

APLICAÇÃO DA ANÁLISE DISCRIMINANTE LINEAR E REDES NEURAIIS ARTIFICIAIS PARA CLASSIFICAÇÃO DE CERÂMICAS ARQUEOLÓGICAS COM BASE NA COMPOSIÇÃO QUÍMICA

**José Osman dos SANTOS (1); Alex Paulo Alves de OLIVEIRA (2); Casimiro Sepúlveda
MUNITA (3)**

(1) Centro Federal de Educação Tecnológica de Sergipe, UNED Lagarto, Rodovia Lourival Batista S/N, Povoado Carro Quebrado, 49400-000, Lagarto, SE, Brasil; telefone: 79-3631-1557; e-mail: osmansantos@ig.com.br;

(2) Centro Federal de Educação Tecnológica de Sergipe, e-mail: alex.oliveira@cefetse.edu.br;

(3) Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, e-mail: camunita@ipen.br

RESUMO

A análise das propriedades microscópicas das cerâmicas tem sido fundamental para as Ciências Arqueológicas, pois, possibilita a inferência do arcabouço cultural da peça analisada, tal como a região de origem das matérias - primas, tecnologias de manufatura e dinâmica de ocupação dos espaços. Dentre os materiais encontrados, em escavações arqueológicas, os cerâmicos são os mais frequentes. Destarte, um programa interdisciplinar tem sido estabelecido entre o Centro Federal de Educação Tecnológica de Sergipe e o Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares com objetivo de estudar culturas ceramistas da região de Xingó - Sergipe, uma vez que neste local há evidências de culturas ceramistas independentes das culturas Aratu e Tupiguarani. Em função deste programa, 30 amostras de argila, e 73 amostras cerâmicas, provenientes do sítio arqueológico Barracão, foram analisadas por Análise por Ativação com Nêutrons Instrumental (AANI), para determinação da composição química elementar das peças. Por meio da AANI foi possível obter as concentrações de Na, Lu, Yb, La, Th, Cr, Cs, Sc, Ce, Fe, Eu, Zn, Co, Ta, U e Hf, presentes nos materiais analisados, as quais foram utilizadas para classificação das cerâmicas e argilas estudadas. As amostras discrepantes foram identificadas por meio da distância de Mahalanobis robusta. A interpretação, da base de dados, foi realizada de duas formas distintas: Análise Discriminante Linear (ADL) e Redes Neurais Artificiais (RNA). A ADL tem sido amplamente utilizada em estudos de proveniência, todavia, as RNAs têm sido capazes de superar alguns pontos críticos das técnicas estatísticas clássicas, como: linearização, influência de ruídos e amostras discrepantes. De acordo com os resultados obtidos, observou-se a formação de sete grupos composicionais, sendo três de argila e quatro de cerâmica. Também foi possível constatar que a argila, utilizada nas cerâmicas analisadas, não era local. Por fim, esse estudo possibilita, hodiernamente, um melhor entendimento acerca da pré-história sergipana.

Palavras-chave: Análise Discriminante Linear, Redes neurais, Composição química elementar, Arqueologia, Mineração de dados;

1. INTRODUÇÃO

A Arqueologia pode ser definida como uma Ciência que vislumbra o resgate de informações e desenvolve teorias a respeito do passado da humanidade por meio do estudo dos vestígios materiais encontrados durante as escavações. A Arqueologia tem utilizado uma diversidade de métodos e ferramentas para reconstrução das culturas antigas, tais como análises ambientais, sociológicas, datações científicas e históricas, fontes iconográficas e históricas, análise material dos artefatos encontrados, entre outras ferramentas (GEBHARD, 2003). Na atualidade, o uso de métodos e técnicas provenientes das ciências naturais para estudo de materiais arqueológicos constitui uma ciência denominada de Arqueometria. A Arqueometria é um campo de pesquisa interdisciplinar que agrega aos estudos arqueológicos, de maneira objetiva, aspectos da química analítica, química orgânica, eletroquímica, física, antropologia, entre outras áreas do conhecimento humano. Usualmente, as pesquisas arqueométricas objetivam a investigação da degradação, proveniência e a relação entre os artefatos analisados, bem como datações dos mesmos.

Uma vez que a cerâmica é uma materialização dos avanços tecnológicos dos povos que a utilizaram, os objetos cerâmicos são os mais intensamente estudados por meio dos métodos arqueométricos. Em todo o mundo, os fragmentos cerâmicos são os vestígios mais comumente encontrados nos trabalhos de escavações arqueológicas (RICE, 1999), como consequência, é o material mais estudado pelos arqueólogos. Além de sua abundância e resistência ao intemperismo, os fragmentos cerâmicos apresentam diversas características macroscópicas e microscópicas de interesse nos estudos arqueológicos (STARK, 2003). As propriedades visuais, tais como forma e decoração de superfície, são usadas com frequência como indicadores culturais e cronológicos. Adicionalmente, as propriedades microscópicas, tais como textura da pasta (Mistura de argila e temperos), podem ser utilizadas para estudar as técnicas de fabricação dos artefatos cerâmicos. Em especial, o estudo composicional das argilas, areia e outros materiais adicionados à pasta cerâmica podem indicar o local de origem destes materiais, uma vez que a composição destes materiais é singular (WEIGAND & HARBOTTLE, 1977; NEFF, 1977).

Nos principais componentes das argilas (Al_2O_3 e SiO_2) estão presentes, geralmente, materiais em quantidades superiores a 10% e impurezas menores, tais como óxidos de Na, Mg, K, Ca, Ti e Fe em quantidades típicas entre 1000 ppm e 5%. Todavia, os elementos traços, aqueles que estão em concentrações abaixo de 1000 ppm, e que tem ocorrência acidental nas argilas, são os que fornecem informações mais seguras nos estudos de proveniência (Munita et al, 2001).

Dentro de uma perspectiva interdisciplinar, um programa de colaboração entre o Centro Federal de Educação Tecnológica de Sergipe (CEFETSE) e o Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN/CNEN-SP) tem sido estabelecido, com objetivo de contribuir com estudos das antigas culturas ceramistas estabelecidas na região de Xingó, situada no município de Canindé do São Francisco, Estado de Sergipe (Figura 1). Estudos recentes na área têm mostrado a existência de grupos ceramistas independentes, sem relação com os grupos ceramistas bem estabelecidos no Nordeste brasileiro, denominadas culturas Tupiguarani e Aratu (MARTIN, 1997). Datações de esqueletos obtidas por meio de métodos radio carbônicos indicam evidências de ocupação humana em Xingó a cerca de 9.000 anos antes do presente (BP). Assim, este trabalho contribui para o entendimento da dinâmica de ocupação do Baixo São Francisco por meio de uma abordagem arqueométricas.

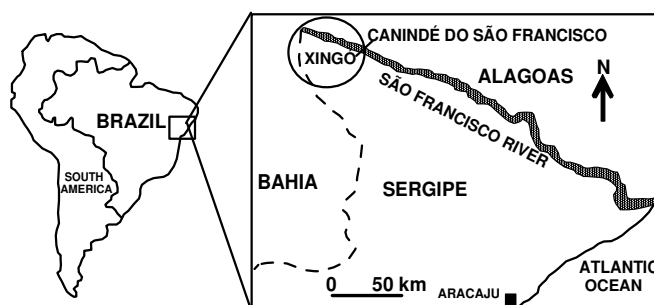


Figura 1. Mapa de localização da área em estudo

Uma vez que os estudos arqueométricos das cerâmicas contribuem para determinação de uma “assinatura química” da matéria-prima usada na sua manufatura, neste trabalho a Análise por Ativação com Nêutrons Instrumental (AANI) em combinação com métodos estatísticos multivariados, Análise de Conglomerados, Análise Discriminante e Redes Neurais, foi utilizada para determinação da composição química elementar de fragmentos cerâmicos e argilas coletadas no sítio arqueológico Barracão, localizado em Canindé do São Francisco.

1.1. Material

As amostras de argila foram coletadas em três locais do sítio Barracão, denominadas Clay A, B e C. Embora diversos métodos tenham sido empregados para análise de cerâmicas e argilas, a AANI tem dominado os estudos de proveniência desde 1960 até hoje (PERLMAN & ASARO, 1969; HARBOTTLE, 1976; GLASCOCK, 1992; MUNITA et al, 2001). Os elementos químicos, presente na amostra, ao serem irradiados com nêutrons térmicos, o núcleo absorve o nêutron, tornando-se instáveis, que para voltar à linha de estabilidade emitem radiação gama que é característica para cada elemento químico. A intensidade da radiação emitida é proporcional à concentração do elemento na amostra. Deste modo, por meio da espectrometria gama de alta resolução é possível determinar, precisamente, a concentração do elemento na amostra

Neste trabalho, 103 amostras, 73 fragmentos cerâmicos e 30 amostras de argila, coletadas no sítio arqueológico Barracão foram analisadas por AANI. De acordo com estudos arqueológicos, a ocupação ceramista em Xingó corresponde a uma das mais antigas do Nordeste brasileiro (VERGNE et al, 2002).

1.2. Preparação de amostras e padrões

As amostras foram analisadas na forma de pó, as quais foram obtidas após limpeza da superfície lateral do fragmento cerâmico por meio de furos até profundidade de 1-2 cm usando uma broca de carbeto de tungstênio fixada em uma furadeira, cuja velocidade pode ser controlada por meio de um potenciômetro. Dependendo da espessura, 3 ou 5 furos, foram realizados no fragmento. A preparação das argilas foi feita triturando as amostras com almofariz de ágata até granulometria de 100 a 200 mesh. Finalmente, o pó das amostras foi secado à 105°C por 24 h e armazenado em dissecador.

Nas análises foram usados os materiais de referência: Coal Fly Ash - NIST-SRM-1633b e o Brinck Clay - NIST-SRM-679. O primeiro para calcular a concentração e o segundo como padrão secundário para verificar a qualidade analítica dos resultados. Ambos materiais foram secados em estufa à temperatura de 105 °C por 4 h.

1.3. Irradiação e espectrometria gama

Cerca de 100 mg de amostra cerâmica, juntamente com os materiais de referência Coal Fly Ash - NIST-SRM-1633b e Brinck Clay - NIST-SRM-679, foram embalados e pesados em polietilenos, e envolvidos em folha de alumínio. Grupos de 8 amostras cerâmicas e os dois materiais de referência foram empacotados em folha de alumínio e irradiados no reator de pesquisa tipo piscina, IEA-R1m (IPEN/CNEN – SP), sob um fluxo de nêutrons de 5×10^{12} n.cm⁻².s⁻¹ por 8h.

Duas séries de medidas foram conduzidas usando-se detector de Ge (hiperpuro), modelo GX 25190 da Canberra, com resolução de 1.90 keV no pico gama de 1332.49 keV do ⁶⁰Co, acoplado ao analisador S-100 MCA da Canberra que possui 8192 canais. Dessa forma, As, K, La, Lu, Na, Nd, Sm, U e Yb foram identificados após um tempo de resfriamento de 7 dias, e Ba, Ce, Co, Cr, Cs, Eu, Fe, Hf, Rb, Sb, Sc, Ta, Tb, Th e Zn após 25-30 dias. A análise do espectro gama foi realizada por meio do programa computacional Genie 2000 NAA Procedure da Canberra.

2. METODOLOGIA ESTATÍSTICA

Para identificação das amostras discrepantes utilizou-se a distância de Mahalanobis, com estimadores robustos para o vetor de média e matriz de covariância, de forma a obter o Mínimo Determinante da Matriz de Covariância (MCD) (PENNY, 1987; ROUSSEEUW & VAN ZOMEREN, 1990; HARDIN & ROCKE, 2004; HADI, 1992). Foram consideradas discrepantes as amostras cuja distância de Mahalanobis Robusta (RD) foi superior ao valor crítico estabelecido por meio da distribuição qui-quadrado. Estabeleceu-se a elipse de tolerância, correspondente ao quantil $\chi^2_{2;0.98}$, para cada grupo de amostra. As amostras que ficaram fora da região de tolerância, no espaço das duas componentes principais, foram consideradas discrepantes (OLIVEIRA & MUNITA, 2006).

A análise de conglomerados é o termo é o procedimento aplicado para uma variedade de técnicas de agrupamento de amostras com base em uma medida de similaridade – dissimilaridade e um algoritmo de aglomeração (DAVIS, 1986; SANTOS et al, 2006). Em geral, a análise de conglomerados é usada para identificar os grupos iniciais que serão confirmados por um método subsequente. Os grupos cerâmicos do sítio Barracão foram identificados, inicialmente, por meio da análise de conglomerados, utilizando-se o método de Ward's com a distância euclidiana quadrática (JOHNSON & WICHERN, 1992).

Para confirmar os grupos obtidos por meio da análise de agrupamento aplicou-se ao banco de dados a análise discriminante, a qual é uma técnica estatística multivariada amplamente utilizada em Arqueometria para identificação e distinção de grupos composicionais, de forma supervisionada (MUNITA et al, 2000).

Com objetivo de estudar a eficiência das metodologias de agrupamentos de amostras em estudos composicionais de cerâmicas arqueológicas, as Redes Neurais Artificiais (RNA) foram utilizadas para determinação de grupos composicionais de cerâmicas por meio do método de aprendizagem supervisionada, usando um algoritmo *backpropagation* com multicamadas (DUDA et al, 2001). Recentemente, a aplicação dos métodos de inteligência artificial, os quais são fundamentados no desenvolvimento de sistemas computacionais inteligentes, vem despertando um interesse crescente em muitas áreas do conhecimento humano. Em Arqueologia, as aplicações mais frequentes destes métodos referem-se a RNA, os quais tem sido capazes de superar alguns pontos críticos das técnicas estatísticas clássicas, como aqueles relacionados à linearização, influência de ruídos e amostras discrepantes (DUDA et al, 2001). De uma forma geral, os métodos de inteligência artificial têm sido utilizados em Arqueologia para propósitos de calibração multivariada e/ou como métodos de classificação.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para avaliar o procedimento analítico e estabelecer os elementos químicos que podem ser utilizados para interpretação da matriz de dados, as concentrações elementares no material de referência Brick Clay - NIST-SRM-679 foram estatisticamente comparadas com os dados obtidos no procedimento analítico utilizado neste trabalho. A precisão de diversos elementos (La, Th, Sc, Fe, Eu, Ce, Zn, Hf e Co) foi melhor que 5%, e compatíveis com as obtidas por outros autores. Alguns elementos apresentaram Desvio Padrão Relativo (DPR) menor que 10% (Nd, Rb, Sm, Ba, Sb, Ta e Tb), valores similares aos encontrados na literatura (MUNITA et al, 2000a). A interferência da fissão do ^{235}U na determinação de La, Ce e Nd foi desprezível, uma vez que a concentração de U não excedeu aos 5 ppm e os elementos terras raras apresentaram-se em concentrações muito baixa.

Um dos requisitos básicos nos estudos composicionais de cerâmicas arqueológicas é que a técnica analítica apresente boa precisão. Elementos que apresentam baixa precisão podem reduzir o poder de discriminação da combinação dos elementos. Neste trabalho, os elementos que apresentaram DPR menor que 10% foram considerados para interpretação (Na, Lu, Yb, La, Th, Cr, Cs, Sc, Ce, Fe, Eu, Zn, Co, Ta, U e Hf) (MUNITA et al, 2000b). Tendo em vista que a emissão da radiação gama pelos elementos ^{46}Sc e ^{182}Ta interfere, fortemente, na determinação do Zn, este elemento foi eliminado da base de dados, mesmo apresentando DPR menor que 10%. Os elementos Co e Ta foram excluídos, uma vez que suas concentrações podem ser afetadas pela contaminação com a broca de carbeto de tungstênio (ATTAS et al, 1984). K e Sb apresentaram DPR menor que 10%, contudo foram eliminados na interpretação por apresentarem mais de 15% de valores perdidos (missing values). Com base nestes critérios, 13 elementos: Na, Lu, Yb, La, Th, Cr, Cs, Ce, Sc, Fe, Eu, U e Hf foram utilizados para interpretação dos resultados.

Para compensar as diferenças entre as magnitudes das concentrações obtidas, os dados foram transformados por meio de uma transformação logarítmica \log_{10} . A transformação \log_{10} é a mais comum em estudos composicionais. Uma razão para isto é que a maioria dos elementos em uma matriz geológica apresenta uma distribuição lognormal (GLASCOCK et al, 2004). Após transformação logarítmica, a matriz de dados foi sujeita ao teste de identificação das amostras discrepantes, por meio da distância de Mahalanobis robusta, com valor crítico dados por $\chi^2_{2;0.98}$. Apenas uma amostra foi considerada discrepante e eliminada na base de dados.

A análise de conglomerados foi utilizada, inicialmente, para definição dos grupos de cerâmicas e argilas. A Figura 2 mostra o dendrograma, obtido por meio do método Ward's. A Figura mostra que a base de dados pode ser dividida em quatro grupos. Os grupos são nomeados A, B, C e D.

Como sugerido em outros trabalhos (MUNITA et al, 2001), a análise de conglomerados, isoladamente, não é uma técnica confiável para agrupamento de amostras em estudos de proveniência. Com objetivo de confirmar os grupos obtidos, previamente, a matriz de dados foi submetida à análise discriminante. As amostras de argila foram classificadas, a priori, como pertencente a uma das três áreas investigadas e de acordo com os resultados da análise de conglomerados. A Figura 3 apresenta um gráfico bivariado das duas primeiras funções discriminantes, mostrando sete grupos principais, três grupos de argilas (Clay A (19), Clay B (10) e Clay (10)) e quatro grupos de cerâmicas (Pottery A(10), Pottery B (12), Pottery B(9) e Pottery C(32)). A análise discriminante Forward indicou que os elementos Lu e U não são relevantes para discriminação dos grupos. Além disso, os resultados da análise discriminante indicaram que as matérias-primas usadas na manufatura das cerâmicas são distintas e as argilas investigadas não foram utilizadas para obtenção das cerâmicas do sítio Barracão. Uma vez que as amostras de argila foram coletadas nas proximidades no sítio Barracão, pode-se inferir que os ceramistas que viveram no sítio estudado buscavam suas matérias-primas longe do local de habitação. Portanto, pode-se inferir que a busca de argilas apropriadas para manufatura de cerâmicas motivava, possivelmente, os ceramistas para esta busca de materiais longe do local de habitação.

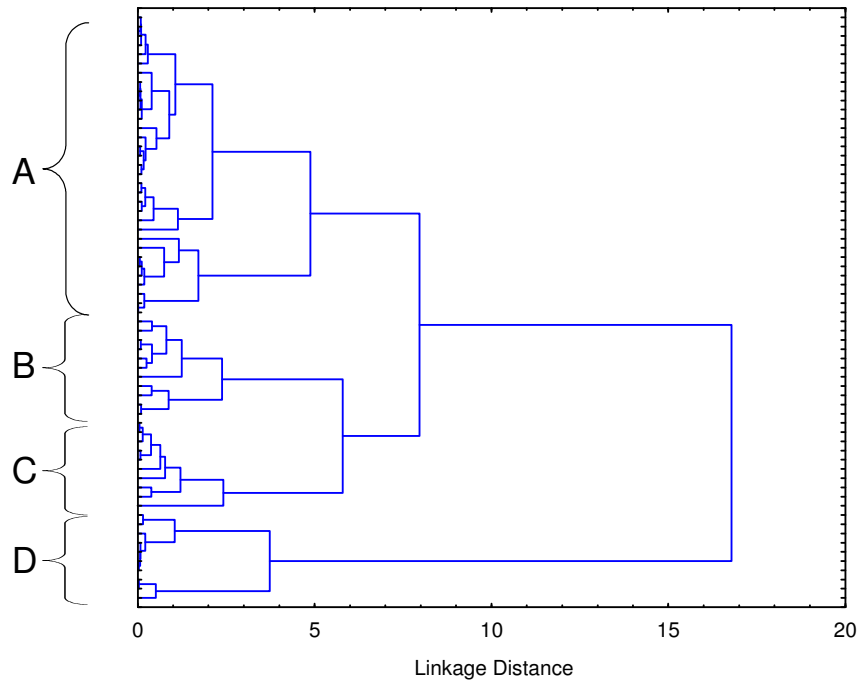


Figura 2 - Dendrogramas para cerâmicas analisadas.

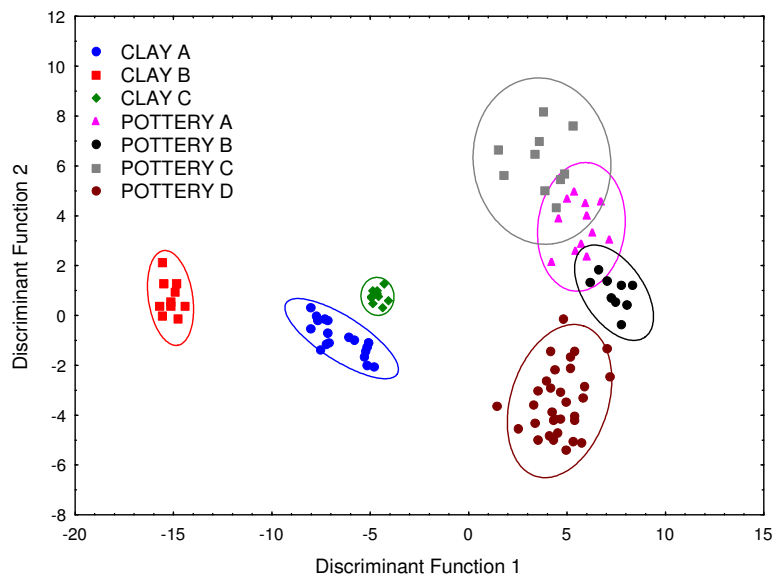


Figura 3 - Análise discriminante das cerâmicas e argilas do sítio arqueológico Barracão.
As Elipses representam confiança de 95%.

A despeito de que a estratégia para agrupamento de cerâmicas arqueológicas, utilizada neste trabalho, seja um processo consolidado, aplicou-se as Redes Neurais Artificiais (RNAs) (DUDA et al, 2001) para classificação das amostras de forma independente, uma vez que as RNAs têm sido aplicadas com sucesso no reconhecimento de padrões. Dessa forma, a aplicação das RNAs valida a metodologia estatística utilizada.

Para o processo de aprendizagem da rede neural utilizou-se o algoritmo *backpropagation* (DUDA et al, 2001), com multicamadas, o qual foi implementado em linguagem *Java* (DEITEL, 2007). As concentrações dos elementos químicos Na, La, Yb, Lu, U, Sc, Cr, Fe, Cs, Ce, Eu, Hf, e Th foram utilizados como parâmetros de entrada para modelagem da RNA, e, por conseguinte, a rede neural utilizada possui 18 neurônios na camada de entrada: um para cada substância química, utilizada no referido processo.

Inicialmente, foram utilizados oito neurônios na camada de saída, e, considerando que cada neurônio, na abstração adotada, deveria ter, como saída, um valor decimal, que seria interpretado como sendo 0 (zero), ou 1 (um), então, desta forma, seria possível representar até 256 elementos distintos (em função de se ter, como resposta da rede, um conjunto de oito saídas, cujos valores seriam interpretados de forma binária). Sobretudo, considerando que o conjunto de treinamento, nesse caso específico, estava fragmentado em apenas sete grupos distintos (3 grupos de argila e quatro grupos de cerâmica), então, seriam necessários apenas três neurônios, na camada de saída da RNA, para produzir respostas, suficientemente diversificadas, para atender à aludida demanda. Verificou, em função de testes, que a redução da dimensão da RNA incrementou as taxas de acerto, referentes ao processo de classificação das amostras, após o treinamento da RNA.

Destarte, as saídas da RNA foram convencionadas, no contexto do aprendizado supervisionado, como sendo um grupo de 3 bits. Em relação às argilas, convencionou-se a saída 000 para o grupo *Clay A*, 001 para o grupo *Clay B*, 010 para o grupo *Clay C*, e, de forma análoga, no que concerne, às cerâmicas, convencionou-se a saída 100 para o grupo *Pottery A*, 101 para o grupo *Pottery B*, 110 para o grupo *Pottery C* e, por fim, a saída 111 para as amostras do grupo *Pottery D*.

Considerando que existem dois grupos distintos, no conjunto de treinamento utilizado (argilas e cerâmicas), escolheu-se o primeiro bit (do conjunto de três bits que representa a saída da rede neural) para ser o elemento responsável pela referida distinção, o que se verifica facilmente, na breve observação da relação entre os grupos, de argila e cerâmica, e as saídas associadas, na abstração agora discutida.

O espaço de amostras das cerâmicas do sítio arqueológico Barracão, o qual corresponde a 102 amostras, foi dividido, aleatoriamente, da seguinte forma: 72 amostras para o conjunto de treinamento da rede, e 30 amostras para composição do conjunto teste. O conjunto de treinamento foi utilizado para aprendizagem da rede neural, que se caracteriza pelo ajuste dos pesos associados a cada neurônio, de forma sistemática, objetivando a redução dos erros de classificação. O conjunto de testes foi aplicado para avaliação do desempenho da RNA.

Objetivando, não apenas o treinamento, mas também a otimização da RNA, o processo de aprendizagem foi estabelecido. Nesse processo, é importante selecionar adequadamente o número de camadas e nodos da RNA, para obtenção do tempo ótimo de aprendizagem. Assim, diversos modelos foram testados, com diferentes números de camadas e neurônios, com objetivo de maximizar a taxa de acerto na classificação, uma vez que, optou-se por RNA supervisionada. Em função destes testes, foi possível perceber que, para esse caso específico, a RNA que apresentou o melhor desempenho possuía 3 camadas, com 18 nodos na camada de entrada, 9 nodos na camada *hidden*, e 3 nodos na camada de saída. A referida rede precisou de 1810 interações para completar o seu treinamento (trabalhando, durante o aludido treinamento, com um erro médio máximo igual a 0,01). Após a completude do treinamento, a rede demonstrou uma taxa de acertos de 83%, salientando, ainda, que essa porcentagem diz respeito, apenas, a amostras que não fizeram parte do conjunto de treinamento.

De acordo com a classificação obtida, por meio das RNAs, observou-se que, num contexto de 30 amostras de teste, apenas, uma amostra do tipo *Clay A*, duas do tipo *Clay B*, uma do tipo *Pottery B* e, por fim, uma do tipo *Pottery C*, não foram classificadas corretamente. Estes erros de classificação podem ter sido consequência da definição da priori utilizada para aplicação das RNAs supervisionadas, uma vez que, os grupos cerâmicos A, B e C apresentam regiões de superposição no espaço das funções discriminantes, como pode ser visto na Figura 3.

4. CONCLUSÃO

A AANI nas amostras cerâmicas coletadas no sítio Barracão foi bem sucedida para identificação das composições químicas elementares das cerâmicas. Foram identificados quatro grupos de cerâmica e três grupos de argila. Os resultados da análise discriminante indicaram que as argilas analisadas, neste trabalho, não foram utilizadas para obtenção da pasta cerâmica dos vestígios argilosos do sítio Barracão.

A classificação das amostras das cerâmicas e argilas, do sítio arqueológico Barracão, por meio da aplicação das RNAs foi satisfatória, uma vez que, a taxa de acerto de 83%, para o modelo escolhido, foi alta, considerando o pequeno número de amostras para classificação por RNA. Essa taxa de acertos valida a metodologia estatística utilizada.

Espera-se que, à medida que o espaço amostral crescer, ou, em outras palavras, quando se dispuser de um conjunto de treinamento maior, a taxa de acertos, referente aos testes efetuados, se mostre significativamente melhor. O aumento do desempenho da RNA, para as amostras dos sítios arqueológicos de Xingó, permitirá diminuir o tempo para a identificação da proveniência da amostra analisada, e, por conseguinte, diminuirá os custos inerentes ao processo em questão. Ademais, com a referida melhoria, esperada em função da ampliação do espaço amostral, será possível identificar os elementos químicos que são discriminantes das cerâmicas da região de Xingó.

Portanto, a combinação da AANI, estatística multivariada e métodos de inteligência artificial, além de constituir uma poderosa ferramenta arqueométrica, para estudos de cerâmicas, e outros materiais arqueológicos, forneceu informações da dinâmica de ocupação da área de Xingó em um período pré-histórico.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq, Processo 155373/2006-4) e ao Museu Arqueológico de Xingó, pelo apoio ao projeto.

6. REFERÊNCIAS

- ATTAS, M., FOSSEY, J. M., YAFFE, Y. Corrections for Drill-bit Contamination in Sampling Ancient Pottery for Neutron Activation Analysis. **Archaeometry**, Oxford, v. 26, n. 1, p. 104-107, Feb. 1984.
- DAVIS, J. C. **Statistics and Data Analysis in Geology**. New York: John Wiley and Sons, 1986.
- DEITEL, H. **Java: How To Program**. 7ª ed. New Jersey: Prentice Hall, 2007.
- DUDA, R. O., HART, P. E., STORK, D. G. **Pattern Classification**. 2ª ed. Maryland: Ed. Wiley-Interscience, 2001.
- GEBHARD, R. Materials Analysis in Archaeology. **Hyperfine Interactions**, Netherland, v.150 , n. (1-4), p. 1 – 5, Sept. 2003.
- GLASCOCK, M.D. **Characterization of Archaeological Ceramics at MURR by Neutron Activation Analysis and Multivariate Statistics**. In *Chemical Characterization of Ceramic Pastes in Archaeology*; Neff, H., Ed.; Prehistory Press: New York, pp. 11 – 26, Monographs in Word Archaeology, Section 1, 1992.
- GLASCOCK, M.D., NEFF, H., K. VAUGHN, J. Instrumental Neutron Activation Analysis and Multivariate Statistics for Pottery Provenance. **Hyperfine Interactions**, Netherland, v. 154, n. 1 -4, p. 95-105, Jun. 2004.
- HADI, A. Identifying multiple outliers in multivariate data. **Journal Royal Statistics Society B**, London, v. 54, n. 3, p. 761-771, May 1992.
- HARBOTTLE, G. **Activation Analysis in Archaeology**. In *Radiochemistry (3)*, Newton, G.W.A, Ed.. London: The Chemical Society, 1976.
- HARDIN, J., ROCKE, D. M. Outlier detection in multiple cluster setting using the minimum covariance determinant estimator. **Computational Statistics & Data Analysis**, Amsterdam, v. 44, p. 625-638, Jan. 2004.
- JOHNSON, R. A., WICHERN, D. W. **Applied Multivariate Statistical Analysis**. 3ª ed. New Jersey: Ed. Prentice Hall, 1992.
- MARTIN, G. **Pré-história do Nordeste do Brasil**. Recife: Editora Universitária da UFPE, 1997.
- MUNITA, C. S., PAIVA, R. P., ALVES, M. A., MOMOSE, E. F, SAIKI, M. Chemical characterization by INAA of Brazilian ceramics and cultural implications. **Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry**, Budapest, v. 244, n.3, p. 575 - 578, Jun. 2000a.
- MUNITA, C. S., PAIVA, R. P., ALVES, M. A., OLIVEIRA, P. M. S., MOMOSE, E. F. Major and trace element characterization of prehistoric ceramic from Rezende archaeological site. **Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry**, Budapest, v. 248, n. 1, p. 93 – 96, Jan. 2001.
- MUNITA, C. S., PAIVA, R. P., OLIVEIRA, P. M. S., MOMOSE, E. F., PLÃ ,R., MORENO ,M., ANDONIE, O., FALABELLA, F., MUNOZ, L., KOHNENKAMP, I. Intercomparison among three Activation Analysis Laboratory in South America. **Journal of Trace and Microprobe Techniques**, Florida, v. 19, n. 2, p. 189-197, May 2001.
- MUNITA, C. S., PAIVA, R.P., ALVES, M. A., OLIVEIRA, P. M. S., MOMOSE, E. F. Contribution of Neutron Activation Analysis to archaeological studies. **Journal of Trace Microprobe Techniques**, Florida, v. 18, n. 3, p. 381-387, Aug. 2000b.

NEFF, H. **Modern Analytical Methods in Art and Archaeology**. In *Chemical Analysis, A Series of Monographs on Analytical Chemistry and its Applications (155)*, Ciliberto, E., Ed.. New York: John Wiley and Sons, 2000.

OLIVEIRA, P. T. S., MUNITA, C. S. Identificação de valores discrepantes por meio da distância de Mahalanobis. In: 17 Simpósio Nacional de Probabilidade e Estatística, 24-28 de julho de 2006, Caxambú – MG (2006).

PENNY, K.I. Appropriate Critical Values when Testing for a Single Multivariate Outlier by Using the Mahalanobis Distance. **Applied Statistics**, Oxford, v. 35, p.153-162, 1987.

PERLMAN, J., ASARO, F. Pottery Analysis by Neutron Activation. **Archaeometry**, Oxford, v. 11, n. 1, p. 21-52, Jun. 1969.

RICE, P. M. On the Origins of Pottery. **Journal of Archaeological and Theory**, Colorado, v. 6, n. 1, p. 1 – 54, Mar. 1999.

ROUSSEEUW, P. J., VAN ZOMEREN, B. C. Unmasking multivariate outliers and leverage points. **Journal of American Statistical Association**, New York, v. 85, n. 411, p. 633-651, 1990.

SANTOS, J.O., MUNITA, C. S., VALERIO, M. E. G., VERGNE, C., OLIVEIRA, P. M. S.. Determination of trace elements in archaeological ceramics and application of Kernel Density Estimates: Implications for the definition of production locations. **Journal Radioanalytical and Nuclear Chemistry**, Budapest, v. 269, n. 2, p. 441 – 445, Aug. 2006.

STARK, M. T. Current Issues in Ceramic Ethnoarchaeology. **Journal of Archaeological Research**, v. 11, Illinois, n. 3, p. 193 – 242, Sept. 2003.

VERGNE, M.C.S., CARVALHO, O. A., QUEIROZ, A.N. Estruturas funerárias do Sítio Justino:distribuição no espaço e no tempo. **Revista Canindé**, v. 4, p. 251 – 273, Set. 2002.

WEIGAND, P., HARBOTTLE, G., SAYRE, E.V. **Exchange Systems in Prehistory**. Earle and J.E. Ericson (eds). New York: Academic Press, 1977.