

Análise química das cruzes processionais e de altar em cobre ou liga de cobre

O cobre é um dos raros metais que surgem na natureza na forma nativa, mas, desde há milénios, a sua utilização assenta sobretudo na exploração de alguns minérios, como a calcocite e a calcopirite (sulfuretos), a cuprite (óxido) ou a malaquite e a azurite (carbonatos), e em técnicas metalúrgicas que, por redução, permitem convertê-los em metal. Tais matérias-primas, mesmo considerando isoladamente cada um dos minérios, tendo-se formado através de processos controlados por condições geoquímicas locais, extremamente diversificadas inclusivamente num espaço geográfico diminuto, têm, no entanto, composição química heterogénea, nomeadamente no que diz respeito aos elementos metálicos que acompanham o cobre, entre os quais o arsénio, o antimónio, a prata, o estanho, o níquel e o ferro. Por outro lado, também os processos metalúrgicos empregues, os quais podem variar significativamente entre culturas e, no interior de cada uma, em resultado dos progressos científicos e tecnológicos, evoluir com o tempo, influem decisivamente nas propriedades do metal, em particular no teor das impurezas. O cobre, porém, pode ser deliberadamente combinado com outros metais, originando ligas que, em relação aos seus componentes, apresentam algumas vantagens quer no que toca aos processos oficinais, devido, por exemplo, ao abaixamento do ponto de fusão ou ao aumento da fluidez do metal líquido, quer no que se refere a propriedades físicas como a rigidez. O bronze e o latão, que resultam da adição ao cobre de, respectivamente, estanho e zinco, são duas destas ligas, com grande importância histórica e baseiam-se na exploração, além dos minérios de cobre, da cassiterite (óxido de estanho), que normalmente pouco contribui para o teor de impurezas da liga, e da calamite (carbonato de zinco), a qual introduz apreciáveis quantidades de chumbo e ferro. Embora a descoberta do zinco tenha ocorrido apenas no século XVIII, muito antes era o latão obtido, não a partir dos dois metais, mas do cobre e da calamite, como por exemplo é descrito pelo monge Teófilo na primeira metade do século XII, através de um processo um pouco mais complicado do que o utilizado no caso das outras ligas, pois, sendo a temperatura à qual ocorre a fusão do cobre superior à do ponto de ebulição do zinco, este é facilmente perdido na forma de vapor.

A importância do cobre nestas ligas, que resulta de ser o seu principal constituinte, o facto de os mesmos tipos de objectos terem sido frequentemente realizados, indistintamente, em qualquer um destes materiais e a circunstância de, por vezes, não ser claro se a presença de determinado elemento é ou não intencional e, portanto, se se trata de cobre, bronze, latão ou outra liga, dúvida que é agravada pela existência de combinações ternárias ou quaternárias, levam a que as peças de cobre não possam ser dissociadas das de ligas deste elemento, em particular bronze ou latão.

Diversos estudos de natureza química, baseando-se no teor dos elementos menos abundantes, têm sido empreendidos com o objectivo de determinar os conhecimentos técnicos dos metalurgistas das sociedades do passado, as fontes da matéria-prima ou as origens dos objectos e a época de fabrico, qualquer um destes aspectos, contudo, podendo ter objectivos mais específicos como, por exemplo, o conhecimento da economia e das relações comerciais ou o estabelecimento de testes de autenticidade.

A interpretação dos resultados analíticos é, no entanto, bastante complicada pois as premissas de que os minerais de uma zona têm composição característica e uniforme, as impurezas não são afectadas pelas operações metalúrgicas ou, sendo-o, são-no de igual modo, e não existe mistura de metal com diferentes proveniências ou são utilizadas apenas matérias-primas com origem regional, não podem ser consideradas mais do que aproximações grosseiras a uma realidade muito mais complexa, na qual se verifica que numa mesma mina podem coexistir diferentes minérios de cobre, vários processos metalúrgicos podem modificar de desigual modo a concentração dos elementos minoritários, ocorre o reaproveitamento de objectos que, por motivos práticos ou devido às modas, deixam de cumprir a sua função ou, na ausência de recursos minerais ou da sua exploração, os metais trabalhados num local podem ter outra origem. Não obstante tal facto, todo o conhecimento que hoje temos, por exemplo, sobre as práticas metalúrgicas pré-históricas e o significado destas em termos económicos e sociais foi alicerçado precisamente na análise química. Por outro lado, mesmo quando os aspectos tecnológicos estão relativamente esclarecidos, nomeadamente através das fontes escritas, tais análises proporcionam indicadores que podem ser discutidos em função de problemas bem definidos e, com o recurso a métodos esta-

tísticos, permitem distinguir grupos de objectos que, confrontados com a informação de outra natureza sobre eles disponíveis, podem ajudar a esclarecer, ainda que de um modo limitado, questões como a proveniência geográfica ou cronológica e, indirectamente, outras do âmbito da história da arte.

A existência, no Museu Nacional de Arte Antiga, de um conjunto de cruzes processionais ou de altar em cobre ou liga à base de cobre, a maior parte das quais douradas, que, na ausência de qualquer outra documentação, de um modo geral, não é fácil classificar de acordo com a proveniência e cronologia apenas por simples observação, havendo no seu seio, inclusivamente, algumas peças que colocam sérias dúvidas em relação à legitimidade da sua inclusão nesta colecção, conjugada com os recursos laboratoriais disponíveis no Instituto José de Figueiredo, em particular no que diz respeito à possibilidade de análise através de método não destrutivo, levaram a que todas as cruzes desta natureza presente-mente guardadas no museu – já que algumas outras se encontram em depósito noutras instituições – fossem objecto de análise química com o objectivo de esclarecer as dúvidas existentes e testar algumas hipóteses previamente colocadas a respeito da origem, da cronologia ou das alterações a que foram sujeitas ao longo da história.

António João Cruz

As análises

Cruzes analisadas

Foram analisadas 21 peças, das quais 20 correspondem efectivamente a cruzes, com ou sem imagem representando Cristo, e uma, inventariada com o 72 Met, consiste apenas numa destas figuras, actualmente separada da cruz. Salvo duas excepções, devem datar do período compreendido entre os séculos XII e XVI.

Com base em aspectos estilísticos, foram previamente distinguidos cinco tipos principais que, segundo Anísio Franco, a título de hipótese, podem ser do seguinte modo ordenados do mais antigo para o mais recente:

- **tipo I:** cruzes românicas, patadas (Inv. 63, 398 e 488 Met) ou com extremidades em semicírculo (Inv. 491 Met);
- **tipo II:** cruzes com hastes flordelissadas, decoração incisa e quadrifólios aplicados nos braços (Inv. 62, 484, 485 e 489 Met);
- **tipo III:** cruzes com hastes flordelissadas, decoração incisa ou puncionada e aplicações de esmalte nos braços (Inv. 181, 333, 396 e 397 Met);
- **tipo IV:** cruzes de chapa lisa e recortada com hastes flordelissadas (Inv. 184 e 492 Met);
- **tipo V:** cruzes com hastes com uma série de flores de lis, recortadas, ao longo da bordadura e motivos em forma de alcaçofra nas extremidades e, junto a estas, na ponta dos pequenos ramos perpendiculares às hastes (Inv. 61 e 299 Met).

As cruzes com os Inv. 64, 487, 490 e 493 Met correspondem a tipologias diferenciadas, sem paralelo neste conjunto, apresentando a primeira, possivelmente, algumas influências árabes e as duas seguintes características relativamente insólitas e, provavelmente, cronologia significativamente mais recente do que as restantes peças analisadas.

Ainda de acordo com Anísio Franco, há motivos, desenvolvidos noutra sítio deste volume, para julgar que as cruzes do tipo I remontem ao século XII, as do tipo II assim como a figura com o Inv. 72 Met e a cruz Inv. 493 Met possam ser de oficinas de Limoges dos séculos XIII ou XIV ou de outras influenciadas por estas, e as cruzes do tipo III, IV e V possam ser peninsulares, eventualmente as do tipo III e IV de Burgos e datáveis dos séculos XIV a XVI e as do tipo V nacionais e atribuíveis aos séculos XV ou XVI. Embora por uma questão de método e sistematização se possa colocar em geral o problema da relação entre os diferentes elementos que compõem estas cruzes, isto é, se sempre foram constituídas do modo como hoje se apresentam, alguns casos há, contudo, em que a observação cuidada das mesmas coloca de facto algumas questões concretas a este respeito e que não podem ser ignoradas. É o que sucede com a peça Inv. 64 Met, que apresenta na zona da base um elemento de reforço que não parece original; a Inv. 181 Met, que aparenta ter uma figura com dimensões reduzidas em excesso para o tamanho da Cruz; a Inv. 184 Met, em que, pelo contrário, o Cristo parece ser demasiado grande; a Inv. 484 Met, em que a imagem de vulto é, a meia altura, mais larga do que a cruz a que se sobrepõe, o que se não verifica em mais nenhuma outra da mesma tipologia; a Inv. 489 Met, que tem a figura de Cristo muito toscamente fixa à cruz por um conjunto de fios metálicos; e a Inv. 492 Met, que tem uma base que aparenta ser mais antiga do que os outros elementos. Por outro lado, dada a sua tipologia, não parece provável que sejam originais as bases apresentadas pelas cruzes românicas.

Procedimentos analíticos e resultados

As peças foram analisadas por espectrometria de fluorescência de raios X, método relativamente expedito de identificação e quantificação dos elementos presentes na superfície de um dado objecto, que tem a vantagem de não necessitar de qualquer recolha de amostra ou tratamento prévio.

As análises foram realizadas em diferentes pontos das peças, evitando zonas ainda douradas ou com esmalte ou pintura, o que nem sempre foi fácil, com um espectrómetro KeveX 0750D, dispersivo de energias, equipado com alvo secundário de gadolínio e colimadores no tubo de raios X e no detector com diâmetro de, respectivamente, 4 e 2 mm. Os espectros, adquiridos utilizando diferença de potencial de 60 kV, intensidade de corrente de 3,3 mA e períodos de acumulação de 3000 segundos ou excepcionalmente de 1000 segundos, foram tratados com o software KeveX Toolbox II, versão 4.22, que corre sobre o sistema operativo TSX-plus, versão 6.2, para a remoção dos picos de escape e soma, remoção do fundo e deconvolução da área dos picos correspondentes a um conjunto de nove elementos.

A sobreposição dos picos mais intensos do chumbo (L) e do arsénio (K), respectivamente a 10,55 e 10,53 keV, colocou, contudo, algumas dificuldades à quantificação destes elementos.

Em virtude de não se dispôr de padrões adequados para o cálculo da concentração dos elementos minoritários, foi utilizado para análise estatística o número de impulsos por segundo (ips) obtido dos respectivos espectros (quadro 1). No entanto, nos casos em que foi identificada uma de liga de cobre procedeu-se ao cálculo da concentração dos quatro constituintes principais, fazendo uso de padrões de elementos puros e normalizando os resultados, através do método EXACT implementado naquele software (quadros 2 e 3).

A análise de alguns padrões de latão e bronze sugere que o erro relativo associado aos valores assim obtidos é inferior a 3 % para o cobre e a 10 % para o zinco e estanho quando estes dois elementos atingem concentrações de cerca de 10 %.

Devido ao facto de a análise incidir apenas sobre uma porção dos objectos com reduzido volume, além disso superficial, na maior parte das situações existe assinalável dispersão dos resultados, derivada da heterogeneidade intrínseca dos objectos estudados e, no caso concreto dos metais, à existência de produtos de oxidação. Na presente situação é ainda necessário considerar que algumas das cruzes são constituídas por diversos elementos que podem apresentar diferente composição. Assim, de um modo geral, foram utilizados isoladamente os resultados correspondentes a cada uma das análises, e não valores médios, de modo a tornar possível a comparação das diferenças no interior de cada peça com as diferenças entre as várias peças.

As análises, e consequentemente as zonas analisadas, foram identificadas por um código constituído pelo número de inventário da cruz seguido de um carácter maiúsculo referente ao elemento desta (C = cruz, F = figura de Cristo, B = base), um número de ordem em relação àquele e, nalguns casos, um r indicando que a análise foi conduzida no reverso.

A matriz respeitante ao número de impulsos correspondentes à área do pico principal de cada um dos elementos (quadro 1) foi utilizada para o agrupamento das cruzes através de um método de taxonomia numérica (UPGMA), fazendo uso do programa Taxonomia, versão 2.2, sendo os resultados previamente centrados e expressos em unidades de desvio-padrão.

Caracterização das cruzes

O cobre e as suas ligas

A maior parte das peças analisadas são de cobre que contém como principais impurezas chumbo, estanho e, num ou noutro caso, arsénio. As restantes são de latão, estando o teor de zinco compreendido entre 8 e 26 % (quadro 2) e o de estanho um pouco acima do das cruzes de cobre.

Este emprego exclusivo do cobre e do latão e a consequente ausência do bronze estão de acordo com o tratado escrito no século XII por Teófilo, segundo o qual, além da prata, apenas o cobre e a liga deste metal com o zinco eram facilmente dourados, estando a liga de cobre e estanho reservada para outras utilizações como a fundição de sinos, e com o facto de o latão ser, desde o período romano, em particular durante a Idade Média, a liga de cobre mais comum. A preferência manifestada pelo cobre, por seu lado, concorda ainda com as indicações dadas pelo monge de que, dos materiais não nobres, este é o mais adequado à douragem. Embora seja de ferro uma outra cruz dourada da colecção do Museu Nacional de Arte Antiga (Inv. 486 Met), pode mencionar-se que as peças de latão identificadas neste conjunto, ao contrário das restantes, não apresentam vestígios de terem sido douradas, verificando-se que duas delas eram policromadas (Inv. 61 e 299 Met).

Os resultados experimentais apresentados no quadro 1 mostram igualmente que algumas peças são formadas por elementos que diferem significativamente entre si. Os casos mais evidentes são, porventura, os das peças Inv. 181, 184, 396 e 397 Met, nas quais se verifica que a cruz e a figura de Cristo têm diferentes teores de estanho, no caso da primeira, ou zinco e estanho, no das restantes. Mas é possível distinguir também, igualmente através do teor de estanho, a base da cruz Inv. 63 Met, o Cristo e a placa quadrangular que se encontra na intersecção das hastes (análise 61C3), das restantes zonas examinadas nesta peça.

A divisão entre cruzes de cobre e cruzes de latão é coincidente com os tipos previamente definidos, verificando-se que as de latão correspondem aos tipos IV (Inv. 184 e 492 Met) e V (Inv. 61 e 299 Met) e às

duas cruzes de características mais excêntricas (Inv. 487 e 490 Met), ou seja, às peças mais tardias, sendo exceção apenas a figura de Cristo da Inv. 184 Met, que é de cobre. Além disso, pode notar-se que no interior dos tipos IV e V há concordância entre os valores de concentração do zinco, variando este respectivamente entre 9 e 12 % e entre 17 e 20 %, se for ignorado um dos pontos correspondente à base da cruz Inv. 61 Met, e, por outro lado, que o teor de zinco aumenta, entre aqueles dois tipos, do que provavelmente é mais antigo para o que provavelmente é mais recente - o que está de acordo com a tendência observada noutros estudos.

É interessante referir que o teor de 26 % de zinco apresentado por uma das cruzes suspeita de pertencer a época mais moderna, a Inv. 487 Met, é bastante superior ao das outras peças de latão e muito próximo do limite máximo de 28 % inerente aos processos metalúrgicos utilizados antes do século XVI, o qual, no entanto, depende da concentração de chumbo e estanho. Desprezando este e considerando um valor de 2 % de chumbo, resulta no presente caso que aquele limite diminui para 24 % e, assim, se a composição da peça Inv. 487 Met não é inacessível à tecnologia anterior ao século XVI, dúvida que não pode ser afastada dada a incerteza dos resultados experimentais, não é vulgar senão alguns séculos mais tarde.

Os histogramas com a distribuição do número de impulsos correspondentes ao zinco e ao estanho (figs. 1 e 2), grandeza que pode ser tomada como índice do teor de cada um dos elementos, mostram que, além das peças referidas no quadro 2, existem mais algumas que se distinguem claramente das restantes (quadro 3). Por um lado, uma parte da base da cruz Inv. 63 Met e o Cristo da 181 Met apresentam concentração em estanho significativamente superior à das outras peças de cobre, embora tal elemento não vá, nestes casos, além de 1 %. Por outro lado, as figuras de Cristo das cruzes Inv. 396 e 397 Met têm assinaláveis teores de estanho e zinco, mas inferiores, respectivamente a 3 e 4 %. Traduzem tais diferenças uma deliberada adição destes elementos ao cobre, ainda que em pequena quantidade, ou são devidas apenas à utilização de minérios de cobre com maior teor nestes elementos? Embora os resultados analíticos, só por si, não sejam a este respeito conclusivos, não se pode deixar de reparar que, à exceção da base da cruz Inv. 63 Met, estas peças correspondem às figuras de Cristo de três das quatro cruzes do tipo III e, sobretudo, este mais elevado teor de estanho e zinco diz respeito apenas às imagens de vulto e não às cruzes. Como é adiante justificado, parece provável que esta ocorrência derive de procedimentos officinais conscientemente adoptados e, portanto, que se esteja na presença de bronzes com muito reduzido teor de estanho (Inv. 63, 181 e 396? Met) ou de latões com reduzido teor de zinco (Inv. 396 e 397 Met?).

Em mais do que um sentido, portanto, pode dizer-se que as peças do tipo III ocupam uma posição intermédia, no que respeita aos teores de zinco e estanho, entre as dos tipos I e II e as dos tipos IV e V.

Elementos químicos minoritários

Os histogramas com o número de impulsos correspondentes ao ferro, ao níquel, à prata e ao chumbo traduzem distribuições que se aproximam da distribuição normal ou log-normal, mostrando uma variação relativamente contínua destas grandezas que não permite qualquer separação das peças analisadas. Sucede, apenas, que há um ou outro ponto para o qual o número de impulsos correspondente a um dos elementos é superior aos restantes valores. Tais teores excepcionais, porém, não são consistentes, pois com outras análises equivalentes isso já não se verifica. Podem, portanto, ser interpretados, de um modo geral, como devidos à heterogeneidade das peças ou às flutuações estatísticas.

Há, no entanto, uma situação diferente, aquela que se traduz no facto de alguns dos valores respeitantes à prata serem significativamente superiores aos restantes (1,0 ips contra valores que oscilam entre 0,1 e 0,6 ips), dizerem respeito a uma só peça, a Inv. 64 Met, e serem concordantes entre si. Para o caso é irrelevante que num outro ponto (64B2) esteja o teor de prata de acordo com os valores habituais, pois tal análise foi efectuada num elemento de ligação que, como antes do estudo laboratorial foi observado, muito provavelmente é posterior à cruz. Por isso, embora este mais elevado teor de prata da cruz 64 Met possa dever-se ao acaso, não deixa de ser tentador relacioná-lo com a possibilidade de aquela ser, das peças estudadas, a única com origem cultural distinta. Dado que o teor de prata pode ser interpretado como um indício de uma tecnologia relativamente pouco sofisticada, tratar-se-á de cobre africano?

Quanto aos outros elementos minoritários, o antimónio e o arsénio, pode notar-se que aos respectivos histogramas correspondem distribuições que tornam possível distinguir, em cada um dos casos, pelo menos, duas situações.

Com efeito, o gráfico da figura 3 mostra que as peças analisadas têm teores de antimónio, expressos pelo número de impulsos, em grande parte compreendidos entre 0,05 e 0,25 ips e entre 0,5 e 0,7 ips e, assim, sugere a existência de dois conjuntos de peças caracterizados por valores de antimónio, respectivamente, inferiores ou superiores a um limite que pode ser fixado, por exemplo, em 0,4 ips. O grupo a que correspondem as concentrações mais elevadas é constituído, no essencial, pelas peças dos tipos I, II e III, assim como pelas que têm os Inv. 64, 72 e 493 Met, enquanto as mais recentes, ou seja tipos IV e V e Inv. 487 e 490 Met, têm teores deste elemento abaixo daquele limite. São raras as excepções a esta regra e aquelas que se encontram, salvo os casos da figura de Cristo da peça 184 Met, adiante discutido, e da cruz da peça Inv. 397 Met, além de corresponderem a valores que não se afastam muito do limite considerado (61B1, 61B2 e 63F1), podendo, portanto, não ser estatisticamente significativas, não são consistentes com as análises conduzidas noutros pontos do mesmo elemento (63C3r, 489C2r e 492B2).

É importante notar que a diminuição do teor de antimónio assim evidenciada, entre as cruzes mais arcaicas e as mais recentes, pode ser posta em paralelo com semelhante decréscimo detectado entre os séculos XV e XVI num conjunto de mais de duzentas medalhas renascentistas italianas. Curiosamente, estas duas manifestações têm cronologias compatíveis.

Por seu lado, o histograma correspondente ao arsénio (fig. 4) mais não faz do que confirmar o que já é evidente por simples observação do quadro com os resultados experimentais, mostrando que a principal distinção, no que toca a este elemento químico, ocorre entre as peças em que o teor de arsénio é inferior ao limite de detecção, dependente das condições operatórias empregues, e aquelas em que este elemento é efectivamente assinalado. Estão no primeiro caso as peças que formam os grupos I e V e as Inv. 72, 487, 490 e 493 Met, além das figuras de vulto da cruz 62 Met e das que constituem o grupo IV, enquanto no conjunto a que corresponde concentração de arsénio detectável estão, obviamente, além da peça 64 Met, as do tipo II, à excepção da figura de Cristo da 62 Met, e do tipo III e as cruzes do tipo IV. Pode referir-se que, mais à frente, é discutida a possibilidade de os elementos que constituem as peças do tipo IV, os quais, como se vê, são separáveis através do teor de arsénio, terem diferentes origens.

Havendo concordância no interior dos vários grupos tipológicos, salvo no tipo IV, e não sendo evidente qualquer relação com a cronologia, será este comportamento do arsénio significativo da origem dos minerais? Trata-se de uma questão, porém, a que o reduzido número de peças analisadas não permite dar resposta.

Classificação das cruzes por taxonomia numérica

O dendrograma

As precedentes observações a propósito das semelhanças e das diferenças que, do ponto de vista químico, podem ser encontradas entre as peças analisadas ou entre grupos destas com a mesma tipologia, são baseadas apenas na exploração individual de uma só propriedade química - um índice da concentração de um elemento -, ignorando o que acontece às restantes, ainda que sucessivamente várias propriedades tenham sido objecto desta atenção. Se as tendências mais fortes podem deste modo ser visíveis, o mesmo não sucede certamente com as características menos localizadas, mas não menos importantes, que só podem ser detectadas através da consideração conjunta das diversas variáveis, possível apenas através de métodos de análise estatística multivariante.

A taxonomia numérica é, destes métodos, aquele que mais adequado parece aos problemas que suscitaram este estudo, pois, no presente caso, permite classificar ou agrupar as peças (unidades taxonómicas), ou, mais propriamente, as zonas destas caracterizadas por cada uma das análises, segundo uma medida de semelhança que é calculada a partir dos teores de todos os elementos quantificados. Na figura 5 é apresentado o dendrograma com esta classificação, obtido segundo a metodologia já atrás referida, utilizando o coeficiente de correlação como parâmetro de semelhança, no qual as zonas analisadas são sucessivamente agrupadas, da direita para a esquerda, segundo a ordem decrescente de semelhança.

Este tipo de representação, no entanto, coloca algumas dificuldades, as quais resultam do facto de ser necessário escolher ou definir o nível em que é mais conveniente terminar a classificação, algures entre a situação limite em que se consideram tantos grupos quantas as unidades taxonómicas, correspondendo cada um daqueles grupos a uma só análise, e a outra situação limite em que se reconhece apenas um grupo formado por todas as unidades taxonómicas, casos, evidentemente, sem qualquer conteúdo informativo.

Considerando a variação do coeficiente de correlação cofenético, apresentada na parte inferior da figura, que mede a distorção introduzida com a classificação, considerando também a própria dinâmica do processo e, por outro lado, o princípio de que deve ser maximizado o número de pontos equivalentes de uma mesma peça que ficam no mesmo grupo, parece adequado considerar os seguintes agrupamentos naquele dendrograma, sendo a ordem dos mesmos irrelevante:

- figura de Cristo das peças 62 e 489 Met, cruces das 181, 333 e 396 Met, conjunto dos elementos da peça 484 Met e elemento de ligação da cruz 64 Met (*grupo 1*);
- peças do tipo I que têm formas mais semelhantes (63, 398 e 488 Met), salvo as bases das duas primeiras (*grupo 2*);
- peças 491 e 493 Met, embora a análise 491C2 tenha conduzido a resultados diferentes, figura de Cristo da 184 Met e base da 398 e um dos elementos que compõem a base da 63 Met (*grupo 3*);
- peças do tipo V, salvo a base e a placa quadrangular central, já atrás referida, da 61 Met (*grupo 4*);
- peça 490 Met e figura e base da 492 Met (*grupo 5*);
- cruces do tipo IV (184 e 492 Met) (*grupo 6*).

Além de definir estes agrupamentos, cada um dos quais envolvendo mais do que uma peça, não pode deixar-se de referir que o dendrograma, de um modo geral, permite agrupar as análises respeitantes a uma peça ou elemento desta, o que é particularmente expressivo no caso das peças Inv. 64 Met, salvo o elemento introduzido num restauro, 72 Met, 485 Met, à excepção de um dos pontos, e 487 Met, assim como no da cruz 397 Met.

Convém salientar também que a figura de Cristo e a cruz com o 484 Met, que motivaram uma interrogação sobre se originalmente faziam parte da mesma peça, surgem inseridas num mesmo grupo (n.º 1), não havendo, portanto, razão para esta dúvida.

As tipologias e a composição química

A semelhança entre as unidades taxonómicas rigorosamente não implica qualquer relação entre as mesmas, podendo ser devida apenas ao acaso, mas a coincidência, por diversas vezes manifestada (grupos 1, 2, 4 e 6), de cruces formalmente idênticas serem incluídas num mesmo conjunto, formado com base em informação de diferente natureza e independente dos aspectos estilísticos, permite concluir que, muito provavelmente, tais peças são da mesma oficina, foram executadas a partir de um mesmo lote de materiais e, conseqüentemente, numa mesma época. É o que sucede com as cruces 63, 398 e 488 Met do tipo I, com as 181, 333 e 396 Met do tipo III, com as 184 e 492 Met do tipo IV e com as 61 e 299 Met do tipo V, que, deste modo, devem corresponder, respectivamente, a quatro oficinas.

As semelhanças existentes, dentro de cada uma destas tipologias, entre as cruces propriamente ditas, afinal o principal elemento caracterizador daquelas, não são, no entanto, generalizáveis à totalidade dos elementos das peças. Com efeito, como se verifica no quadro 4, embora as figuras de Cristo das cruces dos tipos I e V, quando existentes, sejam na realidade incluídas nos mesmos grupos que as respectivas cruces, o mesmo não se passa com as dos tipos III e IV, nem com nenhuma das quatro bases analisadas aí referidas.

Significa isto que nenhuma destas bases e nenhuma das imagens de Cristo das cruces dos tipos III e IV são originais? É esta, com efeito, uma das possíveis interpretações, reforçada, aliás, pelas suspeitas que, a este respeito, tinham levantado quer a tipologia das bases das cruces do tipo I, quer a observação das peças 181, 184 e 492 Met.

Contudo, podem tais diferenças resultar apenas de, devido aos vários processos de trabalho do metal de um modo geral patenteados em cada uma das peças, serem utilizados nos elementos que as constituem materiais com diferente composição, de acordo com a técnica empregue. Esta poderá ser a explicação para o facto de algumas das figuras em causa (181 e 396 Met), que são vazadas, apresentarem, como já foi referido, teores de zinco e estanho, ou apenas estanho, superiores aos das respectivas cruces, que são recortadas em chapa de cobre. Na realidade, se as quantidades destes elementos presentes naqueles dois Cristos, assim como num terceiro, tanto podem traduzir um cobre impuro como uma liga pobre, neste contexto, porém, podem ser interpretadas como um compromisso entre a maior adequação à douragem associada ao cobre e a maior adequação das ligas deste metal à fundição, resultan-

te da maior fluidez do metal quando líquido. Dado que, em termos de forma e estilo, não foi detectada qualquer inconsistência nestas peças do tipo III, esta hipótese parece mais provável, portanto, do que outra que implique que as figuras de Cristo não sejam originais.

Supondo, entretanto, que tal procedimento oficinal é característico do atelier onde foram executadas as cruzes 181 e 396 Met, resulta à luz desta hipótese, que, por outro lado, também a 397 Met, mostrando idêntica diferenciação química em relação à imagem de vulto, poderá eventualmente ter a mesma proveniência, não surgindo no dendrograma associada àquelas, em virtude de, por exemplo, ter sido executada a partir de um outro lote de materiais.

No caso das peças 184 e 492 Met, do tipo IV, o facto de as respectivas figuras de Cristo não estarem incluídas no grupo das cruzes deve, porém, ter diferentes causas.

No que respeita à primeira, já atrás foi observado que a imagem de Cristo é de cobre como as peças mais arcaicas e o antimónio, elemento que não corresponde a adição, sendo antes impureza daquele, surge na figura com concentração significativamente diferente da da cruz e, por outro lado, comparável também com a das peças mais antigas. Conjugando isto com as dúvidas suscitadas pelas desajustadas dimensões do Cristo e com os resultados obtidos através da taxonomia numérica, parece provável que na cruz 184 Met, saída da mesma oficina que a 492 Met, tenha sido colocada uma figura de vulto mais antiga.

Sobre a 492 Met, a suspeita de que os elementos que a constituem não têm todos a mesma origem, pode ser apoiada pela análise estatística multivariante. No entanto, o facto de a cruz ser semelhante à outra do mesmo tipo (grupo 6) e, por outro lado, a figura de Cristo e a base estarem incluídas num mesmo grupo (n.º 5), precisamente ao lado de uma das peças com características mais insólitas, possivelmente recente, leva à conclusão de que não estão correctos os termos em que inicialmente foi colocado o problema. Não se pode defender, pois, que a base é anterior à cruz e à figura de Cristo, mas sim que a cruz é mais antiga do que a imagem e a base, acrescentadas na mesma ocasião, ou então, pelo contrário, que estas é que são mais antigas do que a cruz, a qual, por sua vez, tal como a 184 Met, é posterior à peça 490 Met.

Se o dendrograma que tem estado a ser discutido mostra, de um modo geral, grande semelhança entre peças com a mesma tipologia, cujas consequências foram referidas, dá igualmente conta da existência de alguns casos em que não é negligenciável a semelhança entre algumas peças pertencentes a diferentes tipos. Um destes casos acabou de ser mencionado, mas existem outros dois que merecem alguma atenção. No primeiro, verifica-se que uma peça do tipo II (484 Met) e as figuras de Cristo de outras duas (62 e 489 Met) são incluídas no mesmo agrupamento que três das cruzes do tipo III (grupo 1), sendo particularmente evidentes as semelhanças entre a peça 484 Met e as cruzes 181 e 333 Met. Terão a mesma proveniência e semelhante cronologia? Ou é apenas o metal, e não a obra feita, que tem a mesma origem? Ou, hipótese que nunca pode ser ignorada, trata-se de uma coincidência estatística?

No segundo caso, acontece que algumas peças do tipo I (491 Met) ou elementos delas (bases das 63 Met, parcialmente, e 398 Met) surgem no mesmo grupo (n.º 3) que a imagem de vulto da 184 Met, cuja cruz é do tipo IV, e que a peça 493 Met, eventualmente com a mesma proveniência e cronologia que as do tipo II. No que toca ao Cristo 184 Met, que, como sugerem os dados de natureza estilística e os de natureza analítica, muito possivelmente é mais antigo do que a respectiva cruz, a aproximação à tipologia que aparenta ser a mais arcaica das representadas neste conjunto é, na realidade, muito sugestiva. No entanto, como explicar a semelhança química entre as peças 491 e 493 Met, de diferente tipologia e, provavelmente, cronologia e proveniência? Ou a semelhança destas com aquelas duas bases, sobre as quais há dúvidas se originalmente faziam parte das respectivas cruzes? Tais são algumas das questões que só um estudo mais aprofundado, envolvendo aspectos como o das estruturas metalográficas e das técnicas decorativas, poderá vir a esclarecer.

Conclusão

Os resultados obtidos por análise química não destrutiva de um conjunto de 21 peças, de um modo geral, suportam as tipologias inicialmente definidas com base em aspectos estilísticos. Não só as distinções que foi possível fazer a partir dos teores de alguns elementos, nomeadamente cobre, zinco, estanho, antimónio e arsénio, são, por regra, coincidentes com aquelas tipologias, como no interior destes grupos foram identificadas peças que, muito provavelmente, têm origem numa mesma oficina, o que aconteceu em quatro dos cinco tipos caracterizados. Além disso, a variação do teor de alguns elementos entre as

peças das diferentes tipologias é compatível também, dentro do possível, com a cronologia relativa previamente avançada para estas. No caso do antimónio, a coerência desta variação num conjunto de peças com diferentes origens, também já detectada noutro estudo, coloca, porém, um problema geral sobre as técnicas metalúrgicas do cobre e eventuais modificações ocorridas no século XV, que merece exame detalhado, combinando informação de natureza analítica com a retirada das fontes documentais, nomeadamente os tratados da época.

Por outro lado, os resultados laboratoriais nalguns casos reforçam as suspeitas de que os elementos que constituem certas peças não são originais (64 e 184 Met e, no que se refere às bases, tipo I), enquanto noutros, pelo contrário, mostram não haver motivo para dúvidas (181 e 484 Met), ou levam a uma reformulação do problema (492 Met), ou, ainda, nada sugerem (489 Met). Das duas peças analisadas sobre as quais não havia certeza sobre a legitimidade da sua inclusão neste conjunto, uma (487 Met) revelou-se como tendo composição relativamente distinta da das restantes e característica de época bastante posterior à daquelas, enquanto a liga de cobre e a concentração de impurezas da outra (490 Met) são comparáveis, respectivamente, às das tipologias mais recentes, embora não tenha sido possível incluir esta cruz no mesmo grupo de qualquer uma daquelas que não colocam problemas.

Agradecimento

Agradeço a Anísio Franco o interesse manifestado por este estudo e a grande disponibilidade que demonstrou para a discussão dos resultados obtidos, tornando possível o diálogo entre as duas áreas envolvidas, indispensável mas ainda tão pouco cultivado neste país.

Bibliografia

CRADDOCK, P. T.

«*Medieval copper alloy production and west african bronze analyses - part I*», *Archaeometry*, 27(1), 17-41 (1985).

GLINSMAN, L. A.; HAYEK, L. C.

«*A multivariate analysis of renaissance portrait medals: an expanded nomenclature for defining alloy composition*», *Archaeometry*, 35(1), 49-67 (1993).

GOFFER, Zvi

Archaeological Chemistry. A sourcebook on the applications of Chemistry to archaeology, New York, John Wiley & Sons (1980).

MARYON

Herbert, Metalwork and Enamelling, 5ª ed., New York, Dover Publications (1971).

THEOPHILUS

The Various Arts, tradução de C. R. DODWELL, London, Thomas Nelson and Sons (1961).

TYLECOTE, R. F.

The Early History of Metallurgy in Europe, New York, Longman (1987).

Quadro 1

Resultados experimentais: área do pico principal de cada um dos elementos químicos, expressa em número de impulsos por segundo (ips).

Análise	Fe / ips	Ni / ips	Cu / ips	Zn / ips	As / ips	Ag / ips	Sn / ips	Sb / ips	Pb / ips
61C1	0,551	0,231	49,422	13,425	0,000	0,178	6,770	0,233	0,324
61C2r	0,552	0,204	49,300	12,118	0,000	0,160	6,193	0,181	0,254
61C3	1,062	0,455	52,351	15,190	0,176	0,247	0,764	0,078	0,090
61B1	0,605	0,197	44,616	12,020	0,000	0,135	5,757	0,526	0,517
61B2	0,644	0,302	47,503	10,562	0,000	0,205	3,844	0,533	1,131
62C1	1,057	0,100	53,881	0,201	0,236	0,357	0,680	0,535	0,413
62C2r	0,398	0,130	61,053	0,273	0,000	0,294	0,016	0,606	0,302
62F1	0,376	0,119	61,610	0,209	0,000	0,292	0,046	0,651	0,063
63C1	0,368	0,166	59,401	0,287	0,000	0,162	0,061	0,556	0,095
63C2	0,300	0,161	61,601	0,280	0,000	0,167	0,000	0,534	0,085
63C3r	0,271	0,180	59,744	0,300	0,000	0,168	0,021	0,381	0,061
63F1	0,278	0,117	50,647	0,224	0,000	0,193	0,000	0,350	0,101
63B1	0,778	0,157	51,188	0,290	0,000	0,173	3,299	0,585	0,330
63B2	0,350	0,107	52,701	0,243	0,000	0,327	0,713	0,802	0,530
64C1	0,242	0,105	60,473	0,238	0,129	1,001	0,058	0,566	0,069
64C2r	0,230	0,142	56,585	0,176	0,127	0,989	0,000	0,538	0,013
64B1	0,224	0,131	62,272	0,215	0,120	0,959	0,000	0,556	0,026
64B2	0,246	0,145	60,477	0,252	0,119	0,303	0,078	0,472	0,019
72F1r	1,367	0,153	54,369	0,273	0,000	0,149	0,052	0,660	0,177
72F2r	1,246	0,134	47,792	0,240	0,000	0,163	0,025	0,624	0,146
181C1	0,245	0,165	64,780	0,276	0,061	0,443	0,189	0,696	0,034
181C2r	0,238	0,125	57,820	0,236	0,023	0,364	0,043	0,516	0,045
181F1	0,383	0,113	46,300	0,210	0,103	0,505	2,858	0,434	0,074
184C1r	0,957	0,361	50,912	6,502	0,409	0,409	5,450	0,219	0,270
184C2	1,194	0,318	49,881	7,053	0,487	0,503	6,031	0,232	0,238
184C3r	0,949	0,218	46,460	5,276	0,308	0,304	4,263	0,133	0,160
184F1	0,237	0,150	64,882	0,291	0,000	0,170	0,048	1,004	0,319
184F2	0,220	0,144	61,252	0,212	0,000	0,157	0,045	0,940	0,267
299C1	0,656	0,406	43,930	16,303	0,000	0,122	6,606	0,057	0,413
299C2r	0,119	0,122	40,370	12,148	0,000	0,068	4,906	0,048	0,247
299F1	0,470	0,223	45,310	12,052	0,000	0,086	4,053	0,179	0,167
333C1	0,247	0,133	62,162	0,246	0,116	0,365	0,117	0,722	0,095
333C2r	0,324	0,149	64,982	0,274	0,116	0,365	0,026	0,775	0,095
333F1	0,486	0,087	39,358	0,167	0,247	0,318	0,065	0,690	0,000
396C1	0,228	0,126	59,481	0,227	0,057	0,311	0,053	0,942	0,093
396C2r	0,300	0,155	65,440	0,213	0,027	0,334	0,028	0,937	0,159
396F1	0,330	0,133	53,876	1,082	0,054	0,457	9,787	0,809	0,155
397C1	0,464	0,149	56,460	0,211	0,334	0,128	0,014	0,263	0,018
397C2r	0,365	0,153	64,890	0,284	0,331	0,110	0,016	0,230	0,011
397F1	0,986	0,125	36,380	2,040	0,068	0,298	4,891	0,593	0,417
398C1	0,339	0,175	65,783	0,248	0,000	0,260	0,000	0,540	0,164
398C2r	0,292	0,162	55,903	0,254	0,000	0,224	0,027	0,446	0,101
398B1	0,227	0,185	64,606	0,277	0,000	0,270	0,000	0,898	0,262
484C1r	0,216	0,168	64,526	0,264	0,061	0,326	0,030	0,638	0,008
484C2	0,257	0,125	63,378	0,276	0,052	0,369	0,017	0,723	0,032
484F1	0,219	0,140	58,805	0,235	0,087	0,346	0,031	0,634	0,027
485C1	0,228	0,143	53,655	0,227	0,039	0,582	0,103	1,216	0,121
485C2r	0,229	0,127	59,148	0,273	0,021	0,414	0,975	0,692	0,090
485C3	0,209	0,123	56,106	0,240	0,031	0,531	0,021	1,202	0,152

Análise	Fe / ips	Ni / ips	Cu / ips	Zn / ips	As / ips	Ag / ips	Sn / ips	Sb / ips	Pb / ips
485C4r	0,202	0,117	50,599	0,232	0,027	0,418	1,270	0,785	0,088
485F1	0,163	0,106	50,766	0,261	0,059	0,443	0,000	0,990	0,095
485F2	0,210	0,135	55,587	0,211	0,041	0,506	0,012	1,036	0,101
487C1	0,458	0,145	39,178	19,303	0,000	0,127	0,856	0,073	0,310
487C2	0,092	0,086	40,471	17,402	0,000	0,145	0,649	0,108	0,262
487C3r	0,312	0,000	38,734	17,528	0,000	0,145	0,400	0,061	0,248
487C4	0,498	0,142	45,298	19,570	0,000	0,169	0,698	0,053	0,343
487F1	0,329	0,080	34,235	15,220	0,000	0,192	1,173	0,062	0,275
487F2	0,441	0,126	41,589	18,266	0,000	0,209	1,129	0,117	0,345
488C1	0,302	0,158	65,392	0,259	0,000	0,305	0,014	0,568	0,102
488F1	0,217	0,172	61,551	0,275	0,000	0,252	0,000	0,566	0,130
489C1	0,990	0,111	58,860	0,205	0,084	0,241	0,154	0,518	0,039
489C2r	0,109	0,052	24,013	0,091	0,040	0,099	0,018	0,302	0,036
489F1	0,202	0,123	58,696	0,192	0,119	0,201	0,109	0,632	0,039
489B1	6,693	0,094	50,339	0,466	0,048	0,250	0,079	0,661	0,060
490C1	0,820	0,151	35,083	4,740	0,000	0,232	5,721	0,179	0,465
490C2r	0,790	0,159	41,649	5,591	0,000	0,253	6,313	0,133	0,421
490F1	0,677	0,125	39,669	4,520	0,000	0,309	9,412	0,226	0,449
491C1r	0,833	0,129	61,572	0,235	0,000	0,156	0,061	0,679	0,216
491C2	2,556	0,115	55,236	0,266	0,000	0,158	0,045	0,626	0,475
491F1	0,195	0,097	53,601	0,241	0,000	0,127	0,044	0,632	0,285
492C1	0,669	0,187	48,286	8,803	0,118	0,308	4,949	0,287	0,155
492C2r	0,685	0,175	48,750	8,934	0,164	0,285	4,962	0,242	0,179
492F1	0,747	0,151	43,141	7,966	0,000	0,213	6,829	0,179	0,232
492B1	1,427	0,195	49,163	7,551	0,099	0,326	6,201	0,335	0,303
492B2	1,440	0,190	46,752	7,229	0,068	0,289	5,622	0,422	0,375
493C1r	0,444	0,144	62,006	0,277	0,000	0,204	0,026	0,652	0,206
493F1	0,332	0,124	52,635	0,250	0,000	0,199	0,055	0,763	0,319

Quadro 2

Composição química das peças de latão (valores médios da concentração dos elementos químicos principais).

N.º	Elemento	Cu / %	Zn / %	Sn / %	Pb / %
61	Cruz	80	17	1	1
	Base (61B1)	78	17	2	4
	Base (61B2)	78	14	1	7
184	Cruz	88	9	2	2
299	Cruz	75	20	2	2
	Figura de Cristo	80	17	1	1
487	Cruz	71	26	0	2
	Figura de Cristo	71	26	0	3
490	Cruz	85	9	2	3
	Figura de Cristo	85	8	4	4
492	Cruz	85	11	2	2
	Figura de Cristo	83	12	2	2
	Base	85	12	2	1

Quadro 3

Composição química das peças provavelmente executadas em liga de cobre com reduzido teor nos componentes secundários (concentração dos elementos químicos principais).

N.º	Elemento	Cu / %	Zn / %	Sn / %	Pb / %
63	Base (63B1)	96	0	1	3
181	Cristo	98	0	1	1
396	Cristo	94	2	3	1
397	Cristo	90	4	2	4

Quadro 4

Relação, segundo a classificação por taxonomia numérica, entre a composição química da cruz e a dos outros elementos que constituem as peças provenientes de quatro oficinas.

Tipo	N.º	Figura de Cristo	Base
I	63	◇	∞
	398	√	∞
	488	◇	√
III	181	∞	√
	333	∞	√
	396	∞	√
IV	184	∞	√
	492	∞	∞
V	61	√	∞
	299	◇	√

Símbolos: √ Elemento não presente ou não analisado.
◇ Elemento incluído no mesmo grupo a que pertence a cruz.
∞ Elemento não incluído no mesmo grupo a que pertence a cruz.

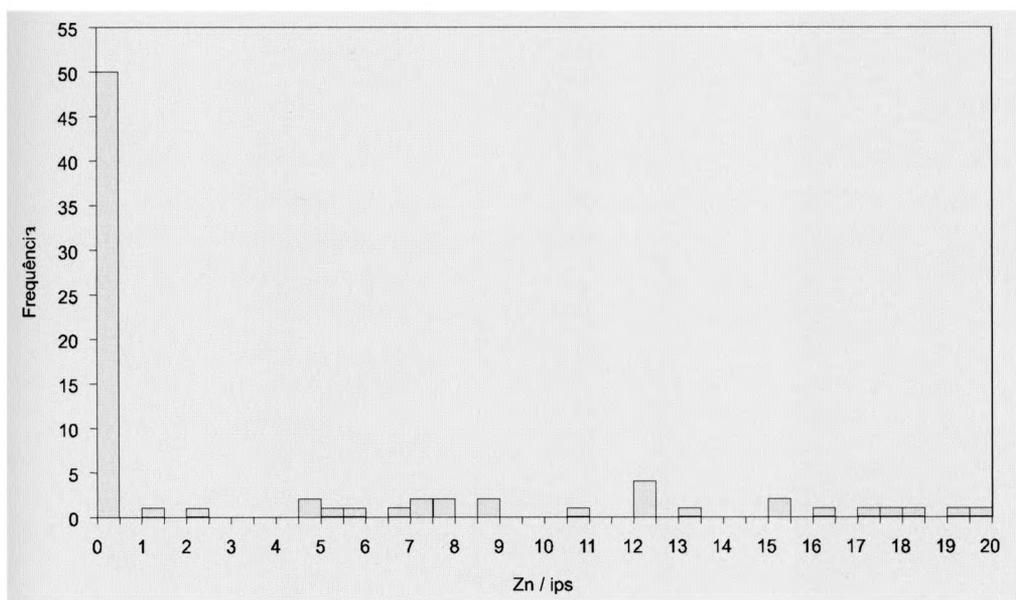


Fig. 1. Teor em zinco, expresso em número de impulsos por segundo, das peças analisadas.

Fig. 2. Teor em estanho, expresso em número de impulsos por segundo, das peças analisadas.

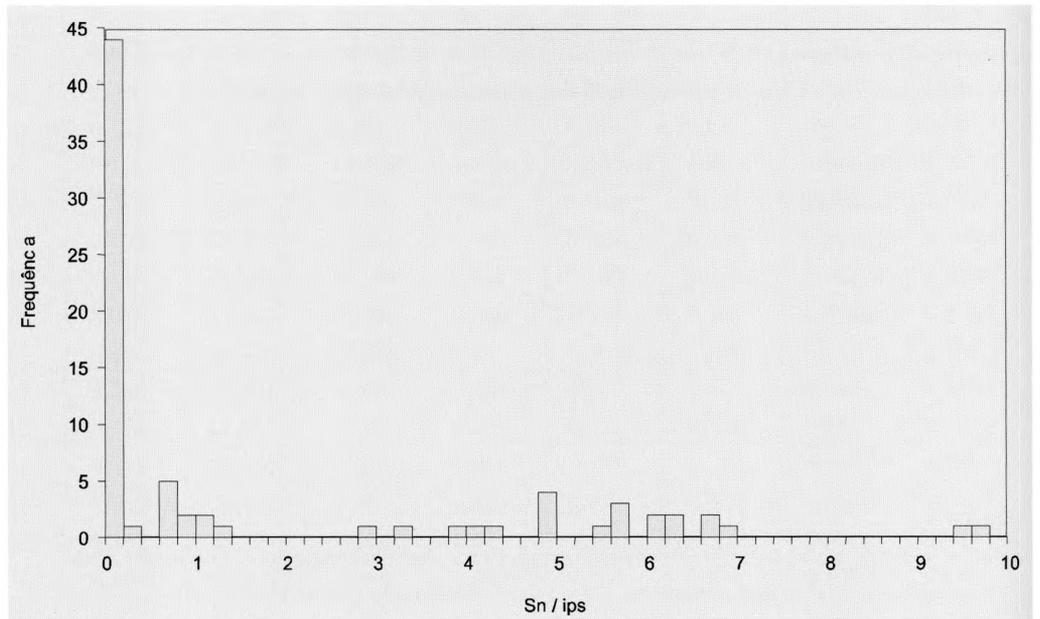


Fig. 3. Teor em antimônio, expresso em número de impulsos por segundo, das peças analisadas.

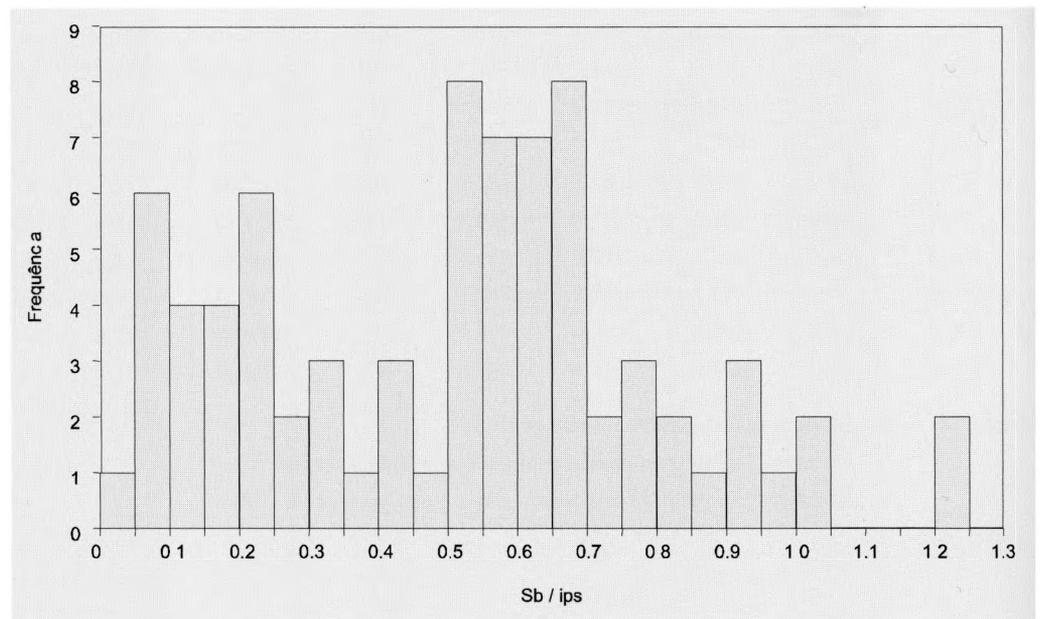
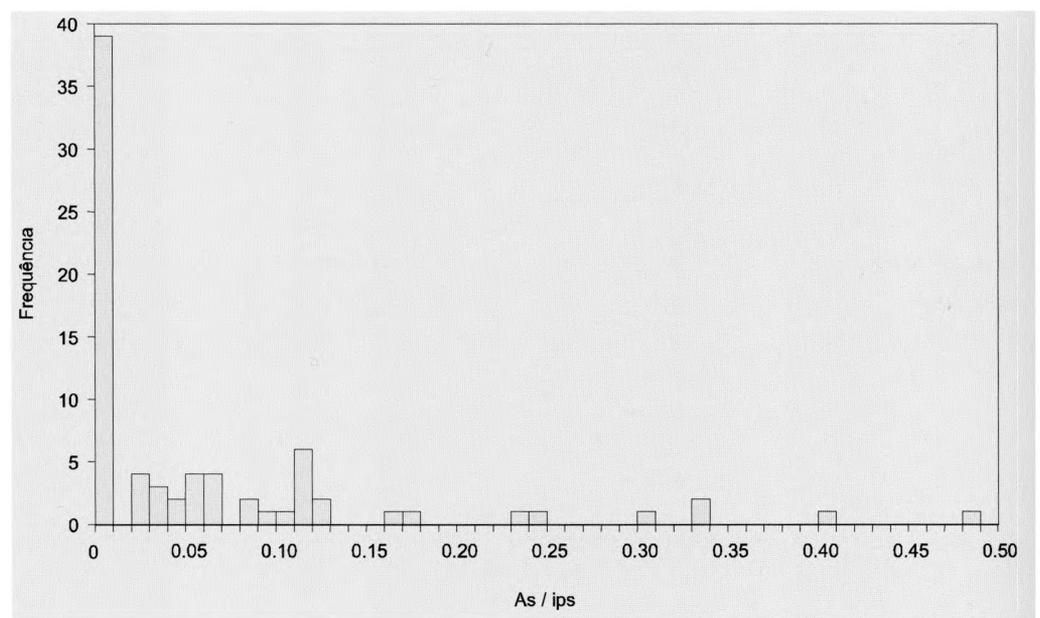


Fig. 4. Teor em arsênio, expresso em número de impulsos por segundo, das peças analisadas.



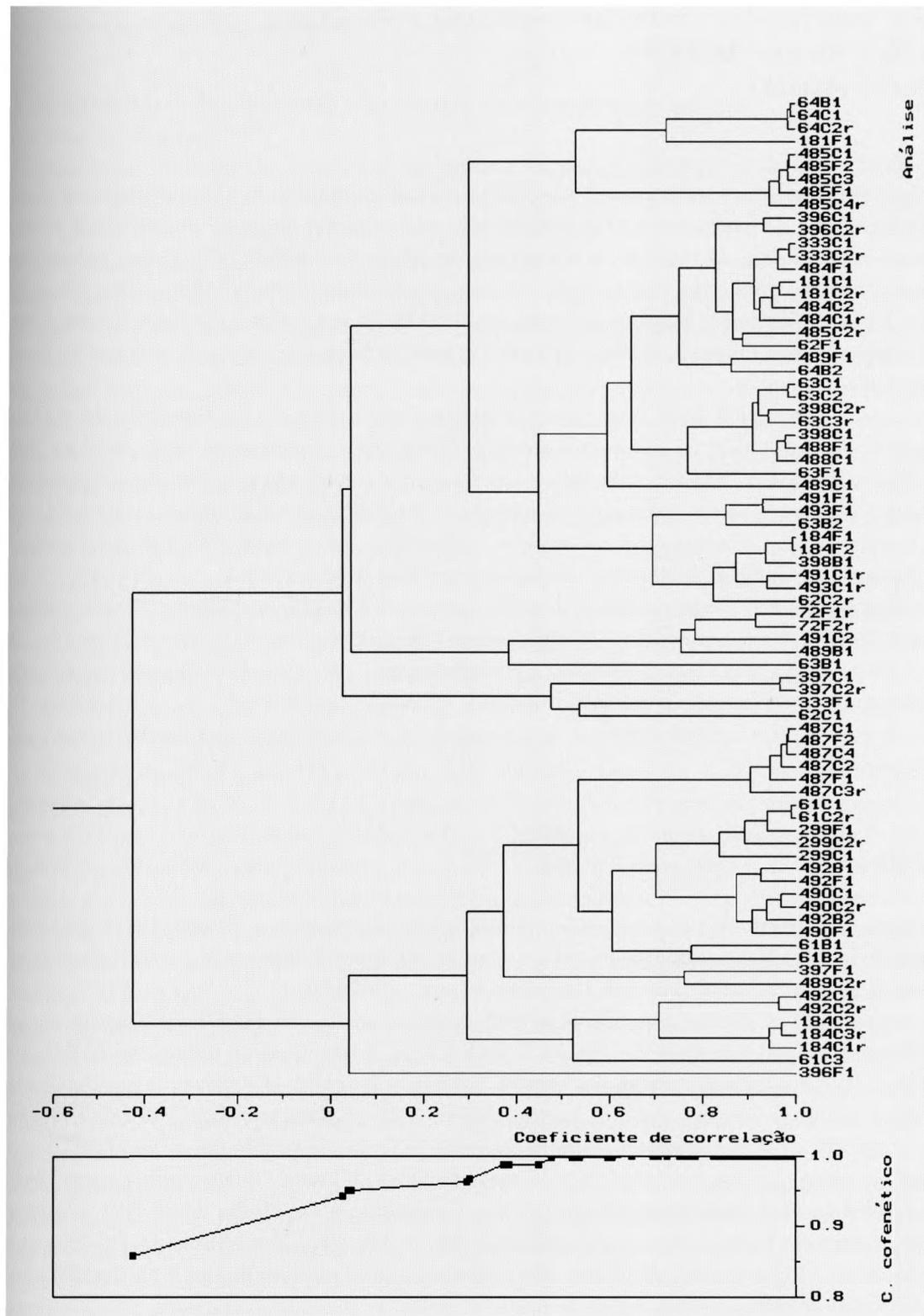


Fig. 5. Classificação das cruzeiras por um método de taxonomia numérica (UPGMA), utilizando resultados centrados e expressos em unidades de desvio-padrão e o coeficiente de correlação como parâmetro de semelhança. Na zona inferior é representada a variação do coeficiente de correlação copenético em função dos grupos formados. O código de identificação das zonas analisadas é explicado no texto.