

## Ocorrência de ouro nos depósitos pliocénicos da região de Cruz de Pau (Seixal)

R. Salgueiro<sup>(1)</sup>, M. Chichorro<sup>(2)</sup>, L. Martins<sup>(1)</sup>

1 - Instituto Geológico e Mineiro, Apartado 7586, 2720 Alfragide – Portugal; tel. (351) 21 471 89 22, fax (351) 21 471 90 18; rute.salgueiro@igm.pt (R. Salgueiro), lmar@igm.pt (L. Martins).

2 - Rua Helena Felix 75, 2º Esq. Retaguarda, 2825 Charneca da Caparica – Portugal; tel. (351) 21 2976545; mac.chichorro@clix.pt.

### RESUMO

**Palavras-chave:** ouro; actividade mineira romana; Pliocénico; bacia do Baixo Tejo; abrasão eólica; toróides.

Recentemente foi descoberto, na área destinada à construção do estádio de atletismo Carla Sacramento na Cruz de Pau (Seixal), um conjunto de galerias e poços, que se pensa ser fruto de antiga actividade mineira romana, devido às características daqueles antigos trabalhos (dimensão, traçado e secção).

Os antigos trabalhos mineiros encaixam-se em formações do Pliocénico, areníticas com níveis conglomeráticos, tendo-se colhido preliminarmente quatro amostras num nível mais grosseiro com balastros subrolados centimétricos. Efectuou-se um estudo mineralométrico de minerais pesados de acordo com os procedimentos normais do Laboratório de Mineralometria do Departamento de Prospecção de Minérios Metálicos (DPMM) do Instituto Geológico e Mineiro (IGM). Trata-se de um nível com percentagens interessantes de ouro e com a presença de monazite nodular e clássica, xenótimo, cassiterite, espinelas *s.l.*, ilmenite e rútilo. As características morfológicas dos grãos de ouro e de outros minerais pesados apontam para duas fases principais de mobilização mineral: uma fluvial a preceder uma outra eólica. A elevada percentagem de grãos toroidais, com evidências de abrasão eólica, sugere que este terá sido o principal factor de reconcentração do ouro. A quantidade de partículas de ouro obtida nos concentrados é relevante, tendo-se calculado para um deles o teor de 3.2 ppm. As amostras foram também analisadas quimicamente para Au + 34 elementos, por activação neutrónica e ICP-MS, tendo fornecido teores com a mesma ordem de grandeza.

### ABSTRACT

**Key words:** gold; roman mining works, Pliocene; Lower Tagus basin; wind-ablation; toroids.

Recently had been discovery, in the area of the construction of the Carla Sacramento Athletics Stadium at Cruz de Pau (Seixal), a set of stopes and wells with characteristics of ancient Roman mining activities. The old mining works are incised in pliocene sandy formations with conglomeratic facies, where four preliminary samples were collected in a coarser level with subrounded pebbles. The heavy minerals of those samples were studied in accordance with the Heavy Mineral Concentrate Laboratory of the IGM. The previously mentioned facies has interesting gold percentages and the presence of grey (nodular) and classic monazite, xenotime, cassiterite, spinels *s.l.*, ilmenite and rutile. The morphology of the gold grains as well as the heavy minerals shows two phases of transport; an initial fluvial phase and a secondary aeolian phase influenced their concentration. The high percentage of toroid grains showing evidence of wind ablation, suggests that this was the main factor for reconcentration of the gold. The amount of gold particles obtained in the concentrates is considerable and in one sample, a grade of 3.2 ppm was calculated. The samples also have been analysed for Au + 34 elements by INAA and ICP-MS, the results of which show similar grades as previously obtained.

## INTRODUÇÃO

O topónimo «Almada» provém da expressão árabe “almadan” que significa «mina». Relatos históricos referem que nos séculos XI e XII, a região de Almada ainda sob ocupação Muçulmana, era uma das mais importantes da Península Ibérica do ponto de vista da mineração artesanal de ouro. «E em Almadã há h\_u vyeiro de fyno ouro» (Cintra, 1954). Admite-se que já no período do Bronze Final, o ouro aluvionar do Tejo foi alvo de exploração pois era utilizado para a produção de objectos de adorno e de diferenciação social (Carlos Fabião in José Mattoso, 1992). A riqueza do “aurífer Tagus” atraiu igualmente os Romanos. Autores romanos e árabes referem-se ao ouro recolhido em palhetas nas areias do Tejo, mas «...a grande extracção seria realmente de areias auríferas, retiradas de um antigo leito geológico do rio a sul de Almada...» (Cláudio Torres in José Mattoso, 1992). Julga-se que na zona de Adiça (Fonte da Telha), foi retomada a extracção deste metal, sobre os antigos trabalhos romanos (Silva Carvalho e Veiga Ferreira, 1954).

O depósito estudado está inserido na parte terminal da bacia do Baixo Tejo (Fig. 1) que tem sido alvo de sucessivas etapas de preenchimento desde o Paleogénico. A camada seleccionada foi sujeita a uma amostragem preliminar com duas tomas de cada uma das quatro amostras recolhidas. Uma das tomas foi moída a – 80 mesh e analisada por activação neutrónica e ICP-MS, para ouro e mais 34 elementos. Após a crivagem (3 mm) e separação em tri-bromo-metano (bromofórmio;  $d=2,89$ ) da outra toma, obteve-se um concentrado com a finalidade de estudar unicamente os minerais pesados.

Diferentes espécies minerais apresentam respostas distintas face ao mesmo mecanismo de transporte, factor este que tem influência no grau de calibração e de

concentração num depósito. A resposta de um grão mineral ao transporte depende da densidade, tamanho e forma, bem como das condições e mecanismos de erosão. Muitas vezes, procura-se quantificar a distância do transporte para encontrar a fonte primária, recorrendo ao estudo das paragénese minerais, da forma dos grãos e da textura da superfície.

DiLabio (1990) propôs uma classificação descritiva da forma dos grãos de ouro detriticos e da textura da superfície com base na observação directa à lupa binocular e/ou utilizando o microscópio electrónico de varrimento (MEV). Esta classificação agrupa os grãos nas classes *pristine* (grãos com formas primárias), *modified* (grãos com formas primárias ainda visíveis, mas modificadas) e *reshaped* (grãos com formas primárias completamente destruídas). Permite, de um modo expedito, ter acesso a um pouco da história dos grãos, nomeadamente à distância percorrida pelas partículas, desde a origem até à posição actual. Tendo presentes as devidas proporções entre as diferentes classes, poder-se-á afirmar que a distância de transporte aumenta das formas *pristine* para as *reshaped*. Knight *et al.* (1999) e Youngson & Craw (1999) procuram este tipo de resposta na análise morfológica com base em três parâmetros: grau de arredondamento, grau de achatamento e forma da linha de contorno da superfície com maior área. Para se ter uma ideia da proximidade da fonte primária, a análise estatística relativa à forma e textura dos grãos deve ser interpretada conjuntamente com os estudos centrados na sua assinatura química (Knight *et al.*, 1999). A natureza dúctil e maleável do ouro permite a deformação e evolução dos grãos para formas muito complexas quando estes são sujeitos a tensões (como por exemplo as inerentes ao dinamismo dos meios fluvial/marinho-marginal/glaciário/eólico). Assim, é às vezes possível relacionar a forma e textura dos grãos com as características do meio em que foram transportados.

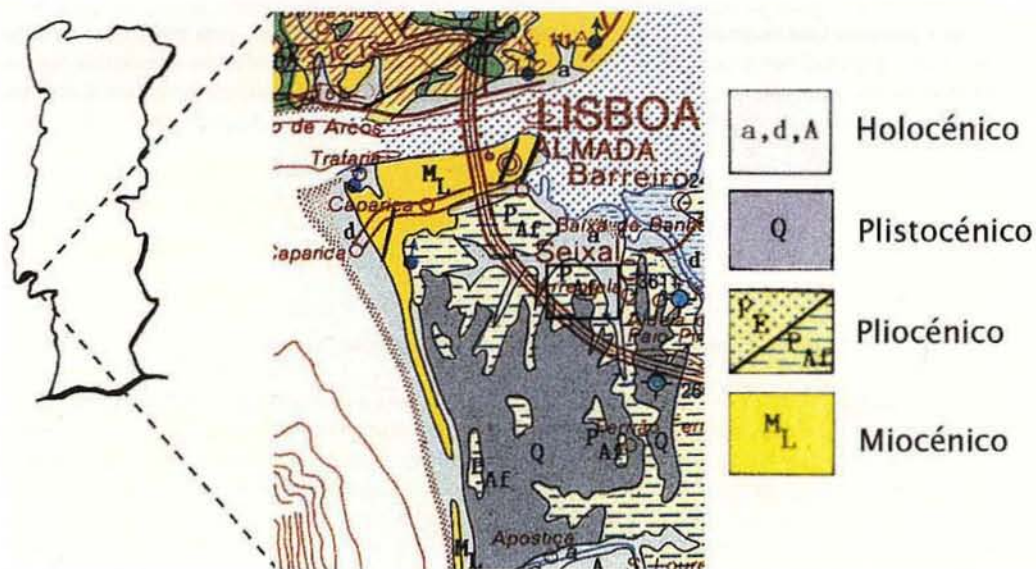


Fig. 1 - Localização da zona estudada (extracto ampliado da Carta Geológica de Portugal na escala 1: 500 000, Serviços Geológicos de Portugal, 1992).



## CARACTERIZAÇÃO DO DEPÓSITO ESTUDADO E ENQUADRAMENTO LITOSTRATIGRÁFICO

O depósito da Cruz de Pau está encaixado num conjunto de níveis conglomeráticos lenticulares intercalados em arenitos com diversas tonalidades onde predominam as manchas vermelhas e alaranjadas.

Os níveis conglomeráticos, com espessura vertical centimétrica variável, incluem essencialmente clastos de quartzito e de quartzo com cor variada (creme, amarelo-alaranjados, brancos e cinzentos). Aparentemente, os balastos não revelam imbricação preferencial nem granulotriagem óbvia. Estão envolvidos por uma matriz arenítica grosseira e o cimento é ferruginoso-argiloso. Em alguns observa-se deposição de óxidos de ferro em pequenas depressões ou ao longo de descontinuidades. A dimensão desta fracção grosseira é bastante variável, sendo possível, no entanto, separar um conjunto onde predomina cascalho de 1 a 3 cm, sub-anguloso a sub-rolado, de um outro com seixos de 4 a 5 cm, sub-rolados. Esporadicamente, observam-se alguns seixos que podem atingir dimensões superiores a 10 cm. O cortex de desmineralização dos seixos é fino a inexistente.

Os conglomerados estão intercalados em arenitos constituídos, em regra, por areias quártzicas de grão médio a grosseiro, consolidadas por cimento ferruginoso-argiloso que confere ao conjunto o característico tom vermelho-alaranjado. Nestes arenitos, a estratificação não é muito evidente.

Esta unidade, limitada a topo por uma superfície de aplanação bastante regular, é coberta por areias brancas acinzentadas, mal consolidadas, e de granularidade mais fina (Fig.2).

As características da Formação hospedeira do ouro apontam a possibilidade de poder tratar-se efectivamente de depósitos de enxurrada de idade pliocénica.

As galerias de exploração do ouro seguem claramente os níveis conglomeráticos e embora não tenha sido possível reconhecer com exactidão a possança e extensão do

depósito, a Divisão de Geofísica do IGM realizou a cartografia das galerias descobertas, aplicando técnicas de prospecção geoelectrica e prospecção sísmica, a pedido da Câmara do Seixal. As galerias tem 0.8 a 1.5 m de diâmetro, podendo atingir uma extensão de várias dezenas de metros. Estão localizadas a uma profundidade que pode variar entre 2 e 6 metros (Gonçalves *et al.*, 2000). A descoberta de outras galerias semelhantes, nomeadamente na zona de Coima, os relatos históricos relativos a antigas explorações de ouro na região (Minas de Almada, Mina da Adiça-Fonte da Telha), repercute-se no potencial aurífero de toda a bacia aluvial do Baixo Tejo.

## ESTUDO DE MINERAIS PESADOS À LUPA BINOCULAR

Em termos gerais, os minerais pesados, que representam em média 1% da amostra total colhida, encontram-se rolados a bem rolados; predominam as formas elípticas (baixa esfericidade). Raramente se observam as formas cristalinas. Às vezes o brilho característico de alguns grãos não é passível de ser avaliado por as superfícies se apresentarem com um aspecto baço e picotado. O valor percentual de grãos observados para as diferentes espécies minerais nas 4 amostras, bem como a respectiva distribuição das percentagens médias, estão ilustradas na Fig. 3.

A fracção magnética, que perfaz cerca de 92% dos minerais pesados das amostras, é composta, essencialmente, por ilmenite, estauroilite e turmalina, aparecendo como minerais acessórios a monazite nodular e clássica, o xenótimo, a granada, a leucóxena (presente na fracção magnética-MGN), a anfíbola e uma espinela que, por análise química e de difracção de Raios-X, foi identificada como sendo picrocromite ( $MgCr_2O_4$ ).

Na fracção não magnética, que corresponde aos restantes 8% dos minerais pesados, os mais representativos



Fig. 2 - (A) Depósito pliocénico da Cruz de Pau, com galerias romanas que seguem o nível conglomerático. (B) Pormenor do nível conglomerático.



	Ouro	Wolframite	Monaz. Nod.	Apatite	Zircão	Galena	Arsenopirite	Pirite	Hematite	Ilmenite	Brookite	Zenite	Andaluzite	Distena	Turnalusa	Topázio	Basite	Col.Tantalite	Leucos (MG)	Anthoba	Cronite*	Operador: Rita Ságuas (amostra n.º 1 e n.º 3), Rosa Patro (amostra n.º 2 e n.º 4). 14 de Maio de 1999.
Cruz de Pau	Cassiterite	Scheelite	Monaz. Clo	Xenotimo	Esfena	Candano	Calcopirite	Py Lim.	Magnetite	Rútilo	Anátase	Epídoto	Eftanrolite	Silimanite	Granada	Corundó	Fucoxenite	Ox.Ferro	Leucos (NM)	Morcovite	Espinel	Observações: * Cronite magnética - Picro-cronite.
CP1	6G, 54M, 72F	0	V	Md						A R		P	R	P	R				R	V	V	MGN: 3,3 cm
	4440F	0	V V							P P		Md	P	V					R			NM: 0,2 cm
CP2	95M, 55F, 70f	0	V	Md						A		Md	V	P	V				V		V	MGN: 2,4 cm
	8000F	0	R	V						Md	R	Md	R	V					P			NM: 0,2 cm
CP3	12G, 160M, 100F, 15Uf	0	V R	Md				V		A V		P	P	P	R				R	V	V	MGN: 1,6 cm
	900F	0	R	V						P P		Md	P	R					R			NM: 0,2 cm
CP4	4G, 65M, 80F, 5Uf	0	R	Md						A		P	V	P	V				R	V	V	MGN: 1,7 cm
	4000F	0	V							Md	P	Md	R	V								NM: 0,2 cm

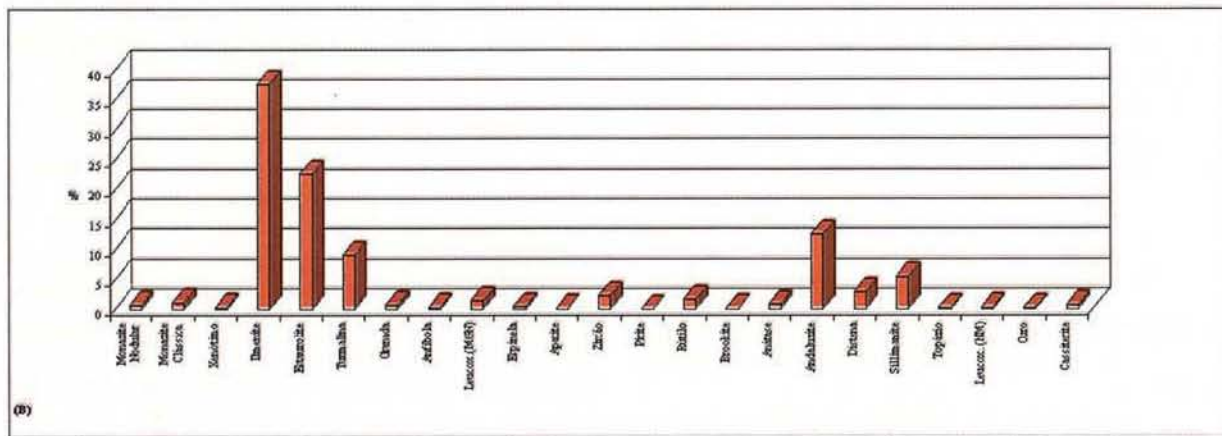
(A)

Legenda

Quantidade de grãos de ouro, cassiterite, wolframite e scheelite, existentes na amostra, em termos dimensionais: G-Grossos; M-Médios; F-Finos; UF-Ultrafinos.

Percentagem mineral relativa na amostra: V<1%; R-1 a 5%; P-5 a 25%; Md-25 a 50%; A-50 a 75%; M-75 a 100%.

MGN- fracção magnética da amostra; NM- fracção não magnética da amostra. As duas fracções estão representadas pela sua altura (h), em centímetros, num frasco cujo raio é 1,5 cm. Medidas utilizadas para o cálculo de volume de cada amostra.



(B)

Fig.3 - (A) Valores percentuais de grãos para as diferentes espécies de minerais pesados existentes nas quatro amostras do depósito pliocénico da Cruz de Pau e (B) distribuição dos seus valores percentuais médios.



350 μm

Fig. 4 - Grãos de ouro do depósito pliocénico da Cruz de Pau.

são: andaluzite, silimanite, distena, zircão e rútilo. Estão ainda presentes, em percentagens relativamente inferiores, anátase, cassiterite, ouro, topázio, leucoxena (presente na fracção não magnética-NM), pirite, brookite e apatite.

ESTUDO MORFOLÓGICO DAS PARTÍCULAS DE OURO

Da análise morfooscópica à lupa binocular dos 730 grãos de ouro observados nas quatro amostras (Fig. 4), o aspecto mais relevante é a forma toroidal, mais ou menos elíptica, da maioria dos grãos de ouro. Característica semelhante foi descrita por Filippov & Nikiforova (1986) e Minter (1999) em alguns depósitos importantes do tipo placer.

Para os grãos de ouro observados nas amostras da Cruz de Pau, foram definidos dois grupos principais:

### Grupo 1

Este grupo representa cerca de 90% das partículas de ouro observadas e é constituído por grãos achatados, com forma circular a elíptica, côncava nas duas faces. Em termos morfológicos, formam um conjunto muito homogêneo sendo a característica mais peculiar destes grãos o espessamento simétrico da periferia (Fig. 5).

Foi efectuada análise dimensional, à lupa binocular, de 150 grãos aleatoriamente escolhidos numa das quatro amostras. Verificou-se que a distribuição da frequência das dimensões destas partículas de ouro tem distribuição normal, ligeiramente assimétrica, revelando predominância das partículas mais finas. A classe modal que caracteriza a dimensão das partículas apresenta eixo maior

semelhantes foram obtidas por estes autores quando submetem pequenas lamelas de ouro e areia à acção do vento num túnel de ensaio. Os grãos de ouro resultantes mostram um anel no bordo; as secções longitudinais revelam que este espessamento corresponde a duas “bainhas”, ou rebordos finos e simétricos, de ouro na margem do grão. Esta característica morfológica é adquirida não só pela deformação por compactação da margem mas é, segundo estes autores, sobretudo consequência da acção mecânica dos grãos de areia em saltação na superfície das lamelas de ouro. Os grãos tendem a adquirir depressões esféricas com o aumento de horas de exposição no túnel de vento. Minter (1999), comparou as partículas do placer de Baaga com as observadas em amostras de Basal Reef (Witwatersrand, Africa do Sul) para provar que processos eólicos intervieram na acumulação daquele depósito aurífero.

Como se pode comprovar pela Fig. 4 e 5, no depósito da Cruz de Pau a grande maioria dos grãos de ouro

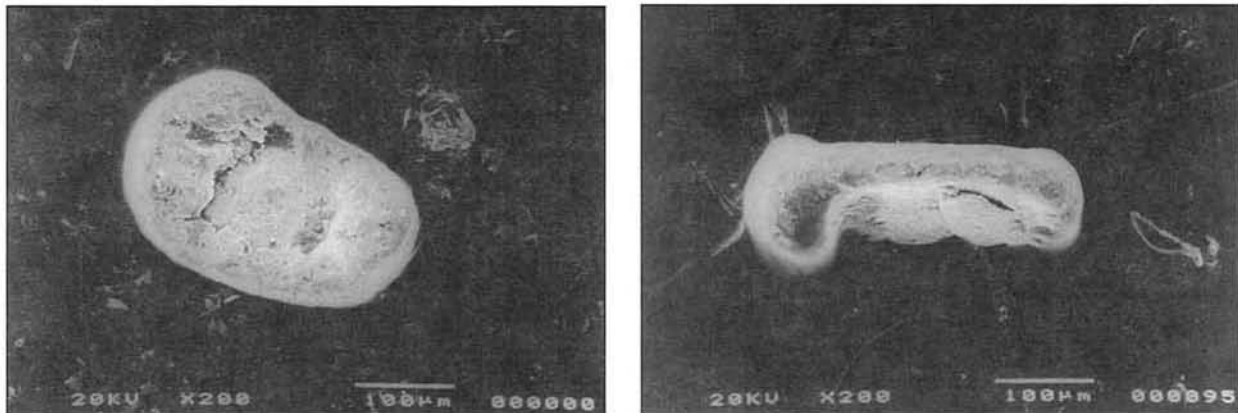


Fig. 5 - Fotografias em microscópio electrónico de varrimento. Partículas de ouro com a forma de toróide do depósito pliocénico da Cruz de Pau. (A) Face. (B) Perfil.

de 167  $\mu\text{m}$ , eixo intermédio de 100  $\mu\text{m}$  e eixo menor de 33  $\mu\text{m}$ . Para esta população, a média do comprimento do eixo maior é de 200  $\mu\text{m}$ .

Considerando apenas o diâmetro do eixo maior, conclui-se que 70% das partículas tem uma dimensão entre 133 e 233  $\mu\text{m}$ . As partículas com eixo maior inferior a 233  $\mu\text{m}$  perfazem 80% do total da amostra, o que pode sugerir alguma selecção no transporte. Cerca de 8% das partículas apresenta forma discoidal perfeita e existem ainda, distribuídas nas quatro amostras, alguns casos de partículas esféricas.

Segundo a classificação de Zingg, que relaciona o diâmetro correspondente aos eixos longo, médio e curto dos grãos, a forma da maioria das partículas cai no campo do laminado a oblato.

Filippov & Nikiforova (1986) descobriram que 80% dos grãos do placer de Baaga (Yakutia, Russia), associado à drenagem de uma paleosuperfície eólica do Miocénico coberta por siltes, tinham a forma toroidal (Fig. 6). Formas

apresentam características morfológicas muito semelhantes às descritas por Filippov & Nikiforova (1986) e por Minter (1999), sendo possível observar que alguns grãos parecem preservar um rebordo virado para o interior. Tais semelhanças permitem atribuir-lhes transporte eólico. A presença de formas que variam de elípticas a discoidais, parece indicar diferentes estádios evolutivos das partículas de ouro sob a acção do vento.

### Grupo 2

É constituído por finas palhetas de ouro, de contorno irregular, com dimensões que não se afastam das verificadas para as partículas do **grupo 1**. A observação através do MEV permitiu a identificação de possíveis faces primárias (Fig. 7) em algumas das partículas, integrando-as, assim, na classe das formas *pristine*, atribuída por DiLabio (1990). Estas formas sugerem um intervalo de tempo mais curto entre a origem e a deposição e/ou uma menor distância percorrida.



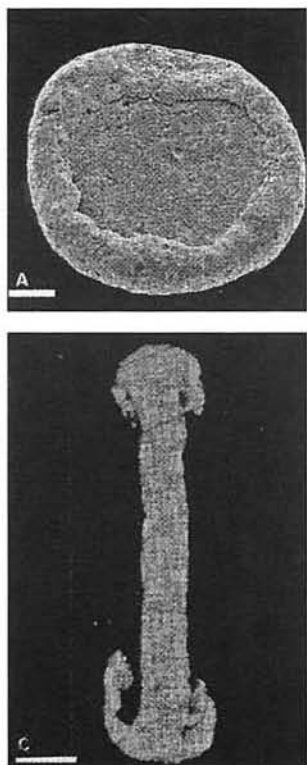


Fig. 6 - Fotografias em microscópio electrónico de varrimento, de grãos de ouro provenientes do placer Baaga (Yakutia, Rússia; de Minter *et al.*, 1999). (A) Face. (B) Perfil. A barra de escala = 50 µm.

## ANÁLISE GEOQUÍMICA

Após moagem a -80 mesh, as amostras foram sujeitas a análise química para Au + 34 elementos por activação neutrónica e ICP-MS. Os resultados estão expressos na Fig. 8.

Considerando o valor médio, e respectivo intervalo de confiança para a concentração de elementos menores em rochas ígneas e sedimentares comuns (Rose *et al.*, 1979), concluí-se que os teores em Au, Th, Ta, La, Ce e Hf são anómalos. De modo geral, os resultados da análise química são concordantes com as observações mineralométricas qualitativas e quantitativas efectuadas aos minerais pesados. Os teores de ouro observados (3.0, 1.2, 1.3 e 1.9 ppm) são da mesma ordem de grandeza dos obtidos utilizando o método normal de pesagem para cálculo da concentração de ouro numa das amostras (3.2 ppm). Os valores claramente acima da média em Th, e em alguns elementos de terras raras como o La, Sm, Eu, Yb e sobretudo o Ce, são o reflexo da presença de fosfatos, como é o caso da monazite nodular e clássica e, em menor quantidade, o xenótimo. Os valores obtidos para o Eu confirmam a presença de monazite nodular que é uma variedade rica neste lantanídeo. Os valores anómalos em Ta, bem acima da média para as rochas crustais (2 ppm), não encontram correspondência nas observações qualitativas, o que pode ser explicado pela grande dificuldade na identificação da tantalite quando este mineral surge em quantidades reduzidas e com as

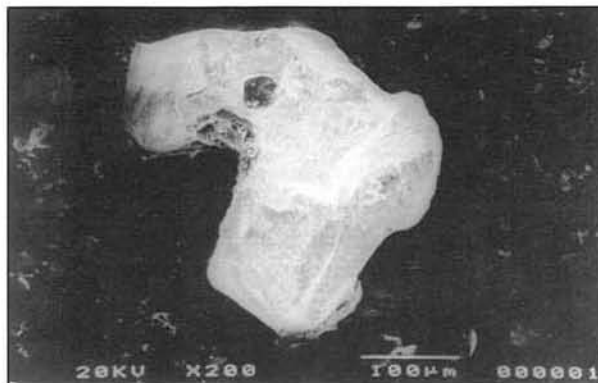


Fig. 7 - Fotografia em microscópio electrónico de varrimento. Palheta de ouro com formas primárias preservadas, do depósito pliocénico da Cruz de Pau.

características morfológicas e físicas apagadas pelos processos de abrasão. A mesma explicação pode ser dada para o facto de a esfalerite e barite não fazerem parte do conjunto de minerais pesados identificados, apesar dos teores de Zn e Ba se apresentarem no limiar do que se poderá considerar anómalo. As proporções relativamente altas de Hf, elemento com grandes afinidades em termos de carga iónica e raio iónico com o Zr, podem dever-se à abundância de zircão. A presença de cassiterite, detectada através do teste de estanhagem, também confirma os valores obtidos por análise química. O valor do Cr é suficiente para justificar a detecção de cromite na amostra, tendo, no entanto, um teor inferior ao obtido para a média das rochas crustais. O mesmo acontece em relação ao Rb, que juntamente com o Na e o Cs, foram os únicos metais alcalinos analisados. Os valores de Rb são, no entanto, francamente mais altos que a média obtida para a generalidade das rochas sedimentares areníticas ou quartzíticas (40 ppm). Os valores que este litófilo atinge nas análises químicas devem reflectir a presença de alguns feldspatos, ou produtos da sua alteração supergénica, ricos de K, no seio da matriz arenítica. Recorde-se que valores elevados de Rb associados a uma razão Rb/Sr alta, em rochas de alteração, são vistos, e utilizados, como indicadores geoquímicos de depósitos de metais preciosos (Rose *et al.*, 1979). Os valores de Se, muito superiores à média obtida para a generalidade das rochas crustais, podem ser o reflexo da presença dos óxidos de ferro e de minerais das argilas, os quais tendem a adsorver aquele elemento calcófilo. Os valores de Fe, não devendo ser considerados extraordinários, reflectem, no entanto, a precipitação como óxido de ferro hidratado em ambiente oxidante, o que é observável pela cor da própria rocha.

Da análise química semi-quantitativa realizada no MEV, foram detectadas ligeiras diferenças nas partículas de ouro dos dois grupos morfológicos (Fig.9). No grupo 1 os valores de Cu revelaram-se ligeiramente superiores aos detectados para o grupo 2. A prata foi registada unicamente nos grãos do grupo 2. Uma tentativa de procurar uma relação entre as características químicas das partículas e as suas fontes primárias e secundárias obrigaria a um estudo muito mais aprofundado.

Elemento	Au	Ag	As	Ba	Br	Ca	Co	Cr	Cs	Fe	Hf	
	(ppb)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(%)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(%)	(ppm)	
Amostra N.º	CP/1	3030	0	10	400	4	0	6	77	6	3.37	50
	CP/2	1240	0	10	410	4	0	6	64	6	2.9	44
	CP/3	1330	0	14	430	0	0	5	65	8	3.29	20
	CP/4	1920	0	13	380	0	0	6	75	6	3.47	56

Elemento	Hg	Ir	Mo	Na	Ni	Rb	Sb	Sc	Se	Sn	Sr	Ta	
	(ppm)	(ppb)	(ppm)	(%)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(%)	(%)	(ppm)	
Amostra N.º	CP/1	0	0	0	0.1	0	123	1.2	10.9	9	0.27	0	46
	CP/2	0	0	0	0.11	0	102	0.8	10.1	9	0.23	0	45
	CP/3	0	0	0	0.12	0	120	1.3	10.3	6	0	0	8
	CP/4	0	0	0	0.08	0	99	0.9	11	9	0.14	0	30

Elemento	Th	U	W	Zn	La	Ce	Nd	Sm	Eu	Tb	Yb	Lu	
	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	
Amostra N.º	CP/1	85.7	11.4	7	99	160	369	154	28.9	1.8	2.3	6.9	1.04
	CP/2	71	11	4	82	142	359	127	25	1.8	2	6.6	0.99
	CP/3	29.1	7.3	4	76	60	115	55	11.5	1.7	1.2	3.3	0.49
	CP/4	55.6	12.1	6	92	102	234	97	18.4	1.7	1.6	6.6	0.96

Fig. 8 - Valores analíticos encontrados para as quatro amostras do depósito pliocénico da Cruz de Pau (valores em ppm, com excepção do Ca, Fe, Na, Sn e Sr - % - e Au e Ir - ppb).

	Au (W%)	Ag (W%)	Cu (W%)	Zn (W%)
Ouro tipo toroide	95.52	0.0	2.69	1.79
Ouro tipo palheta	95.59	0.78	1.71	1.93

Fig. 9 - Valores analíticos determinados para diferentes tipos de grãos de ouro encontrados nas amostras do depósito pliocénico da Cruz de Pau.

## CONCLUSÕES

A análise estatística, morfoscópica e exoscópica da fracção de minerais pesados existentes no depósito grosseiro com concentração anómala de ouro, permitiu pôr em evidência os seguintes aspectos:

- a fracção de minerais pesados representa em média 1% do total da amostra. 92% dos minerais pesados são espécies magnéticas. Dentro deste grupo destacam-se como espécies essenciais a ilmenite, estauroilite, turmalina; como minerais acessórios ocorre a monazite nodular e clássica, xenótimo, granada, anfíbola, picrocromite e agregados de leucoxena. Os minerais mais representativos da restante fracção não magnética são a andaluzite, silimanite, distena, zircão, rútilo e, em percentagens menores a anátase, cassiterite, ouro, topázio, pirite, brookite, apatite e leucoxena.

- Os grãos revelam um grau de rolamento importante apresentando-se, na maioria, rolados a sub-rolados. Uma

percentagem significativa apresenta as superfícies baças e picotadas.

- Morfologicamente, distinguem-se dois grupos de partículas de ouro: o **grupo 1**, que representa 90% dos grãos, tem forma toroidal, côncava em ambas as faces e com bordadura mais espessa; o **grupo 2** é formado por partículas com contorno irregular, com superfícies aparentemente primárias, que permitiu a sua classificação como formas *pristine* conforme a classificação de DiLabio (1990).

Da análise geoquímica ressaltam os seguintes aspectos:

- Os teores de Au, Sn, Th, Ta, La, Ce, Hf e Rb são anómalos em relação à média e respectivo intervalo de confiança obtida para a concentração de elementos menores para a generalidade das rochas crustais;

- Salvo algumas excepções, os resultados da análise são concordantes com as observações incidentes nos minerais pesados economicamente importantes. O depósito grosseiro não é apenas anómalo em ouro, mas também em elementos de terras raras (Ce, La, Sm, Eu, Yb) reflexo da presença de fosfatos entre os minerais pesados (monazite nodular, monazite clássica e xenótimo). A presença de cassiterite e espinela (picrocromite), se bem que em quantidades sub-económicas, valoriza o depósito.

- Os grãos de ouro do **grupo 1** apresentam valores de Cu ligeiramente superiores aos do **grupo 2**. Estes, parecem estar enriquecidos em Ag em relação aos do **grupo 1**. No entanto estes valores devem ser vistos apenas como uma tendência, atendendo à limitada representatividade da amostragem.

## DISCUSSÃO

Atendendo a que 80% das partículas de ouro apresentam o seu eixo maior inferior a 233 µm, é legítimo pensar-se que foram sujeitas a importante selecção dimensional durante o transporte.

Por outro lado, a homogeneidade morfológica das partículas de ouro (a maioria das partículas são laminadas a oblatas) aponta para um papel decisivo de apenas um agente de geodinâmica externa no processo de concentração do ouro naquele depósito. A enorme semelhança entre os grãos da Cruz de Pau e os resultantes das experiências de Filippov & Nikiforova (1986) aponta para que a deflacção tenha sido preponderante na concentração do ouro. A acção do vento como agente de transporte e concentração dos minerais pesados é evidenciada pela corrosão exercida sobre o ouro dúctil e sobre os restantes minerais pesados mais estáveis, que apresentam superfícies baças, despolidas e arredondadas.

Mas como explicar a presença de grãos eolizados num depósito torrencial? Não sendo caso único, este depósito conglomerático alberga um paleo-placer de minerais com valor económico. Um exemplo paradigmático são os jazigos de Witwatersrand na África do Sul. Os níveis conglomeráticos hospedeiros do ouro apresentam características de um depósito gerado em regime torrencial, sob a influência de clima seco árido a sub-árido. Duas interpretações podem ser sugeridas: - após uma primeira fase de selecção dimensional e concentração das partículas de ouro transportadas em regime fluvial associado à dinâmica do pré-Tejo, os grãos passaram por uma fase de remobilização torrencial (alternativa 1), ou por uma fase de reconcentração eólica (alternativa 2).

Alternativa 1 - Os depósitos torrenciais remobilizaram, a partir de sedimentos antigos, o ouro previamente eolizado incorporando-o na sua constituição.

Alternativa 2 - Uma visão alternativa, que explica a associação toroides-conglomerados é fornecida por Minter *et al.* (1999) para o Witwatersrand, que aponta para uma concentração eólica do ouro sobre os depósitos conglomeráticos que se comportariam como barreiras inibidoras do movimento dos grãos. As condições ambientais então vigentes, tornam plausível a hipótese da mistura, posteriormente à acumulação dos depósitos grosseiros, por partículas removidas de sedimentos fluviais

mais antigos e transportadas pelo vento. A coexistência de dois grupos morfológicamente distintos na mesma amostra sugere que parte do ouro presente (as formas *pristine* que não chegaram a ser trabalhadas pelo vento) foi remobilizado a partir de depósitos com carácter fluvial pelo episódio torrencial. As ligeiras discrepâncias nas assinaturas químicas dos dois grupos podem sugerir fontes primárias distintas. No entanto, este estudo não permite obter dados a este respeito.

A presença de alguns grãos de ouro mais boleados, a mascarar a sua forma toroidal original, pode ser interpretada como eventual retoma fluvial ou marinha, ante ou pós inclusão no depósito, consoante as alternativas propostas.

Este estudo vem sublinhar o facto de existir algum potencial económico inerente aos depósitos plio-quadernários da bacia do Baixo Tejo. Para a sua avaliação concreta é importante proceder à compilação dos dados pré-existentes de índole cartográfica, sedimentológica, estratigráfica, geoquímica, etc. Só uma forte complementariedade entre as diversas disciplinas permitirá verificar se as mesmas condições favoráveis à deposição e reconcentração do ouro e outros minerais economicamente importantes ocorreram noutros locais da planície aluvial do Baixo Tejo e Sado. O estudo qualitativo e quantitativo de pormenor dos minerais pesados pode dar um contributo importante para a caracterização dos diferentes níveis conglomeráticos do sinclinal de Albufeira.

## AGRADECIMENTOS

Agradecemos toda a atenção disponibilizada pelo Prof. João Pais (Centro de Estudos Geológicos da UNL, Faculdade de Ciências e Tecnologia) quer na realização de todo o trabalho em microscópio electrónico de varrimento, quer nos seus esclarecimentos. Ao Dr. José Lencastre (Instituto Geológico e Mineiro), a realização da análise química para a identificação da cromite e à colaboração de Rosa Pateiro (Técnica Profissional de 1ª classe; Instituto Geológico e Mineiro) na observação de parte das amostras na lupa binocular e na realização dos testes de difracção de Raios-X



**BIBLIOGRAFIA**

- Cintra, L.F.L. (1954) - Crónica Geral de Espanha de 1344. Lisboa, *Academia Portuguesa de História*, II, 67 pp.
- DiLabio, R.N.W. (1990) - Classification and interpretation of shapes and surface textures of gold grains from till on the Canadian Shield; in Current Research, Part C, *Geological Survey of Canada*, Paper 90-1c: 323-329.
- Filippov, V.E. & Nikiforova, Z.S. (1986) - Transformation of particles of native gold in the process of eolian action: Institute of Geology of the Yakutia Branch, Siberian Division, USSR Academy of Sciences, Yakutsk: Translated from Russian by Jack McIntosh and John Knight, University of British Columbia, Vancouver, B. C., December, 1989, 5p. (Original UDC 553.411.068.5, *Mineralogy*: 1229-1232).
- Gonçalves, R.M.D., Carvalho, J.P.G., Torres, L.M.M., Mendes Victor, L.A., Raposo, J., e Sabrosa, A. (2000) - Métodos sísmicos e geoelectricos na detecção de galerias mineiras abandonadas: *Comunicações da II Assembleia Luso-Espanhola de Geodesia e Geofísica*, 507-27, p. 295-296.
- Mattoso, José (1992) - História de Portugal, Vol. I – *Antes de Portugal*; Edição Círculo dos Leitores, 388 pp.
- Knight, J.B., Morison, S.R. & Mortensen, J.K. (1999) - The relationship between placer gold particle shape, rimming, and distance of fluvial transport as exemplified by gold from the Klondike District, Yukon Territory, Canada: *Economic Geology*, 94: 649-664.
- Minter, W.E.L. (1999) - Irrefutable detrital origin of Witwatersrand gold and evidence of eolian signatures: *Economic Geology*, 94: 665-670.
- Reineck, H.E. & Singh, I. B. (1975) - *Depositional sedimentary environments*. Springer -Verlag, 132 pp.
- Rose, A. W., Hawkes, H.E. & Webb, J.S. (1979) - *Geochemistry in Mineral Exploration*. Academic Press eds, Second Edition, 657pp.
- Silva Carvalho, J. & Veiga Ferreira, O. (1954) - Algumas lavras auríferas romanas: *Estudos Notas e Trabalhos do S.F.M.*, IX(1-4): 20-46.
- Youngson, J.H. & Craw, D. (1999) - Variation in placer style, gold morphology, and gold particle behavior down gravel Bed-Load Rivers: an example from the Shotover/Arrow-Kawarau-Clutha river system, Otago, New Zealand: *Economic Geology*, 94: 615.