

A proveniência do metal utilizado nos povoados calcolíticos da bacia do Guadiana Médio: as razões isotópicas do chumbo de prováveis lingotes de cobre

António M. Monge Soares* | amsoares@ctn.tecnico.ulisboa.pt

Pedro Valério* | pvalerio@ctn.tecnico.ulisboa.pt

Susana Sousa Gomes* | susana.gomes@ctn.tecnico.ulisboa.pt

Maria Fátima Araújo* | faraujo@ctn.tecnico.ulisboa.pt

*Centro de Ciências e Tecnologias Nucleares (C2TN), Departamento de Engenharia e Ciências Nucleares, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa.

Os autores escrevem segundo o Acordo Ortográfico de 1945

Resumo

É vulgar o registo de artefactos de cobre em sítios calcolíticos não funerários do Sul de Portugal, designadamente nos situados na bacia baixo-alentejana do rio Guadiana. A proveniência desse cobre só agora começou a ser investigada fazendo uso da análise isotópica do chumbo (Pb) de artefactos, minérios e vestígios de operações metalúrgicas. Três machados planos e um artefacto tabular, plano-convexo, certamente resultante de um vazamento em molde univalve rectangular, provenientes desta região meridional, que têm sido por nós interpretados como lingotes, foram objecto de análise elementar e microestrutural, bem como da determinação da sua composição isotópica em Pb. Verificou-se que todos eles são constituídos por um cobre muito puro, apresentando ainda a microestrutura de vazamento, embora sejam observáveis algumas maclas, porventura resultantes de operações de forja a quente para o destacamento de fragmentos de matéria-prima a serem utilizados na manufactura de artefactos de pequena dimensão (punções e lâminas, por ex.), usuais nestes primórdios da metalurgia. Quanto às razões isotópicas de Pb, estas indiciam uma origem provável para o cobre de dois dos lingotes em depósitos mineiros da região sudeste da Zona Centro-Ibérica, enquanto a assinatura isotópica de um dos machados-lingote, caracterizada por um chumbo altamente radiogénico, aponta para uma proveniência do metal da mina de El Milagro (Bobia de Arriba, Onís, Astúrias). No que respeita ao quarto lingote, não foi possível determinar uma origem fiável para o cobre com que foi manufacturado, uma vez que apresenta uma assinatura isotópica não coincidente com nenhuma das assinaturas constantes das bases de dados disponíveis para a Península Ibérica. Os resultados sugerem, por conseguinte, para além de uma utilização de matéria-prima de depósitos mineiros próximos dos locais de fundição, a existência de uma rede de trocas a média e longa distância, tal como evidenciado para outras matérias-primas, designadamente as utilizadas em artefactos de prestígio, como são os casos da variscite e do marfim, presentes em diversos contextos calcolíticos desta região.

Abstract

It is common to record copper artefacts in non-funerary Chalcolithic sites in southern Portugal, namely those located in the Lower Alentejo basin of the Guadiana River. The provenance of this copper has only just begun to be investigated using lead isotopic analysis (LIA) from artefacts, ores and traces of metallurgical operations. Three flat axes and a tabular, flat convex artefact,

this resulting from a casting in a rectangular univalve mould, which we have interpreted as ingots, were object of chemical and microstructural analysis, as well as the determination of their Pb isotopic signatures. It was found that all of them are made of very pure copper, still presenting an as-cast microstructure, although with a low density of twin grains, possibly resulting from hot-forging operations to cut fragments of raw material for the manufacture of small artefacts (awls, blades, for instance). Regarding Pb isotopic ratios, the signatures of two ingots indicate a probable provenance from mineral deposits in the south-eastern Central Iberian Zone, while the isotopic signature of one of the axe-ingots, characterized by a highly radiogenic lead, points to a copper origin from El Milagro mine, located in the Cantabrian region (northern Iberian Peninsula). The Pb isotopic ratios of the last ingot do not match any lead isotope signature of the Iberian LIA data bases. Therefore these data suggest long-distance exchange networks, as has been shown for other raw materials used in prestige artefacts, such as variscite and ivory present in various Chalcolithic contexts in this southern region of the Iberian Peninsula.

1. Introdução

Os dados obtidos na investigação arqueológica, suplementada por análises no domínio da arqueometalurgia que têm sido levadas a cabo nestes últimos vinte anos, permitem elaborar uma síntese sobre a primeira metalurgia do cobre no Sul de Portugal. Assim, as primeiras manifestações dessa metalurgia surgem no Calcólítico, na primeira metade do III milénio a.C., observando-se um incremento da diversificação das tipologias artefactuais na segunda metade desse milénio, nomeadamente em contextos campaniformes (Soares & *alii*, 2017). Os primeiros artefactos mais vulgares são formas simples, de pequena dimensão, designadamente punções ou furadores e lâminas. Surgem, também, machados planos, embora muito menos abundantes que os atrás mencionados, a que se adicionam, durante o Campaniforme, as pontas de seta e os punhais, usualmente de lingueta, muito raramente rebitados. Todos estes artefactos são de base cobre: de cobre puro com poucas impurezas de arsénio (As), prata (Ag), níquel (Ni) ou antimónio (Sb), por exemplo, ou então de cobre arsenical (As > 2%), composições elementares que parecem reflectir a composição dos minérios de cobre de onde este metal terá sido extraído (Valério, Soares & Araújo, 2016).

A redução dos minérios de cobre efectuava-se em vasilhas-forno/cadinhos de cerâmica, em simples lareiras, não existindo registo de qualquer tipo de forno metalúrgico nesses primeiros tempos (Rovira, 2016). A atmosfera produzida é variável, relativamente pouco redutora, não permitindo, portanto, a redução dos minerais de ferro existentes na ganga dos minérios de cobre, o que conduz a teores muito reduzidos de ferro (Fe < 0,05%) no cobre assim obtido.

Na manufactura dos artefactos, a cadeia operatória curta (vazamento em molde, martelagem e recozimento) é a mais comum, enquanto a cadeia longa (vazamento, martelagem, recozimento e martelagem final) é utilizada apenas numa minoria de artefactos e, habitualmente, só nas áreas destes a serem utilizadas para corte ou como perfurantes. Por outro lado, os dados existentes não indicam uma relação significativa entre o teor de arsénio e a dureza dos artefactos calcólíticos, qualquer que seja a cadeia operatória utilizada na sua manufactura (Valério, Soares & Araújo, 2016, Fig. 10).

Os minérios de cobre que foram objecto de exploração nestes primeiros tempos consistem em carbonatos e óxidos, onde predominam as malaquites, azurites e cuprites (minerais supergénicos), com teores relativamente elevados de cobre, que são facilmente reduzidos e que produzem quantidades muito pequenas de escórias (Rovira, 2016; Valério & *alii*, 2020).

Se o conjunto de dados sobre a metalurgia do III milénio a.C. permite clarificar vários aspectos dessa metalurgia primitiva existem, contudo, ainda outros a necessitarem de uma investigação aprofundada. É o caso, por exemplo, da identificação dos depósitos mineiros que foram objecto de exploração nessa época, designadamente na Zona Sul Portuguesa (ZSP), que integra a Faixa Piritosa Ibérica (FPI), e na Zona de Ossa-Morena (ZOM), zonas geológicas que abarcam a maior parte do Sul de Portugal. A referência, desde o século XIX, à descoberta de martelos mineiros de pedra junto ou nas escombrelas de algumas dessas minas (Flores & Araújo, 1945; Costa, 1870) constitui um indício da exploração desses depósitos em épocas recuadas, que vão desde o Calcólítico até à Época Romana, pelo menos em alguns casos no que se refere a esta última. No entanto, intervenções arqueológicas de campo nessas ocorrências mineiras só muito recentemente têm sido realizadas e têm sido raríssimas (Gauß, 2016). Também igualmente escassas têm sido as investigações procurando determinar uma correspondência precisa e fiável entre o metal cobre utilizado na manufactura de um artefacto e o depósito mineral donde esse metal provém (Gauß, 2016; Soares & *alii*, 2020). Um outro domínio de investigação arqueometalúrgica muito pouco utilizado entre nós diz respeito à determinação dos locais onde se procedia à redução dos minérios —

junto às minas ou nos povoados — necessitando-se, para isso, de uma análise sistemática dos restos das operações metalúrgicas (cadinhos, escórias, algaravizes, fragmentos de minérios, nódulos metálicos, lingotes) encontrados em intervenções arqueológicas e que permitam atribuí-los à redução de minérios (“smelting”) ou à simples fundição de cobre metálico para a manufatura de artefactos. O desenvolvimento deste tipo de investigação fazendo uso de análises científicas clássicas, como a análise química elementar e/ou a microscopia óptica, suplementada pela microscopia electrónica de varrimento, combinada com a utilização da análise isotópica do Pb dos artefactos e de restos de operações metalúrgicas permitirá um salto qualitativo (e quantitativo) na definição e interpretação das redes pré-históricas de trocas ou “comércio” de cobre. Claro que para se cumprir este desiderato é também necessário dispôr-se de uma boa base de dados de assinaturas isotópicas do Pb do maior número possível de ocorrências mineiras de cobre, de modo a fazer uma comparação fiável das assinaturas isotópicas entre artefactos e minérios, permitindo, assim, determinar a proveniência do cobre utilizado, quer na manufatura, quer nas operações metalúrgicas onde entra esse metal.

Investigações deste tipo estão, ainda, a dar os primeiros passos no nosso país (Baptista & *alii*, 2019–2020; Gauß, 2016; Müller & Cardoso, 2008; Müller & Soares, 2008; Soares & *alii*, 2020; Soares, Valério & Valera, 2021). Queremos com o trabalho, que agora se apresenta, exemplificar a metodologia utilizada, integrada no que atrás se referiu, e as inferências que se podem estabelecer a partir dos resultados obtidos. Assim, este estudo consistiu em análises de diversos tipos de quatro artefactos calcólíticos provenientes de sítios da bacia do Guadiana, que considerámos como lingotes de cobre, cujos resultados parcelares já foram objecto de publicação (Ferraz, 1994; Vidigal & *alii*, 2016; Soares, Araújo & Cabral, 1994; Soares, Valério & Valera, 2021; Soares & *alii*, 1996; 2020; Valera & *alii*, 2020), mas que aqui são conjugados procurando constituir um exemplo das potencialidades deste tipo de estudos.

2. Lingotes de cobre calcólíticos

Referiu-se atrás que um campo da investigação arqueometalúrgica muito pouco utilizado entre nós diz respeito à determinação dos locais onde se procedia à redução dos minérios — junto às minas ou nos povoados. Numa das poucas escavações arqueológicas realizadas em minas pré-históricas no nosso país, a que foi levada a cabo por Gert Goldenberg e colaboradores na mina de cobre de Mocissos (Alandroal), além de os vestígios dos trabalhos mineiros e das operações metalúrgicas aí realizadas terem sido datados pelo radiocarbono, verificou-se também que a redução do minério fazia parte das operações levadas a cabo junto à mina (Hanning, Gauß & Goldenberg, 2010; Müller & *alii*, 2007). Também junto às minas da Ganhoteira e Fajoas (Torre de Coelheiros, Évora) foram encontrados restos de vasilhas-forno ou cadinhos com vestígios de uso, bem como nódulos de cobre e escórias, sugerindo também operações de redução de minério junto àquelas minas (Soares & *alii*, 2020). Por outro lado, as escavações arqueológicas que têm sido realizadas no grande povoado muralhado do Zambujal (Torres Vedras) indiciam que a maior parte das operações metalúrgicas registadas neste sítio arqueológico estarão relacionadas com a fundição e manufatura de artefactos de cobre, embora análises de alguns (muito poucos) cadinhos sugiram que também a redução de minérios ocorreria naquele povoado (Gauß, 2016). Por outro lado ainda, pequenos fragmentos de minérios de cobre (malaquite essencialmente) foram registados no povoado calcólítico de S. Pedro (Redondo) (Valério & *alii*, 2020), onde também foram recolhidos numerosos fragmentos de cadinhos cerâmicos, muitos deles com vestígios de uso. Embora estas cerâmicas não tenham ainda sido objecto de análises arqueometalúrgicas, a presença daqueles fragmentos de minérios no povoado

sugere que neste se procederia à sua redução. A evidência obtida até agora parece algo contraditória sugerindo, porventura, que as operações de redução do minério (“smelting”) poderiam ocorrer, quer junto às minas, quer nos povoados. No entanto, deve-se notar que os teores de cobre relativamente baixos nos minérios, mesmo nos minérios de cobre secundários (carbonatos e óxidos) explorados em época pré-histórica e na região em causa, implicaria o transporte de grande quantidade, em peso e volume, de matéria-prima (minério), mesmo se concentrada, para ser processada nos povoados. Este transporte não parece muito exequível se a área de *habitat* ficasse a largas dezenas de quilómetros da mina ou minas exploradas. Assim, parece que seria muito mais fácil a circulação de cobre sob a forma metálica: pequenos nódulos metálicos que se obtinham nas operações de redução dos minérios ou objectos já acabados, predominando, nesta época, os de pequenas dimensões, o que, quer num caso, quer noutra, também parece que não seria muito satisfatório. Contudo, se o cobre circulasse sob a forma de lingotes, com algumas centenas de gramas de peso, o seu transporte e manuseamento seria fácil e explicaria a ocorrência vulgar da manufactura dos pequenos instrumentos de cobre que se regista na maior parte dos sítios de *habitat* calcolíticos na região em causa.

Mas o que se entende por lingote? Pode definir-se lingote como um bloco de metal, no caso em apreço de cobre, que resulta do vazamento em molde desse metal após fusão e que tem por fim o armazenamento ou transporte fácil do mesmo, sendo destinado, subseqüentemente, à manufactura de artefactos (utensílios, armas, objectos de adorno, etc.) em operações de fundição, normalmente em espaços que funcionem como oficinas metalúrgicas. Um lingote pode ter formas diversas e pesos diversos, dependendo da forma e do tamanho do molde onde o metal em fusão foi vazado, podendo ou não ter sofrido algum trabalho de forja subsequente ao vazamento. Na literatura arqueológica portuguesa tem surgido, embora raramente, a atribuição da funcionalidade de lingote de cobre a determinadas formas de artefactos manufacturados nesse metal, as quais passaremos em revista a seguir.

2.1. Lingotes informes (nódulos metálicos)

Victor Gonçalves, no estudo que efectuou sobre as escavações que levou a cabo nos sítios calcolíticos de Cerro do Castelo de Corte de João Marques e Cerro do Castelo de Santa Justa (Alcoutim), onde registou diversos restos de operações metalúrgicas que aí se teriam realizado, bem como artefactos de cobre, atribui a um fragmento informe, encontrado no segundo daqueles sítios, a possível funcionalidade de lingote (Gonçalves, 1989, vol. 1, pp. 280, 281, 481; vol. 2, pp. 167, 306). Se se observar o desenho do mesmo (Gonçalves, 1989, vol. 2, p. 167) ou a foto (Gonçalves, 1989, vol. 2, p. 306) é fácil de verificar que se tratará de um nódulo metálico, com o peso de 5,59 g (Gonçalves, 1989, vol. 1, p. 280), ignorando-se por que motivo foi considerado um possível lingote. Note-se que um peso desta ordem de grandeza é o peso da maior parte dos furadores de cobre, pequenos artefactos muito vulgares em contextos de *habitat* calcolíticos, que constituem, aliás, a maior parte dos artefactos metálicos registados naqueles dois sítios. Nódulos metálicos, relativamente pequenos como é este do Cerro do Castelo de Santa Justa, são expectáveis de serem encontrados em contextos ligados à produção de artefactos metálicos, produção essa que existiria no sítio em causa, quer devido a perdas durante operações de fundição, quer resultantes da fragmentação, em operações de forja, de lingotes propriamente ditos para a manufactura de artefactos.

Um outro artefacto informe (Fig. 1), mas muito maior (66 mm x 24 mm x 9 mm, dimensões máximas), considerado como sendo um lingote de cobre, foi registado na Camada 2 (Calcolítico Pleno) do povoado calcolítico de Leceia (Oeiras), (Cardoso e Fernandes, 1995). Embora Leceia não se situe na

bacia do Guadiana, julgamos importante referi-lo aqui, dado o seu manifesto interesse, além de que a sua origem poderá estar no Sudoeste Ibérico. As análises efectuadas permitiram verificar que se tratava de um artefacto de composição, quer química, quer micro-estrutural, muito heterogénea. Uma parte era constituída por escória com dendrites de cobre, enquanto a restante por cobre bastante puro com matriz de grão grosseiro e, em algumas zonas, de grão mais fino com maclas de recristalização. Por outro lado, num bordo do artefacto observam-se marcas de corte, possivelmente efectuadas para destacar um fragmento ou fragmentos e que tornaram esse bordo mais ou menos rectilíneo em toda a sua extensão e espessura. Os autores do estudo interpretam este artefacto como um lingote, o qual teria sofrido as operações que se elencam a seguir, as quais podem explicar os factos observados:

uma massa de cobre inicial, ainda com bastante escória, terá sido martelada de forma a isolar a parte mais enriquecida em cobre, separando-a da zona mais impura ... a fracção mais enriquecida em cobre foi-se deformando plasticamente, enquanto a zona onde predominaria a escória, mais frágil, se fragmentaria... este tratamento mecânico terá sido feito a frio, presumivelmente com pequenos aquecimentos sucessivos... [estes] teriam por finalidade “amaciar” o material “encruado”, facilitando o prosseguimento da deformação, conducente à concentração da parte mais rica em cobre [libertando-a da escória] ... existe uma zona de grão mais fino que pode dar consistência à hipótese de uma significativa deformação antes e/ou durante o aquecimento (responsável pelas recristalizações); esta hipótese é também apoiada no facto de se observar “prega” de dobragem, provavelmente resultante de uma operação de corte por cisalhamento (Cardoso & Fernandes, 1995, pp. 158, 159).

É, pois, de aceitar que este artefacto de cobre informe e com restos de escória funcionou como lingote, constituindo o primeiro exemplar deste tipo cuja funcionalidade se provou com elevada fiabilidade.

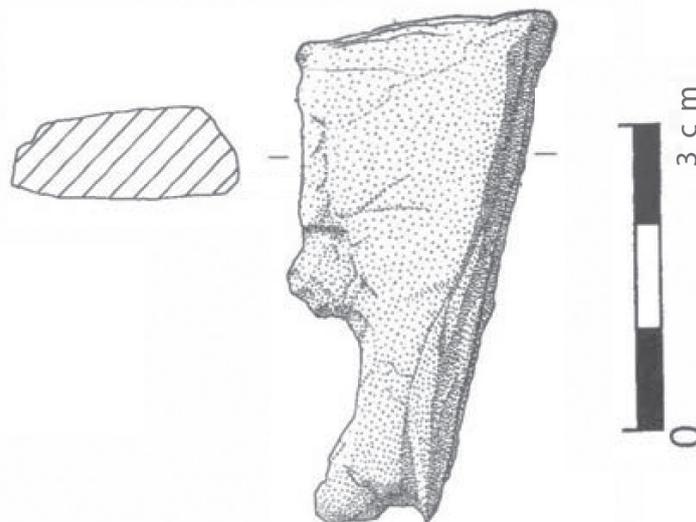


Fig. 1 – Lingote de cobre do povoado calcolítico de Leceia (baseado em Cardoso & Fernandes, 1995, Fig. 2).

2.2. Lingotes em placa tabular

Recentemente foi publicado um artefacto de cobre com uma forma tabular, de cantos arredondados, com uma secção plano-convexa (Fig. 2), encontrado à superfície no recinto de fossos calcólico da Folha do Ouro 1 (Serpa), tendo sido também interpretado como um lingote (Valera & *alii*, 2020; Soares, Valério & Valera, 2021). A sua forma prismática, de base rectangular, ligeiramente plano-convexa, resulta de ter sido utilizado, muito provavelmente, para a sua manufactura, um molde univalve rectangular, de paredes verticais, com o fundo ligeiramente côncavo (muitas vezes designado na literatura como *cadinho*), cuja forma é vulgar em contextos metalúrgicos no Calcolítico do Sudoeste Peninsular.



Fig. 2 – Lingote tabular plano-convexo da Folha do Ouro 1 (FO1-1).

A este muito provável lingote falta, num dos cantos, uma porção de metal. A “fractura” encontra-se boleada, não se observando quaisquer vestígios de corte. A interpretação para esta “fractura” será descrita mais adiante.

Existem paralelos para esta forma de lingote de cobre — em Gamonedo (Onís, Astúrias), próximo da mina de cobre calcólica de El Milagro, foram encontrados, num depósito com 14 artefactos de cobre, 10 lingotes com dimensões e formas muito semelhantes a este da Folha do Ouro 1 (Blas, 1979–1980; Reguera & *alii*, 2019).

2.3. Machados-lingote

Um machado plano de cobre proveniente do sítio calcólico de Porto Mourão (Moura) constitui, na investigação arqueológica portuguesa, o primeiro exemplar de um artefacto com esta tipologia que foi interpretado como lingote, tendo particularmente em atenção as suas características micro-estruturais e químicas. A estes dados poderá adicionar-se o facto de ter sido encontrado com restos de um tecido de linho que o envolveria, além de que a fractura que apresenta possui uma ligeira rebarba de dobragem ao longo de uma das arestas maiores (Ferraz, 1994; Soares, Araújo & Cabral, 1994). Posteriormente, um outro machado plano de cobre de Porto Mourão e ainda um outro do povoado calcólico de Três Moinhos (Baleizão, Beja) (Fig. 3) foram também por nós interpretados como lingotes (Soares & *alii*, 1996; 2020).



Fig. 3 – Machados-lingote: 1 - Três Moinhos (TM-1); 2 - Porto Mourão (PM-1); 3 - Porto Mourão (PM-2). Note-se a prega/rebarba de dobragem, assinalada por setas, no machado-lingote PM-1.

A atribuição da funcionalidade de lingote a machados planos tem sido uma matéria controversa na arqueologia peninsular (Ruiz & *alii*, 2019). Julgamos que a composição elementar e as características microestruturais, além de alguns aspectos morfológicos observáveis macroscopicamente, quer na superfície, quer nas fracturas dos exemplares considerados como possíveis lingotes, podem constituir parâmetros para fortalecer uma atribuição fiável de funcionalidade. Mesmo somente estes parâmetros macroscópicos são, muitas vezes, indicativos dessa funcionalidade. Vejam-se, por exemplo, os fragmentos de machados planos com vestígios de corte por percussão, designadamente gumes sem quaisquer vestígios de uso (Fig. 4), que constituem restos metalúrgicos vulgares em povoados calcolíticos na península de Lisboa, como acontece em Vila Nova de São Pedro, Leceia, Zambujal, Outeiro de São Mamede, Fórnea e Castro do Penedo (Cardoso, 2004); sendo relativamente raros no Sudoeste, foram registados apenas no Monte da Tumba (Silva & Soares, 1987) e nos Perdigões (Valera, inf. pessoal). Note-se o número de ocorrências de minérios de cobre nesta região, ao contrário do que acontece na península de Lisboa, de onde estão praticamente ausentes. Também é de notar a proveniência dos três machados-lingote aqui referidos, a indiciar que, apesar da proximidade dos jazigos minerais, este tipo de armazenamento e transporte de metal seria largamente utilizado.



Fig. 4 – Gumes de machados planos, que se poderão considerar como lingotes, do povoado calcolítico de Vila Nova de São Pedro, com marcas de corte por percussão, realizadas provavelmente com o auxílio de machados e cinzéis líticos (escala de 10 cm).

Se a atribuição da funcionalidade de lingote a alguns machados planos é ou tem sido controversa, deverá, no entanto, referir-se o que João Luis Cardoso & Júlio Roque Carreira (2003, pp. 124–125) afirmam (afirmação com a qual se concorda plenamente):

não será pela via da eficácia funcional que se poderão justificar os grandes utensílios de cobre calcolíticos, como os machados de cobre, material cuja ductibilidade inviabilizaria rapidamente o fio cortante dos respectivos gumes, tendo, deste modo, uma eficácia muito inferior aos machados de anfiboloxisto. É no quando da sua utilização como peças de prestígio, utilizadas apenas em funcionalidades muito especiais, ou, simplesmente, como matéria-prima, que a sua ocorrência deverá ser interpretada. É neste último sentido que também aponta a presença de diversos gumes de machados, cortados por serragem ou puncionamento dos corpos dos machados correspondentes.

Deverá, também, referir-se que a funcionalidade de lingote tem sido atribuída a machados planos registados em contextos do Calcolítico e da Idade do Bronze de várias regiões europeias, designadamente em França, Itália, Irlanda e Grã-Bretanha (Briard, 1976; Delrieu & *alii*, 2015; Gandois & *alii*, 2019). Trata-se de artefactos com a forma de machados planos, habitualmente sem vestígios de trabalho de forja pós-vazamento. Além disso, o vazamento parece ser normalmente de qualidade inferior, uma vez que se observam fissuras, chochos e, algumas vezes, pequenas depressões e pequenos vacúolos, estes resultantes da emissão de gases ou vapor de água durante o arrefecimento. Por vezes, apresentam um perfil ligeiramente plano-convexo, indicativo de terem sido obtidos, neste caso, num molde univalve. Também em alguns exemplares, os machados-lingote terão sido objecto de polimento, porventura para mostrar a qualidade do metal cobre com que foram manufacturados.

2.4. Outros

Existem na literatura referências a outros artefactos considerados como lingotes calcólíticos de cobre, mas que ainda não nos foi possível observar *in loco*. Embora tenham sido encontrados em sítios arqueológicos relativamente afastados da bacia do Guadiana, a origem do cobre poderá, muito possivelmente, estar nas unidades geotectónicas da ZSP, da ZOM ou, mesmo, da Zona Centro-Ibérica (ZCI), pelo que poderão servir de paralelos para lingotes que poderão ser, no futuro, encontrados na bacia deste rio peninsular. Não parecem existir quaisquer análises químicas ou micro-estruturais, nem mesmo descrições pormenorizadas destes possíveis lingotes, mas uma ou outra imagem dos mesmos já foi publicada, o que permite, numa primeira aproximação, admitir, ou não, ser verosímil essa atribuição. Referimo-nos a um lingote (Fig. 5A) proveniente do povoado calcólítico do Outeiro Redondo (Sesimbra), aproximadamente paralelepípedo, com cerca de 5 x 1,7 x 1,1 cm e faces algo rugosas, onde se observam várias fissuras e pequenas depressões (Cardoso, 2004, Fig. 59; 2010, Fig. 42; 2019, Fig. 60). Também do povoado calcólítico do Outeiro de São Mamede (Bombarral) se encontram referidos dois possíveis lingotes de cobre (Fig. 5B), além de alguns gumes de machados planos com vestígios de terem sido cortados (Cardoso & Carreira, 2003). Um dos lingotes aparenta poder ser integrado no tipo tabular atrás referido, com secção rectangular (Cardoso & Carreira, 2003, Fig. 39, n.º 8), enquanto o outro, aparentemente reduzido a um pequeno fragmento, apresenta uma face plana com três traços incisos (marca?) (Cardoso & Carreira, 2003, Fig. 40, n.º 6), para os quais não encontramos quaisquer paralelos em restos metalúrgicos pré-históricos publicados.

Por fim, não queremos deixar de referir os lingotes de Cabezo Juré (Alosno, Huelva), povoado calcólítico com inúmeros vestígios da metalurgia do cobre, situado no sudoeste andaluz, muito próximo da fronteira portuguesa. Segundo Nocete (2004, p. 302)

en los lingotes metálicos,...,tenemos también una fuerte normalización, acusada en los elevados pesos (hasta 79,17 gramos) que lo diferencia de cualquier otro artefacto, en la longitud (entre 13-15 cm), anchura (entre 0,8-1,2 cm), grosor (0,6-0,9 cm), sección (cuadrada) y extremos (punta plana y punta plana/aguzada) (fig. 14.5).

Por esta descrição e por observação da figura referida por Nocete, parece que os lingotes de Cabezo Juré se confundem com cinzéis algo longos e, embora machados planos e fragmentos de machados tenham também sido registados no sítio em causa, não são considerados com a funcionalidade que temos vindo a abordar. Por outro lado, a precisão ou, antes, o preciosismo do peso típico de lingote de cobre (aproximado ao centígrama) parece-nos sem qualquer razão de ser. Não há dúvida, por conseguinte, que a atribuição da funcionalidade de lingote a alguns artefactos tem sido e parece continuar a ser controversa. Contudo, a análise química e microestrutural, conjugada com a análise morfológica do artefacto, pode constituir uma ferramenta poderosa para uma atribuição fiável a um determinado exemplar.

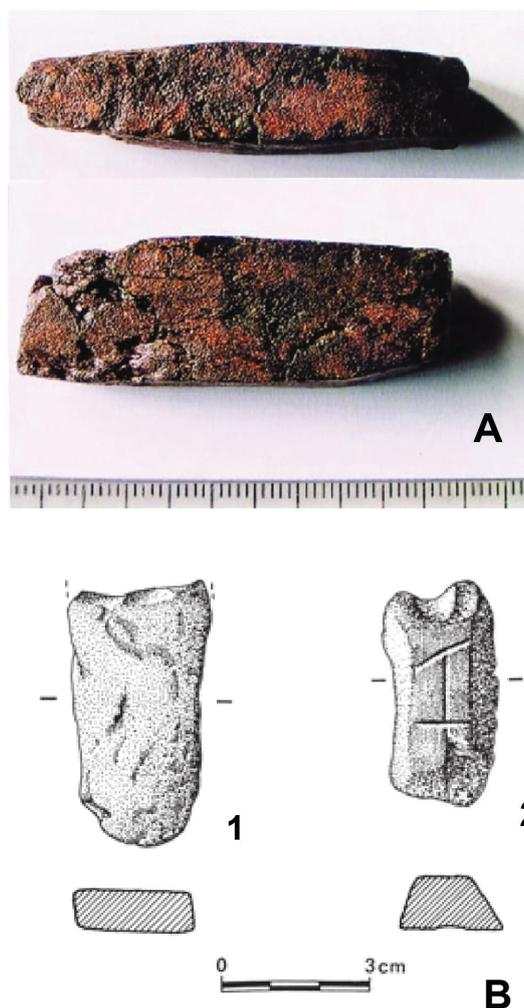


Fig. 5 – Possíveis lingotes de cobre calcolíticos: A- Outeiro Redondo (Sesimbra), segundo Cardoso (2004, Fig. 59); B1 e B2 - Outeiro de São Mamede (Óbidos), segundo Cardoso & Carreira (2003, Figs. 39:8 e 40:6, respectivamente).

3. Artefactos, possíveis lingotes: análise elementar e micro-estrutural

No Quadro 1 apresentam-se os pesos e os teores elementares dos artefactos (fragmentados), considerados como possíveis lingotes, provenientes de sítios calcolíticos da bacia do Guadiana Médio, nomeadamente os dois machados-lingote de Porto Mourão, um outro machado-lingote de Três Moinhos e a placa tabular da Folha do Ouro 1, cuja descrição macroscópica foi referida atrás. Como se pode observar nesse Quadro, qualquer um destes lingotes foi manufacturado em cobre muito puro — impurezas de arsénio com teores baixos ou muito baixos, teores de ferro também muito baixos, típicos da metalurgia pré-histórica peninsular, enquanto um teor relativamente alto (0,78%) de antimónio (Sb) foi determinado no machado-lingote de Três Moinhos, o que, como veremos adiante, nos poderá ajudar na procura de uma origem para o cobre deste artefacto.

Sítio (Referência)	Artefacto	Peso (g)	Cu (%)	As (%)	Sb (%)	Pb (%)	Fe (%)	Ref. bibliográfica
Porto Mourão (PM-1)	Machado plano	385	99,9	n.d.	n.d.	n.d.	<0,05	Valério, Soares & Araújo, 2016
Porto Mourão (PM-2)	Machado plano	178	99,5	0,40	n.d.	n.d.	<0,05	Soares & <i>alii</i> , 2020
Três Moinhos (TM-1)	Machado plano	170	98,8	0,44	0,78	n.d.	<0,05	Vidigal & <i>alii</i> , 2016
Folha do Ouro 1 (FO1-1)	Placa tabular	240	99,8	0,14	n.d.	n.d.	<0,10	Valera & <i>alii</i> , 2020

Quadro 1 – Pesos e composições químicas dos lingotes de cobre calcólíticos da bacia do Guadiana Médio (n.d.: não detectado).

Todos estes lingotes foram sujeitos a análise microestrutural. Na Fig. 6 podem observar-se microestruturas típicas destes quatro artefactos. Em todas elas se observa a microestrutura característica de vazamento, constituída por dendrites de cobre primário e uma rede interdendrítica de eutético Cu-Cu₂O, além de algumas (poucas) maclas, quer nas dendrites, quer na zona do eutético, o que é indicativo da ocorrência de alguma deformação plástica, seguida de recristalização. Essa deformação plástica poderá ser atribuída a trabalho de forja para obtenção de fragmentos do lingote a serem utilizados posteriormente na manufactura dos artefactos. Por outro lado, em todos os machados-lingote se observam fissuras e poros (chochos), que constituem testemunhos de uma solidificação deficiente, o que torna o artefacto sem funcionalidade como machado, mesmo sem considerar que a sua ductilidade inviabilizaria rapidamente a eficácia dos respectivos gumes.

Embora as fissuras e os poros não sejam visíveis nas microestruturas do provável lingote FO1-1, este apresenta, tal como os anteriores, uma microestrutura com numerosas inclusões de cuprite segregadas para os limites de grão (Fig. 6 D1). A contrastação da amostra (Fig. 6 D2), além de evidenciar a estrutura dendrítica de vazamento, evidenciou também o zonamento dos grãos, com os limites destes enriquecidos no eutético Cu-Cu₂O e com uma reduzida densidade de maclas. Estas características são, como referido atrás, indicativas de uma fraca deformação em trabalho de forja, deformação essa que poderá ter sido efectuada a quente ou a frio, e terá tido como finalidade destacar um fragmento (ver Fig. 2) para a manufactura de um pequeno artefacto. Se foi a frio, o que nos parece pouco provável, terá sido seguida dum tratamento térmico insuficiente para homogeneizar totalmente a microestrutura, não se vislumbrando qual a finalidade prática desse tratamento térmico. A forja a quente parece-nos ser mais convincente pois conduziria a um amaciamento do metal, tornando mais fácil o destacar do fragmento, ao mesmo tempo que poderia provocar um boleamento da fractura, tal como se observa em FO1-1.

Deste modo, a análise química e microestrutural, conjugada com a análise morfológica, permite atribuir, com uma elevada fiabilidade, a funcionalidade de lingote a estes artefactos de que temos vindo a tratar.

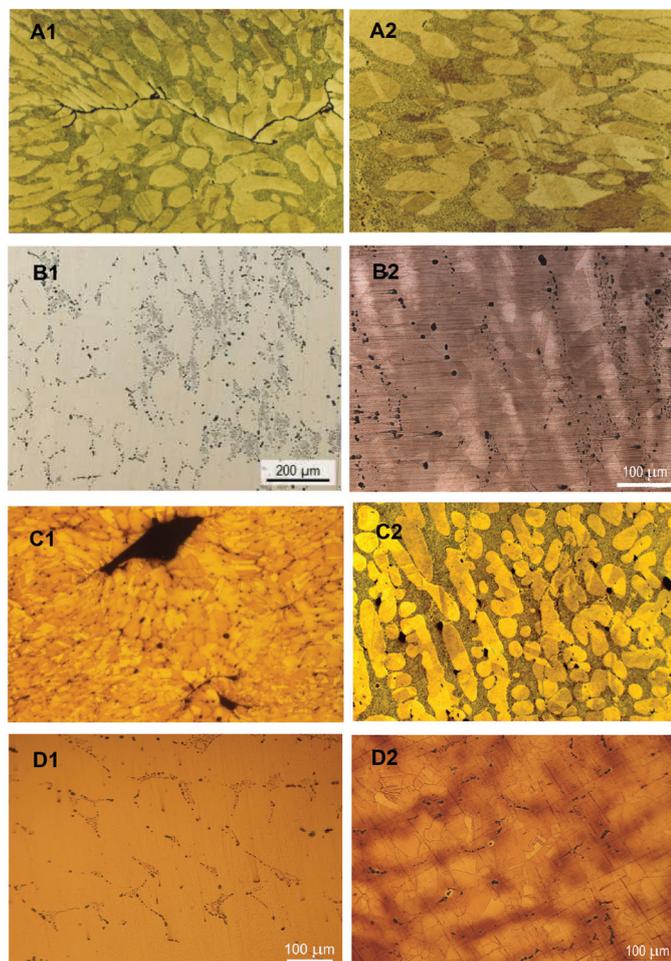


Fig. 6 – Microestruturas dos lingotes de cobre obtidas por microscopia óptica. A - Machado-lingote PM-1: A1 - dendrites de cobre primário e rede interdendrítica do eutético Cu-Cu₂O, observando-se uma fissura e alguns poros (após contrastação, 50x); A2 - microestrutura característica de solidificação após vazamento com algumas maclas, quer nas dendrites, quer na zona do eutético (após contrastação, 100x). B - Machado-lingote PM-2: B1 - microestrutura de solidificação após vazamento, observando-se as inclusões de Cu₂O e alguns poros (sem contrastação); B2 - grãos, de dimensão grande, com algumas maclas (após contrastação). C - Machado-lingote TM-1: C1 - dendrites mostrando orientação em relação aos poros e fissuras (após contrastação, 40x); C2 - dendrites zonadas coexistindo com grãos maclados (após contrastação, 80x). D - Lingote tabular FO1-1: D1 - inclusões de cuprite (Cu₂O) segregadas nos limites de grão (sem contrastação); D2 - grãos mal definidos com uma reduzida densidade de maclas (após contrastação).

4. Determinação da proveniência do cobre utilizado nos possíveis lingotes

Sendo estes artefactos lingotes, constituem, por conseguinte, o material ideal para, através da determinação da sua assinatura isotópica de Pb, procurar conhecer a origem do metal com que foram manufacturados e, a partir desse conhecimento, inferir sobre as redes e as rotas de trocas ou de intercâmbio que estão por detrás da circulação do cobre nestes primeiros tempos da metalurgia na bacia do Guadiana Médio.

No Quadro 2 encontram-se os valores das razões isotópicas do Pb dos quatro lingotes. A metodologia utilizada na determinação dessas razões isotópicas encontra-se em Soares & *alii* (2020).

Sítio	Amostra	Referência	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	2σ	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	2σ	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	2σ	$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	2σ	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	2σ
Três Moinhos	Machado-lingote	TM-1	31,2250	0,0012	16,3298	0,0007	38,8069	0,0019	1,24281	0,00002	0,52297	0,00001
Porto Mourão	Machado-lingote	PM-1	18,3370	0,0014	15,6657	0,0013	38,5016	0,0031	2,09966	0,00004	0,85432	0,00002
Porto Mourão	Machado-lingote	PM-2	18,5909	0,0006	15,6838	0,0006	38,7776	0,0019	2,08584	0,00005	0,84362	0,00001
Folha do Ouro 1	Placa tabular	FO1-1	18,3194	0,0016	15,6663	0,0014	38,4779	0,0037	2,10039	0,00007	0,85517	0,00002

Quadro 2 – Razões isotópicas do Pb de lingotes de cobre calcolíticos da bacia do Guadiana Médio, segundo Soares & alii, 2020 (PM-1, TM-1), Soares, Valério & Valera, 2020 (FO1-1) e inéditas (PM-2).

Dada a situação geográfica e a cronologia calcolítica destes lingotes, a origem do cobre deverá procurar-se, numa primeira abordagem, nas zonas tecno-estratigráficas que lhe ficam próximas. A área onde se inserem os sítios arqueológicos encontra-se na ZOM ou na transição da ZSP com a ZOM, situando-se a norte desta última a ZCI, que também poderá ter fornecido o metal. Por sua vez, na ZSP encontram-se os depósitos massivos de sulfuretos polimetálicos característicos da FPI. A base de dados de razões isotópicas do Pb utilizada neste trabalho foi construída a partir dos resultados já publicados de análises isotópicas de minérios de cobre das três zonas geológicas referidas: Marcoux & Sáez, 1994 (ZSP); Stos-Gale & alii, 1995 (ZSP); Marcoux, 1998 (ZSP); Hunt, 2003 (ZSP e ZOM); Tornos & Chiaradia, 2004 (ZOM); Klein & alii, 2009 (ZSP, ZOM e ZCI); Gauß, 2016 (ZSP, ZOM e ZCI); Soares & alii, 2020 (ZOM); Sáez & alii, 2021 (ZOM e ZCI).

Contudo, se se observarem as razões isotópicas do machado-lingote de Três Moinhos verifica-se que estas são bastante diferentes das correspondentes aos outros três lingotes, sendo características de um minério com chumbo altamente radiogénico ($^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}=31,2250$; $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}=1,24281$). Minérios que apresentam razões isotópicas desta ordem de grandeza, na Península Ibérica, são apenas conhecidos os explorados nas minas calcolíticas de El Milagro e de La Profunda, na Cornija Cantábrica (Huelga & alii, 2014a; 2014b), e em algumas minas no batólito de Los Pedroches, na zona oriental da Sierra Morena (ZCI) (Sáez & alii, 2021). Na Fig. 7 encontra-se a representação gráfica das razões isotópicas do Pb do machado-lingote de Três Moinhos e dos minérios de cobre das minas de El Milagro e La Profunda, bem como dos minérios de cobre das minas da ZCI. Observando os diagramas representados à esquerda na Fig. 7 verifica-se uma aparente coincidência entre a assinatura isotópica de TM-1 com as assinaturas isotópicas de minérios de El Milagro e de La Profunda e, também, com a recta de mistura correspondente aos minérios da mina Casa del Perro - La Virgen (ZCI), situada no batólito de Los Pedroches, próximo da localidade de Andújar, Jaén. Contudo, se se observarem os diagramas à direita na Fig. 7, onde estão representadas as razões isotópicas $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ vs $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ vs $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ e $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ vs $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, as quais são normalmente mais discriminantes que as utilizadas nos diagramas à esquerda, verifica-se que existe uma excelente coincidência entre a assinatura isotópica de TM-1 e a recta de

mistura correspondente aos minérios com chumbo altamente radiogénico da mina de El Milagro, o que já não acontece com as rectas de mistura correspondentes à mina La Profunda e à mina Casa del Perro - La Virgen. Além disso, TM-1 tem, na sua composição elementar, uma impureza (Sb) com um teor distintivo, impureza essa que também é característica dos minérios de El Milagro (Reguera & *alii*, 2019). Assim, quer a assinatura isotópica, quer a composição elementar, do machado-lingote de Três Moinhos são indicativas de que a origem do cobre com que foi manufacturado se encontra na mina de El Milagro, nas Astúrias.

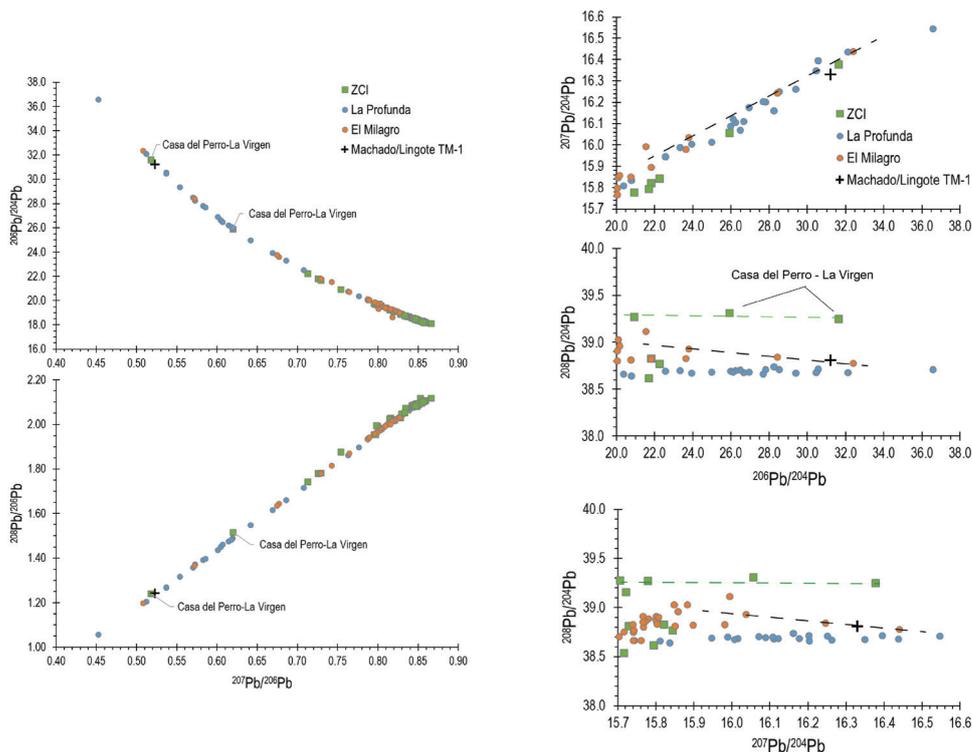


Fig. 7 – Razões isotópicas do Pb do lingote TM-1 comparadas com os campos isotópicos das minas El Milagro e La Profunda (Cordilheira Cantábrica) e da ZCI. Nos diagramas da direita encontram-se as rectas de mistura dos minérios de cobre com chumbo altamente radiogénico da mina El Milagro (a preto) e da mina Casa del Perro - La Virgen, ZCI (a verde).

No que se refere aos outros três lingotes, com assinaturas isotópicas de Pb, em que este não é altamente radiogénico, deverá investigar-se se o cobre terá a sua proveniência em minas da ZSP ou da ZOM ou, ainda, da ZCI. Na Fig. 8 encontra-se a representação gráfica das razões isotópicas desses três lingotes e de minérios de cobre da ZSP, na qual as razões referentes aos depósitos massivos de sulfuretos da FPI se apresentam com uma simbologia diferente da das razões isotópicas correspondentes aos outros depósitos de minérios de cobre dessa mesma zona geológica. Uma vez que o campo isotópico correspondente aos depósitos vulcanogénicos massivos de sulfuretos (VHMS - “volcanic-hosted massive sulphides”) se encontra bem amostrado e delimitado, facilmente se verifica pela observação dos diagramas representados nesta figura que o cobre destes lingotes não deverá provir de qualquer mina deste grupo. Já

o mesmo não se poderá afirmar liminarmente no referente a um qualquer outro depósito filoniano da Faixa Piritosa Ibérica. A base de dados (das razões isotópicas do Pb) dos minérios de cobre destes depósitos é ainda muito reduzida e há algumas assinaturas isotópicas de minérios desta Zona que se aproximam das dos lingotes, principalmente no que se refere ao machado-lingote PM-1 e ao lingote tabular FO1-1. Deverá, por conseguinte, ser verificado se haverá ou não uma melhor correspondência com minérios da ZOM ou da ZCI.

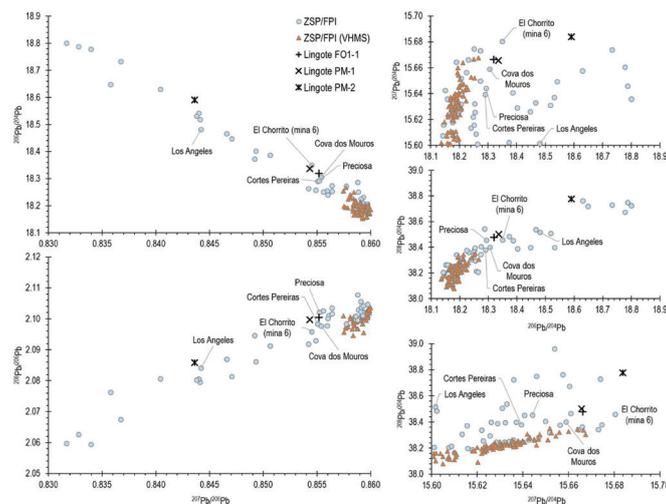


Fig. 8 – Razões isotópicas do Pb dos lingotes PM-1, PM-2 e FO1-1 comparadas com o campo isotópico da ZSP/FPI (VHMS - depósitos de sulfuretos massivos polimetálicos; indicação de minas com assinaturas isotópicas de Pb próximas das dos lingotes em estudo).

Na Fig. 9, comparam-se as razões isotópicas dos três lingotes em causa com as razões isotópicas de minérios de cobre da ZOM e da ZCI. Verifica-se que, embora os campos isotópicos da ZOM e da ZCI se sobreponham em grande extensão, as composições isotópicas dos lingotes PM-1 e FO1-1 têm uma melhor correspondência com composições da ZCI do que com as da ZOM, ao contrário do que seria de esperar, dado que os sítios arqueológicos donde provêm os artefactos se situam nesta última ou na fronteira sul da mesma. Os minérios de cobre da mina Encarnación (Guarromán, Jaén) têm uma assinatura isotópica praticamente coincidente com a do machado-lingote PM-1, enquanto o lingote tabular FO1-1 apresenta uma assinatura isotópica muito semelhante, quer à do minério da mina Encarnación, quer à do minério de Cerro Plaza (Cardeña, Córdoba), situando-se qualquer destas minas na área oriental da Sierra Morena. Quanto ao machado-lingote PM-2, a sua assinatura isotópica não coincide, nem se aproxima de qualquer das assinaturas isotópicas constantes actualmente nas bases de dados da ZOM e da ZCI, tal como acontece com a ZSP, como vimos anteriormente, pelo que não é possível atribuir ao cobre com que foi manufacturado uma proveniência fiável.

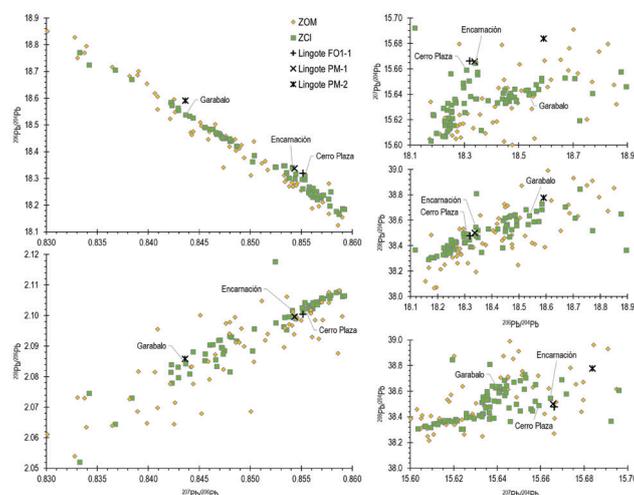


Fig. 9 – Razões isotópicas do Pb dos lingotes PM-1, PM-2 e FO1-1 comparadas com os campos isotópicos da ZOM e da ZCI (indicação de minas com assinaturas isotópicas de Pb próximas ou mesmo coincidentes com as dos lingotes em estudo).

5. Considerações finais

A identificação de artefactos de cobre como lingotes tem sido bastante rara e controversa na literatura arqueológica, designadamente sobre a metalurgia calcolítica do sudoeste da Península Ibérica. Contudo, a composição química e a caracterização microestrutural, complementadas por uma análise morfológica macroscópica, permitem, quanto a nós, proceder a essa identificação com um grau de fiabilidade aceitável. Com excepção de algumas massas de cobre informes a que tem sido atribuída a função de lingotes, mas cuja funcionalidade é de difícil atribuição, até por ausência de análises elementares e micro-estruturais, apenas uma meia dúzia de artefactos podem, com uma certa margem de segurança, ser considerados como lingotes. Destes fazem parte três machados planos, cuja composição elementar e características micro-estruturais — cobre muito puro, microestrutura de vazamento com vestígios ténues de deformação plástica realizada muito provavelmente em forja, a quente, com o intuito de destacar um fragmento ou fragmentos para a produção de artefactos — indiciam essa funcionalidade de lingote, enquanto a existência de fissuras e numerosos chochos excluem uma funcionalidade de machado. Também o artefacto tabular, proveniente do recinto de fossos da Folha do Ouro 1, cuja forma é resultante de um simples vazamento em molde, sem trabalho ulterior de fundição para lhe dar uma outra forma, encontrado quase completo, faltando-lhe apenas um fragmento de um dos cantos, possivelmente devido a ter sido destacado para produção de algum pequeno artefacto (um punção, porventura), pode ser, consequentemente, considerado como lingote. A sua forma é até agora única no registo arqueológico referente ao Calcolítico do Sudoeste, mas encontra paralelos estreitos no depósito de Gamonedo (Astúrias), onde foram encontrados 10 exemplares, também considerados como lingotes.

A determinação das razões isotópicas do Pb permitiu atribuir à matéria-prima (cobre) com que estes lingotes foram manufacturados uma proveniência fiável, com excepção do machado-lingote PM-2, encontrado no povoado calcolítico de Porto Mourão, cuja assinatura isotópica não tem correspondência em qualquer das bases de dados consultadas (ZSP, ZOM, ZCI). Contudo, estas bases de dados encontram-se em constante evolução e espera-se que mais análises isotópicas sejam efectuadas, de modo a obter uma caracterização isotópica dos numerosos depósitos mineiros ainda não amostrados destas regiões geológicas, o que permitirá, porventura, uma atribuição de proveniência ao cobre deste lingote de Porto Mourão.

Quanto aos outros três lingotes considerados, as respectivas razões isotópicas indiciam uma proveniência longínqua para a matéria-prima com que foram manufacturados, contrariamente ao que seria expectável, dada a proximidade de depósitos mineiros dos locais onde foram encontrados e a cronologia calcolítica que lhes é atribuída, correspondente aos primórdios da metalurgia na bacia do Guadiana. Assim, o cobre do machado-lingote PM-1 de Porto Mourão será proveniente da mina Encarnación, enquanto o do lingote tabular da Folha do Ouro 1 (FO1-1) será possivelmente desta mina ou da mina Cerro Plaza, qualquer delas situadas na região oriental da Sierra Morena, relativamente próximas uma da outra. Numa primeira aproximação, poderia julgar-se que esta atribuição de proveniências seria pouco aceitável, tendo em conta as distâncias (c. 300 km) que separam os sítios onde estes lingotes foram encontrados e a zona oriental da Sierra Morena, onde estas duas minas se localizam (Fig. 10).

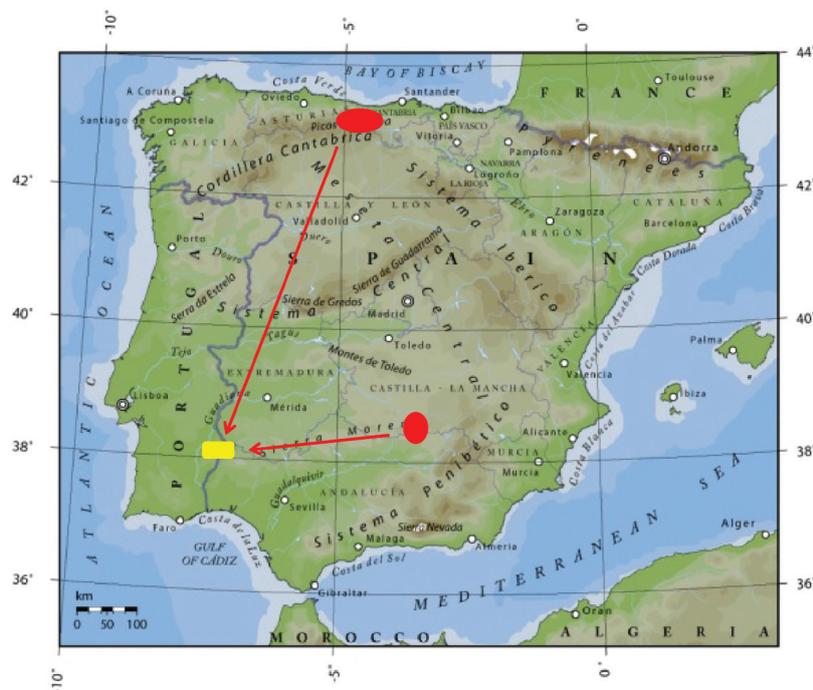


Fig. 10 – Localização da região da bacia do Guadiana onde foram encontrados os lingotes de cobre referidos neste estudo e das prováveis regiões de proveniência do cobre com que foram manufacturados — Cordilheira Cantábrica (TM-1) e Sierra Morena (PM-1 e FO1-1).

Contudo, a composição isotópica do outro lingote, o “machado plano” TM-1, encontrado no povoado calcólítico de Três Moinhos, não muito distante do recinto de fossos da Folha do Ouro 1, indicia a utilização de um cobre proveniente da mina de El Milagro, situada ainda a uma maior distância, cerca do dobro da distância anterior. Deverá também ter-se em atenção que uma ponta Palmela do povoado calcólítico do Zambujal e um machado plano do povoado calcólítico do Penedo, ambos situados na península de Lisboa, apresentam também um chumbo altamente radiogénico ($^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}=91,762$ e $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}=30,700$, respectivamente; ver Gauß, 2016; Soares & *alii*, 2020). A proveniência do cobre destes artefactos, tendo em conta as suas assinaturas isotópicas do Pb, será a mina La Profunda, no primeiro caso, ou esta, a mina El Milagro ou a mina Casa del Perro - La Virgen, no batólito de Los Pedroches, no segundo caso (ver Fig. 7).

Num trabalho relativamente recente de Mercedes Murillo e de Ignacio Montero (2017) afirma-se que os estudos de proveniência dos artefactos metálicos calcólíticos, ultimamente levados a cabo, não indicavam a existência de redes de troca a longa distância no Calcólítico, na Península Ibérica, embora revelassem uma grande quantidade de fontes de matéria-prima (depósitos minerais) a serem utilizados. E acrescentam:

To date, no case has been documented with the presence of extra-peninsular metal, nor we do have evidence of metal originating from other regions of the Peninsula (for example, no metal from the Asturian-Leonese mines [La Profunda, El Milagro, El Aramo] has been identified in the South of Iberia. During these first periods of metallurgy, the abundant copper resources of the Iberian Peninsula cause it to remain out of long-distance metal exchange (Murillo & Montero, 2017, p. 280).

Por conseguinte, ao contrário do que se julgava, as redes de intercâmbio do cobre existentes no Calcólítico, pelo menos no que diz respeito ao Sudoeste Peninsular, incluindo a península de Lisboa, tinham também uma componente de longa distância, como os resultados do nosso trabalho indiciam.

Agradecimentos

Agradece-se a José António Rhodes Sérgio e a José Gonçalo Valente a cedência dos machados-lingote PM-1 e PM-2, respectivamente, para a realização das análises referidas no texto. Agradece-se, igualmente, à Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT) o financiamento do C2TN através do Projecto UIDB/04349/2020, bem como o apoio do “Servicio General de Geocronología y Geoquímica Isotópica (GEOCRON) de la Universidad del País Vasco (SGIker - UPV/EHU/ERDF, EU)” na determinação das razões isotópicas do Pb dos lingotes de cobre discutidos neste trabalho.

Bibliografia citada

- BAPTISTA, Pedro; MONTERO RUIZ, Ignacio; SILVA, Ricardo Costeira da; SILVA, Ana Rita; VILAÇA, Raquel (2019–2020) – Do Bronze ao Ferro na Cova da Beira: novos dados sobre a Quinta da Samaria (Fundão/Covilhã). *Eburobriga*. 10, pp. 49–60.
- BLAS CORTINA, Miguel Ángel de (1979–1980) – El depósito de materiales de la Edad del Bronce de Gamonedo (Astúrias). *Zephyrus*. 30–31, pp. 268–276.
- BRIARD, Jacques (1976) – La paléoméallurgie en France. In GUILAINE, Jean, ed. – *La Préhistoire Française*. Vol. II. Paris: CNRS, pp. 237–245.
- CARDOSO, João Luis (2004) – *A Baixa Estremadura dos finais do IV Milénio a.C. até à chegada dos romanos: um ensaio de história regional*. Oeiras: Câmara Municipal.
- CARDOSO, João Luis (2010) – O povoado calcolítico fortificado do Outeiro Redondo (Sesimbra). Resultados das escavações efectuadas em 2005. In GONÇALVES, Victor S.; SOUSA, Ana Catarina, eds. – *Transformação e mudança no Centro e Sul de Portugal: o 4º e o 3º Milénio a.n.e.* Cascais: Câmara Municipal. pp. 97–129.
- CARDOSO, João Luis (2019) – Outeiro Redondo – Sesimbra – Escavações 2005–2016. *Estudos Arqueológicos de Oeiras*. 25, pp. 87–338.
- CARDOSO, João Luis; CARREIRA, Júlio Roque (2003) – O povoado calcolítico do Outeiro de São Mamede (Bombarral): estudo do espólio das escavações de Bernardo de Sá (1903/1905). *Estudos Arqueológicos de Oeiras*. 11, pp. 97–228.
- CARDOSO, João Luis; FERNANDES, Francisco Braz (1995) – Estudo arqueometalúrgico de um lingote de cobre de Leceia (Oeiras). *Estudos Arqueológicos de Oeiras*. 5, pp. 153–164.
- COSTA, Francisco António Pereira da (1870) – Notícia de alguns martellos de pedra, e outros objectos, que foram descobertos em trabalhos antigos da mina de cobre de Ruy Gomes no Alentejo. *Jornal de Sciencias Mathematicas, Physicas e Naturaes*. 2, pp. 75–79.
- DELRIEU, Fabien; GANDOIS, Henry; LE CARLIER DE VESLUD, Cécile; MÉLIN, Muriel; BARDEL, Véronique; CATTIN, Florence; GABILLOT, Maréva (2015) – Un nouvel assemblage de haches-lingots dans la vallée du Rhône: le dépôt de Loyettes (Ain). *Bulletin de l'Association pour la Promotion des Recherches sur l'Âge du Bronze*. 13, pp. 41–49.
- FERRAZ, Maria Teresa (1994) – Análise metalográfica do machado plano de cobre proveniente do povoado de Porto Mourão. In CAMPOS CARRASCO, Juan M.; PÉREZ MACÍAS, Juan Aurelio; GÓMEZ TOSCANO, Francisco, eds. – *Arqueología en el entorno del Bajo Guadiana: actas del Encuentro Internacional de Arqueología del suroeste [(celebrado en) Huelva y Niebla, 25 a 27 de febrero de 1993]*. Huelva: Universidad, pp. 196–197.
- FLORES, Francisco de Almeida; ARAÚJO, Carlos de (1945) – História da exploração da Mina de Ruy Gomes. *Estudos, Notas e Trabalhos do Serviço de Fomento Mineiro*. 1:3–4, pp. 296–303.
- GANDOIS, Henry; BURLOT, Aurelien; MILLE, Benoît; LE CARLIER DE VESLUD, Cecile (2019) – Early Bronze Age axe-ingots from Brittany: evidence for connections with south-west Ireland?. *Proceedings of the Royal Irish Academy*. 119C, pp. 1–36.
- GAUß, Roland (2016) – *Zambujal und die Anfänge der Metallurgie in der Estremadura (Portugal)*. *Technologie der Kupfergewinnung, Herkunft des Mealls und soziokulturelle Bedeutung der Innovation*. Früher bergbau und Metallurgie auf der Iberischen Halbinsel, Faszikel 1. Tübingen: Wasmuth.
- GONÇALVES, Victor S. (1989) – *Megalitismo e metalurgia no Alto Algarve Oriental: uma aproximação integrada*. Lisboa: Instituto Nacional de Investigação Científica.
- HANNING, Erica; GAUß, Roland; GOLDENBERG, Gert (2010) – Metal for Zambujal: experimentally reconstructing a 5000-year-old technology. *Trabajos de Prehistoria*. 67:2, pp. 287–304.
- HUELGA SUÁREZ, Gonzalo; MOLDOVAN, Mariella; SUÁREZ FERNÁNDEZ, Manuel; BLAS CORTINA, Miguel Ángel de; GARCÍA ALONSO, José Ignacio (2014a) – Defining the lead isotopic fingerprint of copper ores from north-west Spain: the El Milagro mine (Asturias). *Archaeometry*. 56:1, pp. 88–101.
- HUELGA SUÁREZ, Gonzalo; MOLDOVAN, Mariella; SUÁREZ FERNÁNDEZ, Manuel; BLAS CORTINA, Miguel Ángel de; GARCÍA ALONSO, José Ignacio (2014b) – Isotopic composition of lead in copper ores and a copper artefact from the La Profunda mine (León, Spain). *Archaeometry*. 56:4, pp. 651–664.
- HUNT ORTIZ, Mark A. (2003) – *Prehistoric mining and metallurgy in south west Iberian Peninsula*. Oxford: BAR Publishing.
- KLEIN, Sabine; DOMERGUE, Claude; LABAYE, Yann; BREY, Gerhard Peter; KAENEL, Hans-Markus von (2009) – The lead and copper isotopic composition of copper ores from the Sierra Morena (Spain). *Journal of Iberian Geology*. 35:1, pp. 59–68.
- MARCOUX, Eric (1998). Lead isotope systematics of the giant massive sulphide deposits in the Iberian Pyrite Belt. *Mineralium Deposita*. 33, pp. 45–58.
- MARCOUX, Eric; SÁEZ RAMOS, Reinaldo (1994) – Geoquímica isotópica del plomo de las mineralizaciones hidrotermales tardihercínicas de la faja pirítica ibérica. *Boletín de la Sociedad Española de Mineralogía*. 171, pp. 202–203.
- MÜLLER, Roland; CARDOSO, João Luis (2008) – The origin and use of copper at the Chalcolithic fortification of Leceia, Portugal. *Madrid*

Mitteilungen. 49, pp. 64–93.

MÜLLER, Roland K.; GOLDENBERG, Gert; BARTELHEIM, Martin; KUNST, Michael; PERNICKA, Ernst (2007) – Zambujal and the beginnings of metallurgy in southern Portugal. In LA NIECE, Susan; HOOK, Duncan; CRADDOCK, Paul, eds. – *Metals and mines: studies in archaeometallurgy*. London: Archetype Publications; The British Museum. pp. 15–26.

MÜLLER, Roland; SOARES, António M. Monge (2008) – Traces of early copper production at the Chalcolithic fortification of Vila Nova de São Pedro (Azambuja, Portugal). *Madriider Mitteilungen*. 49, pp. 94–114.

MURILLO BARROSO, Mercedes; MONTERO RUIZ, Ignacio (2017) – The social value of things. Amber and copper in the Iberian Chalcolithic. In BARTELHEIM, Martin; BUENO RAMÍREZ, Primitiva; KUNST, Michael, eds. – *Key resources and socio-cultural developments in the Iberian Chalcolithic*. Tübingen: Universität, pp. 273–290.

NOCETE, Francisco (2004) – *Odiel. Proyecto de investigación arqueológica para el análisis del origen de la desigualdad social en el Suroeste de la Península Ibérica*. Sevilla: Consejería de Cultura, Junta de Andalucía.

REGUERA GALÁN, Aida; BARREIRO GRILLE, Tania; MOLDOVAN, Mariella; LOBO, Lara; BLAS CORTINA, Miguel Ángel de; GARCÍA ALONSO, José Ignacio (2019) – A provenance study of Early Bronze Age artefacts found in Asturias (Spain) by means of metal impurities and lead, copper and antimony isotopic compositions. *Archaeometry*. 61:3, pp. 683–700.

ROVIRA LLORENS, Salvador (2016) – La metalurgia calcólica en el suroeste de la Península Ibérica: una interpretación personal. *Menga*. 7, pp. 53–65.

RUIZ TABOADA, Arturo; PEREIRA SIESO, Juan; URIARTE GONZÁLEZ, Antonio; MURILLO BARROSO, Mercedes; MARTÍNEZ NAVARRETE, María Isabel; MONTERO RUIZ, Ignacio (2019) – El depósito de Yuncillos (Toledo) y los depósitos de hachas planas en la Península Ibérica: una propuesta cronológica. *Spal*. 28:1, pp. 57–77.

SÁEZ RAMOS, Reinaldo; NOCETE CALVO, Francisco; GIL IBARGUCHI, José Ignacio; RODRÍGUEZ BAYONA, Moisés; INÁCIO, Nuno; QUISPE GUZMÁN, Dino; RODRÍGUEZ ALLER, Javier; SANTOS ZALDUEGUI, José Francisco (2021) – A lead isotope database for copper mineralization along the Guadalquivir River Valley and surrounding areas. *Journal of Iberian Geology*. 47, pp. 411–427.

SILVA, Carlos Tavares da; SOARES, Joaquina (1987) – O povoado calcólico do Monte da Tumba. I: escavações arqueológicas de 1982–86 (resultados preliminares). *Setúbal Arqueológica*. 8, pp. 29–79.

SOARES, António M. Monge; ARAÚJO, Maria Fátima; ALVES, Luis; FERRAZ, Maria Teresa (1996) – Vestígios metalúrgicos em contextos do Calcólico e da Idade do Bronze no Sul de Portugal. In MACIEL, Manuel Justino, ed. – *Miscellanea em homenagem ao Professor Bairrão Oleiro*. Lisboa: Colibri, pp. 553–579.

SOARES, António M. Monge; ARAÚJO, Maria Fátima; CABRAL, João M. Peixoto (1994) – Vestígios da prática da metalurgia em povoados calcólicos da bacia do Guadiana, entre o Ardila e o Chança. In CAMPOS CARRASCO, Juan M.; PÉREZ MACÍAS, Juan Aurelio; GÓMEZ TOSCANO, Francisco, eds. – *Arqueología en el entorno del Bajo Guadiana: actas del Encuentro Internacional de Arqueología del suroeste [(celebrado en) Huelva y Niebla, 25 a 27 de febrero de 1993]*. Huelva: Universidad, pp. 165–200.

SOARES, António M. Monge; VALÉRIO, Pedro; ARAÚJO, Maria Fátima; SILVA, Rui J. Cordeiro (2017) – A metalurgia campaniforme no sul de Portugal. In GONÇALVES, Victor S., ed. – *Sinos e taças. Junto ao oceano e mais longe. Aspectos da presença campaniforme na Península Ibérica*. Lisboa: Universidade, pp. 354–363.

SOARES, António M. Monge; VALÉRIO, Pedro; GOMES, Susana Sousa; MATALOTO, Rui; SOARES, Sofia Mesquita; SILVA, Rui J. Cordeiro; SOARES, Rui Monge (2020) – A first appraisal on copper sources for Chalcolithic settlements in southern Portugal using Pb isotope analysis. *Journal of Archaeological Science: Reports*. 33, 102481.

SOARES, António M. Monge; VALÉRIO, Pedro; VALERA, António Carlos (2021) – O lingote de cobre calcólico da Folha do Ouro 1 (Serpa) – Análise química, microestrutural e isotópica. In GONÇALVES, Victor S., ed. – *Terra e sal. Das antigas sociedades camponesas ao fim dos tempos modernos: estudos dedicados a Carlos Tavares da Silva*. Lisboa: Universidade, pp. 151–162.

STOS-GALE, Zofia; GALE, Noël H.; HOUGHTON, Judy; SPEAKMAN, Robert (1995) – Lead isotope data from the Isotrache Laboratory, Oxford: *Archaeometry Data Base 1, Ores from the Western Mediterranean*. *Archaeometry*. 37:2, pp. 407–415.

TORNOS ARROYO, Fernando; CHIARADIA, Massimo (2004) – Plumbotectonic evolution of the Ossa Morena zone, Iberian Peninsula: tracing the influence of mantle-crust interaction in ore-forming processes. *Economic Geology*. 99, pp. 965–985.

VALERA, António Carlos; PEREIRO, Tiago do; VALÉRIO, Pedro; SOARES, António M. Monge (2020) – O recinto da Folha do Ouro 1 (Serpa) no contexto dos recintos de fossos calcólicos alentejanos. In ARNAUD, José Moraes; NEVES, César; MARTINS, Andrea, eds. – *Arqueologia em Portugal. 2020: estado da questão*. Lisboa: Associação dos Arqueólogos Portugueses, pp. 971–983.

VALÉRIO, Pedro; CARDOSO, Isabel Pombo; SANTIAGO, Mafalda; ARAÚJO, Maria Fátima; ALVES, Luis C.; GONÇALVES, Mário Abel; MATALOTO, Rui (2020) – Microanalytical study of copper ores from the Chalcolithic settlement of São Pedro (Portugal): copper production in south-western Iberian Peninsula. *Archaeometry*. 62:2, pp. 314–328.

VALÉRIO, Pedro; SOARES, António M. Monge; ARAÚJO, Maria Fátima (2016) – An overview of Chalcolithic copper metallurgy from Southern Portugal. *Menga*. 7, pp. 31–50.

VIDIGAL, Rosa Orestes; VALÉRIO, Pedro; ARAÚJO, Maria de Fátima; SOARES, António M. Monge; MATALOTO, Rui (2016) – Micro-EDXRF of Chalcolithic copper-based artefacts from Southern Portugal. *X-Ray Spectrometry*. 45:1, pp. 63–68.