

APLICAÇÕES DA FLUORESCÊNCIA DE RAIOS X NO ESTUDO DE MATERIAIS ARQUEOLÓGICOS

RELATIONSHIPS AMONG URBAN HEAT ISLANDS, URBAN GEOMETRY AND ELECTRICAL ENERGY CONSUMPTION

Cristiane Calza
Jurema Godoy
Marcelino J. Anjos
Ricardo T. Lopes
Antonio Brancaglioni Jr.
Sheila M. F. Mendonça de Souza
Tania A. Lima
criscalza@ig.com.br

RESUMO

A Fluorescência de Raios X é uma técnica espectroscópica bastante utilizada em arqueometria para investigar a composição de pigmentos (em manuscritos, pinturas), ligas metálicas, cerâmicas, etc. É uma técnica não-destrutiva que possibilita análises qualitativas e quantitativas multielementares com uma precisão próxima a 5%. Este trabalho relata três aplicações desta técnica em arqueometria desenvolvidas no Laboratório de Instrumentação Nuclear, COPPE/UFRJ. No primeiro caso, analisou-se uma calota craniana fossilizada de Lagoa Santa utilizando-se a técnica de Fluorescência de Raios X por Dispersão em Energia (EDXRF), além de testes estatísticos a fim de comprovar sua autenticidade. No segundo caso, analisou-se a composição de pigmentos utilizados em pinturas decorativas, na cartonagem do sarcófago de uma múmia egípcia, empregando-se a técnica de Microfluorescência de Raios X (μ XRF). O último caso envolve o estudo realizado com tangas de cerâmica decorada da cultura Marajoara através de EDXRF.

ABSTRACT

X-Ray Fluorescence analysis is a widely used spectroscopic technique in archaeometry used to investigate the composition of pigments (in manuscripts/paintings), metal alloys, ceramic/other. It is a non-destructive technique which makes possible qualitative/quantitative multielemental analysis possible with a close to 5% accuracy. This work reports upon three applications of this technique in archaeometry performed at the Laboratório de Instrumentação Nuclear (Nuclear Instrumentation Laboratory), COPPE/UFRJ. In the first case, a fossilized skull cap Lagoa Santa, Minas Gerais, Brazil, was analyzed, by using the Energy Dispersive X-Ray Fluorescence technique (EDXRF) also statistical tests to prove its authenticity. In the second case, the composition of pigments used in decorative paintings, coffin covered by carton of an Egyptian mummy, using X-Ray Microfluorescence technique (μ XRF) was analyzed. The last case involves the study performed with decorated pottery pubic covers the Marajoara culture (Marajó Island, Pará, Brazil) using EDXRF.

PALAVRAS CHAVE: Fluorescência de raios x. Pigmentos. Tangas de cerâmica marajoara. Calota craniana fossilizada.

KEYWORDS: X-ray fluorescence. Fossilized skull cap. Pigments. Marajoara pottery pubic covers.

1. INTRODUÇÃO

1.1. Análise de calota craniana fossilizada

A calota craniana fossilizada nº2296 foi encontrada em 1975, entre ossos fossilizados, na coleção paleontológica de Harold Walter, proveniente de Lagoa Santa, Minas Gerais. As condições de extrema fossilização da calota sugeriam a hipótese desta pertencer a um período anterior ao dos demais restos humanos encontrados na região. Os pesquisadores do Museu Nacional que examinaram a calota, nos anos 70, propuseram que se trataria de uma falsificação.

O objetivo deste estudo foi o de utilizar a técnica de EDXRF, associada a testes estatísticos, a fim de estudar a calota craniana, buscando provas de sua autenticidade.

1.2. Análise de pigmentos em cartonagem de sarcófago de múmia egípcia

A múmia nº158 é considerada a peça mais rara da Coleção Egípcia do Museu Nacional do Rio de Janeiro, devido ao seu embalsamamento com braços e pernas enfaixados separadamente. Esse procedimento era utilizado por uma família tebana do Período Romano (séc. I), cujos túmulos foram recentemente descobertos em escavações no Egito. Foram descobertas apenas sete múmias como esta, as quais se encontram expostas em museus da Europa. A referida múmia parece ser de uma mulher bastante jovem, o que vem sendo confirmado pelos primeiros resultados de estudos tomográficos e radiográficos.

O objetivo deste estudo foi o de analisar a composição elementar dos pigmentos encontrados nas pinturas decorativas da cartonagem do sarcófago, comparando-os com um fragmento de linho do peitoral da múmia, cuja autenticidade era comprovada, de forma a estabelecer se ambos apresentavam a mesma procedência; e, ainda, o de comparar a composição obtida nos pigmentos utilizados na cartonagem com a composição dos pigmentos utilizados pelos egípcios no Período Romano.

Alguns pigmentos naturais, minerais e orgânicos são conhecidos desde a antiguidade, enquanto outros foram descobertos mais recentemente. Portanto, sendo conhecidas a cronologia e a utilização da maioria dos pigmentos, pode-se estabelecer uma data aproximada de um artefato e das partes restauradas do

mesmo, se existirem. Dessa forma, o conhecimento de sua composição permite que um pigmento seja caracterizado em seus constituintes majoritários e minoritários, tornando-se possível estabelecer a procedência, a idade e, conseqüentemente, a autenticidade do artefato.

1.3. Análise de fragmentos e tangas de cerâmica Marajoara

A cerâmica Marajoara é considerada um dos mais belos e sofisticados estilos de arte pré-colombiana, e suas técnicas decorativas exibem intrincados desenhos de formas geométricas, representando uma mitologia baseada na fauna local. Através de datações radiocarbônicas, o período de maior crescimento e expansão da cultura Marajoara pode ser situado entre os séculos V e XIV, tendo ocorrido seu desaparecimento nas primeiras décadas da dominação européia, motivado pelas doenças, guerras e missões. Entretanto, devido à utilização da cerâmica nos rituais funerários, a arte Marajoara sobreviveu até os dias atuais. As tangas são peças cerâmicas triangulares e côncavas, decoradas com motivos geométricos, possuindo formato anatômico, com orifícios nas extremidades para ajuste da peça ao corpo, por meio de cordões. Provavelmente, eram usadas pelas meninas durante os rituais de puberdade (SCHAAN, 1996).

O objetivo deste estudo foi o de analisar a composição elementar de alguns fragmentos e tangas de cerâmica Marajoara, pertencentes ao acervo do Museu Nacional e, ainda, verificar se um fragmento de tanga (amostra 22245), que apresentava diferentes padrões geométricos, possuía a mesma procedência das demais amostras.

Estudos de procedência de cerâmicas antigas baseiam-se na suposição de que objetos cerâmicos produzidos a partir de uma argila específica irão apresentar uma composição química similar, o que possibilitará diferenciá-los de objetos produzidos a partir de uma argila distinta. Em termos químicos, as argilas contêm elementos em diferentes proporções, sendo originadas a partir de diversos tipos de rochas (ígneas, vulcânicas ou metamórficas), gerando, portanto, diferentes composições químicas. Desta forma, pode-se associar uma cerâmica a um grupo de produção particular, que, por sua vez, está associado a uma determinada região. Os componentes de interesse no estudo da composição das cerâmicas, chamados “caracterizantes”, são utilizados para identificar o material, assim como para estabelecer sua procedência mais provável (TSOLAKIDOU, 2002; BARONE, 2003; HEIN, 2004).

2. PARTE EXPERIMENTAL

Na análise da calota craniana (figura 1), empregou-se o mesmo sistema de EDXRF utilizado para as tangas de cerâmica Marajoara, tendo como única diferença o anodo do minitubo de raios X que, nesse caso, era de tungstênio (W). Antes de iniciar-se a análise por Fluorescência de Raios X, a calota foi radiografada, revelando a presença de fraturas indicando possíveis áreas onde teria ocorrido restauração. Optou-se, ainda, por dividir a calota em sete partes com o intuito de facilitar as análises. Os resultados obtidos foram submetidos a testes estatísticos de correlação e de Tukey.



FIGURA 1 – Calota craniana vista de frente.

Na análise de pigmentos em cartonagem do sarcófago da múmia egípcia nº158 do Museu Nacional, foram utilizadas amostras de fragmentos de cartonagem (figura 2) e uma amostra de fragmento de linho do peitoral da múmia (figura 3). Utilizou-se a técnica de Microfluorescência de Raios X (mXRF) e as análises foram realizadas na linha de XRF do Laboratório Nacional de Luz Síncrotron (LNLS), - projeto XRF 2369 - utilizando feixe branco e um detector de Si (Li), com resolução de 165 eV. As amostras de cartonagem e o fragmento de linho foram colocados num suporte de acrílico e movimentados através do feixe por meio de um sistema motorizado (nas direções XYZ), de forma que regiões específicas na superfície de cada amostra fossem irradiadas. Em cada região selecionada foi adquirido um espectro de EDXRF com tempo de contagem de 100 segundos. Todos os resultados obtidos, nos três estudos aqui apresentados, foram analisados com auxílio do *software* QXAS-AXIL, da Agência Internacional de Energia Atômica (IAEA). Além disso,

foram realizados testes de correlação de forma para verificar se as amostras apresentavam a mesma procedência.

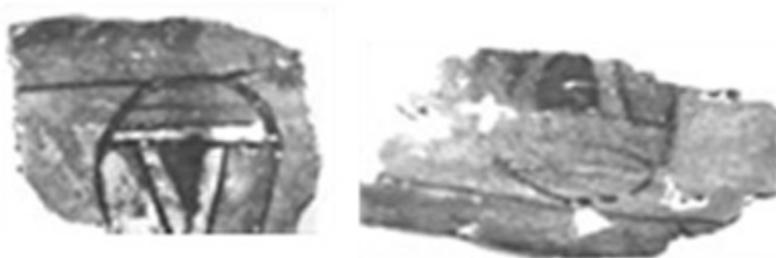


FIGURA 2 – Fragmentos de cartonagem do sarcófago, amostras A e B.



FIGURA 3 – Fragmento de linho do peitoral da múmia, amostra E.

Na análise das tangas de cerâmica Marajoara foram utilizadas duas amostras de tangas (amostras 9154 e 9158) e quatro fragmentos (amostras 22236, 22245, 22284 e 22286) pertencentes ao acervo do Museu Nacional, conforme observado nas figuras 4 e 5. As amostras foram analisadas através da técnica de Fluorescência de Raios X por Dispersão em Energia (EDXRF) no Laboratório de Instrumentação Nuclear. O sistema utilizado consiste em um detector semiconductor de Si (Li) da ORTEC, com resolução de 180 eV, para detectar a radiação fluorescente, e um minitubo de raios X com anodo de Mo, operando em 35kV e 600 mA. O ângulo do feixe de raios X incidente é de 16° e o detector é posicionado a um ângulo de 90° em relação à superfície da amostra. As amostras foram colocadas num suporte e dez diferentes regiões de cada uma foram irradiadas durante 1.000 segundos, gerando um espectro de EDXRF para cada uma dessas regiões. As concentrações elementares foram calculadas utilizando-se um *software* desenvolvido pelo Laboratório de Instrumentação Nuclear. Para avaliar a acurácia do sistema e os resultados obtidos para as concentrações, preparou-se uma amostra de argila de espessura e composição similares àquelas das tangas, contendo elementos (Bi, Ni, Mn e Pb) em concentrações conhecidas, que foi irradiada nas mesmas condições experimentais das amostras.



FIGURA 4 - Tangas de cerâmica Marajoara, amostras 9154 e 9158.

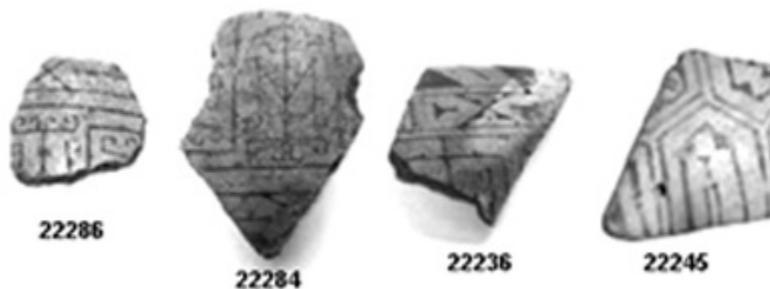


FIGURA 5 - Fragmentos de tangas, amostras 22286, 22284, 22236 e 22245.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Análise da calota craniana fossilizada

Os espectros de EDXRF obtidos para cada uma das partes da calota craniana foram bastante similares, apresentando os mesmos elementos. Os elementos majoritários foram: Ca, Fe e Sr; os minoritários foram: Mn, Zn e Pb; e os elementos encontrados em níveis de traços foram: S, K, Ti, Cu, Br, Rb e Zr. Foram aplicados testes de correlação e de Tukey aos resultados obtidos, observando-se uma fraca correlação entre as partes supraorbitais, a glabella e as demais partes da calota. Além das marcas de fratura nas bordas da calota, observadas no exame radiográfico prévio, diferenças na razão Ca/Sr (tabela 1) entre as partes da calota reforçaram a hipótese de uma montagem com peças de origens diversas.

TABELA 1

Razão Ca/Sr entre as partes da calota, rocha e ossos provenientes do mesmo sítio arqueológico

	parte1	parte2	parte3	parte4	parte5a	parte5b	parte5c	parte6	parte7	rocha	905	895	818b
Ca/Sr	1,67	1,87	1,46	1,31	0,61	0,64	0,59	1,24	1,24	3,38	1,62	1,43	1,62

Concluiu-se, portanto, que a calota foi montada com fragmentos de fósseis colados (provavelmente ossos de animais), mascarados por uma crosta ou massa simulando grãos de areia cimentados por sais de cálcio. Na figura 6 pode ser observado um espectro de EDXRF da calota.

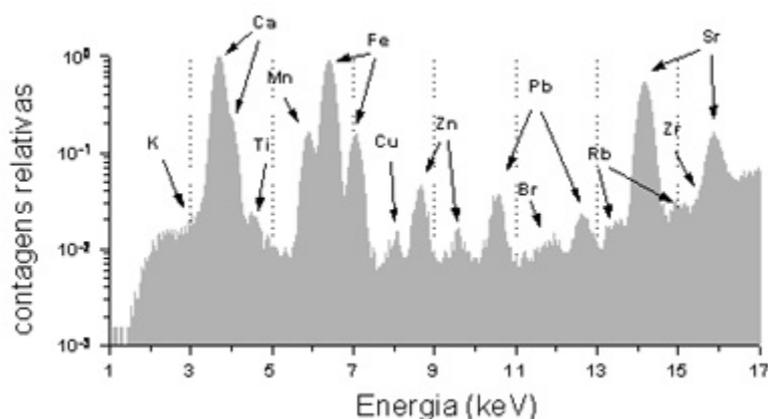


FIGURA 6 – Espectro de EDXRF da calota craniana fossilizada.

3.2. Análise dos pigmentos da cartonagem do sarcófago da múmia egípcia

Os elementos encontrados nas amostras de cartonagem e linho foram: Si, S, Cl, K, Ca, Ti, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, As, Sr, Hg e Pb. A partir da análise por XRF foram estabelecidos os possíveis pigmentos para cada cor e amostra estudadas, baseando-se nos elementos que apresentaram maiores concentrações em cada caso. Na tabela 2 são mostrados os elementos que apresentaram as maiores concentrações, os possíveis pigmentos e suas respectivas fórmulas químicas. Testes de correlação, realizados para os resultados obtidos, confirmaram que todas as amostras analisadas, à exceção da amostra F (que não pertencia à cartonagem), possuíam a mesma procedência do fragmento de linho do peitoral da múmia.

TABELA 2

Amostras analisadas, elementos que apresentaram maiores concentrações, possíveis pigmentos e respectivas fórmulas químicas.

Amostra	Cor	Elementos	Possíveis pigmentos	Fórmula química
A	rosa	Fe, Ca, As	vermelho ocre realgar	$\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ + clay + sílica. As_4S_4
	verde escuro	Ca, Cu, K, Fe	terra verde verdigris malaquita	$\text{K}[(\text{Al}^{\text{III}}, \text{Fe}^{\text{III}})(\text{Fe}^{\text{II}}, \text{Mg}^{\text{II}})]$, $(\text{AlSi}_3, \text{Si}_4)\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ $\text{Cu}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{Cu}(\text{OH})_2$ $\text{CuCO}_3\text{Cu}(\text{OH})_2$
	branco	Ca	giz gesso branco de osso	CaCO_3 $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$
	negro	Ca	negro de marfim	$\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ + C + MgSO_4
B	rosa	Fe, Ca, As	vermelho ocre realgar	$\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ + argila + sílica. As_4S_4
	verde escuro	Ca, Cu, K, Fe	terra verde verdigris malaquita	$\text{K}[(\text{Al}^{\text{III}}, \text{Fe}^{\text{III}})(\text{Fe}^{\text{II}}, \text{Mg}^{\text{II}})]$, $(\text{AlSi}_3, \text{Si}_4)\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ $\text{Cu}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{Cu}(\text{OH})_2$ $\text{CuCO}_3\text{Cu}(\text{OH})_2$
	branco	Ca	giz gesso branco de osso	CaCO_3 $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$
	negro	Ca	negro de marfim	$\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ + C + MgSO_4
C	verde escuro	Ca, Cu, K, Fe	terra verde verdigris malaquita	$\text{K}[(\text{Al}^{\text{III}}, \text{Fe}^{\text{III}})(\text{Fe}^{\text{II}}, \text{Mg}^{\text{II}})]$, $(\text{AlSi}_3, \text{Si}_4)\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ $\text{Cu}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{Cu}(\text{OH})_2$ $\text{CuCO}_3\text{Cu}(\text{OH})_2$
D	vermelho	Fe, Ca	vermelho ocre	$\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ + argila + sílica.
E	rosa	Fe, Ca, As	vermelho ocre realgar	$\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ + argila + sílica. As_4S_4
	marrom	Fe, Ca	ocre negro de marfim	$\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ + argila + sílica $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ + C + MgSO_4 Fe_3O_4
H	turquesa	Cu, Fe, Ca, K	azul egípcio verde egípcio terra verde	$\text{K}[(\text{Al}^{\text{III}}, \text{Fe}^{\text{III}})(\text{Fe}^{\text{II}}, \text{Mg}^{\text{II}})]$, $(\text{AlSi}_3, \text{Si}_4)\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ $\text{Cu}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{Cu}(\text{OH})_2$ $\text{CuCO}_3\text{Cu}(\text{OH})_2$
I	vermelho	Fe, Ca	vermelho ocre	$\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ + argila + sílica

3.2.1. Pigmento vermelho

Os pigmentos vermelhos mais utilizados no Egito compreendiam dois tipos principais: óxido de ferro vermelho (hematita) e vermelho ocre (óxido de ferro hidratado, talvez goethita parcialmente desidratada), embora vermelho de chumbo (minium) e sulfeto de arsênio vermelho (realgar) também fossem utilizados (UDA, 1993). Óxidos de ferro ocorrem naturalmente no Egito de forma que, tanto o óxido anídrico quanto o hidratado, podiam ser utilizados como pigmentos vermelhos sem a necessidade de nenhum tipo de tratamento por calor. Nos pigmentos vermelhos das amostras de cartagem D e I, os elementos majoritários foram: Fe e Ca. Este resultado indica o pigmento vermelho ocre. O uso de vermelho ocre entre os egípcios tem sido relatado por diversos autores (MAZZOCHIN, 2003a; UDA, 2002; DAVID, 2001; OLSSON, 2001; EDWARDS, 2004).

3.2.2. Pigmento rosa

Nos pigmentos rosa das amostras A, B (fragmentos de cartagem) e E (fragmento de linho), os elementos que apresentaram maiores concentrações foram: Fe, Ca e As. As possibilidades, neste caso, são realgar (sulfeto de arsênio) e vermelho ocre (óxido de ferro). Este resultado sugere uma mistura de pigmentos vermelhos e brancos (gesso ou giz), assim como descrito por Uda *et al* (1993), Mazzochin *et al* (2003a) e Edwards *et al* (2004).

3.2.3. Pigmento verde-escuro

Nos pigmentos verde-escuros das amostras A, B e C, os elementos Ca, Cu, K e Fe apresentaram as maiores concentrações. A presença de Fe e K sugerem a possibilidade de terra verde (uma mistura de celadonita e glauconita), e a presença de Cu pode indicar os pigmentos verdigris ou malaquita. Neste caso, existem três possibilidades de pigmentos, uma vez que a Fluorescência de Raios X não é capaz de determinar a composição química da amostra analisada, mas apenas a concentração elementar. Para identificar com precisão este pigmento seria necessário utilizar-se uma técnica investigativa adicional, como a Difração de Raios X. A utilização de malaquita e verdigris em pigmentos verdes, no Antigo Egito, foi descrita por David *et al* (2001) e Olsson *et al* (2001), respectivamente.

3.2.4. Pigmento turquesa

Por volta de 3.000 a.C., os egípcios criaram o primeiro pigmento sintético produzido pelo homem – o azul egípcio ($\text{CaCuSi}_4\text{O}_{10}$). Este pigmento foi largamente utilizado durante a Antiguidade e seu uso difundiu-se por todo o Mediterrâneo, desaparecendo após o século VII (MIRTI, 1995; UDA, 2002; PAGÈS-CAMAGNA, 2003; MAZZOCHIN, 2004). Pouco depois do azul egípcio, foi criado o verde egípcio, de composição semelhante, apresentando uma coloração turquesa, bastante utilizado em decorações de folhagens, e que por muito tempo foi confundido com o azul egípcio. Atualmente, sabe-se que o verde egípcio é caracterizado pela presença de parawollastonita (CuSiO_3) e sílica residual (PAGÈS-CAMAGNA, 2003). No pigmento turquesa da amostra H, os elementos que apresentaram as maiores concentrações foram: Cu, Fe, Ca e K. A presença de Cu e Ca sugere a possibilidade de azul ou verde egípcio. Por outro lado, a presença de Fe e K sugere o pigmento terra verde. Em muitos casos, pequenas quantidades de azul egípcio eram adicionadas para aumentar o brilho de outras cores; a mistura de azul egípcio com pigmentos verdes (celadonita e glauconita) foi relatada por Mazzochin *et al* (2003a e 2003b).

3.2.5. Pigmento negro

Nos pigmentos negros das amostras A e B, o elemento majoritário foi o cálcio. Tal resultado sugere a possibilidade de negro de marfim (fosfato de cálcio). No pigmento negro da amostra F, os elementos encontrados em maiores concentrações foram: Fe, Ca e, ainda, Pb, em níveis menores. Nesse caso, as possibilidades são: negro de marfim, galena (sulfeto de chumbo), e magnetita (óxido de ferro). Aplicando-se testes de correlação, verificou-se que a amostra F não apresentava a mesma procedência da cartonagem e do fragmento de linho.

3.2.6. Pigmento marrom

No pigmento marrom do fragmento de linho (amostra E), os elementos que apresentaram maiores concentrações foram: Ca e Fe. As possibilidades envolvem pigmentos negros (como negro de marfim ou magnetita) e pigmentos vermelhos (como vermelho ocre). Nesse caso, o pigmento marrom seria obtido através da mistura dos pigmentos vermelho e negro. Outra possibilidade seria o pigmento marrom ocre (óxido de ferro).

3.2.7. Pigmento branco

No pigmento branco das amostras A e B, o elemento majoritário foi o cálcio, e os possíveis pigmentos, neste caso, são: giz (carbonato de cálcio), gesso (sulfato de cálcio) ou branco de osso (fosfato de cálcio). Sabe-se que o carbonato de cálcio, sulfato de cálcio e argila calcífera eram utilizados no Antigo Egito para a obtenção de pigmentos brancos. Existem relatos de carbonato de cálcio utilizado como pigmento em cerâmicas romanas (MAZZOCHIN, 2003b).

3.3. Análise da composição das tangas de cerâmica Marajoara

Os elementos identificados nos fragmentos e tangas de cerâmica Marajoara foram: S, Cl, K, Ca, Ti, Mn, Fe, Cu, Zn, Ga, Rb, Sr, Y, Zr e Pb. As maiores concentrações obtidas foram dos seguintes elementos: K, Ca, Fe e Ti. Esperava-se encontrar altas concentrações de Al e Si, porque a argila é um aluminossilicato; entretanto, estes elementos apresentam baixo número atômico estando abaixo dos limites de detecção do sistema. Um estudo de fragmentos de cerâmica de populações indígenas pertencentes à tradição Tupi-Guarani, através de EDXRF, revelou a presença de: Al, Si, K, Ca, Ti, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Rb, Sr, Y e Zr (APPOLONI, 2001).

A amostra 22245 (figura 5), um fragmento de tanga, exibia diferentes padrões geométricos, o que poderia sugerir uma procedência distinta em relação às demais amostras. Entretanto, a análise dos resultados revelou que este fragmento era composto pelos mesmos elementos em concentrações similares às outras amostras. Testes de correlação confirmaram a hipótese formulada a partir das análises qualitativa e quantitativa; devido à forte correlação observada entre todas as amostras, incluindo o fragmento 22245, pôde-se concluir que todas as amostras analisadas apresentavam a mesma procedência. As figuras 7 e 8 mostram espectros das amostras 22245 e 9154, que, como pode ser observado, são bastante similares.

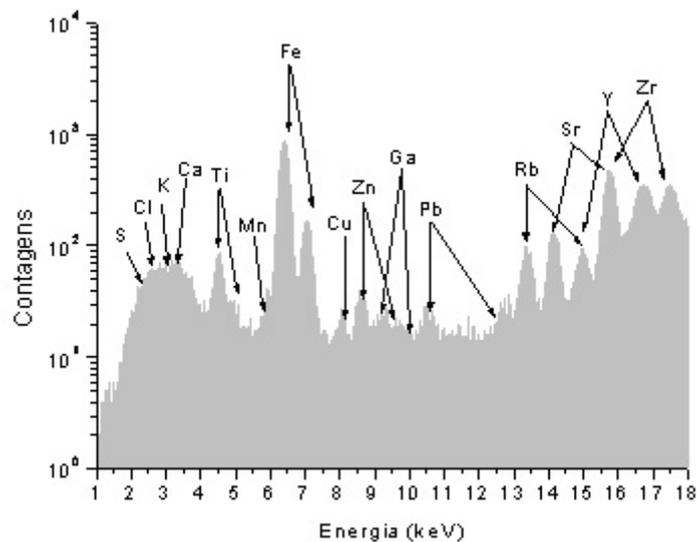


FIGURA 7 – Espectro de EDXRF da amostra 22245.

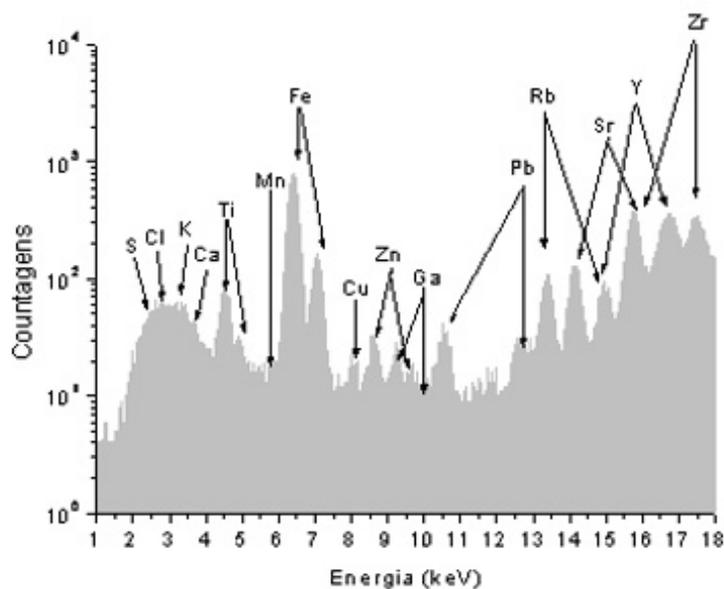


FIGURA 8 – Espectro de EDXRF da amostra 9154.

Entretanto, uma dificuldade apresentada na interpretação de resultados é o fato da técnica de Fluorescência de Raios X não ser capaz de determinar a composição química dos materiais analisados, apenas podendo determinar sua composição elementar. Na composição da cerâmica encontram-se presentes vários óxidos como: CaO , K_2O , SiO_2 , Al_2O_3 , TiO_2 , Fe_2O_3 , etc. Através da XRF saberemos apenas que os elementos Ca, K, Si, Ti, Fe, etc encontram-se presentes na amostra, podendo-se apenas supor, e não afirmar, de que maneira eles se ligam para formar

compostos. Sugere-se, assim, a utilização de uma técnica investigativa adicional, como a Difração de Raios X, por exemplo.

4. CONCLUSÕES

Os três casos abordados neste trabalho demonstram a versatilidade e a praticidade da técnica de Fluorescência de Raios X em arqueometria, além de enfatizar seu caráter não-destrutivo, o que é bastante importante quando se trabalha com objetos de valor histórico e/ou artístico.

Na análise dos fragmentos de cartonagem do sarcófago da múmia egípcia, foi demonstrado que a cartonagem exibia a mesma procedência do fragmento de linho do peitoral da múmia. Além disso, apesar de ter sido obtida apenas uma composição elementar das amostras, os possíveis pigmentos utilizados em cada cor encontram-se de acordo com aqueles que eram utilizados pelos egípcios durante a época em questão, corroborando a hipótese de que a cartonagem do sarcófago pertence realmente ao período romano. Portanto, ainda que a Fluorescência de Raios X não seja capaz de fornecer a composição química de um material, mas somente a composição elementar, neste caso específico, a técnica mostrou-se adequada aos objetivos principais dos estudos.

Na análise das tangas de cerâmica Marajoara corroborou-se a hipótese de que todos os fragmentos e tangas apresentavam a mesma procedência, apesar da existência de um fragmento com padrões geométricos distintos em relação aos demais. Uma próxima etapa, a ser realizada em breve, será a utilização de uma técnica investigativa complementar (Difração de Raios X), a fim de se avaliar a composição química das tangas.

Na análise da calota craniana fossilizada, ficou comprovada a hipótese de falsificação anteriormente levantada pelos pesquisadores do Museu Nacional. Os resultados do exame radiográfico, da Fluorescência de Raios X e dos testes estatísticos revelaram que a calota foi montada com fragmentos de fósseis colados, mascarados por uma crosta ou massa simulando grãos de areia cimentados por sais de cálcio.

AGRADECIMENTOS

Ao Laboratório Nacional de Luz Síncrotron (LNLS), projeto XRF 2369.

REFERÊNCIAS

AL-KOFAHI, M. M.; AL-TARAWNEH, K. F. *X-Ray Spectrometry*, v.29, p. 39-47, 2000.

APPOLONI, C. R.; ESPINOZA QUIÑONES, F. R.; ARAGÃO, P. H. A. *et al. Radiation Physics and Chemistry*, v. 61, p.711-712, 2001.

BARONE, G.; CRUPI, V.; GALLI, S. *et al. Journal of Molecular Structure*, v. 651-653, p. 449-458, 2003.

DAVID, A. R.; EDWARDS, H. G. M.; FARWELL, D. W. *et al. Archaeometry*, v. 43, n. 4, p. 461-473, 2001.

EDWARDS, H. G. M.; VILLAR, S. J.; DAVID, A. R.; *et al. Analytica Chimica Acta*, v. 503, p. 223-233, 2004.

HEIN, A.; DAY, P. M.; CAU ONTIVEROS, M. A. *et al. Applied Clay Science*, v. 24, p. 245-255, 2004.

MAZZOCHIN, G. A.; AGNOLI, F.; MAZZOCHIN, S. *et al. Talanta*, v. 61, p. 565-572, 2003a.

MAZZOCHIN, G. A.; AGNOLI, F.; COLPO, I. *Analytica Chimica Acta*, v. 478, p. 147-161, 2003b.

MAZZOCHIN, G. A.; RUDELLO, D.; BRAGATO, C. *et al. Journal of Cultural Heritage*, v. 5, p. 129-133, 2004.

MIRTI, P.; APPOLONIA, L.; CASOLI, A. *et al. Spectrochimica Acta Part A*, v. 51, n.3, p. 437-446, 1995.

MIRTI, P. *X-Ray Spectrometry*, v.29, p. 63-72, 2000.

OLSSON, A. M. B.; CALLIGARO, T.; COLINART, S. *et al. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B*, v. 181, p. 707-714, 2001.

PAGÈS-CAMAGNA, S.; COLINART, S. *Archaeometry*, v. 45, n. 4, p. 637-646, 2003.

SCHAAN, D. P. *A linguagem iconográfica da cerâmica Marajoara*. 1996. 232 f. Dissertação (Mestrado em História) – Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1996.

TSOLAKIDOU, A.; BUXEDA GARRIGÓS, J.; KILIKOGLU, V. *Analytica Chimica Acta*, v. 474, p. 177-188, 2002.

UDA, M.; TSUNOKAMI, T.; MURAI, R. *et al. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B*, v. 75, p. 476-479, 1993.

UDA, M.; NAKAMURA, M.; YOSHIMURA, S. *et al. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B*, v. 189, p. 382-386, 2002.