

Métodos físicos e químicos para estudo de bens culturais

Marcia Almeida Rizzutto*

Palavras-chave:
Técnicas físico-químicas
Imageamento
patrimônio cultural.

Resumo: Arqueometria é uma área de pesquisa interdisciplinar que envolve o desenvolvimento e uso de métodos científicos físico-químicos, a fim de responder a questões específicas para o conhecimento dos objetos produzidos pelas diferentes sociedades e, assim, permitir revelar e identificar os materiais e tecnologias utilizadas no passado para um melhor entendimento da história, dos processos migratórios, das características culturais e ainda também ter parâmetros mais embasados para preservação e conservação do patrimônio cultural. A utilização de metodologias não destrutivas, onde não há coleta de amostras, apresenta-se como muito adequada nestes estudos do patrimônio cultural, pois deste modo pode-se evitar qualquer dano ou alteração, mantendo assim a integridade do objeto. Várias técnicas estão sendo utilizadas para caracterização e estudos dos objetos do patrimônio cultural, possuindo um conjunto de metodologias muito grande que abrangem quase todo o espectro eletromagnético que vão desde as análises com radiação gama, raios x passando pelo espectro ótico visível e regiões do ultravioleta e infravermelho. Todas estas são técnicas poderosas que permitem obter informações valiosas sobre a composição elementar e composicional, bem como estado de conservação e processos criativos dos artistas. Neste trabalho serão apresentados alguns estudos de caso onde as diferentes técnicas físico-químicas estão sendo aplicadas ao estudo do patrimônio cultural.

Keywords:
Physicochemical
techniques
Imaging
Cultural heritage

Abstract: Archaeometry is an area of interdisciplinary research involving the development and use of physical and chemistry scientific methods in order to answer specific questions for the knowledge of objects produced by different societies and thus allow reveal and identify the materials and technologies used in the past to a better understanding of the history of migration processes, cultural characteristics and yet also have more grounded parameters for preservation and conservation of cultural heritage. The use of non-destructive methods, where no sampling is obtained, presents itself as very suitable in the cultural heritage studies, because this can avoid any damage or alteration in the study object, thus maintaining the integrity of the object. Several techniques are being used for characterization and studies of the cultural heritage objects having a set of very large methodologies that cover almost the entire electromagnetic spectrum ranging from the analysis with gamma radiation and x-rays passing through the visible optical spectrum such as ultraviolet and infrared regions. All these are powerful techniques that give valuable information on the elemental and compositional composition and object conservation status as well as the creative processes of artists. In this paper we present some case studies where different physicochemical techniques are being applied to the study of cultural heritage.

Recebido em 2 de março de 2015. Aprovado em 9 de março de 2015.

Introdução

Para o estudo, conservação e restauração dos materiais e artefatos de valores históricos, artísticos e culturais, cada vez mais há a necessidade de métodos analíticos que sejam capazes de fornecer informações sobre:

- A natureza ou composição química dos artefatos culturais e os materiais presentes nestes, com o objetivo de esclarecer a proveniência destes.
- As alterações ocorridas na superfície e/ou internamente na aparência e nas propriedades

físicas dos objetos como resultados de exposições nas condições ambientais de curtos, médios ou longo prazo.

- As efetivas estratégias que devem ser realizadas nos objetos, durante e após o processo de conservação e/ou restauração.
- Sejam capazes de determinar quais partes do objeto são originais e quais foram adicionados posteriormente.

A potencialidade de utilização de técnicas físicas e químicas para análise de obras de arte vem crescendo muito dentro da comunidade científica a cada ano, e cada vez mais pesquisadores das diferentes

Graduada, Mestre e Doutora em Física pela Universidade de São Paulo, SP, Brasil. Professora do Instituto de Física da Universidade de São Paulo desde 2001. Coordenadora do Núcleo de Pesquisas de Física Aplicada ao Estudo do Patrimônio Artístico e Histórico (NAP-FAEPAH) da Universidade de São Paulo. Tem se dedicado nos últimos anos ao uso de física aplicada para estudo de objetos do patrimônio cultural de forma interdisciplinar com diferentes áreas como Arqueologia, História, História da Arte, Paleontologia, Química, Conservação e Restauo, etc. Como coordenadora do núcleo de pesquisa tem um programa de investigação amplo utilizando metodologias físico-químicas não-destrutivas para estudos e análises de bens culturais em diferentes coleções dos museus da Universidade de São Paulo, em parceria com os professores/pesquisadores destas instituições e-mail: rizzutto@if.usp.br

áreas da ciência interagem entre si buscando um maior intercâmbio dos conhecimentos existentes. Existe um aumento nas investigações utilizando métodos físico-químicos como de análise estrutural, composicional e molecular (difração de raios X, espectrometria com infravermelho, Raman), datação (termoluminescência e espectrometria de massa com aceleradores) e técnicas de análise elementares como fluorescência de raios X (FRX ou XRF), espectrometria de emissão atômica, ativação neutrônica (AAN) e técnicas baseadas em feixes iônicos além de técnicas de imageamento como radiografias computadorizadas, fotografias com luz tangencial ou rasante, ultravioleta (UV) e visível, reflectografia de infravermelho (IR).

Como a variedade de técnicas e metodologias empregadas neste campo de arte e arqueologia é bastante ampla, envolvendo várias áreas do conhecimento e tipos diferentes de aplicações, fica evidente a necessidade de uma interação maior entre os diferentes pesquisadores das diversas áreas do conhecimento (físicos, químicos, biólogos, restauradores, conservadores, historiadores, museólogos) envolvidos na área de arte, arqueologia, preservação e conservação do patrimônio cultural.

Atualmente, o grupo de física aplicada com aceleradores do Instituto de Física da USP, tem utilizado várias metodologias não destrutivas para caracterização e análises de bens culturais. Os métodos de análise abrangem processos de imageamento, técnicas espectroscópicas atômico-nucleares e Raman que, acopladas, permitem ajudar no entendimento dos materiais e compostos e das técnicas utilizadas no processo criativo do artista. Neste sentido, as técnicas analíticas utilizadas nos diferentes estudos desempenham um papel importante, a fim de fornecer informações sobre a materialidade dos bens culturais.

Arqueometria e sua história

Antigamente a análise de objetos artísticos era feita principalmente (ou exclusivamente) por *connaissanceur* ou pessoas com formação em História e/ou História da Arte que podiam examinar uma obra e atribuir à autoria provável desta., Basicamente o que era examinado eram os aspectos estilísticos e os documentos existentes sobre

a obra ou objeto do patrimônio cultural (AINSWORTH, 2005; ROSADO, 2007). Com o desenvolvimento das análises científicas e com a utilização de técnicas físico-químicas mais voltadas a caracterização de materiais com a possibilidade de uso de equipamentos portáteis, ao longo do século XX, houve uma modificação no modo de avaliar um objeto de arte. Cada vez mais estão sendo empregadas ferramentas analíticas para estudo e análise dos objetos artísticos culturais e as parcerias entre pesquisadores das áreas de história, história da arte, ciências da conservação e restauro com os pesquisadores das áreas de exatas (físicos, químicos, biólogos, engenheiros, etc.), estão aumentando para realização de trabalhos com metodologias interdisciplinares. Essa abordagem contribuiu para a composição dos campos de estudos denominados de Arqueometria e este termo está relacionado aos métodos científicos para o conhecimento dos bens culturais e também estava vinculado a revista "Archaeometry" fundada em 1958 pelo Laboratório de Pesquisa em Arqueologia e de História da Arte da Universidade de Oxford. E se define como a aplicação de todas as ciências experimentais, naturais e tecnológicas para o conhecimento e caracterização dos objetos de arte, arqueológicos e materiais do patrimônio cultural, e é utilizado também na ciência da conservação, geoarqueologia, etc., e segundo Chiari e Leona (CHIARI, 2005) a arqueometria pode ser definida como a união entre a arqueologia e conservação preventiva com as ciências experimentais. Reúnem arqueólogos, historiadores, conservadores, físicos e químicos que aplicam técnicas instrumentais para o estudo dos objetos do patrimônio para extrair deles informações tecnológica, culturais e históricas. É um processo de interação entre diferentes áreas com o objetivo de conhecer a cultura material do patrimônio cultural.

Historicamente a aplicação sistemática de métodos científicos e estudos no campo da arqueologia e da arte tem origem na comunidade de pesquisa Européia, e sua primeira manifestação se dá por volta do século XVIII com a publicação do trabalho do cientista alemão Friedrich Klaproth, que analisou a composição de moedas de metal. No início do século XIX o químico Frances Jean-Antoine Chaptal publica estudos sobre os pigmentos de Pompéia e, ao mesmo tempo, o cientista

britânico Humphry Davy publica resultados de pesquisa em pigmentos de materiais encontrados nos sítios arqueológicos romanos. Outros como Michael Faraday, que estudou os efeitos do vidro como proteção para as pinturas na Galeria Nacional de Londres e Ernest Von Bibra, um metalúrgico alemão que escreveu um resumo sobre análises de metais baseado nos estudos das coleções do museu. Na segunda metade do século XIX, Giovani Morelli, um médico italiano e estudioso de pinturas criou um método de autenticação de pinturas denominado análise estilístico de composições secundárias (LUKICHEVA, 1987).

O primeiro laboratório em um museu, com o objetivo de trabalhar os problemas na conservação de bens culturais, foi estabelecido em 1888 por Friedrich Rathgen, que foi chefe de pesquisas científicas no Laboratório Químico do Museu Royal de Berlin. As facilitadas iniciais propunham contribuir para o entendimento do processo de deterioração dos objetos da coleção e desenvolver um tratamento para interromper este processo.

A necessidade de apoio das análises científicas para confirmar as evidências encontradas pelos estudos dos profissionais de história da arte, faz que logo após a descoberta dos raios X pelo cientista W.C. Roentgen, em 1895 utiliza-se esta nova metodologia para fazer a primeira radiografia de uma pintura (GILARDONI, 1977). O uso dos raios X na pesquisa sobre autenticação de pinturas ocorreu em 1935, no Museu Brooklyn de Nova York, Estados Unidos. Com o este método o cientista Pertsing realizou exames em pinturas sobre tela pertencentes ao acervo desse museu (MANCIA, 1944).

Durante a primeira metade do século XX, novos laboratórios foram estabelecidos para trabalhar nos estudos das coleções, para usar os conhecimentos e para propor novos tratamentos para melhorar a conservação e/ou restauração dos objetos. Cria-se o British Museum's Research Laboratory em 1920, o Laboratoire de Recherche des Musées de France em 1931 e o Research Laboratory of Archaeology and the History of Art em 1955 na Universidade de Oxford, com o físico Lord Cherwell e o arqueólogo Christopher Hawkes que pela primeira vez faz uso do termo: arqueometria. Vários trabalhos foram publicados durante os anos subsequentes e os esforços iniciais destes laboratórios nos museus se

concentraram em responder questões analíticas como as relacionadas à tecnologia original e os materiais dos objetos e monumentos (HALL, 1958; KRAAY, 1958; SUTHERLAND, 1961; HALL, 1962; BANKS, 1963; HALL, 1964; GETTENS, 1966; PLESTERS, 1966; GETTENS, 1967; KÜHN, 1968; MÜHLETHALER, 1969). A partir dos anos 70, cientes da importância dos estudos científicos das obras artísticas, grandes museus decidem criar seus próprios laboratórios de pesquisa e vários laboratórios de universidades passaram também a direcionar pesquisas sobre objetos artísticos, com o objetivo de determinar-lhes a origem e tecnologia e vários eventos e cursos surgem em toda a Europa. Nesta época, também importantes pinturas de diferentes museus são fotografadas com luzes especiais como ultravioleta e infravermelho e foram também radiografadas e iniciou-se a utilização do método do carbono 14 para datá-las. Estes procedimentos permitiram reforçar o desenvolvimento destas práticas de ciências nos museus e as pesquisas realizadas passam a ser publicadas em revistas especializadas e seminários. Surge nesta época a publicação do National Gallery Technical Bulletin, relatando as possibilidades de trabalhos em conjunto dos curadores, conservadores e cientistas da conservação no estudo de pinturas.

Depois da década de 90 criaram-se várias redes nacionais com o objetivo de melhor usar os conhecimentos existentes nas várias estruturas, para melhorar o potencial humano e técnico e para compartilhar os conhecimentos neste tema. Nos anos posteriores a 2004 foram estabelecidas as redes europeias de investigações para melhorar ainda mais o potencial humano e técnico para trabalhar com as diferentes técnicas de investigações.

Os diferentes métodos de análises físico-químicos

Como vimos no cenário internacional o uso de métodos físicos e químicos no estudo de objetos arqueológicos, de arte e do patrimônio cultural estão estabelecidas há algumas décadas, tanto por parte de pesquisadores de universidades, como por laboratórios diretamente vinculados a grandes museus ou laboratórios de conservação e restauração. No entanto esta área de

aplicações científicas é relativamente recente na América Latina e no Brasil, alguns grupos de pesquisas vinculados às universidades iniciam os trabalhos neste tema a partir do início da década de 90 (APPOLONI, 2013).

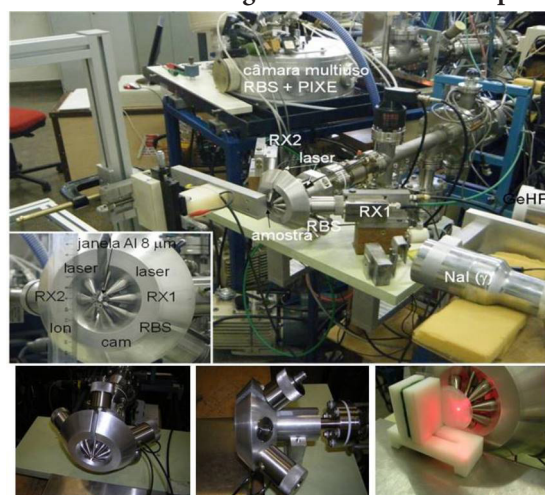
A variação de técnicas de análises existentes que podem ser utilizadas nos estudo de objetos de arte é bastante ampla e dependem das características e potencialidades de cada técnica, bem como do seu limite de detecção (capacidade de medir e detectar determinado elemento ou composto na técnica utilizada) (EVANS, 2015).

Dentre as várias técnicas existentes para a análise de objetos de arte e do patrimônio artístico e cultural o grupo de Física Aplicada com Acelerados (GFAA-IF), desde 2003, tem utilizado técnicas com feixes iônicos no Laboratório de Análise de Materiais do (LAMFI) (SAETTONE, 2003; RIZZUTTO, 2005; LAMFI, 2011;). Inicialmente os estudos destes objetos eram restritos aos métodos que utilizam os feixes de íons como as técnicas de Emissão Induzida de Radiação X por Partículas (*PIXE-Particle Induced X-Ray Emission*) e Emissão Induzida de Radiação Gama por Partículas (*PIGE-Particle Induced g-Ray Emission*) e Espalhamento Rutherford em ângulos traseiros (*RBS-Rutherford BackScattering*). Todas estas técnicas permitem a caracterização dos elementos químicos presentes nos diferentes materiais dos objetos em estudo e particularmente no caso de RBS também é possível a determinação de espessuras das camadas dos objetos (SAETTONE, 2003). Nos últimos anos além das metodologias atômico-nucleares com feixes iônicos, o grupo expandiu as análises com o uso de equipamentos

portáteis como Fluorescência de raios X, Raman e técnicas de imageamento digital de alta resolução (Luz visível, ultravioleta e reflectografia de Infravermelho), todos muito adequados para análises *in situ* devido a portabilidade dos equipamentos. O uso em conjunto de todas estas técnicas está ajudando a entender melhor os objetos de arte e do patrimônio histórico cultural particularmente examinando os componentes principais de determinado material, seu estado de conservação e características do processo criativo do artista (CAMPOS, 2014).

No Laboratório de Análise de Materiais por feixes iônicos desde 2008 se utiliza uma linha com feixe externo projetada especificamente para aplicação de análises de objetos em ar (figura 1). Neste arranjo de feixe externo, o feixe externo de próton, após passar por uma janela de Alumínio, atinge as amostras no ar e neste processo de interação do feixe iônico com uma amostra, vários processos podem acontecer como o retro-espalhamento do próprio íon (RBS - Espalhamento Rutherford em ângulos traseiros), a emissão de radiação eletromagnética como luz (Ionluminescência), radiação X (*PIXE - Emissão Induzida de Radiação X por partículas*) e gama (*g- PIGE - Emissão Induzida de Radiação gama por partículas*). Nesta linha de feixe externo são utilizados diferentes detectores, cada um com sua especificação (detectores de partícula para medidas RBS), detectores para radiação gama (GeHp e NaI) e radiação X (RX1 e RX2), todos montados de tal forma a ter um acoplamento com os lasers para o posicionamento da amostra em um mesmo ponto pode ser visualizado na figura 1.

Figura 1 – Fotografia da canalização do feixe externo com os diferentes detectores montados. Na parte inferior temos em detalhe a nova montagem dos detectores acoplados.



As vantagens do uso de um arranjo de feixe externo estão nas medidas imediatas, pois não há necessidade de preparação das amostras, bem como de medidas de objetos de diferentes tamanhos e formas complexas, fácil manuseio para mover e deste modo analisar as amostras. Como as medidas são realizadas em ar não há problemas térmicos ou de ressecamento da amostra que causariam danos nas amostras e há ainda a possibilidade de medidas de pequenas áreas da ordem de 3-4 mm². Um exemplo de medidas de cerâmicas arqueológicas do museu de Arqueologia e Etnologia da USP, MAE/USP (LIMA, 2011) com o arranjo de feixe externo é mostrado na figura 2.

em grupos que possuem quantidades semelhantes de um conjunto de elementos como, por exemplo, Al, Si, K e Ti. A separação é consistente com as análises estatísticas multivariadas comumente aplicadas neste tipo de análises (LABRECQUE, 1998).

Em conjunto com as análises de feixes iônicos, principalmente PIXE, tem-se utilizado a técnica de Fluorescência de Raios X por Dispersão de Energia (ED-XRF) portátil. Ambas as técnicas permitem a identificação dos elementos químicos presentes nos objetos, a vantagem do uso do acelerador de partículas é a possibilidade de estudo do objeto com diferentes técnicas ao mesmo tempo. No entanto, há necessidade do

Figura 2 – Imagens das medidas feitas com o arranjo de feixe externo para medidas de cerâmicas Chimu do MAE/USP



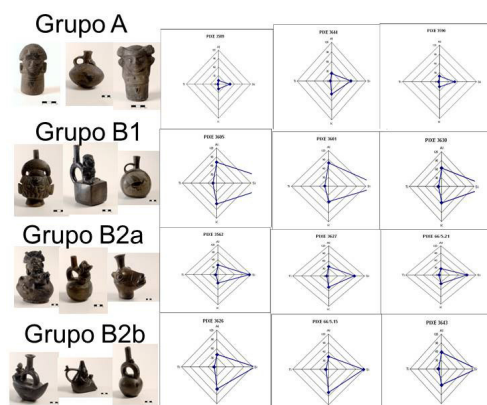
(LIMA, 2011)

As análises PIXE das amostras cerâmicas do MAE permitiram identificar os elementos químicos presentes e separa-las em dois grandes grupos denominados grupo A, grupo B. Dentro do grupo B houve ainda uma separação em 3 novos grupos denominados grupo B1, B2a e B2b conforme figura 3. As amostras foram reunidas

objeto ser analisado no laboratório enquanto que no caso do ED-XRF portátil, temos a possibilidade de análises no próprio museu.

Visando exemplificar o estudo utilizando as duas metodologias apresentam-se o estudo e caracterização de processos de cunhagem de moedas brasileiras que datam

Figura 3 – Separação nos diferentes grupos de cerâmicas Chimu do MAE/USP em função da concentração dos elementos químicos Al, Si, K e Ti presentes amostras determinados com o método PIXE.



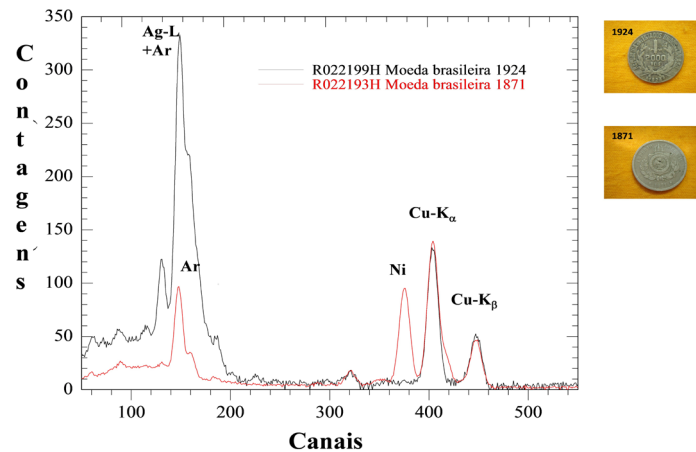
de 1830 a 2003, nos diferentes sistemas monetários do Brasil. Para caracterizá-las, isto é, identificar suas ligas principais e os metais secundários que as compõem, foi utilizada a técnica PIXE e a Fluorescência de Raios X portátil, ambas as técnicas não destrutivas.

A evolução do processo de cunhagem das moedas analisadas pela técnica PIXE foi correlacionada às concentrações dos metais encontrados e um espectro PIXE típico desta análise é mostrado na figura 4.

é basicamente feita de uma liga Cu-Ag (já observado pela técnica PIXE), enquanto que a moeda de 1943 é feita de Cu e tem Ni como elemento minoritário, diferente da moeda de 1871 que possui Ni e Cu como elementos principais da moeda.

O resultado das análises e concentrações elementares (% em massa) das moedas pode ser resumido nos histogramas da figura 6 para as diferentes moedas analisadas.

Figura 4 – Espectro PIXE para duas amostras de moedas brasileiras – 1871 e 1924

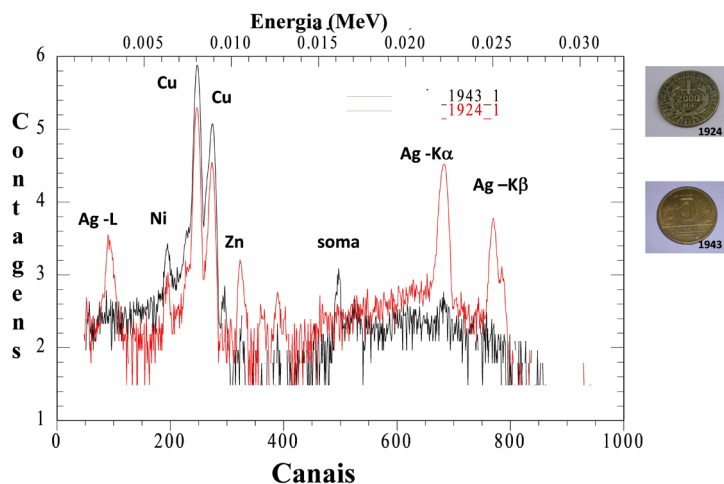


Dos espectros PIXE, pode-se observar que a moeda de 1871 possui uma liga Cu-Ni, enquanto a moeda de 1924 é de Cu-Ag com uma grande quantidade de Ag. Os exemplos de espectros característicos para as moedas de 1943 e 1924 analisadas com Fluorescência de Raios X portátil são apresentados na figura 5.

Os espectros ED-XRF mostram que as duas moedas possuem duas diferentes ligas. A moeda de 1924

Observa-se, também pelos histogramas, que houve variações nos elementos majoritários usados no processo de cunhagem das moedas brasileiras. As moedas de 1830 a 1899 eram basicamente de Cobre com pouca quantidade de Zn. Somente a moeda de 1857 apresentou prata na sua constituição. Já no período de 1901 a 1950 houve mais moedas com prata principalmente nos primeiros anos até 1920. Basicamente a liga é cobre com

Figura 5 – Espectros ED-XRF da análise de duas moedas brasileiras – 1943 e 1924



pequena quantidade de Ni. Recentemente nos últimos 60 anos houve uma mudança grande nas ligas das moedas, surge uma grande quantidade de Fe, o cromo, níquel e Zn foram adicionados em alguns períodos. A prata não foi mais utilizada desde 1920.

Além das técnicas espectroscópicas de XRF e PIXE o GFAA tem utilizado também as análises por diagnósticos com imagens para auxiliar no processo de caracterização dos objetos de arte. As técnicas de imageamento aplicadas são feitas através de Imagem com Luz Visível, Reflectografia de Infravermelho próximo (NIR), Fluorescência Visível com Radiação de Ultravioleta (UV), Luz Rasante, Luz transmitida e Radiografia Digitalizada.

Todas estas têm desempenhado um papel importante na avaliação do estado de conservação das pinturas e auxiliam no diagnóstico de eventuais anomalias e/ou características executivas, detectando desenhos subjacentes e alterações do próprio artista, e no exame de autenticidade (BALAS, 2003; CABRAL, 2013).

A **reflectografia de Infravermelho (IR)** é uma técnica óptica não destrutiva, na qual a imagem

observada é resultado da conjunção dos fenômenos de reflexão, absorção e transmissão da camada superficial revelando peculiaridades escondidas na camada inferior. A visualização dos desenhos subjacentes depende de dois aspectos: contraste e transparência. O contraste está relacionado ao material utilizado no desenho, e a refletividade com a base de preparação. A transparência está relacionada com a camada pictórica e depende da composição dos pigmentos. Quando o meio utilizado para o desenho é à base de carbono a sua absorção do IR é alta, deste modo aumenta a diferença da refletividade com a base de preparação, evidenciando características escondidas, neste caso, é possível que o desenho seja bem visível mesmo que a capa pictórica seja pouco transparente. Um exemplo de aplicação desta técnica é mostrado na figura 7, onde utilizou-se o imageamento com IR na obra *Escrava Romana* do artista Oscar Pereira da Silva pertencente ao acervo da Pinacoteca do Estado de São Paulo. Pode-se perceber nesta análise de IR os detalhes de uma frase escrita abaixo da assinatura.

Figura 6 – Histograma das concentrações elementares (% em massa) determinado para as diferentes moedas analisadas no período 1830 a 1899 (superior) e 1901 a 1946 (central).

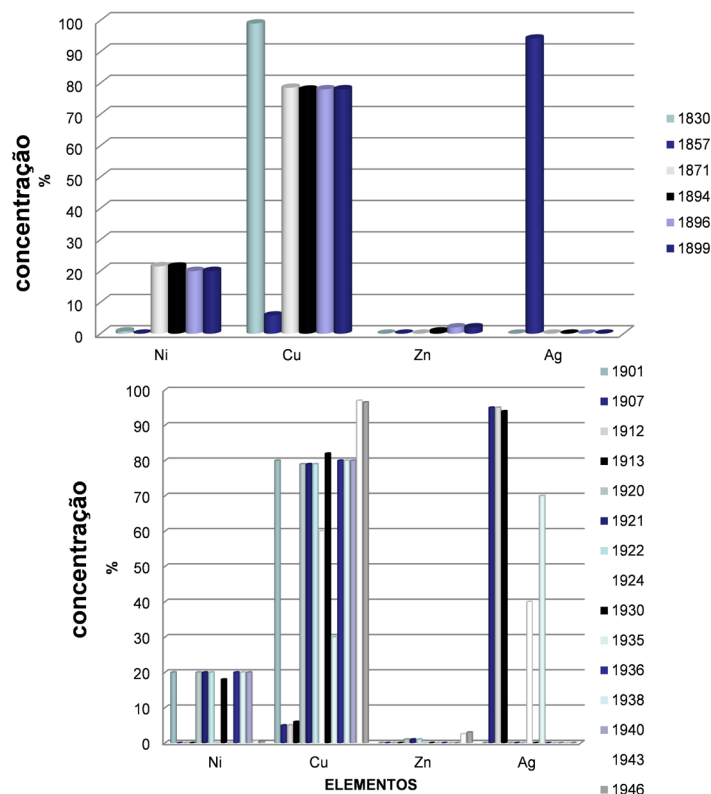


Figura 7 – Imagem de detalhe da assinatura da Obra “Escrava Romana, autor: Oscar P. da Silva (1894). Superior: imagem visível (direita) e de IR (esquerda) antes do restauro, inferior: imagem visível (esquerda) e com IR (direita) após restauro.



Fonte: Acervo da Pinacoteca do Estado de São Paulo (fotos E. Kajiya).

A **fotografia de fluorescência visível com radiação de ultravioleta (UV)**, é uma técnica fotográfica em que é registrada a fluorescência gerada pela radiação UV que incide na pintura. A fluorescência é produzida devido à propriedade que determinadas substâncias tem de absorver uma parte da radiação ultravioleta e re-emitir a radiação fluorescente. Deste modo permitem visualizar informações superficiais da camada pictórica detectando sujidades, fungos, rasgos, fissuras na policromia e áreas retocadas, onde há difícil distinção entre estas e a pintura original. A fluorescência ocorre sobretudo em compostos orgânicos, sendo rara nos inorgânicos. Exemplos de aplicação deste método sendo realizada in situ para análise de obras são mostrados na figura 8.

Figura 8 – Fotografia com luz UV no estudo e análise de obras de arte. Esquerda: imageamento com UV em uma obra particular. Direita: Análise sendo realizada em uma obra do acervo na Pinacoteca do Estado de São Paulo.



A **fotografia com luz rasante**. Outra técnica também auxiliar na caracterização de obras de arte, é capaz de realçar todas as asperezas da superfície, pinceladas, deformações do suporte, relevos (craquelamentos na camada pictórica levantada ou enterrada), fissuras,

grandes devido às possibilidades de identificação dos seus elementos majoritários que podem fornecer informações sobre as fontes de matéria prima e rotas de comércio e indicar os processos e técnicas artísticas ou de fabricação de um objeto. A análise de materiais com diferentes

e fungos. Para a análise com esta técnica utiliza-se a iluminação rasante posicionada tangencialmente à superfície do quadro ou variando a posição da fonte luminosa, isto é, o ângulo do feixe projetado, que permite obter referências precisas sobre o estado de conservação da obra, evidenciando as diversas alterações e permite ainda ajudar na identificação de processos característicos dos artistas como as pinceladas feitas por estes.

Figura 9 – Fotografia com luz visível e com a técnica de luz rasante utilizadas na obra do artista Oscar Pereira da Silva



Fotos E. Kajiya. Acervo da Pinacoteca do Estado de São Paulo.

Conclusões

As vantagens do uso de técnicas analíticas no campo da arte, arqueológicas e do patrimônio cultural são

técnicas como PIXE, XRF, Raman e imageamento são usadas freqüentemente para caracterização de obras de artes nos museus europeus e americanos e agora está sendo também uma prática no Brasil. As técnicas têm permitido uma caracterização ampla das obras de arte dos diferentes museus de São Paulo, e as colaborações com os diferentes museus tem produzido vários trabalhos aumentando, deste modo, a interface entre ciências exatas e aplicações no estudo do patrimônio histórico e cultural.

Agradecimentos

Esta pesquisa é desenvolvida pelo Núcleo de Física Aplicada Ao Estudo do Patrimônio Artístico e Histórico – FAEPAH, apoiado pela Pró-Reitoria de Pesquisa da Universidade de São Paulo, com apoio financeiro também da FAPESP e CNPq. Gostaríamos também de agradecer ao grupo de conservação e restauração de Pinacoteca do Estado de São Paulo em nome de Valéria de Mendonça pela possibilidade de analisar as obras de coleções dessa instituição. Agradeço os diferentes colaboradores e alunos que estão ativamente trabalhando em conjunto nas análises das obras e sistematização das informações. Em particular a E.A.M. Kajiya pelo trabalho de imageamento realizado.

Referências

- AINSWORTH, M. W. From connoisseurship to Technical Art History - The Evolution of the Interdisciplinary Study of Art. **The Getty Conservation Institute Newsletter**, v.20, n. 1, 2005.
- APPOLONI, C. R. Recent developments in atomic/nuclear methodologies used for the study of cultural heritage objects. **AIP Conference Proceeding**, 1529, p. 30-39, 2013, doi: 10.1063/1.4804077.
- BALAS, C. *et al.* A novel hyper-spectral imaging apparatus for the non-destructive analysis of objects of artistic and historic value. **Journal of Cultural Heritage** 4, p. 330s-337s, 2003.
- BANKS, M.; ELPHINSTONE N.; HALL, E.T. Bristol Blue Glass. **Archaeometry**, 6 p. 26-30, 1963.
- CABRAL, J. M. P. **Exame Científico de Pinturas de Cavalete**. Fundação Caloute Gulbenkian Publisher. Disponível em: <<http://www.hdl.handle.net/123456789/214>>. Acesso em: Jan., 2013.
- CAMPOS, P. H. O. V. *et al.* X-ray fluorescence and imaging analyses of paintings by the Brazilian artist Oscar Pereira da Silva. **Radiation Physics and Chemistry**, 95, 362-367, 2014, doi: 10.1016/j.radphyschem.2013.05.029.
- CHIARI, G.; LEONA, M., **The State of Conservation Science**. Disponível em: <http://www.getty.edu/conservation/publications_resources/newsletters/20_2/feature.html>. Acesso em: Jun., 2011.
- EVANS – Evans Analytical Group. Disponível em: <<http://www.eag.com/documents/analytical-resolution-versus-detection-limit-BR004.pdf>>. Acesso em: Fev., 2015.
- GETTENS, R. J.; WEST, E. Fitzhugh Azurite and Blue Verditer. **Studies in Conservation**, 11, p. 54-61, 1966.
- GETTENS, R. J.; KUHN, H.; CHASE, W. T. Lead White. **Studies in Conservation**, 12, p. 125-139, 1967.
- GILARDONI, A. **X-rays in art: physics-techniques**. Italy: Gilardono S.P.A., 1977.
- HALL, E. T. Some Uses of Physics in Archaeology. **Year Book of the Physical Society**, p. 22-34, 1958.
- HALL, E. T.; ROBERTS, G. Analysis of the Moultsford Torc. **Archaeometry**, 5, p. 28-32, 1962.
- HALL, E. T.; BANKS, M. S.; STERN, J. M. Uses of X-ray Fluorescence Analysis in Archaeology. **Archaeometry**, 7, p. 84-89, 1964.
- KÜHN, H. Lead-Tin Yellow. **Studies in Conservation**, 13, p. 7-33, 1968.
- KRAAY, C. M. The Composition of electrum coinage. **Archaeometry**, 1, p. 21-23, 1958.
- LABRECQUE, J. J. *et al.* A simple radioisotope X-ray fluorescence method for provenance studies of archaeological ceramics employing principal components analysis. **Spectrochimica Acta**, Part B53, p. 95-100, 1998.
- LAMFI. Disponível em: <<http://www.if.usp.br/lamfi/>>. Acesso em: Nov. 2011.
- LIMA, S. C. *et al.* Pre-Hispanic ceramics analyzed using PIXE and radiographic techniques. **Nuclear Instruments and Methods in Physics Research**, B 269, p. 3025-3031, 2011.
- LUKICHEVA, K. Artistic expertise and restoration. In: **Conservation and Restoration of pictorial Art**. IIC, Butterworth's, London, 1987. p. 553-554.
- MANCIA, R. **L'esame scientifico delle opera d'arte e il loro restauro**. Molano, Ulrico Hoepli, 1944.
- MÜHLETHALER, B.; THISSEN, J. Smalt. **Studies in Conservation**, 14, p. 47-61, 1969.
- PLESTERS, J. Ultramarine Blue, natural and Artificial, **Studies in Conservation**, 11, p. 62., 1966.
- RIZZUTTO, M. A. *et al.* The External Beam Facility Used to Characterize Corrosion Products in Metallic Statuettes. **Nuclear Instruments and Methods**, B 240, p. 539-553, 2005.

ROSADO, A.; SOUZA, L. A. C.; FRONER G. Y. História da Arte Técnica e Arqueometria: uma contribuição no processo de autenticação de obras de arte. **16° Encontro Nacional da Associação Nacional de Pesquisadores de Artes Plásticas Dinâmicas Epistemológicas em Artes Visuais** – 24 a 28 de setembro de 2007 – Florianópolis

SAETTONE, E. *et al.* Plasma cleaning and analysis of archeological artifacts from Sipán. **Journal of Physics. D, Applied Physics**, USA, v. 36, p. 842-848, 2003.

SUTHERLAND, C. H. V.; HAROLD, M. R. The silver content of Diocletian's early post-reform copper coins. **Archaeometry**, 4, p. 56-61, 1961.