



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO

Centro de Ciências da Matemática e da Natureza
Instituto de Geociências
Departamento de Geologia

Trabalho de conclusão de Curso

**ESTUDO DA ALTERAÇÃO INTEMPÉRICA ATUANTE EM ESCULTURA EM
MÁRMORE DE JESUS CRISTO E SEU ADORNO QUADRADO, PERTENCENTES
AO MOSTEIRO DE SÃO BENTO, RIO DE JANEIRO, RJ**

CARLA CORRÊA FELIX

Orientadora: Kátia Leite Mansur
(Departamento de Geologia - UFRJ)

Co-orientador: Roberto Carlos da Conceição Ribeiro
(Centro de Tecnologia Mineral)

**JANEIRO, 2018
RIO DE JANEIRO, RJ – BRASIL**

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO

Centro de Ciências da Matemática e da Natureza
Instituto de Geociências
Departamento de Geologia

Trabalho de conclusão de Curso

**ESTUDO DA ALTERAÇÃO INTEMPÉRICA ATUANTE EM ESCULTURA EM
MÁRMORE DE JESUS CRISTO E SEU ADORNO QUADRADO, PERTENCENTES
AO MOSTEIRO DE SÃO BENTO, RIO DE JANEIRO, RJ**

CARLA CORRÊA FELIX

APROVADA POR:

Kátia Leite Mansur

Roberto Carlos da Conceição Ribeiro

Cícera Neysi de Almeida

Patrícia Marques Ferreira de Figueiredo

**JANEIRO, 2018
RIO DE JANEIRO, RJ – BRASIL**

FICHA CATALOGRÁFICA

CF316e Corrêa Felix, Carla
ESTUDO DA ALTERAÇÃO INTEMPÉRICA ATUANTE EM
ESCULTURA EM MÁRMORE DE JESUS CRISTO E SEU ADORNO
QUADRADO, PERTENCENTES AO MOSTEIRO DE SÃO BENTO,
RIO DE JANEIRO, RJ / Carla Corrêa Felix. -- Rio de
Janeiro, 2018.
60 f.

Orientadora: Kátia Leite Mansur.
Coorientador: Roberto Carlos da Conceição Ribeiro.
Trabalho de conclusão de curso (graduação) -
Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto
de Geociências, Bacharel em Geologia, 2018.

1. Rochas ornamentais. 2. alterabilidade de
rocha. 3. Mosteiro de São Bento do Rio de Janeiro.
4. Escultura do busto de Jesus Cristo. I. Leite
Mansur, Kátia, orient. II. da Conceição Ribeiro,
Roberto Carlos, coorient. III. Título.

Elaborado pelo Sistema de Geração Automática da UFRJ com os
dados fornecidos pelo(a) autor(a).

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Leila e Cláudio, que sempre foram meus maiores incentivadores, por toda a forma de amor e apoio que depositaram em mim em todos os momentos da minha vida e, principalmente, por me ensinarem a nunca desistir. À minha irmã, Gabriela, que sempre me ajudou e me apoiou em tudo e a qualquer hora sem medir esforços, e por ser um exemplo para mim desde sempre.

Ao meu namorado, Varlen Pavani Neto, por ter sido tão compreensivo e paciente durante a minha graduação inteira, por toda ajuda, apoio e atenção que nunca vieram de má vontade e por todo companheirismo e amor compartilhados.

Aos meus orientadores, Kátia Leite Mansur e Roberto Carlos da Conceição Ribeiro, por cada conhecimento adquirido, assim como atenção, paciência e apoio. E por mais ocupados que estivessem, sempre arranjaram um tempo para me ajudar quando foi preciso.

Aos meus melhores amigos Taís Proença Cidade e Salomão Serra Nunes por estarem ao meu lado em todos os momentos desde as primeiras semanas de aula, por terem depositado mais confiança em mim do que eu mesma era capaz de depositar, obrigada por ajudarem a tornar minha graduação mais animada e tranquila.

Ao CETEM, pela infraestrutura, equipamentos cedidos e análises realizadas, sem os quais esta dissertação não teria sido possível.

Ao professor Emílio Velloso Barroso do Laboratório de Mecânica e Tecnologia das Rochas (LEMETRO) da UFRJ, pelo empréstimo do tubo de Karsten utilizado nos ensaios.

Ao Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico (IPHAN) pela permissão de realizar os ensaios.

Ao Mosteiro de São Bento pelos materiais cedidos por empréstimo para a realização desse trabalho, e ao Monge Pascoal, pela atenção e boa vontade ao ceder alguns dados de pesquisa para esse trabalho.

À construtora Terreng, especialmente ao Márcio e ao Francisco, que possibilitou a realização desse trabalho.

À todos os amigos e professores que conheci durante esta trajetória acadêmica e que, de alguma forma, me ajudaram a crescer tanto pessoal como profissionalmente.

RESUMO

Felix, C. C. 2018. ***Estudo da alteração intempérica atuante em escultura em mármore de Jesus Cristo e seu adorno quadrado, pertencentes ao Mosteiro de São Bento, Rio de Janeiro, RJ.*** Trabalho Final de Curso, Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Monumentos pétreos expostos à ação do intemperismo podem ser alterados e degradados. Dessa forma, são necessários estudos a respeito de como proteger estas rochas, uma vez que são importantes registros da história da humanidade. O Mosteiro de São Bento do Rio de Janeiro foi fundado em 1590 e apresenta em um de seus jardins uma escultura do busto de Jesus Cristo colocado sobre um adorno quadrado. O Mosteiro está localizado a poucos metros da Baía de Guanabara, no centro da cidade do Rio de Janeiro, local de muito tráfego diário de automóveis. Tanto a escultura do busto de Jesus Cristo quanto o adorno quadrado são afetados pelo intemperismo e sofrem processos de alteração (qualquer modificação do material) e degradação (qualquer modificação física ou química das propriedades intrínsecas da rocha que cause perda de valor ou restrições ao uso). Este trabalho tem por objetivo verificar e entender as alterações que ocorrem nas peças citadas por meio de ensaios não destrutivos, capazes de fornecer dados que auxiliem no entendimento das causas dessas alterações além da caracterização tecnológica das peças. Foram realizadas medições de fluorescência de raio-x (caracterização química), difração de raios-x (caracterização mineralógica), ensaio de cor e brilho, determinação da absorção de água com tubo de Karsten, avaliação da dureza e velocidade ultrassônica. Além disso, as peças foram lavadas com água destilada para avaliação de poluentes e do pH resultante. Os resultados do ensaio de difração de raios-x indicaram que a escultura do busto de Jesus Cristo é composta de mármore (predomínio em calcita) enquanto o adorno quadrado é composto por alabastro (predomínio em gipsita). A análise de lavagem mostrou que tanto a escultura do busto de Jesus Cristo quanto o adorno quadrado apresentam altos teores de enxofre e de cálcio, devido à ação da chuva ácida que desintegra as peças liberando estes elementos presentes nos minerais, já os teores significativos de nitrato estão relacionado a excrementos de animais locais. Quanto ao ensaio de cor e brilho, a escultura do busto de Jesus Cristo apresentou cor cinza escura, indicando que a peça está com sua cor alterada, visto que as cores de mármore são geralmente tendem à cinza clara. No ensaio de absorção de água com o tubo de Karsten, ambas as peças apresentaram muito baixa porosidade e permeabilidade em sua estrutura, são bastante compactas, sem presença de fraturas e poros interconectados por onde a água pudesse penetrar e se mover durante o ensaio. O ensaio de dureza demonstrou que a estátua apresenta, em geral, uma dureza bem maior que o adorno quadrado o que é plausível uma vez que o mármore é mais resistente do que o alabastro. O estudo da velocidade ultrassônica apontou que na estátua há possivelmente a presença de uma fratura ou descontinuidade na sua estrutura interna. Ambos os materiais apresentam degradações, sendo necessária a adoção de medidas para auxiliar em sua geoconservação

Palavras chave: Rochas ornamentais, alterabilidade de rocha, Mosteiro de São Bento do Rio de Janeiro, escultura do busto de Jesus Cristo.

LISTA DE SIGLAS

CETEM	Centro de Tecnologia Mineral
HL	Medida de dureza de Leeb
ICOMOS	Conselho Internacional de Monumentos e Sítios
IPHAN	Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional
PUNDIT	<i>Portable Ultrasonic Non Destructive Digital Indicating Tester</i>

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Fotografia da escultura do busto de Jesus, que sofre alteração intempérica por ficar localizado ao ar livre no Jardim de Jericó, Mosteiro de São Bento.....	13
Figura 2: Fotografia do adorno quadrado, que tem a função de encaixe e suporte da escultura de Jesus.....	14
Figura 3: Mapa de localização Mosteiro de São Bento que fica ao lado da Baía de Guanabara. Está identificado por um retângulo vermelho (fonte: Google Earth ,2016).....	14
Figura 4: Fotografia da maquete do Mosteiro de São Bento, situada no pavilhão em frente à igreja, onde é mostrada a localização da escultura de Jesus Cristo.	15
Figura 5: Esquema com as relações entre a geoconservação e diversidade natural. Fonte: traduzido de Brilha (2016).	18
Figura 6: Fotografia da escultura de Davi de Michelangelo, monumento pétreo composto por mármore (Fonte: Site Museu Virtual).	19
Figura 7: Fotografia da escultura de Pietá de Michelangelo, monumento pétreo composto por mármore (Fonte: Site do wikicommons).	20
Figura 8: Exemplo de crosta negra em escultura (ICOMOS, 2008).....	21
Figura 9: Exemplo de microcarsificação em superfície pétrea (ICOMOS, 2008).	22
Figura 10: Exemplo de <i>pitting</i> em escultura de mármore (ICOMOS, 2008).	23
Figura 11: Pontos onde foram realizados os ensaios no busto de Jesus.	25
Figura 12: Pontos onde foram realizados os ensaios no adorno quadrado.	26
Figura 13: Prensa automática FLUXANA modelo VANEON.	27
Figura 14: Espectrômetro por fluorescência de raios-X <i>PANALYTICAL</i> modelo AXIOS MAX.	27

Figura 15: Equipamento D4 Endeavor da Bruker.	28
Figura 16: Realização de coleta de sujidade com água destilada.	29
Figura 17: pHmetro do modelo digital DH-22 da marca Digimed.....	30
Figura 18: Espectrofotômetro do modelo Spectro Guide Sphere Gloss TR220 da marca BYK.	30
Figura 19: Distribuição espacial das cores.....	31
Figura 20: Busto de Jesus com dois tubos de Karsten localizados em sua base e seu topo....	32
Figura 21: Busto de Jesus com dois tubos de Karsten localizados em sua testa e em seu peito.	32
Figura 22: Adorno Quadrado com tubo de Karsten localizado no Lado B.....	33
Figura 23: Adorno Quadrado com tubo de Karsten localizado na parte inferior.	33
Figura 24: Fotografia do aparelho portátil Equotip 550 medindo a dureza de amostras de mármore brasileiro e mármore Carrara são que foram utilizados para estabelecer um padrão.	34
Figura 25: Fotografia das amostras de mármore brasileiro e mármore Carrara são.	34
Figura 26: Pontos onde foram realizadas as medições de velocidade ultrassônica escultura.	35
Figura 27: Medição da velocidade ultrassônica utilizando o aparelho Pundit PL-200.....	36
Figura 28: Esquema de transmissão direta (ABNT 8802).	36
Figura 29: Ensaio de velocidade ultrassônica realizado em uma amostra de mármore são. ...	37
Figura 30: Mapeamento de danos realizado na escultura de Jesus Cristo.	37
Figura 31: Mapeamento de danos realizado no adorno quadrado.....	39
Figura 32: Difratoograma da escultura do busto de Jesus Cristo.	42
Figura 33: Difratoograma do adorno quadrado.	43

Figura 34: Imagem da assinatura de F. Pettrich na lateral da escultura de Jesus Cristo..... 48

Figura 35: Fotos da escultura de José Clemente Pereira, de 1845. 49

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Legenda do mapeamento de danos realizado na escultura de Jesus Cristo.	38
Tabela 2: Legenda do mapeamento de danos realizado no adorno quadrado.	39
Tabela 3: Análise química (%) – Busto e Base de Jesus Cristo	40
Tabela 4: Análise química (mg.L^{-1}) dos íons encontrados na água de lavagem.....	44
Tabela 5: Valores referentes às médias de L^* , a^* e b^* da escultura do busto de Jesus Cristo.	45
Tabela 6: Valores referentes às médias de L^* , a^* e b^* do adorno quadrado.....	45
Tabela 7: Valores referentes às médias de L^* , a^* e b^* dos mármorees são.....	45
Tabela 8: Valores de velocidade ultrassônica.....	47
Tabela 9: Distribuição de cor e brilho na parte frontal do busto de Jesus Cristo.	54
Tabela 10: Distribuição de cor e brilho na parte posterior do busto de Jesus Cristo.....	55
Tabela 11: Distribuição de cor e brilho na parte superior do busto de Jesus Cristo.....	56
Tabela 12: Distribuição de cor e brilho nos lados A e B do adorno quadrado.....	57
Tabela 13: Distribuição de cor e brilho nos lados C e D do adorno quadrado.....	58
Tabela 14: Medições de dureza no busto de Jesus Cristo.	59
Tabela 15: Medições de dureza nos lados A e B do adorno quadrado.	59
Tabela 16: Medições de dureza nos lados C e D do adorno quadrado.	60

SUMÁRIO

i	CAPA	i
ii	CONTRA CAPA	ii
iii	FICHA CATALOGRÁFICA	iii
iv	AGRADECIMENTOS	iv
v	RESUMO	v
vi	LISTA DE SIGLAS	vi
vii	ÍNDICE DE FIGURAS	vii
viii	ÍNDICE DE FIGURAS	viii
ix	ÍNDICE DE FIGURAS	ix
x	ÍNDICE DE TABELAS	x
xi	SUMÁRIO	xi
xii	SUMÁRIO	xii
1.	INTRODUÇÃO.....	13
1.1.	Localização	14
1.2.	Justificativa e Objetivo.....	15
2.	CONTEXTO TEÓRICO.....	16
2.1.	Rochas Ornamentais.....	16
2.1.1.	Tipos de Rochas Ornamentais	16
2.2.	Geoconservação	17
2.3.	Monumentos Pétreos	19
2.4.	Degradação de monumentos pétreos	20
2.4.1.	Chuva ácida	20
3.	MATERIAIS E MÉTODOS	23
3.1.	Caracterização Química: Fluorescência de Raios-X (FRX)	27
3.2.	Caracterização Mineralógica: Difração de Raio-X (DRX).....	28
3.3.	Água de lavagem	28
3.3.1.	Análise de pH.....	29
3.4.	Cor e brilho.....	30
3.5.	Ensaio de absorção de água com tubo de Karsten.....	31
3.6.	Dureza.....	33

3.7.	Velocidade ultrassônica	34
4.	RESULTADOS	37
4.1.	Mapeamento de danos.....	37
4.2.	Caracterização Química: Fluorescência de Raios-X (FRX)	40
4.3.	Caracterização Mineralógica: Difração de Raio-X (DRX).....	41
4.4.	Água de lavagem	44
4.4.1.	Análise de pH	45
4.5.	Cor e Brilho.....	45
4.6.	Ensaio de absorção de água com tubo de Karsten.....	46
4.7.	Dureza	46
4.8.	Velocidade ultrassônica	47
4.9.	Pesquisa histórica sobre o escultor do Busto de Jesus Cristo.....	47
5.	CONCLUSÕES	50
6.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	52
7.	APÊNDICE A.....	54
8.	APÊNDICE B.....	59

1. INTRODUÇÃO

Monumentos são lugares, prédios, construções ou objetos que se constituem como importantes registros de acontecimentos ocorridos ao longo da história da humanidade. Muitos deles são constituídos por rochas (denominados de monumentos pétreos).

De acordo com Öztürk (1992), a partir do momento em que os monumentos pétreos são expostos ao ar livre, processos de degradação natural como o intemperismo atuam sobre as rochas que os compõem.

Devido ao intemperismo, as rochas sofrem alterações e se degradam, colocando em risco a preservação dos monumentos, podendo ocorrer casos da perda dos mesmos, acarretando em uma perda também dos registros da história da humanidade.

Nesse contexto, pode-se citar o Mosteiro de São Bento, fundado em 28 de Abril de 1590 (Rocha, 1991) e que apresenta em um de seus jardins do claustro (Jardim de Jericó), uma escultura do busto de Jesus Cristo (Figura 1) colocado sobre um adorno quadrado (Figura 2), que estão em processo de alteração e degradação. Serão eles os objetos de estudo do presente trabalho.



Figura 1: Fotografia da escultura do busto de Jesus, que sofre alteração intempérica por ficar localizado ao ar livre no Jardim de Jericó, Mosteiro de São Bento.



Figura 2: Fotografia do adorno quadrado, que tem a função de encaixe e suporte da escultura de Jesus.

1.1. Localização

O Mosteiro de São Bento se localiza no centro da cidade do Rio de Janeiro, no topo do Morro de São Bento, e aproximadamente a 100 metros de distância da Baía de Guanabara, conforme indicado no retângulo vermelho da Figura 3.

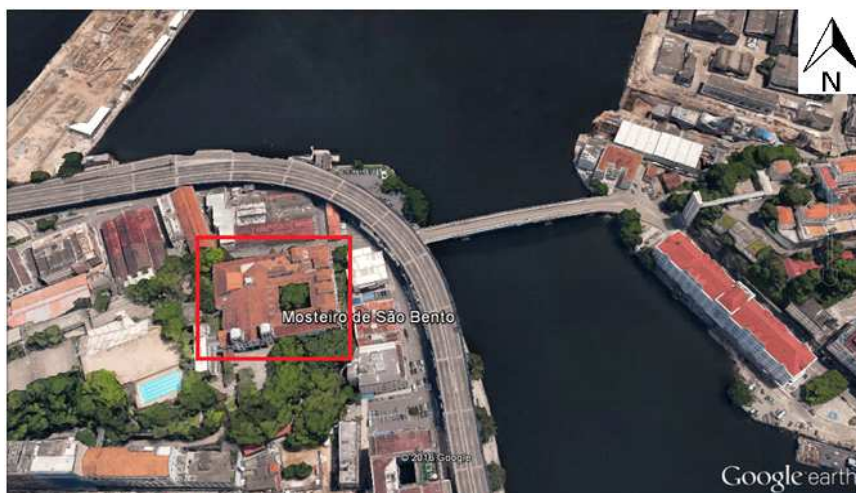


Figura 3: Mapa de localização Mosteiro de São Bento que fica ao lado da Baía de Guanabara. Está identificado por um retângulo vermelho (fonte: Google Earth ,2016).

A Figura 4 apresenta a fotografia de uma maquete feita por Dom João Evangelista Martins Afonso de Paiva, em 2010, que está exposta para exibição nas dependências do

mosteiro. Nela é possível observar o jardim no qual o Busto de Jesus Cristo está localizado, identificado por um retângulo vermelho.



Figura 4: Fotografia da maquete do Mosteiro de São Bento, situada no pavilhão em frente à igreja, onde é mostrada a localização da escultura de Jesus Cristo.

1.2. Justificativa e Objetivo

É reconhecido, segundo a Carta de Veneza (1964), que os monumentos são comprovações das tradições de várias gerações durante a história da humanidade, o que caracteriza sua importância. Por isso, de acordo com o Art. 3º da Carta de Veneza, seu restauro e conservação visa assegurar tanto a obra de arte quanto o testemunho histórico.

Dada a importância da conservação de monumentos, é justificável o entendimento de métodos capazes de dar o suporte na prevenção das alterações e nas ações de restauro para que haja a geoconservação dos monumentos.

Como já citado anteriormente, os objetos em estudo, tanto a escultura do busto de Jesus Cristo quanto o adorno quadrado, estão expostos ao ar livre, no jardim de Jericó. Essa exposição permitiu que o intemperismo atuasse sobre os monumentos e provocasse alterações.

Diante do exposto, o objetivo desse trabalho é verificar as causas das alterações que ocorrem nos monumentos supracitados através de caracterizações tecnológicas, para fornecer dados que possibilitem o entendimento das causas dessas alterações, possibilitando sua geoconservação.

2. CONTEXTO TEÓRICO

2.1. Rochas Ornamentais

Rochas ornamentais, pedras naturais, materiais lapídeos, rochas dimensionadas ou rochas de cantaria são materiais rochosos extraídos e beneficiados a fim de serem utilizados com funções de revestimento, decoração ou estrutura (VIDAL, 2013). A utilização das rochas ornamentais acompanhou a evolução da humanidade e, graças a sua durabilidade, consistem em um registro dessa evolução, da cultura e dos costumes ao longo da história (VIDAL, 2013). No âmbito da conservação são chamadas de pedras naturais.

2.1.1. Tipos de Rochas Ornamentais

Do ponto de vista comercial, as rochas ornamentais e de revestimento são basicamente subdivididas em granitos e mármore. Neste caso, granitos enquadram-se, genericamente, como rochas silicáticas, enquanto os mármore englobam, *sensu lato*, as rochas carbonáticas (CHIODI FILHO e RODRIGUES, 2009). Alguns outros tipos litológicos, incluídos no campo das rochas ornamentais, são os quartzitos, serpentinitos, travertinos, calcários e ardósias, também muito importantes setorialmente. Em geral os serpentinitos, travertinos e calcários são englobados no grupo dos mármore (CHIODI FILHO e RODRIGUES, 2009).

Assim, no meio comercial, muitas vezes uma determinada rocha passa a receber a nomenclatura científica de outra. Por exemplo, muitas vezes a rocha é um gnaisse e no meio comercial ela é nomeada de granito, ou um alabastro nomeado de mármore.

2.1.1.1. Granito

O conceito comercial de granito é muito genérico, abrangendo em sua essência as rochas composicionalmente silicatadas, com mineralogia principal definida a base de feldspatos, feldspatóides e quartzo (MENEZES *et al*, 2005).

Dentre as rochas ígneas, os tipos mais comuns encontrados naturalmente e utilizados como rocha ornamental e de revestimento são os granitos *sensu strictu*, os quartzomonzonitos, os granodioritos e os quartzodioritos. Constituem variedades plutônicas basicamente quartzo-feldspáticas, fanero-cristalinas, com mineralogia acessória representada principalmente por micas (biotita e muscovita) e anfibólios (hornblenda), em proporções variáveis. Apresentam granulação fina a grossa. (MENEZES *et al*, 2005).

2.1.1.2. Mármore

Os mármore, no sentido comercial, incluem rochas composicionalmente carbonáticas, sedimentares e metamórficas. (MENEZES *et al*, 2005). Em função do grau metamórfico, apresentam granulação variando de fina até média. Com qualificação ornamental ou de revestimento, destacam-se os tipos de grão fino, com larga aplicação no setor estatuário (COSTA *et al*, 2000).

Os mármore “Branco Espírito Santo”, “Branco Pighes”, “Branco Thassos” são compostos de dolomita, praticamente sem a presença de outros minerais. O mármore “Carrara”, explorado na cidade da Toscana, na Itália, é muito apreciado pelos arquitetos e consumidores do mundo inteiro. Trata-se de mármore calcítico de cor branca, com vênulas irregulares e heterogeneamente dispostas (FRASCÁ, 2014).

2.1.1.3. Alabastro

Um tipo de rocha frequentemente confundido com o mármore devido à sua feição, e que foi amplamente utilizado na antiguidade para a confecção de monumentos chama-se alabastro.

Existem dois tipos de alabastro. Os geólogos modernos utilizam o termo alabastro para designar uma rocha de grão fino, composto por sulfato de cálcio (gipsita), formados em geral por evaporação da água do mar (PRICE, 2008). Alguns são espeleotemas, estruturas como estalactites e estalagmites, que se formam a partir do gotejo de água saturada com carbonato de cálcio (calcita) de rochas circundantes (PRICE, 2008).

De acordo com Price (2008), a natureza branda do alabastro restringe em grande parte seu uso na arquitetura, porém determina que seja um excelente material utilizado em esculturas. Os alabastros compostos por calcita foram muito usados na antiguidade e já não são tão utilizados atualmente, dada sua origem (em espeleotema), que hoje em dia são protegidos pela legislação ambiental.

2.2. Geoconservação

Devida à preocupação relativa à preservação da diversidade natural tanto em relação a elementos do meio biótico quanto a elementos do meio abiótico, é necessário que haja um conhecimento maior sobre a importância de sua manutenção e conservação.

Na figura 5, é apresentado um esquema realizado por Brilha (2016) no qual explica o conceito da geodiversidade, patrimônio geológico e geoconservação, a partir de uma discussão aprofundada sobre os conceitos na literatura.

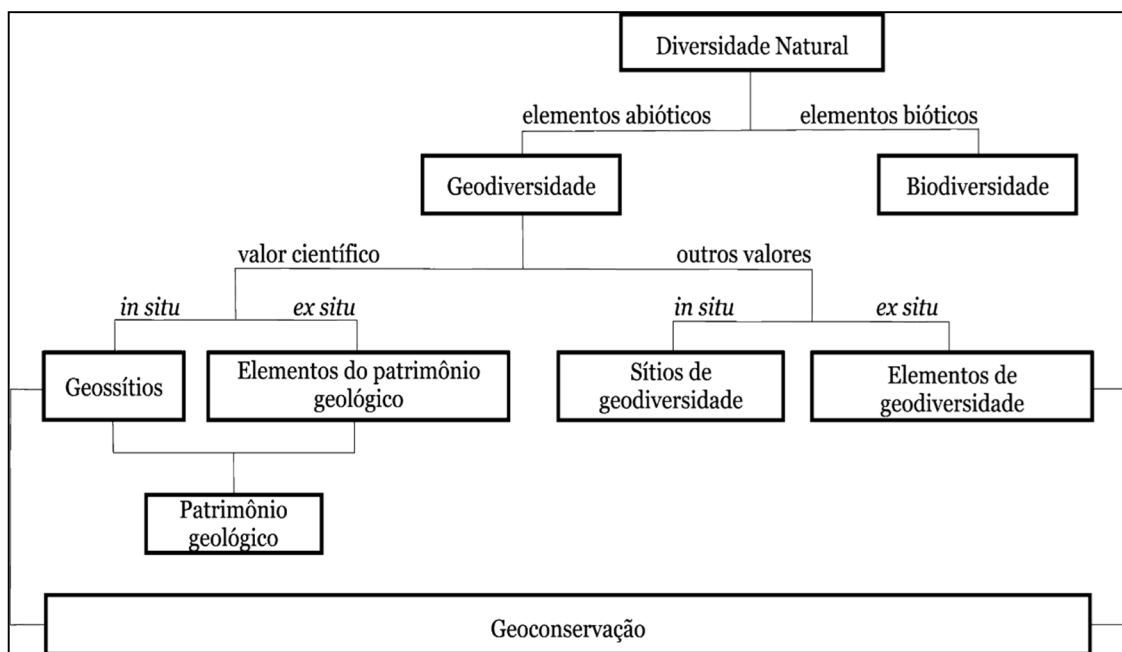


Figura 5: Esquema com as relações entre a geoconservação e diversidade natural. Fonte: traduzido de Brilha (2016).

De acordo com Brilha (2016), a diversidade natural se divide em elementos abióticos (geodiversidade) e elementos bióticos (biodiversidade). A geodiversidade pode conter valor científico (na forma de um afloramento, considerado “in situ”, ou minerais/fósseis que compõem coleções científicas e que são considerados “ex situ”). Além disso, pode conter outros valores que, apesar de não serem científicos, são importantes para a educação, turismo e até mesmo identidade cultural de uma comunidade, como pinturas rupestres que são elementos “in situ” ou esculturas que são consideradas elementos “ex situ”).

Baseado na divisão da geodiversidade realizada por Brilha (2016), a escultura do busto de Jesus Cristo e o adorno quadrado são considerados elementos de geodiversidade (ex situ), ao qual pode ser atribuído valor artístico e histórico.

Estratégias para que haja uma geoconservação são muito importantes para a possível preservação ou manutenção da geodiversidade (Brilha, 2005). Um exemplo dessa estratégia é a disseminação do conhecimento sobre o planeta e, conseqüentemente, sobre a geodiversidade e sua importância para sociedade reconhecer o valor da preservação e garantir uma conservação efetiva.

A partir da conscientização da sociedade perante o meio em que vive e seus elementos pertencentes à geodiversidade, pode-se obter uma valorização para se alcançar a geoconservação, inclusive, de monumentos históricos e culturais.

2.3. Monumentos Pétreos

Como já citado anteriormente, as rochas ornamentais são muito utilizadas para a construção de diversos monumentos ao redor do mundo. Esses monumentos são denominados de monumentos pétreos e têm importante valor histórico e cultural perante a sociedade. Exemplos desses monumentos são estátuas, lápides, igrejas e outras construções históricas. As Figuras 6 e 7 apresentam dois exemplos destes importantes monumentos, representados pelas esculturas de Davi e Pietá esculpidas em mármore por Michelangelo, importante escultor italiano (século XV e XVI).



Figura 6: Fotografia da escultura de Davi de Michelangelo, monumento pétreo composto por mármore¹ (Fonte: Site Museu Virtual).

¹ Disponível em :< <http://museuvirtual.com.br/items/show/3>> Acesso em 16 de novembro de 2017



Figura 7: Fotografia da escultura de Pietá de Michelangelo, monumento pétreo composto por mármore ² (Fonte: Site do wikicommons).

2.4. Degradação de monumentos pétreos

O intemperismo é um processo de degradação natural que pode ser de ordem física ou química, ativado por ação de mecanismos do meio físico ou biológico. Entretanto, a ação antrópica, como poluentes atmosféricos, pode acelerar esse processo.

A ação do intemperismo sobre os monumentos leva à degradação física ou química, ou seja, na própria composição da rocha e à alteração. De acordo com o ICOMOS, Conselho Internacional de Monumentos e Sítios, (2008), a degradação é qualquer modificação física ou química das propriedades intrínsecas da rocha que cause perda de valor ou restrições ao uso enquanto a alteração é qualquer modificação do material. A alteração não implica necessariamente piorar das suas características do ponto de vista conservativo. Por exemplo, um revestimento reversível aplicado sobre uma pedra pode ser considerado uma alteração.

2.4.1. Chuva ácida

Segundo Doehne e Price (2010) a poluição do ar é para muitos o principal culpado pela degradação de rochas. Ela produz chuva ácida e sujidades que são grandes vilões em termos de degradação dos monumentos históricos. Dentre os tradicionais poluentes

² Disponível em : <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/a7/Michelangelo%27s_Pieta_5450.jpg> , Acesso em 28 de novembro de 2017

responsáveis pela chuva ácida estão os óxidos de enxofre, óxidos de nitrogênio e o dióxido de carbono, que são mais atuantes quanto mais urbanos forem os locais.

A chuva ácida pode formar uma feição, de deposição devido à ação do enxofre, chamada crosta negra (Figura 8). De acordo com o glossário ICOMOS (2008), é uma transformação ocorrida na parte superficial da rocha por acumulação de matéria exógena. As crostas são frequentemente de cores escuras (crostas negras). Podem ter uma espessura homogênea, replicando a superfície da rocha, ou uma espessura irregular e perturbar a leitura dos detalhes da superfície de rochas carbonáticas.



Figura 8: Exemplo de crosta negra em escultura (ICOMOS, 2008).

2.4.2. Névoa Salina

Juntamente com a poluição do ar, os sais solúveis representam uma das mais importantes causas de degradação da rocha, causando danos de várias maneiras. O mais importante é o crescimento de cristais de halita dentro dos poros da rocha, que pode gerar tensões suficientes para superar a resistência à tração e tornar a rocha desagregada. A deterioração de muitos dos maiores monumentos do mundo podem ser atribuídos aos sais (DOEHNE e PRICE, 2010).

De acordo com Doehne e Price (2010), há muitas maneiras pelas quais a rocha pode se contaminar com sais. A poluição do ar é uma fonte importante de sulfatos e nitratos, e um

exemplo disto é a névoa salina, comumente conhecida como maresia, onde os sais são carregados pelo vento vindo do mar.

2.4.3. Umidade

A umidade é um fator condicionante do intemperismo, pois quanto maior o teor de umidade presente no ambiente maior será a proliferação de microrganismos no local (GARRIDO,1975). Devido ao fato da umidade estar relacionada à origem de quase todos os mecanismos de alteração, é necessária a caracterização dos materiais pétreos em relação aos processos de condensação e absorção de água (GARRIDO,1975).

Um exemplo de feição formada a partir da dissolução da água é denominada de microcarstificação³, como pode-se observar na Figura 9. As feições causadas por microcarstificação devem-se a uma dissolução parcial e/ou seletiva da superfície de rochas calcárias expostas a escorrências (ICOMOS, 2008)



Figura 9: Exemplo de microcarstificação em superfície pétrea (ICOMOS, 2008).

³ Em Portugal é denominado carsificação, enquanto no Brasil, é carstificação.

2.4.4. Biodeterioração

De acordo com Doehne e Price (2010), a biodegradação das rochas é aquela gerada por organismos vivos tais como fungos, bactérias e plantas, e o seu efeito nos monumentos pode ser prejudicial.

Os organismos contribuem para acelerar a deterioração das rochas, particularmente quando se trata de ambientes com altas taxas de poluição. Dentre os danos causados pela biodegradação estão os de natureza mecânica, gerados pela penetração e expansão de raízes de líquens e plantas nas rochas mediante mudanças na umidade do ambiente; e os de natureza química, por meio da secreção de ácidos quelantes de íons como o cálcio, por exemplo, dentre tantos outros danos (DOEHNE e PRICE, 2010).

Uma feição gerada a partir da ação de microrganismos é denominada de *pitting* (Figura 10). De acordo com o catálogo de alteração ICOMOS (2008) *pitting* são cavidades pouco profundas, milimétricas ou submilimétricas. As cavidades têm geralmente uma forma cilíndrica ou cônica e não estão interligadas.



Figura 10: Exemplo de *pitting* em escultura de mármore (ICOMOS, 2008).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Para entender as alterações que ocorrem nos objetos de estudo, foi necessária a obtenção de dados por meio de ensaios não-destrutivos que foram realizados na superfície, tanto do busto de Jesus Cristo, quanto no adorno quadrado que serve de suporte para ele. O procedimento inicial adotado foi o de marcar os pontos a serem medidos e repetir todas as análises nestes mesmos pontos, permitindo assim uma boa obtenção de informações sobre o estado de conservação das peças. Também foi realizada uma pesquisa sobre a autoria e origem da escultura.

Ressalta-se que todos os equipamentos utilizados para os ensaios pertencem ao CETEM, Centro de Tecnologia Mineral, com exceção do Tubo de Karsten, que foi cedido pelo professor Emílio Velloso Barroso, do Departamento de Geologia da UFRJ.

Na Figura 11 está apresentado o esquema de pontos de medições realizadas no busto, tanto a parte frontal quanto a posterior e o topo. Enquanto que na Figura 12 encontram-se os pontos analisados nos lados do adorno quadrado.

Desenvolveu-se, também, um mapeamento de danos, tanto na escultura do busto de Jesus quanto no adorno quadrado, de acordo com observações visuais fotográficas.



Figura 11: Pontos onde foram realizados os ensaios no busto de Jesus.

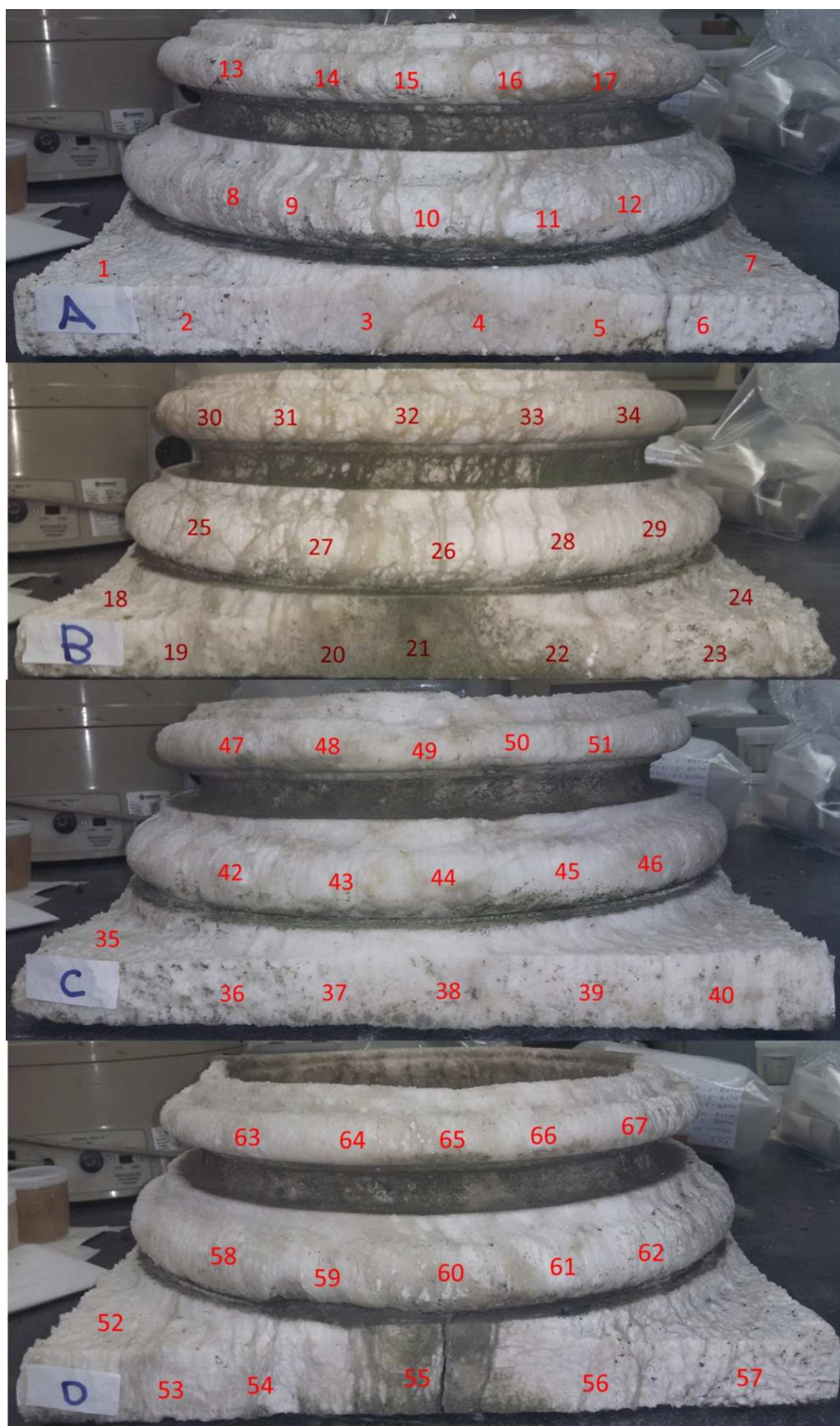


Figura 12: Pontos onde foram realizados os ensaios no adorno quadrado.

3.1. Caracterização Química: Fluorescência de Raios-X (FRX)

Para este ensaio foram necessários 0,4g de amostra que foi retirada do busto por raspagem com espátula da parte de baixo da escultura. Ela foi preparada por fusão a 1050°C no equipamento *VULCAN*, com diluição de 1:17,5. O fundente utilizado foi o tetraborato de lítio.

Já o preparo da amostra da base quadrada foi realizado por meio de prensagem em prensa automática da marca FLUXANA, modelo VANEON (Figura 13) utilizando como aglomerante o ácido bórico na proporção de 1:0,3 a 0,6 g do ácido e 2,0g da amostra.



Figura 13: Prensa automática FLUXANA modelo VANEON.

As pastilhas obtidas foram analisadas em espectrômetro por fluorescência de raios-X *PANALYTICAL* modelo AXIOS MAX (Figura 14), equipado com tubo de Rh. Para obtenção da análise química semi-quantitativa, o espectro gerado a partir da amostra foi avaliado pelo *software Spectraplus v.1.6* no modo *standerlessmethod*, sem curva de calibração específica.



Figura 14: Espectrômetro por fluorescência de raios-X *PANALYTICAL* modelo AXIOS MAX.

3.2. Caracterização Mineralógica: Difração de Raio-X (DRX)

A técnica de difração de raios-X foi realizada por meio do equipamento *D4 Endeavor* da *Bruker* (Figura 15) na coordenação de Análises Químicas e Mineralógicas do CETEM. Foram utilizados aproximadamente 3,0g, tanto do busto quanto do adorno quadrado, para este ensaio.



Figura 15: Equipamento D4 Endeavor da Bruker.

3.3. Água de lavagem

A realização do ensaio de água de lavagem teve como objetivo coletar toda a forma de impureza que estivesse contida na superfície da escultura e do adorno quadrado, para posteriormente, analisá-la por absorção atômica.

Com o auxílio de uma escova de cerdas macias e de um pissete contendo água destilada foi feita a lavagem da escultura e do adorno. Todo o líquido impuro foi coletado em um tabuleiro, como indicado na Figura 16.



Figura 16: Realização de coleta de sujidade com água destilada.

Posteriormente, foi feita filtração à vácuo, que separou o sólido (sujidade) que estava presente no líquido (água de lavagem).

A sujidade retida no filtro de papel foi seca em uma estufa (a 40°C). Sendo posteriormente, avaliado por absorção atômica.

A sujidade e a água de lavagem obtidas do adorno quadrado foram separadas daquelas obtidas da escultura do busto de Jesus Cristo para análise química (a sujidade foi avaliada por absorção atômica e a água de lavagem, por análise de pH).

3.3.1. Análise de pH

As amostras com água de lavagem, tanto do adorno quadrado quanto do busto de Jesus Cristo, foram avaliadas quanto ao valor de pH com um pHmetro do modelo digital *DH-22* da marca *Digimed* (Figura 17).



Figura 17: pHmetro do modelo digital DH-22 da marca Digimed.

3.4. Cor e brilho

Por meio do estudo da colorimetria, pôde-se avaliar as características cromáticas das rochas e determinar as variações que as mesmas podem sofrer quando submetidas a processos de alteração física e/ou química (SOUZA et al, 2008).

O ensaio foi realizado para medir o índice de cor e brilho da escultura do busto de Jesus e do adorno quadrado. Essa medição foi realizada com o auxílio de um espectrofotômetro do modelo *Spectro Guide Sphere Gloss TR220* da marca *BYK*, que é um colorímetro portátil (Figura 18).

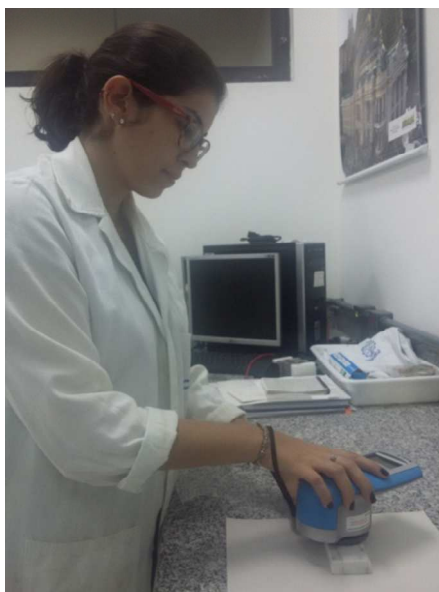


Figura 18: Espectrofotômetro do modelo Spectro Guide Sphere Gloss TR220 da marca BYK.

Os resultados desse ensaio são valores relativos aos eixos a^* , b^* e L^* . Com base na Figura 19, verifica-se que os materiais apresentam 3 valores dispostos nos eixos a , b e L . O eixo a indica a variação de cor do verde ($-a$) ao vermelho ($+a$), o eixo b indica a variação de cor do azul ($-b$) ao amarelo ($+b$), e o eixo L indica a variação do claro (100) ao escuro (0).

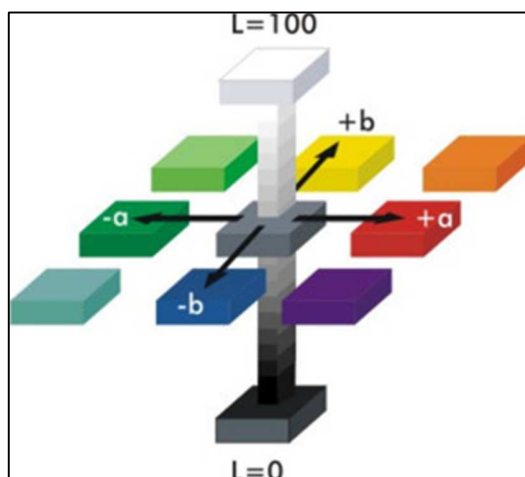


Figura 19: Distribuição espacial das cores.

3.5. Ensaio de absorção de água com tubo de Karsten

Mais conhecido por “Método do Cachimbo” este ensaio mede a quantidade de água absorvida pela superfície do material a ser estudado durante um período de tempo específico, com o intuito de avaliar o grau de resistência desse material. No Brasil este ensaio não é normalizado, mas vem sendo utilizado para determinar a permeabilidade de superfícies e é realizado de acordo com a norma *RILEM* (*Reunion Internationale des Laboratoires D'essais et de Recherchesurles Materiauxetles Constructions*).

O formato do tubo de Karsten se assemelha ao de um cachimbo, e sua porção vertical é graduada de 0 a 5 mL, com espaçamento marcado a cada 1 mL. Possui uma borda plana e circular no fundo com 2,5 cm de diâmetro totalizando aproximadamente 5,0 cm² de área de contato, a qual foi fixada à superfície com a ajuda de alginato odontológico, que é um material moldável e selante.

Para o início do ensaio foi necessário preencher o tubo com água destilada até o nível de referência zero, o tempo foi marcado e a diminuição na altura da água é longo do tempo seria interpretada como indicação da permeabilidade da rocha.

De acordo com a norma *RILEM*, com o auxílio de um cronômetro foram medidos os intervalos de tempo de 0,13; 0,25; 0,50; 1,00; 1,50; 2,00; 3,00; 4,00; 5,00; 10,00; 15,00;

20,00; 30,00; 40,00; 50,00 e 60,00 minutos em que a medida do nível de água observada diminui, representando a absorção da água pela rocha através de suas fraturas e poros.

Em relação ao busto, os primeiros ensaios foram feitos em sua base e em seu topo, conforme a Figura 20.



Figura 20: Busto de Jesus com dois tubos de Karsten localizados em sua base e seu topo. Em seguida foram selecionados os pontos da testa e peito para novo ensaio (Figura 21).



Figura 21: Busto de Jesus com dois tubos de Karsten localizados em sua testa e em seu peito.

Quanto ao adorno quadrado, primeiramente foi feita a colocação do tubo de Karsten no Lado B, de acordo com a Figura 22. Em seguida, o tubo foi posicionado na parte inferior do adorno quadrado, Figura 23.



Figura 22: Adorno Quadrado com tubo de Karsten localizado no Lado B.



Figura 23: Adorno Quadrado com tubo de Karsten localizado na parte inferior.

3.6. Dureza

A dureza do material está ligada diretamente à sua resistência, o que é fundamental para caracterizar alterações de rochas tendo o conhecimento prévio dessa característica nas rochas sãs. Para realizar a medição foi utilizado o aparelho portátil *Equotip 550* da marca *Proceq*, ilustrado na Figura 24.

A medição se deu a partir do método no qual posiciona um dispositivo de impacto na superfície do objeto de estudo, em seguida puxa-se o botão de liberação, que libera uma esfera de metal localizada dentro do aparelho que bate na superfície do objeto de estudo, e calcula a dureza do material naquele ponto que sofreu o impacto da esfera.

A relação entre a velocidade do impacto e a velocidade de impacto multiplicada por 1000 resulta no valor de dureza HL, ou dureza de Leeb (Proceq, 2016)



Figura 24: Fotografia do aparelho portátil Equotip 550 medindo a dureza de amostras de mármore brasileiro e mármore Carrara sãos que foram utilizados para estabelecer um padrão.

Como não há certeza a respeito da origem do mármore que compõe a escultura do busto de Jesus, foram realizados ensaios em dois corpos de amostra de mármore sãos para fins comparativos no resultado de dureza. Os corpos de mármore sãos foram de mármore brasileiro (MB) e o outro de mármore Carrara (MC) (Figura 25).



Figura 25: Fotografia das amostras de mármore brasileiro e mármore Carrara sãos.

3.7. Velocidade ultrassônica

O ensaio foi realizado para medir a velocidade das ondas ultrassônicas que percorrem no interior das rochas, podendo assim confirmar a presença ou a ausência de uma descontinuidade. A velocidade ultrassônica foi medida usando um medidor de velocidade de

pulso ultrassônico PUNDIT (*Portable Ultrasonic Non Destructive Digital Indicating Tester*) do modelo *Pundit PL-200* da marca *Proceq*.

Na Figura 26, estão apresentados os pontos onde foram realizadas as leituras de velocidade ultrassônica. Esses pontos são diferenciados aos demais anteriormente mencionados pois para a obtenção de dados é necessária uma superfície bastante regular. Como o adorno quadrado não obtém nenhuma superfície regular, não foi possível a realização das medições de velocidade ultrassônica.



Figura 26: Pontos onde foram realizadas as medições de velocidade ultrassônica na escultura.

O PUNDIT apresenta a velocidade que a onda ultrassônica percorre do transdutor emissor ao transdutor receptor. Para esse ensaio foi utilizada uma fina camada de gel acoplante nas faces dos transdutores com a função de homogeneizar o contato entre as superfícies em que os transdutores serão posicionados, a não utilização desse gel pode resultar numa perda de sinal (Proceq 2015). Os testes ultrassônicos foram feitos apenas nas partes em que foi possível um contato superficial bom entre o busto e os transdutores, representado na Figura 27.



Figura 27: Medição da velocidade ultrassônica utilizando o aparelho Pundit PL-200.

Os transdutores foram posicionados pelo arranjo denominado transmissão direta (ilustrado na Figura 28) no qual são posicionados em faces opostas. Este arranjo é o mais recomendado na determinação da velocidade de propagação de ondas por meio de um material, pois dessa forma as ondas são recebidas com maior intensidade e precisão (Proceq, 2015). Esse procedimento foi baseado na norma ABNT NBR 8802/13.

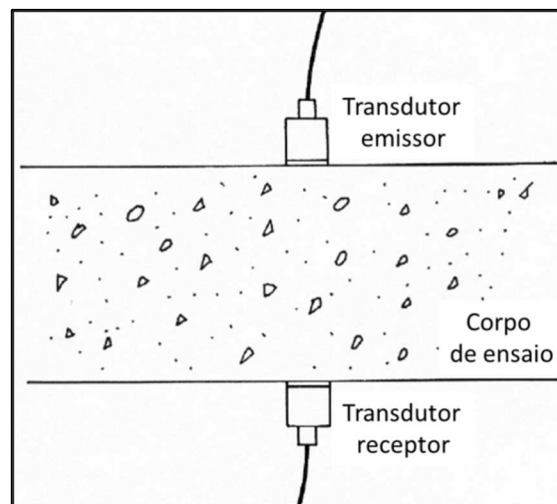


Figura 28: Esquema de transmissão direta (ABNT 8802).

Para fins comparativos no resultado de velocidade ultrassônica, foram avaliados também dois corpos de mármore sãos, um de mármore brasileiro (MB) e o outro de mármore Carrara (MC). Conforme a Figura 29.



Figura 29: Ensaio de velocidade ultrassônica realizado em uma amostra de mármore são.

4. RESULTADOS

4.1. Mapeamento de danos

As figuras 30 e 31 mostram o mapeamento de danos realizado na escultura de Jesus Cristo e no adorno quadrado, as tabelas 1 e 2 contêm as legendas relativa às figuras citadas. As nomenclaturas usadas nas legendas (Tabelas 1 e 2) são baseadas no glossário ICOMOS.



Figura 30: Mapeamento de danos realizado na escultura de Jesus Cristo.

Tabela 1: Legenda do mapeamento de danos realizado na escultura de Jesus Cristo.

Legenda	Alteração
	Sujidade microbiológica
	Manchamento
	<i>Pitting</i>
	Fissura

Observam-se alterações de sujidade microbiológica (fungos) e manchamentos (alteração cromática) em boa parte do busto de Jesus. Ambos são, possivelmente, causados por atividades de microrganismos. É possível, também, observar que em sua parte posterior há uma fissura. Em seu topo, há presença de *pitting*, que são cavidades milimétricas e pouco profundas, que não são significantes a ponto de alterar o volume da escultura.



Figura 31: Mapeamento de danos realizado no adorno quadrado.

Tabela 2: Legenda do mapeamento de danos realizado no adorno quadrado.

Legenda	Alteração
	Manchamento
	Fissura
	Microcarstificação
	Crosta Negra

Observa-se manchamento (alteração cromática) que se encontra nas partes onde há reentrâncias nas laterais do adorno quadrado. São, possivelmente, causadas por atividades de microrganismos. A lateral que apresenta maior alteração cromática é o lado B.

É possível, também, observar que no lado D há uma fissura. O adorno apresenta microcarstificação, que é uma estrutura de dissolução que ocorre a partir do escoamento de água em superfície pétrea. No interior da peça, nota-se predominância da crosta negra que é uma feição de deposição devido à ação do enxofre, causada possivelmente pela chuva ácida.

4.2. Caracterização Química: Fluorescência de Raios-X (FRX)

Na Tabela 3 estão apresentados os resultados da análise química dos fragmentos do busto de Jesus Cristo e do seu adorno quadrado por fluorescência de raios-X, em percentual de óxidos.

Tabela 3: Análise química (%) – Busto e Base de Jesus Cristo

Óxidos Avaliados	Busto de Jesus Cristo (%)	Adorno Quadrado (%)
MgO	0,65	0,03
Al ₂ O ₃	0,33	0,17
SiO ₂	1,70	0,40
P ₂ O ₅	0,11	0,03
SO ₃	0,10	21,90
K ₂ O	0,99	-
CaO	49,90	30,90
TiO ₂	0,10	-
V ₂ O ₅	0,27	-
Fe ₂ O ₃	0,31	0,07
NiO	0,13	-
CuO	0,15	-
ZnO	0,15	-
SrO	0,02	0,09
ZrO ₂	0,84	-

PPC*	44,30	22,00
------	-------	-------

(*PPC): Perda por Calcinação.

Os resultados obtidos demonstram que o busto é composto por 49,90% de óxido de cálcio e possui perda ao fogo de 44,30%, associada à presença de carbonatos, o que demonstra que essa rocha é formada, principalmente, por calcita, permitindo a classificação da rocha ornamental como mármore.

Já o adorno quadrado apresenta teor de 30,90% de óxido de cálcio, 21,90% de óxido de enxofre e 22,00% de perda ao fogo. Isso mostra que a rocha é composta principalmente por sulfato de cálcio, indicando, portanto, ser um alabastro, cujo mineral principal é a gipsita.

4.3. Caracterização Mineralógica: Difração de Raio-X (DRX)

Nas Figuras 32 e 33 estão apresentados os difratogramas das amostras referentes ao busto de Jesus Cristo e a base quadrada, respectivamente. Pode-se observar que o resultado de DRX na amostra do busto de Jesus Cristo apresenta predominância em calcita, além da presença de dolomita e quartzo. Já na amostra do adorno quadrado há predominância em gipsita, além da presença de calcita e hornblenda. Com isso é possível reafirmar que o adorno quadrado é composto por alabastro enquanto a escultura, por mármore. Corroborando os dados obtidos no ensaio de fluorescência de raios-X.

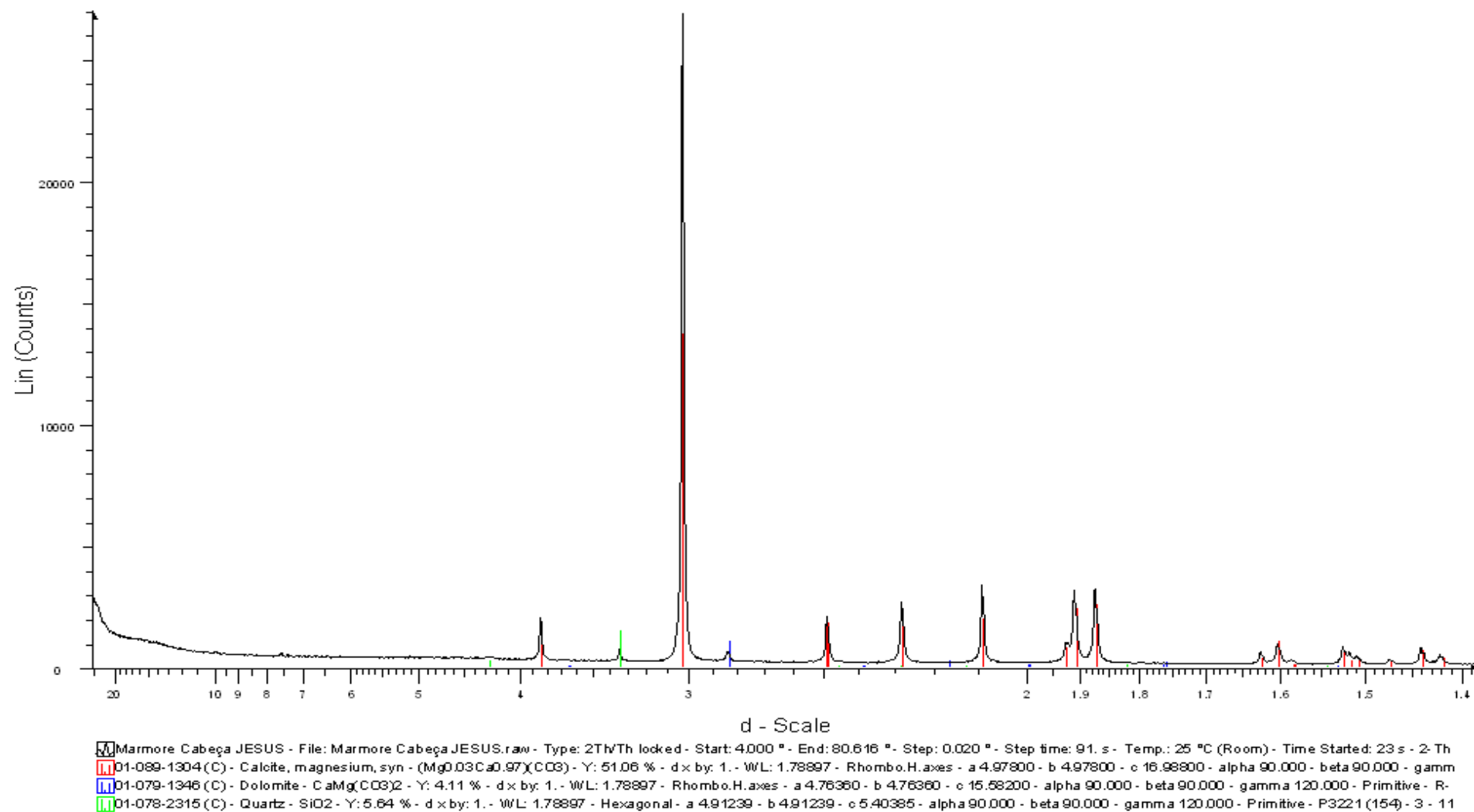


Figura 32: Difratoograma da escultura do busto de Jesus Cristo.

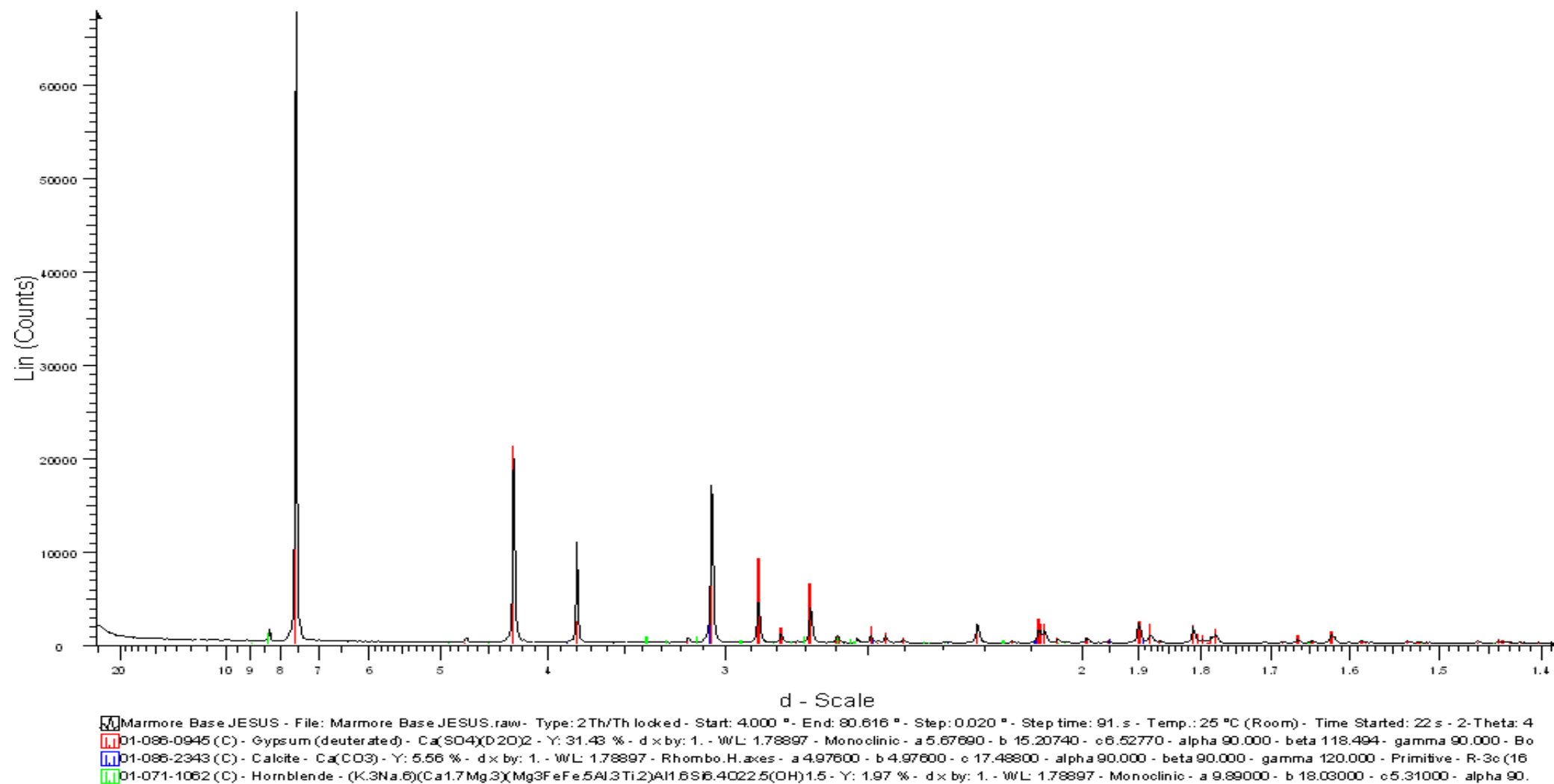


Figura 33: Difratoograma do adorno quadrado.

4.4. Água de lavagem

Na Tabela 4 estão apresentados os resultados da análise química da água de lavagem do busto e do adorno quadrado.

Tabela 4: Análise química (mg.L^{-1}) dos íons encontrados na água de lavagem.

Íons	Busto de Jesus Cristo (mg.L^{-1})	Adorno Quadrado (mg.L^{-1})
Na^+	8,60	3,60
Al^{3+}	< 0,007	< 0,007
Ca^{2+}	33,40	369,00
Cl^-	13,00	6,00
K^+	11,00	0,41
Mg^{+2}	1,20	0,05
S^{2-}	150,00	300,00
$(\text{SO}_4)^{2-}$	40,00	1,00
$(\text{NO}_3)^{-1}$	39,00	17,00

Em relação ao busto, observam-se teores significativos de sódio ($8,60 \text{ mg.L}^{-1}$), de cloreto (13 mg.L^{-1}), frequentemente associados à ação do sal oriundo do mar. Observa-se também teores de nitrato (40 mg.L^{-1}) e potássio ($11,0 \text{ mg.L}^{-1}$), que pode estar relacionado à excrementos de animais que vivem no local. Há também altos teores de enxofre (150 mg.L^{-1}) e teores significativos de cálcio ($33,40 \text{ mg.L}^{-1}$).

Pode-se verificar no adorno quadrado um teores de sódio ($3,60 \text{ mg.L}^{-1}$) e de cloreto ($6,00 \text{ mg.L}^{-1}$), provavelmente associados à ação do sal oriundo do mar. E teor significativo de nitrato ($17,00 \text{ mg.L}^{-1}$), relacionado aos excrementos dos animais. Observa-se também altos teores de enxofre ($300,0 \text{ mg.L}^{-1}$) e de cálcio (aproximadamente $370,0 \text{ mg.L}^{-1}$).

A presença de enxofre, encontrado na escultura e no adorno quadrado, está relacionada à ação da chuva ácida (no caso do adorno pode, também, estar relacionado à própria desintegração sofrida pelo mineral gipsita, que é um sulfato hidratado). O enxofre emanado pelos veículos se deposita nas folhas do jardim e, com a alta umidade local, se associa à água formando ácidos (sulfídrico, sulfúrico e sulfuroso). Esses ácidos degradam lentamente os monumentos.

É possível observar o alto teor de cálcio em ambas as peças, representando a desintegração das próprias rochas (tanto do mármore quanto do alabastro). No adorno

quadrado esse teor é mais abundante que no busto devido ao fato de que o alabastro é uma rocha menos resistente que o mármore, portanto, a sua deseintegração é maior.

4.4.1. Análise de pH

Foram coletadas quatro amostras de água de lavagens do busto de Jesus e da base quadrada para medição do pH. O valor médio do pH obtido para as amostras do busto de Jesus foi de 7,38 que é um pH aproximadamente neutro (7,0), enquanto para as amostras do adorno quadrado foi de 5,55 que é um pH ácido.

Isso está relacionado com a ação de microrganismos que se acumulam no adorno.

4.5. Cor e Brilho

No apêndice A estão apresentadas as tabelas com todos os valores obtidos de cor e brilho do busto de Jesus Cristo e do adorno quadrado.

Nas tabelas 5 e 6, abaixo, são apresentados os valores referentes às médias de L^* , a^* e b^* obtidas nas partes frontal, posterior e inferior do busto e nos lados A, B, C e D do adorno quadrado. Já na tabela 7, é possível observar os valores referentes às amostras sãs do mármore brasileiro e do mármore Carrara. Com a utilização de um conversor *online* (disponível em <https://nixsensor.com/free-color-converter/>), foi possível adquirir as cores referentes a cada parte.

Tabela 5: Valores referentes às médias de L^* , a^* e b^* da escultura do busto de Jesus Cristo.

	L^*	a^*	b^*	Cor
Parte frontal do busto	72,32	1,14	9,9	
Parte posterior do busto	68,56	0,93	12,17	
Parte superior do busto	66,82	2,77	11,54	

Tabela 6: Valores referentes às médias de L^* , a^* e b^* do adorno quadrado.

	L^*	a^*	b^*	Cor
Lado A	73,51	0,99	7,98	
Lado B	68,07	0,68	8,9	
Lado C	70,47	0,63	7,88	
Lado D	71,16	0,45	6,9	

Tabela 7: Valores referentes às médias de L^* , a^* e b^* dos mármore sãos

	L^*	a^*	b^*	Cor
Mármore Branco	80,19	-0,85	-1,6	
Mármore Carrara	84,85	-0,77	-0,96	

Tanto a escultura de Jesus quanto o adorno quadrado, apresentaram cor cinza escuro em seus resultados. Isso mostra que as peças estão com sua cor alterada, visto que as cores de mármore são geralmente tendem a cinza clara e branco.

4.6. Ensaio de absorção de água com tubo de Karsten

Após 3 horas de ensaio, não ocorreu nenhum movimento da coluna d'água tanto para a escultura do busto quanto para o adorno quadrado.

O resultado obtido tanto no busto de Jesus Cristo quanto no adorno quadrado representam a falta de permeabilidade e porosidade dessas rochas. Ambas as rochas são bastante compactas e, portanto, não há presença de fraturas e poros por onde a água pudesse penetrar durante o ensaio.

4.7. Dureza

No apêndice B apresentam-se as tabelas referentes aos valores obtidos de dureza do busto de Jesus Cristo e do adorno quadrado.

A média dos valores das amostras são de mármore brasileiro (MB) e de mármore Carrara (MC) foram respectivamente 552,00 e 519,00 HDL.

A média na parte frontal do busto ficou em 489,07 HDL, na parte posterior 452,19 HDL e na parte superior do busto 411,20 HDL, sendo que a última é visivelmente a mais afetada, apresentando mais manchas escuras e pequenos buracos.

A média do lado A do adorno quadrado ficou em 188,14, lado B em 172,28 HDL, lado C em 164,57 e lado D 201,71 HDL. O adorno quadrado é visivelmente mais frágil que o busto, pois é formado por um material menos resistente também, logo os valores se apresentarem menores do que os valores do busto era o esperado.

Verifica-se que os valores encontrados no adorno quadrado são bem menores que os valores encontrados no busto de Jesus Cristo. No adorno, o menor valor encontrado foi de 110,00 HDL, enquanto que no busto, o menor valor encontrado foi de 333,00 HDL.

4.8. Velocidade ultrassônica

Tabela 8: Valores de velocidade ultrassônica.

Pontos	Velocidade (m/s ⁻¹)
001	3.694
002	3.523
003	1.230
004	2.608
005	2.083
Amostra MC	2.835
Amostra MB	3.389

Na Tabela 8, podem-se verificar os valores obtidos da velocidade ultrassônica tanto na escultura do busto de Jesus quanto nas amostras sãs de mármore brasileiro e de mármore Carrara. Esse ensaio não foi realizado no adorno quadrado pois é necessária uma superfície regular para que os acoplantes fiquem em contato com ela para o resultado ser eficaz. O adorno quadrado apresenta superfícies irregulares nas quais não foi possível a medição da velocidade ultrassônica.

De acordo com os valores obtidos, observa-se que o único valor que se destaca por estar abaixo dos valores dos mármore usados para fins comparativos (a amostra do mármore Carrara apresentou um valor de 2.835 m/s⁻¹ enquanto a amostra do mármore brasileiro apresentou um valor de 3.389 m/s⁻¹) é do ponto “003”. Esse ponto se localiza nas duas extremidades do pescoço da escultura. Esse resultado demonstra que há, possivelmente, uma fratura/descontinuidade na sua estrutura interna nesse local, interferindo na propagação de onda. Mas no geral a escultura encontra-se íntegra.

4.9. Pesquisa histórica sobre o escultor do Busto de Jesus Cristo

A escultura está assinada por “F. Pettrich” (Figura 34), para levantar informações sobre a autoria da escultura do busto de Jesus Cristo, foi necessária uma visita ao Mosteiro de São Bento do Rio de Janeiro. Após a realização de entrevista com o Monge Pascoal, do Mosteiro, foi executada uma pesquisa *online* a respeito do escultor.

Em *sites* de artes foi possível encontrar informações que levaram à uma possibilidade de indicação da autoria da escultura do busto de Jesus, a partir das informações obtidas foi possível localizar outras obras do artista F. Pettrich, foi então realizada uma visita até a Santa Casa, um dos locais onde seria possível encontrar uma escultura de Ferdinand Pettrich.

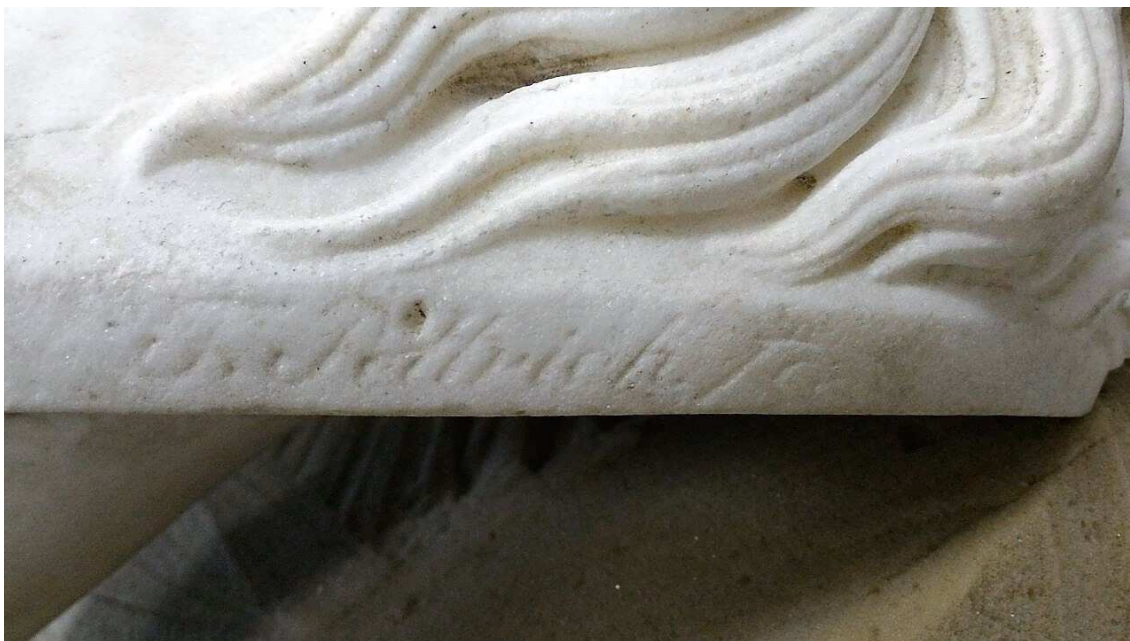


Figura 34: Imagem da assinatura de F. Pettrich na lateral da escultura de Jesus Cristo.

De acordo com as informações obtidas em entrevista com o monge Pascoal, as doações de obras para o Mosteiro de São Bento só passaram a ser documentadas a partir de 1900 e não existem registros anteriores a esse ano. Como a escultura estava assinada com o ano de 1843 e não estava arquivada nos documentos pertencentes ao mosteiro, pode-se inferir que foi doada antes do ano de 1900.

Segundo o site de artes “The Victorian Artists” (http://www.avictorian.com/Pettrich_Ferdinand.html), Ferdinand August Pettrich foi um escultor nascido na Alemanha que já atuou em diferentes países como Estados Unidos (Filadélfia e Washington), Brasil (Rio de Janeiro) e Itália (Roma), onde faleceu em 1872. Ferdinand teria chegado ao Rio de Janeiro em 1844, tendo servido à corte imperial como escultor de Dom Pedro II.

De acordo com Guilherme Auler (disponível em <http://www.artedata.com/crml/crml3001.asp?ArtID=18>), há uma carta existente no Arquivo da Casa Imperial, datada 10 de Abril de 1844 em que Manuel de Araújo Porto Alegre anuncia para Silvestre Pinheiro: *"Daqui a ano e meio, verão os brasileiros a primeira estátua de mármore feita no seu país, e começarão a habituar-se a um espetáculo novo para eles, e uma vez convencidos de sua necessidade hão de ir continuando."* Auler conclui que o escultor citado na carta era Ferninand Pettrich, visto que a primeira estátua de mármore confeccionada no Brasil foi concluída por Pettrich em 1846 e representa o imperador Dom Pedro II.

Guilherme Auler também afirma que a primeira aparição de Ferdinand no Brasil foi em uma exposição na Academia de Belas Artes, em 1843, com a produção de retratos, um grupo da Caridade carregando duas crianças, e com uma cabeça de Jesus Cristo (que, possivelmente, se trata da escultura que é o foco de estudo do presente trabalho).

Ainda de acordo com Guilherme Auler, há esculturas de Pettrich presentes na Escola de Belas Artes, na Santa Casa de Misericórdia, no Museu Imperial, na Câmara de Petrópolis, entre outras. A partir dessa informação foi realizada uma visita à Santa Casa de Misericórdia com o intuito de encontrar alguma estátua feita por Pettrich. Em um salão localizado no interior da Santa Casa foi possível identificar uma escultura de José Clemente Pereira (provedor da Santa Casa) a qual apresenta uma inscrição de autoria de Fernando Pettrich, (Figura 35), que apesar do nome estar traduzido à língua portuguesa, tem o mesmo sobrenome e é datada de 1845, ano bem próximo à escultura do busto de Jesus Cristo (1843).



Figura 35: Fotos da escultura de José Clemente Pereira, de 1845.

5. CONCLUSÕES

De acordo com os resultados apresentados é possível concluir que tanto a estátua de Jesus quanto o adorno quadrado sofreram alterações intempéricas.

A partir dos ensaios de caracterização química (FRX) e caracterização mineralógica (DRX) foi possível constatar que os dois objetos são compostos por materiais diferentes e por esse motivo o adorno quadrado, que é composto por gipsita (denominação alabastro), sofreu mais alterações do que a escultura do busto, que é composta por calcita (denominação mármore).

No ensaio de água de lavagem, ambos os materiais apresentaram teores significativos de nitrato e potássio, que possivelmente estão associados aos excrementos de animais que vivem no local. O busto apresenta teores maiores em relação ao adorno devido ao maior acúmulo de excrementos que ocorre nele (que é visível em sua parte superior). Em ambos os objetos, há teores significativos de cloreto e de sódio, referentes à ação do sal oriundo do mar. Tanto a escultura quanto o adorno quadrado apresentaram teores altos de cálcio e de enxofre. Porém, no adorno esses teores são maiores.

O resultado do alto teor de enxofre no adorno pode ser atribuído tanto à desintegração da própria rocha (formada principalmente por um sulfato de cálcio hidratado) quanto à chuva ácida, resultante de poluentes atmosféricos. Com base nestes resultados, na escultura de Jesus, pode-se atribuir a alteração à ação de chuva ácida. Já o alto teor de cálcio em ambas as peças representam a sua desintegração. Como o alabastro é mais frágil, observa-se mais desintegração do cálcio no adorno quadrado.

Uma comprovação de que o adorno sofria mais com a ação de água que escoava pela escultura do que o busto de Jesus é a presença de microcarsificação, que é uma estrutura de dissolução que ocorre a partir do escoamento de água em superfície pétrea.

O ensaio de dureza demonstrou que a estátua apresenta, em geral, uma dureza bem maior que o adorno quadrado. No adorno, o menor valor encontrado foi de 110,00 HDL, enquanto que no busto, o menor valor encontrado foi de 333,00 HDL. Isto é plausível uma vez que o mármore é mais resistente do que o alabastro. Apesar dessa resistência mais alta da estátua, ainda assim, ela se demonstra afetada pelo intemperismo em razão dos valores do ensaio se apresentarem inferiores aos valores dos testes feitos em amostras de mármore sãos. A média dos valores das amostras sãs de mármore brasileiro (MB) e de mármore Carrara (MC) foram respectivamente 552,00 e 519,00 HDL.

Sua parte superior foi a que mais se mostrou afetada, apresentando uma dureza inferior em relação às outras partes. A média na parte superior do busto é de 411,20 HDL enquanto na parte frontal e na parte posterior as médias da dureza são de, respectivamente, 489,07 HDL e 452,19 HDL. Isso ocorre pelo fato da presença de pequenos buracos que provavelmente foram construídos por microrganismos e essa estrutura pode ser denominada de *pitting*.

O nitrato apontado no ensaio de água de lavagem está relacionado aos excrementos de animais que habitam as plantas no jardim.

No ensaio de absorção de água com o tubo de Karsten, ambos os materiais de estudo se apresentaram bem compactos, sem presença de fraturas e poros por onde a água pudesse penetrar. O resultado representa a falta de permeabilidade dessas rochas. Porém, o estudo da velocidade ultrassônica apontou que na estátua há, possivelmente, uma fratura/descontinuidade na sua estrutura interna.

Devido às degradações apresentadas, tanto no adorno quadrado quanto na estátua do busto de Jesus, é possível constatar que é necessária uma adoção de medidas para geoconservação desses monumentos pétreos. Uma sugestão, dada à importância da estátua, seria sua exposição em ambiente fechado ou coberto, sem ação direta da chuva e de microrganismos sobre ela.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AULER, G. “Carlos Roberto Maciel Levy- Ferdinand Pettrich”. Disponível em: <<http://www.artedata.com/crml/crml3001.asp?ArtID=18>>. Acessado em 12 de março de 2017.
- BRILHA, J. 2005. “Patrimônio Geológico e Geoconservação: a Conservação da Natureza na sua Vertente Geológica”. 1. ed. Braga: Palimage Editores, 190p.
- BRILHA, J. 2016. “*Inventory and Quantitative Assessment of Geosites and Geodiversity Sites: a Review. Geoheritage*”, 2016. Geoheritage 8: 119. DOI 10.1007/s12371-014- 0139-3.
- CASTRO, N. F.; LIMA, E. F.; SANDRINI, I. 2014. “Glossário e dicionário de rochas ornamentais: português, espanhol, inglês, italiano”. CETEM/MCTI.
- COSTA, A. G.; CAMPELLO, M. S.; PIMENTA, V B. 2000. “Rochas ornamentais e de revestimento de Minas Gerais: principais ocorrências, caracterização e aplicações na indústria da construção civil”. Revista Geonomos, [S.l.], jul. 2000. ISSN 24466964. Disponível em: <<http://www.igc.ufmg.br/portaldeperiodicos/index.php/geonomos/article/view/143>>. Acesso em: 28 nov. 2017.
- CHIODI FILHO, C. ;RODRIGUES, E. de P. 2009. “Guia de aplicação de rochas em revestimentos”. Projeto Bula- São Paulo: ABIROCHAS, 118 p.: il. Disponível em < <http://www.sigmadobrasil.com.br/content/pdf/abirochas-Guia-de-Aplicacao-de-Rochas-em-Revestimentos.pdf> > Acesso em 16 de setembro de 2017.
- DE VENEZA, CARTA. 1964. “Carta de Veneza 1964 – Carta internacional sobre a conservação e o restauro de monumentos e sítios”. Cadernos de Sociomuseologia, [S.l.], v. 15, n. 15, junho 2009. ISSN 1646-3714. Disponível em: <<http://revistas.ulsofona.pt/index.php/cadernosociomuseologia/article/view/334>>. Acesso em: 21 de março de 2017.
- DOEHNE, E., PRICE, C. A. 2010. “*Stone Conservation – An Overview of Current Research*”. 2 ed. The Getty Conservation Institute, Los Angeles, 175p. Disponível em: < http://www.getty.edu/conservation/publications_resources/pdf_publications/pdf/stoneconservation.pdf >. Acesso em: 27 de setembro de 2017.
- FRASCÁ, M. H. B. de O. 2014. " Tipos de rochas ornamentais e características tecnológicas” CETEM/MCTI, 2014.
- GARRIDO, J. M. C. .1975. “*Alteración y conservación delos materiales pétreos em los monumentos históricos*”. Cuadernos de prehistoria y arqueologia. ISSN 0211-1608, N° 2 págs. 55-68. Disponível em: <<https://revistas.uam.es/cupauam/article/view/1557>>. Acesso em: 28 nov. 2017.

ICOMOS, Portugal, 2016. Disponível em: <http://iscs.icomos.org/pdf-files/Portuguese_glossary.pdf> Acesso em 28 de novembro de 2017.

MENEZES, R G de; LARIZZATTI, J H. 2005. “Rochas ornamentais e de revestimentos: conceitos, tipos e caracterização tecnológica”. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/media/trab_menezes.pdf> Acesso em 28 de dezembro de 2017

OPERATING INSTRUCTIONS EQUOTIP 550: disponível em: <<https://www.proceq.com/products/list/Category/equotip/>> Acesso em 7 de março de 2017.

ÖZTÜRK, I. 1992. “*Alkoxysilanes consolidation of stone and earthen building materials*”. 214 p. Tese (Mestrado) – Programa de Graduação em Preservação Histórica, Universidade da Pensilvânia, Pensilvânia (Estados Unidos)

PRICE, M T. “Rocas Ornamentais. Indentificación; usos; geologia; asociaciones históricas” 2008. Editora BLUME. Barcelona. 288p.

ROCHA, M R. “O mosteiro de São Bento do Rio de Janeiro 1590- 1990”. Rio de Janeiro: Editora Studio HMF LTDA, 1991. 389p.

VICTORIAN ARTISTS. FREDERICK AUGUST FERDINAND PETTRICH, 1997. Disponível em: < http://www.avictorian.com/Pettrich_Ferdinand.html> Acessado em 12 de março de 2017.

VIDAL, F. V.; AZEVEDO, H. C. A.; CASTRO, N. F. Introdução. In: VIDAL, F. V.; CASTRO, N. F., FRASCÁ, M. H. B O.”Tecnologia de Rochas Ornamentais: pesquisa, lavra e beneficiamento”. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2013. p. 15-42.

7. APÊNDICE A

Tabela 9: Distribuição de cor e brilho na parte frontal do busto de Jesus Cristo.

Pontos	L	a	b
1	77,11	1,02	8,18
2	66,60	2,96	9,90
3	68,03	1,52	11,72
4	77,31	0,61	9,39
5	75,34	1,25	8,48
6	70,84	1,42	11,35
7	79,88	0,58	7,66
8	79,56	0,50	8,04
9	63,31	1,71	9,97
10	70,00	1,37	9,18
11	70,74	1,37	11,30
12	70,87	1,41	10,58
13	65,32	1,48	12,23
14	67,86	0,80	10,86
15	79,76	0,68	7,79
16	80,55	0,30	7,36
17	81,02	0,68	10,02
18	66,64	0,85	10,79
19	62,55	1,36	11,62
20	64,40	0,74	10,23
21	79,34	0,40	7,41
22	74,09	2,06	13,67
Média	72,32	1,14	9,90

Tabela 10: Distribuição de cor e brilho na parte posterior do busto de Jesus Cristo.

Pontos	L	a	b	Pontos	L	a	B
23	64,91	0,72	12,27	49	66,85	1,60	11,55
24	67,32	1,08	12,87	50	62,01	1,77	11,81
25	67,47	0,71	11,06	51	65,72	1,19	11,50
26	66,03	0,05	12,51	52	65,89	1,53	11,17
27	73,74	1,07	11,73	53	65,30	1,61	10,99
28	77,07	0,41	10,19	54	69,53	1,18	10,61
29	65,25	0,31	10,94	55	65,98	1,51	13,43
30	71,73	0,36	10,10	56	68,75	1,14	13,26
31	73,70	1,38	11,42	57	63,83	2,03	11,30
32	76,32	0,41	8,65	58	62,43	1,67	13,69
33	74,74	0,85	10,84	59	62,69	0,97	11,47
34	70,91	1,29	10,66	60	60,19	1,93	9,06
35	68,61	0,97	12,57	61	61,50	0,87	11,35
36	67,49	0,77	14,23	62	63,68	1,53	11,52
37	65,20	1,03	14,15	63	61,84	1,33	10,69
38	69,85	0,81	13,45	64	54,38	1,18	11,04
39	62,96	2,06	14,84	65	65,10	1,69	9,56
40	73,38	0,39	15,81	66	62,83	1,94	13,62
41	61,78	0,70	12,27	67	64,13	1,52	12,51
42	65,01	2,43	12,95	68	57,36	0,57	10,23
43	66,84	0,77	14,26	69	56,78	1,85	10,56
44	68,15	0,18	13,42	70	59,73	2,03	11,06
45	62,65	0,96	10,35	71	54,11	2,23	12,77
46	64,36	1,36	10,45	72	60,16	1,87	8,89
47	70,87	1,48	11,60	73	62,83	1,23	10,28
48	66,14	1,50	12,70	74	65,43	1,65	11,71
				Média	68,56	0,93	12,17

Tabela 11: Distribuição de cor e brilho na parte superior do busto de Jesus Cristo.

Pontos	L	a	b
75	58,77	4,55	13,50
76	67,62	4,67	15,06
77	66,19	2,02	9,15
78	72,22	2,35	11,48
79	68,20	3,83	13,32
80	71,13	3,27	12,44
81	63,13	3,68	12,53
82	71,78	3,68	13,16
83	60,86	2,99	11,69
84	67,38	2,09	10,15
85	64,82	2,37	11,13
86	54,50	3,03	10,75
87	62,29	5,33	19,89
88	70,40	2,46	11,03
89	65,64	1,79	9,41
90	69,52	1,17	9,53
91	70,09	1,68	9,66
92	68,39	2,45	11,70
93	73,86	1,47	9,16
94	59,20	3,35	12,25
95	72,55	1,48	8,55
96	72,55	1,82	9,53
97	65,83	2,14	10,39
Média	66,82	2,77	11,54

Tabela 12: Distribuição de cor e brilho nos lados A e B do adorno quadrado.

Lado A				Lado B			
Pontos	L	a	b	Pontos	L	a	b
1	71,09	0,89	7,75	18	72,94	0,70	5,94
2	78,63	1,39	4,21	19	63,78	1,02	8,45
3	71,21	2,10	8,34	20	59,30	0,48	13,53
4	72,88	2,85	11,61	21	48,67	0,79	12,17
5	64,67	3,32	15,48	22	54,73	1,43	10,74
6	77,01	0,54	6,61	23	67,93	0,33	8,62
7	72,56	0,85	10,92	24	64,24	0,29	8,35
8	68,56	0,10	6,36	25	67,40	0,34	7,63
9	73,72	0,20	6,00	26	72,03	0,67	8,12
10	82,10	0,24	6,43	27	78,14	0,12	6,98
11	70,79	0,34	6,74	28	66,59	0,25	5,89
12	79,58	0,51	6,39	29	73,64	0,17	6,90
13	74,37	0,39	7,23	30	70,41	2,27	12,19
14	70,35	0,87	7,10	31	84,62	0,36	6,82
15	77,90	1,22	7,74	32	71,52	0,75	9,26
16	78,75	0,51	8,19	33	67,40	1,42	10,57
17	65,50	0,43	8,48	34	73,88	0,18	9,08
Média	73,51	0,99	7,98	Média	68,07	0,68	8,90

Tabela 13: Distribuição de cor e brilho nos lados C e D do adorno quadrado.

Lado C				Lado D			
Pontos	L	a	b	Pontos	L	a	b
35	63,67	0,37	7,87	52	69,75	0,28	6,75
36	68,37	1,24	7,16	53	75,56	0,70	8,17
37	72,84	0,41	8,90	54	68,48	0,22	7,05
38	71,30	1,56	8,96	55	66,91	0,58	7,50
39	73,77	0,38	8,28	56	78,47	0,95	6,47
40	69,55	0,68	10,48	57	69,15	0,51	6,05
41	69,98	0,31	6,14	58	64,78	0,32	6,66
42	63,23	0,84	10,27	59	66,05	0,93	7,15
43	72,68	0,40	8,50	60	66,90	0,40	7,58
44	72,50	0,90	9,62	61	71,24	0,36	7,35
45	71,50	0,48	5,49	62	77,49	0,11	6,49
46	61,58	0,88	4,48	63	71,56	0,18	7,37
47	78,89	0,36	7,07	64	74,59	0,19	6,79
48	79,59	0,29	7,25	65	63,33	0,67	6,46
49	71,56	0,17	9,15	66	78,95	0,57	6,31
50	69,68	0,58	7,85	67	75,41	0,20	6,25
51	67,33	0,81	6,49	Média	71,16	0,45	6,90
Média	70,47	0,63	7,88				

8. APÊNDICE B

Tabela 14: Medições de dureza no busto de Jesus Cristo.

Parte frontal		Parte posterior		Topo	
Ponto	Medições (hdl)	Ponto	Medições (hdl)	Ponto	Medições(hdl)
2	481	34	501	83	464
4	571	39	427	88	401
5	536	33	503	84	404
6	520	40	478	80	423
7	512	35	462	85	364
21	523	36	476		
22	574	37	477		
14	428	38	497		
16	494	27	497		
15	543	26	429		
13	472	24	529		
19	411	42	457		
10	333	48	361		
9	449	71	451		
		65	342		
		59	348		

Tabela 15: Medições de dureza nos lados A e B do adorno quadrado.

Lado A		Lado B	
Ponto	Medições (hdl)	Ponto	Medições (hdl)
2	207	19	204
4	309	21	165
6	198	23	150
8	168	27	169
10	186	28	158
14	132	31	174
17	117	33	186

Tabela 16: Medições de dureza nos lados C e D do adorno quadrado.

Lado C		Lado D	
Ponto	Medições (hdl)	Ponto	Medições (hdl)
36	138	53	169
38	173	55	220
40	204	57	224
43	110	59	179
45	156	61	197
48	172	64	234
51	199	66	189