

O uso de técnicas físico-químicas de análise como suporte na conservação, catalogação e investigação forense de acervos museológicos

182

The use of physicochemical techniques to support the conservation, cataloging and forensic investigation of museum collections

Renato Pereira de Freitas¹

DOI 10.26512/museologia.v10i19.36104

Resumo

Nas últimas duas décadas, o uso de técnicas físico-químicas de análise na investigação de acervos museológicos teve um grande aumento no Brasil. Esse aumento, ocorreu devido ao interesse de profissionais ligados a museus em utilizar essas ferramentas e também devido a avanços tecnológicos. Entretanto, ainda existem muitos desafios para sistematizar o uso dessas tecnologias, como uma ferramenta de suporte na rotina diária de trabalho de profissionais que atuam em museus. Neste manuscrito serão abordados os benefícios dessas tecnologias como ferramenta suporte na conservação, catalogação e investigação forense de acervos museológicos. Além de atualizar o leitor, sobre alguns aspectos inerentes da análise físico-químicas de artefatos museológicos, serão apresentadas perspectivas de ações, que podem auxiliar na difusão do uso sistemático dessas investigações. Sendo uma das ações sinalizadas, a criação de uma base de dados, para alocar o resultado das investigações realizadas em acervos de museus brasileiros.

Palavras-chaves

Análises físico-química. Catalogação. Conservação. Investigação forense. Base de dados.

Abstract

In last two decades, the use of physicochemical techniques in the investigation of museum collections has had a great increase in Brazil. This increase was due to the interest of professionals associates the museums to using these tools and due to technological advances. However, there are still many challenges to systematize the use of these technologies, as a support tool in the work routine of museums professionals. In this manuscript, the benefits of use these technologies will be approach as support tool in the conservation, cataloging and forensic investigation of museum collections. In addition to updating the reader, on some inherent aspects of the physicochemical analysis of museum artifacts, perspectives of actions will be presented, which can helped in the dissemination of the systematic use of these investigations. Being one of the proposals, the creation of a database, to allocate the result of investigations carried out in collections of Brazilian museums.

Keywords

Physicochemical analysis. Cataloging. Conservation. Forensic investigation. Database.

¹ Professor associado de Física do Instituto Federal do Rio de Janeiro (IFRJ), LISCOMP laboratório, 26600-000, Paracambi, Brasil. Coordenador do laboratório móvel do IFRJ de análise de artefatos do patrimônio histórico-cultural. homepage: <https://liscomp.github.io/laboratorio-movel>; e-mail: renato.freitas@ifrj.edu.br; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6011-0920>.

Introdução

O uso de técnicas físico-químicas de análise na investigação de artefatos do patrimônio histórico-cultural, teve um aumento expressivo na última década no Brasil. Sendo tal fato constatado pelo surgimento de eventos e associações² brasileiras, que se dedicam a debater a respeito desta temática (PUGLIERI; DE FARIA; BORGES, 2018). E também pelo expressivo número de publicações em periódicos de pesquisadores brasileiros, abordando investigação por técnicas físico-químicas de análise de artefatos do patrimônio histórico-cultural (FARIA; PUGLIERI; SOUZA, 2013; FREITAS et al., 2019; GALANTE et al., 2018; PUGLIERI et al., 2019; RIZZUTTO; LEE; THOMAS, 2019; RODRIGUEZ et al., 2020; SANCHES et al., 2020). Esse campo de pesquisa, que é conhecido como arqueometria, tem como principal característica sua multidisciplinaridade e interdisciplinaridade, cuja operação necessita da interação de profissionais de diferentes campos do conhecimento, como museologia, conservação, arqueologia, física, química, engenharia, etc. (FREITAS, 2014, p. 1).

Através da multidisciplinaridade, inerente da arqueometria, torna-se possível extrair diferentes tipos de informações acerca de um determinado artefato do patrimônio histórico-cultural. Essas informações, quando interpretadas de forma conjunta e corretamente entre os profissionais das diferentes áreas do conhecimento, levam a uma grande compreensão do artefato investigado. Sendo tais informações úteis, por exemplo, no processo de catalogação, conservação e verificação de autenticidade dos artefatos investigados.

No caso especificamente das análises por técnicas físico-químicas, são obtidas informações da matriz química do artefato. Essas informações associadas a dados históricos, permitem, por exemplo, mapear similaridades e diferenças de artefatos de uma mesma tipologia (CALZA et al., 2013; FREITAS, 2009). Através dos dados da composição química, também é possível verificar quais são as melhores condições ambientais (temperatura, umidade, luminosidade, etc.) para a exposição de um dado artefato, sem causar dano a sua materialidade (MONICO et al., 2020). Além disso, os dados da composição química permitem, diferenciar a matéria-prima original do artefato com as provenientes de restauro, ou até mesmo, casos de falsificações (CALZA et al., 2015; PEREIRA et al., 2021).

A evolução da arqueometria como ciência tornou-se possível através de dois principais aspectos. Primeiro através do interesse de profissionais ligados ao patrimônio histórico-cultural, como museólogos, conservadores e arqueólogos, buscarem introduzir as técnicas físico-químicas de análise como ferramenta suporte em suas rotinas de trabalho. Segundo, através do desenvolvimento tecnológico ocorrido nas últimas décadas, que permitiu o desenvolvimento de equipamentos de análise físico-química portáteis, que realizam análises *in situ* e de forma não destrutiva do artefato (Figura 1). Sendo esses quesitos importantes para as técnicas de análise empregadas na investigação de artefatos do patrimônio histórico-cultural.

2 Entre as associações brasileiras, que se dedicam a esta temática pode-se destacar a Associação Nacional de Pesquisa em Tecnologia e Ciência do Patrimônio (ANTECIPA). Já em termos de eventos pode-se destacar a Escola de Arqueometria, trata-se de um evento bienal, realizada pela comunidade de pesquisadores brasileiros, que trabalham com arqueometria.

O uso de técnicas físico-químicas de análise como suporte na conservação, catalogação e investigação forense de acervos museológicos

Figura 1: Exemplo de análise por técnica físico-química, em obras de arte³, realizada com um instrumento portátil de Fluorescência de Raios X.



Fonte: autor

Apesar dos grandes avanços que a arqueometria teve no Brasil, especialmente na última década, ainda existem muitos desafios para sistematizar o uso das técnicas físico-químicas, como uma ferramenta suporte na rotina diária de trabalho de profissionais que atuam em museus. Entre esses desafios, podemos destacar a dificuldade de operação dos instrumentos de análise e interpretação dos resultados adquiridos. Entretanto, essas dificuldades vêm sendo superadas com as evoluções tecnológicas. Outra dificuldade, que podemos pontuar, são os custos de aquisição e manutenção dos instrumentos. Sendo uma estratégia para sanar essas questões, o uso de infraestruturas de equipamentos compartilhadas pelos museus.

Este artigo tem como principal objetivo apresentar a utilidade e viabilidade do uso sistemático, de análises por técnicas físico-químicas de acervos museológicos brasileiros. Inicialmente faremos uma revisão sobre a evolução tecnológica dos principais instrumentos de análise utilizados na arqueometria, e como isto facilitou a operação e interpretação dos resultados adquiridos. Em seguida, serão apresentados alguns casos de estudo baseados, na experiência do autor, como o uso de técnicas físico-químicas podem contribuir na resolução de problema de catalogação, conservação e investigação forense dos acervos museológicos. E por fim será realizada uma discussão de quais ações podem ser implementadas para auxiliar a viabilidade e maior difusão do uso de técnicas físico-químicas, como ferramenta suporte na rotina de trabalho diário de profissionais dos museus brasileiros.

Instrumentos de análises físico-químicas empregados em acervos museológicos

Uma problemática inerente à investigação por técnicas físico-química de acervos museológicos é que a maioria dos artefatos é de amostras únicas, que agregam alto valor histórico-cultural e muitas vezes também monetário.

³ Foram analisadas as telas ovais do pintor Leandro Joaquim datadas no século XVIII e que fazem parte do acervo do Museu Histórico Nacional, Rio de Janeiro.

Logo para zelar pela integridade dos acervos, deve-se evitar a retirada desses artefatos dos museus, ou até mesmo extrair microamostras de sua materialidade, para análises em laboratório. Devido a essas peculiaridades, os exames devem ser realizados por instrumentos portáteis permitindo, assim que as análises aconteçam onde os artefatos se encontram. Ressalta-se, que neste caso os equipamentos de análise saem do laboratório e vão até o museu, não necessitando a retirada de peças dos acervos dos museus para as investigações. Outro quesito fundamental para as técnicas físico-químicas que operam na investigação de acervos museológicos é que as mesmas devem possibilitar realizar análises, preferencialmente, de forma não destrutiva, ou seja, que não causem nenhum dano a materialidade do artefato investigado.

Atualmente, diferentes técnicas físico-químicas possuem versões portáteis de instrumentos que permitem realizar análises não destrutivas. O uso desse tipo de instrumentação na investigação de acervos museológicos tem sido explorado com bastante êxito na Europa, sendo um dos exemplos de maior sucesso o grupo italiano MOLAB⁴ (*Mobile Laboratory*). Dentre as técnicas empregadas, a Fluorescência de Raios X (XRF) e a Espectroscopia no Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR), possuem grande destaque devido à facilidade de aplicação e interpretação dos dados (MILIANI et al., 2010).

No caso da XRF trata-se de uma técnica físico-química de análise que permite obter dados acurados da composição elementar do artefato analisado. Outra característica da técnica é sua aplicabilidade e versatilidade na investigação de artefatos de diferentes tipologias (cerâmicos, telas, vítreos, metais, etc.). Além disso, a XRF vem passando por constante evolução, sendo, no início dos anos 2000, os sistemas portáteis de XRF normalmente desenvolvidos em laboratórios de pesquisa (Figura 2a), por isso sua interface de uso tinha maior complexidade, restringindo sua aplicação a especialistas (APPOLONI; PARREIRA, 2007; CALZA, 2007). A partir dos avanços tecnológicos, ocorridos na última década, surgiram diferentes sistemas portáteis de XRF (Figura 2b), comercializados por empresas, cujo desenvolvimento foca em atender demandas de análises de acervos museológicos. Esses instrumentos comerciais possuem como vantagens interfaces de hardware e software mais simples, permitindo assim que o instrumento possa ser utilizado, após um período de treinamento, por uma comunidade mais ampla, além de profissionais das ciências exatas. Destaca-se, ainda, que uma recente variante da XRF é a técnica de macro mapeamento elementar por XRF (MA-XRF⁵), que atualmente possui sistemas portáteis (Figura 2c), possibilitando obter imagens da distribuição elementar na superfície do artefato investigado (ALFELD; DE VIGUERIE, 2017).

4 O MOLAB é um grupo Europeu, financiado por projetos da União Europeia. O grupo possui uma ampla instrumentação portátil de diferentes técnicas físico-químicas e profissionais qualificados para atuar na investigação de acervos museológicos. Os equipamentos e recursos humanos do grupo podem ser solicitados por qualquer museu da União Europeia. Assim que o museu solicita toda instrumentação é trasladada até o museu. homepage: <http://www.iperionch.eu/molab/>.

O autor deste artigo realizou estágio pós-doutoral no MOLAB. (vide reportagem do estágio)

5 A técnica de MA-XRF atualmente possui um grande destaque, sendo empregada especificamente na investigação de telas, as imagens obtidas são importantes, especialmente na investigação de pigmentos aplicados logo abaixo da camada de pintura visível de uma obra, revelando, assim, informações ocultas, como modificações feitas pelo próprio artista, sobreposição de pigmentos e restaurações na superfície. Desta forma, os resultados obtidos pelas imagens, que remetem a distribuição dos pigmentos na camada pictórica, fornecem uma perspectiva única sobre o processo criativo do artista e a história da conservação/restauração da pintura investigada (ALFELD et al., 2013; LEGRAND et al., 2014).

Para conhecer mais sobre a técnica vide link: <https://www.youtube.com/watch?v=EioFqWDH6s>

O uso de técnicas físico-químicas de análise como suporte na conservação, catalogação e investigação forense de acervos museológicos

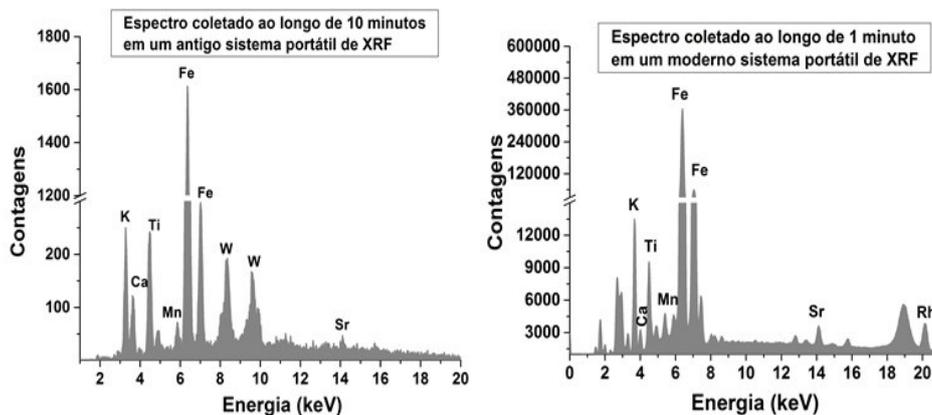
Figura 2. Diferentes sistemas portáteis de XRF; desenvolvidos em laboratório (a); recente sistema comercial (b); sistema portátil de MA-XRF (c).



Fonte: autor

Além de facilitar a operação e a aplicação, as inovações tecnológicas, também ampliaram muito a sensibilidade dos sistemas portáteis de XRF, permitindo fazer a detecção da matriz elementar, rapidamente, do artefato investigado. Os atuais sistemas também permitem detectar de forma mais acurada os elementos de baixa concentração presentes na matriz dos artefatos. Estes avanços são exemplificados na Figura 3, comparando dados de XRF coletados em artefatos cerâmicos arqueológicos, em um sistema antigo e um recente. Além da maior contagem em curto intervalo de tempo, os dados coletados, no sistema recente, permitem visualizar com maior precisão o elemento estrôncio (Sr). Ressalta-se que os avanços tecnológicos também facilitaram a interpretação dos dados de XRF obtidos ao longo do experimento. Há hoje disponíveis softwares de análise de dados de XRF que possuem rotinas de auto identificação dos elementos presentes nos espectros.

Figura 3. Dados de XRF⁶ coletados em artefatos cerâmicos arqueológicos, em sistemas antigo e recente de XRF. K (potássio), Ca (cálcio), Ti (titânio), Mn (manganês), Fe (ferro), Sr (estrôncio). O sistema antigo é o visto na Figura 2a, enquanto o recente é o visto na Figura 2b.



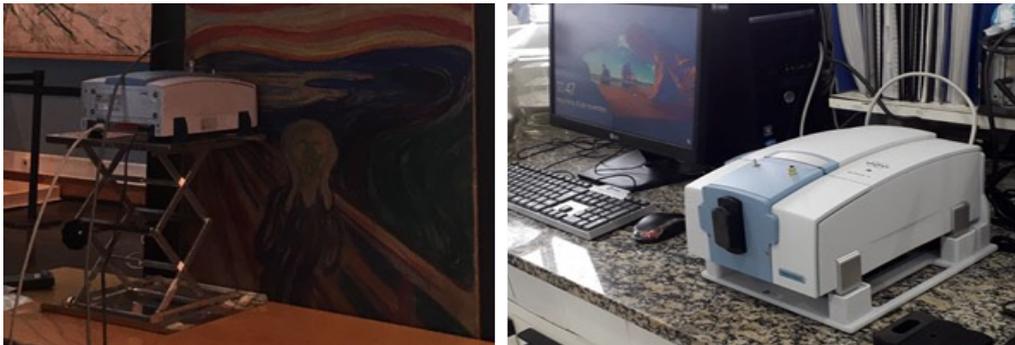
Fonte: autor

Seguindo a tendência de evolução da XRF, a técnica de FTIR também passou por grandes avanços na última década, tendo atualmente disponíveis sistemas portáteis de FTIR (Figura 4) que realizam análises *in situ* e de forma não destrutiva (FRANCESCA ROSI, LAURA CARTECHINI, 2020). Os recentes

6 Na figura 3 são conhecidos como os espectros de XRF os dados produzidos ao longo do experimento. Os elementos W (tungstênio) e Rh (ródio) não fazem parte da matriz elementar dos artefatos, mas sim são provenientes de componentes presente nos sistemas de XRF.

sistemas de FTIR, além de fácil operação, permitem realizar aquisições rápidas de dados com bastante acurácia. Entretanto, a técnica de FTIR realiza a investigação da composição molecular da matriz química do artefato investigado, por isso os dados obtidos possuem maior complexidade de interpretação, quando comparados aos dados de XRF. Logo a técnica demanda um grande tempo de treinamento, para correta aplicação. Além disso, é comum interpretar os dados de FTIR de forma combinada aos resultados da XRF para respaldar as conclusões. Outra estratégia para interpretar os dados de FTIR é utilizar biblioteca⁷ de dados disponíveis, que permite comparar os dados espectrais obtidos do artefato investigado com de amostras padrões.

Figura 4. Sistema portátil de FTIR que pode ser empregado na investigação *in situ* de acervos museológicos.



Fonte: autor

Exemplos de investigação por técnicas físico-químicas de acervos museológicos

Nas próximas seções, serão apresentados três estudos de caso. Sendo no primeiro apresentando o uso de técnicas físico-químicas de análise em artefatos cerâmicos e como os resultados auxiliaram a catalogação dos artefatos. Já no segundo caso, será visto como os exames em pinturas e moedas históricas auxiliam no processo de conservação dos artefatos. No terceiro exemplo, serão apresentadas análises de uma tela e como os exames auxiliaram na investigação forense.

Exemplo de análise empregada para auxiliar na catalogação de artefatos

Dentre as tipologias de artefatos museológicos analisados por técnicas físico-químicas, as cerâmicas destacam-se pela quantidade de estudos realizados e relatados na literatura⁸ (ERAMO; MANGONE, 2019). Uma das razões que justifica essa grande quantidade de estudos deve-se ao fato de ser comum em escavações arqueológicas encontrar tal tipologia, logo é um tipo de artefato abundante no acervo de muitos museus.

Através da investigação da matriz química de artefatos cerâmicos, é possível obter informações de como foi realizada a produção do objeto (matéria-prima empregada, temperatura de queima, atmosfera de queima, etc.), possibilitando assim conhecer melhor a cultura dos povos que produziram os artefatos (CALZA et al., 2013).

⁷ Muitas bibliotecas com dados de FTIR de materiais padrões utilizados em patrimônio histórico-cultural têm sido produzidas e disponibilizadas on-line. Entre elas podemos citar o projeto IRUG (homepage: <http://www.irug.org/>) e RRUFF (homepage: <https://rruff.info/>).

⁸ O autor deste trabalho participou de diversos projetos que envolveram análises de artefatos cerâmicos. Os resultados de alguns desses projetos podem ser vistos nos manuscritos (FREITAS et al., 2010, 2016, 2018).

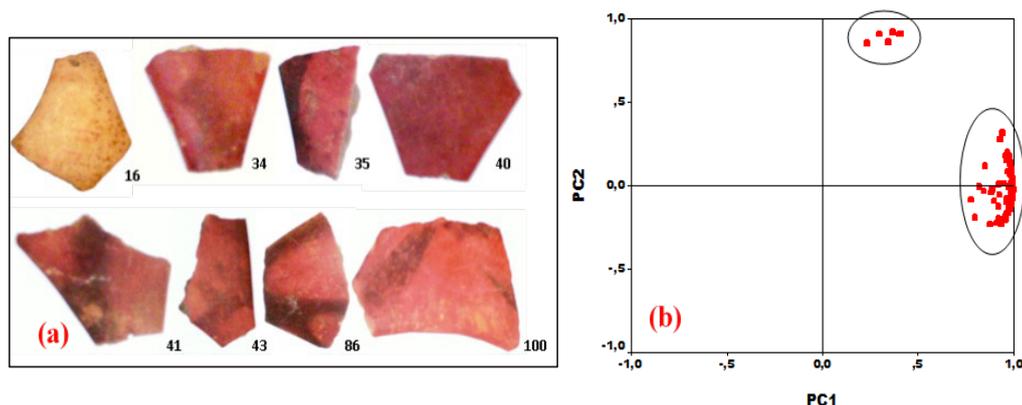
O uso de técnicas físico-químicas de análise como suporte na conservação, catalogação e investigação forense de acervos museológicos

Os espectros de XRF coletados de materiais cerâmicos, normalmente, possuem grande semelhanças aos vistos na Figura 3. Apresentando comumente os elementos K (potássio), Ca (cálcio), Ti (titânio), Mn (manganês), Fe (Ferro) e Sr (estrôncio), que se relacionam à matéria-prima base desses artefatos: aluminos silicatos, silicatos, óxidos de ferro, óxidos de titânio, etc. (FREITAS et al., 2016). A intensidade das contagens com que esses elementos aparecem nos espectros de XRF se relaciona diretamente com a matéria-prima e a tecnologia de manufatura empregada no artefato. Logo, dois artefatos produzidos com a mesma matéria-prima e processo de manufatura vão apresentar espectros semelhantes de XRF, tanto nos elementos presentes, quanto na intensidade das contagens.

Tendo como base as informações acima é possível avaliar se peças cerâmicas de uma dada coleção são de fato semelhantes em termos da matéria-prima e processo de manufatura. Sendo, para isto, necessário coletar dados de XRF nos artefatos e fazer comparações entre eles para verificar similaridades e diferenças. Para realizar essas comparações normalmente, os dados das técnicas de análise são aplicados a processos estatísticos multivariados, que permitem automatizar através de algoritmos a verificação de similaridades e diferenças⁹ (FREITAS et al., 2018; MATOS et al., 2003).

O método descrito acima foi empregado na investigação de 102 fragmentos cerâmicos da cultura Marajoara (Figura 5a), que pertencem ao acervo no Museu Nacional da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Através dos testes de similaridade dos dados de XRF coletados nos fragmentos, foi observado que as 102 amostras se dividem em dois grupos (Figura 5b), ou seja, as amostras contidas em cada um desses grupos possuem semelhanças na matéria-prima e método de manufatura. Combinando as informações visuais e os resultados dos testes de similaridade, foi possível realizar uma catalogação dos artefatos baseada nas informações da matriz química¹⁰.

Figura 5. Imagem de alguns fragmentos cerâmicos Marajoaras analisados (a); gráfico de testes de semelhança onde é possível visualizar a separação das amostras em dois grupos (b).



Fonte: autor

⁹ Atualmente existem softwares comerciais disponíveis que permitem realizar as análises estatísticas multivariadas.

¹⁰ O resultado completo do estudo envolvendo esses artefatos Marajoaras pode ser visto nos trabalhos Freitas, (2009) e Freitas et al., (2010) intitulados respectivamente “Análise de fragmentos de tangas de cerâmica Marajoara utilizando sistema portátil de Fluorescência de Raios X e estatística multivariada” e “EDXRF and multivariate statistical analysis of fragments from Marajoara ceramics”.

Exemplo de análise empregada para auxiliar na conservação do artefato

Um processo natural que ocorre nos acervos museológicos é a degradação de sua materialidade, sendo algumas tipologias de artefatos mais suscetíveis a essas mudanças. Essas alterações normalmente são provenientes de reações químicas, que ocorrem entre os compostos presentes nos artefatos e ambientes, nos quais os mesmos se encontram. Por isso, esse processo de degradação pode ser acelerado se o objeto está exposto a condições ambientais (umidade, temperatura, luminosidade, etc.) que potencializam essas reações. Logo, conhecer os agentes catalisadores dessas reações de degradação auxilia na escolha de condições ambientais livres desses agentes para a exposição de determinado artefato, tendo como consequência a conservação do mesmo.

Dentre as tipologias que estão sujeitas à degradação de sua materialidade, podem ser citadas telas (MONICO et al., 2011, 2014). Neste caso, o fenômeno é comumente percebido de forma visual, pois alguns pigmentos podem esmaecer sua cor ou até mesmo alterar a tonalidade. Tal fenômeno foi evidenciado na tela “O Grito” do pintor norueguês Edvard Munch, onde o pigmento amarelo de cádmio em algumas regiões ficou esbranquiçado e começou a descamar. Após uma série de análises físico-químicas na tela, foi identificado que a degradação do amarelo de cádmio é potencializada em ambientes com umidade relativa superior a 45% (MONICO et al., 2020). Isto auxiliou os profissionais do museu a tomar medidas de conservação mais pontuais para desacelerar o processo de degradação do amarelo de cádmio¹¹.

Ligas metálicas de prata (Ag) e cobre (Cu) também são outra tipologia de artefatos suscetível à degradação. Neste caso, a alteração é devida à corrosão do cobre na superfície das ligas, ocasionando o enriquecimento da prata na superfície. Este fenômeno gera alterações visuais na superfície da liga, como visto na moeda apresentada na Figura 6, que apresenta regiões esverdeadas devido ao fenômeno do enriquecimento. O processo de enriquecimento de Ag na superfície de objetos metálicos baseia-se no fato, da corrosão preferencial de certos elementos, que no caso das ligas Ag-Cu esta preferência é do Cu, devido as suas propriedades de oxirredução comparada a Ag. Essa corrosão pode ser acarretada por uma série de fatores como, por exemplo, sais presentes no meio ambiente, umidade e utilização de certos produtos de limpeza (DEL HOYO-MELÉNDEZ et al., 2015; FELIX et al., 2020).

Figura 6. Moeda de 960 réis, manufaturadas de liga Ag-Cu, que pertence ao acervo do Museu Histórico Nacional, Rio de Janeiro. As regiões verdes na superfície são alterações na materialidade do artefato.



Fonte: autor

¹¹ O estudo completo da tela “O Grito” pode ser visto no trabalho intitulado “*Probing the chemistry of CdS paints in The Scream by in situ noninvasive spectroscopies and synchrotron radiation x-ray techniques*” de Monico et al., (2020) e na reportagem vide link. <https://www1.folha.uol.com.br/ilustrada/2020/05/distanciamento-fisico-imposto-pelo-coronavirus-pode-salvar-quadro-o-grito.shtml>

O uso de técnicas físico-químicas de análise como suporte na conservação, catalogação e investigação forense de acervos museológicos

Felix *et al.* (2020) conduziram um estudo em moedas de 960 réis de ligas Ag-Cu, datadas entre o fim do século XVII e início do século XIX, pertencentes ao acervo do Museu Histórico Nacional, Rio de Janeiro. Para verificar o estágio de degradação dos artefatos, foram empregadas medidas de XRF portátil para levantar a concentração elementar da Ag na superfície das moedas, sendo os dados comparados com os registrados em ligas de Ag-Cu não degradadas. A partir do estudo, foi verificado que as moedas apresentam uma corrosão ainda em estágio inicial. Entretanto, para melhorar os procedimentos de conservação das moedas, é necessário realizar mais estudos para identificar quais agentes estão potencializando essa corrosão¹².

Exemplo de análise empregada para auxiliar na investigação forense de artefatos

Faria e Puglieri (2011) investigaram pela técnica de espectroscopia Raman uma obra de arte de autoria atribuída à pintora brasileira Tarsila do Amaral (1886-1973), cujos resultados indicaram que a datação da obra é anacrônica com os pigmentos identificados. Os autores neste estudo também comentam que em torno de 20% das obras de arte que circulam em principais centros do país (São Paulo, Rio de Janeiro e Belo Horizonte) são falsas.

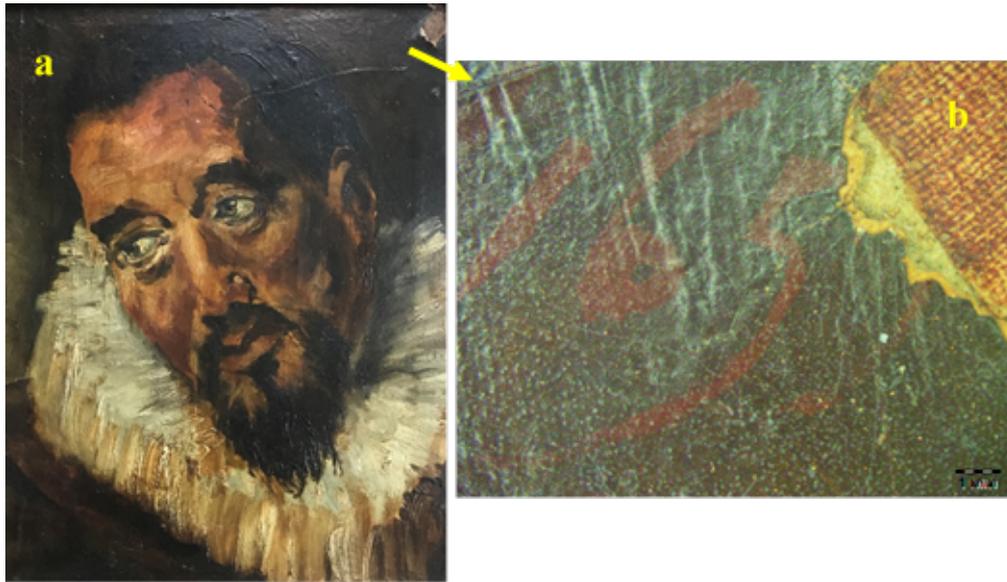
Anjos *et al.* (2005) analisaram por XRF uma antiga calota craniana fossilizada que pertence ao acervo do Museu Nacional da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Na análise deste artefato, que os pesquisadores acreditavam ser autêntico e relacionavam diretamente às civilizações antigas que povoaram o território brasileiro, foi verificado que a concentração dos elementos como cálcio (Ca) e estrôncio (Sr), que são da matéria-prima base da calota, variam entre as regiões da mesma. Os resultados comprovaram que a calota na verdade foi montada com partes de diferentes materiais, que não se relacionam com o solo da região onde a calota foi encontrada.

Os exemplos acima ilustram que as análises físico-químicas possuem um grande potencial na investigação forense de artefatos do patrimônio histórico-cultural. Esses exames periciais, normalmente, são realizados verificando se a composição química levantada pelas análises é coerente com a matéria-prima base do artefato, relatada em informações históricas. Por exemplo, no caso de telas era comum, até o fim do século XIX, o uso de pigmentos à base de chumbo (Pb) e mercúrio (Hg). No século XX, os pigmentos, que continham esses elementos foram substituídos por pigmentos com titânio (Ti) e/ou zinco (Zn) (CALZA, 2007, p. 160-161).

Através das análises por XRF ou FTIR, é necessário realizar aquisições de dados em diferentes regiões da amostra. Isto, porque as técnicas permitem registrar dados da matriz química de uma pequena região do artefato. Logo, mesmo identificando materiais que não corroboram com o histórico de manufatura do artefato em determinado ponto, não é possível através de uma análise pontual concluir se o artefato é falso, pois a presença isolada desse material pode ser devido a restaurações ou processos de degradação. Por isso a necessidade de registrar dados em várias regiões, permitindo uma fotografia da matriz química do artefato.

12 O resultado completo do estudo de Felix *et al.*, (2020) consta no manuscrito intitulado “Analysis of silver coins from colonial Brazil by hand held XRF and micro-XRF”.

Figura 7. Foto da obra de arte investigada (a); Imagem realizada por microscopia da data que aparece perto da assinatura, remetendo a obra para o século XVII (b).

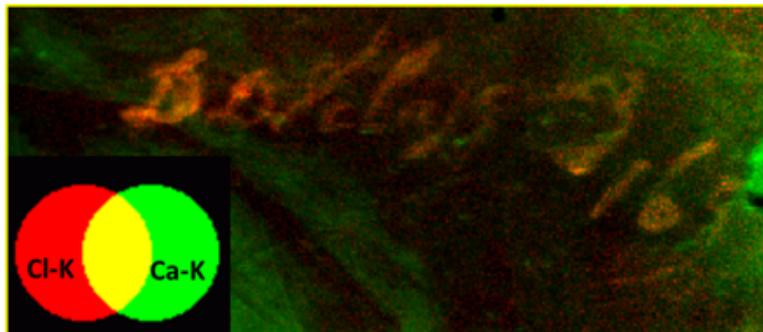


Fonte: autor

Uma forma de superar a dificuldade da investigação forense por análise pontual é empregar técnicas de imageamento como MA-XRF, que permite registrar imagens de como os elementos químicos estão distribuídos em uma tela. Para exemplificar esta aplicação, usaremos um recente estudo realizado por Pereira et al., (2021)¹³, que investigaram por XRF convencional (ou seja, análises pontuais) e por MA-XRF uma tela, suspeita de falsificação, que apresentava uma assinatura apagada, mas com uma data visível que remetia ao século XVII (Figura 7).

Através do escaneamento por MA-XRF, foram obtidas imagens dos elementos cloro (Cl) e cálcio (Ca) (Figura 8), na região da assinatura, que permitiram visualizar qual é a suposta autoria da tela, que neste caso, apresentou ser do pintor Espanhol Diego Velázquez (1599–1660). Já nas análises pontuais por XRF, foi detectada a presença de elementos como zinco (Zn) e titânio (Ti), que remetem ao uso de pigmentos modernos na tela. Ressalta-se que a suspeita de falsificação foi levantada devido a esses resultados obtidos nas análises pontuais por XRF.

Figura 8. Imagem combinada dos elementos cloro (Cl) e cálcio (Ca), que permitiram evidenciar melhor assinatura.



Fonte: autor

¹³ O autor deste manuscrito, coordenou o projeto que levantou os dados desse trabalho, cujo resultados completos podem ser vistos no manuscrito intitulado “Investigating counterfeiting of an artwork by XRF, SEM-EDS, FTIR and synchrotron radiation induced MA-XRF at LNLS-BRAZIL”.

O uso de técnicas físico-químicas de análise como suporte na conservação, catalogação e investigação forense de acervos museológicos

A falsificação da tela é confirmada pela imagem do zinco (Zn) e ferro (Fe), obtidos da tela (Figura 9). Na imagem do Zn, que pode ser associado ao uso do moderno pigmento branco de zinco (ZnO) (Figura 9b), verifica-se a utilização em toda tela, por isso não se trata de uma aplicação para restauro, mas sim para o processo criativo. Já a imagem do Fe (Figura 9c), que se correlaciona à tonalidade escura vista na tela, remete ao uso do pigmento negro hematita (Fe_3O_4) que, apesar de ser utilizado desde de antiguidade, não faz parte da paleta do pintor Diego Velázquez.

Figura 9. Imagens de MA-XRF da distribuição dos elementos zinco (Zn) e ferro (Fe) registrados na tela.



Fonte: autor

Perspectivas de ações que podem ser implementadas para sistematizar o uso de análises científicas em acervos museológicos no contexto brasileiro

A partir dos estudos de caso, verificamos que o uso de técnicas físico-químicas de análise em acervos museológicos podem trazer muitos benefícios na rotina de trabalho dos profissionais de museus. Entretanto, observa-se que a implementação sistemática dessas investigações em museus depende da execução de algumas medidas prévias. Entre essas medidas, podemos destacar a necessidade de uma qualificação periódica de todos os profissionais que se envolvem neste campo de estudo. A necessidade de ser periódica é devido aos rápidos avanços tecnológicos. Além disso, essa qualificação torna-se necessária para que as diferentes áreas possam construir uma linguagem mais comum, facilitando o trabalho multidisciplinar.

Como comentado acima, uma dificuldade para a implementação dessas investigações de forma sistemática está relacionada com os custos de aquisição de equipamentos, manutenção e recursos humanos. Para sanar essa dificuldade, podem ser implementadas estruturas compartilhadas por vários museus. A viabilidade de implementar essa estrutura compartilhada é pautada no fato de que os equipamentos empregados na investigação de acervos museológicos são portáteis, ou seja, eles podem ser trasladados. Logo, podem ser implementados laboratórios móveis, semelhantes à experiência do grupo Europeu MOLAB, que irão atender uma rede de museus em suas demandas de análises científicas.

Além de gerar economicidade na aquisição de equipamentos, pois não será necessário cada museu adquirir sua própria instrumentação, o fato do mesmo atender vários museus irá criar uma constante demanda, tornando-se um espaço de uso otimizado.

Além de uma política de capacitação periódica e da construção de uma infraestrutura de análise, sugere-se a implementação de uma base dados, que irá alocar os resultados de todas essas análises que serão realizadas em acervos museológicos. Essa base irá permitir, por exemplo, mapear quais tipos de análise já foram realizados em determinado artefato, permitindo escolher em um segundo momento empregar técnicas de análise para complementar os resultados já existentes. Outra funcionalidade dessa base é verificar como a materialidade do artefato está se comportando, pois podem ser realizados exames periódicos nos artefatos, e verificar se a matriz química está se degradando. Outra utilidade dessa base de dados é o suporte na investigação forense de artefatos. Como no caso de telas suspeitas de falsificações, neste caso será possível comparar dados científicos registrados na tela suspeita com dados de telas do mesmo autor, que se encontram disponíveis na base de dados. Por fim, outra aplicação para essa base é seu uso no resgate de acervos museológicos. Neste caso, a informação da matriz química, que consta na base de dados, pode auxiliar especialmente na identificação do artefato após ter passado por algum desastre.

Referências

- ALFELD, M. et al. A mobile instrument for in situ scanning macro-XRF investigation of historical paintings. *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*, v. 28, n. 5, p. 760–767, 2013.
- ALFELD, M.; DE VIGUERIE, L. Recent developments in spectroscopic imaging techniques for historical paintings - A review. *Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy*, v. 136, p. 81–105, out. 2017.
- ANJOS, M. J. et al. Investigation of a fossilized calotte from Lagoa Santa, Brazil, by EDXRF. *X-Ray Spectrometry*, v. 34, p. 189–193, 2005.
- APPOLONI, C. R.; PARREIRA, P. S. Doze anos de atividades em arte e arqueometria no Laboratório de Física Nuclear Aplicada da Universidade Estadual de Londrina. *Revista Brasileira de Arqueometria, Restauração e Conservação*, v. 1, n. 6, p. 301–304, 2007.
- CALZA, C. *Desenvolvimento de Sistema Portátil de Fluorescência de Raios-x com Aplicações em Arqueometria*. [s.l.] Tese de Doutorado em Ciências em Engenharia Nuclear, 2007.
- CALZA, C. et al. Analysis of sculptures using XRF and X-ray radiography. *Radiation Physics and Chemistry*, v. 116, p. 326–331, 2015.
- CALZA, C. F. et al. Análise de peroleiras e cachimbos cerâmicos provenientes de escavações arqueológicas. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Humanas*, v. 8, p. 621–638, 2013.

O uso de técnicas físico-químicas de análise como suporte na conservação, catalogação e investigação forense de acervos museológicos

DE FARIA, D. L. A.; PUGLIERI, T. S. Um exemplo de aplicação da microscopia raman na autenticação de obras de arte. *Quimica Nova*, v. 34, n. 8, p. 1323–1327, 2011.

DEL HOYO-MELÉNDEZ, J. M. et al. Micro-XRF analysis of silver coins from medieval Poland. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*, v. 349, p. 6–16, 2015.

ERAMO, G.; MANGONE, A. Archaeometry of ceramic materials. *Physical Sciences Reviews*, v. 4, n. 11, p. 1–16, 26 nov. 2019.

FARIA, D. L. A. DE; PUGLIERI, T. S.; SOUZA, L. A. C. Metal Corrosion in Polychrome Baroque Lead Sculptures: a Case Study. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, v. 24, p. 1345–1350, 2013.

FELIX, V. S. et al. Analysis of silver coins from colonial Brazil by hand held XRF and micro-XRF. *Applied Radiation and Isotopes*, v. 166, p. 109409, 2020.

FRANCESCA ROSI, LAURA CARTECHINI, D. S. AND C. M. Recent trends in the application of Fourier Transform Infrared (FT-IR) spectroscopy in Heritage Science: from micro- to non-invasive FT-IR. In: *Chemical Analysis in Cultural Heritage*. [s.l.] De Gruyter, 2020. p. 121–150.

FREITAS, R. P. *Análise de fragmentos de tangas de cerâmica Marajoara utilizando sistema portátil de Fluorescência de Raios X e estatística multivariada*. [s.l.] Programa de Engenharia Nuclear, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2009.

FREITAS, R. P. et al. EDXRF and multivariate statistical analysis of fragments from Marajoara ceramics. *X-Ray Spectrometry*, v. 39, n. 5, 2010.

FREITAS, R. P. *Aplicações de Técnicas Nucleares e Espectroscopia Molecular em Arqueometria*. [s.l.] Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2014.

FREITAS, R. P. et al. Analysis of clay smoking pipes from archeological sites in the region of the Guanabara Bay (Rio de Janeiro, Brazil) by FT-IR. *Spectrochimica Acta - Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, v. 163, p. 140–144, 2016.

FREITAS, R. P. et al. Analysis of 19th century ceramic fragments excavated from Pirenópolis (Goiás, Brazil) using FT-IR, Raman, XRF and SEM. *Spectrochimica Acta - Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, v. 193, p. 432–439, 2018.

FREITAS, R. P. et al. Micro-XRF analysis of a Brazilian polychrome sculpture. *Microchemical Journal*, v. 149, p. 104020, set. 2019.

GALANTE, D. et al. Aplicação de técnicas de análise síncrotron em arqueologia. *Cadernos do LEPAARQ (UFPEL)*, v. 30, p. 277–289, 2018.

LEGRAND, S. et al. Examination of historical paintings by state-of-the-art hyperspectral imaging methods: from scanning infra-red spectroscopy to computed X-ray laminography. *Heritage Science*, v. 2, n. 1, p. 13, 2014.

MATOS, G. D. et al. Análise Exploratória Em Química Analítica Com Emprego De Quimiometria : Pca e Pca de Imagens. *Revista Analytica*, v. 6, p. 38–50, 2003.

MILIANI, C. et al. In Situ Noninvasive Study of Artworks: The MOLAB Multitechnique Approach. *Accounts of Chemical Research*, v. 43, n. 6, p. 728–738, 15 jun. 2010.

MONICO, L. et al. Degradation process of lead chromate in paintings by Vincent van Gogh studied by means of synchrotron x-ray spectromicroscopy and related methods. 2. Original paint layer samples. *Analytical Chemistry*, v. 83, n. 4, p. 1224–1231, 2011.

MONICO, L. et al. Degradation process of lead chromate in paintings by Vincent van Gogh studied by means of spectromicroscopic methods. Part 5. Effects of nonoriginal surface coatings into the nature and distribution of chromium and sulfur species in chrome yellow paints. *Analytical Chemistry*, v. 86, n. 21, p. 10804–10811, 2014.

MONICO, L. et al. Probing the chemistry of CdS paints in The Scream by in situ noninvasive spectroscopies and synchrotron radiation x-ray techniques. *Science Advances*, v. 6, n. 20, p. 1–11, 15 maio 2020.

PEREIRA, M. O. et al. Investigating counterfeiting of an artwork by XRF, SEM-EDS, FTIR and synchrotron radiation induced MA-XRF at LNLS-BRAZIL. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, v. 246, p. 118925, fev. 2021.

PUGLIERI, T. et al. Nanoespectroscopia De Absorção De Radiação Síncrotron No Infravermelho Para Nanoespecação De Produtos De Corrosão Metálica. *Química Nova*, v. 42, p. 1050–1055, 2019.

PUGLIERI, T. S.; DE FARIA, D. L. A.; BORGES, C. Apresentação: Dossiê Estudos em Arqueometria. *Cadernos do LEPAARQ (UFPEL)*, v. 15, n. 30, p. 142–146, 30 nov. 2018.

RIZZUTTO, M. D. A.; LEE, F. M.; THOMAS, T. Revelando Hercule Florence, o Amigo das Artes: análises por fluorescência de raios X. *Anais do Museu Paulista: História e Cultura Material*, v. 27, p. 1–32, 2019.

RODRIGUEZ, S. H. et al. Non-Destructive and portable analyses helping the study and conservation of a Saraceni copper plate painting in the São Paulo museum of art. *Microchemical Journal*, v. 155, p. 104787, jun. 2020.

SANCHES, F.A. C. R. DE A. et al. Characterization of a sacred statuette replica of “Nossa Senhora da Conceição Aparecida” using X-ray spectrometry techniques. *Radiation Physics and Chemistry*, v. 167, p. 108266, 12 abr. 2020.