

ARQUEOMETRIA: ESTUDO DE INTERFACES

Casimiro S. Munita

RESUMO

Um estudo minucioso utilizando métodos arqueométricos em objetos cerâmicos exige a interação entre cientistas da área arqueológica e das ciências exatas. Entretanto, essa colaboração é, freqüentemente, difícil por vários motivos. Dentre esses, por terem diferente formação acadêmica, diversos pontos de vista em relação a um mesmo problema, inconsistentes terminologias, escassez de tempo e falta de perspicácia para resolver essas dificuldades. Este trabalho tem como objetivo a formulação de algumas sugestões para a realização de um estudo interdisciplinar, com o propósito de alcançar uma colaboração de maneira mais adequada e frutífera.

ABSTRACT

A detailed study of ceramic objects using archaeometric methods demands interaction among scientist of the archaeological and of scientific areas. However, this interaction is often difficult for several reasons. First of all, these scientists have different academic backgrounds and often contradictory points of view about the same subject. Besides, they have inconsistent terminologies, little time to interact with each other, and different ways to approach and to understand an issue. In this paper some suggestions to do an interdisciplinary study is given with the purpose to reach profitable cooperation in the area.

Palavras chaves: arqueometria, arqueologia, análise de conglomerados, análise de componentes principais, análise discriminante.

INTRODUÇÃO

Neste trabalho apresentamos algumas observações sobre as dificuldades que surgem na interação de um trabalho realizado em colaboração entre pesquisadores da área arqueológica e das ciências exatas, em particular no que diz respeito à análise e interpretação da tecnologia de objetos cerâmicos. Como pesquisador que trabalha com ciências exatas em estreita colaboração com os arqueólogos, esta experiência tem me permitido ver o grande potencial que se pode obter do trabalho realizado em colaboração com especialistas de outras áreas, assim como nas dificuldades ocasionais de comunicação entre as diferentes disciplinas. Aqui apresentamos algumas observações para viabilizar a ligação entre ambas as áreas de estudo e algumas sugestões gerais, com o propósito de realizar um projeto interdisciplinar. Nossos comentários estão dirigidos aos colegas que trabalham na área de ciências exatas, assim como aos arqueólogos que desejem obter respostas em seus trabalhos, utilizando-se de estudos arqueométricos.

Em qualquer estudo arqueométrico, os resultados a serem obtidos vão depender do escopo da proposta do projeto inicial. Um problema que freqüentemente surge neste tipo de estudo, diz respeito à falta de integração entre a análise arqueométrica e as questões arqueológicas. Normalmente este problema surge, quando o arqueólogo trata o trabalho analítico como se fosse um serviço e não como parte de um estudo interdisciplinar. A colaboração e o intercâmbio de idéias devem explicitar-se logo no início do projeto.

Antes de se incluir estudos arqueométricos em um projeto, é necessário discutir a pesquisa em si e trabalhar em conjunto, a fim de identificar os métodos analíticos mais adequados ao estudo (em termos de elementos ou espécies que podem ser determinadas, interferências espectrais, precisão e sensibilidade do método) para poder estabelecer o esquema de amostragem, a quantidade de amostras que virão ser analisadas e utilizadas na

interpretação dos resultados. Em termos de custos, deverão ser incluídos na proposta os recursos a serem utilizados para financiar a análise, as variáveis a serem determinadas e os métodos estatísticos que serão utilizados, assim como realizar reuniões com todos os participantes: visitas de campo, no caso do pesquisador das ciências exatas e laboratoriais no caso do arqueólogo.

Da parte do arqueólogo, o sucesso da colaboração inter partes está intimamente ligado ao máximo de informação que se possa colher em termos de mapas, publicações, fotografias, etc. Os sistemas de classificação ou tipologias devem e necessitam ser claramente explicitados. Por exemplo, para uma determinada região, as peças arqueológicas são classificadas considerando-se o material que foi utilizado na sua fabricação, a forma, a decoração, a cor, etc. Esta classificação pode representar diferentes grupos de pessoas, em períodos diferentes.

AMOSTRAGEM

Questões geradas a partir do problema a ser detectado definirão o modo de amostragem, capaz de fornecer amostras representativas que, após aplicação do método analítico, vai possibilitar a obtenção de resultados consistentes para a solução do problema ou levantar novas hipóteses.

A amostragem é muito importante devido à impossibilidade de se analisar a totalidade (100%) do material coletado, por isso, ela deve ser feita de tal modo, que as amostras representem todo o material. No caso de amostras de cerâmicas, os fragmentos a serem analisados, têm de ser representativos de todo o local (sítio) em estudo. Para isso, o número de amostras deve ser significativo. Especial cuidado deve ser tomado com as amostras para que não ocorra nenhuma alteração em sua composição durante a amostragem, transporte e armazenamento. Outro aspecto a ser levado em consideração diz respeito a:

- a) número de amostras que vai ser coletado e analisado;
- b) parte do fragmento deve ser retirada a amostra;
- c) técnica ou procedimento para se retirar a alíquota do fragmento.

Todas estas questões devem ser analisadas e respondidas com exatidão, em estreita interação, entre o arqueólogo e o analista, compromisso que deve existir para se levar a bom termo o projeto.

Muitas vezes o arqueólogo, com justa razão, preocupa-se com a quantidade de amostra que o analista vai retirar do fragmento ou se o fragmento vai ser destruído. A quantidade de amostra a ser usada está intimamente ligada ao método analítico. Na literatura existem vários métodos para estimar a massa mínima de amostra que deve ser retirada. Um deles é o do fator de amostragem (SPYROU e AL-MUGRABI, 1988), k_s , definido como a massa de amostra necessária, para se ter um grau de heterogeneidade de 1% e está relacionado com o desvio padrão relativo, em porcentagem, $R\%$, e a massa, m , em gramas, da amostra retirada (alíquota). Assim, tem-se que:

$$k_s = m R^2 \quad (1)$$

onde k_s é a massa, em gramas da amostra para ter um grau de heterogeneidade de 1% em uma única determinação.

O k_s deve ser determinado, separadamente, para cada elemento, no caso de uma análise multielementar. Se o resultado não é homogêneo, deve-se determinar a massa mínima necessária para dar resposta ao problema analítico.

Em geral, todo procedimento analítico consiste de 6 etapas que devem ser realizadas na seguinte seqüência:

- 1- identificação do problema;
- 2- escolha do método de análise;

- 3- amostragem;
- 4- procedimento analítico;
- 5- medidas;
- 6- resultados

O analista utiliza, freqüentemente, alguns termos que necessitam de maior esclarecimento para o arqueólogo. Assim, em análise elementar, refere-se com freqüência a elementos maiores, elementos traço e elementos ao nível de ultratraços. Consideram-se elementos maiores, aqueles que estão no nível de concentração entre 0,01 a 100 %, No caso dos elementos ao nível de traço, dizemos que são elementos encontrados em uma concentração que varia entre 0,01 a 100 µg/g, micrograma por grama, também chamado de ppm ou partes por milhão. Elementos ao nível de ultratraço, dizem respeito aos elementos que se encontram em concentração menor que 0,01µg/g, ou < 0,01 ppm.

NÚMERO DE AMOSTRAS A SEREM ANALISADAS

A aplicação de métodos estatísticos multivariados, com o intuito de que as conclusões sejam confiáveis, exige que sejam analisadas um grande número de amostras. Henry, 2002, desenvolveu uma regra a respeito do número de amostras necessárias, na qual estão incluídas as p variáveis (elementos) e os n casos (amostras) baseando-se no número de graus de liberdade por variável na análise, dado pela expressão:

$$n - 1 - (p - 1)/2 \quad (2)$$

o número encontrado não deve ser menor do que 30 e preferencialmente igual 60 ou maior. Esta condição é raramente atendida em estudos arqueológicos. Em geral, dentro de uma área de estudo, inicialmente são analisadas de 10 a 15 amostras, de cada classe principal, em cada sítio (Bishop et al. 1982). É importante estar ciente de que em estudos de

composição química, as conclusões podem ser seriamente afetadas, quando se usa um menor número de amostras (Bishop, 1994).

ESTUDOS ESTATÍSTICOS

Nas últimas décadas, como consequência dos avanços tecnológicos, tanto em termos computacionais como em equipamentos de laboratório para análises, tem sido intensa a obtenção de dados arqueológicos quantitativos. Basta ver os relatórios de pesquisa com um grande número de matrizes, com informações não trabalhadas. Por outro lado, para a análise dos dados, a aplicação de técnicas estatísticas multidimensionais, torna-se uma ferramenta fundamental. O uso de técnicas estatísticas, hoje em dia, é bastante facilitada graças à vasta disposição de programas computacionais.

O principal objetivo de aplicarem-se métodos estatísticos em dados arqueométricos é a exploração dos resultados, geração de hipóteses, verificação da hipótese e resumo dos resultados. A pretensão deste texto é apresentar uma pequena introdução aos métodos estatísticos multivariados, que são mais aplicados em dados arqueológicos, sem uma abordagem matemática complexa. Existe uma variedade muito grande de livros e programas computacionais, que tratam deste assunto, bem elaborados e completos tais como SPSS, Minitab, SAS, S-Plus, Statistica, Systat, entre tantos outros, todos em constante atualização. O propósito é apresentar um texto simples que permita um diálogo entre arqueólogos e pesquisadores das ciências exatas.

VALORES DISCREPANTES (OUTLIERS)

Antes de dar início à aplicação das técnicas estatísticas é necessário estudar os outliers (valores discrepantes). Os outliers são observações constantes em uma base de dados que divergem significativamente da maioria das observações, ou seja, são observações caracterizadas pela discrepância

relativa às demais observações. O distanciamento dos outliers em relação às observações é de fundamental importância para sua identificação.

Estes valores discrepantes podem ser gerados por diferentes mecanismos, tais como: erros de medição, variabilidade populacional do atributo medido, falhas humanas, instrumentos defeituosos, entre outros processos. O estudo dos outliers é importante tendo em vista que uma base de dados com outliers pode conduzir a falsas estimativas e interpretações errôneas. Independente de suas causas, o estudo dos outliers é realizado basicamente em três fases: detecção, testes para confirmação e destino final (BECKMAN e COOK, 1983).

Numa primeira etapa, devem-se identificar os valores potencialmente discrepantes. Nesta fase de identificação são utilizados, geralmente, métodos subjetivos para detecção dos outliers. Frequentemente, é realizada uma análise gráfica ou, no caso de pequenas amostras, é feita uma observação direta dos dados para identificação do valor discrepante.

Posterior à identificação dos possíveis valores discrepantes, são executados testes formais, eliminando-se a subjetividade da etapa anterior. Os testes formais são escolhidos de forma compatível com a situação em estudo, ou seja, dependem do tipo de outlier, de sua quantidade e do conhecimento da distribuição subjacente à população de origem das observações.

É na última etapa dos estudos de outliers que é decidido o destino final dos valores que foram confirmados como discrepantes. De uma forma geral, o procedimento adotado tem sido o de descartar os valores discrepantes. Esta opção só deve ser usada, quando após uma nova análise da amostra, aparecer, novamente, o valor discrepante (BAXTER, 1999).

A identificação de observações discordantes, em amostras univariadas, é relativamente simples. Geralmente, por simples inspeção gráfica ou por meio de alguns testes específicos (teste de Grubbs, teste de Dickson, etc.) é possível confirmar a presença do outlier. Por outro lado, a identificação de outliers em amostras multivariadas é de extrema dificuldade, visto que a inspeção de cada variável isolada não é suficiente, para que se identifique uma amostra discrepante.

Na literatura há poucos trabalhos sobre identificação de valores discrepantes em amostras que envolvem mais de uma variável. A maioria dos métodos propostos na atualidade é subjetiva e resumem-se a métodos gráficos, tais como dendogramas obtidos por análise de agrupamento. Entretanto, alguns autores propõem que a distância *Mahalanobis* (D_i^2) é mais eficiente como método de detecção de amostras discrepantes em dados multivariados (OLIVEIRA e MUNITA, 2003). Considerando-se uma base de dados com n amostras e p variáveis medidas, a distância *Mahalanobis* é dada por:

$$D_i = \sqrt{(X_i - \bar{X})^T S^{-1} (X_i - \bar{X})} \quad (3)$$

$$\text{onde } S = \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X}) (X_i - \bar{X})^T / n - 1 \quad (4)$$

A identificação de valores discrepantes por meio de D_i^2 é feita calculando-se o D_i^2 para cada grupo de amostras, efetuando-se o teste de hipóteses por meio da comparação deste valor com o valor crítico. Na literatura, tem sido sugerido, que a determinação dos valores críticos da distância *Mahalanobis*, deva ser efetuada por meio da distribuição F, especialmente para amostras de tamanho pequeno (PENNY, 1987). Wilks, 1963 sugeriu que o valor crítico para a distância *Mahalanobis* fosse calculado por meio da expressão:

$$\frac{p(n-1)^2 F_{p, n-p-1; \alpha/n}}{n(n-p-1 + p F_{n, n-p-1; \alpha/n})} \quad (5)$$

no caso em que D_i^2 seja maior que esse valor crítico, a ocorrência será considerada outlier (Wilks, 1963).

Por outro lado, OLIVEIRA e MUNITA, 2003 estudaram a influência do valor crítico na detecção de valores discrepantes em arqueometria. Os autores compararam 3 critérios (tests F, teste do χ^2 e lambda Wilks) e constataram que o critério de Wilks é o mais conveniente para este tipo de estudo.

Suponhamos o caso de uma única variável ter sido medida em uma amostra e a análise estatística ter sido realizada por meio da estatística univariada. Entre os métodos estatísticos univariados, dois testes se destacam: o teste “t” de Student e a análise de variância. O teste t procura verificar hipóteses referentes à média populacional. A análise da variância procura dividir a variação total existente em um conjunto de resultados, de acordo com as diversas fontes de variação presentes. Estes métodos não serão discutidos aqui, porque são pouco aplicados em estudos arqueométricos.

Caso forem obtidas várias variáveis dessa mesma amostra, a análise estatística é efetuada por meio de estatística multivariada ou multidimensional, que permite uma melhor compreensão do problema, porque considera, simultaneamente, a variabilidade existente entre todas as variáveis medidas. Dentre os métodos mais utilizados em arqueometria, encontram-se o da análise bivariada (bivariate analysis), a análise de agrupamentos (cluster analysis), a análise de componentes principais (principal component analysis) e a análise discriminante (discriminant analysis).

GRÁFICOS BIVARIADOS

A análise por meio de gráficos bivariados são usados, com freqüência, porque permitem fazer uma distinção entre grupos, pares de elementos ou espécies altamente correlacionadas, assim como valores discrepantes

(outliers), podem ser facilmente identificados por meio de gráficos bivariados. Estes gráficos podem ser usados a partir das concentrações originais dos resultados, ou em combinações lineares dos dados, tais como componentes principais ou funções discriminantes. Em regiões onde existem relativamente poucas fontes possíveis de matéria-prima, este tipo de gráfico permite identificar essas fontes (MUNITA et al., 2003).

ANÁLISE DE CONGLOMERADOS (CLUSTER ANALYSIS)

A análise de agrupamento ou conglomerados é utilizada freqüentemente para uma inspeção inicial dos resultados, porque é uma técnica rápida e eficiente para se avaliar as relações existentes entre um grande número de amostras. O objetivo principal da técnica é agrupar objetos semelhantes de acordo com suas características. A análise de agrupamento baseia-se na matriz de dissimilaridade, na qual, a distância entre todos os pares das espécies medidas é calculada utilizando-se uma das várias possíveis distâncias medidas.

Uma das mais comumente utilizada é a distância *Euclidiana*, entre amostras individuais, para se estudar a similaridade ou diferenças entre as amostras e a representação é realizada por meio de um dendograma. O dendograma pode representar, exatamente, as diferenças entre membros dentro de um grupo; entretanto altera muito a diferença entre grupos de amostras. Então, a efetividade dos dendogramas como meio de ilustrar fielmente as diferenças entre grupos é questionável. Os dendogramas podem ser usados como uma etapa inicial na identificação dos grupos, mas não são apropriados como uma medida quantitativa capaz de diferenciá-los. Análise de componentes principais ou análises discriminantes são procedimentos mais adequados para se determinar diferenças dentro e inter grupos. A análise por agrupamento para se estudar as similaridades entre amostras, é aplicada no modo Q e no modo R entre variáveis.

ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS

A análise de componentes principais é uma das técnicas estatísticas mais utilizadas em estudos arqueométricos de cerâmicas, não sendo sinônimo de análise fatorial ou análise de fatores. É uma técnica estatística que transforma linearmente um conjunto de variáveis em um conjunto de um número menor de variáveis não-correlacionadas, e explica uma parcela substancial das informações do conjunto original. As variáveis originais são transformadas em variáveis denominadas componentes principais, de modo que o primeiro componente explica a maior parcela da variabilidade total dos dados, e o segundo componente explica a segunda maior parcela, e assim sucessivamente. Com frequência é possível descrever 70% ou mais da variância original, na extração dos primeiros três componentes, com a mínima perda da informação original.

Os principais objetivos da análise de componentes principais são reduzir a dimensionalidade dos dados, favorecendo a obtenção de combinações interpretáveis das variáveis e, por último, descrever e entender a estrutura de correlação das variáveis.

A análise de componentes principais inicia-se com o cálculo dos autovalores e correspondentes autovetores de uma matriz de variância-covariância ou de correlações entre variáveis.

ANÁLISE DISCRIMINANTE

A análise discriminante é uma técnica estatística multivariada, utilizada com o objetivo de discriminar as amostras (populações) e/ou classificar objetos em grupos previamente definidos. Desta forma, os principais objetivos da técnica são encontrar funções das variáveis originais (funções discriminantes) que expliquem as diferenças entre os grupos de amostras e que permitam alocar novos objetos em um dos grupos envolvidos na análise.

Diferentemente da análise de agrupamento, a análise discriminante é uma técnica supervisionada, pois neste tipo de análise há necessidade do conhecimento *a priori* dos grupos aos quais pertencem os objetos (amostras). Para aplicação da análise discriminante, os grupos devem ser bem definidos. Estas características diferem da análise de agrupamento, visto que nesta técnica não se conhecem *a priori*, quais são os grupos envolvidos.

Nos estudos arqueométricos, a análise discriminante tem sido aplicada intensamente para estudos de proveniência das fontes de matérias-primas e agrupamentos de vestígios cerâmicos conforme suas similaridades (MUNITA et al., 2003, 2004a, 2004b, 2005). A grande vantagem desta técnica em relação às técnicas de conglomerados, é que fornece grupos individuais mais homogêneos, facilitando desta forma as observações dos grupos.

CONCLUSÃO

Cada dia fica mais evidente, que os estudos arqueológicos necessitam ser interdisciplinares. Em um projeto interdisciplinar, os pesquisadores de diferentes áreas do conhecimento trabalham juntos com o propósito de atingir uma genuína integração, tanto teórica quanto intelectual (SIGMA, 1988). Quando o projeto é multidisciplinar os participantes têm um papel específico, não compartilham as idéias: eu dou as amostras você me fornece a informação.

Por último, concluiríamos que, a maioria dos projetos de caracterização de material arqueológico é multidisciplinar. Entretanto, tanto o pesquisador da área arqueológica como o das ciências exatas, têm que estar cientes que é necessário trabalhar em uma forma interdisciplinar.

Casimiro S. Munita

Pesquisador na Supervisão de Radioquímica do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, IPEN-CNEN/SP, C.P. 11049, CEP 05422-970, São Paulo, SP, Brasil,
camunita@net.ipen.br

BIBLIOGRAFIA

- BAXTER, M.J. Detecting multivariate outliers in artifacts compositional data. *Archaeometry*, 41, nº 2, p. 321-338, 1999.
- BECKMAN, R.J.; COOK, R.D. Outliers. *Technometrics*, 25, nº 2, p. 119-163, 1983.
- BISHOP, R.L. Pre-Columbian pottery: research in the Maya region. In: *Archaeometry of Pre-Columbian sites and artifacts*. Scott, D.A., Meyers, P. (Eds.). Getty Conservation Institute, Los Angeles, CA, 1994, p. 15-65.
- BISHOP, R.L.; RANDS, R.L.; HOLLEY, G.R. Ceramic compositional analysis in archaeological perspective. *Advances in Archaeological Method and Theory*, v. 5, p. 275-331, 2002.
- HENRY, R.C. Multivariate receptor models – current practise and future trends. *Chemometrics Intelligent Lab. Systems*, v. 60, nº 1-2, p. 43-48, 2002.
- MUNITA, C.S. Neutron activation analysis applied to archaeological problems. In: *Analytical Applications of Nuclear Techniques*. International Atomic Energy Agency (Ed), Vienna, 2004a, p. 165-170.
- MUNITA, C.S.; NASCIMENTO, A.; SCHREIBER, S.B.; LUNA, S.; OLIVEIRA, P.M.S. Chemical study of some ceramics from Brazilian Northeast. *Journal of Radiochemistry and Nuclear Chemistry*, v. 259, nº 2, p. 305-309, 2004b.
- MUNITA, C.S.; PAIVA, R.P.; ALVES, M.A.; OLIVEIRA, P.M.S.; MOMOSE, E.F. Provenance study of archaeological ceramic. *Journal of Trace and Microprobe Techniques*, v. 21, nº 4, p. 697-706, 2003.
- MUNITA, C.S.; SILVA, M.A.; SILVA, F.A.; OLIVEIRA, P.M.S. Archaeometric study of clay deposits from the indigenous land of the Asurini do Xingu. *Instrumentation Science and Technology*, v. 33, p. 161-173, 2005.
- OLIVEIRA, P.M.S.; MUNITA, C.S. Influência do valor crítico na detecção de valores discrepantes em arqueometria. In: 48ª REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 07-11 de julho, 2003, Lavras, MG, p. 545-550.
- PENNY, K.I. Appropriate critical values when testing for a single multivariate outlier by using the Mahalanobis distance. *Applied Statistical*, v.35, p. 153-162, 1987.
- SIGMA, XI. Removing the boundaries: Perspectives on cross-disciplinary research – final report on an inquiry into cross-disciplinary science. Sigma Xi, the Scientific Research Society, New Haven, CT, 1988.
- SPYROU, N.M.; AL-MUGRABI, M.A. Mass fraction and the sampling factor in cyclic activation analysis. *Journal of Trace and Microprobe Techniques*, v.6, nº 3, p. 425-435, 1988.
- WILKS, S.S. Multivariate statistical outliers. *Sankhya*, 25, p. 407-426, 1963.