Professor Francisco Gonçalves*, ed. Alexandre Araújo e Manuel Francisco Pereira, 263-282. Évora: Departamento de Geociências da Universidade de Évora, 1997.

⁵ E.g.: Fusco, Arianna, e Irene Mañas. *Mármoles de Lusitania*. Catalogo de exposición. Mérida: Museo Nacional de Arte Romano, 2006; Antonelli, Fabrizio, Lorenzo Lazzarini, Stefano Cancelliere, e David Dessandier. "Volubilis (Meknes, Morocco): Archaeometric study of the white and coloured marbles imported in the Roman age". *Journal of Cultural Heritage* 10 (2009): 116-123. DOI:10.1016/j.culher.2008.04.006; Origlia, Francesca, Elizabetta Gliozzo, Marco Meccheri, Jorge E. Spangenberg, Isabella Turbanti Memmi, e Emanuele Papi. "Mineralogical, petrographic and geochemical characterisation of white and coloured Iberian marbles in the context of the provenancing of some artefacts from Thamusida (Kenitra, Morocco)". *Eur. J. Mineral.* 23 (2011): 857-869. DOI: 10.1127/0935-1221/2011/0023-2145; Lopes, Luís, e Ruben Martins. "Global heritage stone: Estremoz marbles, Portugal". In *Global Heritage Stone: towards International Recognition of Building and Ornamental Stones*, Dolores Pereira, Brian R. Marker, Sabina Kramar, Barry J. Cooper, e Björn E. Schouenborg, 57-74. London: Geological Society of London, Special Publications, 2015. DOI: 10.1144/SP407.10.

⁶ E.g.: Lopes, Luís, José Carrilho Lopes, João M. Peixoto Cabral, e Panagiotis Sarantopoulos. "Caracterização petrográfica dos monumentos romanos de Évora". *Revista A Cidade de Évora* 4, série II (2000): 129-142; Cabral, João M. Peixoto, Manuel Justino Maciel, Luís Lopes, José Carrilho Lopes, A. P. V. Marques, Carla O. Mostra, e Paula M. Carreira. "Petrographic and isotopic characterization of marble from the Estremoz anticline: its application in identifying the sources of roman works of art". *Journal of Iberian Archaeology* 3 (2001): 121-128; Cabral, João M. Peixoto, Carla O. Mostra, e Theodor Hauschild. "A proveniência do mármore dos capitéis do templo romano de Évora". *Conimbriga* 43 (2004): 171-177. DOI: 10.14195/1647-8657_43_7; Fusco e Mañas. *Mármoles de Lusitania*; Morbidelli, Paola, Patrizia Tucci, Claudio Imperatori, Angel Polvorinos, Maria Preite Martinez, Ettore Azzaro, e Maria Jesus Hernandez. "Roman quarries of the Iberian Peninsula: 'Anasol' and 'Anasol' -type". *Eur. J. Mineral* 19 (2007): 125-135. DOI: 10.1127/0935-1221/2007/0019-0125; Tucci, Patricia, Giovanna Marrese, Angel Polvorinos, e Ettore Azzaro. "Italica (Seville, Spain): use of local marble in Augustan age". *Period. Mineral*, special issue (2010): 113-129. DOI: 10.2451/2010PM0025; Lapuente, Maria Pilar, Trinida Nogales-Basarrate, Hernando Royo, e Mauro Brilli. "White marble sculptures from the National Museum of Roman Art (Mérida, Spain): sources of local and imported marbles". *Eur. J. Mineral.* 26 (2014): 333-354. DOI: 10.1127/0935-1221/2014/0026-2369; Origlia et al. "Mineralogical, petrographic and geochemical characterisation [...]"; Taelman, Devi, Marlina Elburg, Ingrid Smet, Paul De Paepe, Luís Lopes, Frank Vanhaecke, e Frank Vermeulen. "Roman marble from Lusitania: petrographic and geochemical characterization". *Journal of Archaeological Science* 40 (2013): 2227-2236. DOI: 10.1016/j.jas.2012.12.030.

em vários locais em todo o Império⁷ (Fig. 1), sendo o Mediterrâneo um elemento de importância estratégica, servindo provavelmente como principal elo de dispersão do mármore pelo Império. Nos domínios meridionais da Península Ibérica (Hispania), dois núcleos principais de exploração de mármore estão bem documentados durante a época romana⁸, nomeadamente (Fig. 1):

(1) Sudeste de Espanha, mais propriamente na cordilheira Bética (distritos de Málaga e Almería), daqui em diante designados por Mármore Béticos;

(2) Zona de Ossa-Morena (ZOM), mais concretamente no anticlinal de Estremoz, Viana do Alentejo-Alvito, Trigaches-São Brissos (Portugal), Alconera, San Pedro-Carija e Almadén de la Plata (Espanha).

A exploração de recursos geológicos (mármore, ouro, ferro, cobre, chumbo, entre outros) terá desempenhado um papel preponderante na dinâmica de ocupação do território ibérico durante o Império Romano. Com efeito, ao longo de todo o anticlinal de Estremoz (que inclui os municípios de Sousel, Estremoz, Vila Viçosa, Borba e Alandroal), várias são as evidências da presença de assentamentos de idade romana⁹, o que não deve ter sido alheio ao fácil e abundante acesso a um mármore de excelente qualidade. Neste período histórico, a exploração do mármore é pela primeira vez intensa na história da região. A exploração deve ter

⁷ E.g.: Portugal, Espanha, Grécia, Itália, Turquia ou Norte de África; e.g.: Lapuente, Maria Pilar, Bruno Turi, e Philippe Blanc. "Marbles from roman Hispania: stable isotope and cathodoluminescence characterization". *Applied Geochemistry* 15 (2000): 1469-1493; Ouazaa, Neija Laridhi, Lluís Casas, Aureli Álvarez, Boutheina Fouzai, Marta Moreno-Vide, Laurence Vidal, Roudosli Sihem, Corinne Sonzogni, e Daniel Borschneck. "Provenance of marble sculptures from the National Museum of Carthage (Tunisia)". *Journal of Archaeological Science* 40 (2013): 1602-1610. DOI: 10.1016/j.jas.2012.10.035; Russell, Ben. *Gazetteer of Stone Quarries in the Roman World*. Oxford Roman Economy Project, Version 1.0, 2013. <http://www.romaneconomy.ox.ac.uk/>; Bruno, Mathias, Donatto Attanasio, Walter Prochaska, e Ali Bahadir Yavuz. "An update on the use and distribution of white and black Göktepe marbles from the first century AD to Late Antiquity". In *Interdisciplinary Studies on Ancient Stone: ASMOSIA X: Proceedings of the Tenth International Conference of ASMOSIA, Association for the Study of Marble et Other Stones in Antiquity, Rome, 21-26 May 2012*, ed. Patrizio Pensabene e Eleonora Gasperini, 461-468. Roma: "L'Erma" di Bretschneider, 2015.

⁸ E.g.: Lapuente et al. "Marbles from roman Hispania"; Fusco e Mañas. *Mármoles de Lusitania*; Mañas, Irene, e Arianna Fusco. "Canteras de Lusitania. Un análisis arqueológico". In *Marmora Hispania: Explotación y uso de los Materiales Pétreos en la Hispania Romana*, ed. Trinidad Nogales Basarrate e José Béltran Fortes, 481-522. Roma: "L'Erma" di Bretschneider, 2008; Fortes, José Béltran, Oliva Rodríguez Gutiérrez, Pedro López Aldana, Esther Ontiveros, e Ruth Taylor. "Las canteras romanas de mármol de Almadén de la Plata (Sevilla)". In *El Marmor en Hispania: Explotación, Uso y Difusión en Época Romana*, ed. Virginia García-Entero, 253-275. S.l.: UNED, 2012. ISBN: 978-84-362-6593-4.

⁹ Carneiro, André. "Um primeiro olhar sobre o povoamento romano no concelho de Vila Viçosa". *Calipolle* 21 (2013): 199-220; Carneiro, André. *Lugares, Tempos e Pessoas: Povoamento Rural Romano no Alto Alentejo*. Coimbra: Imprensa da Universidade de Coimbra, vol. I, 2014. ISBN: 978-989-26-0831-0, neste volume.

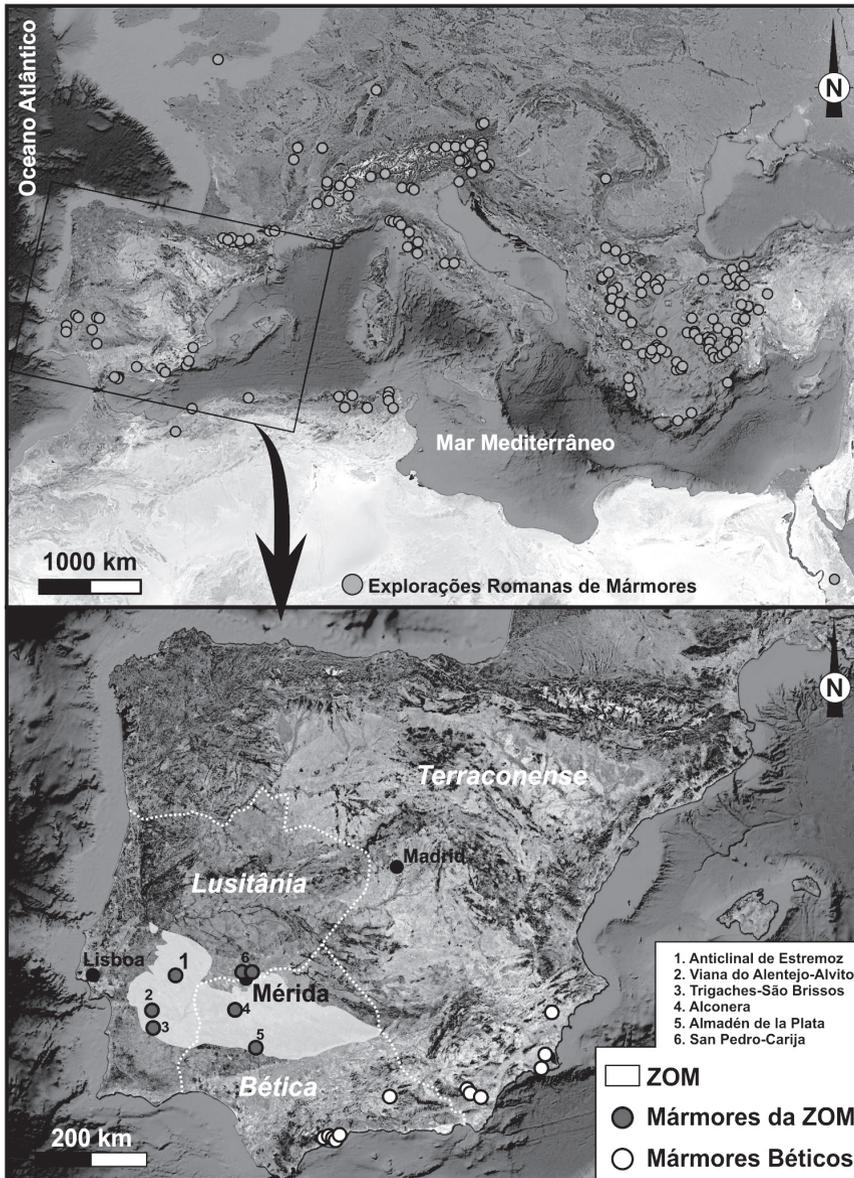


Figura 1 - Mármore de Estremoz no contexto da Ibéria e da exploração dos mármore clássicos de Época Romana (base de dados de Russel, 2013).

sido realizada de forma protoindustrial, o que é comprovado pela grande dispersão deste material ao longo de todo o Império Romano.

Os Mármore de Estremoz são calcíticos e apresentam numerosas variedades cromáticas e texturais (das quais se destacam os mármore brancos, tão apreciados na época romana) e incluem-se numa unidade geológica denominada de Complexo Vulcano-Sedimentar Carbonatado de Estremoz. Explorados pelo menos desde o período romano, a sua extração permanece ativa, havendo um conjunto de evidências de que a sua exploração tenha sido contínua pelo menos desde o século XIII até à atualidade¹⁰. Nas secções seguintes, apresentar-se-á um enquadramento e uma sucinta caracterização geológica destes mármore no contexto dos mármore clássicos da Ibéria, nomeadamente dos mármore da ZOM, zona tectono-estratigráfica na qual se integram.

2. CARACTERIZAÇÃO DO ANTICLINAL DE ESTREMOZ

O anticlinal de Estremoz localiza-se no Maciço Ibérico, que se caracteriza pela presença de rochas de idade ante-mesozoica¹¹ (Fig. 2A). Este maciço é subdividido em diferentes zonas tectono-estratigráficas, de acordo com as sucessões de unidades litológicas (sucessão stratigráfica) presentes, as suas características tectono-metamórficas e magmáticas¹². De entre as diversas zonas, destaca-se a ZOM, onde fica localizado o anticlinal de Estremoz¹³ (Fig. 2A).

¹⁰ E.g.: Quintas, Armando. “Técnicas e tecnologias ligadas ao mármore: uma viagem pela história”. in *Mármore, Património para o Alentejo: Contributos para a Sua História (1850-1986)*, coord. Daniel Alves, 129-159. Vila Viçosa: Talentirazão, 2015. ISBN 978-989-99164-1-8; Menningen, Johanna, Siegfried Siegesmund, Luís Lopes, Ruben Martins, e Luís Sousa. “The Estremoz marbles: an updated summary on the geological, mineralogical and rock physical characteristics”. *Environmental Earth Sciences* 77 (2018): 191. DOI: 10.1007/s12665-018-7328-3; Mourinha, Nuno, e Noel Moreira. “Património edificado no triângulo do mármore; evidências para a utilização contínua do mármore de Estremoz desde a época medieval à idade contemporânea”. In *Arqueologia 3.0 II. Comunicação, Divulgação e Socialização da Arqueologia*, 171-206. S.l.: Fundação da Casa de Bragança, 2019. ISBN: 978-972-9195-53-2.

¹¹ E.g.: Ribeiro, António, Miguel Telles Antunes, Martim Portugal Ferreira, Rogério Bordalo Rocha, António Ferreira Soares, Georges Zbyszewski, Fernando Moitinho de Almeida, Delfim Carvalho, e José Hipólito Monteiro. *Introduction à la Géologie Générale du Portugal*. Lisboa: Serviços Geológicos de Portugal, 1979; Ribeiro, António, José Munhá, Rui Dias, António Mateus, Eurico Pereira, Luísa Ribeiro, Paulo Emanuel Fonseca, Alexandre Araújo, José Tomás Oliveira, José Romão, Hélder Chaminé, Carlos Coke, e Jorge Pedro. “Geodynamic evolution of SW Europe Variscides”. *Tectonics* 26, TC6009 (2007). DOI: 10.1029/2006TC002058.

¹² E.g.: Ribeiro et al. *Introduction à la Géologie Générale du Portugal*; Ribeiro et al. “Geodynamic evolution of SW Europe Variscides”; Dias, Rui, António Ribeiro, José Romão, Carlos Coke, e Noel Moreira. “A review of the arcuate structures in the Iberian Variscides; constraints and genetic models”. *Tectonophysics* 681 (2016): 170-194. DOI: 10.1016/j.tecto.2016.04.011.

¹³ E.g.: Ribeiro et al. *Introduction à la Géologie Générale du Portugal*; Oliveira, José Tomás, Victor Oliveira, e José Manuel Piçarra. “Traços gerais da evolução tectono-estratigráfica

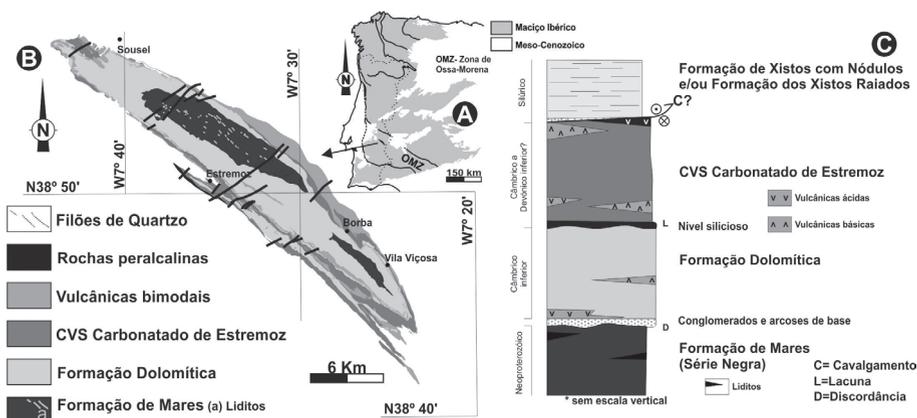


Figura 2 - Enquadramento do anticlinal de Estremoz no contexto do Maciço Ibérico (adaptado de Gonçalves, 1972; Gonçalves & Coelho, 1974; Lopes, 2003; LNEG, 2010; Pereira et al., 2012): A - Localização do Anticlinal de Estremoz no Maciço Ibérico; B - Mapa geológico simplificado do Anticlinal de Estremoz; C - Coluna estratigráfica simplificada do anticlinal de Estremoz.

2.1. A sucessão estratigráfica

A sucessão de unidades estratigráficas no anticlinal de Estremoz inicia-se com a Formação de Mares (de idade Neoproterozoica), composta por xistos negros, chertes negros/liditos e metagrauvaques, que ocupam uma posição central nesta estrutura¹⁴ (Fig. 2B). Sobre ela repousa discordantemente a Formação Dolomítica, composta por mármore dolomítico (daqui para a frente denominados de metadolomias), por vezes xistificados, pontualmente com metavulcanitos básicos intercalados; na sua base, surge um nível lenticular de metaconglomerados e meta-arcoses, intercalados com metavulcanitos ácidos¹⁵ (Fig. 2C). Esta unidade é considerada como sendo câmbrica

da Zona de Ossa Morena, em Portugal: síntese crítica do estado atual dos conhecimentos”. *Comun. Serv. Geol. Port.* 77 (1991): 3-26.

¹⁴ Gonçalves, Francisco. “Contribuição para o conhecimento geológico dos mármore de Estremoz”. *Est. Notas e Trabalhos do SEM* 20, n.ºs 1-2 (1970): 201-209; Oliveira et al. “Traços gerais da evolução tectono-estratigráfica da Zona de Ossa Morena [...]”.

¹⁵ Oliveira et al. “Traços gerais da evolução tectono-estratigráfica da Zona de Ossa-Morena [...]”; Pereira, Manuel Francisco, Ana Rita Solá, Martim Chichorro, Luís Lopes, Axel Gerdes, e José Brandão Silva. “North-Gondwana assembly, break up and paleogeography: U-Pb isotope evidence from detrital and igneous zircons of Ediacaran and Cambrian rocks of SW Iberia”. *Gondwana Research* 22, n.ºs 3-4 (2012): 866-881. DOI:10.1016/j.gr.2012.02.010; Araújo, Alexandre, José Manuel Piçarra, José Borrego, Jorge Pedro, e José Tomás Oliveira. “As regiões central e sul da Zona de Ossa-Morena”.

inferior, por correlação com a Formação Carbonatada de Elvas¹⁶. No topo da Formação Dolomítica, ocorre um horizonte silico-ferruginoso, sobre o qual assenta o Complexo Vulcano-Sedimentar Carbonatado de Estremoz (Fig. 2C), caracterizado pela presença de mármore calcíticos, com intercalações de calcoxistos e de metavulcanitos ácidos e básicos¹⁷. A idade desta unidade tem sido alvo de discussão ao longo das últimas décadas¹⁸, tendo-lhe sido atribuídas idades variáveis, desde o Câmbrico ao Silúrico Superior-Devónico Inferior. O Complexo Vulcano-Sedimentar Carbonatado de Estremoz apresenta diferentes variedades de mármore, sendo que no topo se situam as variedades mais escuras¹⁹; ao descer na sequência, ocorrem vários tipos de mármore creme/branco e mais raramente cor-de-rosa na base da sucessão²⁰.

Toda esta sequência é rodeada por unidades xistentas do Devónico-Silúrico (Formações dos Xistos com Nódulos e dos Xistos Raiados)²¹. O contacto entre estas unidades de carácter xistento e a restantes unidades previamente descritas é também alvo de discussão²² (Fig. 2C).

In *Geologia de Portugal*, ed. Rui Dias, Alexandre Araújo, Pedro Terrinha, e José Carlos Kullberg, 509-549. Lisboa: Escolar Editora, vol. I, 2013.

¹⁶ Oliveira *et al.* “Traços gerais da evolução tectono-estratigráfica da Zona de Ossa-Morena [...]”; Araújo *et al.* “As regiões central e sul da Zona de Ossa-Morena”.

¹⁷ Oliveira *et al.* “Traços gerais da evolução tectono-estratigráfica da Zona de Ossa-Morena [...]”; Pereira *et al.* “North-Gondwana assembly, break up and paleogeography”.

¹⁸ E.g.: Piçarra, José Manuel, e Jean Le Menn. “Ocorrência de crinoides em mármore do complexo vulcano-sedimentar carbonatado de Estremoz: implicações estratigráficas”. *Comunicações do Instituto Geológico e Mineiro* 80 (1994): 15-25; Piçarra, José Manuel. “Estudo estratigráfico do sector de Estremoz-Barrancos, Zona de Ossa-Morena, Portugal”. Doutoramento, Universidade de Évora, 2000; Lopes, Luís. “Contribuição para o conhecimento tectono-estratigráfico do Nordeste Alentejano, transversal Terena-Elvas. Implicações económicas no aproveitamento de rochas ornamentais existentes na região (mármore e granitos)”. Doutoramento, Universidade de Évora, 2003; Piçarra, José Manuel, e Graciela Sarmiento. “Problemas de posicionamento estratigráfico dos calcários paleozoicos da Zona de Ossa-Morena (Portugal)”. In *Livro de Actas do VII Congresso Nacional de Geologia*, 657-660. Estremoz, vol. I, 2006; Pereira *et al.* “North-Gondwana assembly, break up and paleogeography”; Araújo *et al.* “As regiões central e sul da Zona de Ossa-Morena”; Moreira, Noel, Jorge Pedro, José Francisco Santos, Alexandre Araújo, José Romão, Rui Dias, António Ribeiro, Sara Ribeiro, e José Mirão. “⁸⁷Sr/⁸⁶Sr ratios discrimination applied to the main Paleozoic carbonate sedimentation in Ossa-Morena Zone”. In *IX Congreso Geológico de España* (vol. especial). *Geo-Temas* 16, n.º 1 (2016): 161-164. ISSN 1576-5172; Moreira, Noel, Gil Machado, Rui Dias, Jorge Pedro, e José Romão. “Os episódios carbonatados do Câmbrico Inferior e Devónico Médio da Zona de Ossa-Morena; significado geodinâmico”. In *Livro de Actas do VIII Congresso Jovens Investigadores em Geociências*, 11-22. Estremoz: LEG, 2018a.; Moreira, Noel Alexandre Fontes. “Evolução geodinâmica dos sectores setentrionais da Zona de Ossa-Morena no contexto do Varisco ibérico”. Doutoramento, Universidade de Évora, 2017.

¹⁹ E.g.: Ruivina e Marinela.

²⁰ Lopes. “O triângulo do mármore: estudo geológico”.

²¹ Gonçalves, Francisco. *Mapa Geológico de Portugal à Escala 1:50 000, 36-B (Estremoz)*. Lisboa: Serviços Geológicos de Portugal, 1972; Piçarra. “Estudo estratigráfico do sector de Estremoz-Barrancos [...]”; Araújo *et al.* “As regiões central e sul da Zona de Ossa-Morena”.

²² Para discussão, vide: Araújo *et al.* “As regiões central e sul da Zona de Ossa-Morena”.

2.2. Geomorfologia e a sua conexão com a geologia

As características geológicas, nomeadamente as litológicas e estruturais, têm uma influência inegável na geomorfologia, ou seja, nas formas que a superfície terrestre adota. Na presente secção, apresentam-se sinteticamente as principais características geomorfológicas da região do anticlinal de Estremoz, sempre que possível discutindo as condicionantes geológicas inerentes à sua génese.

A análise do Modelo Digital de Terreno (Fig. 3) denota a existência de uma orientação preferencial dos relevos no sentido NW-SE. Esta é compatível com a orientação geral das principais estruturas do Orógeno Varisco no Maciço Ibérico, e da ZOM em particular, nomeadamente dobras e algumas das principais zonas de cisalhamento²³. O anticlinal de Estremoz (dobra à escala cartográfica) não é exceção e apresenta a mesma orientação geral, com estruturas representadas desde a escala microscópica à cartográfica²⁴ (Fig. 2B), resultado dos processos geodinâmicos atuantes na região.

A análise cuidada do relevo da região, e a sua comparação com a carta geológica²⁵ (Fig. 2B), mostra que este está condicionado pelas grandes unidades estratigráficas previamente descritas²⁶. Com efeito, a observação da intersecção entre as grandes unidades estratigráficas/litológicas e a geomorfologia denota a grande interconexão entre a Formação Dolomítica e os relevos positivos de orientação NW-SE do anticlinal de Estremoz. Estes relevos são o resultado da erosão diferencial entre os litótipos dolomíticos e os xistos e mármore representativos das restantes unidades, nomeadamente os Xistos de Mares e os litótipos xistosos de idade silúrico-devónica que rodeiam o anticlinal e os mármore do Complexo Vulcano-Sedimentar Carbonatado de Estremoz²⁷. A variedade litológica presente no anticlinal em cooperação com os processos de meteorização

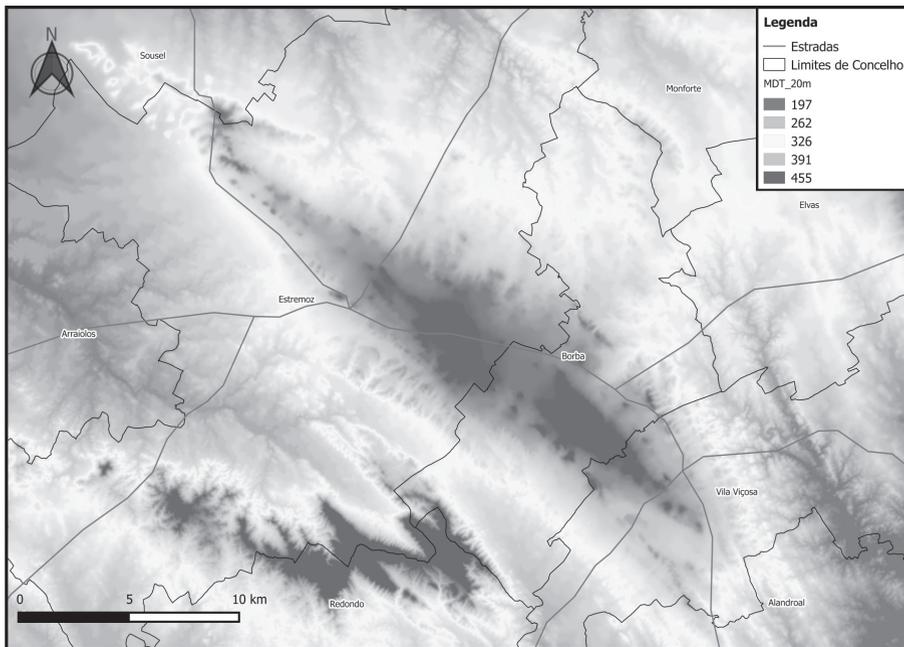
²³ E.g.: LNEG. *Geological map of Portugal at 1:1 000 000*. Lisboa: Laboratório Nacional de Energia e Geologia, 3.^a ed., 2010; Moreira, Noel, Alexandre Araújo, Jorge Pedro, e Rui Dias. “Evolução geodinâmica da Zona de Ossa-Morena no contexto do SW ibérico durante o Ciclo Varisco”. *Comunicações Geológicas* 101, Especial I (2014b): 275-278; Dias *et al.* “A review of the arcuate structures in the Iberian Variscides [...]”.

²⁴ Gonçalves, Francisco. *Mapa Geológico de Portugal à Escala 1:50 000* [...]; Lopes. “Contribuição para o conhecimento tectono-estratigráfico do Nordeste Alentejano [...]”; LNEG. *Geological Map of Portugal at 1:1 000 000*.

²⁵ Gonçalves. *Mapa Geológico de Portugal à escala 1:50 000* [...].

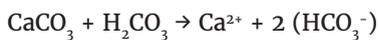
²⁶ E.g.: Soares, Alexis, Noel Moreira, Luís Pereira, Vânia Silva, e Rui Dias. “Porque estão os castelos onde estão? O exemplo do castelo de Estremoz”. In *Livro de Resumos do VII Encontro AFI – Aprendizagem em Ambiente Formal e Informal | XIII Encontro de Professores*, 155-158. Redondo: Universidade de Aveiro e PmatE, 2012.

²⁷ Soares *et al.* “Porque estão os castelos onde estão? [...]”



(física e química) é assim a responsável pela gênese destes relevos de orientação NW-SE.

Com efeito, os mármore são bastante propensos à meteorização química, devido à sua composição mineralógica (essencialmente calcite); a calcite, em contacto com ácidos, nomeadamente o ácido carbónico presente na água das chuvas, reage e dissolve-se segundo a reação:



Por sua vez, os xistos, pela presença abundante de anisotropias estruturais, são mais propensos à meteorização física. As metadolomias (compostas essencialmente por dolomite – carbonato de cálcio e magnésio), apesar de serem reativas aos ácidos (embora a reação seja menos intensa do que nos mármore), são também mais resistentes à meteorização física que os mármore ou os xistos, devido à sua textura compacta e à sua composição mineralógica.

Por forma a explicitarmos o previamente referido, utilizaremos a geomorfologia da cidade de Estremoz onde essa relação é clara. A cida-

Figura 3 - Modelo Digital de Terreno do anticlinal de Estremoz e região envolvente, mostrando a existência de relevos NW-SE condicionados pela geologia da região.

dela medieval de Estremoz está implantada sobre um relevo (que se eleva 35–40 m em relação à parte baixa da cidade), sendo o seu substrato de natureza dolomítica; toda a muralha, torre de menagem e paços do concelho medieval estão sobre esta unidade geológica. Em oposição, toda a parte baixa da cidade (zona do Rossio–Marquês de Pombal) assenta sobre os mármorees do Complexo Vulcano–Sedimentar Carbonatado de Estremoz. Para SW do relevo do castelo, surgem as rochas xistentas de idade silúrico–devónica, também em posição mais deprimida. Nos domínios ocidentais da cidade, é possível identificar um relevo de orientação NE–SW, de substrato dolomítico, que se prolonga durante vários quilómetros de extensão em direção a Sousel e a Borba–Vila Viçosa.

Por fim, observa-se ainda que estes relevos NW–SE, nomeadamente a sul de Sousel e a sudeste de Estremoz, se encontram intensamente recortados segundo uma orientação NE–SW (Fig. 3), devido à incisão da rede fluvial, que poderá/deverá estar controlada por estruturas prévias. De facto, a cartografia geológica mostra que esta orientação não é aleatória (Fig. 2B), coincidindo com um padrão de fracturação NE–SW subvertical que afeta todo o anticlinal de Estremoz²⁸ e onde frequentemente se instalam filões doleríticos, localmente conhecidos por “cabos reais”. Pontualmente, esta fraturação pode ser mais intensa, geralmente associada a falhas com a mesma geometria, denotando que as falhas e a fraturação apresentam origem comum. Estas estruturas surgem por todo o Maciço Ibérico, tendo sido interpretadas como resultado da atuação dos episódios tardios do Orógeno Varisco²⁹, embora algumas destas estruturas tenham sido reativadas durante o Meso–Cenozoico e apresentem ainda sismicidade ativa³⁰.

A geomorfologia tem influência clara na ocupação do território. Um exemplo paradigmático prende-se com as vias romanas, uma vez que a presença destes relevos condicionou o traçado das vias, que seriam essenciais para circulação de pessoas e mercadorias. A ampla dispersão dos Mármorees de Estremoz por toda a província da Lusitânia³¹ (Fig. 1) implicaria uma ampla rede de acessos que permitisse o transporte de mercadorias (que, salienta-se, seria rudimentar, com auxílio de tração animal) e o traçado dessa rede seria claramente condicionado pela geomorfologia.

²⁸ Lopes e Gonçalves. “Potencial económico das jazidas de rochas ornamentais [...]”; Lopes. “Contribuição para o conhecimento tectono–estratigráfico do Nordeste Alentejano [...]”.

²⁹ Dias, Rui, Noel Moreira, A. Ribeiro, e Caterine Basile. “Late Variscan deformation in the Iberian Peninsula; a late feature in the Laurasia–Gondwana dextral collision”. *International Journal of Earth Sciences (Geol Rundsch)* 106, n.º 2 (2017): 549–567. DOI: 10.1007/s00531-016-1409-x.

³⁰ Cabral, João “Neotectonics of mainland Portugal: state of the art and future perspectives”. *Journal of Iberian Geology* 38, n.º 1 (2012): 71–84. DOI: 10.5209/rev_JIGE.2012.v38.n1.39206.

³¹ Fusco e Mañas. *Mármorees de Lusitania*.

Embora o traçado das vias romanas nesta região não seja totalmente claro, reporta-se a presença de marcos miliários, bem como um traçado que ligaria Évora-Evoramonte-Estremoz(-Borba?)-Elvas-Badajoz, seguindo até Mérida³² (Fig. 3), e que necessariamente cruzaria o relevo de resistência NW-SE previamente descrito.

2.3. Génese dos Mármore de Estremoz

O Maciço Ibérico preserva um conjunto de rochas e estruturas geológicas que indicam a atuação de forças capazes de gerar uma cadeia de montanhas. Durante o Paleozoico Superior, os processos relacionados com a tectónica de placas geraram uma cadeia de montanhas (Cadeia Varisca), atualmente desmantelada pela ação dos agentes da dinâmica externa³³. A Cadeia Varisca resultou do fecho do Oceano Rheic (principal oceano Varisco), culminando com a colisão de dois megacontinentes principais, a Gondwana e a Laurentia, e outros blocos continentais menores entre o Devónico e o Pérmico ($\approx 416-252$ Ma)³⁴.

Como resultado desta orogenia, formou-se um conjunto de estruturas geológicas, entre as quais o anticlinal de Estremoz: uma dobra de dimensão cartográfica³⁵, com cerca de 40 km de extensão desde Sousel a Alandroal, com concavidade virada para baixo e onde as rochas mais antigas (Formação de Mares) afloram no núcleo da estrutura (Fig. 2B). Toda a sucessão do anticlinal de Estremoz, previamente exposta, é composta por rochas metamórficas, que resultaram de um conjunto de transformações físicas e químicas no estado sólido, que decorreram ao longo do tempo geológico, devido à ação da pressão e temperatura, levando à reorganização dos elementos que constituem uma rocha preexistente.

Para cada uma das unidades litológicas existe assim um conjunto de litótipos originais (protólito), que, após o metamorfismo, dá origem a uma nova rocha (metamórfica). No caso dos Mármore de Estremoz, estes resultaram do metamorfismo de calcários marinhos depositados numa plataforma oceânica pouco profunda durante o Paleozoico Inferior³⁶,

³² Alarcão, Jorge de. "As vias romanas de Olisipo a Augusta Emerita". *Conimbriga* 45 (2006): 211-251; Carneiro. "Um primeiro olhar sobre o povoamento romano no concelho de Vila Viçosa; Carneiro. *Lugares, tempos e pessoas*.

³³ Moreira, Noel, e Rui Dias. "Das estruturas geológicas à edificação de uma cadeia de montanhas; do ciclo das rochas ao ciclo tectónico". *Geonovas* 28 (2015): 33-45. ISSN 0870-7375.

³⁴ E.g.: Ribeiro *et al.* "Geodynamic evolution of SW Europe Variscides"; Moreira *et al.* "Evolução geodinâmica da Zona de Ossa-Morena [...]"; Dias *et al.* "A review of the arcuate structures in the Iberian Variscides [...]"; Dias *et al.* "Late Variscan deformation in the Iberian Peninsula".

³⁵ Gonçalves. *Mapa Geológico de Portugal à Escala 1:50 000 [...]*; LNEG. *Geological Map of Portugal at 1:1 000 000*.

³⁶ Oliveira *et al.* "Traços gerais da evolução tectono-estratigráfica da Zona de Ossa-Morena [...]"; Gozalo, Rodolfo, Eladio Liñán, Teodoro Palacios, José Antonio Gámez

sendo que o processo metamórfico obliterou, na sua (quase) totalidade, as características primárias destes calcários. Durante o processo de metamorfismo, não houve alteração significativa da composição química dos mármore (tanto os calcários como os mármore são constituídos essencialmente por calcite – CaCO_3), sendo a transformação essencialmente de natureza física.

Estes antigos calcários marinhos (agora mármore) foram submetidos à ação de processos metamórficos coadunáveis com o soterramento associado à gênese de uma cadeia de montanhas. Aliás, considerando um gradiente térmico normal (a temperatura aumenta cerca de 30°C por cada quilómetro de profundidade), depreende-se que estes antigos calcários marinhos tiveram de ser submetidos a profundidades na ordem dos 6 a 8 km relativamente à superfície terrestre, apenas compatível com a presença da cadeia de montanhas previamente mencionada. De facto, o soterramento das unidades sedimentares é uma situação normal durante a gênese de cadeias de montanhas, onde os processos de deformação das rochas levam ao empilhamento destas sequências e, conseqüentemente, à formação de rochas metamórficas.

3. MÁRMORES DE ESTREMOZ

Os Mármore de Estremoz são uma matéria-prima de inegável beleza estética e qualidade, graças aos variados padrões cromáticos, texturas e características físico-químicas³⁷. São explorados num dos principais polos extrativos de rochas ornamentais do Alentejo e de Portugal³⁸, o denominado Triângulo do Mármore.

3.1. Caracterização mineralógica e textural

Como referido, os Mármore de Estremoz são rochas metamórficas monominerálicas constituídas maioritariamente por calcite (em muitos casos com percentagens superiores a 99%); os minerais acessórios são raros,

Vintaned, e Eduardo Mayoral. “The Cambrian of the Iberian Peninsula: an overview”. *Geologica Acta* 1 (2003): 103-112; Pereira *et al.* “North-Gondwana assembly, break up and paleogeography”; Álvaro, J. Javier, Félix Bellido, Dominique Gasquet, Manuel Francisco Pereira, Cecilio Quesada, e Teresa Sánchez-García. “Diachronism in the late Neoproterozoic-Cambrian arc-rift transition of North Gondwana: a comparison of Morocco and the Iberian Ossa-Morena Zone”. *Journal of African Earth Sciences* 98 (2014): 113-132. DOI: 10.1016/j.jafrearsci.2014.03.024; Moreira, Noel, Alexandre Araújo, Jorge Pedro, e Rui Dias. “Do rifting continental à abertura do Oceano Rheic; evidências de cariz multidisciplinar na Zona de Ossa-Morena”. In *Livro de Actas do IV Congresso Jovens Investigadores em Geociências*, 21-24. Estremoz: LEG, 2014a.

³⁷ Lopes e Martins. “Global heritage stone”.

³⁸ Lopes e Gonçalves. “Potencial económico das jazidas de rochas ornamentais [...]”; Carvalho, Jorge M. F., Cristina I. Carvalho, José Vítor Lisboa, António Casal Moura, e Mário Machado Leite. “Portuguese ornamental stones”. *Geonovas* 26 (2013): 15-22.

geralmente inferiores a 5 %³⁹. São mármore de grão médio a fino, com valores médios entre 0,5 e 1 mm, embora o tamanho do grão possa variar entre 0,2 e 4,0 mm⁴⁰.

Geralmente, os mármore apresentam uma textura granular (dita granoblástica, composta por cristais de calcite equidimensionais sem orientação preferencial), não foliada. No entanto, os Mármore de Estremoz frequentemente apresentam uma orientação cristalográfica preferencial (regionalmente designada por corrume ou veia do mármore), bem conhecida pelos trabalhadores das pedreiras, que estão familiarizados com o corte “a favor” (segundo aquela orientação) ou “ao contra” (segundo um plano perpendicular), pois a resistência ao corte nas duas direções é distinta e o seu conhecimento é crucial para a obtenção dos blocos comerciais de maior valor. De referir que este corrume nem sempre corresponde ao bandado, por vezes multicolor, que os mármore exibem.

No anticlinal de Estremoz, os mármore provenientes dos diferentes núcleos extrativos (*e.g.*: Cerca de Santo António, Cruz dos Meninos, Barro Branco, Poço Bravo-Mouro, Rosal, Encostinha, Vigária, Cabanas, Monte d’El Rei, Olival Grande, Maroteira, Lagoa e Fonte da Moura – Pardais, de NE para SW, entre outros atualmente com menor importância económica, como Marinela Glória, Salgadas, Peixinhos, etc.) apresentam texturas, padrões e variações cromáticas que os caracterizam e que os especialistas e/ou industriais da região identificam.

Apesar da textura granular típica dos mármore em amostra de mão, a presença pontual de minerais como a biotite, moscovite, sericite e clorite confere-lhes, por vezes, uma textura foliada⁴¹. A presença abundante

³⁹ Lopes e Martins. “Global heritage stone”; Moreira. “Evolução geodinâmica dos sectores setentrionais da Zona de Ossa-Morena [...]”.

⁴⁰ Lapuente, Maria Pilar, e Bruno Turi. “Marbles from Portugal: petrographic and isotopic characterization”. *Science and Technology for Cultural Heritage* 4 (1995): 33-42; Menningen *et al.* “The Estremoz marbles”.

⁴¹ Casal Moura, António, Cristina Carvalho, Isabel Almeida, João Gabriel Saúde, João Farinha Ramos, João Augusto, José Delgado Rodrigues, Jorge Carvalho, Luís Martins, Maria João Matos, Maria Machado, Maria José Sobreiro, Marta Peres, Nélson Martins, Nuno Bonito, Paulo Henriques, e Sofia Sobreiro. *Mármore e Calcários Ornamentais de Portugal*. S.l.: INETI – National Institute of Engineering, Technology and Innovation, 2007. ISBN 978-972-676-204-1; Lopes e Martins. “Global heritage stone”; Moreira. “Evolução geodinâmica dos sectores setentrionais da Zona de Ossa-Morena [...]”; Moreira, Noel, Jorge Pedro, José Francisco Santos, Nuno Inês, Alexandre Araújo, Rui Dias, Sara Ribeiro, José Romão, e José Mirão. “Effects of secondary late dolomitization on ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr isotopic ratio; examples from Ossa-Morena Zone carbonates”. In *Livro de Actas do XIV Congresso de Geoquímica dos Países de Língua Portuguesa, XIX Semana da Geoquímica*, 223-226. Vila Real: s.n., 2018; Moreira, Noel, Jorge Pedro, José Francisco Santos, Alexandre Araújo, Rui Dias, Sara Ribeiro, José Romão, e José Mirão. “⁸⁷Sr/⁸⁶Sr applied to age discrimination of the Palaeozoic carbonates of the Ossa-Morena Zone (SW Iberia Variscides)”. *International Journal of Earth Sciences (Geol Rundsch)*, no prelo. DOI: 10.1007/s00531-019-01688-9

destes minerais, em casos extremos, origina outra tipologia de rochas carbonatadas também presentes no anticlinal de Estremoz: os calcoxistos (desprovidos de interesse como rocha ornamental). Os minerais previamente referidos resultam do metamorfismo das impurezas presentes nos protólitos carbonatados, nomeadamente argilas dispersas nos calcários primários. Para além dos minerais previamente referidos, outros minerais acessórios, como o quartzo (o mais abundantes dos minerais siliciosos, podendo ultrapassar pontualmente os 2 %), os feldspatos *s.l.* e a turmalina (estes últimos geralmente vestigiais), podem estar também presentes nestes mármore⁴². A presença, embora rara, de óxidos e sulfuretos (geralmente pirite) está também reportada em alguns mármore⁴³, provavelmente associados aos processos diagenéticos e pós-diagenéticos, como seja a percolação de fluidos mineralizantes. Não raramente, reporta-se a presença de dolomite⁴⁴, geralmente resultante da transformação da calcite primária, com assimilação de magnésio na estrutura cristalina (geralmente associados à percolação de fluidos).

As variações cromáticas, tão características dos mármore, são o resultado destas suas “impurezas”. Apesar de constituído fundamentalmente por calcite, o mármore apresenta pequenas variações composicionais/mineralógicas, que lhe conferem a diversidade cromática e de padrões⁴⁵. A título de exemplo, exploram-se quatro variedades cromáticas distintas presentes nos Mármore de Estremoz:

(1) Os mármore branco e creme (Figs. 4A e 5A) são geralmente mármore com elevada pureza mineralógica e composicional, podendo, em muitos casos, ser constituídos por mais de 99 % de calcite.

⁴² Cabral, João M. Peixoto, Maria da Conceição Vieira, Paula M. Carreira, Maria Ondina. Figueiredo, Teresa Paula Pena, e A. Tavares. “Preliminary study on the isotopic and chemical characterization of marbles from Alto Alentejo (Portugal)”. In *Ancient Stones: Quarrying, Trade and Provenance. Interdisciplinary Studies on Stones and Stone Technology in Europe and Near East from the Prehistoric to the Early Christian Period*, ed. Marc Waelkens, Norman Herze, e Luc Moens, 191-198. Leuven: Leuven University Press, 1992; Lapuente e Turi. “Marbles from Portugal”; Casal Moura *et al.* *Mármore e Calcários Ornamentais de Portugal*; Lopes e Martins. “Global heritage stone”; Moreira. “Evolução geodinâmica dos sectores setentrionais da Zona de Ossa-Morena [...]”; Moreira *et al.* “⁸⁷Sr/⁸⁶Sr applied to age discrimination of the Palaeozoic carbonates [...]”.

⁴³ Casal Moura *et al.* *Mármore e Calcários Ornamentais de Portugal*; Lapuente e Turi. “Marbles from Portugal”; Lopes e Martins. “Global heritage stone”; Moreira. “Evolução geodinâmica dos sectores setentrionais da Zona de Ossa-Morena [...]”; Moreira *et al.* “⁸⁷Sr/⁸⁶Sr applied to age discrimination of the Palaeozoic carbonates [...]”.

⁴⁴ Casal Moura *et al.* *Mármore e Calcários Ornamentais de Portugal*; Lopes e Martins. “Global heritage stone”; Moreira. “Evolução geodinâmica dos sectores setentrionais da Zona de Ossa-Morena [...]”; Moreira *et al.* “⁸⁷Sr/⁸⁶Sr applied to age discrimination of the Palaeozoic carbonates [...]”.

⁴⁵ Lopes e Martins. “Global heritage stone”.

Figura 4 - Algumas das mais representativas variedades de mármore presentes no anticlinal de Estremoz (lajes de aproximadamente 1m²): (A) Mármore Branco; (B) Mármore Ruivina; (C) Mármore Rosa; (D) Mármore vergado, evidenciando a presença de dobras em níveis impuros.

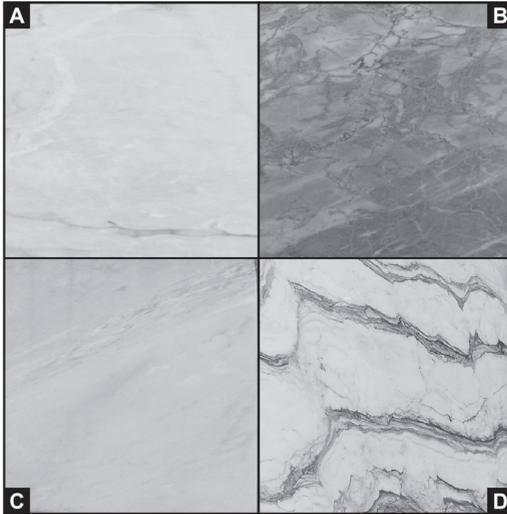
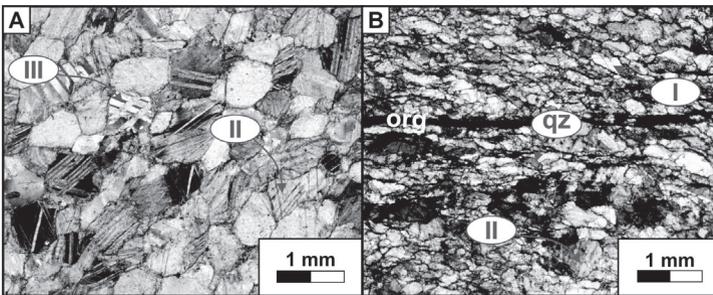


Figura 5 - Aspectos petrográficos e mineralógicos dos Mármore de Estremoz em lâmina delgada: (A) Mármore Branco de grão médio do anticlinal de Estremoz mostrado a sua extrema pureza, com maclas em calcite do tipo II e III; (B) Presença de matéria orgânica dispersa em calcite de grão médio a fino (maclas tipo I e II) num Mármore Ruivina do anticlinal de Estremoz, enfatizando-se ainda a presença de quartzo como mineralogia acessória.



(2) Os mármore do topo da sucessão, ou seja, os que apresentam tonalidades mais escuras (variável entre o negro e o cinza azulado), apresentam geralmente um conteúdo não negligenciável de matéria orgânica, que, embora em pouca quantidade, lhes confere as tonalidades escuras (Figs. 4B e 5B). Ocasionalmente, ocorrem bancadas com espessura centimétrica exclusivamente constituídas por material grafitoso (*e.g.*: Salgadas, Monte da Lagoa e Fonte da Moura).

(3) Os mármore rosas (Fig. 4C) apresentam geralmente um conteúdo considerável em Ti, Mn e Fe⁴⁶. De acordo com os autores, estes mármore estão intimamente relacionados com a presença de níveis mineralogicamente mais impuros de cor esverdeada, cujos protólitos seriam rochas vulcânicas (cinzas e piroclastos).

(4) Os mármore apresentam habitualmente vergadas (Fig. 4D; bandas de tonalidades e composições distintas), que lhes conferem padrões va-

⁴⁶ Lopes e Martins. "Global heritage stone".

riáveis e característicos. As vergadas resultam de níveis com uma maior proporção de impurezas mineralógicas. Estas vergadas podem ter tonalidades distintas, desde o verde (níveis ricos em clorite e, por vezes, fuchsite – moscovite verde escura com Cr –, que confere uma cor verde clara exclusiva), passando pelo creme (níveis ricos em sericite/moscovite ± quartzo), até ao negro (níveis ricos em matéria orgânica; Fig. 5B).

Como referido, parte desta variação cromática pode ser o resultado das ligeiras variações na composição química dos mármore. Importa, contudo, referir a baixa dispersão do quimismo destas rochas, com percentagens de CaO geralmente superiores a 50 % e uma baixa percentagem dos restantes óxidos, geralmente <5 % (SiO₂ [4.67-0.12], Al₂O₃ [1.69-0.10] e MgO [2.76-0.04]), como os óxidos mais abundantes⁴⁷. A restante composição da rocha é constituída por CO₂, que se perde por volatilização no processo analítico de determinação da composição da rocha.

Uma outra característica típica dos Mármore de Estremoz é a presença de maclas do tipo II e III⁴⁸, resultantes da recristalização dos cristais de calcite durante o episódio metamórfico. Estas maclas são indicativas de temperaturas máximas de metamorfismo que não ultrapassam os 300° C⁴⁹.

3.2. Caracterização isotópica

A caracterização isotópica de mármore tem sido utilizada como uma ferramenta diferenciadora dos diversos tipos de mármore utilizados em época romana. Estas assinaturas isotópicas têm servido, em conjunto com outros dados (petrográficos, geoquímicos e de catodoluminescência), como uma “impressão digital” para a proveniência dos diversos mármore utilizados em contextos arqueológicos. Vários foram os trabalhos em que as assinaturas de mármore colhidos *in situ*⁵⁰ foram comparadas com as assinaturas

⁴⁷ Casal Moura *et al.* *Mármore e Calcários Ornamentais de Portugal*; Menningen *et al.* “The Estremoz marbles”.

⁴⁸ Passchier, Cees W., e Rodolph A. J. Trouw. *Microtectonics*. Berlin: Springer, 2.^a ed., 2005.

⁴⁹ Lopes. “Contribuição para o conhecimento tectono-estratigráfico do Nordeste Alentejano [...]”; Moreira. “Evolução geodinâmica dos sectores setentrionais da Zona de Ossa-Morena [...]”; Moreira *et al.* “⁸⁷Sr/⁸⁶Sr applied to age discrimination of the Palaeozoic carbonates [...]”.

⁵⁰ Cabral *et al.* “Preliminary study on the isotopic and chemical characterization of marbles [...]”; Cabral *et al.* “Petrographic and isotopic characterization of marble from the Estremoz anticline”; Lapuente e Turi. “Marbles from Portugal”; Pérez, Aureli Álvarez, Marc Mayér Olivé, e Isabel Rodà de Llanza. “La aplicación del método de isotopos estables a mármore explotados en época romana en la mitad sur de la Península Ibérica”. *AEspA* 71 (1998): 103-112; Lapuente *et al.* “Marbles from roman Hispania”; Morbidelli *et al.* “Roman quarries of the Iberian Peninsula”; Origlia *et al.* “Mineralogical, petrographic and geochemical characterisation [...]”; Taelman *et al.* “Roman marble from Lusitania”; Moreira.

de mármore utilizados em peças arqueológicas/arquitetónicas⁵¹, tentando assim perceber-se a proveniência provável das peças.

As primeiras aproximações realizadas neste sentido, nos mármore da ZOM, foram feitas utilizando dois isótopos estáveis (Carbono 13 e Oxigénio 18), nomeadamente uma medida da razão isotópica entre estes isótopos e o isótopo mais abundante desse elemento (Carbono 12 e Oxigénio 16, respetivamente). Esta aproximação permitiu em muitos casos a diferenciação entre os Mármore de Estremoz e os mármore mediterrânicos (por exemplo: Carrara ou Mármore Béticos), mostrando que a proveniência provável do mármore seria o anticlinal de Estremoz⁵². Contudo, esta aproximação *per se* não permitiria mostrar a dissimilitude entre os Mármore de Estremoz e um conjunto de outros mármore “clássicos”, nomeadamente os restantes mármore da ZOM, que apresentam assinaturas isotópicas muito semelhantes. Em trabalhos mais recentes, foi adotado um segundo método isotópico. Nesta metodologia, é utilizada uma razão isotópica entre dois isótopos estáveis de Estrôncio (⁸⁶Sr e ⁸⁷Sr). Esta razão é considerada estável ao longo do tempo, refletindo a assinatura da água do mar aquando da formação dos calcários que irão dar origem aos mármore, embora recentemente se tenha concluído que a mesma é influenciada por alguns processos geológicos, como a dolomitização secundária e o metamorfismo de alta temperatura⁵³. Contudo, este método tem permitido uma melhor diferenciação entre os mármore mediterrânicos e os mármore da ZOM, permitindo ainda alguma diferenciação interna entre os mármore da ZOM⁵⁴.

Convém, todavia, ressaltar que tais estudos isotópicos só têm relevância quando cruzados com outras tipologias de estudos, uma vez que

“Evolução geodinâmica dos sectores setentrionais da Zona de Ossa-Morena [...]”; Moreira *et al.* “⁸⁷Sr/⁸⁶Sr applied to age discrimination of the Palaeozoic carbonates [...]”.

⁵¹ *E.g.*: Cabral *et al.* “Petrographic and isotopic characterization of marble from the Estremoz anticline”; Cabral *et al.* “A proveniência do mármore dos capitéis do templo romano de Évora”; Lapuente *et al.* “Marbles from Roman Hispania”; Lapuente *et al.* “White marble sculptures from the National Museum of Roman Art (Mérida, Spain)”; Tucci *et al.* “Italica (Seville, Spain): use of local marble in Augustan age”; Origlia *et al.* “Mineralogical, petrographic and geochemical characterisation [...]”; Taelman *et al.* “Roman marble from Lusitania”.

⁵² *E.g.*: Cabral *et al.* “Preliminary study on the isotopic and chemical characterization of marbles [...]”; Lapuente *et al.* “Marbles from roman Hispania”.

⁵³ Moreira. “Evolução geodinâmica dos sectores setentrionais da Zona de Ossa-Morena [...]”; Moreira *et al.* “Effects of secondary late dolomitization on ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr isotopic ratio [...]”; Moreira *et al.* “⁸⁷Sr/⁸⁶Sr applied to age discrimination of the Palaeozoic carbonates [...]”.

⁵⁴ Morbidelli *et al.* “Roman quarries of the Iberian Peninsula”; Taelman *et al.* “Roman marble from Lusitania”; Moreira. “Evolução geodinâmica dos sectores setentrionais da Zona de Ossa-Morena [...]”; Moreira *et al.* “Effects of secondary late dolomitization on ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr isotopic ratio [...]”; Moreira *et al.* “⁸⁷Sr/⁸⁶Sr applied to age discrimination of the Palaeozoic carbonates [...]”.

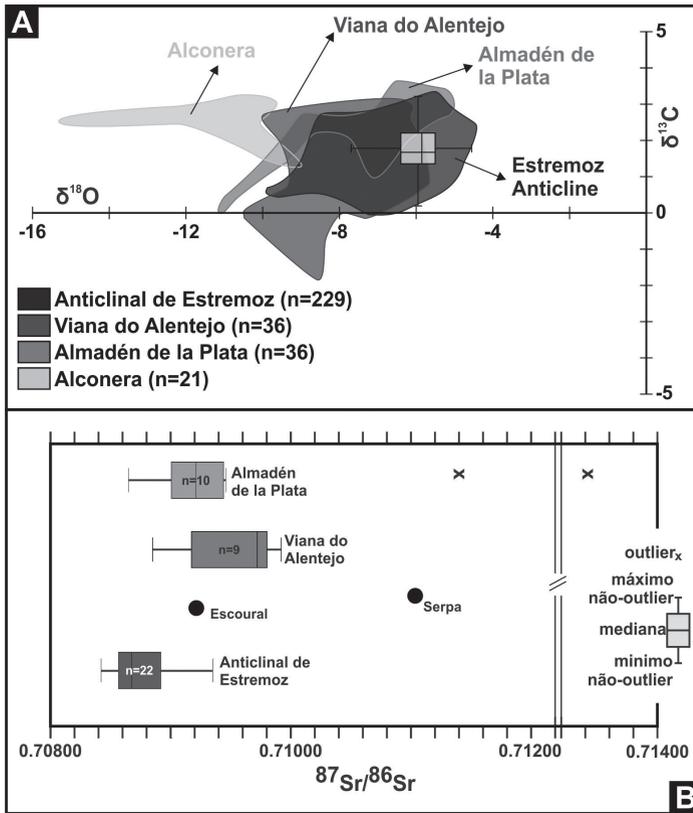
apenas com o controlo cuidadoso das características petrográficas destes mármore é que os dados isotópicos podem ser corretamente interpretados. Após esta pequena análise histórica, segue-se uma caracterização isotópica genérica dos Mármore de Estremoz, tendo em conta os dados publicados por diversos autores, que se apresentam sintetizados na Tabela 1 e na Figura 6.

Os Mármore de Estremoz apresentam sempre valores de $\delta^{13}\text{C}$ positivos (entre 0,10 e 3,20) e valores de $\delta^{18}\text{O}$ negativos (entre -4,56 e -9,80). Contudo,

Tabela 1

	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{18}\text{O}$	$87\text{Sr}/86\text{Sr}$
Mínimo	0,10	-9,80	0,70842
Mínimo não outlier	0,20	-7,70	
Q1	1,36	-6,40	0,70856
Mediana	1,66	-5,86	0,70867
Q3	2,19	-5,51	0,70892
Máximo não outlier	3,20	-4,56	0,70949
Máximo			
Nº outliers	1	12	-
Média	1,74	-6,07	0,70881
Desvio Padrão amostral	0,57	0,84	0,00032
N	229	229	22

Tabela 1 – Tabela síntese dos dados isotópicos existentes para os mármore do anticlinal de Estremoz (Cabral et al., 1992; 2001; Lapuente & Turi, 1995; Perez et al., 1998; Lapuente et al., 2000; Morbidelli et al., 2007; Origlia et al., 2011; Taelman et al., 2013; Moreira, 2017; Moreira et al., in press).



a análise dos dados publicados⁵⁵ mostra que nem todos os dados obtidos têm relevância estatística. O conjunto de 229 análises do par $\delta^{13}\text{C}-\delta^{18}\text{O}$ mostra que alguns dos valores se comportam como *outliers* (ou seja, dados isolados; Tab. 1 e Fig. 6A). No caso do $\delta^{13}\text{C}$, apenas um valor é considerado *outlier*, embora não seja um *outlier* severo, aproximando-se do mínimo não *outlier* (Tab. 1). Já no caso do $\delta^{18}\text{O}$, 12 resultados são considerados como *outliers*, alguns dos quais afastando-se de forma significativa do mínimo não *outlier* (Tab. 1).

Figura 6 – Caracterização isotópica dos Mármore de Estremoz e comparação com as assinaturas isotópicas de outros mármore utilizados em Época Romana: (A) $\delta^{13}\text{C}$ vs $\delta^{18}\text{O}$ (dados isotópicos de Cabral et al., 1992; 2001; Lapuente & Turi, 1995; Perez et al., 1998; Lapuente et al., 2000; Morbidelli et al., 2007; Origlia et al., 2011); (B) razão isotópica $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ (dados isotópicos obtidos por Morbidelli et al., 2007; Taelman et al., 2013; Moreira, 2017; Moreira et al., in press).

⁵⁵ Cabral et al. “Petrographic and isotopic characterization of marble from the Estremoz anticline”; Cabral et al. “A proveniência do mármore dos capitéis do templo romano de Évora”; Lapuente e Turi. “Marbles from Portugal”; Pérez et al. “La aplicación del método de isotopos estables a mármoles [...]”; Lapuente et al. “Marbles from roman Hispania”; Morbidelli et al. “Roman quarries of the Iberian Peninsula”; Origlia et al. “Mineralogical, petrographic and geochemical characterisation [...]”.

No que respeita aos dados relativos à razão $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ (Fig. 6B), os dados são mais precisos com baixa variação ($0,70881 \pm 0,00032$; Tabela 1). Neste caso, o estudo estatístico sobre a totalidade de dados existentes⁵⁶ não revela a presença de *outliers*, com valores de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ variando entre 0,70842 e 0,70949, sendo a amplitude interquartil de 0,00036 (0,70856–0,70892) e a mediana de 0,70867.

4. MÁRMORES DE ESTREMOZ NO CONTEXTO DOS MÁRMORES “HISTÓRICOS” NA ZOM

A análise das sucessões estratigráficas da ZOM, estabelecidas localmente e organizadas em sectores distintos, permite a identificação de quatro episódios de sedimentação carbonatada marinha principais durante o Paleozoico⁵⁷: Câmbrico Inferior, Ordovício Superior, Silúrico Superior e Devónico Inferior a Médio⁵⁸.

O episódio do Câmbrico Inferior (Série 2)⁵⁹ é o mais bem representado cartograficamente. A idade está bem constrangida em Espanha, tendo em conta o conteúdo fóssilífero das Formações de Alconera e de Pedroche⁶⁰, havendo em Portugal dados biostratigráficos do sector Alter do Chão-Elvas (Formação Carbonatada de Elvas) que indicam a mesma idade, embora a informação seja mais fragmentária⁶¹. Este episódio é caracterizado por uma

⁵⁶ Morbidelli *et al.* “Roman quarries of the Iberian Peninsula”; Taelman *et al.* “Roman marble from Lusitania”; Moreira. “Evolução geodinâmica dos sectores setentrionais da Zona de Ossa-Morena [...]”; Moreira *et al.* “ $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ applied to age discrimination of the Palaeozoic carbonates [...]”.

⁵⁷ Moreira *et al.* “Os episódios carbonatados do Câmbrico Inferior e Devónico Médio da Zona de Ossa-Morena [...]”.

⁵⁸ Robardet, Michel, e Juan C. Gutiérrez-Marco. “The Ordovician, Silurian and Devonian sedimentary rocks of the Ossa-Morena Zone (SW Iberian Peninsula, Spain)”. *J. Iber. Geol.* 30 (2004): 73–92; Oliveira *et al.* “Traços gerais da evolução tectono-estratigráfica da Zona de Ossa Morena [...]”; Moreira, Noel, e Gil Machado. “Devonian sedimentation in Western Ossa-Morena Zone and its geodynamic significance”. In *The Geology of Iberia: a Geodynamic Approach* (volume 2: *The Variscan Cycle*), ed. Cecílio Quesada e José Tomás Oliveira. Berlin: Springer, Regional Geology Review series, *in press*.

⁵⁹ Gozalo *et al.* “The Cambrian of the Iberian Peninsula: an overview”; Creveling, Jessica R., David Fernández-Remolar, Marta Rodríguez-Martínez, Silvia Menéndez, Kristin D. Bergmann, Benjamin C. Gill, John Abelson, Ricardo Amils, Bethany L. Ehlmann, Diego C. García-Bellido, John P. Grotzinger, Christian Hallmann, Kathryn M. Stack, e Andrew H. Knoll. “Geobiology of a lower Cambrian carbonate platform, Pedroche Formation, Ossa Morena Zone, Spain”. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 386 (2013): 459–478.

⁶⁰ Liñan, Eladio. “Introducción al problema de la paleogeografía del Cámbrico de Ossa Morena”. *Cuadernos do Lab. Xeolóxico de Laxe* 8 (1984): 283–314; Liñan, Eladio, e Cecílio Quesada. “Ossa-Morena Zone: stratigraphy”. In *Pre-Mesozoic Geology of Iberia*, editado por Robert David Dallmeyer e Enrique Martínez García, 229–266. Berlin: Springer-Verlag, 1990; Gozalo *et al.* “The Cambrian of the Iberian Peninsula: an overview”; Creveling *et al.* “Geobiology of a lower Cambrian carbonate platform [...]”.

⁶¹ Oliveira *et al.* “Traços gerais da evolução tectono-estratigráfica da Zona de Ossa Morena [...]”; vide também as referências inclusas.

sucessão carbonatada, com calcários e dolomias, com intercalações de rochas vulcânicas e siliciclásticas subordinadas⁶².

Contudo, em outros locais as características texturais primárias e fossilíferas destes carbonatos foram totalmente obliteradas, em consequência dos processos tectono-metamórficos ocorridos durante a Orogenia Varisca, dando origem a unidades essencialmente compostas por mármore (calcíticos e dolomíticos). São exemplo as sucessões de Estremoz, Viana do Alentejo-Alvito, Serpa, Trigaches-São Brissos, Vila Verde de Ficalho ou Almadén de la Plata (Espanha). Nestes casos, a atribuição da idade câmbria é baseada em correlações entre as diferentes sucessões litoestratigráficas, por vezes com auxílio de dados geoquímicos⁶³. Convém, no entanto, referir que no caso da sucessão de Estremoz, duas unidades de mármore são identificadas (a basal, de natureza dolomítica, e a de topo, de natureza calcítica, de onde são extraídos os Mármore de Estremoz), sendo a idade da sucessão de topo alvo de debate (Complexo Vulcano-Sedimentar Carbonatado de Estremoz)⁶⁴.

De todos os mármore câmbrios da ZOM, alguns ganham importância redobrada durante a ocupação romana da Península Ibérica. Para além dos mármore do anticlinal de Estremoz, encontram-se registos arqueológicos e arquitetónicos que mostram a utilização dos mármore de Trigaches-São Brissos, Viana do Alentejo, Almadén de la Plata e Alconera⁶⁵, seguidamente descritos.

⁶² E.g.: Oliveira *et al.* “Traços gerais da evolução tectono-estratigráfica da Zona de Ossa Morena [...]”; Sánchez-García, Teresa, Félix Bellido, Manuel Francisco Pereira, Martim Chichorro, Cecílio Quesada, Christian Pin, e José Brandão Silva. “Rift-related volcanism predating the birth of the Rheic Ocean (Ossa-Morena Zone, SW Iberia)”. *Gondwana Research* 17 (2010): 392-407. DOI: 10.1016/j.gr.2009.10.005; Pereira *et al.* “North-Gondwana assembly, break up and paleogeography”; Araújo *et al.* “As regiões central e sul da Zona de Ossa-Morena”; Moreira, Noel, Rui Dias, Jorge Pedro, e Alexandre Araújo. “Interferência de fases de deformação varisca na estrutura de Torre de Cabedal; sector de Alter do Chão-Elvas na Zona de Ossa-Morena”. *Comunicações Geológicas* 101, especial I (2014): 279-282.

⁶³ Oliveira *et al.* “Traços gerais da evolução tectono-estratigráfica da Zona de Ossa Morena [...]”; Pereira *et al.* “North-Gondwana assembly, break up and paleogeography”; Araújo *et al.* “As regiões central e sul da Zona de Ossa-Morena”; Moreira. “Evolução geodinâmica dos sectores setentrionais da Zona de Ossa-Morena [...]”; Puellas, Pablo, Benito Ábalos, José Ignacio Gil Ibarguchi, e Sergio Fernández-Armas. “Petrofabric of forsterite marbles and related rocks from a low-pressure metamorphic terrain (Almadén de la Plata massif, Ossa-Morena Zone, SW Spain) and its kinematic interpretation”. *Journal of Structural Geology* 117 (2018): 58-80. DOI: 10.1016/j.jsg.2018.09.006.

⁶⁴ Piçarra e Le Menn. “Ocorrência de crinoides em mármore [...]”; Piçarra. “Estudo estratigráfico do sector de Estremoz-Barrancos [...]”; Piçarra e Sarmiento. “Problemas de posicionamento estratigráfico dos calcários paleozoicos [...]”; Pereira *et al.* “North-Gondwana assembly, break up and paleogeography”; Moreira. “Evolução geodinâmica dos sectores setentrionais da Zona de Ossa-Morena [...]”.

⁶⁵ Fusco e Mañas. *Mármore de Lusitania*; Morbidelli *et al.* “Roman quarries of the Iberian Peninsula”; Taelman *et al.* “Roman marble from Lusitania”.

– Trigaches–São Brissos

Foram explorados, provavelmente, desde o século I, embora a dispersão pelo território da Lusitânia seja menor, quando comparada com a dos mármoreos do anticlinal de Estremoz. Estes mármoreos tiveram uma ampla utilização em cidades proximais da província da Lusitânia, como Pax Julia (Beja) e Myrtilis (Mértola), com aplicação sob a forma de sepulturas e lápides funerárias e, mais raramente, como esculturas⁶⁶. Estes mármoreos apresentam características muito próprias e diferenciadoras, como sejam as suas tonalidades cinzento-escuras a azuladas e a sua elevada granulometria (comumente superior a 1 mm)⁶⁷. O seu grão grosseiro faz com que a sua utilização em estatuária seja rara, pois seria difícil o trabalho do mármore devido à dimensão dos cristais⁶⁸. Ferreira *et al.*⁶⁹ descrevem a presença de variedades impuras em São Brissos, também elas de grão grosseiro, enfatizando a presença de olivina (forsterite), bem como um conjunto de minerais ferromagnesianos. Outra particularidade, exclusiva destes mármoreos, é o cheiro fétido a ovos podres (SO₂) que libertam quando percutidos.

– Viana do Alentejo

Estes mármoreos têm também dispersão pela província da Lusitânia, sendo utilizados maioritariamente em altares e em lápides honoríficas⁷⁰. Também apresentam características muito diferenciadoras: granulidade média a grosseira (comumente superior a 1 mm), sendo que o denominado Verde Viana (nas suas variedades escura e ornamentada/vergada) tem características tipicamente distintivas dos demais mármoreos da ZOM⁷¹. Os mármoreos de Viana são geralmente maciços, embora surjam por vezes mármoreos foliados, resultantes da presença de um

⁶⁶ Fusco e Mañas. *Mármoles de Lusitania*.

⁶⁷ Matos, João Xavier, José Manuel Piçarra, Zélia Pereira, Ruben Dias, e Sophie Preteseille. “The Beja public geological trail – geology in the garden”. In *International Congress Arouca 2011: Geotourism in Action*, 59–62. S.l.: Arouca Geopark, 2011; Carvalho *et al.* “Portuguese ornamental stones”.

⁶⁸ Fusco e Mañas. *Mármoles de Lusitania*.

⁶⁹ Ferreira, Pedro, Rita Caldeira, José Manuel Piçarra, Ruben P. Dias, Rogério Calvo, Teresa Arriaga Cunha, Ana Margarida Pestana, João Pais, e Ricardo Ressurreição. “Cartografia geológica sistemática para a edição da folha 43-A, Cuba (carta geológica de Portugal, escala 1:50 000) – ponto da situação”. In *Geodinâmica e Tectónica Global; A Importância da Cartografia Geológica: Livro de Actas da 9.ª Conferência Anual do GGET-SGP*, editado por Noel Moreira, Rui Dias e Alexandre Araújo, 55–58. Estremoz: Polo de Estremoz da Universidade de Évora, 2013. ISBN: 978-989-95398-3-9.

⁷⁰ Fusco e Mañas. *Mármoles de Lusitania*.

⁷¹ Carvalho *et al.* “Portuguese ornamental stones”.

bandado composicional⁷². Os mármoreos podem ser dolomíticos ou calcíticos, com uma mineralogia acessória muito diversificada, incluindo⁷³: quartzo, olivina, serpentina, biotite-flogopite, anfíbola (tremolite), piroxena (diópsido), feldspatos *s.l.*, clorite, epidoto, talco, granada e esfena. Pontualmente, destaca-se a presença de óxidos de ferro (magnetite e hematite) e sulfuretos.

– Almadén de la Plata

Estes mármoreos da ZOM apresentam evidências de exploração durante a época romana⁷⁴, localizando-se na província romana da Bética (Fig. 1). São mármoreos grosseiros (dimensão dos cristais superior a 1 mm), geralmente vergados, com variedades brancas, cinzentas, rosas e esverdeadas⁷⁵. Geralmente de composição calcítica (80-97 %), com percentagem de dolomite que pode atingir valores consideráveis (superiores a 10 %), existem também variedades maioritariamente dolomíticas⁷⁶. Tal como em Viana do Alentejo, estes mármoreos apresentam uma mineralogia acessória diversificada (principalmente nas variedades bandadas verdes e cinzentas), embora a mineralogia acessória seja raramente superior a 5 %, contendo comumente quartzo, olivina, piroxena (diópsido), biotite-flogopite, espinela, titanite, moscovite, serpentina, feldspatos *s.l.*, anfíbola (tremolite), talco, óxidos de ferro e clorite⁷⁷. É comum haver mais do que uma geração de carbonatos, nomeadamente nos mármoreos dolomíticos⁷⁸.

⁷² Gomes, Elsa, e Paulo Emanuel Fonseca. “Eventos metamórfico/metassomáticos tardi-variscos na região de Alvitto (Alentejo, sul de Portugal)”. *Cadernos do Lab. Xeolóxico de Laxe* 31 (2006): 67-85; Rosas, Filipe, Fernando Ornelas Marques, Michel Ballèvre, e Colombo Tassinari “Geodynamic evolution of the SW Variscides: orogenic collapse shown by new tectonometamorphic and isotopic data from western Ossa-Morena Zone, SW Iberia”. *Tectonics* 27, TC6008 (2008). DOI:10.1029/2008TC002333.

⁷³ Gomes e Fonseca. “Eventos metamórfico/metassomáticos tardi-variscos [...]”; Moreira. “Evolução geodinâmica dos sectores setentrionais da Zona de Ossa-Morena [...]”.

⁷⁴ Fortes *et al.* “Las canteras romanas de mármol de Almadén de la Plata (Sevilla)”.

⁷⁵ Ontiveros, Esther, José Beltrán Fortes, Ruth Taylor, Oliva Rodríguez, e Pedro A. López. “Petrography and elemental geochemistry of the roman quarries of Los Castillejos and Los Covachos (Almadén De La Plata, Seville, Spain). Outcrops and semi-elaborated products”. In *Interdisciplinary Studies on Ancient Stone. Proceedings of the ASMOSIA IX Conference (Tarragona, 2009)*, editado por Anna Gutiérrez Garcia-M., María Pilar Lapuente e Isabel Rodà de Llanza, 407-418. Tarragona: Institut Català d’Arqueologia Clàssica, 2012. ISBN: 978-84-939033-8-1; Puellas *et al.* “Petrofabric of forsterite marbles and related rocks [...]”.

⁷⁶ Puellas *et al.* “Petrofabric of forsterite marbles and related rocks [...]”.

⁷⁷ Ontiveros *et al.* “Petrography and elemental geochemistry of the roman quarries [...]”; Puellas *et al.* “Petrofabric of forsterite marbles and related rocks [...]”.

⁷⁸ Puellas *et al.* “Petrofabric of forsterite marbles and related rocks [...]”.

– Alconera (Zafra)

Os mármore são claramente distintos dos previamente caracterizados. Nesta região foram também encontradas evidências de exploração durante a época romana, embora grande parte dos registos deva ter sido apagada pelas explorações mais recentes⁷⁹. Os Mármore de Alconera apresentam sempre granularidade fina e incluem um conjunto de litótipos característicos, desde os mármore calcíticos de tonalidades aguerridas (por vezes xistentos e pontualmente com a calcite muito recristalizada) até aos litótipos dolomíticos. Quanto às suas tonalidades, são mármore muito heterogéneos, com cores variáveis entre as variedades mais claras (entre o branco e o cinzento-pálido) até às mais intensas (cinzentos escuros, rosados e púrpuras). Tal como os mármore de Almadén de la Plata, estes mármore ficam localizados na província da Bética (Fig. 1); contudo, devido à sua proximidade e à presença de importantes vias de comunicação que passavam nas proximidades, são também amplamente utilizados (maioritariamente sob a forma de colunas) na província da Lusitânia, quer em Augusta Emerita (Mérida), mas também em Itálica (Santipone, Sevilha) e em Badajoz⁸⁰. Como referido, estes mármore são afetados por um metamorfismo de muito baixa temperatura⁸¹, o que permitiu a preservação e a identificação de um conjunto de características texturais primárias, como sejam as fácies recifais com arqueociatos e estromatólitos, mas também estruturas microbianas e algais, possibilitando, de acordo com o conteúdo faunístico, não só datar a formação como sendo do Cámbrico, como também corroborar a natureza marinha de plataforma carbonatada pouco profunda⁸².

No que respeita à comparação dos dados isotópicos obtidos no anticlinal de Estremoz com os restantes mármore clássicos, importa desde logo referir que os mármore de Trigaches-São Brissos são os únicos sem qualquer tipo de estudo isotópico. Contudo, e tendo em conta o enquadramento prévio, é possível realizar uma comparação dos dados obtidos para os mármore do anticlinal de Estremoz com os dados existentes para os restantes mármore clássicos da ZOM, nomeadamente Alconera, Viana do Alentejo e Almadén de la Plata.

No que respeita ao par $\delta^{13}\text{C}-\delta^{18}\text{O}$, os dados existentes mostram uma sobreposição quase total dos dados do anticlinal de Estremoz com os dados

⁷⁹ Fusco e Mañas. *Mármore de Lusitania*.

⁸⁰ Fusco e Mañas. *Mármore de Lusitania*.

⁸¹ López-Munguira e Nieto García 2004.

⁸² Por exemplo: Liñan. “Introducción al problema de la paleogeografía del Cámbrico de Ossa Morena”; Liñan, Eladio. “Los pisos estratigráficos y la paleogeografía del Cámbrico en España: una visión retrospectiva”. *Geogaceta* 20, n.º 7 (1996): 1661-1664.

obtidos nos mármore de Viana do Alentejo e Almadén de la Plata. Exceção é feita para Alconera, que apresenta uma assinatura ligeiramente distinta, com valores de $\delta^{18}\text{O}$ geralmente mais baixos que os restantes mármore clássicos (Fig. 6A), embora a amostra seja menor. Uma das possíveis explicações para a uniformização dos valores de $\delta^{13}\text{C}$ e de $\delta^{18}\text{O}$ nos Mármore de Estremoz, Viana do Alentejo e Almadén de la Plata é a uniformização do sistema por influência dos processos metamórficos, o que também explicaria o destaque dos mármore de Alconera, onde o metamorfismo é de muito baixo grau.

Em relação à razão $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ nos mármore da ZOM, apenas os mármore de Almadén de la Plata e Viana do Alentejo possuem dados para comparação com os obtidos para os Mármore de Estremoz. A análise dos dados mostra que, para ambos os casos, as razões $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ são consistentemente mais elevadas que as obtidas para os Mármore de Estremoz. Na verdade, os limites de sobreposição entre os dados são bastante baixos, com apenas cerca de 25 % dos dados a sobreporem-se. No caso dos mármore de Almadén, a análise do conjunto da amostra de dados mostra ainda a presença de dois resultados anormalmente altos, considerados com *outliers* no conjunto dos dados (Fig. 6B).

Os mármore de Trigaches, Viana do Alentejo e Almadén de la Plata (todos eles localizados nos domínios meridionais da ZOM) apresentam características texturais e composicionais que os distinguem desde logo dos mármore do anticlinal de Estremoz. Todos estes mármore foram afetados por um metamorfismo de alta temperatura, que é responsável não só pelo aumento do tamanho do grão (são todos mármore de grão médio a grosseiro), como também pela mineralogia mais diversificada, quando comparada com os mármore do anticlinal de Estremoz⁸³, e que inclui piroxena e olivina, algo que é comum em mármore de alta temperatura⁸⁴. Foi recentemente proposto que o metamorfismo de alta temperatura seria capaz de provocar alterações na razão isotópica de estrôncio primária, por interação entre os mármore com fluidos metamórficos de origem crustal⁸⁵. Assim, será de pressupor que os már-

⁸³ Gomes e Fonseca. “Eventos metamórfico/metassomáticos tardi-variscos [...]”; Ontiveros *et al.* “Petrography and elemental geochemistry of the roman quarries [...]”; Ferreira *et al.* “Cartografia geológica sistemática [...]”; Puellas *et al.* “Petrofabric of forsterite marbles and related rocks [...]”; Moreira *et al.* “ $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ applied to age discrimination of the Palaeozoic carbonates [...]”.

⁸⁴ Bucher, Kurt, e Rodney Grapes. *Petrogenesis of Metamorphic Rocks*. S.l.: Springer-Verlag, 8.ª ed., 2011.

⁸⁵ Moreira. “Evolução geodinâmica dos sectores setentrionais da Zona de Ossa-Morena [...]”; Moreira *et al.* “Effects of secondary late dolomitization on $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ isotopic ratio [...]”; Moreira *et al.* “ $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ applied to age discrimination of the Palaeozoic carbonates [...]”.

mores dos sectores mais meridionais da ZOM apresentem, todos eles (inclusive os de Trigaches), valores mais elevados da razão $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, quando comparados com os Mármore de Estremoz, que terão uma assinatura próxima da primária⁸⁶. Estes dados estão também de acordo com as razões obtidas para outros mármore presentes nos domínios meridionais da ZOM, como sejam os mármore de Serpa e do Escoural (Fig. 6B), com enquadramento geológico semelhante. Por outro lado, apesar da inexistência de dados em Alconera, será de esperar que esses mármore apresentem valores da razão $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ mais próximos da assinatura primária identificada não só nos Mármore de Estremoz, mas também em unidades correlacionáveis da ZOM, como seja a Formação Carbonatada de Elvas⁸⁷. Contudo, as suas características petrográficas são claramente distintas, permitindo assim a sua diferenciação dos demais mármore da ZOM.

5. EXPLORAÇÃO DOS MÁRMORES DE ESTREMOZ EM TEMPOS HISTÓRICOS; DADOS E MODELO DE EXPLORAÇÃO

A ocupação do território não é aleatória, estando condicionada pelos comportamentos e/ou necessidades das comunidades. Tal facto é válido desde os tempos mais remotos até à atualidade. Esta ocupação busca geralmente locais com elevada beleza estética, importância estratégica do ponto de vista defensivo e/ou, inevitavelmente, abundância de recursos naturais, sejam eles agrícolas, hídricos ou geológicos.

O Triângulo do Mármore é extremamente rico em vários destes pressupostos, com claro destaque para a abundância de recursos naturais, nomeadamente os mármore e a água. Como mencionado, os Mármore de Estremoz são explorados pelo menos desde a Antiguidade clássica, como se comprova pela utilização destes mármore em diversas peças arquitetónicas espalhadas pelo Império Romano⁸⁸.

⁸⁶ Moreira. “Evolução geodinâmica dos sectores setentrionais da Zona de Ossa-Morena [...]”; Moreira *et al.* “Effects of secondary late dolomitization on $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ isotopic ratio [...]”; Moreira *et al.* “ $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ applied to age discrimination of the Palaeozoic carbonates [...]”.

⁸⁷ Moreira. “Evolução geodinâmica dos sectores setentrionais da Zona de Ossa-Morena [...]”; Moreira *et al.* “Effects of secondary late dolomitization on $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ isotopic ratio [...]”; Moreira *et al.* “ $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ applied to age discrimination of the Palaeozoic carbonates [...]”.

⁸⁸ *E.g.*: Cabral *et al.* “Petrographic and isotopic characterization of marble from the Estremoz anticline”; Cabral *et al.* “A proveniência do mármore dos capitéis do templo romano de Évora”; Morbidelli *et al.* “Roman quarries of the Iberian Peninsula”; Tucci *et al.* “Italica (Seville, Spain): use of local marble in Augustan age”; Lapuente *et al.* “White marble sculptures from the National Museum of Roman Art (Mérida, Spain)”; Origlia *et al.* “Mineralogical, petrographic and geochemical characterisation [...]”; Taelman *et al.* “Roman marble from Lusitania”.

Segundo Fusco e Mañas⁸⁹, a explosão da utilização do mármore no Império Romano inicia-se com o imperador Augusto (27 a.C. a 14 d.C.). No caso concreto dos Mármore de Estremoz, esta exploração deverá ter começado na primeira metade do século I d.C., pouco depois da criação da província da Lusitânia, devido à necessidade de materiais para a magnífica construção de Augusta Emerita e de outras cidades da Lusitânia⁹⁰ (Fig. 1). O anticlinal de Estremoz afirmou-se desde logo como um dos principais (se não o principal) polos abastecedores de toda a província, contribuindo com toda a diversidade de mármore ali presentes: os mármore brancos, rosas, vergados e o ruivina foram explorados e difundidos por toda a província.

Pela importância e dispersão do Mármore de Estremoz, pressupõe-se a existência de um *pagus marmorarius* no anticlinal de Estremoz, direcionado para a exploração deste recurso estratégico em época romana, e que toda a exploração seria controlada pelo imperador e pela sua família, que assegurava a sua dispersão por todo o território e o abastecimento à capital da província⁹¹. A atividade extrativa na região seria, sem dúvida, uma das mais importantes atividades económicas da região, concentrando a população. Carneiro⁹² refere inclusive que os perfis de organização do povoamento na zona do anticlinal de Estremoz são um pouco distintos das tradicionais *villae* romanas; segundo o autor, seriam possivelmente povoações agrupadas relacionadas com a extração e o trabalho do mármore.

De acordo com Fusco e Mañas⁹³, as pedreiras desta região deveriam ser de grande dimensão, julgando pelo conjunto de achados arqueológicos com mármore (de proveniência provável) do anticlinal de Estremoz. Contudo, grande parte das evidências das pedreiras romanas não chegou até aos dias de hoje, pois foram obliteradas pelas explorações posteriores (que se prolongam de forma clara desde a época medieval à atualidade)⁹⁴, apagando assim as evidências de exploração antiga⁹⁵. No entanto, alguns vestígios dessa exploração e atividade durante a época romana chegaram até aos dias de hoje. Exemplo disso são: (1) os achados da Herdade da Vigária (Vila Viçosa), onde foram encontradas evidências de exploração, bem como várias peças em estado de produção (coluna, sarcófago e até esboços de esculturas)⁹⁶ e (2) vestígios da exploração romana de mármore *in situ*, em excelente estado de

⁸⁹ *Mármore de Lusitania*.

⁹⁰ Fusco e Mañas. *Mármore de Lusitania*.

⁹¹ Fusco e Mañas. *Mármore de Lusitania*; Carneiro. *Lugares, Tempos e Pessoas*.

⁹² *Lugares, Tempos e Pessoas*.

⁹³ *Mármore de Lusitania*

⁹⁴ Mourinha e Moreira. "Património edificado no triângulo do mármore [...]"

⁹⁵ Fusco e Mañas. *Mármore de Lusitania*; Carneiro. *Lugares, Tempos e Pessoas*.

⁹⁶ Fusco e Mañas. *Mármore de Lusitania*; Lopes e Martins. "Global heritage stone".

conservação, numa das pedreiras pertencentes à empresa Marmoz, na região da Lagoa (Bencatel)⁹⁷.

Outra das peças-chave para a dispersão deste recurso seriam as vias terrestres⁹⁸, que permitiriam a conexão com grandes cidades da província, como Augusta Emerita, Olisipo (Lisboa), Eborá (Évora) ou Pax Julia⁹⁹.

As pedreiras seriam zonas de extração a céu aberto (tal como na atualidade) de exploração protoindustrial totalmente artesanal, com auxílio de poucos equipamentos. Os trabalhos seriam realizados por um conjunto de operários e artesãos especializados nas distintas fases de trabalho do mármore, provavelmente com o contributo de homens livres, mas também de mão de obra escrava¹⁰⁰. Estes trabalhadores especializados teriam um conhecimento das características intrínsecas ao mármore, como a sua dureza, a presença de impurezas e de anisotropias, que seriam condicionantes da sua extração e do trabalho do mármore, permitindo assim a exploração mais sustentada e direcionada do recurso.

De facto, este conhecimento das características intrínsecas do mármore deverá ter sido uma peça fundamental na exploração deste recurso em época romana. Nesta época, a exploração sem uso de maquinaria e aplicando apenas técnicas rudimentares necessitaria de reconhecer as anisotropias e fraquezas da rocha para uma eficaz extração do recurso.

Todo o anticlinal de Estremoz é recortado por várias famílias de fraturas¹⁰¹ (Fig. 7A), que, para além de funcionarem como anisotropias que facilitam a extração de blocos, também potenciam a circulação de água no interior do substrato rochoso. Como previamente referido, os mármore, quando em contacto com a água das chuvas (naturalmente ácidas, devido à presença de ácido carbónico em solução), são dissolvidos; na presença de uma intensa fraturação, a área de contacto entre o mármore e as águas aumenta, exponenciando o processo de dissolução. A ação contínua do processo de dissolução vai criando um conjunto de geoformas, aumentando o espaçamento entre as paredes das fraturas, gerando um conjunto de depressões com formatos diversos, que podem chegar a vários metros de profundidade (Fig. 7B) e até gerar cavidades em profundidade por onde a água irá circular (o que explica, em parte, a abundância de água na região). Também os restantes planos de anisotropia da rocha (por exemplo,

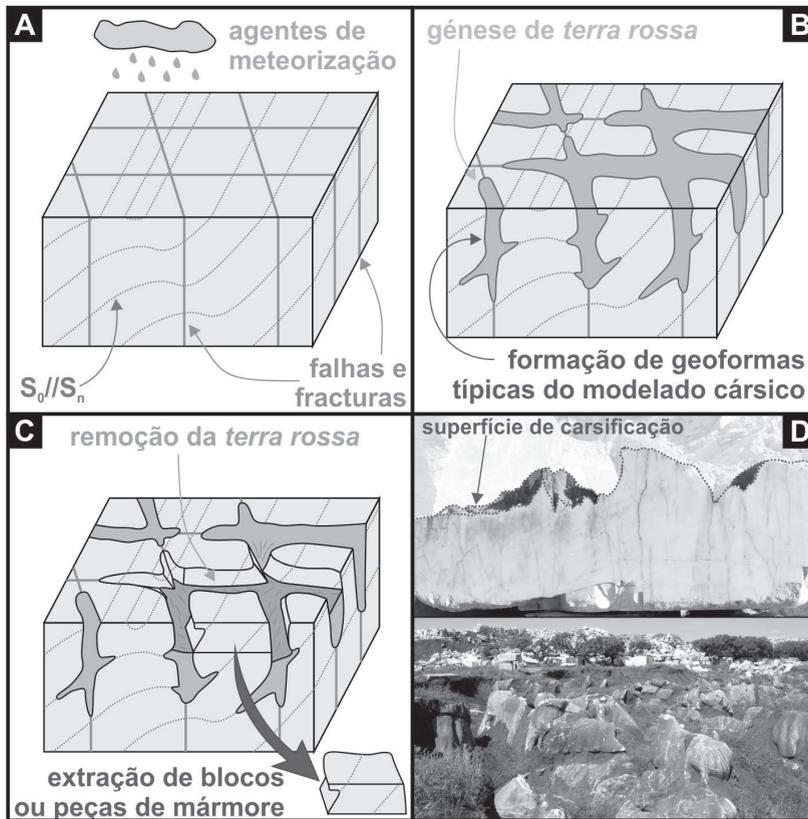
⁹⁷ Taelman *et al.* “Roman marble from Lusitania”; Lopes e Martins. “Global heritage stone”.

⁹⁸ Vide: Alarcão. “As vias romanas de Olisipo a Augusta Emerita”; Carneiro, André. *Itinerários Romanos do Alentejo: Uma Releitura de “As Grandes vias da Lusitânia”, de Mário Saa, Quarenta Anos depois*. Lisboa: Edições Colibri, 2008; Carneiro. *Lugares, Tempos e Pessoas*.

⁹⁹ Fusco e Mañas. *Mármoles de Lusitania*.

¹⁰⁰ Fusco e Mañas. *Mármoles de Lusitania*.

¹⁰¹ Lopes e Gonçalves. “Potencial económico das jazidas de rochas ornamentais [...]”; Lopes. “Contribuição para o conhecimento tectono-estratigráfico do Nordeste Alentejano [...]”.



a foliação) constituem canais preferenciais de circulação, facilitando ainda mais a dissolução do mármore. Este processo dá assim origem ao modelado cársico, típico das regiões calcárias. Deste processo de dissolução resulta um concentrado argiloso avermelhado, composto por substâncias insolúveis, denominado *terra rossa*, que preenche o espaço criado entre as geofomas superficiais (Fig. 7B). Esta *terra rossa* constitui um subproduto da indústria dos mármore, que, comprovadamente, pode ser utilizado em olaria tradicional, assim como em cerâmica industrial¹⁰². Este subproduto poderá também ter sido utilizado em época romana para produção da mais diversificada cerâmica.

Figura 7 - Proposta de modelo de extração de mármore em época romana: (A-C) blocos diagrama mostrando as etapas relacionadas com os processos de carsificação, que condicionam a exploração dos mármore em Época Romana; (D) exemplos de carsificação dos mármore à escala do bloco (em cima) e à escala do afloramento (em baixo) evidentes em explorações atuais dos Mármore de Estremoz.

¹⁰² Cunha, Ana. "Aplicação na olaria de *terra rossa* de ocorrências no anticlinal de Estremoz". Mestrado, Universidade de Évora, 2010; Cunha, Ana, Ruben Martins, Luís Lopes, Celso

As evidências de exploração romana no anticlinal de Estremoz são encontradas sempre associadas aos níveis superficiais do modelado cársico existente ao longo do anticlinal de Estremoz. Isto parece indicar que, durante o processo de prospeção e exploração do mármore em época romana, para além da qualidade do material, os “prospetores” também teriam em atenção a existência destas anisotropias naturais, uma vez que elas facilitariam a exploração do recurso. Isto significa que, apesar da grande exploração do recurso em época romana, as explorações seriam maioritariamente superficiais, não devendo exceder a dezena de metros de profundidade, podendo, no entanto, ser extensas em área. Por outras palavras, o recurso era tão abundante à superfície que não havia necessidade de avançar com explorações em profundidade, algo que não acontece nos dias de hoje. Com efeito, por vários motivos, existem atualmente pedreiras com mais de uma centena de metros de profundidade (há mesmo um caso único em que se atinge os 150 m). Contudo, o recurso está longe de se esgotar, já que estimativas muito conservadoras, considerando explorações inferiores aos 100 m de profundidade, apontam para mais de 500 anos de extração contínua¹⁰³.

Após a identificação de locais que obedeceriam às condições previamente mencionadas, e tal como hoje acontece, a primeira fase do processo de exploração seria a remoção da *terra rossa* que se encontra sobre o substrato rochoso (“destapação”), deixando a nu as “cabeças” (termo que designa as geoformas cársicas arredondadas e irregulares superficiais; Fig. 7D). Em seguida, com os mármore expostos, os operários identificariam os planos de heterogeneidade do maciço rochoso, procedendo à sua extração (Fig. 7C), utilizando ferramentas como cunhas, ponteiros, martelos e maços¹⁰⁴. No que respeita à exploração do recurso, a extração e os primeiros trabalhos de transformação do mármore eram feitos *in situ*, extraindo-se apenas as peças já semi-trabalhadas do maciço rochoso, não sendo de excluir que, em alguns casos, pudessem ser extraídos blocos mais ou menos intactos (embora o peso dos blocos implicasse uma força motriz adicional). Tal facto está em concordância com a presença de um conjunto de peças semiacabadas junto a locais de extração (como é o caso dos achados referidos na Herdade da Vigária). Mesmo no caso da extração de blocos intactos,

Gomes, Maria Arroiz, Dulce Santos, e Francisco Rosado. “Aplicação de olaria de *terra rossa* de Vila Viçosa e Borba”. *Callipole* 19 (2011): 37-57; Alves, Tiago, Rúben Martins, Luís Lopes, Celso Gomes, Manuela Baroso, Dulce Santos, Francisco Rosado, e Luís Rosado. “Formulação de pastas cerâmicas a partir de matérias-primas argilosas e carbonatadas dos concelhos de Vila Viçosa e Redondo para a produção de olaria tradicional”. *Callipole* 23 (2016): 207-224.

¹⁰³ Lopes e Martins. “Global heritage stone”.

¹⁰⁴ Fusco e Mañas. *Mármoles de Lusitania*.

estes seriam trabalhados no local, transportando-se para o local de aplicação as peças praticamente concluídas, o que, sem dúvida, facilitaria o seu transporte. Como referido previamente, esta organização de trabalho implicaria um conjunto de trabalhadores especializados no local de extração, o que também está de acordo com os modelos de ocupação previamente propostos para a região¹⁰⁵.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi parcialmente financiado pela União Europeia através do Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional (Programa ALENTEJO 2020), através do projeto “Modelos metalogénicos 3D da Zona de Ossa Morena: valorização dos recursos minerais do Alentejo” (Ref.ª: ALT20-03-0145-FEDER-000028).

BIBLIOGRAFIA

- Alarcão, Jorge de. “As vias romanas de Olisipo a Augusta Emerita”. *Conimbriga* 45 (2006): 211-251.
- Álvaro, J. Javier, Félix Bellido, Dominique Gasquet, M. Francisco Pereira, Cecílio Quesada, e Teresa Sánchez-García. “Diachronism in the late Neoproterozoic–Cambrian arc-rift transition of North Gondwana: a comparison of Morocco and the Iberian Ossa–Morena Zone”. *Journal of African Earth Sciences* 98 (2014): 113-132. DOI: 10.1016/j.jafrearsci.2014.03.024.
- Alves, Tiago, Rúben Martins, Luís Lopes, Celso Gomes, Manuela Baroso, Dulce Santos, Francisco Rosado, e Luís Rosado. “Formulação de pastas cerâmicas a partir de matérias-primas argilosas e carbonatadas dos concelhos de Vila Viçosa e Redondo para a produção de olaria tradicional”. *Callipole* 23 (2016): 207-224.
- Antonelli, Fabrizio, Lorenzo Lazzarini, Stefano Cancelliere, e David Dessandier. “Volubilis (Meknes, Morocco): Archaeometric study of the white and coloured marbles imported in the Roman age”. *Journal of Cultural Heritage* 10 (2009): 116-123. DOI:10.1016/j.culher.2008.04.006.
- Araújo, Alexandre, José Manuel Piçarra, José Borrego, Jorge Pedro, e José Tomás Oliveira. “As regiões central e sul da Zona de Ossa–Morena”. In *Geologia de Portugal*, ed. Rui Dias, Alexandre Araújo, Pedro Terrinha e José Carlos Kullberg, 509-549. Lisboa: Escolar Editora, vol. I, 2013.
- Bruno, Mathias, Donatto Atanasio, Walter Prochaska, e Ali Bahadir Yavuz. “An update on the use and distribution of white and black Göktepe marbles from the first century AD to Late Antiquity”. In *Interdisciplinary Studies on Ancient Stone: ASMOSIA X: Proceedings of the Tenth International Conference of ASMOSIA, Association for the Study of Marble et Other Stones in Antiquity, Rome, 21-26 May*

¹⁰⁵ E.g.: Carneiro. *Lugares, Tempos e Pessoas*.

- 2012, ed. Patrizio Pensabene e Eleonora Gasperini, 461-468. Roma: "L'Erma" di Bretschneider, 2015.
- Bucher, Kurt, e Rodney Grapes. *Petrogenesis of Metamorphic Rocks*. S.l.: Springer-Verlag, 8.^a ed., 2011.
- Cabral, João. "Neotectonics of mainland Portugal: state of the art and future perspectives". *Journal of Iberian Geology* 38, n.º 1 (2012): 71-84. DOI: 10.5209/rev_JIGE.2012.v38.n1.39206.
- Cabral, João M. Peixoto, Maria da Conceição Vieira, Paula M. Carreira, Maria Ondina Figueiredo, Teresa Paula Pena, e A. Tavares. "Preliminary study on the isotopic and chemical characterization of marbles from Alto Alentejo (Portugal)". In *Ancient Stones: Quarrying, Trade and Provenance. Interdisciplinary Studies on Stones and Stone Technology in Europe and Near East from the Prehistoric to the Early Christian Eeriod*, ed. Marc Waelkens, Norman Herze e Luc Moens, 191-198. Leuven: Leuven University Press, 1992.
- Cabral, João M. Peixoto, Manuel Justino Maciel, Luís Lopes, José Carrilho Lopes, A. P. V. Marques, Carla O. Mostra, e Paula M. Carreira. "Petrographic and isotopic characterization of marble from the Estremoz anticline: its application in identifying the sources of Roman works of art". *Journal of Iberian Archaeology* 3 (2001): 121-128.
- Cabral, João M. Peixoto, Carla O. Mostra, e Theodor Hauschild. "A proveniência do mármore dos capitéis do templo romano de Évora". *Conimbriga* 43 (2004): 171-177. DOI: 10.14195/1647-8657_43_7.
- Carneiro, André. *Itinerários Romanos do Alentejo: Uma Releitura de "As Grandes Vias da Lusitânia", de Mário Saa, Quarenta Anos depois*. Lisboa: Edições Colibri, 2008.
- Carneiro, André. "Um primeiro olhar sobre o povoamento romano no concelho de Vila Viçosa". *Calipolle* 21 (2013): 199-220.
- Carneiro, André. *Lugares, Tempos e Pessoas: Povoamento Rural Romano no Alto Alentejo*. Coimbra: Imprensa da Universidade de Coimbra, vol. I, 2014. ISBN: 978-989-26-0831-0.
- Carvalho, Jorge M. F., Cristina I. Carvalho, José Vitor Lisboa, António Casal Moura, e Mário Machado Leite. "Portuguese ornamental stones". *Geonovas* 26 (2013): 15-22.
- Casal Moura, António, Cristina Carvalho, Isabel Almeida, João Gabriel Saúde, João Farinha Ramos, João Augusto, José Delgado Rodrigues, Jorge Carvalho, Luís Martins, Maria João Matos, Maria Machado, Maria José Sobreiro, Marta Peres, Nélson Martins, Nuno Bonito, Paulo Henriques, e Sofia Sobreiro. *Mármore e Calcários Ornamentais de Portugal*. S.l.: INETI – National Institute of Engineering, Technology and Innovation, 2007. ISBN 978-972-676-204-1.
- Creveling, Jessica R., David Fernández-Remolar, Marta Rodríguez-Martínez, Silvia Menéndez, Kristin D. Bergmann, Benjamin C. Gill, John Abelson, Ricardo Amils, Bethany L. Ehlmann, Diego C. García-Bellido, John P. Grotzinger, Christian

- Hallmann, Kathryn M. Stack, e Andrew H. Knoll. “Geobiology of a lower Cambrian carbonate platform, Pedroche Formation, Ossa Morena Zone, Spain”. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 386 (2013): 459–478.
- Cunha, Ana. “Aplicação na olaria de terra rossa de ocorrências no anticlinal de Estremoz”. Mestrado, Universidade de Évora, 2010.
- Cunha, Ana, Ruben Martins, Luís Lopes, Celso Gomes, Maria Arroz, Dulce Santos, e Francisco Rosado. “Aplicação de olaria de terra rossa de Vila Viçosa e Borba”. *Callipole* 19 (2011): 37–57.
- Dias, Rui, Noel Moreira, A. Ribeiro, e Caterine Basile. “Late Variscan deformation in the Iberian Peninsula; a late feature in the Laurasia–Gondwana dextral collision”. *International Journal of Earth Sciences (Geol Rundsch)* 106, n.º 2 (2017): 549–567. DOI: 10.1007/s00531-016-1409-x.
- Dias, Rui, António Ribeiro, José Romão, Carlos Coke, e Noel Moreira. “A review of the arcuate structures in the Iberian Variscides; constraints and genetic models”. *Tectonophysics* 681 (2016): 170–194. DOI: 10.1016/j.tecto.2016.04.011.
- Ferreira, Pedro, Rita Caldeira, José Manuel Piçarra, Rúben P. Dias, Rogério Calvo, Teresa Arriaga Cunha, Ana Margarida Pestana, João Pais, e Ricardo Ressurreição. “Cartografia geológica sistemática para a edição da folha 43–A, Cuba (carta geológica de Portugal, escala 1:50 000) – ponto da situação”. In *Geodinâmica e Tectónica Global; A Importância da Cartografia Geológica: Livro de Actas da 9.ª Conferência Anual do GGET-SGP*, ed. Noel Moreira, Rui Dias e Alexandre Araújo, 55–58. Estremoz: Polo de Estremoz da Universidade de Évora, 2013. ISBN: 978-989-95398-3-9.
- Fortes, José Béltran, Oliva Rodríguez Gutiérrez, Pedro López Aldana, Esther Ontiveros, e Ruth Taylor. “Las canteras romanas de mármol de Almadén de la Plata (Sevilla)”. In *El Marmor en Hispania: Explotación, Uso y Difusión en Época Romana*, ed. Virginia García-Entero, 253–275. S.l.: UNED, 2012. ISBN: 978-84-362-6593-4.
- Fusco, Arianna, e Irene Mañas. *Mármoles de Lusitania. Catalogo de Exposición*. Mérida: Museo Nacional de Arte Romano, 2006.
- Gomes, Elsa, e Paulo Emanuel Fonseca. “Eventos metamórfico/metassomáticos tardi-variscos na região de Alvito (Alentejo, sul de Portugal)”. *Cadernos do Lab. Xeolóxico de Laxe* 31 (2006): 67–85.
- Gonçalves, Francisco. “Contribuição para o conhecimento geológico dos mármoles de Estremoz”. *Est. Notas e Trabalhos do SFM* 20, n.ºs 1-2 (1970): 201–209.
- Gozalo, Rodolfo, Eladio Liñán, Teodoro Palacios, José Antonio Gámez Vintaned, e Eduardo Mayor. “The Cambrian of the Iberian Peninsula: an overview”. *Geologica Acta* 1 (2003): 103–112.
- Lapunte, Maria Pilar, e Bruno Turi. “Marbles from Portugal: petrographic and isotopic characterization”. *Science and Technology for Cultural Heritage* 4 (1995): 33–42.

- Lapuente, Maria Pilar, Bruno Turi, e Philippe Blanc. "Marbles from roman Hispania: stable isotope and cathodoluminescence characterization". *Applied Geochemistry* 15 (2000): 1469-1493.
- Lapuente, Maria Pilar, Trinida Nogales-Basarrate, Hernando Royo, e Mauro Brilli. "White marble sculptures from the National Museum of Roman Art (Mérida, Spain): sources of local and imported marbles". *Eur. J. Mineral.* 26 (2014): 333-354. DOI: 10.1127/0935-1221/2014/0026-2369.
- Liñan, Eladio. "Introducción al problema de la paleogeografía del Cámbrico de Ossa Morena". *Cuadernos do Lab. Xeolóxico de Laxe* 8 (1984): 283-314.
- Liñan, Eladio. "Los pisos estratigráficos y la paleogeografía del Cámbrico en España: una visión retrospectiva". *Geogaceta* 20, n.º 7 (1996): 1661-1664.
- Liñán, Eladio, e Cecilio Quesada. "Ossa-Morena Zone: stratigraphy". In *Pre-Mesozoic Geology of Iberia*, ed. Robert David Dallmeyer e Enrique Martinez Garcia, 229-266. Berlin: Springer-Verlag, 1990.
- LNEG. *Geological Map of Portugal at 1:1 000 000*. Lisboa: Laboratório Nacional de Energia e Geologia, 3.ª ed., 2010.
- Lopes, Luís. "Contribuição para o conhecimento tectono-estratigráfico do Nordeste Alentejano, transversal Terena-Elvas. Implicações económicas no aproveitamento de rochas ornamentais existentes na região (mármore e granitos)". Doutoramento, Universidade de Évora, 2003.
- Lopes, Luís. "O triângulo do mármore: estudo geológico". *Monumentos* 27 (2007): 6-15.
- Lopes, Luís, e Francisco Gonçalves. "Potencial económico das jazidas de rochas ornamentais na Zona de Ossa-Morena". In *Estudos sobre a Geologia da Zona de Ossa-Morena. Livro de Homenagem ao Professor Francisco Gonçalves*, ed. por Alexandre Araújo e Manuel Francisco Pereira, 263-282. Évora: Departamento de Geociências da Universidade de Évora, 1997.
- Lopes, Luís, José Carrilho Lopes, João M. Peixoto Cabral, e Panagiotis Sarantopoulos. "Caracterização petrográfica dos monumentos romanos de Évora". *Revista A Cidade de Évora* 4, série II (2000): 129-142.
- Lopes, Luís, e Ruben Martins. "Global heritage stone: Estremoz marbles, Portugal". In *Global Heritage Stone: towards International Recognition of Building and Ornamental Stones*, ed. Dolores Pereira, Brian R. Marker, Sabina Kramar, Barry J. Cooper e Björn E. Schouenborg, 57-74. London: Geological Society of London, special publications, 2015. DOI: 10.1144/SP407.10.
- Mañas, Irene, e Arianna Fusco. "Canteras de Lusitania. Un análisis arqueológico". In *Marmora Hispania: Explotación y Uso de los Materiales Pétreos en la Hispania Romana*, ed. Trinidad Nogales Basarrate e José Béltran Fortes, 481-522. Roma: "L'Erma" di Bretschneider, 2008.

- Matos, João Xavier, José Manuel Piçarra, Zélia Pereira, Rúben Dias, e Sophie Prete-seille. “The Beja public geological trail – geology in the garden”. In *International Congress Arouca 2011: Geotourism in Action*, 59–62. Arouca Geopark, 2011.
- Menningen, Johanna, Siegfried Siegesmund, Luís Lopes, Ruben Martins, e Luís Sousa “The Estremoz marbles: an updated summary on the geological, mineralogical and rock physical characteristics”. *Environmental Earth Sciences* 77 (2018): 191. DOI: 10.1007/s12665-018-7328-3.
- Morbidei, Paola, Patrizia Tucci, Claudio Imperatori, Angel Polvorinos, Maria Preite Martinez, Ettore Azzaro, e Maria Jesus Hernandez. “Roman quarries of the Iberian Peninsula: ‘Anasol’ and ‘Anasol’-type”. *Eur. J. Mineral.* 19 (2007): 125–135. DOI: 10.1127/0935-1221/2007/0019-0125.
- Moreira, Noel. “Evolução geodinâmica dos sectores setentrionais da Zona de Ossa-Morena no contexto do Varisco ibérico”. Doutoramento, Universidade de Évora, 2017.
- Moreira, Noel, Alexandre Araújo, Jorge Pedro, e Rui Dias. “Do rifting continental à abertura do Oceano Rheic; evidências de cariz multidisciplinar na Zona de Ossa-Morena”. In *Livro de Actas do IV Congresso Jovens Investigadores em Geociências*, 21–24. Estremoz: LEG, 2014.
- Moreira, Noel, Alexandre Araújo, Jorge Pedro, e Rui Dias. “Evolução geodinâmica da Zona de Ossa-Morena no contexto do SW ibérico durante o ciclo varisco”. *Comunicações Geológicas* 101, especial I (2014): 275–278.
- Moreira, Noel, Rui Dias, Jorge Pedro, e Alexandre Araújo. “Interferência de fases de deformação varisca na estrutura de Torre de Cabedal; sector de Alter do Chão-Elvas na Zona de Ossa-Morena”. *Comunicações Geológicas* 101, especial I (2014): 279–282.
- Moreira, Noel, e Rui Dias. “Das estruturas geológicas à edificação de uma cadeia de montanhas; do ciclo das rochas ao ciclo tectónico”. *Geonovas* 28 (2015): 33–45. ISSN 0870-7375.
- Moreira, Noel, Jorge Pedro, José Francisco Santos, Alexandre Araújo, José Romão, Rui Dias, António Ribeiro, Sara Ribeiro, e José Mirão. “ $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratios discrimination applied to the main Paleozoic carbonate sedimentation in Ossa-Morena Zone”. In *IX Congreso Geológico de España* (vol. especial). *Geo-Temas* 16, n.º 1 (2016): 161–164. ISSN 1576-5172.
- Moreira, Noel, Gil Machado, Rui Dias, Jorge Pedro, e José Romão. “Os episódios carbonatados do Câmbrico Inferior e Devónico Médio da Zona de Ossa-Morena; significado geodinâmico”. In *Livro de Actas do VIII Congresso Jovens Investigadores em Geociências*, 11–22. Estremoz: LEG, 2018.
- Moreira, Noel, Jorge Pedro, José Francisco Santos, Nuno Inês, Alexandre Araújo, Rui Dias, Sara Ribeiro, José Romão, e José Mirão. “Effects of secondary late dolomitization on $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ isotopic ratio; examples from Ossa-Morena Zone

- carbonates”. In *Livro de Actas do XIV Congresso de Geoquímica dos Países de Língua Portuguesa, XIX Semana da Geoquímica*, 223–226. Vila Real, 2018.
- Moreira, Noel, e Gil Machado. “Devonian sedimentation in Western Ossa-Morena Zone and its geodynamic significance”. In *The Geology of Iberia: a Geodynamic Approach (volume 2: The Variscan Cycle)*, editado por Cecílio Quesada e José Tomás Oliveira. Berlin: Springer, Regional Geology Review series, *in press*.
- Moreira, Noel, Jorge Pedro, José Francisco Santos, Alexandre Araújo, Rui Dias, Sara Ribeiro, José Romão, e José Mirão. “ $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ applied to age discrimination of the Palaeozoic carbonates of the Ossa-Morena Zone (SW Iberia Variscides)”. *International Journal of Earth Sciences (Geol Rundsch)* (2019). DOI: 10.1007/s00531-019-01688-9.
- Mourinha, Nuno, e Noel Moreira. “Património edificado no triângulo do mármore; evidências para a utilização contínua do mármore de Estremoz desde a época medieval à idade contemporânea”. In *Arqueologia 3.0 II. Comunicação, Divulgação e Socialização da Arqueologia*. S.l.: Fundação da Casa de Bragança, 2019, 171–206. ISBN: 978-972-9195-53-2.
- Oliveira, José Tomás, Victor Oliveira, e José Manuel Piçarra. “Traços gerais da evolução tectono-estratigráfica da Zona de Ossa Morena, em Portugal: síntese crítica do estado atual dos conhecimentos”. *Comun. Serv. Geol. Port.* 77 (1991): 3–26.
- Ontiveros, Esther, José Beltrán Fortes, Ruth Taylor, Oliva Rodríguez, e Pedro A. López. “Petrography and elemental geochemistry of the roman quarries of Los Castillejos and Los Covachos (Almadén De La Plata, Seville, Spain). Outcrops and semi-elaborated products”. In *Interdisciplinary Studies on Ancient Stone. Proceedings of the ASMOSIA IX Conference (Tarragona, 2009)*, editado por Anna Gutiérrez García-M., Maria Pilar Lapuente e Isabel Rodà de Llanza, 407–418. Tarragona: Institut Català d’Arqueologia Clàssica, 2012. ISBN: 978-84-939033-8-1.
- Origlia, Francesca, Elizabetta Gliozzo, Marco Meccheri, Jorge E. Spangenberg, Isabella Turbanti Memmi, e Emanuele Papi. “Mineralogical, petrographic and geochemical characterisation of white and coloured Iberian marbles in the context of the provenancing of some artefacts from Thamusia (Kenitra, Morocco)”. *Eur. J. Mineral.* 23 (2011): 857–869. DOI: 10.1127/0935-1221/2011/0023-2145.
- Ouazaa, Neija Laridhi, Lluís Casas, Aureli Álvarez, Boutheina Fouzai, Marta Moreno-Vide, Laurence Vidal, Roudosli Sihem, Corinne Sonzogni, e Daniel Borschneck. “Provenance of marble sculptures from the National Museum of Carthage (Tunisia)”. *Journal of Archaeological Science* 40 (2013): 1602–1610. DOI: 10.1016/j.jas.2012.10.035.
- Passchier, Cees W., e Rodolph A. J. Trouw. *Microtectonics*. Berlin: Springer, 2.^a ed., 2005.
- Pereira, Manuel Francisco, Ana Rita Solá, Martim Chichorro, Luís Lopes, Axel Gerdes, e José Brandão Silva. “North-Gondwana assembly, break up and paleogeography: U–Pb isotope evidence from detrital and igneous zircons of Ediacaran and

- Cambrian rocks of SW Iberia”. *Gondwana Research* 22, n.ºs 3-4 (2012): 866-881. DOI:10.1016/j.gr.2012.02.010.
- Pérez, Aureli Álvarez, Marc Mayér Olivé, e Isabel Rodà de Llanza. “La aplicación del método de isotopos estables a mármoles explotados en época romana en la mitad sur de la Península Ibérica”. *AEspA* 71 (1998): 103-112.
- Piçarra, José Manuel. “Estudo estratigráfico do sector de Estremoz-Barrancos, Zona de Ossa Morena, Portugal”. Doutoramento, Universidade de Évora, 2000.
- Piçarra, José Manuel, e Jean Le Menn. “Ocorrência de crinoides em mármoles do complexo vulcano-sedimentar carbonatado de Estremoz: implicações estratigráficas”. *Comunicações do Instituto Geológico e Mineiro* 80 (1994): 15-25.
- Piçarra, José Manuel, e Graciela Sarmiento. “Problemas de posicionamento estratigráfico dos calcários paleozoicos da Zona de Ossa Morena (Portugal)”. In *Livro de Actas do VII Congresso Nacional de Geologia*, 657-660. Estremoz: s.n.: vol. I, 2006.
- Puelles, Pablo, Benito Ábalos, José Ignacio Gil Ibarguchi, e Sergio Fernández-Armas. “Petrofabric of forsterite marbles and related rocks from a low-pressure metamorphic terrain (Almadén de la Plata massif, Ossa-Morena Zone, SW Spain) and its kinematic interpretation”. *Journal of Structural Geology* 117 (2018): 58-80. DOI: 10.1016/j.jsg.2018.09.006.
- Quintas, Armando. “Técnicas e tecnologias ligadas ao mármore: uma viagem pela história”, coord. Daniel Alves, *Mármore, Património para o Alentejo: Contributos para a Sua História (1850-1986)*. Vila Viçosa, Talentirazão, 2015, 129-159. ISBN 978-989-99164-1-8.
- Ribeiro, António, Miguel Telles Antunes, Martim Portugal Ferreira, Rogério Bordalo Rocha, António Ferreira Soares, Georges Zbyszewski, Fernando Moitinho de Almeida, Delfim de Carvalho, e José Hipólito Monteiro. *Introduction à la Géologie Générale du Portugal*. Lisboa: Serviços Geológicos de Portugal, 1979.
- Ribeiro, António, José Munhá, Rui Dias, António Mateus, Eurico Pereira, Luísa Ribeiro, Paulo Emanuel Fonseca, Alexandre Araújo, José Tomás Oliveira, José Romão, Hélder Chaminé, Carlos Coke, e Jorge Pedro. “Geodynamic evolution of SW Europe Variscides”. *Tectonics* 26, TC6009 (2007). DOI: 10.1029/2006TC002058.
- Robardet, Michel, e Juan C. Gutiérrez-Marco. “Passive margin phase (Ordovician-Silurian-Devonian)”. In *Pre-Mesozoic Geology of Iberia*, ed. Robert David Dallmeyer e Enrique Martínez García, 249-251. Berlin: Springer-Verlag, 1990.
- Robardet, Michel, e Juan C. Gutiérrez-Marco. “The Ordovician, Silurian and Devonian sedimentary rocks of the Ossa-Morena Zone (SW Iberian Peninsula, Spain)”. *J. Iber. Geol.* 30 (2004): 73-92.
- Rosas, Filipe, Fernando Ornelas Marques, Michel Ballèvre, Colombo Tassinari. “Geodynamic evolution of the SW Variscides: orogenic collapse shown by new tectonometamorphic and isotopic data from western Ossa-Morena Zone, SW Iberia” *Tectonics* 27, TC6008 (2008). DOI:10.1029/2008TC002333.

- Russell, Ben. *Gazetteer of Stone Quarries in the Roman World*. Oxford Roman Economy Project, version 1.0, 2013. <http://www.romaneconomy.ox.ac.uk/> (consultado a 19 de Abril de 2019).
- Sánchez-García, Teresa, Félix Bellido, Manuel Francisco Pereira, Martim Chichorro, Cecilio Quesada, Christian Pin, e José Brandão Silva. "Rift-related volcanism predating the birth of the Rheic Ocean (Ossa-Morena Zone, SW Iberia)". *Gondwana Research* 17 (2010): 392-407. DOI: 10.1016/j.gr.2009.10.005.
- Soares, Alexis, Noel Moreira, Luís Pereira, Vânia Silva, e Rui Dias. "Porque estão os castelos onde estão? O exemplo do Castelo de Estremoz". In *Livro de Resumos do VII Encontro AFI – Aprendizagem em Ambiente Formal e Informal | XIII Encontro de Professores*, 155-158. Redondo: Universidade de Aveiro e PmatE, 2012.
- Taelman, Devi, Marlina Elburg, Ingrid Smet, Paul De Paepe, Luís Lopes, Frank Vanhaecke, e Frank Vermeulen. "Roman marble from Lusitania: petrographic and geochemical characterization". *Journal of Archaeological Science* 40 (2013): 2227-2236. DOI: 10.1016/j.jas.2012.12.030.
- Tucci, Patricia, Giovanna Marrese, Angel Polvorinos, e Ettore Azzaro. "Italica (Seville, Spain): use of local marble in Augustan age". *Period. Mineral. special issue* (2010): 113-129. DOI: 10.2451/2010PM0025.