

# UTILIZAÇÃO DE MÉTODOS NÃO DESTRUTIVOS NO PATRIMÔNIO HISTÓRICO: estudo de caso da escultura *O Sepultamento* de Victor Brecheret

USE OF NON-DESTRUCTIVE METHODS IN HISTORICAL HERITAGE:  
A CASE STUDY OF VICTOR BRECHERET'S SCULPTURE THE BURIAL

LUCIANE KUZMICKAS

*Departamento de Mineralogia e Geotectônica, Instituto de Geociências – Universidade de São Paulo  
São Paulo, SP, Brasil  
E-mail: lukuzmickas@gmail.com*

ELIANE APARECIDA DEL LAMA

*Departamento de Mineralogia e Geotectônica, Instituto de Geociências – Universidade de São Paulo  
São Paulo, SP, Brasil  
E-mail: edellama@usp.br*

## RESUMO ABSTRACT

A utilização de métodos não destrutivos é importante na caracterização e definição dos mecanismos de deterioração dos monumentos pétreos, devido à sua natureza não invasiva auxiliar na conservação da obra em estudo, quando da realização de ensaios específicos. No presente trabalho, além do mapeamento das formas de alteração da rocha na obra *O Sepultamento*, foi utilizado um equipamento de ultrassom e um espectrofotômetro para avaliação do seu estado de conservação. A escultura *O Sepultamento*, originalmente chamada *Mise Au Tombeau*, é uma das obras mais importantes do artista plástico Victor Brecheret: premiada no *Salon d'Automne* de Paris em 1923, foi adquirida por Olívia Guedes Penteado, para ornamentação do túmulo do marido no Cemitério da Consolação, em São Paulo, onde permanece até os dias atuais. O mapeamento das formas de alteração da rocha indicou a presença, predominantemente, de alteração cromática e colonização biológica, com a parte posterior da escultura sendo a mais afetada. A análise pontual da velocidade das ondas ultrassônicas evidenciou perda na homogeneidade da rocha neste local. Os dados colorimétricos evidenciaram que a parte frontal da estátua não apresenta descaracterização significativa de cor, enquanto a parte

The use of non-destructive methods is important in the characterization and definition of deterioration mechanisms of stone monuments due to their non-invasive nature and assistance in the conservation of historical monuments. In this study, besides the mapping of the alteration forms of the stone, an ultrasound equipment and a spectrophotometer were used to assess the state of conservation of the tombstone *The Burial (O Sepultamento)*. The sculpture *The Burial*, originally called *Mise Au Tombeau*, is one of the most important works by the artist Victor Brecheret. This sculpture was awarded the *Salon d'Automne* Prize in Paris in 1923, and it was acquired by Olívia Guedes Penteado, for her husband's grave in the Consolation Cemetery in São Paulo, where it remains until now. The mapping of the alteration forms of the stone indicated the predominant presence of chromatic alteration and biological colonization, with the back of the sculpture being most affected. Locally, the velocity of ultrasonic waves showed loss in stone homogeneity. The colorimetric data showed that the front of the statue does not have a significant mischaracterization of colour, while the back has a significant colour change, conditioned by

posterior apresenta significativa alteração cromática, condicionada pelas colonizações biológicas e depósitos de fuligem, dados ratificados pelas análises de microscopia eletrônica efetuadas em amostra de crosta da estátua. Os métodos não destrutivos utilizados no presente estudo mostraram-se adequados para a avaliação do estado de conservação da escultura *O Sepultamento* e espera-se que estes resultados possam ser úteis em possíveis futuros projetos de conservação desta importante obra paulistana.

**Palavras-chave:** Métodos não destrutivos; Cemitério da Consolação; Victor Brecheret; *O Sepultamento*; Conservação de Monumentos

## 1 INTRODUÇÃO

A utilização de métodos não destrutivos é importante na caracterização e definição dos mecanismos de deterioração dos monumentos pétreos. A realização de análises por estes métodos, auxiliam na conservação da obra em estudo, pois sua integridade não é afetada pela realização dos ensaios.

Dentre estes métodos, podem ser citadas as investigações *in situ*, com inspeção visual e mapeamento das formas de intemperismo; determinação

biological colonization and soot deposits, and ratified by analysis of electron microscopy performed on the sample removed from the statue. The non-destructive methods used in this study were suitable for assessing the state of conservation of the sculpture *The Burial*. It is expected that these results will be helpful in possible future conservation projects of this important work of art of the city of São Paulo.

**Keywords:** Non-destructive methods; Consolation Cemetery; Victor Brecheret; *The Burial*; Conservation of Monuments

de velocidade ultrassônica; termografia; uso de radar; esclerometria; espectroscopia Raman; fluorescência de raios X portátil; ensaios com cachimbo; obtenção de imagem por radiação ultravioleta, infravermelho e luz rasante; espectrofotometria e laser scanner 3D.

No presente trabalho, além do mapeamento das formas de alteração da rocha da obra *O Sepultamento* (Figura 1), foram utilizados um equipamento de ultrassom e um espectrofotômetro para avaliação do seu estado de conservação.



**Figura 1** - Escultura *O Sepultamento* de Victor Brecheret.

O ultrassom, equipamento que mede a velocidade de propagação das ondas elásticas na rocha, pode ser utilizado para estimar o grau de alteração da rocha, detectar fissuras no interior de monumentos e também para determinar o grau de eficiência de consolidantes ou outros tratamentos, com avaliação das rochas antes e depois de submetê-las à simulação em câmaras intempéricas. É uma técnica muito usada para essas avaliações em monumentos e edifícios históricos, como pode ser comprovado em Köhler (1988), Topal & Doyuran (1995), Papida et al. (2000), Fitzner (2004), Silva (2005), Marques et al. (2010), Kuzmickas (2013), Gimenez & Del Lama (2014) e Grossi & Del Lama (2015).

O espectrofômetro, equipamento que mede a cor, pode ser empregado de várias maneiras no estudo do patrimônio pétreo, tais como: avaliar a modificação da cor original de uma rocha pela aplicação de consolidantes, antigrafitis, hidrofugantes e biocidas; avaliar a sintonia cromática (ou a falta dela) entre materiais originais e os que foram acrescentados; avaliar o quanto a cor de uma rocha se modificou devido à ação dos agentes intempéricos, como poluição, biocolonização e chuva ácida. Exemplos dessas aplicações podem ser encontrados em Costa & Delgado Rodrigues (1996), Iñigo et al. (1997), GarcíaTalegon et al. (1998), Fort et al. (2000), Feliu et al. (2005), Grossi et al. (2007a,b), Souza et al. (2008), Prieto et al. (2010), Kuzmickas (2013) e Grossi et al. (2015).

A escultura *O Sepultamento*, originalmente chamada *Mise Au Tombeau*, é uma das obras mais importantes do artista plástico Victor Brecheret. Premiada no *Salon d'Automne* de Paris em 1923 (Pellegrini 2004), foi adquirida pela Dona Olívia Guedes Penteadado, no final da década de 1920, para ornamentação do túmulo do marido no Cemitério da Consolação, em São Paulo, onde permanece até os dias atuais (quadra nº35, rua nº35, lotes nº 1 e 2).

A estátua foi construída em dois blocos de rocha, justapostos aparentemente sem qualquer substância ligante. Representa a Pietà e as santas mulheres bíblicas Maria Madalena, Maria de Cleofás e Isabel, prima da mãe de Jesus, e uma quarta mulher, que não consta na Bíblia, que talvez seja uma alusão à D. Olívia, protetora das artes e grande incentivadora dos modernistas,

principalmente de Brecheret. Foi a primeira escultura do artista a apresentar sequencialidade de figuras, estilo mais tarde adotado no Monumento às Bandeiras, localizado no Parque do Ibirapuera em São Paulo, obra mais importante do artista.

Este trabalho propôs-se a avaliar o estado de conservação da obra *O Sepultamento* com utilização de métodos não destrutivos, determinar a rocha constituinte, suas formas de alteração e identificar microorganismos com microscopia eletrônica.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

Para a caracterização do estado de conservação e determinação dos mecanismos de degradação da escultura *O Sepultamento*, foi seguida a metodologia de investigação proposta por Fitzner (2004), que abrange os materiais e métodos descritos a seguir.

### 2.1 Caracterização Petrográfica

A caracterização petrográfica da escultura, assim como da sua base de apoio, a qual corresponde a estrutura do jazigo, foi realizada pela análise macroscópica dos litotipos *in situ*, com auxílio de lupa de mão.

### 2.2 Padrões de Deterioração da Rocha

Para a classificação dos padrões de deterioração da rocha, foi utilizado o atlas do ICOMOS (2008).

### 2.3 Velocidade de Propagação das Ondas Ultrassônicas

A determinação dos tempos de propagação das ondas ultrassônicas foi realizada com o aparelho de ultrassom VMeter III da James Instruments Inc., utilizando transdutores planos de 54 kHz (emissor e receptor com diâmetro de 5 cm) e 150 kHz (emissor e receptor com diâmetro de 2,2 cm). Para acoplagem entre os transdutores e os objetos de estudo foi utilizado gel para ultrassom, produto não gorduroso e hidrossolúvel, composto

por polímero carboxivinílico, propilenoglicol, trietanolamina, conservante e água purificada.

A determinação da distância de propagação da onda ultrassônica foi realizada com o auxílio de trena de precisão, com graduação em milímetro.

A técnica utilizada foi a da transmissão direta (transdutores alinhados de maneira oposta na face do objeto de estudo), conforme norma ABNT NBR 8802/94.

## 2.4 Espectrofotometria

Para a realização das medidas colorimétricas, foi utilizado o espectrofotômetro Konica Minolta 2500d com abertura de 8 mm, fonte de iluminação D65, incluindo região ultravioleta do espectro, componente especular inclusa (SCI) e exclusiva (SCE) e ângulo de observação de 10°. As medidas foram expressas nos espaços de cor CIELab e CIELCh, ambos da CIE (*Commission Internationale de l'Éclairage* – Comissão Internacional de Iluminação), com o tratamento dos dados realizado nos softwares OnColor version 5.4.5.1, Microsoft Excel 2013 e AutoCAD 2014.

## 2.5 Microscopia Eletrônica de Varredura

A análise em microscópio eletrônico de varredura, com espectrômetro de dispersão de energia de raios X (MEV/EDS), foi executada no Laboratório de Microscopia Eletrônica de Varredura do IGc/USP, tendo por finalidade a determinação dos componentes de uma amostra de crosta retirada da escultura, a partir de estudos morfológicos e análises químicas pontuais qualitativas. A amostra retirada foi preparada em *stube*, metalizada com ouro para possibilitar a caracterização do carbono existente, e analisada em Microscópio Eletrônico de Varredura LEO 440I, acoplado com espectrômetro de dispersão de energia de raios X.

## 3 RESULTADOS

### 3.1 Caracterização Petrográfica

A escultura foi elaborada a partir de dois blocos de um mesmo tipo de granito, que possui coloração variável entre cinza nas porções frescas

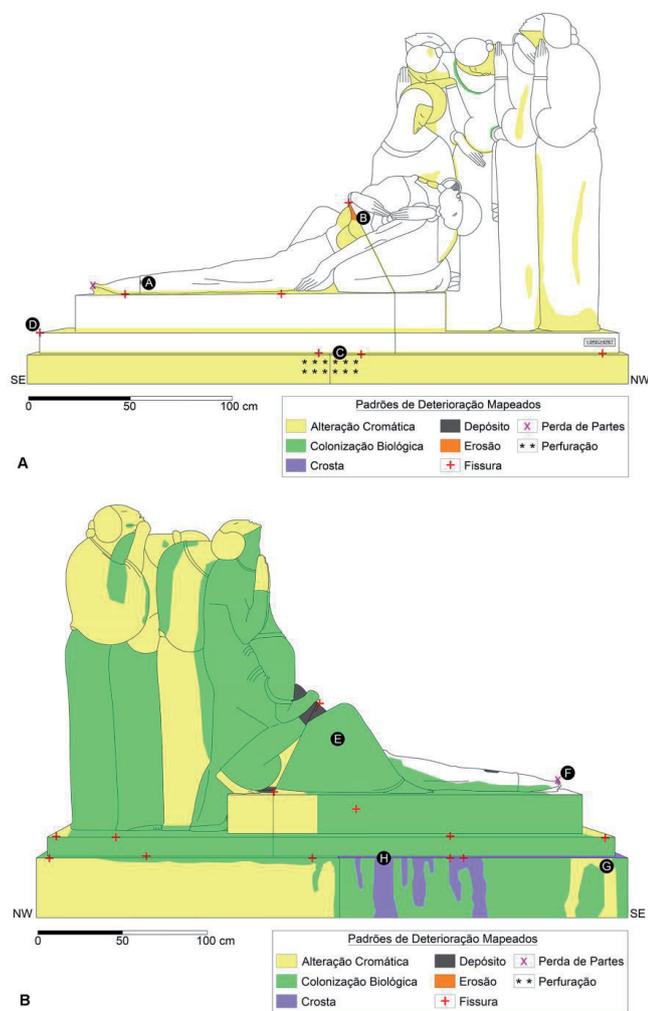
e cinza amarelado nas porções intemperizadas. Apresenta estrutura levemente foliada marcada pela biotita, textura inequigranular fanerítica fina a média (de 0,2 mm a 0,7 mm), com presença de enclaves microgranulares máficos. A mineralogia abrange feldspatos, quartzo e biotita com traços de sulfetos e/ou óxidos.

Na construção da base da escultura, foram utilizados blocos de outro tipo de granito, com coloração variável entre cinza nas porções frescas e cinza amarelado nas porções intemperizadas, estrutura maciça, textura porfirítica (fenocristais com aproximadamente 1,5 cm) de matriz fina a média (aproximadamente 0,2 mm), com presença de enclaves microgranulares máficos. Possui aproximadamente 85% de matriz e 15% de fenocristais. A mineralogia compreende feldspatos, quartzo e biotita, com traços de sulfetos ou óxidos. Segundo Santos (2005), petrograficamente constatou-se que a rocha corresponde a um tonalito, apresentando minerais típicos de alteração hidrotermal, porém com poucos indícios de alteração intempérica.

A identificação visual sugere que o granito utilizado na escultura *O Sepultamento* seja o Granito Itaquera, rocha amplamente utilizada nos monumentos da cidade de São Paulo (Del Lama et al. 2009) e a rocha utilizada na base do jazigo seja o Granito Cinza Mauá. Segundo o arquivo de tombamento do Cemitério da Consolação no CONDEPHAAT, a base do túmulo foi construída pela Marmoraria Porta R. B. Cint e data de 1934.

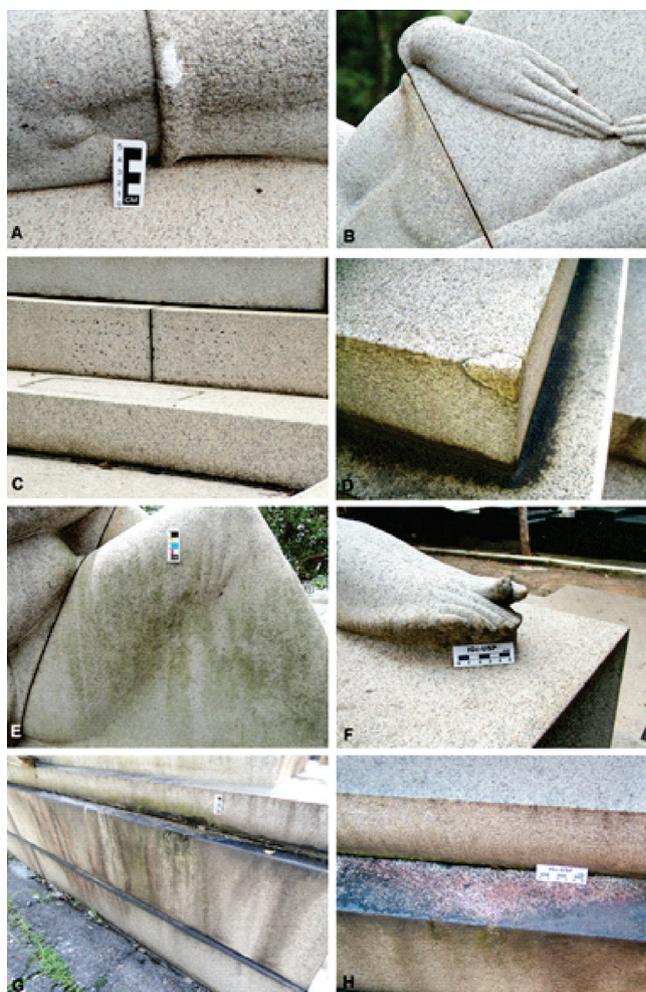
### 3.2 Mapeamento dos Padrões de Deterioração da Rocha

O mapeamento dos padrões de deterioração da rocha identificou a presença de alteração cromática, depósito, crosta, erosão, fissura, perfuração, perda de partes e colonização biológica. A Figura 2 ilustra o mapeamento dos padrões de deterioração realizado e a Figura 3 alguns dos locais mapeados.



**Figura 2** - Mapeamento dos padrões de deterioração da rocha realizado em *O Sepultamento*. A. Parte frontal do jazigo. B. Parte posterior do jazigo.

O mapeamento e acompanhamento do desenvolvimento dos padrões de deterioração da rocha foi realizado inicialmente por Santos (2005), abrangendo o período de dezembro de 2003 a janeiro de 2005. Subsequentemente, Kuzmickas & Del Lama (2009) e Kuzmickas (2013) realizaram estudo similar, nos períodos de dezembro de 2007 a março de 2009 e de março de 2011 a setembro de



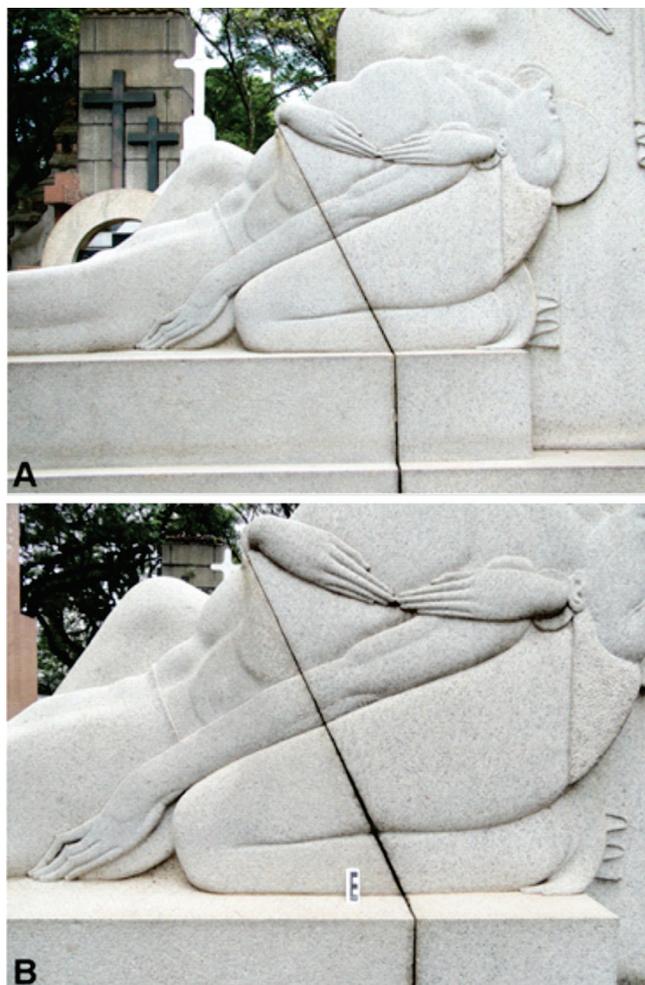
**Figura 3** - Padrões de deterioração mapeados na escultura *O Sepultamento*. A. Depósito. B. Erosão. C. Perfuração. D. Fissura. E. Colonização Biológica. F. Perda de partes. G. Alteração cromática. H. Crosta.

2013, respectivamente. Na comparação visual do atual estado de conservação do jazigo com fotografias dos períodos citados, constata-se aumento nas proporções da área de abrangência da alteração cromática e da colonização biológica (Figura 4), além do desenvolvimento do recalque da estrutura de base que sustenta a estátua (Figura 5).



**Figura 4** - Aumento nas proporções da área de abrangência da alteração cromática e da colonização biológica. A. 2008. B. 2013. C. 2015.

O desenvolvimento dos padrões citados justifica-se pela localização do jazigo. A estátua possui, do seu lado esquerdo, túmulos com mais de 3,0 m metros de altura, que, além de impedirem a circulação de ar na sua parte posterior,

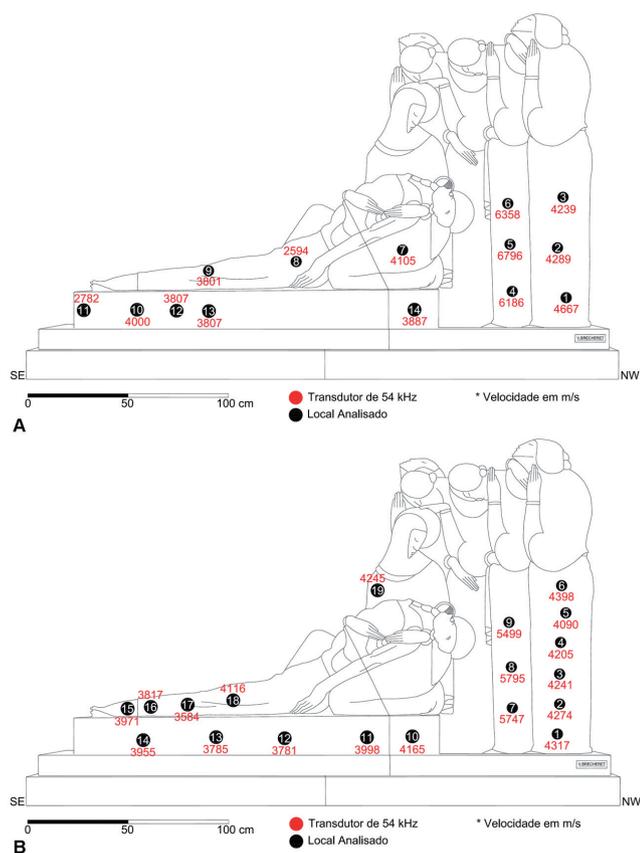


**Figura 5** - Desenvolvimento de recalque na base que sustenta a estátua entre 2008 (A) e 2015 (B).

proporcionam menores momentos de insolação e conseqüentemente a permanência de umidade nesta região, facilitada também pelas características arquitetônicas da escultura, que não facilitam o escoamento da água. Na parte frontal não foi verificada presença de umidade, o que se justifica pela ausência de estruturas que atrapalhem a ventilação e insolação desta região. A umidade é o fator que condiciona o desenvolvimento da colonização biológica, essencialmente na parte posterior da estátua, que em associação com a poluição atmosférica, colabora com a alteração cromática de toda estátua. A ocorrência de recalque da estrutura do jazigo que suporta a estátua deveria ser investigada, pois, além de proporcionar o aparecimento de tensões no local onde os blocos de rocha apresentam-se justapostos, pode provocar colapso do jazigo e conseqüentemente danos irreparáveis a estátua.

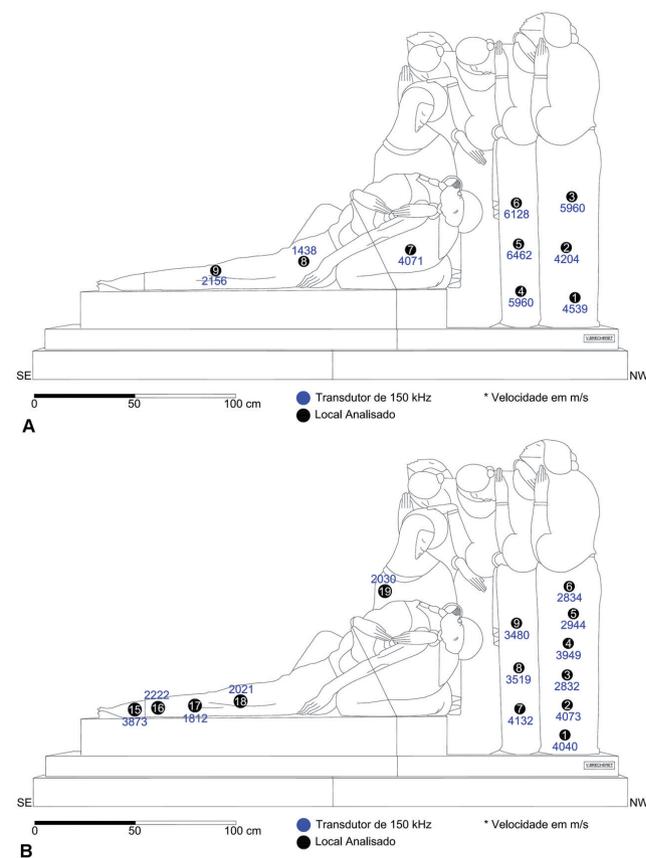
### 3.3 Determinação da Velocidade das Ondas Ultrassônicas

A avaliação da sanidade do granito do jazigo foi realizada com base nas velocidades das ondas ultrassônicas obtidas para os ensaios realizados por toda a estátua em duas datas diferentes (abril e agosto de 2012). O método de transmissão utilizado foi o direto. A localização dos pontos estudados com o transdutor de 54 kHz e os valores das velocidades das ondas ultrassônicas, obtidas em cada ponto, estão representadas na Figura 6.



**Figura 6** - Localização dos pontos estudados e os valores das velocidades das ondas ultrassônicas obtidas para o transdutor de 54 kHz. A. Abril de 2012. B. Agosto de 2012.

A localização dos pontos estudados com o transdutor de 150 kHz e os valores das velocidades das ondas ultrassônicas, obtidas em cada ponto, estão representadas na Figura 7.



**Figura 7** - Localização dos pontos estudados e os valores das velocidades das ondas ultrassônicas obtidas para o transdutor de 150 kHz. A. Abril de 2012. B. Agosto de 2012.

Os valores das velocidades médias das ondas ultrassônicas, obtidos com os transdutores de 54 kHz e 150 kHz pelo método de transmissão direta, são apresentados na Tabela 1.

**Tabela 1** - Valores obtidos para a avaliação realizada pela velocidade das ondas ultrassônicas.

Data	Transdutores	Velocidade Média (m/s)	Desvio Padrão (m/s)	Coefficiente de Variação (%)
Abril de 2012	54 kHz	4380	1250	28
Agosto de 2012	54 kHz	4315	645	15
Abril de 2012	150 kHz	4344	1721	40
Agosto de 2012	150 kHz	3119	854	27

Nota-se que as velocidades médias obtidas com o transdutor de 54 kHz, apresentam menores valores do desvio padrão e conseqüentemente do coeficiente de variação, do que das obtidas com o transdutor de 150 kHz. Este transdutor apresentou grande variação do tempo de percurso da onda pela rocha, para cada pulso emitido pelo aparelho, em um mesmo ponto estudado, mesmo para os locais que não apresentavam indícios de alteração. Desta maneira admitiu-se maior representatividade dos valores obtidos com o transdutor de 54 kHz, notando que as médias das velocidades obtidas em abril e agosto de 2012, portanto com quatro meses de diferença, apresentam valores próximos (4380 m/s e 4315 m/s respectivamente), mesmo com a diferença de aproximadamente 15% no coeficiente de variação da primeira análise para a segunda.

As Figuras 6A e 6B mostram que comparativamente as velocidades obtidas com o transdutor de 54 kHz são superiores às obtidas com o transdutor de 150 kHz para o mesmo ponto estudado. Entretanto, a variação da velocidade de um ponto para outro (aumento ou diminuição sem levar em consideração o valor), desde que o mesmo esteja próximo, apresenta certa correspondência. Isso mostra que análises realizadas com dois transdutores diferentes podem ajudar a evidenciar a perda da homogeneidade da rocha em determinados locais, o que não seria possível com a utilização de dados de apenas um transdutor, pois tais variações poderiam estar associadas com limitações do método utilizado.

Em relação à variação pontual da velocidade, os locais correspondentes à orientação NW da estátua (Pontos 1 ao 6 para a análise realizada em abril de 2012 e pontos 1 ao 9 para a análise realizada em agosto de 2012) apresentam as maiores velocidades, correspondendo à maior integridade

da rocha nos locais analisados. Em contrapartida, locais próximos a orientação SE da estátua (Pontos 9 ao 11 para a análise realizada em abril de 2012 e pontos 14 ao 17 para a análise realizada em agosto de 2012) apresentam as menores velocidades, o que pode corresponder à perda de resistência da rocha, visto que tal região possui umidade constante e apresenta colonização biológica e alteração cromática intensa. Os locais analisados nas partes interiores da estátua (Pontos 4 ao 6 - abril de 2012 e pontos 7 ao 9 - agosto de 2012) apresentam velocidades maiores que as demais, podendo indicar maior consistência da rocha nas partes interiores, que também apresentam maior profundidade, do que nas bordas da estátua.

Os dados obtidos neste monumento apresentam similaridades com os obtidos no *Monumento em Homenagem a Ramos de Azevedo*, situado na Cidade Universitária de São Paulo, e que é constituído pelo mesmo Granito Itaquera (Grossi & Del Lama 2015).

### 3.4 Caracterização Colorimétrica

A mudança na cor da rocha da estátua *O Sepultamento* foi avaliada pela obtenção dos parâmetros colorimétricos nos seguintes locais: parte frontal da estátua; locais da parte posterior que apresentavam tonalidade próxima à da parte frontal; locais da parte posterior que apresentavam tonalidade esverdeada; e locais da parte posterior que foram limpos (após a utilização do ultrassom, as partes analisadas foram limpas com água e escova de cerdas macias para a remoção do gel utilizado nas análises). Os valores da estatística descritiva aplicada aos parâmetros colorimétricos  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $C^*$  e  $h^\circ$ , em função dos locais analisados, estão apresentados na Tabela 2.

**Tabela 2** - Valores da estatística descritiva aplicada aos parâmetros colorimétricos  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $C^*$  e  $h^\circ$ , em função do local estudado.

Locais Analisados	Estatística	$L^*$	$a^*$	$b^*$	$C^*$	$h^\circ$
Parte Frontal (A)	Média	64,2	1,8	9,2	9,4	80,4
	Desvio Padrão	4,8	1,4	3,1	3,3	4,5
Parte Posterior (B)	Média	52,1	-0,2	14,8	14,8	90,6
	Desvio Padrão	4,3	0,5	2,1	2,1	2,0
Parte Posterior com Colonização Biológica (C)	Média	29,0	-1,1	18,4	18,4	93,5
	Desvio Padrão	4,0	0,87	2,5	2,5	2,2
Parte Posterior após Limpeza (D)	Média	64,3	0,8	10,2	10,3	85,6
	Desvio Padrão	3,7	0,5	0,8	0,8	2,7

Os valores das diferenças dos parâmetros colorimétricos  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  e  $C^*$  e diferença total de cor ( $\Delta E$ ), para comparações entre os locais estudados, estão apresentados na Tabela 3.

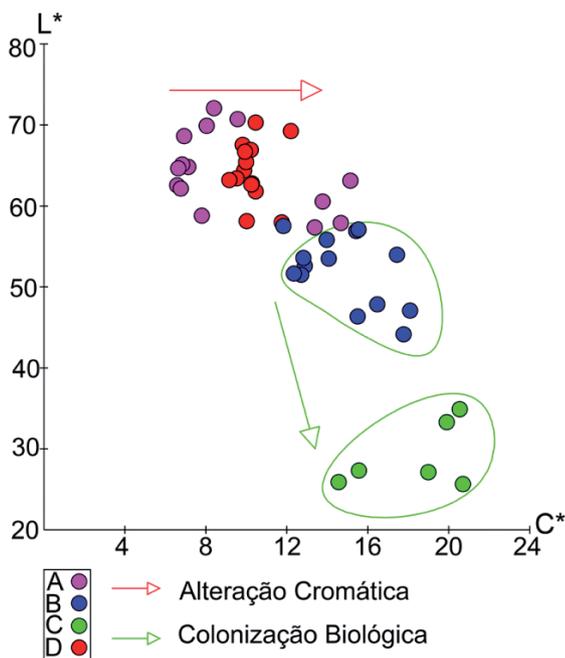
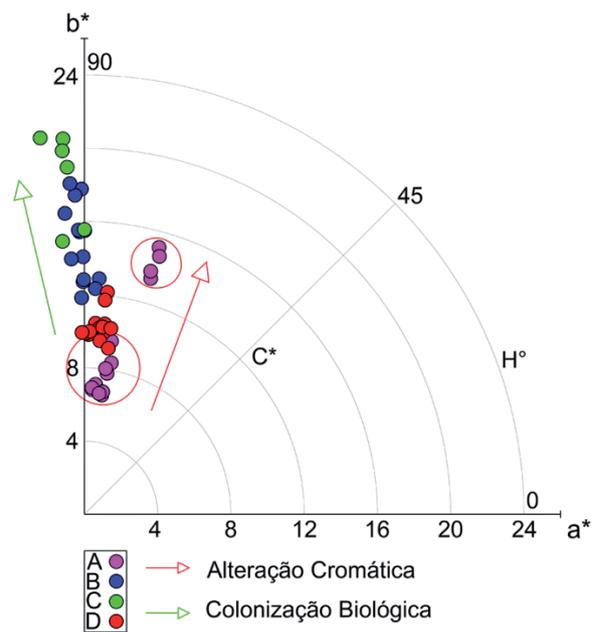
**Tabela 3** - Diferenças dos parâmetros colorimétricos  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  e  $C^*$  e diferença total de cor ( $\Delta E$ ), para comparações entre os locais analisados.

Locais Comparados	$\Delta L^*$	$\Delta a^*$	$\Delta b^*$	$\Delta C^*$	$\Delta E$
B-A	-12	-2	5,6	5,4	13,4
C-A	-35	-3	9,2	9,0	36,4
D-A	0,1	-1	1,0	0,9	1,4
C-B	-23	-1	3,6	3,7	23,4
D-B	12	1	-4,5	-4,5	13,1
D-C	35	2	-8,2	-8,2	36,3

A diferença de luminosidade dos quatro locais analisados já tinha sido diagnosticado visualmente, entretanto constata-se que a limpeza realizada na parte posterior da escultura, proporcionou luminosidade semelhante à da parte frontal da estátua ( $L^*_A = 64,2$ ;  $L^*_D = 64,3$ ;  $\Delta L^*_{D-A} = 0,1$ ). Os locais com colonização biológica apresentam menores valores de luminosidade e maiores valores de saturação que os outros locais analisados. A saturação da cor não apresenta diferenças significativas entre a parte frontal da estátua e os locais limpos na parte posterior ( $\Delta C^*_{D-A} = 0,9$ ).

A parte frontal da estátua e os locais limpos na parte posterior apresentam valores parecidos

para os parâmetros  $a^*$  e  $b^*$  ( $\Delta a^*_{D-A} = -1$ ;  $\Delta b^*_{D-A} = 1$ ). A parte posterior da estátua com colonização biológica e após limpeza apresentam valores de  $a^*$  semelhantes ( $\Delta a^*_{C-B} = -1$ ), enquanto os valores de  $b^*$  são superiores para os locais com colonização ( $\Delta b^*_{C-B} = 3,6$ ). Os valores dos parâmetros colorimétricos  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $C^*$  e  $h^\circ$  foram interpolados em diagrama de dispersão cartesiano ( $C^*$ ,  $L^*$ ) e polar ( $C^*$ ,  $h^\circ$ ), para visualização das variações destes índices em função dos diferentes locais estudadas (Figuras 8 e 9). O diagrama de dispersão dos valores do comprimento de onda em função da quantidade de luz refletida está representado na Figura 10.

**Figura 8** - Diagrama de dispersão cartesiano para as variáveis  $C^*$  e  $L^*$ .**Figura 9** - Diagrama de dispersão polar para as variáveis  $C^*$  e  $h^\circ$ .

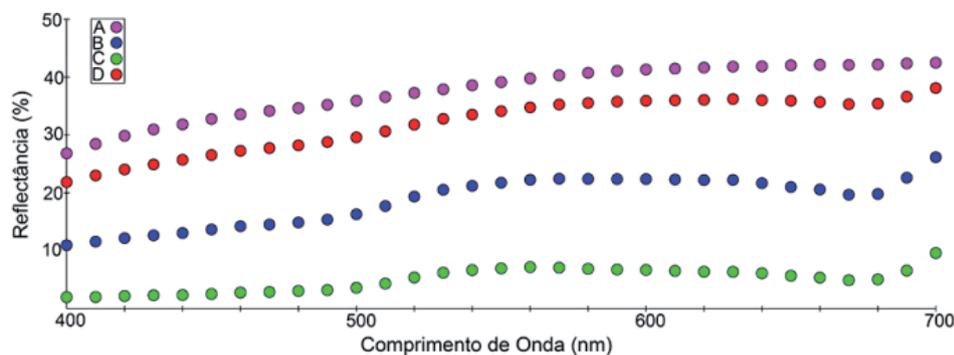


Figura 10 - Gráfico de reflectância espectral.

A análise das Figuras 8 e 9 indica modificação da cor da rocha, principalmente na parte posterior da estátua, cuja ocorrência é devido à proliferação de colonização biológica.

A dispersão dos valores de luminosidade e saturação, para parte posterior da estátua, apresenta tendência à diminuição e a aumento, respectivamente, padrão similar com o observado para a região que efetivamente possui colonização biológica. A dispersão dos valores de  $a^*$  e  $b^*$  evidencia a tendência da parte posterior da estátua ao esverdeamento.

A alteração cromática da rocha, não necessariamente relacionada a atividade biológica, é evidenciada pela diminuição dos valores de saturação para a parte frontal da estátua e para os locais limpos na parte posterior. Estes mesmos locais, segundo a dispersão dos valores de  $a^*$  e  $b^*$ , apresentam tendência ao amarelamento e avermelhamento, entretanto no caso dos locais limpos, nota-se que alguns valores indicam esverdeamento, o que pode indicar que a limpeza realizada não foi capaz de eliminar todos os microorganismos fixados na rocha.

A Figura 10 mostra que os locais limpos e a parte frontal da estátua apresentam os maiores valores de reflectância espectral, com tendência de aumento do comprimento de onda violeta para

o vermelho. A parte posterior da estátua, sem e com colonização biológica, apresentam correspondência em relação ao padrão das curvas, com a parte posterior apresentando valores superiores de reflectância. Ambas as curvas apresentam baixa reflectância até 500 nm (verde), apresentando aumento até 530 nm (verde), estabilizando e ocorrendo pequena diminuição até 680 nm (vermelho), quando apresenta um aumento mais acentuado.

### 3.5 Microscopia Eletrônica de Varredura

Utilizando-se o MEV-EDS, foi analisado um fragmento de crosta retirado da parte posterior da estátua *O Sepultamento*. As análises indicam que a amostra é constituída essencialmente por carbono (Figura 11) e por diversos tipos de microorganismos (Figura 12).

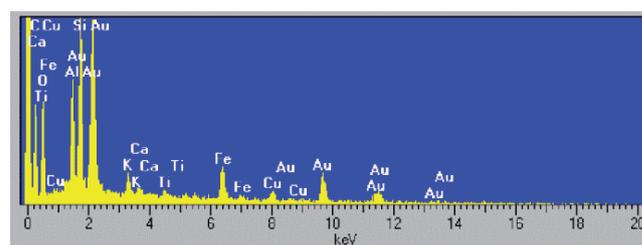
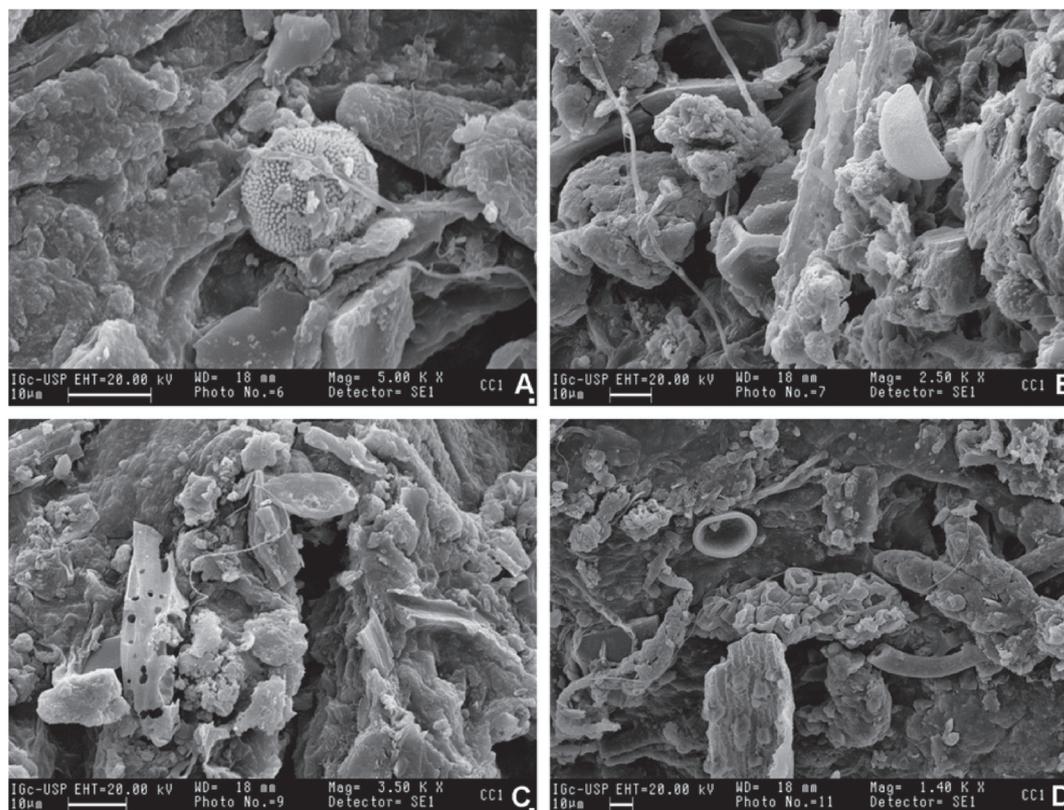
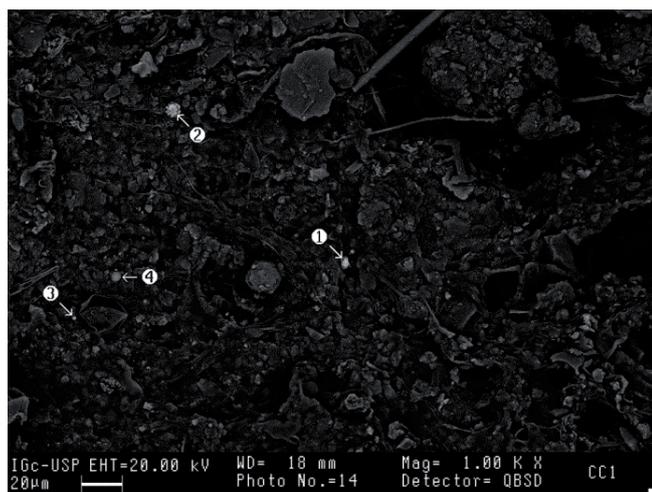


Figura 11 - EDS geral da amostra de crosta retirada da parte posterior da estátua *O Sepultamento*.

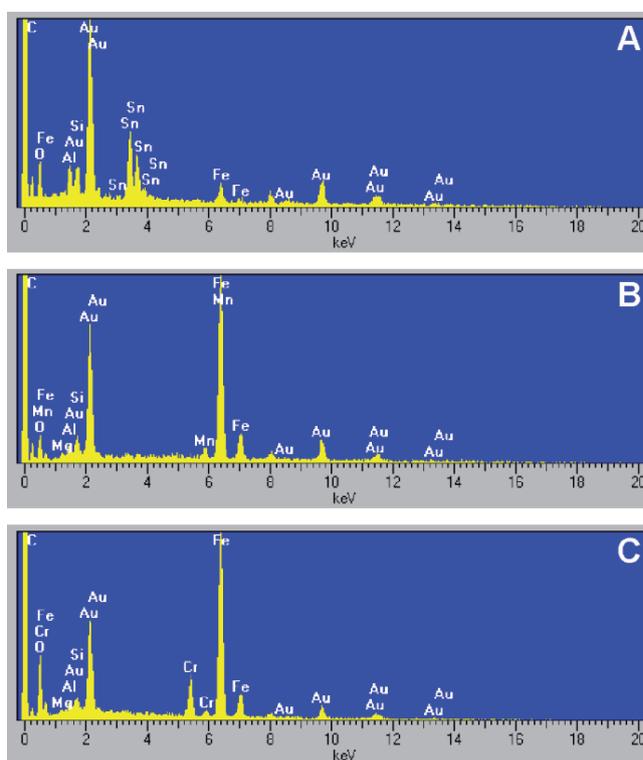


**Figura 12** - Imagens de microorganismos presentes em crosta retirada do jazigo utilizando-se detectores de elétrons secundários. A. Microorganismo com 10 µm de diâmetro. B. Esporo colapsado. EDS apontou Si, Al, O, Ca e Fe. C. EDS apontou Si, O, C, Al e Fe. D. EDS apontou Si, Al, Ca e O.

Foi possível identificar, utilizando-se detectores de elétrons retroespalhados, diversos pontos de tonalidade mais clara e formatos arredondados (Figura 13). As composições obtidas (Figura 14), utilizando-se EDS, indicam a presença de aglomerados de ferro com estanho ou manganês ou cromo, apontando para a possibilidade desses componentes serem oriundos da poluição atmosférica.



**Figura 13** - Imagem de vários pontos de tonalidade mais clara, utilizando-se detectores de elétrons retroespalhados.



**Figura 14** - EDS dos pontos analisados da Figura 13. A. Pontos 1 e 2 constituídos por Fe e Sn. B. Ponto 3 constituído por Fe e Mn. C. Ponto 4 constituído por Fe e Cr.

Foram identificados também minerais provenientes da rocha a qual a crosta estava fixada, como quartzo, zircão e mica, o que pode indicar que as colonizações biológicas identificadas, em associação com a poluição atmosférica, estejam atuando efetivamente na deterioração da rocha da estátua *O Sepultamento*.

#### 4 CONCLUSÕES

A interpretação dos dados obtidos, permite concluir que houve aumento na deterioração da estátua *O Sepultamento* entre os anos de 2007 e 2015.

A análise dos padrões de degradação da rocha indica que a parte frontal da estátua é menos afetada pela colonização biológica e alteração cromática que a posterior, formas de alteração condicionadas pela característica arquitetônica da estátua, que facilita o acúmulo de água e de depósitos, e pela sua localização, próxima a mausoléus de grande porte que proporcionam vários momentos de sombra e diminuição da ventilação, principalmente da parte posterior da estátua. Notou-se a ocorrência de recalque da estrutura do jazigo que comporta a estátua e mereceria uma melhor avaliação. Cabe ressaltar que a falta de manutenção do jazigo, associado com atos de vandalismo, colaboram com a deterioração da escultura.

A análise pontual da velocidade das ondas ultrassônicas evidencia maior perda da homogeneidade da rocha nos locais mais afetados pela alteração cromática e colonização biológica na parte posterior do túmulo. Análises pontuais em locais interiores da estátua, apresentam maiores velocidades comparativamente aos pontos realizados nas bordas, mostrando uma tendência à perda da consistência nas bordas da estátua.

Os dados colorimétricos evidenciaram não apenas modificações nas cores das rochas, mas também os mecanismos envolvidos. A parte frontal da estátua não apresenta descaracterização da cor significativa, entretanto em alguns locais nota-se grande tendência ao amarelamento, conforme padrão visto em outros monumentos da cidade de São Paulo para o Granito Itaquera. Essa tendência merece especial atenção, justamente para evitar que a estátua venha a apresentar no futuro, padrões de deterioração agressivos que acabem

por descaracterizá-la. A parte posterior apresenta significava alteração cromática em função das colonizações biológicas e depósitos de fuligem, ratificados pelas análises de microscopia eletrônica, o que proporciona diminuição da luminosidade da rocha, assim como seu esverdeamento, modificando seu aspecto estético.

Por fim, constata-se que os métodos de análise não destrutivos utilizados aqui foram adequados para a avaliação do estado de conservação da escultura *O Sepultamento* e espera-se que estes resultados possam ser úteis em possíveis futuros projetos de conservação desta importante obra paulistana.

#### Agradecimentos

As autoras agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Paulo (Proc. n. 2007/08329-0, Proc. n. 2009/02519-8 e Proc. n. 2010/13910-7) e à Assessoria de Imprensa do Serviço Funerário da Cidade de São Paulo.

#### REFERÊNCIAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). 1994. NBR 8802: Concreto endurecido - Determinação da velocidade de propagação de onda ultra-sônica, Rio de Janeiro, ABNT, 8p.
- Costa D. & Delgado Rodrigues J. 1996. Assessment of colour changes due to treatment products in heterochromatic stones. In: J. Delgado Rodrigues & D. Costa (eds.) Conservation of granitic rocks. Lisboa, LNEC, p.: 95-101.
- Del Lama E.A., Dehira L.K., Reys A.C. dos. 2009. Visão Geológica dos Monumentos da Cidade de São Paulo. Revista Brasileira de Geociências, 39: 409-420.
- Feliu M.J., Edreira M.C., Martín J., Calleja S., Ortega P. 2005. Study of Various Interventions in the Façades of a Historical Building - Methodology Proposal, Chromatic and Material Analysis. Color: Research & Applications, 30: 382-390.
- Fitzner B. 2004. Documentation and evaluation of stone damage on monuments. In: International

- Congress on Deterioration and Conservation of Stone, 10, Proceedings, p. 667-690.
- Fort R., Mingarro F., López de Azcona M.C., Rodriguez Blanco J. 2000. Chromatic parameters as performance indicators for stone cleaning techniques. *Color: Research & Application*, 25: 442-446.
- García-Talegon J, Vicente M.A., Vicente-Tavera S., Molina-Ballesteros E. 1998. Assesment of chromatic changes due to artificial ageing and/or conservation treatments of sandstones. *Color: Research & Application*, 23: 46-51.
- Gimenez, A.M.S. & Del Lama, E.A. 2014. Comportamento de ondas ultrassônicas no Granito Mauá para a conservação do Monumento às Bandeiras. *Geologia USP - Série Científica, Revista do Instituto de Geociências USP*, 14: 47-60.
- Grossi C.M., Alonso F.J., Eibert R.M., Rojo A. 2007a. Effect of laser cleaning on granite color. *Color: Research and Application*, 32: 152-159.
- Grossi C.M., Brimblecombe P., Eibert R.M., Alonso F.J. 2007b. Colour changes in architectural limestones from pollution and cleaning. *Color: Research and Application*, 32: 320-331.
- Grossi, D. & Del Lama, E.A. 2015. Ultrasound technique to assess the physical conditions of the Monument to Ramos de Azevedo. *REM: Revista Escola de Minas*, 68: 171-176.
- Grossi, D., Del Lama, E.A., García-Talegon J., Iñigo, A.C., Vicente-Tavera S. 2015. Evaluation of colourimetric changes in the Itaquera Granite of the Ramos de Azevedo Monument, São Paulo, Brazil. *International Journal of Conservation Science*, 6: 313-322
- International Council on Monuments and Sites (ICOMOS). 2008. *Illustrated Glossary on Stone Deterioration Patterns*. Monuments & Sites 15. Paris: ICOMOS and ISCS (International Scientific Committee for Stone).
- Iñigo A.C., Vicente-Tavera S., Rives V., Vicente M.A. 1997. Color Changes in the Surface of Granitic Materials by Consolidated and/or Water Repellent Treatments. *Color: Research and Application*, 22: 133-141.
- Köhler W. 1988. Preservation Problems of Carrara-Marble Sculptures in Potsdam-Sanssouci. In: *VIIth International Congress on Deterioration and Conservation of Stone*, 6, Proceedings, p. 653-662.
- Kuzmickas, L. 2013. Estado de conservação dos monumentos pétreos do Cemitério da Consolação, São Paulo. *Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo*, 150 p.
- Kuzmickas L. & Del Lama E. A. 2009. Intemperismo nos monumentos pétreos do Cemitério da Consolação, São Paulo (SP). In: *SBG, Simpósio de Geologia do Sudeste*, 11, Anais, p. 129.
- Marques, E.A.G., Barroso, E.V., Menezes Filho, A.P., Vargas Jr., E.doA. 2010. Weathering zones on metamorphic rocks from Rio de Janeiro - Physical, mineralogical and geomechanical characterization. *Engineering Geology*, 111: 1-18.
- Papida S., Murphy W., May E. 2000. The use of sound velocity determination for the non-destructive estimation of physical and microbial weathering of limestones and dolomites. In: *International Congress on Deterioration and Conservation of Stone*, 9, Proceedings, p. 609-617.
- Pellegrini S.B. 2004. *Em cada canto de São Paulo um encanto de Brecheret*. São Paulo: Editora Nova América, 40 pp.
- Prieto B., Sanmartín P., Silva B., Martínez-Verdú F. 2010. Measuring the color of granite rocks: a propose procedure. *Color: Research & Application*, 35: 368-375.
- Santos M.C.R.dos. 2005. Uma contribuição ao estudo de deterioração de rochas. *Dissertação de Mestrado, Instituto de Pesquisa Tecnológica do Estado de São Paulo, São Paulo*, 118 p.
- Silva, L.C.T.da. 2005. *Avaliação da Degradação de Rochas em Fachadas de Prédios Históricos: Os Exemplos do Teatro Municipal e do Paço Imperial, Cidade do Rio de Janeiro*. *Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro*, 109 p.

Souza J.C., Rolim Filho J.L., Barros M.L.S.C., Lira B.B., Silva S.A., Rieck F.E. 2008. Análise colorimétrica de rochas ornamentais. *Estudos Geológicos*, 18: 55-64.

Topal T. & Doyuran V. 1995. Ultrasonic test of artificially weathered Cappadocian tuff. In: *Preservation and restoration of cultural heritage*, École Polytechnique. p. 205-211.