

Análise de moedas de bolhão de D. Fernando por espectrometria de fluorescência de raios X

João M. Peixoto Cabral *
Mário Gomes Marques **

Resumo

Fez-se a análise não destrutiva de 27 moedas de bolhão de D. Fernando, nomeadamente cinco torneses de busto, cinco torneses de cruz, duas barbudas, oito graves e sete pilartes, por espectrometria de fluorescência de raios X. Em três delas (dois graves e um pilarte) repetiu-se a análise depois de limpar, cuidadosamente, as superfícies. Os resultados obtidos nestes últimos ensaios estão de acordo com as informações de fontes documentais e narrativas, que atribuem a liga de dois dinheiros aos pilartes e a de três dinheiros aos graves. Por outro lado, os resultados obtidos nos ensaios não destrutivos sugerem que, muito provavelmente, na produção das barbudas e dos torneses de busto também se empregou uma liga de três dinheiros. Além disso, indicam que a liga usada para lavar os torneses de cruz deve ter sido de melhor qualidade do que a utilizada na cunhagem dos torneses de busto.

Summary

Energy-dispersive X-ray fluorescence analyses have been made of 27 uncleaned billion coins of Dom Fernando of Portugal, namely five torneses de busto, five torneses de cruz, two barbudas, eight graves and seven pilartes. For three of them (two graves and one pilarte) analyses were repeated after cleaning the surfaces by abrasion and polishing. The results obtained for the cleaned coins agree with what has been stated in written sources, which refer that the graves and the pilartes contained silver 3 and 2 deniers fine respectively. Although the accuracy of the analytical method for the uncleaned coins was poor the results

* Laboratório Nacional de Engenharia e Tecnologia Industrial, Instituto de Energia, Departamento de Química, 2685 Sacavém.

** Universidade Livre de Lisboa, Departamento de Ciências Históricas, 1200 Lisboa.

have suggested that the *barbudas* and the *torneses de busto* would have been minted by using a silver alloy 3 deniers fine. The results have also indicated that the fineness of the *torneses de cruz* would have been higher than that of the *torneses de busto*.

Resumo

Fiz-se a análise de 27 moedas de bolhão de D. Fernando, nomeadamente cinco *torneses de busto*, cinco *torneses de cruz*, duas *barbudas*, oito *graves* e sete *platas*, por espectrometria de fluorescência de raios X. Em três delas (dois *graves* e um *plata*) repetiu-se a análise depois de limpar, cuidadosamente, as superfícies. Os resultados obtidos nestes últimos casos estão de acordo com as informações de fontes documentais e numismáticas, que atribuem a liga de dois denheiros aos *platas* e a de três denheiros aos *graves*. Por outro lado, os resultados obtidos nos casos não destruídos sugerem que, muito provavelmente, as produções das *barbudas* e dos *torneses de busto* também se empregou uma liga de três denheiros. Além disso, indicam que a liga usada para fazer os *torneses de cruz* deve ter sido de melhor qualidade do que a utilizada na produção dos *torneses de busto*.

Summary

Twenty-seven coins of D. Fernando's bolhão were analysed, five *torneses de busto*, five *torneses de cruz*, two *barbudas*, eight *graves* and seven *platas*. For three of them (two *graves* and one *plata*) analysis was repeated after cleaning the surfaces by abrasion and polishing. The results obtained for the cleaned coins agree with what has been stated in written sources, which refer that the *graves* and the *platas* contained silver 3 and 2 deniers fine respectively. Although the accuracy of the analytical method for the analysed coins was poor the results

1. Laboratório Nacional de Engenharia e Tecnologia Industrial, Instituto de Engenharia e Tecnologia, Av. do General Spínola, 1150 Lisboa.
2. Laboratório de Física, Departamento de Ciências Físicas, 1200 Lisboa.

Introdução

A pobreza informativa das fontes documentais e literárias à disposição dos investigadores constitui um dos obstáculos maiores para o estudo da numária medieval portuguesa. De facto, em relação a não raros períodos, tais fontes não permitem fundamentar hipóteses coerentes quanto aos sistemas monetários adoptados e às políticas económicas seguidas, na medida em que são omissas, confusas ou contraditórias no respeitante à talha e à lei de muitas das moedas emitidas, nada dizem dos desvios oficial e officiosamente permitidos a esses valores, contêm imprecisões surpreendentes acerca do curso legal das espécies e só facultam dados fragmentários sobre os preços dos metais preciosos nas várias épocas.

Deste modo, as análises das ligas metálicas dos exemplares hoje existentes representam recurso imprescindível para o progresso dos conhecimentos numismáticos, a que fornecem achegas importantes, desde que efectuadas usando métodos merecedores de confiança em materiais criteriosamente seleccionados consoante os problemas a esclarecer.

No entanto, a determinação da composição das moedas antigas está condicionada por entraves decorrentes da raridade de muitos dos exemplares, raridade essa que impede a sua destruição, mutilação visível ou colocação, por prazos longos, em condições que contra-indicam a exposição e o manuseio. Daí o interesse suscitado, nos últimos decénios, por alguns métodos de análise não-destrutivos ou que só exigem a limpeza de pequeníssimas áreas das moedas, designadamente métodos de espectrometria de fluorescência de raios X, métodos de activação em que as espécies radioactivas produzidas tenham uma vida média curta¹ e métodos de activação em que a amostra a analisar seja

¹ GORDUS, A. A., *Rapid non destructive activation analysis of silver in coins*. "Science and Archaeology", R. H. BRILL, The MIT Press, 1971, pp. 145-155.

obtida por fricção com um pequeno pedaço de quartzo, ou por brocagem usando brocas de pequeníssimo diâmetro². Porém, os métodos de espectrometria de raios X limitam-se a fornecer resultados da composição da superfície dos materiais analisados. Assim, dada a ocorrência de efeitos de enriquecimento à superfície das moedas no decurso do tempo³, sobretudo no caso de ligas de prata-cobre, estes métodos, embora bastante precisos, só conduzem a resultados exactos quando as moedas estão em estado praticamente novo ou são convenientemente limpas. Ora a limpeza das moedas não é normalmente permitida por conservadores e coleccionadores, a não ser por vezes em áreas muito pequenas. Deste modo, para se fazer por espectrometria de fluorescência de raios X e de maneira exacta a análise de moedas sensíveis a efeitos de enriquecimento à superfície, é-se em geral obrigado ao uso duma milisonda⁴ ou duma microsonda⁵.

Quando se procurou realizar o estudo das ligas metálicas de moedas de prata de D. Fernando não foi possível obter autorização para limpar as moedas, brocá-las ou activá-las com neutrões. Decidiu-se, por isso, fazer a sua análise usando um método convencional de espectrometria de fluorescência de raios X aplicado directamente às moedas por limpar. Mesmo sabendo que os resultados obtidos não conduziram ao conhecimento exacto da composição das ligas usadas na sua cunhagem, esperava-se contudo que eles pudessem oferecer uma nova perspectiva sobre o assunto. E, na verdade, isso veio a verificar-se.

Efectivamente, num primeiro estudo realizado com moedas de boa prata⁶ foi possível concluir, atendendo aos efeitos do enriquecimento em prata à superfície, que nenhuma moeda das três classes individualizadas em bases tipológicas (reais de F, reais de FR e fortes) terá sido cunhada em obediência à lei de 11 dinheiros. Os resultados obtidos não excluem, todavia, a possibilidade de, exceptuando talvez os fortes, tais moedas terem sido lavradas com a liga de prata de 10 dinheiros, referida por Fernão Lopes para os reais. Foi possível concluir, por outro lado, com base na análise estatística dos resultados respeitantes à prata e tendo ainda em atenção os efeitos de enriquecimento, que muito provavelmente os fortes foram lavrados com uma liga de qualidade supe-

² GORDUS, A. A., *op. cit.* (v. nota 1); MEYERS, P.; VAN ZELST, L.; SAYRE, E. V., *Major and trace elements in Sasanian silver*. "Archaeological Chemistry", C. W. BECK, American Chemical Society, Washington, D. C. 1974, pp. 22-23.

³ HALL, E. T., *Surface enrichment of buried metals*, "Archaeometry", 4, 1961, pp. 62-66; CONDAMIN, J.; PICON, M., *Changes suffered by coins in the course of time and the influence of these on the results of different methods of analysis*. "Methods of Chemical and Metallurgical Investigation of Ancient Coinage", E. T. HALL, D. M. METCALF, Royal Numismatic Society, London, 1972, pp. 49-66.

⁴ BANKS, M. S.; HALL, E., *X-ray fluorescent analysis in Archaeometry: the "Milliprobe"*, "Archaeometry", 6, 1963, pp. 31-36.

⁵ PADFIELD, T., *Analysis of Byzantine copper coins by X-ray methods*. "Methods of Chemical and Metallurgical Investigation of Ancient Coinage", E. T. HALL, D. M. METCALF, Royal Numismatic Society, London, 1972, pp. 219-234.

⁶ CABRAL, J. M. P.; POSSOLO, A.; MARQUES, M. G., *Non-destructive analysis of reais and fortes of Dom Fernando of Portugal by X-ray spectrometry*, "Archaeometry", 21, 1979, pp. 219-231.

rior à usada para a produção dos reais das classes F e FR. Nesta nova perspectiva avançaram-se então, nesse estudo, algumas sugestões sobre determinados aspectos da política monetária de D. Fernando.

O presente trabalho constitui um segundo estudo sobre as ligas metálicas de moedas de D. Fernando, que diz respeito às moedas de bolhão. Neste caso, porém, uma vez que algumas destas moedas eram menos raras e valiosas, já se tornou possível efectuar a análise de três exemplares convenientemente limpos, nomeadamente de dois graves e um pilarte, e ficar a conhecer, portanto, pelo menos para duas das denominações, o valor exacto do seu teor em prata.

Material e método de análise

Moedas analisadas. Analisaram-se cinco torneses de busto e cinco torneses de cruz, todos do Museu Numismático Português, e ainda duas barbudas, oito graves e sete pilartes, da colecção do Dr. Fontes Pacheco. Nas três primeiras colunas do quadro 1 indicam-se os seus números de identificação, bem como as designações dos grupos a que pertencem, segundo a classificação tipológica proposta por um de nós⁷.

Limpeza de moedas. A limpeza dos dois graves e do pilarte citados na introdução foi feita nas duas faces fazendo incidir sobre elas um jacto de partículas abrasivas e, em duas dessas moedas (um dos graves e o pilarte), polindo depois uma das faces numa polideira mecânica.

Método de análise. As análises foram realizadas usando um espectrómetro dispersivo de energias, com um detector de Ge(Li) de modelo 8013-16300 da Ortec, empregado correntemente em espectrometria de raios gama de baixas energias. Como agente de excitação, utilizou-se uma fonte radioactiva anular de ²⁴¹Am. Pormenores relativos a este espectrómetro, aos padrões de prata-cobre de calibração, ao modo de operação, ao tratamento dos dados e ao método de calibração (método absoluto), foram já referidos numa primeira publicação⁸. Aqui faremos apenas notar que, por motivos de ordem económica, se decidiu não efectuar determinações dos teores de chumbo, dado tratar-se dum elemento menor da composição das ligas, pouco relevante relativamente ao objectivo em causa.

Resultados e discussão

No quadro 1 apresentam-se os resultados obtidos nas análises das 27 moedas consideradas. Os números indicados para cada exemplar representam os resultados dos teores de prata e de cobre relativos ao anverso e ao reverso, arredondados para os dígitos mais próximos. Entre parênteses colocaram-se as médias aritméticas desses resultados, também arredondadas.

No quadro 2 mostram-se os resultados obtidos nas análises das três moedas submetidas a limpeza, para cada grau do tratamento de limpeza.

⁷ MARQUES, M. G., *Moedas de Dom Fernando*, Lisboa, 1978.

⁸ CABRAL, J. M. P.; POSSOLO, A.; MARQUES, M. G., *op. cit.* (v. nota 6).

QUADRO I
Composições da superfície de moedas de bolhão de D. Fernando

Classe	Número de identificação	Grupo	Ag (%)			Cu (%)			Total (%)			
			Anv.	Rev.	Méd.	Anv.	Rev.	Méd.	Anv.	Rev.	Méd.	
T. de cruz	M. N. P.	4 333	1/1	41	44	(43)	31	26	(29)	72	70	(71)
"	"	9 307	1/1	36	33	(35)	46	51	(49)	82	84	(83)
"	"	9 308	1/1	38	40	(39)	39	35	(37)	77	75	(76)
"	"	12 849	1/1	37	35	(36)	48	45	(47)	85	80	(83)
"	"	12 848	1/2	41	41	(41)	30	34	(32)	71	75	(73)
T. de busto	M. N. P.	12 845	1/1	26	23	(25)	69	72	(71)	95	95	(95)
"	"	4 329	1/1	28	32	(30)	42	46	(44)	70	78	(74)
"	"	4 328	2/1	28	28	(28)	60	54	(57)	88	82	(85)
"	"	4 330	3/2	27	27	(27)	66	59	(63)	93	86	(90)
"	"	4 331	5/3	32	31	(32)	49	49	(49)	81	80	(81)
Barbuda			1/2	29	31	(30)	52	43	(48)	81	74	(78)
"			3/2	31	28	(30)	52	55	(54)	84	83	(84)
Grave	C. F. P.	30	1/1	32	31	(32)	40	43	(42)	72	74	(73)
"	"	25	1/1	26	27	(27)	64	60	(62)	90	87	(89)
"	"	29	1/1	31	29	(30)	57	59	(58)	87	88	(88)
"	"	53	1/1	30	31	(31)	55	49	(52)	85	80	(83)
"	"	41	1/1	31	29	(30)	48	58	(53)	79	87	(83)
"	"	49	1/1	28	27	(28)	59	62	(61)	87	89	(88)
"	"		1/1	30	32	(31)	56	53	(55)	86	85	(86)
"(*)	"		1/1	35	35	(35)	55	57	(56)	90	92	(91)
Pilarte	C. F. P.	91	1/1	19	19	(19)	74	72	(73)	93	91	(92)
"	"	105	1/1	19	22	(21)	71	64	(68)	90	86	(88)
"	"		3/3	19	18	(19)	75	78	(77)	94	96	(95)
"	C. F. P.	134	3/3	17	19	(18)	77	74	(76)	94	93	(94)
"	"	135	3/3	17	17	(17)	75	74	(75)	92	91	(92)
"	"	138	3/4	19	19	(19)	70	71	(71)	89	90	(90)
"	"	139	3/4	19	19	(19)	73	72	(73)	92	91	(92)

QUADRO 2
Composição da superfície de moedas de bolhão de D. Fernando, depois de limpas com jacto abrasivo e depois de polidas

Classe	Tratamento de limpeza	Ag (%)		Cu (%)		Total (%)	
		Anv.	Rev.	Anv.	Rev.	Anv.	Rev.
Grave	Nenhum	30	32	56	53	86	85
	Jacto abrasivo	28	29	61	59	89	88
Grave (*)	Nenhum	35	35	55	57	90	92
	Jacto abrasivo	35	34	57	57	92	91
	Polimento	26	—	70	—	96	—
Pilarte	Nenhum	19	18	75	78	94	96
	Jacto abrasivo	18	18	78	77	96	95
	Polimento	17	—	81	—	98	—

C. F. P. — Colecção do Dr. Fontes Pacheco.

M. N. P. — Museu Numismático Português.

(*) — Moeda intensamente afectada pela corrosão.

Como era de esperar e conforme o que acontecera no caso dos reais e dos fortes, as somas dos teores de prata e de cobre obtidas para cada moeda por limpar, as quais se incluíram também no quadro 1, não atingiram 100% em nenhum exemplar, o que se deve a várias causas, a principal das quais é a corrosão que provoca o enriquecimento em prata à superfície. Esta questão já foi discutida em pormenor⁹ e, por isso, limitar-nos-emos aqui a salientar que para cada moeda a inexactidão dos resultados, derivada do efeito de enriquecimento à superfície, deverá em regra ser menor para a prata do que para o cobre; por outras palavras, que o excesso do teor de prata devido ao enriquecimento deverá ser menor que o défice do teor de cobre provocado por esse enriquecimento. Salientaremos, ainda, que, para cada elemento, a inexactidão dos resultados deverá, em geral, ser tanto maior quanto maior for o efeito de enriquecimento, isto é, quanto maior for o desvio da soma dos teores determinados de prata e de cobre, relativamente a 100%.

Assim, dado que as médias das somas dos teores de prata e de cobre das moedas das diferentes classes são 77,1% (desvio padrão $s = 5,4$) para os tornezes de cruz, 84,8% ($s = 8,1$) para os torneses de busto, 80,5% ($s = 4,5$) para as barbudas, 84,9% ($s = 5,7$) para os graves e 91,6% ($s = 2,5$) para os pilartes, será legítimo concluir-se que a exactidão dos resultados obtidos com as moedas por limpar é em média maior para os pilartes do que para as moedas das outras classes e que diminui pela seguinte ordem: pilartes > torneses de busto = graves > barbudas > tornezes de cruz. Esta conclusão é confirmada pelos resultados relativos ao pilarte e ao grave que foram submetidos a polimento (quadro 2). Para estas moedas, as diferenças entre a média dos teores de prata à superfície e o seu teor de prata no núcleo são, respectivamente, de 1,5% e 9%, enquanto as diferenças entre a média dos teores de cobre à superfície e o seu teor de cobre no núcleo são, respectivamente, de -5% e -14%.

Note-se que o tratamento de limpeza com jacto abrasivo, tal como foi efectuado, apenas actuou favoravelmente para um dos graves, menos intensamente afectado pela corrosão, e só em escala reduzida. É provável, no entanto, que esse tratamento, depois de repetido várias vezes, possa retirar uma camada mais espessa da superfície das moedas e conduzir, do mesmo modo que o polimento, ao conhecimento exacto da sua composição.

Importa sublinhar que os teores de prata determinados no pilarte e no grave submetidos a polimento foram de 17% e 26%, respectivamente. Estes resultados estão de acordo com as informações provenientes das fontes documentais e narrativas, que atribuem às ligas utilizadas na cunhagem dessas moedas as leis de, respectivamente, dois dinheiros (16,7% de prata) e três dinheiros (25% de prata).

Deste modo, dado que se verifica que a exactidão dos resultados obtidos para os graves é aproximadamente a mesma que a dos observados para os torneses de busto, e uma vez que as médias dos teores de prata nas camadas superficiais dessas moedas (respectivamente $30,3\% \pm 2,6$ e $28,2\% \pm 2,8$) dife-

⁹ CABRAL, J. M. P.; POSSOLO, A.; MARQUES, M. G., *op. cit.* (v. nota 6).

rem apenas de 2%, parece-nos razoável sugerir que, muito provavelmente, os torneses de busto devem ter sido fabricados com uma liga de três dinheiros, idêntica à utilizada na cunhagem dos graves.

Apesar de a exactidão dos resultados referentes às barbudas ser, em média, um pouco pior que a dos resultados respeitantes aos graves e aos torneses de busto, é de notar que a média dos teores de prata na superfície dessas moedas ($29,8\% \pm 1,5$) se situa entre as médias dos correspondentes valores obtidos para os graves e para os torneses de busto. Considera-se, por isso, igualmente razoável sugerir ainda, com base nos resultados obtidos, que as barbudas foram também lavradas com uma liga de três dinheiros. Aliás, é esta a liga afirmada, para estas moedas, nas fontes documentais.

Mais incerto se torna, porém, dada a maior inexactidão dos resultados obtidos para os torneses de cruz, avançar sugestões sobre a composição da liga utilizada na cunhagem destas moedas. Contudo, como se verificou que a média dos seus teores de prata é, à superfície, de $38,6\% \pm 3,4$ (mais 10,4% do que a verificada para os torneses de busto), e que a média da soma dos teores de prata e de cobre é de $77,1\% \pm 5,4$ (menos 7,7% do que a observada para os torneses de busto), é de crer, ao contrário do que se tem vindo a admitir, que possivelmente os torneses de cruz teriam sido cunhados com uma liga de melhor qualidade que a usada para os torneses de busto.

Agradecimentos

Os autores agradecem aos Dr. Almeida Ricardo, Dr. Almeida Amaral e Sr. Avelino Peixoto as facilidades concedidas para o estudo das moedas do Museu Numismático Português. Ao Dr. Fontes Pacheco agradecem igualmente a cedência de exemplares da sua coleção. Desejam, por fim, agradecer à Dr.^a Adília Alarcão por ter efectuado a limpeza com jacto de partículas abrasivas de dois graves e um pilarte no Museu Monográfico de Conímbriga.