Maria Vitória Fischer Novaes

A TECNOLOGIA E SEU LUGAR NA METODOLOGIA DE RESTAURO

O *3D LASER SCANNING* COMO FORMA DE DOCUMENTAÇÃO
ARQUITETÔNICA E SUA APLICAÇÃO NO RESTAURO DO
PALACETE TEREZA LARA EM SÃO PAULO

Maria Vitória Fischer Novaes

A TECNOLOGIA E SEU LUGAR NA METODOLOGIA DE RESTAURO

O *3D LASER SCANNING* COMO FORMA DE DOCUMENTAÇÃO ARQUITETÔNICA E SUA APLICAÇÃO NO RESTAURO DO PALACETE TEREZA LARA EM SÃO PAULO

Dissertação de Mestrado apresentada à
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo
da Universidade de São Paulo para obtenção
do título de mestre em Arquitetura e Urbanismo.

Área de Concentração
História e Fundamentos da Arquitetura e do Urbanismo

Orientadora
Profa. Dra. Maria Lucia Bressan Pinheiro

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

E-mail autora
mariavitoriafischer@usp.br

E-mail orientadora
mlbp@usp.br

Novaes, Maria Vitória Fischer

A tecnologia e seu lugar na metodologia de restauro: O *3D Laser Scanning* como forma de documentação arquitetônica e sua aplicação no restauro do Palacete Tereza Lara em São Paulo / Maria Vitória Fischer Novaes; orientadora Maria Lucia Bressan Pinheiro. - São Paulo, 2018.
293p.

Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo. Área de concentração: História e Fundamentos da Arquitetura e do Urbanismo.

1. Arquitetura. 2. Patrimônio Cultural (restauro). 3. Varredura a *Laser 3d*. I. Pinheiro, Maria Lucia Bressan, orient. II. Título.

*Aos amores da minha vida,
meu filho Pedro e meu marido, Thiago
e*

*à minha mãe, Edite,
responsável por tudo que me tornei.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à minha orientadora, Maria Lucia Bressan Pinheiro, por ter embarcado comigo nessa pesquisa, mesmo sabendo das dificuldades que viriam pela frente, sempre me apoiando e me incentivando, compartilhando conhecimento acadêmico e me direcionando pelo melhor caminho.

À Ana Paula Farah e à Cássia Magaldi, pelos pertinentes apontamentos durante o exame de qualificação.

Ao professor Arivaldo Leão de Amorim, pela pronta resposta às minhas dúvidas e pelo compartilhamento de material de suma importância para esse estudo.

Aos professores e estudantes responsáveis pelo *Laboratório de Levantamento Digital com Laser 3D aplicado ao restauro urbano e arquitetônico*, Luciano Migliaccio, Regina Helena Vieira Santos, Stefano Bertocci, Pietro Becherini, Matteo Bigongiari e Monica, pela disposição sempre presente na transmissão do conhecimento.

Aos professores da *Sapienza Università di Roma*, Emanuela Chiavoni, Alfonso Ippolito, Simona Salvo e Donatella Fiorani, pelo compartilhamento não apenas de questões técnicas e acadêmicas, mas de entusiasmo e paixão pelo desenho, pela documentação e pela arquitetura.

Aos amigos e companheiros de trabalho de tantos anos, Marcello e Jorge. Obrigada pela paciência e pela reorganização de cronogramas. Foi importante sobremaneira tê-los comigo nesse período.

À Erica Machado e à Maria Aparecida Soukef Nasser, por terem contribuído prontamente para essa pesquisa, sempre tão solícitas e dispostas a ajudar.

Ao arquiteto Marcos Mendes, pelas contribuições a respeito do palacete, trazendo um ponto de vista prático para essa dissertação.

Aos meus amigos, pela paciência e compreensão pelas minhas ausências. Em especial, à Mariana Pessoa Tonasso, pelo permanente incentivo na busca por essa dissertação, por compartilhar as angústias da vida acadêmica e profissional, pelo apoio em todas as áreas da minha vida.

Aos meus mais fiéis torcedores: minha mãe, com quem posso contar incondicionalmente; meu marido Thiago, por todos esses anos construindo comigo nossos sonhos; e ao meu filho Pedro, por tudo que vivemos e viveremos juntos.

À Deus, por estar sempre presente na minha vida.

RESUMO

A TECNOLOGIA E SEU LUGAR NA METODOLOGIA DE RESTAURO

O *3D LASER SCANNING* COMO FORMA DE DOCUMENTAÇÃO ARQUITETÔNICA E SUA APLICAÇÃO NO RESTAURO DO PALACETE TEREZA LARA EM SÃO PAULO

Essa pesquisa tem por objetivo compreender o papel da documentação arquitetônica nos processos de restauração e salvaguarda do patrimônio material, com foco no levantamento arquitetônico por *3D Laser Scanning* terrestre e tendo como caso de estudo o Palacete Teresa Lara, importante exemplar de arquitetura eclética do centro de São Paulo, tombado pelo CONPRESP, que foi objeto de projeto e obras de restauração. A documentação arquitetônica mostra-se importante ferramenta para a tarefa de transmissão do patrimônio às futuras gerações. É objeto de estudo de instituições ligadas ao campo disciplinar do restauro e existe consenso de que o registro e a produção de material de levantamento auxiliam na gestão e tomadas de decisão sobre o futuro dos monumentos. Para tanto, é necessário que exista o entendimento de seus aspectos físicos e configurações espaciais, além da compreensão de aspectos intangíveis do patrimônio, como sua história, condição social e relações políticas, culturais e econômicas. A documentação, o registro e a gestão da informação não são entendidos como um fim em si mesmos, mas como ferramenta para o processo de tomada de decisão projetual de conservação, sendo parte importante das etapas de pesquisa e investigação do monumento. Dessa forma, a pesquisa apresenta os benefícios que devem ser observados e que justificam o registro apurado do patrimônio histórico e fundamenta a técnica de levantamento cadastral *3D Laser Scanning* terrestre, em edificações históricas. A pesquisa ainda procura compreender o debate teórico contemporâneo, com a atualização e ampliação dos conceitos da Teoria da Restauração, de Cesare Brandi, de forma a entender a relação entre a tecnologia e a teoria, e a efetiva contribuição dos avanços técnicos na prática da Restauração. Finalmente, diante da base teórica e técnica já apresentadas, a pesquisa estuda como a tecnologia de *3D Laser Scanning* para levantamento cadastral foi empregada no Palacete Teresa Lara, e quais contribuições a técnica trouxe para os procedimentos e dinâmicas inerentes à obra.

PALAVRAS-CHAVE: Arquitetura (restauração; teoria); Patrimônio arquitetônico (preservação); Varredura a *Laser 3D*.

ABSTRACT

THE TECHNOLOGY AND ITS ROLE IN THE METHODOLOGY OF RESTORATION

THE *3D LASER SCANNING* AS A FORM OF ARCHITECTURAL DOCUMENTATION AND ITS APPLICATION IN THE RESTORATION OF THE PALACETE TEREZA LARA IN SÃO PAULO.

The aim of this research is to understand the role of architectural documentation in the restoration and safeguarding of material heritage, focusing on the architectural survey by 3D Terrestrial *Laser Scanning*, having as a case study the Palacete Teresa Lara, an important eclectic architecture sample in São Paulo, registered by CONPRESP, which was the object of project and restoration works. Architectural documentation is an important tool for the task of transmitting assets to future generations. It is the object of study of institutions related to the disciplinary field of conservation and there is a consensus that the registration and production of survey material help in the management and decision making on the future of monuments. Therefore, it is necessary to have an understanding of its physical aspects and spatial configurations, as well as the understanding of intangible aspects of heritage, such as its history, social condition and political, cultural and economic relations. Documentation, registration and information management are not understood as an end in themselves, but as a tool for the conservation decision-making process, being an important part of the research and investigation stages of the monument. In this way, the research presents the benefits that must be observed and that justify the accurate recording of the historical heritage and bases the technique of cadastral surveying 3D Terrestrial *Laser Scanning*, in historical buildings. The research also seeks to understand the contemporary theoretical debate, with the updating and expansion of the concepts of the Theory of Restoration, by Cesare Brandi, in order to understand the relationship between technology and theory, and the effective contribution of technical advances in Restoration practice . Finally, in view of the theoretical and technical base already presented, the research studies how the *3D Laser Scanning* technology for survey was used in the Palacete Teresa Lara, and what contributions the technique brought to the procedures and dynamics inherent to the work.

KEY-WORDS: Architecture (restoration; theory); Architectural heritage (preservation); *3D Laser Scanning*.

FIGURAS

Figura 1. Diagrama dos critérios para o gerenciamento efetivo da informação..	89
Figura 2. A relação entre o valor cultural do sítio, os objetivos e necessidades do mesmo, o orçamento e outras restrições são parâmetros para o estabelecimento do escopo de um projeto de levantamento métrico	114
Figura 3. Os diversos métodos de levantamento métrico em relação ao tamanho e a complexidade do objeto	123
Figura 4. Resumo da relação entre conhecimento dos responsáveis, técnicas de levantamento e adequabilidade dos produtos finais.	126
Figura 5. O espectro eletromagnético.	133
Figura 6. Frequência, comprimento de onda e energia	134
Figura 7. Métodos de medição que utilizam luz.	138
Figura 8. Princípio funcionamento do <i>laser scanner</i> por tempo de voo.	139
Figura 9. <i>Laser scanners</i> tipo LIDAR - tempo de voo: Riegl VZ-2000i, Optech Polaris, Leica P50, Trimble TX8.	141
Figura 10. <i>Laser scanner</i> BLK360, da Leica Geosystems.	141
Figura 11 Princípios gerais de operação do equipamento.	143
Figura 12. Princípio da medição por diferença de fase.	144
Figura 13 <i>Laser scanners</i> por diferença de fase: Faro Focus 350, Leica HDS7000, Z+F Imager 5010.	144
Figura 14. Princípio da triangulação no equipamento <i>Laser scanner</i>	145
Figura 15. Princípio da medição por triangulação.	146
Figura 16. Exemplo de <i>scanner</i> por triangulação.	146
Figura 17. Exemplos de plataformas CMM tipo ponte e tipo pórtico.	147
Figura 18. Exemplos de braços articulados	148

Figura 19 Exemplos de <i>scanners</i> com plataforma giratória	148
Figura 20. “Pegadas” do raio <i>laser</i> em diferentes ângulos de incidência.....	154
Figura 21. Sobre o posicionamento do <i>laser scanner</i> : acima um mau posicionamento e abaixo um bom posicionamento	155
Figura 22. Alvos artificiais	156
Figura 23. (a) A aquisição de dados. (b) O produto básico da aquisição de dados é a nuvem de pontos.	162
Figura 24. Gráfico ilustrando o nível de automação durante o processo de trabalho do <i>3D Laser Scanning</i>	163
Figura 25. Elevation map aplicado para verificação do desnível do piso (a) e para verificação da altura das paredes (b)	164
Figura 26. Elevation map utilizado para verificação da altura das paredes.	165
Figura 27. Elevation map utilizado para topografia	165
Figura 28. Nuvem de pontos desorganizada	166
Figura 29. (a) Mapa de profundidade. (b) Localização do mapa de profundidade	167
Figura 30. (a) Resultado visual de point splatting e (b) pormenor da "superfície" com point splatting.	168
Figura 31. (a) Nuvem de pontos da cena 1; (b) Nuvem de pontos da cena 2; (c) Nuvens de pontos registradas sob mesmo sistema de coordenadas.....	169
Figura 32. Propagação do erro em registro nuvem-a-nuvem.....	173
Figura 33. Identificação e remoção de pontos discrepantes.....	177
Figura 34. Identificação e remoção de componentes desconectados	178
Figura 35. Phantom points	179
Figura 36. Jumping points e in-depth points.....	180
Figura 37. Exemplo da aplicação de filtros para redução de ruídos no <i>software</i> Photomodeler.	181

Figura 38. Produtos derivados de levantamentos por sistemas de varredura.....	184
Figura 39. Cada imagem exportada gera um arquivo TWF (bloco de notas) onde constam as instruções de inserção em Autocad. Arquivo gerado pela exportação da ortoimagem pelo <i>software</i> Cyclone.....	187
Figura 40. (a) Nuvem de pontos da fachada da edificação. (b) Desenho elaborado em Autocad sobre nuvem de pontos.....	188
Figura 41. Ortofotos de nuvem de pontos representando a fachada do Edifício Baraúna, em São Paulo (a), (b) e (c); Elaboração de desenho em Autocad sobre as ortofotos (d)	190
Figura 42. (a) Nuvem de pontos da fachada da edificação. (b) Desenho elaborado em Autocad sobre nuvem de pontos.....	190
Figura 43. Nuvem de pontos manipulada em ambiente Autocad.....	192
Figura 44. Detecção de feições em uma peça mecânica com arestas precisas (a); Nuvem de pontos de um elemento arquitetônico (b) e a detecção de feições do elemento ilustrando a dificuldade de identificação das arestas em um objeto com desenho complexo (c)..	194
Figura 45. Modelo de arestas parcial sobre nuvem de pontos (Autocad com plugin Cloudworx).	194
Figura 46. Ajuste da primitiva geométrica esfera em duas situações de seleção de pontos: em (a) associação errônea e em (b) associação correta.	196
Figura 47. Modelo a partir de primitivas geométricas: (a) Nuvem de pontos; (b) Modelo.....	196
Figura 48. Operações booleanas: união.....	197
Figura 49. Operações booleanas: combinação.....	198
Figura 50. Operações booleanas:intersecção.....	198
Figura 51. Operações booleanas: subtração	199
Figura 52. Operações booleanas: fragmentação.....	199
Figura 53. Operação de revolução.....	201
Figura 54. Operação de extrusão de uma seção (a) e de linhas (b).	201
Figura 55. Operação de lofting ou extrusão com variação da seção transversal.	202

Figura 56. Operação ruled surface.....	202
Figura 57. Rail sweep surface	203
Figura 58. Superfície NURBS: os pontos de controle estão representados em vermelho.	203
Figura 59. Operação cap surface.....	204
Figura 60. Blend.....	204
Figura 61. Corte, trim ou slice em diferentes modelos	205
Figura 62. Operação fillet	206
Figura 63. Malha triangular.....	207
Figura 64. Exemplos de erros topológicos e geométricos da malha triangular.....	208
Figura 65. (a) Identificação de triângulos sobrepostos; (b) Eliminação de um dos triângulos sobrepostos; e (c) Correção da sobreposição com a formação de novos triângulos	209
Figura 66. (a) Identificação dos triângulos A, B, C; (b) Com o corte do triângulo A, há a geração de dois novos triângulos A1, A2 e do vértice P5; (c) Remoção da aresta errônea e criação de duas faces maiores B e C..	209
Figura 67. (a) Identificação de triângulos múltiplos – triângulo B; (b) Correção realizada pela criação da aresta 1-3; (c) Correção pela remoção do triângulo B.....	210
Figura 68. (a) identificação das possíveis situações de arestas compartilhadas apenas com dois triângulos; (b) Preenchimento dos vazios	210
Figura 69. Adição de novos triângulos: na figura os triângulos A e B são criados com a inserção da aresta 1-3 (E1).	211
Figura 70. Preenchimento de vazios com a adição de novos triângulos: (a) adição manual; (b) triangulação; (c) Ponte.....	212
Figura 71. Processo de refino da malha poligonal.	212
Figura 72. Operação de decimação.	213
Figura 73. (a) Malha com menor nitidez/menor número de polígonos; (b) Malha com nitidez/número de polígonos intermediário; (c) Malha com maior nitidez/maior número de polígonos.....	214

Figura 74. (a) Identificação de spikes. (b)Malha após correção	215
Figura 75. O Palacete Tereza Lara após as obras de restauro.....	219
Figura 76. Vista de parte da fachada voltada para a Rua Quintino Bocaiúva	221
Figura 77. Particular de uma das esculturas da fachada	222
Figura 78. Particular de uma das carrancas presentes no final das pilastras	223
Figura 79. Localização do Palacete Tereza Lara indicada em vermelho.	225
Figura 80. Detalhe do mapa criado nos anos 70 pela Cota Engenharia, representando trecho da cidade em perspectiva cavaleira, com todas as edificações existentes. Em vermelho a indicação da localização do Palacete Tereza Lara.....	226
Figura 81. Vista superior do edifício	227
Figura 82. Dados do tombamento do imóvel.....	227
Figura 83. O Palacete Tereza Lara em primeiro plano: Detalhe para a propaganda da Casa Bevilacqua. A Rua Direita entre 1930 e 1950, importante rua comercial da cidade, intensamente trafegada por automóveis, foi cedendo espaço aos pedestres, até ser transformada em uma rua pedonal nos anos 70.	228
Figura 84. Na rua Quintino Bocaiúva, painel do Repórter Esso, no Palacete Tereza Lara, onde funcionou a Rádio Record, anuncia a rendição da Alemanha na 2ª Guerra, em 1945..	229
Figura 85. Multidão acompanha resultados das eleições legislativas, estaduais e municipais de 1954, em tabuletas eleitorais e por boletins da Rádio Record, no Palacete Tereza Lara.	230
Figura 86. Profusão de anúncios, em 1970. O Palacete Tereza Lara está no plano médio, à esquerda, na esquina com a rua Quintino Bocaiúva.	231
Figura 87. Localização das estações de varredura.....	237
Figura 88. Imagem de trecho da nuvem de pontos, onde se vê parte da fachada, com a escultura e o brasão..	242
Figura 89. Imagem de trecho da nuvem de pontos, onde se vê parte da fachada	243
Figura 90. Imagem de trecho da nuvem de pontos, onde se vê parte da fachada, em uma das esquinas. É possível verificar áreas de sombra sobre os balcões e na platibanda.....	244

Figura 91. Imagem de trecho da nuvem de pontos, onde se vê parte de um dos chanfros da fachada.....	245
Figura 92. Imagem de trecho da nuvem de pontos, onde se vê parte da fachada, com a carranca em detalhe.	245
Figura 93. Imagem de trecho da nuvem de pontos, onde se vê parte da fachada, com a carranca em detalhe. É possível observar a área de sombra na platibanda..	246
Figura 94. Processo de desenho sobre trecho de nuvem de pontos.....	246
Figura 95. Representação da nuvem de pontos por mapa de profundidade	247
Figura 96. Representação da nuvem de pontos por mapa de profundidade	247
Figura 97. Vista superior da nuvem de pontos. Os círculos escuros são algumas das posições do <i>laser scanner</i>	248
Figura 98. Levantamento métrico-arquitetônico da fachada voltada para a Rua Quintino Bocaiúva, realizado com <i>3D Laser Scanning</i>	Erro! Indicador não definido.
Figura 99. Levantamento métrico-arquitetônico da fachada voltada para a Rua Quintino Bocaiúva, após maior detalhamento dos ornatos e elementos decorativos..	Erro! Indicador não definido.
Figura 100. Levantamento métrico-arquitetônico da fachada voltada para a Rua Direita, ...	Erro! Indicador não definido.
Figura 101. Levantamento métrico-arquitetônico da fachada voltada para a Rua Direita, após maior detalhamento dos ornatos e elementos decorativos	Erro! Indicador não definido.
Figura 102. Levantamento métrico-arquitetônico da fachada voltada para a Rua José Bonifácio, realizado com <i>3D Laser Scanning</i>	Erro! Indicador não definido.
Figura 103. Levantamento métrico-arquitetônico da fachada voltada para a Rua José Bonifácio, após maior detalhamento dos ornatos e elementos decorativos..	Erro! Indicador não definido.
Figura 104. Palacete Tereza Lara após as obras de restauração das fachadas.	255
Figura 105. Palacete durante as obras de restauro: andaimes fachadeiros em toda a extensão de trabalho.	258
Figura 106. Desmontagem dos andaimes após finalização da obra	258

Figura 107. Desmontagem dos andaimes após finalização da obra.....	258
Figura 108. Limpeza da argamassa de revestimento com lama betonítica.....	260
Figura 109. Tratamento de trincas e fissuras	261
Figura 110. Consolidação da argamassa e tratamento das trincas	261
Figura 111. Tratamento das trincas profundas com grampeamento.....	261
Figura 112. Tratamento das ferragens dos elementos da fachada.	262
Figura 113. Testes de acabamento da argamassa de revestimento.	262
Figura 114. Definição dos componentes utilizados na argamassa.....	262
Figura 115. Estucagem da fachada com a argamassa definida após testes.....	263
Figura 116. Aplicação de hidro-repelente nas fachadas.	263
Figura 117. Reintegração da escultura.....	264
Figura 118. Reintegração da escultura e execução de molde a partir de escultura existente.	265
Figura 119. Análise das fissuras do pináculo	265
Figura 120. Reintegração do pináculo.....	265
Figura 121. Execução de contramolde para réplica de ornatos.....	266
Figura 122. Fixação da réplica no topo do pináculo.	266
Figura 123. Estucagem dos ornatos– acabamento final.....	266
Figura 124. Teste para remoção das pintura esmalte.....	268
Figura 125. Demolição do revestimento sobre cantarias da Rua Direita	268
Figura 126. Reprodução da cantaria em pedra do térreo	268
Figura 127. Reintegração da cantaria do térreo.....	269
Figura 128. Execução de enxertos de madeira nas esquadrias.....	270
Figura 129. Pintura dos caixilhos	270

Figura 130. Descupinização das esquadrias da fachada.....	270
Figura 131. Lacunas na balaustrada do balcão.	272
Figura 132. Concretagem do peitoril do balcão.....	272
Figura 133. Molde e ferragem para reprodução dos balaústres.....	272
Figura 134. Réplicas dos balaústres.	273

QUADROS E TABELAS

Quadro 1. Organização do sistema de informação.....	91
Quadro 2. Classificação dos métodos de levantamento	112
Quadro 3. Níveis apropriados de registro, segundo o guia <i>Understanding Storic Buildings: a guide to good record practice</i> , de Historic England	120
Quadro 4. Alguns critérios para escolha da técnica em função das características do levantamento arquitetônico	125
Quadro 5. Comparação entre equipamentos que operam por triangulação, diferença de fase e tempo de voo..	149
Quadro 6. Etapas gerais do processo de documentação arquitetônica com uso da técnica <i>3D Laser Scanning</i>	152
Quadro 7. Precisão e densidade da nuvem de pontos de acordo com a escala de representação	159
Quadro 8. Densidades das nuvens de pontos apropriadas (resoluções de amostragem) para vários tamanhos e características do patrimônio cultural	160
Quadro 9. Formas de registro de nuvens de pontos. Inserir no quadro os métodos diretos..	169
Quadro 10. Relação entre a nitidez, o número de triângulos e o tempo de reconstrução da malha.....	214

SIGLAS E ABREVIATURAS

CONPRESP - Conselho Municipal de Preservação do Patrimônio Histórico, Cultural e Ambiental da Cidade de São Paulo

CONDEPHAAT - Conselho de Defesa do Patrimônio Histórico, Arqueológico, Artístico e Turístico (Estado de São Paulo)

IPHAN – Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional

CIPA - *Comité International de Photogrammétrie Architecturale*

ICOMOS - *Conseil International des Monuments et des Sites*

EACEA - *The Education, Audiovisual and Culture Executive Agency*

LCAD – Laboratório de estudos avançados em Cidade, Arquitetura e Tecnologias Digitais (UFBA)

PTL – Palacete Tereza Lara

2D - Bidimensional

3D - Tridimensional

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

AEC – Arquitetura, Engenharia e Construção

CAD – *Computer Aided Design* (projeto auxiliado por computador)

DSM – Dense Stereo Match

FAUUSP – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo

LIDAR - *Light Detection and Ranging*

NURBS - *Non-Uniform Rational B-Splines*

GCI - *Getty Conservation Institute*

ICCROM - *International Centre for the Study of the Preservation and Restoration of Cultural Property*

ICOMOS-CIIC - *Comité International des Itinéraires Culturels*

ICOMOS-CIF - *Comité International de Formation*

*“Resta é o prazer, quase físico,
do descobrimento, que esse não se tira.”*

Mário de Andrade, em carta para Rodrigo M. F. de Andrade,
em 10 de fevereiro de 1945.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	29
PARTE 1	
BASE TEÓRICA E METODOLOGIA PARA PROJETOS DE RESTAURO	39
1.1 A atualização da Teoria da Restauração:	
as vertentes contemporâneas e o debate hoje	41
1.1.1 A Pura Conservação	43
1.1.2 A Hipermanutenção	52
1.1.3 A Posição Central ou Crítico-Conservativa e Criativa	62
1.2 As tecnologias aplicáveis à restauração	
e seu lugar na metodologia de restauro	70
1.3 Documentação arquitetônica como ferramenta de salvaguarda	80
PARTE 2	
A TECNOLOGIA DIGITAL EM	
LEVANTAMENTO MÉTRICO-ARQUITETÔNICO	93
2.1 O levantamento métrico-arquitetônico no projeto de restauro	95
2.2 As técnicas de levantamento arquitetônico	109
2.2.1 Classificações	109
2.2.2 Critérios de escolha	112
2.2.3 Principais métodos utilizados em arquitetura	127
2.3 O <i>3D Laser Scanning</i>	130
2.3.1 Conceitos, Características e Aplicações	132
2.3.2 O Levantamento com <i>3D Laser Scanning</i>	152
2.3.2.1 Planejamento	153
2.3.2.2 Trabalho de Campo	157
2.3.2.3 Pré-processamento	162
2.3.2.4 Processamento: da nuvem de pontos ao produto final	183
2.3.2.5 Controle de qualidade e exportação dos produtos	2155

PARTE 3

O RESTAURO DO PALACETE TEREZA LARA

E O USO DA TECNOLOGIA *3D LASER SCANNING* 217

3.1 Apresentação 219

3.2 O projeto de restauro do Palacete Tereza Lara 233

3.3 A obra de restauração do Palacete Tereza Lara 255

3.4 Considerações sobre o caso de estudo 274

CONSIDERAÇÕES FINAIS 277

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 283

INTRODUÇÃO

A motivação que deu origem a essa pesquisa nasceu da observação do campo da preservação do patrimônio arquitetônico, e da consequente constatação de que a tecnologia é cada vez mais presente na área.

O primeiro contato onde foi observada a relação entre tecnologia e restauro se deu ainda no meu período como estudante, quando tive a oportunidade de fazer um curso de restauro de afrescos¹ e um posterior estágio em uma obra de restauração dos afrescos da cúpula de uma pequena capela², em Florença. Na ocasião, foram apresentadas diversas técnicas tradicionais e outras técnicas modernas com utilização de novos materiais para restauração das pinturas, em especial para a consolidação da argamassa. As técnicas modernas também eram apresentadas com base na Teoria da Restauração, de Cesare Brandi, seguindo claramente métodos não apenas operativos, mas teóricos, que embasavam e justificavam as aplicações.

De volta ao Brasil, já como profissional, pude participar de diversos projetos e obras de restauro, sempre observando a cada vez mais presente e determinante ação da tecnologia nos canteiros de restauração.

Partiu daí a vontade de compreender melhor esse processo e investigar suas causas, as relações entre os diversos atores, efeitos, consequências e, em especial, como a tecnologia e suas práticas derivadas são entendidas metodologicamente no campo disciplinar. A motivação pela escolha do **tema** se deu, portanto, em função da minha formação e da minha trajetória profissional como arquiteta.

Sendo o tema bastante amplo e tendo em mente o horizonte de uma dissertação de mestrado, seria necessário que a pesquisa se aprofundasse em um recorte mais específico, que relacionasse tecnologia e restauro, sempre procurando traçar um paralelo com a face teórico-metodológica que deve conduzir processos de restauração. Assim, parte do percurso da dissertação consistiu em definir um tema mais específico dentro de um grande tema, que é a relação entre tecnologia e restauro.

¹ Curso de Restauro de Afrescos e pinturas murais, oferecido pelo Istituto per l'Arte ed il Restauro Pallazzo Spinelli em Florença, que visa desenvolver competências no reconhecimento de danos e na aplicação das técnicas de restauro adequadas para cada situação específica. É um curso oferecido há mais de 35 anos e bastante tradicional no instituto.

² Capela privada, localizada na Via Faenza, n.4, com pinturas datadas de 1500, atribuídas ao pintor flamengo Giovanni Stradano (Bruges, 1523 – Florença, 1605).

Para tanto, inicialmente, a pesquisa previa uma fase de definição de critérios para escolha da tecnologia a ser estudada. Ao final desse período, foram utilizados para a seleção critérios como: *técnicas que tenham a tecnologia como característica intrínseca, técnicas para levantamento métrico, técnicas para levantamento de monumentos e arquitetura* (excluindo-se, dessa forma, as tecnologias para levantamento de objetos, cidades, áreas rurais, etc), *técnicas aplicáveis para o levantamento de edificações de mesma escala do Palacete Tereza Lara* (escala facilmente encontrada na cidade de São Paulo, em especial no centro histórico), *que apresentem rapidez na aquisição de grande quantidade de dados e que sejam capazes de prover alto nível de precisão e detalhe nos levantamentos*. Com os critérios acima discriminados, a tecnologia de *3D Laser Scanning* terrestre foi a única que preencheu todos os requisitos e assim foi selecionada para ser estudada nessa pesquisa.

Sendo esta uma técnica aplicada para levantamento métrico-arquitetônico, estudado aqui como instrumento para salvaguarda do patrimônio cultural, fez-se necessário um entendimento prévio das bases teóricas do campo disciplinar da restauração, bem como uma melhor compreensão da importância da documentação arquitetônica e da função dos levantamentos métricos. Assim, de acordo com os critérios estabelecidos, a dissertação oferece um panorama sobre o debate teórico-metodológico do campo atual do restauro, sobre conceitos e aplicações da documentação arquitetônica e sobre as técnicas de levantamento métrico, sendo a técnica de *3D Laser Scanning* terrestre, aplicada ao levantamento de edificações, estudada de forma mais aprofundada. O objeto da presente dissertação é, portanto, o papel da documentação arquitetônica nos processos de restauração e salvaguarda do patrimônio material, com foco no levantamento arquitetônico por *3D Laser Scanning* terrestre.

O caso de estudo, na parte final da pesquisa, tratou do Palacete Tereza Lara, importante exemplar de arquitetura eclética do centro de São Paulo, tombado pelo CONPRESP (Conselho Municipal de Preservação do Patrimônio Histórico, Cultural e Ambiental da Cidade de São Paulo), que foi objeto de obras e projeto de restauração, ocasião em que foi utilizada a tecnologia de *3D Laser Scanning* para cadastro da edificação. Assim, para uma melhor compreensão do ponto de vista prático, procurou-se compreender de que forma ocorreu a aplicação da técnica de *3D Laser Scanning* no projeto de restauro, bem como analisar como a técnica foi empregada e seus efeitos durante as obras de restauração do referido palacete.

A escolha do Palacete Tereza Lara como caso de estudo se deu pelo edifício representar bem uma tipologia arquitetônica muito presente no centro de São Paulo, apresentando características de escala, gabarito e uso³ que se aproximam de tantos outros edifícios do centro da cidade. Além disso, o fato de ter passado por projeto e obra de restauro era um diferencial, pois seria possível observar o efeito do uso da tecnologia nos dois momentos do restauro, projeto e obra⁴. Existia ainda a possibilidade de acesso às bases de pesquisa, seja da etapa de projeto, seja da etapa de obra, o que seria determinante para o sucesso desse estudo.

Nesse contexto, a pesquisa tem como **objetivo** contribuir para a compreensão dos usos e aplicações da tecnologia em processos de restauro, bem como desmistificar seu uso e apresentar os conceitos e fluxos de trabalho da tecnologia *3D Laser Scanning*, atualmente tão almejada por equipes de projeto que precisam realizar levantamentos métricos, procurando compreender a relação entre essa tecnologia e a Teoria da Restauração, o alcance e as limitações na prática da Restauração.

Como objetivos específicos, a pesquisa previu a definição de uma base teórica atualizada do campo disciplinar, compreendendo as vertentes contemporâneas da Teoria da Restauração e sua aplicabilidade nos dias atuais, bem como o entendimento do papel da documentação arquitetônica e a forma como se dá a gestão dessas informações. Procurou ainda compreender as etapas de trabalho e as fases de um levantamento por *3D Laser Scanning*, os produtos finais do levantamento, a relação entre os atores de um projeto e de levantamento, bem como compreender as potencialidades da tecnologia e como a mesma pode ser utilizada como instrumento para salvaguarda do patrimônio cultural.

Assim, buscou-se o entendimento da relação entre a técnica como forma de documentação e a metodologia de restauro trazida pela teoria. A pesquisa apresenta informações sobre outras possíveis técnicas de levantamento métrico-arquitetônico para a elaboração de projetos de restauro, para além das formas tradicionalmente empregadas.

Do ponto de vista da prática profissional, o estudo pretende identificar quais os caminhos e possibilidades disponíveis para a equipe de projeto e obra que podem

³ Com térreo comercial voltado para as ruas e os demais pavimentos ocupados por escritórios.

⁴ É necessário ressaltar que, infelizmente, muitos edifícios em São Paulo são objetos de estudos e projetos de restauro, porém poucos efetivamente passam por obras de restauração.

enriquecer os processos de conhecimento do bem, oferecendo condições de decisões projetuais condizentes às boas práticas de restauração, guiadas sempre pelas orientações das cartas patrimoniais e da teoria. Assim, além de questões conceituais e de fundamentos teóricos ligados à técnica, a dissertação apresenta questões operacionais, como formas de ampliar o conhecimento dirigido a gestores, arquitetos e conservadores que lidam com patrimônio, para que possam entender todas as fases do aquisição de dados e não se limitarem apenas aos resultados pretendidos.

As **justificativas** para o estudo da tecnologia aplicada à restauração, com foco no *3D Laser Scanning*, partem da constatação de que a presença da tecnologia nos procedimentos de documentação arquitetônica é um fato e, como tal, deve ser estudado e compreendido de maneira a atuar a favor da preservação e não o oposto. A documentação arquitetônica mostra-se importante ferramenta para a tarefa de transmissão do patrimônio às futuras gerações. É objeto de estudo de instituições ligadas ao campo disciplinar do restauro⁵ e existe consenso de que o registro e a produção de material de levantamento auxiliam na gestão e tomadas de decisão sobre o futuro dos monumentos⁶. Para tanto, é necessário que exista o entendimento de seus aspectos físicos e configurações espaciais, além da compreensão de aspectos intangíveis do patrimônio, como sua história, condição social e relações políticas, culturais e econômicas.

Um monumento é fonte primária de pesquisa e investigação e a cada procedimento de conservação é provável que sejam encontrados novos dados e diferentes condições daquele bem no espaço físico e social, alterando seu entendimento e sendo, portanto, desejável que sua documentação seja sempre atualizada à luz de novas informações e descobertas.

Para tanto, existem diversas técnicas de levantamento como a fotogrametria e o *3D Laser Scanning*, sendo este um campo de pesquisa em constante

⁵ The English Heritage, no Reino Unido; Leonardo da Vinci Programme, no âmbito da The Education, Audivisual and Cultura Executive Agency (EACEA), na União Europeia; The Getty Conservation Institute, nos Estados Unidos, etc.

⁶ O monumento aqui é entendido em seu sentido *lato*, conforme a Carta de Veneza menciona em seu artigo 1º: “A noção de monumento histórico compreende a criação arquitetônica isolada, bem como o sítio urbano ou rural que dá testemunho de uma civilização particular, de uma evolução significativa ou de um acontecimento histórico. Estende-se não só às grandes criações, mas também às obras modestas, que tenham adquirido, com o tempo, uma significação cultural.” Acesso em:

<http://portal.iphan.gov.br/uploads/ckfinder/arquivos/Carta%20de%20Veneza%201964.pdf>, em 18/04/2018.

desenvolvimento. Existem pesquisas em tecnologias para aumentar a precisão, automatizar os procedimentos, diminuir custos, desenvolver bases de dados, etc, que estão sendo estudadas no Brasil e no exterior. Há simpósios e congressos especializados para o compartilhamento das pesquisas, com especial atenção ao simpósio promovido pelo CIPA⁷ (Comité International de Photogrammétrie Architecturale), que é o comitê científico em documentação do patrimônio para o ICOMOS (Conseil International des Monuments et des Sites).

Além disso, o presente estudo se justifica na medida em que existe a necessidade de um bom levantamento métrico-arquitetônico como base de um projeto de restauro. Os próximos capítulos, apresentam o levantamento arquitetônico como instrumento de aprofundamento cognitivo sobre o bem, indispensável para a elaboração de um projeto de restauro, inclusive sendo etapa importante de um conjunto de levantamentos e fases do projeto solicitados pelos órgãos de preservação como pré-requisito para aprovação no Brasil.

Assim, este estudo permite que percursos alternativos para levantamentos arquitetônicos sejam considerados, que profissionais da área possam se sentir provocados a procurar novas formas de atuação, mais adequadas ao objeto e mais assertivas em seu objetivo, gerando impacto positivo e ganhos reais na preservação do patrimônio cultural.

A **metodologia** utilizada para o desenvolvimento da dissertação se baseou em pesquisas bibliográficas referentes aos dois enfoques metodológicos – teórico e operacional – do estudo, que permitiram a reflexão, o entendimento dos temas abordados, e a posterior análise do caso de estudo. Entrevistas e pesquisas nos arquivos dos profissionais envolvidos no processo de restauração do Palacete Tereza Lara foram as bases documentais para a análise da aplicação da tecnologia no referido restauro do edifício.

O primeiro enfoque da dissertação se atém ao estabelecimento da base teórica do campo disciplinar e à metodologia para preservação do patrimônio histórico, e contou com uma bibliografia bastante consistente, com trabalhos de autores consagrados na historiografia da disciplina, como Cesare Brandi, Gustavo Giovannoni e Max Dvořák, além das cartas patrimoniais, e de autores à frente do debate teórico

⁷ Em agosto de 2017 houve o 26º simpósio promovido pelo CIPA em Ottawa, Canada. O simpósio teve como argumento principal os fluxos de trabalho digitais para conservação.

atual, como Beatriz Kühl, Andrea Pane, Gaetano Miarelli Mariani, Riccardo dalla Negra, etc, com destaque para a produção de Marco Dezzi Bardeschi, Paolo Marconi e Giovanni Carbonara. As principais referências são italianas, país onde o tema é amplamente discutido.

O segundo enfoque, que trata do ponto de vista operacional do levantamento métrico-arquitetônico e da tecnologia *3D Laser Scanning*, contou com uma ampla pesquisa em bancos de teses e em anais de congressos disponíveis online. Manuais de levantamento arquitetônico e de projetos de restauro também foram consultados, em especial a publicação de Mario Docci e Diego Maestri⁸, os manuais de English Heritage (atual Historic England), as publicações e recomendações do ICOMOS, e os manuais do IPHAN. As dissertações e teses relacionadas ao tema foram essenciais para a compreensão da tecnologia e das formas de sistematização da documentação, com destaque para a produção no âmbito do LCAD – Laboratório de estudos avançados em Cidade, Arquitetura e Tecnologias Digitais (UFBA), em especial os trabalhos de Natalie Groetelaars e Fabiano Nogueira.

Ainda em relação ao segundo enfoque, as duas experiências práticas que tive o prazer de acompanhar, a saber, o “Laboratório de Levantamento Digital com *Laser 3D* aplicado ao Restauro Urbano e Arquitetônico”, vinculado ao Departamento de História da Arquitetura e Estética do Projeto da FAUUSP e do Dipartimento di Architettura da Università degli Studi di Firenze, e a disciplina de pós-graduação “AUH5872 - Tópicos Especiais em Preservação do Patrimônio Cultural”⁹, que propuseram aos alunos a experimentação dos métodos de levantamento arquitetônico direto e indireto, com utilização do *laser scanner*, foram essenciais para a compreensão prática da tecnologia, de suas potencialidades, aplicações e limitações, e também fizeram parte da metodologia para a elaboração dessa dissertação.

Conforme já mencionado, o caso de estudo do Palacete Tereza Lara, contou com pesquisas nos arquivos da empresa contratada para elaborar o projeto de restauro, além de pesquisas na empresa executora da obra. Também foram de grande valia as entrevistas com os profissionais relacionados ao processo da restauração (projeto e obra).

⁸ Manuale di Rilevamento Architettonico e Urbano (2009).

⁹ Em colaboração com a Università di Roma – La Sapienza.

Quanto à sua **estruturação**, a pesquisa tem como eixo central o levantamento, análise e compreensão de como as tecnologias, em especial o *3D Laser Scanning*, pode interagir com os procedimentos de restauro, entre projeto, obra e forma de armazenamento e distribuição dos dados do bem patrimonial. As partes que compõem a dissertação se relacionam entre si na medida em que todas têm como horizonte a forma como a tecnologia interfere na preservação do patrimônio histórico arquitetônico.

A Parte 1 “*Base teórica e metodologia para projetos de restauro*” está relacionada aos estudos da base teórica do campo disciplinar. Apresenta três capítulos dedicados à compreensão dessa teoria e propõe-se a refletir sobre o impacto das definições projetuais na preservação do patrimônio cultural. Dessa forma, o primeiro capítulo “1.1 *A atualização da Teoria da Restauração: as vertentes contemporâneas e o debate hoje*” oferece um panorama sobre o debate contemporâneo da teoria, apresentando as bases teóricas do campo disciplinar. O segundo capítulo “1.2 *As tecnologias aplicáveis à restauração e seu lugar na metodologia de restauro*” procura relacionar o conteúdo abordado no capítulo anterior e o uso da tecnologia. Dá suporte para o entendimento da importância da tecnologia e de qual o seu papel enquanto ferramenta para auxílio das definições de projeto e procedimentos em obra. Sendo o restauro um campo multidisciplinar e essencialmente ligado às humanidades, não há como a pesquisa se centrar apenas em questões ligadas ao desenvolvimento e operação das tecnologias, sem que os aspectos culturais, de memória, significância e autenticidade estejam presentes. Não há como não discutir problemas conceituais e de fundamentos, já que são estes que devem nortear e balizar os trabalhos ligados ao patrimônio cultural. Compreendido qual o papel da tecnologia na preservação do patrimônio, o capítulo 1.3 “*A documentação arquitetônica como ferramenta de salvaguarda*” procura apresentar de que maneira isso pode ser realizado, de que forma a documentação, auxiliada pela tecnologia, pode promover a preservação. Busca-se, então, compreender o estado da arte do tema e como a documentação pode auxiliar a transmissão do patrimônio cultural às futuras gerações.

Essa parte da pesquisa visa definir horizontes e trajetórias, analisar um caminho que já conta com uma larga reflexão, de maneira a compreender quais os objetivos de uma intervenção de restauro e em que a tecnologia pode auxiliar na busca por esses objetivos.

A Parte 2 “*A tecnologia digital em levantamento métrico-arquitetônico*” apresenta os aspectos conceituais e metodológicos do levantamento métrico-

arquitetônico e da produção de documentação gráfica de base para preservação de patrimônio histórico, em especial utilizando-se o método indireto, via *3D Laser Scanning* Terrestre.

O capítulo “2.1 O levantamento métrico-arquitetônico no projeto de restauro” estuda a função do levantamento métrico dentro do contexto do projeto de restauro. Apresenta as recomendações de manuais e cartas patrimoniais sobre as etapas de um projeto dessa natureza, relacionando-as à etapa do levantamento métrico. Traz ainda um olhar prático sobre a definição de objetivos para o levantamento e fluxos de trabalho.

O capítulo “2.2 As técnicas de levantamento arquitetônico” apresenta as técnicas mais utilizadas em levantamento de arquitetura e patrimônio histórico, oferecendo um panorama geral sobre as diversas formas de coletar os dados métricos.

O capítulo “2.3 O *3D Laser Scanning*” apresenta a tecnologia em questão, discorrendo sobre suas etapas de trabalho. Buscou-se compreender os sistemas de funcionamento dessa técnica, que é cada vez mais utilizada, mas continua pouco compreendida entre os pesquisadores e profissionais que atuam com patrimônio histórico.

Finalmente, segue-se para a terceira e última parte da dissertação “*Parte 3: O restauro do Palacete Tereza Lara e o uso da tecnologia 3D Laser Scanning*”, dedicada à verificação do impacto da tecnologia no caso do projeto e obra do Palacete Tereza Lara. A terceira parte conta com 4 capítulos, a saber, “3.1 Apresentação”, “3.2 O projeto de restauro do Palacete Tereza Lara”, “3.3 A obra do Palacete Tereza Lara” e o quarto capítulo “3.4 Considerações sobre o caso de estudo”. Nessa última parte foi estudado como o levantamento a partir do *3D Laser Scanning* ocorreu e como repercutiu no projeto e na obra. Essa etapa se relaciona com as demais etapas da dissertação configurando-se como uma oportunidade de verificação real das questões teórico-metodológicas e técnico-operativas já abordadas anteriormente.

Finalmente, as considerações finais vêm trazer o balanço geral da pesquisa. Trata-se da fase de conclusões e avaliação dos estudos e conhecimentos produzidos, bem como uma análise das contribuições da pesquisa para o campo disciplinar e para a transmissão efetiva do patrimônio histórico às futuras gerações, que em última análise, é o objetivo primeiro de todos os envolvidos com patrimônio cultural. Essa última etapa é o fechamento da dissertação e é estruturalmente importante, já que aqui estão sumarizadas as últimas análises e conclusões finais da pesquisa.

PARTE 1
BASE TEÓRICA E METODOLOGIA
PARA PROJETOS DE RESTAURO

1.1

A ATUALIZAÇÃO DA TEORIA DA RESTAURAÇÃO AS VERTENTES CONTEMPORÂNEAS E O DEBATE HOJE

Nas últimas décadas houve um intenso debate, em especial em ambiente italiano, sobre a aplicabilidade e a pertinência da Teoria da Restauração, de Cesare Brandi (2005). Para além de questões práticas, o que se entende ao estudar as principais correntes teóricas da atualidade é que houve um alargamento dos conceitos brandianos. Ainda que em um primeiro momento as ideias sejam contrastantes, vê-se que todas têm em comum princípios da Teoria da Restauração que justificam seus pensamentos e fundamentam suas propostas. Esse é justamente o ponto de conflito e a razão pela qual não há uma corrente correta ou errada: de determinados pontos de vista, todas têm seus sentidos próprios, calcados em uma teoria muito bem estabelecida.

Mais do que pontos de conflitos, essas correntes têm muitos pontos que se tocam, em especial quanto ao reconhecimento do campo enquanto disciplina autônoma, ao objetivo primeiro de transmissão do patrimônio às futuras gerações e à necessidade de uma metodologia clara, baseada em uma teoria. As três vertentes aqui estudadas têm em comum a proposta de pensar a restauração de um ponto de vista crítico, primeiramente pensando no método e posteriormente procedendo com sua aplicação, evitando o empirismo desvinculado das ciências: agir primeiro com a cabeça e depois com as mãos. As vertentes têm muito claro o papel do uso como meio de preservação e não como fim. Em todas é possível observar o respeito à significância da obra e da forma como o uso e o programa são utilizados como ferramentas para a preservação, nunca procurando colocá-los como prioridade superior ao patrimônio.

Diferentemente de um reparo ou do conserto de um objeto, a restauração depende de um prévio reconhecimento de valor, que diferencia o artigo em questão de outros tantos objetos que a humanidade produziu. Assim, a restauração, antes de uma atividade puramente operacional, é ato de cultura (CARBONARA, 1997). Brandi (2005, p.29) se refere aos “produtos especiais da atividade humana” denominados como “obras de arte”, mas nos debates atuais fica claro que esse conceito se estende a todos os produtos da atividade humana, reconhecidos como especiais e que se destaquem do restante da produção da humanidade, seja por valores estéticos, históricos,

culturais, sociais, ou ainda por um complexo de valores que seja reconhecido em determinado artigo, edificação, local, prática. Dessa forma, com a ampliação do que Brandi entende por “obra de arte”, a definição brandiana de restauro também pode ser ampliada: *“A restauração constitui o momento metodológico do reconhecimento da obra de arte, na sua consistência física e na sua dúplici polaridade estética e histórica, com vistas à sua transmissão para o futuro”* (BRANDI, 2005, p. 30).

Assim, sendo ato prioritariamente de cultura, o restauro não pode se abster de um sólido conjunto teórico de referência metodológica, que oriente sua intervenção, inclusive quanto aos fins e objetivos da mesma, de forma a evitar relativismos e arbitrariedades.

As orientações teóricas contemporâneas têm origens nos anos 70, com questionamentos por parte de arquitetos que reivindicavam intervenções menos invasivas. Destaca-se nesse momento o artigo de Mina Gregori na revista “Paragone”, em 1971, que denunciava a arbitrariedade e a subjetividade de muitas obras de restauro, com prejuízos à materialidade e ao aspecto documental do patrimônio arquitetônico, devido à falta de cientificidade dos projetos e obras. Nesse período, os aspectos materiais do patrimônio, com ênfase na questão físico-química, ganham corpo e amplitude no debate. As trocas com o campo da arqueologia, bem como as pesquisas e inovações tecnológicas para o restauro de bens móveis são o pano de fundo para o desenvolvimento de uma teoria conservativa em restauro arquitetônico, tendo como principal objetivo a busca pela preservação e permanência do testemunho histórico, entendido como documento.

Nesse contexto, Marco Dezzi Bardeschi (PANE, 2016, p. 05) desenvolve uma teoria baseada em princípios rigorosamente conservativos, na permanência do patrimônio tal qual ele se encontra no momento atual, permitindo que sejam inseridas novas adições, desde que essas sejam fruto de projetos claramente contemporâneos, e não uma mimetização de formas do passado, contribuindo assim para a continuação das estratificações pelas quais aquele bem irá acumular durante sua vida.

1.1.1 A PURA CONSERVAÇÃO

“Os dois deveres que estão diante de nós são sempre aqueles de recolher do modo mais convincente e sábio a complexa herança do passado e de suscitar, ao lado dessa, uma nova arquitetura que possa aspirar a constituir um posterior recurso coletivo, uma espécie de viático para os tempos (e os homens) que virão.” (BARDESCHI, 2009, p. 213)

Marco Desse Bardeschi¹⁰ nasceu em Florença em 1934, formou-se engenheiro civil e arquiteto, e desde então dedica grande parte de sua vida profissional à conservação e recuperação do patrimônio construído. Inicialmente atuou no Instituto de Restauro de Monumentos de Florença e, posteriormente, em ambiente acadêmico, na Universidade de Florença e no Politécnico de Milão.

Em 1976, já em Milão, torna-se professor de Restauro de Monumentos e funda o Departamento para a Conservação dos Recursos Arquitetônicos e Ambientais. Entre 1983 e 1985 é coordenador da pós-graduação em doutoramento em Conservação de Bens Arquitetônicos. Nos anos sucessivos, dedica-se a representar as áreas disciplinares de Projeto Arquitetônico e da Conservação no conselho da universidade, atuando também como docente na escola de especialização em restauro de monumentos. Desde 2000, é professor do Laboratório de restauro para especialização em Arquitetura da Universidade de Parma. Em meados dos anos 2000, dirige o master universitário “*Conservazione del costruito-tecniche specialistiche dal progetto di conoscenza alla gestione del cantiere*” e desde então faz parte do Colégio docente do programa de doutorado em tecnologia e gestão de bens culturais de Lucca.

Entre 2002 e 2007 foi presidente da seção italiana do ICOMOS (International Council of Monuments and Sites), ocasião em que organizou a *Terza Mostra Internazionale itinerante del Restauro Monumentale*, mostra que participou de diversas feiras relacionadas à preservação e à arquitetura na Itália.

O fato de ter nascido e crescido em uma cidade como Florença, com tantas estratificações sobre seu construído, certamente foi ponto chave para o entendimento da importância de todas as marcas das passagens do tempo no patrimônio, sem juízo de valor. Ele entende o patrimônio como documento e não vê razão para que qualquer

¹⁰ Retirado do site do arquiteto: <http://www.marcodezzibardeschi.com/About.html>

geração, inclusive a atual, tenha autoridade para julgar se algo, com devido reconhecimento de valor, deve permanecer ou não.

Em seu *Restauro: punto e da capo. Frammenti per una (impossibile)teoria* (BARDESCHI, 2009), Bardeschi apresenta um compilado de textos produzidos ao longo das décadas de 70 e 80 que defendem e justificam a abordagem conservativa do autor.

Conceitualmente, a pura conservação parte do ponto de vista ruskiniano de que tudo, inclusive o patrimônio arquitetônico, tem um fim. A obra arquitetônica carrega em si o “princípio arqueológico do aniquilamento”, seja pelo próprio ciclo biológico de degradação dos elementos, seja por ações humanas ou naturais que aceleram seu fim, como guerras, catástrofes e destruições (BARDESCHI, 2009, p. 19). “*L’architettura vive solo una volta*”¹¹ é subtítulo de um artigo publicado em 2012 no jornal italiano Corriere della Sera. O próprio subtítulo explicita claramente a posição do autor em relação à permanência do patrimônio arquitetônico e sua crítica aos modelos repristinatórios. (BARDESCHI, 2012).

A vertente da pura conservação entende que restauro é conservação. Desconsidera a existência de outras vias para a restauração que não aquela da conservação material integral do patrimônio. Assim, os termos recuperação, reabilitação, ou quaisquer outros termos que não prevejam a conservação física/material do bem, tal como chegou aos dias atuais, não pode ser entendido como um ato de restauro: *Não existe semi-conservação*. Mais do que isso, a pura conservação vê os recursos materiais como limitados, perecíveis e irreprodutíveis, portanto, os recursos materiais perdidos não podem ser recuperados.

A abordagem da pura conservação não passa pela relação dialética, entre as instâncias estética e histórica. Parte do entendimento do patrimônio enquanto documento portador dos sinais dos grupos sociais que ali estiveram ou estão. Toda e qualquer forma de alteração da imagem com vistas à recomposição figurativa do patrimônio é entendido como uma ação repristinatória. Dessa forma, para essa vertente, a questão da imagem não deve ser considerada uma guia para as ações de intervenção, sendo o restabelecimento da unidade potencial da obra, um dos objetivos da Teoria da Restauração de Brandi, entendido como uma prática destrutiva do restauro (BARDESCHI, 2009, p. 31). Com isso, operações de retiradas de adições ou mesmo

¹¹ “A Arquitetura só vive uma vez”, tradução nossa.

anastilose para recomposição aproximativa são consideradas operações arbitrárias e destrutivas e, portanto, condenadas.

Há o entendimento de que a necessidade de subtrair elementos não homogêneos, parcializar o texto material do monumento, evidenciando apenas aquilo que é compreendido como de valor ou parte de uma gramática figurativa, demonstra que existe uma incapacidade em compreender e saber lidar com o patrimônio de forma respeitosa e consciente.

A dualidade *permanência x mutação* permeia todo o pensamento de Bardeschi. São duas condições conflituosas, essenciais para a manutenção de um equilíbrio, dois modos de se relacionar com a realidade, para confirmá-la ou para alterá-la. Ele justifica a sua teoria com o raciocínio de que a história não pode ser congelada e, assim sendo, a cidade também não pode se congelar: não é imutável, mas o testemunho material da história do homem, da sua identidade, pertencendo àquela comunidade na sua inteireza.

“Os grupos sociais modificam o território projetando nesse as suas esperanças, ideologias, frustrações, acumulando ali os sinais dos próprios processos de transformação. Ter consciência que o território já foi ocupado, que não é um vazio, mas um ‘todo-cheio’ histórico e material, e que as suas progressivas estratificações atribuem a ele a idade (como em uma árvore), significa reconhecer-se inserido naquele processo enquanto parte, por nossa vez, de um preciso (e irrepetível) estrato geoarqueológico de sinais, destinado também esse a desaparecer sob novas pegadas que as gerações que virão depois de nós deixarão. A experiência-conhecimento do processo de acumulação dos fatos urbanos e territoriais produzem memória. O horizonte da memória mede, em um dado momento, também a extensão das previsões dos comportamentos e das escolhas (o que conservar, o que inovar): é a memória coletiva que liga os possíveis modos de se estruturar e de se exprimir da arquitetura.” (BARDESCHI, 2009, p. 19, tradução nossa)

Dessa forma, considerando que há o respeito absoluto pela consistência material do monumento, tão importante quanto a boa conservação do patrimônio é a inserção de nova arquitetura, pontuando assim os sinais dos tempos atuais e adequando aquele patrimônio ao uso.

Assim, Bardeschi afirma que a nova arquitetura não deve mimetizar, simular ou reipristinar a arquitetura perdida, mas deve ter a consciência de se inserir em um contexto historicizado, de maneira a demonstrar instâncias dos tempos atuais e a ser capaz de dialogar, por “autenticidade e dignidade” com o patrimônio que forma o

ambiente urbano, escrito e reescrito pelos sinais dos tempos. Desse ponto de vista, fica claro que a proposta repristinatória é uma arquitetura nova, ainda que figurativamente invoque o modelo do passado, sua consistência físico-material não é a mesma, é nova. Bardeschi entende, portanto, que além de desqualificar o patrimônio, entendido em sua consistência física, a arquitetura repristinatória deixa de se fazer sinal do seu tempo, para falsificar um tempo passado. Dessa forma, a pura conservação separa o projeto de restauro do projeto de arquitetura: o primeiro consiste basicamente em operações especializadas de consolidação, manutenção e saneamento de processos patológicos, enquanto o segundo é de fato o projeto do novo.

Segundo Bardeschi (BARDESCHI, 2009, p. 43), o refazimento é largamente aplicado em obras de restauração. Em geral, trata-se de procedimentos aplicados em fachadas com substituição de argamassa de revestimento, ou com a substituição de elementos construtivos como pisos, caixilhos, telhados, ou ainda com remoções para implantação de sistemas de modernização de iluminação, aquecimento, instalações hidráulicas e elétricas, etc. Com isso, diversas operações destrutivas retiram materiais íntegros e próprios da consistência física da obra, que lhe garantiam autenticidade. Para a Pura Conservação, restaurar o tecido construtivo é conter problemas estruturais, a degradação de origem biológica e, sobretudo, entender a restauração enquanto conservação não apenas do retrato visual da obra, mas de sua estrutura física, dos seus componentes que são, de fato, a matéria individual, única e específica, em que consiste a autenticidade da obra.

Em um campo disciplinar heterogêneo, com mais de 150 anos de reflexões sobre o “como intervir” no contexto preexistente e no patrimônio cultural herdado pelas gerações atuais, Bardeschi chama a atenção para o fato de que muitas teorias e muitas classificações¹² de “restauros” foram formuladas: do restauro estilístico (de Viollet-le-Duc), passando pelo restauro romântico (de Ruskin), o restauro histórico (de Beltrami), o restauro científico (de Boito e Giovanonni), o restauro crítico (de Bonelli) e os mais atuais restauro tipológico (de Benevolo e Cervellati) e restauro crítico-criativo (de Carbonara). Do ponto de vista da pura conservação, o que se viu (e ainda se vê), com exceção da vertente ruskiniana, são teorias que procuram defender uma certa liberdade no intervir danoso à obra, justificando concessões que não visam a conservação do patrimônio, mas à sua mutação. Por essa vertente, a palavra “restauro”

¹² BONELLI, Renato. "Restauro" (Il restauro architettonico). In: ENCICLOPEDIA Universale dell'Arte. Roma-Venezia, 1963, v. 11, colunas 347-348.

não tem necessidade da adjetivação ideológica que, por vezes, visa justificar a alteração do texto/leitura. Por exemplo, o restauro “estilístico” justifica alterar o texto de forma a trazer uma leitura condizente àquele estilo arquitetônico; o restauro “filológico”, segundo Bardeschi, sempre escondeu um desejo de correção do texto; o restauro científico tem uma pretensão de classificação, seja tipológica, morfológica, etc; o restauro “crítico” uma vontade de suprimir o diverso e de recompor o texto de forma criativa.

Assim, Bardeschi (BARDESCHI, 2009, p. 56) fala que essas *teorias da mutação* são as principais responsáveis pelas operações de distorção de tecidos construtivos e contextos históricos, uma vez que, ainda que bem fundamentadas filosoficamente, quando colocadas em xeque pelos resultados apresentados em canteiro de obras, caem por terra, apresentando alterações na consistência material e visual do patrimônio. Ele entende que para além de qualquer declaração de princípios, o que de fato deve ser levado em consideração são os resultados apresentados sobre a materialidade da obra. Teorias que defendem resultados danosos ao patrimônio, ainda que justificadas filosoficamente, não deveriam ser aplicadas. Ele as chama de teorias “*auto justificatórias*”.

Dessa forma, a pura conservação entende que nos dias atuais não existe lugar para teorias fundamentadas em restabelecimento da imagem, que refazimentos e propostas repristinatórias são anacronismos que danificam o monumento-documento, seja visualmente quando altera sua forma para algo que ele já não é, seja documentalmente por alterar um testemunho construído, seja simbolicamente por alterar a forma como a comunidade se relaciona e se identifica com o bem. O monumento aqui é entendido como recurso cultural e, portanto, como bem econômico e patrimônio reconhecido pela coletividade. A reprodução *fac-simile* de componentes e elementos construtivos não deve fazer parte do âmbito de ação do restaurador, uma vez que a reprodução faz uma falsa descrição do tecido construtivo, prejudicando a autenticidade e significância do patrimônio.

A busca pela imagem, segundo o autor, tem origens em uma cultura idealista, em que a história da arquitetura se baseou em produzir e divulgar imagens eloquentes, com fins à fruição como ícones simbólicos, autônomos da vida e da história da obra. A obra em si, seria então um suporte sem significado histórico, pois o interesse recai sobre a imagem e o símbolo que a obra representa, e não de fato o que ela é, materialmente

falando. Somado a isso, há a espetacularização da obra de restauro, que trata o monumento como um produto a ser consumido enquanto imagem.

Nesse contexto de respeito absoluto à materialidade do patrimônio, a pura conservação levanta questões relevantes ao debate. Quando se trabalha com um tecido construído estratificado, resultado da memória coletiva de seus usuários e, portanto, pertencente a essa coletividade, é aceitável a perda de recursos “limitados, irreprodutíveis e irreversíveis”? Se sim, existe uma métrica aceitável para tanto? Poderia ser evitada? Está-se trabalhando no sentido de conservar o monumento ou de fazê-lo cópia de si mesmo? Qual a importância da obra enquanto documento?

“No existente se concentra toda a história, todas as nossas raízes comuns. Essa é a fonte de referência do nosso operar. Para que a história seja aberta ao conhecimento, à interpretação, é necessário que seus documentos materiais não tenham sido adulterados. Essa é a razão pela qual devemos nos acostumar a sempre respeitar todo traço da história, inclusive daquelas histórias das quais não nos sentimos parte, daquelas às quais somos menos disponíveis a ouvir e considerar.” (BARDESCHI, 2009, p. 92, tradução nossa)

A pura conservação compreende que nenhuma geração tem autoridade para selecionar o que deve ser mantido ou destruído e que, portanto, é dever daqueles envolvidos com preservação do patrimônio cultural a sua conservação e sua entrega em eficiência e em condições de fruição às futuras gerações, sem falsificações ou desnaturalizações. À primeira vista esses princípios parecem ser comuns às demais teorias/vertentes contemporâneas da restauração, no entanto, a pura conservação não entende o juízo de valor brandiano apto a selecionar permanências e remoções. Bardeschi (2009, p.288) afirma que o restauro não é “obra de gosto”¹³ ou ato inventivo, e que o conservador deve ser atento, de forma a não cair na armadilha da “unidade potencial” e não entender adições e estratificações como algo a ser removido naturalmente, apenas por uma avaliação de um sumário juízo crítico. Deve definitivamente abandonar o álibi de uma pretendida reversibilidade e procurar a preservação quotidiana dos sinais materiais passados, inclusive aqueles mais frágeis. O construído aqui é entendido como resultado dos processos de produção e modos de uso no tempo, isto é, a utilização, o abandono, o reuso, a transformação. Esse entendimento passa pela busca da consistência material, da percepção e da sabedoria de compreender o construído como “(...) expressão direta, tangível da sociedade e das culturas que o realizaram e utilizaram, mais que isso, é espelho fiel dos meios e das

¹³ Opera di gusto, no original italiano.

relações de produção, além dos próprios conflitos em que tem origem.” (BARDESCHI, 2009, p. 322, tradução nossa). A cidade estratificada é, portanto, portadora de uma riqueza que nasce justamente da sobreposição heterogênea de partes e de usos, da acumulação de histórias. Cabe ao conservador ter a capacidade de leitura dessa acumulação e preparo técnico para lidar com sua materialidade, no sentido de sua preservação.

A pura conservação se vê como uma alternativa às teorias da restauração que de alguma forma visam o restabelecimento de uma conformação do monumento que não a atual. Assim, colocando-se como uma via intimamente ligada às ciências, é comum a comparação da pura conservação à medicina preventiva, no sentido de prevenir e desacelerar processos patológicos que futuramente podem comprometer o desempenho do corpo humano/patrimônio histórico. A conservação da cultura material, prioritariamente atenta à fisicalidade, às condições de envelhecimento e de sobrevivência do patrimônio, considera-se uma via que privilegia as “investigações preventivas, os levantamentos estruturais, e sobretudo o conhecimento quantitativo e qualitativo dos processos de degradação e dos ciclos degenerativos dos componentes, e que encontra suas soluções em intervenções mínimas, mas eficazes, em operações pontuais de microcirurgia, conduzidas com técnicas comprovadamente avançadas, evitando renovações generalizadas, acríticas, das estruturas e dos materiais.” (BARDESCHI, 2009, p. 152). O diagnóstico e as investigações não destrutivas realizadas a priori têm papel chave para a condução do projeto de restauro e da busca por soluções. O diagnóstico deve funcionar como o diagnóstico médico, levando em consideração o atual estado de conservação do elemento e o possível estado de degradação futuro, caso não seja realizado nenhum procedimento. Segundo a pura conservação, as investigações são muito relevantes no sentido de propiciar uma série de análises, que vão da restituição gráfica, levantamentos fotogramétricos, que servem como suporte gráfico para o registro dos danos e patologias, até técnicas avançadas de análises não destrutivas, como a termografia.

“O levantamento dos danos coloca em evidência peculiaridade e heterogeneidades de comportamento, registra diversidade e transgressões (incluindo as intervenções precedentes de restauro-interpolação) mais que, como faz o levantamento geométrico, as aparentes analogias morfológicas dos componentes. Ademais, o recurso com métodos e técnicas de investigação não destrutivas é um capítulo que nesses últimos anos adquiriu uma relevância e uma extensão impensável, graças às contribuições de técnicos especialistas e de uma instrumentalização avançada (...)”. (BARDESCHI, 2009, p. 425, tradução nossa)

Com o correto uso da tecnologia, há possibilidades de recursos para incremento de soluções para os danos. Há modelos matemáticos que preveem as degradações e são utilizados para a planejamento dos procedimentos e manutenções para minimizar a perda de material e diminuir os custos e o tempo dispendido em obras.

Assim, o conhecimento e a aproximação daquele objeto de estudo são ferramentas essenciais para a elaboração de um projeto que atenda suas necessidades de restauro, no sentido de sanar problemas físico-materiais: “Para intervir é necessário conhecer” (BARDESCHI, 2009, p. 130, tradução nossa).

Considerando que a abordagem da pura conservação nunca tem como fim o retorno de uma imagem pré-existente, deve-se dizer que para intervir e encontrar soluções adequadas ao saneamento dos danos, além do conhecimento das técnicas construtivas, características dos materiais e dos danos, é necessário também um profundo conhecimento acerca do percurso histórico do patrimônio, inclusive do ponto de vista dos processos de degradação e de renovações, alterações de uso, etc. Conhecer a história do patrimônio que se pretende preservar, indicando adições e demolições, sinais, indícios, testemunhos revela a sua específica identidade e seu caráter insubstituível (BARDESCHI, 2009, p. 424). Dessa forma, todo e qualquer levantamento de formas e usos do passado, também de forma gráfica, com desenhos, é importante para o correto entendimento do percurso histórico que tal patrimônio arquitetônico passou até os dias atuais. Vale ressaltar que, de forma alguma, a restituição gráfica de versões do passado será utilizada no sentido de restituir a imagem do bem a qualquer momento anterior. A intenção desse levantamento é a análise e o entendimento da história daquele patrimônio, com vistas a programar apenas as intervenções necessárias para o saneamento de suas patologias. “Quanto mais conhecemos a história do edifício, que se identifica nos sinais de degradação, mais respeitoso e refinado será o instrumento projetual e o sistema de controle das modalidades de intervenção.” (BARDESCHI, 2009, p. 176, tradução nossa)

Com base nesse raciocínio, a pura conservação entende que técnicos analistas de danos e patologias são profissionais mais eficazes na preservação do patrimônio do que arquitetos e restauradores ligados às formulações teóricas que, segundo essa vertente, não apresentam bons resultados. Deve-se, assim, trazer a atenção dos profissionais ligados à preservação – do operário, do projetista ao empresário – à fisicalidade do construído e à recuperação do conhecimento da natureza dos materiais, às soluções técnicas que melhor possam a sanar ou desacelerar os danos.

Com uma proposta ancorada à materialidade do patrimônio, vê-se aqui uma valorização de áreas tecnológicas e técnicas. Uma vez que não há possibilidade de refazimento de elementos, o que se perdeu está perdido para sempre. Daí a necessidade da compreensão de aspectos técnicos dos materiais, características intrínsecas de cada técnica construtiva, os danos estruturais, ligados aos ciclos biológicos e de uso, e de procedimentos que visem o saneamento de patologias, seja por consolidação, limpeza ou proteção, bem como o entendimento integral da materialidade da construção.

“Assim, por meio de progressivas operações de conhecimento (o levantamento estrutural e material, a análise quantitativa do dano, o diagnóstico, as análises não destrutivas, as provas de carga diretas ou simuladas, a modelagem matemática) chega-se à requalificação (não substituição!) dos materiais e à consolidação das estruturas, buscando a máxima permanência, que representa aquilo que a história nos entregou para uso.” (BARDESCHI, 2009, p. 210)

Não há espaço para soluções de cunho criativo ou propostas subjetivas, que flexibilizem o caráter conservativo do projeto de restauro. Justamente por essa rigidez conservativa em relação ao patrimônio existente que uma outra face da proposta se revela. Se não é possível descaracterizar o tecido construtivo atual para adequá-lo a novas necessidades, funções e usos, como se dá a inserção desse patrimônio no cotidiano da sociedade? Ainda que exista uma maximização da permanência, instalações, equipamentos, adequações para segurança dos usuários precisam ser contemplados em muitas situações. Sendo uma destinação de uso compatível com o patrimônio arquitetônico em questão, segundo a pura conservação, deve-se prever o projeto do novo, da nova matéria a ser inserida naquele contexto histórico, que conte a história e seja representativa do momento atual. A integração entre o projeto de restauro e o projeto do novo (ou o projeto de arquitetura) se dá por meio de uma profunda escuta do existente, da sensibilidade do arquiteto em atuar na permanência através de um diálogo que não violente o documento. Como? Acrescentando com cautela e compatibilidade, não subtraindo matéria do contexto¹⁴, evitando rasgos, demolições e retiradas no tecido construtivo. De todo modo, ainda que prioritariamente exista o respeito à preexistência, o novo não deve “(...) aceitar sua redução ao silêncio, isto é, não deve ser mortificado, penalizado, até mesmo mimetizado. O dito *neutro* existe somente na falsa consciência de ‘restauradores’ de um tempo. Ainda que involuntariamente, com o nosso grau de escritura, qualquer que esse seja, o

¹⁴ “*Non sottrarre, piuttosto aggiungere, se possibile, materia al contesto*”. É o slogan da metodologia projetual da pura conservação, segundo Bardeschi (BARDESCHI, 2009, p.93).

entregaremos ao futuro. Serão os nossos sinais os documentos assinados do nosso tempo.” (BARDESCHI, 2009, p. 211, tradução nossa).

Segundo a descrição que Bardeschi mantém em seu sítio¹⁵ na internet, “a proposta metodológica da pura conservação prevê o restauro como ciência da conservação, estudando, analisando e operando no sentido de sanar e minimizar os danos, combatendo as causas e origens dos fenômenos patológicos ligados à matéria, sejam problemas estruturais, por mau uso ou subutilização do patrimônio. Pressupõe-se, portanto, que a atenção seja voltada à manutenção da forma que o patrimônio possui no momento presente, evitando subjetivas seleções históricas. O slogan que inspira seu trabalho é: não subtraia o material do tecido construtivo, acrescente, discretamente, aumentando a estratificação histórica e o diálogo resultante entre as coisas. O projeto de conservação do existente é, portanto, associado a um projeto calculado do novo, como uma adição autônoma e compatível, merecidamente de qualidade, à qual é conferido um caráter narrativo. Leva a vida e materializa, em cada obra, entre as linhas do existente, uma nova micro-história, uma outra história dos nossos dias no grande palimpsesto progressivo da obra de arquitetura.”

1.1.2 A HIPERMANUTENÇÃO

A hipermanutenção ou manutenção-ripristino se baseia na premissa do refazimento cíclico de uma arquitetura viva e partícipe da sociedade. Tem como seu principal nome Paolo Marconi.

Paolo Marconi¹⁶ nasceu em Roma, Itália, em 1933. Formou-se arquiteto também em Roma em 1958, tornando-se professor em História da Arte, História e Estilos da Arquitetura em 1964. Em 1966 passou no concurso como arquiteto principal da Superintendência de Monumentos de Roma, projetando e dirigindo diversos trabalhos de restauro, entre os quais, o Claustro de Santa Maria della Pace de Bramante, o

¹⁵ <http://www.marcodezzibardeschi.com/About.html>

¹⁶ Biografia retirada do sítio do SIUSA - Sistema Informativo Unificato per le Soprintendenze Archivistiche, do Ministero dei beni e delle attività culturali e del turismo - Direzione generale archivi.
<http://siusa.archivi.beniculturali.it/cgi-bin/pagina.pl?TipoPag=prodpersona&Chiave=59950>, acesso em 02/04/2018.

Tempietto de San Giovanni in Oleo di Borromini, a Igreja dos Santos Luca e Martina de Pietro della Cortona e as Igrejas da Piazza del Popolo.

Em 1970, como professor de História da Arquitetura em Palermo e em Roma, passa a lecionar a disciplina de Restauro Arquitetônico, ocasião em que sua experiência na Superintendência foi de muita valia. Foi ainda professor de teoria e técnica de restauração na Escola Arqueológica de Atenas. Foi diretor do Mestrado em Restauração Arquitetônica e em Recuperação de Edifícios, Urbanismo e Meio Ambiente na Faculdade de Arquitetura da Universidade Roma Tre, diretor de cursos de restauração arquitetônica, urbana e ambiental e do Master di Recupero della Bellezza dei Centri Storici na Faculdade de Arquitetura da mesma universidade.

Foi responsável por inúmeras intervenções realizadas em toda a Itália, como arquiteto e diretor de obras de restauração: na Sicília (La Zisa com Giuseppe Caronia, a Catedral de Cefalù), Piemonte (em Turim: Teatro Carignano e Museo Egizio; Reggia di Venaria Reale do Laranjal e da Grande Stable), Veneto (Basilica Palladian em Vicenza) e Campania (Castel Sant 'Elmo em Nápoles; o ripristino da Casa delle Nozze d'Argento de Pompeia, projeto no âmbito do World Monuments Found, através da Kress Foundation). Marconi era ainda membro da Academia Nacional De Ciência de Buenos Aires e acadêmico benemérito da Academia de San Luca.

Em sua carreira, desenvolveu atividades projetuais, científicas e didáticas, com integração de seus respectivos campos, desde a teoria científica até a prática concreta do canteiro de obras, obtendo diversos reconhecimentos, incluindo a “Medaille d'argent de la restauration” da Academie d'Architecture de Paris e o “Premio Luigi Tartufari”, concedido pela Accademia dei Lincei, em junho de 2013. Atuando como arquiteto-restaurador, Marconi desenvolveu uma visão prática do campo disciplinar, que extrapola questões de pesquisa e ensino.

A orientação metodológica da hipermanutenção “propõe o tratamento da obra através de manutenções ou integrações, ordinárias e extraordinárias, retomando formas e técnicas do passado” (KÜHL, 2005, p. 28), visando o refazimento de elementos tidos como cíclicos na história do patrimônio. É uma postura frequentemente criticada por parte de outras orientações de método, como a pura conservação e a crítico-conservativa (ou posição central), visto que existe um pragmatismo de base, com tendência a se trabalhar por analogia e fortemente pautada pelo empirismo, enquanto as demais posturas são baseadas em critérios científicos.

Em 1988, Paolo Marconi publica a primeira edição de “Dal piccolo al grande restauro: colore, struttura, architettura” (MARCONI, 1998) em que ele expõe a sua abordagem metodológica da restauração. No livro ele explica em termos teóricos e práticos as razões das possíveis substituições e refazimentos, contra-ataca as críticas às suas posturas rebatendo os princípios brandianos que, segundo Marconi, são bastante difundidos e aceitos no país, inclusive sendo o padrão metodológico do sistema de tutela das superintendências.

De fato, a abordagem da hipermanutenção parte de um lugar diverso das outras duas vertentes. Ela entende o patrimônio cultural como algo participante da vida quotidiana da sociedade e não como algo excepcional, de caráter único. Daí a compreensão de que é lícito refazer elementos e componentes, já que esse comportamento segue a lógica da renovação desde o início da história e, inclusive, é devida a essa lógica a permanência de edificações históricas e outros exemplares de patrimônio cultural construído.

Com esse entendimento, Marconi começa a justificar a metodologia trazendo dois conceitos que permeiam a questão permanência x mutação: ele separa materiais de construção em materiais ricos e materiais pobres, sendo a durabilidade o critério de classificação. Por exemplo, existem alvenarias de constituição murária “rica”, compostas de materiais como pedra ou tijolos de boa qualidade, produzidos com um bom barro, com cuidado nos procedimentos de elaboração e queima, conferindo a eles a capacidade de resistir ao tempo em alvenarias expostas, sem argamassa de revestimento, em fachadas com tijoleiras a vista. O valor desse material de boa qualidade se revela também do ponto de vista visual. Materiais de boa qualidade normalmente são considerados bonitos, seja pela beleza naturalmente intrínseca ao material (no caso de pedras e rochas naturais), seja pelo bom trabalho que foi realizado no fabrico do material (no caso dos tijolos), justificando a exposição desses materiais. E existem alvenarias de constituição murária “pobre”, que seriam as alvenarias que, por características próprias da produção do material ou de uma técnica construtiva ou assentamento pouco refinados, têm pouca durabilidade quando expostos às intempéries. Assim, essas alvenarias “pobres” ou “rústicas” necessitam de uma outra camada na superfície, com fins de proteção ao material de pouca qualidade e para melhorar suas características visuais: a argamassa de revestimento tem esse papel, proteger e embelezar um material dito pobre. Inclusive, a própria pintura desempenha a função de proteger e embelezar a argamassa de revestimento.

Parte daí a ideia de superfície de sacrifício, tão presente na justificativa conceitual da hipermanutenção. Segundo Marconi, superfícies de sacrifício são:

“(...) estratos protetivos do núcleo murário, seja argamassa de revestimento de diferentes composições, seja pintura, extremamente pertinente não apenas em relação à sua função técnica, mas à própria ‘filosofia’ que inspirou a sua formação, bem como aquela que deveria presidir à sua manutenção. Superfícies de sacrifício, como foram chamadas, tendo em mente a sua relativa perecibilidade, exigem uma periódica renovação. Essas são a primeira linha relativa às agressões atmosféricas e, como uma primeira linha deve prover a substituição sistemática dos homens mortos para garantir a manutenção de todo o exército, assim a superfície de sacrifício deve ser renovada para garantir a coesão do muro que protege.” (MARCONI, 1998, p. 24)

Muito desse conceito se explica pela própria caracterização da arquitetura “pobre”, com menos recursos financeiros empregados. Em geral, são utilizados materiais mais baratos e menos duráveis, bem como técnicas manuais mais simples e que requerem menor qualificação da mão-de-obra utilizada. Desse ponto de vista, a superfície de sacrifício é um recurso que viabiliza o emprego de materiais e técnicas construtivas menos sofisticadas, pois permite uma sobrevivência a um maior termo que seu limite fisiológico, quando expostos às intempéries. As superfícies de sacrifício são constituídas de materiais ainda menos duráveis que o núcleo murário, visto que a sua renovação é algo esperado.

Vale ressaltar que uma considerável parte das edificações históricas é construída com materiais e técnicas “pobres”. Dessa forma, segundo a hipermanutenção, a manutenção dessas edificações não deve se negar a ver o caráter efêmero dessas superfícies e o conceito de ciclicidade do *ripristino* das superfícies de sacrifício, já que correspondem a um importante número de construções e, portanto, a postura adotada para a manutenção das mesmas terá um grande impacto no patrimônio.

Os refazimentos *fac simile* que propõe Marconi, no entanto, são inadmissíveis do ponto de vista da instância histórica para Brandi. Ele entende que uma intervenção que se pressupõe antedatada é um falso histórico e, como tal, não pode ser admitida. Porém, na mesma linha de raciocínio, Brandi admite refazimentos – *não como parte do campo da restauração* –, mas entende que podem ser testemunhos autênticos do fazer humano e passíveis de absorção pela história daquela obra. A diferença aqui está no modo de executar esse refazimento, o que faz com que sejam praticamente opostos:

um procura dissimular e confundir, o outro é produto de seu tempo. (BRANDI, 2005, p. 74)

Além da questão do refazimento em si, a orientação de renovar e refazer periodicamente as superfícies entra em conflito com outro conceito bastante difundido pela Teoria da Restauração e contemplado na Carta Italiana de Restauro de 1972: o conceito de pátina e a orientação de respeito absoluto às marcas da passagem do tempo sobre os materiais. Visto que ali estariam expressos fisicamente as marcas e os sinais que o transcorrer do tempo e do estar daquela construção no mundo. Segundo Brandi, a remoção da pátina é uma forma de falsificar a história, uma vez que se retiram os testemunhos históricos da antiguidade da obra, fazendo a:

“matéria a readquirir um frescor, um corte preciso, uma evidência tal que contradiz a antiguidade que testemunha. (...) do ponto de vista histórico, portanto, a conservação da pátina, como aquele particular ofuscamento que a novidade da matéria recebe através do tempo transcorrido, não apenas é admissível, como é requerida de modo taxativo.” (BRANDI, 2005, p. 72)

Marconi, em defesa do seu ponto de vista, entende que a proibição da remoção da pátina vai contra evidências científicas e contra exigências da própria conservação, uma vez que os métodos de limpeza não permitem uma remoção tão apurada e fina, além de não fazer sentido remover apenas uma parte dos depósitos superficiais nocivos. Para remoção de depósitos causados pela poluição, a água nebulizada seria a técnica mais apropriada para limpeza, sendo eficaz e *soft*¹⁷, porém removendo os sinais de pátina. Ele defende a prática da limpeza sob a alegação de que existem duas soluções: ou o abandono da obra à poluição e às patologias físicas e visuais que derivam dela, ou práticas de limpeza e de proteção superficial de pedras e tijolos como forma de salvaguarda do patrimônio construído. Porém, a esse respeito, Beatriz Kühl entende que não existem apenas duas posições extremadas, mas que com uma análise apropriada, pode-se eleger o que é de fato sinal do tempo sobre a obra, e o que é depósito superficial ou outra patologia.

“Deve-se, porém, de modo semelhante ao que se passa com a análise da edificação como um todo, reconhecer aquilo que pode ser considerado como incidência positiva do tempo sobre a obra, a exemplo da pátina, e aquilo que, ao contrário, deve ser visto como incidência negativa, tais como sujeiras e patologias.

¹⁷ Em muitas ocasiões, Marconi faz referências a intervenções *soft* e intervenções *hard*, para explicar procedimentos não incisivos (*soft*) e procedimentos com muitas alterações na obra (*hard*). Ele considera manutenções periódicas de limpeza e conservação de telhados, por exemplo, intervenções *soft* e restauros com substituições de componentes, *hard*.

São coisas distintas, que devem ser encaradas e tratadas de modo diverso.” (KÜHL, 2004, p. 322)

Em diversos momentos nos textos compilados no seu “Dal piccolo al grande restauro: colore, struttura, architettura”, Marconi cita a Carta de Restauro Italiana de 1972 contestando recomendações contidas nela. Ele entende que essa carta orienta toda aquela geração de arquitetos, restauradores e demais profissionais envolvidos com o campo disciplinar e, do seu ponto de vista, o fato do *ripristino* ser rechaçado pela carta empobrece os trabalhos de restauro desenvolvidos no país e prejudicam o patrimônio como um todo. A questão do *ripristino* como falsificação, para a hipermanutenção, não é válida e não deve ser considerada como a falsificação em uma obra de arte. A reprodução de partes da arquitetura, ou a reintegração de elementos *fac simile*, justifica-se com base no pensamento de que essa é uma mera reprodução mecânica do original, nascida da preocupação em expor esses elementos a condições de transfiguração ou perda de matéria.

Além disso, a hipermanutenção vê a reprodução de elementos ou reintegrações como algo que não se propõe falsificar, justamente porque entende os revestimentos e componentes como impossíveis de serem falsificados, graças às condições de material e técnicas manuais que denotam a atualidade do componente, ainda que a intenção do executor seja atingir o maior grau de semelhança possível. Portanto, coloca como impossível a falsificação no caso da arquitetura (MARCONI, 1998, p. 45).

Todavia, quando se trata de reprodução, qual o papel da criatividade nessa postura? Quais os parâmetros para a reprodução de elementos? Marconi traz algumas palavras-chave que guiam a reprodução. A *criatividade* seria utilizada apenas o suficiente para conseguir “reconstruir mentalmente a fisionomia original do tecido construtivo, partindo de indícios factuais, de levantamentos e medidas “ (MARCONI, 1998, p. 46), para então trazer as proporções de forma análoga. Em arquitetura é possível, segundo a lógica utilizada aqui, entender o ritmo, a estrutura e os motivos. A ordem numérica em muitos casos é evidente e pressupõe um módulo, relativamente padronizado, que facilita um desenho por *analogia* reprodutível. Aqui existem duas facetas dessa proposta: se por um lado essa reprodução tem um caráter falacioso, por outro ela pode ser entendida como um processo de re-criação, próprio da arquitetura (e diferente das belas artes).

Contudo, apesar da hipermanutenção trazer a reprodução como algo possível em restauração, é clara a diferença entre essa proposta e a postura do restauro estilístico de Viollet-le-Duc. Aqui entende-se que uma reprodução por analogia não é o

mesmo que reproduzir a psicologia do projetar de um outro momento histórico, colocando-se no lugar do projetista de então, inventando soluções e corrigindo possíveis falhas. De acordo com a hipermanutenção, nada pode ser inventado. Limita-se a recriar a trama e ritmo do tecido murário, remover adições que prejudiquem a trama. Ainda que o processo de operar por analogia seja possível, sempre é necessário realizar investigações para comprovação das hipóteses construtivas.

Assim, para a hipermanutenção, fica evidente o papel protagonista da face estética do restauro, justificado por razões de significância e significado, muitas vezes gerados por motivos estéticos, além de históricos. Desse ponto de vista, não faz sentido “embalsamar” um monumento histórico, uma vez que dessa forma as razões que motivaram seu reconhecimento como patrimônio já não existem. Para essa vertente, é mais sensato um ripristino filológico, ou seja, com comprovações de que a obra era daquela forma pretendida em algum momento, do que um conservacionismo “decadente”, em que pouco a pouco os significados do patrimônio vão se perdendo, seja fisicamente por perda de matéria, seja significativamente.

Nessa chave, Marconi ainda faz um paralelo entre os críticos de arte de formação humanística, que tem seus pensamentos e opiniões com ampla divulgação e alcance do público, e os profissionais relacionados ao trabalho e serviços de restauro, que muitas vezes têm um olhar mais técnico-científico e não apenas sensível ao patrimônio, mas que por vezes não têm suas escolhas (feitas, segundo ele, por critérios científicos) difundidas. A limpeza das fachadas é um debate que ilustra esse paralelo. Para Marconi, a obrigatoriedade da limpeza das fachadas já foi comprovada em diversos congressos científicos e aplicada em obras de visibilidade. Em médias e grandes cidades, devido à poluição atmosférica, a chuva ácida e o enxofre proveniente da chuva são muito danosos às pedras calcárias, transformando-as em gesso e em calcite, com significativa perda de material. Outra consequência da poluição atmosférica é a formação de crosta negra. Apesar das comprovações da necessidade de limpezas constantes, esse tema é sempre polêmico, visto que altera a coloração e a leitura do monumento. Mas se faz parte do cotidiano do monumento sua limpeza e, portanto, uma alternância entre colorações, mais ou menos atingidas pela poluição a depender de quando foi realizada a última limpeza, não é de se esperar que esse processo já seja conhecido e reconhecido como legítimo na vida da obra? Marconi cita

Giovanonni¹⁸, sobre a orientação de como fazer falsas pátinas ao final ele diz: “Mas a pátina é feita em modo sombrio, sem atingir o tom da velha parede, mostrando sempre a nova adição, representando a maquiagem provisória que pouco a pouco o tempo substituirá com a autêntica tinta do monumento; *e somente então o restauro estará concluído.*” (GIOVANONNI, 1925, p.148 apud MARCONI, 1998, p.70).

Os momentos pós-obras de restauro são muito criticados¹⁹ pelo efeito de novidade que por vezes uma nova pintura ou uma limpeza promovem. Considerando, como já mencionado, que esse efeito não deve ser entendido como o resultado do restauro, mas como parte de processo, o efeito de novidade, com o passar dos anos irá se desgastar, o ambiente, o sol, o vento e a chuva irão esmaecer as cores mais vivas e escurecer as mais claras. Dessa forma, não se pode esperar que o imediato pós-obra se pareça com o que a obra será decorridos cinco anos das intervenções. Marconi faz referência a leis previsionais em países como a França, onde é fixado um período de 10 anos para a avaliação dos efeitos das intervenções. A outra opção a uma séria limpeza e repintura seria apenas uma branda remoção do pó a seco, limitando a limpeza à retirada de depósitos superficiais, deixando na obra boa parte dos materiais agressivos e finalizando o procedimento com a aplicação de alguma resina “milagrosa”, como é prática de muitos restauradores. (MARCONI, 1998, p. 77)

Para além da questão da limpeza, a pintura acumula o papel de impactar visualmente na leitura da obra e uma importante função de proteção dos edifícios. Segundo Marconi, diferentemente das tintas modernas, as tintas com receitas tradicionais (a cal) são mais adaptadas ao suporte, promovem além de renovação da cor, a proteção de uma camada superficial de carbonato de cálcio, resultado da recarbonatação da cal. Essa opção por uma técnica tradicional de pintura é um dos exemplos que a hipermanutenção traz como justificativa para o resgate de técnicas tradicionais e a aplicação destas em canteiros de restauro. A razão principal é a durabilidade e a compatibilidade com os materiais históricos, já verificadas pelo laboratório do “tempo”. O ripristino filológico também justifica o resgate de técnicas tradicionais como um saber a ser passado adiante, como um patrimônio a ser conservado.

¹⁸ GIOVANONNI, Gustavo. Questioni di architettura nella storia e nella vita: edilizia, estetica architettonica, restauri, ambiente dei monumenti. Società Editrice d'Arte Illustrata: Roma, 1925. P.148.

¹⁹ Marconi cita, por exemplo, o Palazzo di Giustizia (il Palazzaccio) de Roma e a Porta del Popolo, também em Roma. MARCONI, 1998, p.74.

O estudo em profundidade das técnicas construtivas da obra em questão pode ser ainda compreendido como parte do conjunto de estudos necessários para conhecimento do patrimônio previamente aos procedimentos de restauro. Aqui está mais uma semelhança entre as diversas vertentes metodológicas: o profundo conhecimento do bem, seja do ponto de vista histórico ou técnico. Nessa chave, o papel do levantamento métrico apurado e a documentação do atual estado da obra são formas de registro e aproximação cognitiva do bem.

O estudo das técnicas antigas deve ainda ser incentivado como contraposição ao desenvolvimento de materiais sintéticos, que ameaçam o patrimônio ao promover experiências possivelmente danosas, seja do ponto de vista físico, seja do ponto de vista estético.

A hipermanutenção está baseada na aplicação de manutenções periódicas e na permanência de materiais e técnicas tradicionais. A vertente entende que o sucesso do desempenho das técnicas tradicionais, por exemplo a pintura como proteção, dá-se pelas constantes manutenções e reaplicações. A partir do momento em que novos materiais surgem com a promessa de menor quantidade de aplicações e maior durabilidade, a prática da manutenção periódica e programada se perde e, assim, o desempenho das técnicas e materiais tradicionais se fragiliza. No entanto, segundo o ponto de vista da hipermanutenção, os efeitos de materiais sintéticos são pífios e danificam a médio e longo prazo a durabilidade das construções e de seus elementos, bem como sua autenticidade (MARCONI, 1998, p. 94).

Como parte desse raciocínio, existe nessa vertente metodológica uma crítica à tendência de investimentos de pesquisa no desenvolvimento de materiais sintéticos e no papel protagonista que a tecnologia tem desempenhado no campo disciplinar. Visto que existe um amplo campo de pesquisa em técnicas tradicionais, em individualizar a gênese dos compostos, suas diferentes aplicações, vê-se aqui um campo aberto ao conhecimento que não tem atraído pesquisadores.

“Simplicidade e máxima compatibilidade, juntamente com o critério da mínima intervenção, entendido como aquele menos invasivo e adulterante do material pétreo; (...) a pesquisa química pode e deve passar àquela da experimentação, em laboratório e in loco, de procedimentos e receitas dos quais até o momento apenas se formularam hipóteses sobre seus méritos, de forma clara e verdadeiramente científica” (MARCONI, 1998, p. 93).

Considerando que tais manutenções periódicas, utilizando técnicas seculares, já comprovadamente eficazes quanto à durabilidade do tecido construtivo e de bom

efeito estético, são uma opção de excelência para a conservação das construções, a hipermanutenção defende o retorno a um sistema de manutenções programadas com a utilização de técnicas tradicionais, de forma contemporânea, isto é, com as melhoras que a pesquisa científica possa trazer para suas aplicações e com uma consciência estética mais amadurecida. Para essa vertente metodológica, este é um tempo de reavaliação das tecnologias apropriadas à aplicação em restauro, e entende que não se pode renunciar à recuperação da sabedoria e do conhecimento do saber fazer tradicional. A hipermanutenção avalia o momento atual como tempo de um esforço para requalificação de mão-de-obra, muito influenciada pelas simplificações de técnicas promovidas pelas primeiras e segundas industrializações. “Materiais naturais e simples, sensibilidade historiográfica, e habilidades manuais renovadas: estes são os recursos que devemos atingir (...)” (MARCONI, 1998, p. 106).

Marconi faz um paralelo entre os graus de intervenções e considera que manutenções ordinárias com técnicas tradicionais, como uma repintura ou uma consolidação superficial (não estrutural) com leite ou água de cal, são intervenções leves (*soft*) e não devem ser transformadas em intervenções incisivas (*hard*) quando os procedimentos apostam no uso de novos materiais sintéticos, que agem impregnando o revestimento ou a pedra. Essas técnicas modernas em vez de sanar a patologia, pioram as condições do dano, visto que prejudicam as condições ambientais do material, formando uma película que não permite as trocas gasosas e alteram o microclima. A pintura a cal ou mesmos os consolidantes superficiais a base de cal, por sua vez formam um filme compatível com o suporte, consolidando-o e protegendo-o. Mesmo em casos de reintegrações mais incisivas com pedras ou argamassa de revestimento sem pintura, entende-se ser preferível a utilização de materiais de mesmas características, ainda que visualmente em um primeiro momento destoem do contexto do restante do monumento, do que a pura e simples remoção do pó superficial e na aplicação de uma resina transparente, isentando-se de uma escolha sobre a sua apresentação.

A hipermanutenção também identifica nas posturas adotadas por aqueles que defendem a conservação (como entendida pela pura conservação) uma fetichização da “ruderização”²⁰ do patrimônio, que justifica o não intervir e a crença na tecnologia como forma de manter o então estado da obra. A crítica se estende à forma como os chamados conservacionistas entendem a relação história-patrimônio, separando o

²⁰ Relativo à ruína. Processo de arruinamento.

patrimônio da tradição e afastando-a dos processos naturais de envelhecimento e manutenção, afastando ainda aqueles profissionais que possuem uma cultura construtiva baseada numa tradição oral e manual e que são fonte de um conhecimento que deve ser preservado.

A vertente ainda questiona a demonização do ripristino e traz à tona questões de ordem prática, como a maior adequabilidade dos refazimentos às construções históricas, bem como a sua durabilidade e eficácia como proteção. Para além de manutenções ordinárias, em casos mais graves, com problemas estruturais, há uma série de experimentações realizadas entre as décadas de 30 e 80 que mostram que a inserção de outros materiais consolidantes, com especial atenção ao concreto armado e às estruturas elásticas, desnaturalizando a estrutura original. A falta de conhecimento de como as estruturas tradicionais funcionam possibilitou diversos casos de intervenções danosas às obras. (MARCONI, 1998, p. 161).

Finalmente, a hipermanutenção, enquanto metodologia teórica de restauro, propõe a adoção de uma postura fisiológica e até mesmo ecológica, abordando o problema de sanar patologias e restituir esteticamente os signos de reconhecimento da obra de forma a garantir uma digna sobrevivência, salvaguardada com procedimentos que já são íntimos de suas estruturas e materiais.

1.1.3 A POSIÇÃO CENTRAL OU CRÍTICO-CONSERVATIVA E CRIATIVA

A posição crítico-conservativa e criativa está fundamentada nos princípios brandianos da Teoria da Restauração, no conceito do patrimônio detentor de uma dúplice polaridade estética e histórica, bem como no entendimento de que o restauro é a função crítica, com base nesse binômio, expressa em ato, e que supera a pura e simples conservação material do patrimônio.

Giovanni Carbonara distingue a proposta crítico-conservativa e criativa das outras duas vertentes contemporâneas na medida em que entende que “a invocada criatividade não é mais sujeita às exigências da repriminização, de arquitetura retrospectiva ou, caso queiramos, imitativa de formas e técnicas passadas” (CARBONARA, 1997, p. 394, tradução nossa), como defende a hipermanutenção e, diferentemente da pura conservação, “(...) porque não aceita como fatos separados o

momento conservativo e aquele da inovação, reconhecendo os dois como necessariamente alinhados nos mesmos binários críticos, em contemporaneidade, e mais do que de modo cronológico, de modo metodológico, em que um nutre e dirige o outro e vice-versa, refutando, ainda, a oportunidade de uma intervenção totalmente “livre” de vínculos e das indicações que a compreensão histórico-crítica que o objeto estabelece” (CARBONARA, 1997, p. 394, tradução nossa).

Segundo Kühl (KÜHL, 2008, p. 85), a vertente crítico-conservativa defende que o restauro é um ato do presente, não sendo atemporalmente válido, mas possuindo pertinência relativa. Qualquer juízo realizado em um dado momento é influenciado pelo tempo em que está inserido. Do ponto de vista metodológico, as instâncias estética e histórica são articuladas, ambas fazem parte de um mesmo bem multifacetado e devem ser levadas em consideração, interagindo dialeticamente.

O conflito “mutação x permanência” ou “estética x história” ou “alteração x conservação” é presente em toda e qualquer intervenção em patrimônio histórico. Segundo a posição crítico-conservativa, é uma falácia entender a conservação integral da fisicalidade como algo objetivo e isento de escolha e juízo de valor. Sob essa ótica, negar a face estética do patrimônio não faz com que essa face não exista, mas faz com que a escolha projetual não a considere, sendo sim uma decisão de projeto. A instância estética faz parte da obra e, como tal, deve ser abordada com consciência histórica e um ponderado juízo.

“O restauro, na posição central, deve ser fundamentado na análise da obra, de seus aspectos físicos e de suas características formais, de seu transcorrer no tempo, para, através de ato crítico, contemporizar, segundo Brandi, as instâncias estética e histórica, e intervir, respeitando seus elementos caracterizadores, com o intuito de valorizá-la e transmiti-la ao futuro da melhor maneira possível.” (KÜHL, 2008, p. 90).

A posição crítico-conservativa entende que não seja possível uma norma rígida como conduta de restauro, primeiramente porque cada obra é um caso particular, com características e especificidades muito próprias, seja do ponto de vista físico, como estético e histórico. Cada obra apresenta complexidades e particularidades de problemas diferentes, não sendo possível enquadrá-los em classificações pré-concebidas. Franco Forlati (1975, p. 4-5, apud CARBONARA, 1997, p. 397, tradução nossa) fala do restauro como ato de modificação, de necessária interpretação do monumento, não sendo possível se abster da escolha projetual: “não existe restauro anônimo”.

Considerando o restauro um ato crítico, na medida em que usa um juízo de ponderamento sobre as mais diversas condicionantes do projeto, transitando pelo binômio estética-história, ele prevê a reintegração das condições que permitam a fruição e a apreciação da obra. Isso se dá, em termos práticos, através da demolição de elementos e alterações que tenham retirado essa possibilidade

A abordagem da instância estética, sob o ponto de vista dessa vertente, é diversa da hipermanutenção e da pura conservação. Busca-se uma solução que contemple uma possível reintegração da imagem, atuando sobretudo com sensibilidade criativa e juízo crítico na atribuição de uma espacialidade figurativa, não aquela original, já perdida e irrecuperável, mas também não aquela incompreensível e dilacerada, visto que a conformação da obra também fala sobre ela e faz parte da sua significância. Assim, a posição central entende que existem soluções criativas (até com a inserção de novos elementos) para chegar a uma proposta figurativa, de reintegração da imagem, em que exista a valorização das características próprias daquela obra, sempre de forma respeitosa à sua historicidade. Diferentemente da hipermanutenção, essa vertente não age por analogia, mas como proposta que faça sentido dentro das particularidades da obra, trazendo, como fala Paul Philippot (1959, apud CARBONARA, 1997, p. 407, tradução nossa), a “estrutura” e não a “letra” da obra, distinguindo-se de reconstruções em estilo ou imitativas.

“Em arquitetura, muito frequentemente, ritmo, interações e matrizes geométricas permitem restituir, com um razoável grau de segurança, aspectos que na mais livre e complexa articulação da figura em um quadro não poderiam ser propostos; volumetria, cheios e vazios, áreas de luz e sombra, efeitos espaciais podem ser repropostos e contribuirão eficazmente à reconstrução mental da imagem original, ainda se não acompanhados da reconstrução de todos os outros traços. **Sempre deverá se tratar de reinterpretação e nunca de ripristino.**” (CARBONARA, 1997, p. 409. Grifo nosso.)

Vale mencionar que a atribuição de uma espacialidade figurativa não significa de maneira nenhuma que a uma obra muito degradada, em ruínas talvez, deva ser reconstruída, seja por questões de reintegração de imagem, ou mesmo por questões de uso. Da mesma forma, não se afirma que, em situação de ruína, a obra deva ser abandonada por não apresentar mais uma conformação espacial, como entendida em arquitetura (inclusive, ruínas podem ser objeto de uma proposta de restauro crítico-conservativo permanecendo ruínas, mas não por fetichismo). A questão aqui deverá, segundo a posição crítica-conservativa, ser resolvida de forma crítica, considerando os aspectos históricos e estéticos, bem como as particularidades e circunstâncias da obra.

Há diversas possibilidades, o restauro nessa vertente não é entendido como passível apenas de uma única solução, mas de possibilidades diversas que encarem o desafio que é trabalhar com um bem multifacetado, contemplando e valorizando suas características de forma articulada.

Essa é uma das principais diferenças entre essa proposta metodológica e as outras duas propostas. No entendimento da posição central, o eixo condutor está no juízo crítico e na avaliação pormenorizada de todos os aspectos da obra, em especial os aspectos estéticos e históricos. Diferentemente da pura conservação, em que existe uma busca pela objetividade (já que não existe escolha que não a conservação integral de todo o tecido construtivo da obra) e da hipermanutenção, em que há uma busca filológica por um estado visual que represente a obra em seus aspectos de significância estética, na posição crítico-conservativa existe subjetividade, visto que o patrimônio é entendido em toda a sua complexidade. Os diversos aspectos da obra são analisados por uma equipe técnica multidisciplinar. Vale destacar que tal equipe deve possuir um profundo conhecimento técnico e metodológico para que tal análise seja possível e responsável do ponto de vista da preservação. Não cabem aqui análises superficiais, tampouco sugestões de gosto. A proposta deve se ater apenas às condições e características da obra, e é ela quem conduz a proposta e dá os caminhos para as soluções a serem especificadas em projeto.

No entanto, de acordo com Carbonara (1997, p. 410), a subjetividade da proposta abre espaço para uma variedade de aproximações possíveis para estabelecer uma relação novo-antigo, sendo imprescindível o comportamento crítico e criativo que o restauro moderno implica. Não é possível trabalhar com neutros, não é possível se abster da escolha material-figurativa do restauro. O projeto de novos elementos deve passar por uma escuta atenta do monumento e por uma sensibilidade para escolha da forma de aproximação com o antigo.

“A nossa convicção é que a combinação e, em certos casos, a união do antigo e do novo, seja uma realidade positiva, a não ser negada nem rejeitada *a priori*; que tal modernidade deva ser atentamente motivada e selecionada em suas modalidades expressivas (excluindo-se, por exemplo, os comportamentos de negação intencional ou ‘zeramento’ da história e de seus testemunhos, a menos que tais afirmações representem apenas simples declarações de poética, capazes de induzir, por exemplo, a escolhas de não-eliminação, mas de um bem estudado contraste com o antigo, muitas vezes preferível à mais assegurada via da imitação e da réplica linguística)”. (CARBONARA, 2011, p. 5, tradução nossa)

Em “Architettura d’oggi e restauro: un confronto antico-nuovo” (CARBONARA, 2011), Carbonara traz um panorama sobre a inserção da nova arquitetura em contextos pré-existentes, as formas de aproximação e as variáveis que agem nessa relação. Considerando a atualidade, em um contexto pós-moderno, cita Adriano Paoletta (2006, p.5, apud CARBONARA, 2011, p.10) destacando o perigo de projetos de contraste e negação dos contextos locais, de desmaterialização da cidade e desestruturação do território, que transformam o ambiente para construir ali uma imagem antitética, profundamente artificial, a serviço de um modelo econômico que utiliza a imagem construtiva como via de comunicação comercial. O ato criativo, desse ponto de vista, é auto referenciado, não leva em consideração o local, nem os valores de significado e significância que ali se encontram. É um comportamento desgarrado, alienado das relações que ali existem. Vittorio Gregotti, também traz observações a respeito do tema, levantando questões sobre a “arquitetura como pura imagem”, da “cidade histórica consolidada como *entertainment city* e da exasperada tensão de temas para acender ao sucesso midiático, isto é, imediato e estruturalmente provisório, conectado a uma concepção de arquitetura como objeto singular ampliado ao novo a todo custo, onde excepcionalidade e marketing se confundem.” (GREGOTTI apud CARBONARA, 2011, p.16, tradução nossa).

O oposto também se verifica. Na chave das críticas aos fundamentos modernistas, surge a necessidade de uma relação mais próxima com a memória e, em um contexto pós-moderno, isso se traduz numa linguagem arquitetônica de tradição histórica pré-moderna, dando margem a recomposições repristinatórias. Vê-se aqui uma dificuldade em aceitar os sinais de alteração física e de traumas na arquitetura, muito devido à própria dificuldade do olhar de hoje para a matéria do passado, da dificuldade em aceitar as consequências da passagem do tempo. Há uma busca pela completude de formas e das cores, por um perdido, mas “recuperável” esplendor. São intervenções que, diferentemente de outros tempos em que se buscava uma unidade de estilo, procuram simplesmente fazer do edifício uma obra agradável e aceitável, inclusive comercialmente.

Seja na via de contraste antigo-novo, seja na via repristinatória, observa-se um “viver fora da história”, produzindo tanto efeitos de fuga para o futuro (com absoluta confiança na tecnologia e nas soluções high-tech), quanto ao passado, com regressões historicistas, demonstrando uma completa incongruência de valores.

Para Carbonara, citando Renata Prescia, Marcello Rebecchini, Lluís Bravo e Gustavo Contemponi, a terceira via, entre a imitação estilística e a total liberdade auto referenciada, é aquela de normativas personalizadas, não estática, mas dinâmica, evoluindo lentamente por experiências e controle de resultados, procurando aperfeiçoar para além da compatibilidade de materiais, a compatibilidade da imagem figurativa. Deve-se sempre levar em conta as especificidades intrínsecas da obra, além de uma clareza de que a arquitetura tem como característica primeira ser um processo dinâmico, inserido no tempo e no espaço e que, portanto, além de uma pré-existência, haverá uma pós-existência, inclusive com novas intervenções. Assim, essa aproximação indica uma linguagem que, sem se renunciar como ato contemporâneo, propõe uma busca pela **“reverberação e consonância”** com o contexto ambiental, urbano e construtivo.

Vale ressaltar que essa terceira via não pretende esconder as novas inserções utilizando-se de figuras arquitetônicas ou elementos “neutros”, mas apresentar-se como figura de seu tempo, sem para isso ser necessário um confronto ou um desequilíbrio figurativo. Para tanto, não se deve prever modelos repristinatórios, mas compreender seus sinais, reinterpretar suas características com a linguagem de hoje, e então, propor novas sugestões suscitadas da estrutura figurativa da pré-existência (BENEDETTI, 1995, apud CARBONARA, 2011, p. 42).

A chamada “ativa contextualização”, de Sandro Benedetti, aproxima-se do que seria a terceira via possível em restauro e no que se refere à inserção de nova arquitetura em ambiente historicizado. Propõe que os novos elementos se diferenciem do antigo tecido, mas a medida dessa distinguibilidade não é livre e arbitrária, mas condicionada pela perspectiva histórico-crítica e filológica, estabelecida e orientada pela própria obra. É tarefa da equipe de arquitetos e demais profissionais traduzir esse distanciamento formal com coerência e riqueza arquitetônica. Ignasi de Solà Morales (1985, apud CARBONARA, 2011, p. 47) fala em “uma controlada dose das relações entre semelhança e diversidade” e “a interpretação das características dominantes no edifício antigo, a fim de fazerem eco nas adições modernas”.

Dessa forma, a posição crítico-conservativa e criativa tem como principais conceitos metodológicos o entendimento que todo ato de conservação altera o texto figurativo, produzindo mudanças materiais e não-materiais. Uma intervenção em um contexto complexo como é a arquitetura, que diferentemente de outras artes possui um caráter de uso e, portanto, apresenta necessidades de adequações de infraestrutura,

acessibilidade, etc, que nunca poderão ser neutras, ou não se fazerem presentes na história do edifício. Até a mais simples operação de consolidação requer um posicionamento crítico e não pode ser tida como um procedimento automático. A proposta de intervenção deve necessariamente passar por um ato consciente de projeto: projeto baseado no profundo conhecimento da obra, em seus aspectos materiais e imateriais, fortemente crítico e autocrítico, mas sempre ato de projeto de arquitetura (uma arquitetura especializada, com bases no campo da história e da construção, mas arquitetura). Essa postura não entende a intervenção como propostas distintas de restauro e arquitetura, mas um projeto único, com os aspectos históricos e arquitetônicos articulados e fazendo parte de uma mesma proposta coerente.

Donatella Fiorani, no que diz respeito ao método crítico-conservativo e criativo, traz algumas afirmações que orientam o intervir no patrimônio e merecem ser consideradas:

- A arquitetura histórica constitui um fim e não um meio do projeto.
- O objeto do restauro é a obra arquitetônica na sua inteireza, sem indevidas parcializações.
- O projeto de restauro não pode evitar de assumir a dimensão temporal como um componente significativo de suas escolhas, razão pela qual ele inevitavelmente se confronta com a história, e a ela deve entregar seu trabalho e o testemunho de seus próprios critérios, e em relação a isso ele assume uma precisa responsabilidade ética.
- No restauro subsiste a necessidade de efetuar uma síntese válida entre uma atividade de natureza analítica, de forte conteúdo científico e filológico, e uma operação mais abertamente propositiva, sujeita a avaliações críticas diversas. As duas componentes, para resultarem eficazes, devem ser plenamente absorvidas internamente à atividade de projeto: daí o contínuo processo de alimentação entre investigação e projeto.
- O processo indutivo, seguramente propedêutico à fase preliminar do projeto, não pode nunca ser efetivamente considerado concluído, e deve prosseguir nas elaborações definitivas e executivas da obra, em canteiro e, às vezes, também com sucessivos monitoramentos após a intervenção.
- A natureza diferenciada das informações coloca precisos problemas de gestão de comparação de dados, de forma a submeter eles próprios a uma especial atividade de projeto para definir sistemas de arquivamento, tempo de coleta, comparações e verificações multidisciplinares... Daí decorre que o projeto de restauração é definido como um processo de natureza eminentemente arquitetônica, baseado na gestão sistemática e coordenada dos dados cientificamente e filologicamente verificáveis e estruturado sobre o confronto constante entre a espessura diacrônica do existente e a atualidade.” (FIORANI apud CARBONARA, 2011, p. 86, tradução nossa)

Vê-se a posição central (ou crítico conservativa e criativa ou terceira via metodológica) como uma possibilidade de abordagem de um problema a ser necessariamente enfrentado. O restauro aqui é entendido como uma “questão de equilíbrio e medida: é mais escuta que discurso ou proposição.” (CARBONARA, 2011, p. 100, tradução nossa). Equilíbrio porque, entre uma postura, segundo Carbonara, reducionista do patrimônio, que o entende como uma algo completo e fechado, já finalizado e a postura oposta, em que se entende o patrimônio de forma romantizada e estetizada, a busca pela via intermediária é a que responde melhor aos desafios que a preservação propõe. Isso porque a própria natureza do restauro, de extrema complexidade ao requerer a consideração de tantos aspectos próprios do patrimônio, solicitar a oscilação entre dois extremos – as instâncias estética e histórica -, já amplamente discutidos e explicitados. A busca pelo equilíbrio e pela coerência de propostas se dá na oscilação entre conservação e inovação, caso a caso, de acordo com a análise pormenorizada das especificidades da obra, do contexto ambiental, da extensão e do tipo de dano, das motivações para restaurar aquela obra, etc.

A vertente crítico-conservativa e criativa, em sua definição de restauro, explica-se como uma atividade rigorosamente científica e filologicamente fundamentada, permitindo uma leitura clara e historicamente correta. Tem papel preponderante no campo disciplinar aquelas operações estritamente conservativas, com vistas à preservação da consistência física do patrimônio, porém sempre buscando uma solução figurativa para o problema, que não seja ignorar seus aspectos estéticos, mas também não tenha proposta repristinatória.

“Entende-se por restauro qualquer intervenção voltada a conservar e a transmitir ao futuro, facilitando a sua leitura e sem cancelar os sinais da passagem do tempo, em obras de interesse histórico, artístico ou ambiental; isso se fundamenta no respeito da substância antiga e das documentações autênticas constituintes de tais obras, propondo-se como ato de interpretação crítica não verbal, mas expressa no atuar concreto. Mais precisamente como hipótese crítica e proposição sempre modificável, sem que por isso o original seja alterado irreversivelmente.” (CARBONARA, 2011, p. 100)

1.2

AS TECNOLOGIAS APLICÁVEIS À RESTAURAÇÃO E SEU LUGAR NA METODOLOGIA DE RESTAURO

O presente trabalho estuda a técnica *3D Laser Scanning* terrestre para levantamento arquitetônico, contribuindo não somente para a compreensão global das tecnologias disponíveis para auxílio e aprimoramento dos projetos, mas também para uma análise dos fenômenos envolvidos neste quadro – em especial, a visível valorização da tecnologia nos projetos de restauro, em detrimento do juízo crítico, das definições próprias do ato de projetar, da aproximação íntima da equipe de projeto ao objeto a ser restaurado, questões basilares da metodologia de restauro. Dessa forma, relacionando o conteúdo da metodologia e da teoria do restauro às tecnologias aplicadas em intervenções em patrimônio cultural, cabe a pergunta: como a aplicação da tecnologia em restauro é entendida sob a ótica da teoria?

Assim, sabe-se que trazendo a tecnologia para seu lugar de instrumento auxiliar e dando a ela seu papel dentro do processo de restauração e conservação de patrimônio histórico, os avanços observados nas últimas décadas mostram imensos benefícios para a transmissão desses bens ao futuro. É inútil negar que existe uma ligação entre a tecnologia e o fundamento histórico-crítico da restauração, mas é necessário que se tenha em mente que a tecnologia nunca poderá ser tida como um instrumento independente, mas deverá sempre se relacionar com o monumento e com os valores que o mesmo carrega.

A Carta de Veneza (ICOMOS, 1964), em seu artigo 9º, explica que o escopo do restauro é o de conservar e revelar os valores estéticos e históricos do monumento e que se fundamenta no respeito à matéria original e aos documentos autênticos. As decisões que envolvem o manter/revelar ou recuperar a eficiência/facilitar a leitura, questões que são apresentadas a todo momento em um processo de projeto e obra de restauro, não podem ser pensadas apenas como conservação, nem apenas como recuperação da imagem, com viés repristinatório e de cancelamento de passagens da história do monumento.

Partindo desse princípio, dentre as muitas soluções técnicas possíveis, a solução a ser escolhida deverá ser aquela que passou por uma análise crítica, que tenha

sido ponderada entre as duas instâncias – estética e histórica –, e que tenha sido escolhida considerando as questões de autenticidade e significância.

A complexidade das obras de restauração, seja por questões técnicas, seja por questões de posicionamento crítico, de entendimentos sobre valores, imagem, autenticidade e significações, abre um campo de pesquisa e de estudo que é necessário também do ponto de vista aplicado. São desafios que o tempo e os monumentos propõem aos profissionais envolvidos e que devem ser enfrentados.

Segundo Giovanni Carbonara (in Fiorani, 2009, p. 24), observando os problemas mais correntes que as obras de restauração apresentam (reintegração de lacunas, remoção ou manutenção de adições, distinguibilidade das intervenções, etc), fazem-se necessárias respostas concretas, não apenas verbais.

Assim, o “restauro crítico” é tido como ato criativo, não arbitrário, mas conduzido segundo os binários histórico-crítico, com cada intervenção sendo considerada um caso específico, não podendo ser enquadrada em “categorias” (diferentemente da conduta no restauro científico), nem respondendo a regras pré-fixadas ou a dogmas de quaisquer tipos. É a aproximação sensível e crítica com a obra e a competência técnica da equipe que irá oferecer as soluções mais acertadas.

A aplicação de uma metodologia com princípios claros de orientação no canteiro é essencial para a viabilidade da transmissão dos bens às futuras gerações e a tecnologia passa necessariamente por essa aplicação.

A tecnologia é um importante instrumento de aproximação com o monumento. Confirmações sobre causas e origens de patologias, levantamentos precisos e detalhados, entendimentos sobre o comportamento de determinado material, monitoramentos de movimentação de estruturas, são muitos os casos em que a tecnologia pode auxiliar a equipe de projeto/obra a se relacionar intimamente com o objeto de restauração, a ponto do próprio objeto conseguir oferecer dados para o ponderamento crítico e sensível que se faz necessário.

Desvios de conduta em relação ao patrimônio ocorrem, porém, quando se utiliza a tecnologia não apenas como instrumento de aproximação e entendimento do monumento, mas como definidora das decisões de projeto. Curiosamente, as duas orientações de método das extremidades – Pura conservação e Hipermanutenção –, apesar de terem posturas opostas, apoiam-se na tecnologia, na filologia e objetividade da tecnologia para justificar suas condutas.

Conforme observado no último capítulo, nos anos setenta, como resposta a uma demanda de maior conservação por parte de alguns autores e críticos da arte (Maurizio Calvesi, Mina Gregori), interessados principalmente na recuperação do pensamento de Max Dvořák (1874-1921), surgiram as duas linhas de método, a pura conservação e a manutenção-ripristino (ou hipermanutenção). Enquanto princípio teórico as duas pareciam concordar. No entanto, o próprio sentido, os limites e métodos dos atos de manutenção e as consequentes alterações que ocorrem no monumento fizeram notar que as duas linhas divergem radicalmente entre teoria e prática. Ressalta-se novamente aqui a necessidade da aplicação das teorias em canteiro, para verificações e aprimoramentos.

Resumidamente²¹, no caso da “manutenção-ripristino”, do princípio de conservar inicial, a aplicação do método se revelou em propostas que apontam para o refazimento, com técnicas tradicionais documentalmente e tecnologicamente fundamentadas, mas ainda assim passíveis de questionamentos. A grosso modo, a proposta da manutenção-ripristino visa devolver ao edifício/monumento o seu aspecto original, restituindo-lhe assim seu pleno valor e significado. Cabem perguntas sobre quais são esses valores a serem devolvidos, e se eles não estão intimamente ligados ao conceito de autenticidade material do objeto, necessário também para um adequado reconhecimento, pesquisas históricas, ou ainda, para a correta fruição da obra. A tecnologia é, neste caso, utilizada como forma de viabilizar uma definição de projeto (por exemplo, oferecendo o traço da argamassa de revestimento, ou as cores originais das fachadas por meio de prospecções), e não sendo instrumento de aproximação crítica do edifício/monumento.

A “pura conservação”, por sua vez, entende a restauração dos valores de outra forma. Ela nega a dialética das duas instâncias (histórica e estética) e entende que o juízo de valor é arbitrário e não confiável para definir o que se deve ou não permanecer no edifício/monumento. Assim, nenhum procedimento histórico-crítico poderia justificar a supressão de um possível testemunho ou estratificação de alguma passagem da obra, muito menos com justificativas de predileções estéticas. As justificativas para adoção dessa orientação de método se baseiam no entendimento da obra enquanto documento histórico, assumindo o valor de fonte de informação autêntica, sem limites para a sua potencialidade documental.

²¹ Para melhor entendimento das três vertentes metodológicas, observar o capítulo 1.1.

Para Giovanni Carbonara (in FIORANI, 2009, p. 26), a linha da pura conservação se volta somente à instância histórica, em que o próprio conceito de história assume uma postura pouco seletiva e avaliadora, com fortes tendências neopositivistas. Essas tendências vão ao encontro da tecnologia entendida como prova objetiva, diferentemente do caráter subjetivo do juízo de valor. O caráter irrefutável das provas de laboratórios responde à ânsia pela objetividade e, de acordo com as práticas que vêm acontecendo nos últimos anos, legitima as soluções automáticas adotadas.

Como visto, nessa busca pela objetividade, o projeto é dividido em “projeto de restauro”, que seria responsável pela recuperação dos elementos e componentes construtivos, em geral com procedimentos baseados em laudos, prospecções e outras análises de cunho tecnológico, e em “projeto de arquitetura”, que seria responsável pelas adequações de uso e ocupação, onde sim haveria espaço para a subjetividade peculiar do ato de projetar, desvinculando o projeto de restauro do âmbito da criação, associando-o apenas às questões construtivas do bem, de forma que se reduzam os componentes arbitrários e subjetivos das escolhas projetuais. Existe, portanto, um “incremento do peso da componente científica que, de instrumento investigativo, transformou-se em um potente fator de condicionamento das escolhas e das próprias metodologias operativas” (FIORANI, 2009, p. 44).

A posição intermediária cabe à proposta crítico-conservativa. Paul Philippot (1998, apud FIORANI, 2009) entendia que não se deve reduzir o restauro ao seu aspecto técnico e afirmava que a conservação apresenta, prioritariamente, um caráter cultural, histórico e estético, apoiando uma análise profunda do objeto e entendendo que as propostas de restauro derivam do próprio objeto que se deseja restaurar. Para Philippot, todo restauro é essencialmente uma hipótese crítica, que não é expressa verbalmente, mas na prática do restauro, que é sobretudo “um trabalho artístico, que requer uma cultura prática da imaginação visiva.”

Retomando conceitos abordados no último capítulo, observa-se um alargamento do conceito de bem patrimonial, não se restringindo apenas a grandes obras de arte e monumentos, mas também a obras modestas que adquiriram valor cultural. A linha crítico-conservativa, por sua característica primeira de pensar cada caso individualmente, é capaz de ser empregada nessa tutela ampliada de bens (paisagem, centros históricos, patrimônio imaterial, etc), respeitando suas características históricas, estratificações e sinais da passagem do tempo de modo único e específico. Não exclui o diálogo permanente entre as duas instâncias, fazendo do método um

instrumento de juízo e de orientação e prevenindo que os bens patrimoniais sejam objeto de intervenções pautadas por razões econômicas, razões de uso/práticas, razões políticas ou razões puramente técnicas, sem atenção aos seus valores e significados.

Dessa forma, o fundamento crítico dessa vertente é plenamente aplicável em obras de arte e arquitetura, mas também de tudo aquilo que se apresenta como documento histórico – ruínas, centros históricos, sinais de antropização, ou qualquer testemunho do passado. O juízo crítico permite nesses casos também a avaliação de uma conduta de reintegração, de permanência ou de demolição, sempre segundo uma análise fundamentada em aspectos de autenticidade e significância.

Cabe, portanto, à proposta crítico-conservativa o papel de ser conservativa, uma vez que se propõe a transmitir os monumentos ao futuro nas melhores condições possíveis, além de entender que a atual consciência histórica demanda atitudes conservativas maiores que as do passado. E cabe à proposta ser crítica, pois tem claras suas raízes no restauro crítico, mas também porque entende que cada intervenção constitua um momento único, não possível de se enquadrar em categorias, nem de ter suas soluções dadas por regras fixas, preconcebidas ou dogmas, mas sim pelo estudo aprofundado do objeto.

A relação com a tecnologia, nestes casos, é instrumental, nunca de definição. Fica claro que nem os novos procedimentos técnicos, nem a aplicação de instrumentos científicos resolvem as questões de escolha e definição de procedimentos, mas o posicionamento crítico e histórico da obra. No caso das obras de arquitetura, há de se ter atenção ao fato que tais obras são destinadas a um uso, passando ao longo do tempo por muitas intervenções em suas formas e materiais. Assim, a atenção e a análise caso a caso de cada obra são ainda mais necessárias para definição, por exemplo, de manutenção ou supressão de adições. Vale neste caso o entendimento e a compreensão do valor histórico e artístico dessas adições e qual a importância e representatividade delas para a obra, em sua autenticidade e significância.

A tecnologia é auxiliar no sentido de permitir uma aproximação à consistência física do objeto, de forma a facilitar os entendimentos dos valores e sinais do tempo que se desejem transmitir. Tais escolhas são fundamentadas no conhecimento da realidade presente e na individualização dos valores ligados à sua artisticidade e historicidade.

A transmissão desses valores, no entanto, depende da permanência, supressão ou alteração de elementos físicos, necessariamente. Não há como fazer restauro sem levar em conta o aspecto físico dos materiais, já que a autenticidade passa necessariamente por esse ponto de vista. Dessa forma, a tecnologia pode novamente ser utilizada como instrumento para verificações das hipóteses e análises precedentes à prática em si da restauração.

Claramente as posições aqui colocadas não são fixas e fechadas. O campo disciplinar do restauro, essencialmente de caráter cultural, é desenvolvido há pelo menos dois séculos e suas formulações teóricas estão em constante amadurecimento e reflexão. “Não se trata, portanto, de um percurso de desenvolvimento ou evolução, com sentido linear ou teleológico, mas de um processo histórico complexo no qual diversas ideias convivem, algumas confluentes, outras contrastantes.” (PHILIPPOT, 1998, apud CUNHA, 2010, p.51).

Dentro de cada uma das vertentes há uma infinidade de nuances que, uma vez aplicadas na prática, revelam questões que precisam ser verificadas, pensadas e avaliadas. A relação entre teoria e prática num campo disciplinar complexo como o do restauro, mostra-se difícil e requer necessariamente uma orientação de método para que a prática seja viabilizada com sucesso. Quando se observa o percurso em que o campo disciplinar vem se formando, arquitetos, historiadores, pessoas que contribuíram imensamente para o amadurecimento do campo, no momento em que se confrontaram com a prática, assim como nos dias atuais, também encontraram dificuldades para aplicar a teoria.

Camillo Boito, por exemplo, tinha uma posição teórica de respeito absoluto ao monumento, entendido sobretudo como testemunho de uma história, muito além de apenas um representante de estilo. A aproximação aos edifícios do passado é proposta por Boito como uma prática de intervenções discretas, que preveem a consolidação e, em casos mais difíceis, reparos com materiais diversos dos originais, com o objetivo, porém de não alterar o aspecto atual da obra. Segundo Giuseppe Miano (MIANO, 1969), no entanto, Boito teve um comportamento diferente de suas posturas conservativas na teoria, seja quando restaurava, como no restauro da Pusterla da Porta Ticinese em Milão, seja quando julgava em concursos, como no caso dos projetos para as fachadas dos duomos de Milão e Florença, projetos e obras de restauro com características repristinatórias, muito próximas das condutas de Viollet-le-Duc.

As próprias propostas “pura conservação” e “manutenção-ripristino” (ou hipermanutenção) surgiram como respostas à retomada das demandas de Max Dvořák, claramente conservativas, mas pautadas pela significação que determinado monumento adquire.

Uma vez que Riegl entendia que a preservação está intimamente ligada ao sentido que a sociedade atribui aos monumentos, faz sentido que Dvořák em seu “Catecismo da Preservação dos Monumentos”, publicado em 1916, procure suscitar nos leitores o sentimento, a vontade e o compromisso moral de se preservar. Ele entendia que a originalidade dos conjuntos, construções e monumentos é resultado de uma sensibilidade estética própria do espírito do tempo de cada época, e que, portanto, essas obras devem ser analisadas sob o viés da história espiritual daquela sociedade. Logo, já que neste momento a preservação de monumentos não está atrelada à unidade de estilo ou à volta das formas “antigas”, mas ao contrário, às várias fases do monumento, tidas como manifestação física do espírito de cada período, é necessário que se respeite todas as fases do monumento, seus traços de antiguidade e suas várias estratificações, sejam que estilo forem.

Isto posto, mais uma vez observa-se que a aplicação de teorias à prática não é tarefa simples: ocorre um descompasso na aplicação das duas vertentes que surgiram como respostas a questões de conservação associadas à significação.

A pura-conservação tem como eixo a conservação de todas as fases do monumento, não prevendo supressões de adições, mas em alguns casos novas adições que podem alterar por completo a leitura do monumento. Assim, a pura conservação não pode ser tida como resposta às demandas primeiras de Dvořák, que entendia, conforme já mencionado, a originalidade sendo resultado de uma sensibilidade estética própria do espírito do tempo de cada época.

A manutenção-ripristino, por sua vez, vê a oportunidade de modificar a presente forma do objeto da intervenção a fim de aumentar o valor daquele monumento, retirando ou adicionando estratificações, por exemplo. Este desejo de alcançar a forma ideal de modo a valorizar as características do monumento não pode ser entendido como a restauração em estilo tal como a do século XIX, mas mais como uma tentativa de restaurar o monumento a uma “unità di linea” (JOKILEHTO, 1999, p. 417). Essa proposta enfatiza o predomínio dos valores estéticos sobre os históricos e também não pode ser entendida como resposta às demandas primeiras de Dvořák.

As duas propostas – pura conservação e manutenção-ripristino -, apoiam-se em soluções que se mostram objetivas, provenientes de avanços tecnológicos. A pura conservação não oferece espaço para questões subjetivas e juízo de valor. Aqui a tecnologia é usada como solução sem a avaliação e o ponderamento crítico da equipe de projeto. Apesar de ser a proposta oposta, a manutenção-ripristino também utiliza a tecnologia para viabilizar soluções que não passaram por uma avaliação crítica com base em questões de autenticidade e significância.

Curiosamente, essa confiança nos avanços tecnológicos é criticada por Dvořák no Catecismo:

“A transformação da vida sob novas bases técnicas, [...] conduz a uma idolatria das novidades técnicas, que não apenas faz com que esqueçamos outros pontos de vista, como permite ainda que esses sejam ultrapassados pelo que é útil e oportuno sob um prisma exclusivamente técnico.” (DVORÁK, 2008, p. 77).

Este trecho está no sugestivo capítulo denominado “Destruição de Antigas Obras de Arte como Resultado de Ideias Equivocadas de Progresso e Falsas Demandas do Presente”.

Para além das propostas mencionadas (crítico-conservativa, pura conservação e manutenção-ripristino), há ainda projetos que não se enquadram em nenhuma orientação de método. Muito se observa que parte das intervenções são exemplos de projetos e obras em que o objeto de estudo é pouco analisado por uma veia crítica ou com alguma direção metodológica, embasada nas teorias construídas nas últimas décadas.

Há a tendência à repristinação (a volta a um estado possivelmente original da obra) e ao “restauro filológico”, isto é, a proposta de restauro pautada por referências documentais, mas que nos casos recentes, tem sido usada para simplificação das decisões de projeto, em lugar de uma profunda reflexão teórica “a qual define os limites e os deveres da intervenção adequada, colocando em evidência erros e incongruências” (CARBONARA, 1997, p. 36, tradução nossa). Há referências dessa problemática em diversas publicações, que mostram que, havendo a possibilidade técnica para a repristinação por analogia e suposição, essas decisões de retorno a um possível estado original são tomadas.

Por exemplo, há situações em que as prospecções estratigráficas são utilizadas mecanicamente como solução e definição do tratamento das superfícies arquitetônicas, utilizando, para tanto, as referências de cores e acabamento originais encontrados

pelas prospecções, como se a responsabilidade dessa definição saísse dos ombros da equipe de projeto e fosse transferida para a história do bem cultural e para a tecnologia utilizada. As prospecções são ferramentas extremamente necessárias para o entendimento do objeto da intervenção, mas podem levar a equívocos inapropriados, como a repriminção, a cópia e a falsificação. Do ponto de vista científico, ao propor a volta para o estado original, a equipe de projeto considera o tempo como reversível e como possível a existência daquela matéria no seu estado original.

Conforme já mencionado, a tecnologia é uma realidade e se bem utilizada, pode ser um importante instrumento de aproximação e análise do patrimônio a ser restaurado. Cabe aos envolvidos entender o papel da tecnologia dentro da metodologia de restauro e saber que toda proposta de restauro é uma hipótese. Ainda que, aparentemente, seja uma decisão objetiva, sem ponderamento crítico por parte da equipe e apoiada somente em decisões técnicas apontadas por laudos e ensaios, ainda assim é uma decisão tomada pela equipe, que não pode se abster das responsabilidades inerentes à intervenção. A renúncia de uma avaliação crítica também é uma decisão.

Percebe-se que a mesma evolução tecnológica, que possibilita avanços em qualidade técnica nos projetos, é utilizada para definições sem critério metodológico. Nos projetos e obras, a tecnologia substitui cada vez mais o juízo crítico humano e apresenta soluções e procedimentos padrão e pré-estabelecidos. Essa relação pode ser explicada em parte devido à ânsia por respostas rápidas, característica inerente ao nosso tempo, e à necessidade de certezas e objetividade.

A valorização da vertente tecnológica, tão presente atualmente nos projetos de restauro, ainda que possibilite melhores investigações, acaba por produzir um efeito desagregador, dividindo o projeto entre diversos profissionais, ocasionando a perda de coesão e unidade, sendo fruto de decisões não embasadas em princípios teóricos sólidos, mas em padrões e predefinições estritamente técnicas. Diferentemente da ciência aplicada na medicina ou na farmacêutica, com definições baseadas em aspectos físicos, químicos e biológicos, a ciência aplicada em restauração e conservação não pode se basear apenas em aspectos quantitativos de ensaios e testes, pois existem aspectos históricos e culturais de significância e autenticidade, que passam por um ponto de vista humanístico que escapa do escopo desse tipo de ciência.

Segundo Fiorani (FIORANI, 2009, p. 45), outro efeito da crescente importância da tecnologia em detrimento do juízo crítico dos profissionais responsáveis pelo projeto é o parcelamento do projeto entre os diversos técnicos especializados, isto é, as cores são definidas pelas prospecções pictóricas, as novas argamassas pelo traço constatado em análise de amostra da argamassa original, a opção por substituições de componentes de madeira como pisos, de estuques e mesmo de elementos decorativos é definida pela possibilidade técnica e operacional de execução de réplicas. Os relatos falam quase sempre de soluções padrão, automáticas, definições que não passaram por nenhuma reflexão criteriosa.

“Um motivo é a própria complexidade que envolve a restauração de bens culturais, campo disciplinar que exige sólido preparo tanto em aspectos técnicos, quanto teóricos e humanísticos. A abordagem do tema é complexa e necessariamente multidisciplinar, mas esse afastamento [dos profissionais em relação à teoria] parece se dar por desconhecimento dos instrumentos teóricos da restauração ou, mesmo, pela ignorância da existência de formulações teóricas no campo.” (KÜHL, 2008, p. 57).

O breve relato denuncia a noção equivocada de grande parte dos profissionais que se dedicam à preservação do patrimônio. Há a urgente necessidade de se utilizar as novas tecnologias no sentido de auxiliar as diversas fases do projeto de restauro, desde o levantamento e conhecimento do bem, até as definições de projeto, e não oferecendo soluções padrão, sem que passem pela análise individualizada do caso em questão.

Por fim, mesmo uma análise profunda sobre a complexa relação entre restauro e tecnologia não poderá resolver de maneira definitiva as questões aqui colocadas. Primeiramente, porque tais questões estão intimamente ligadas em como a sensibilidade humana se relaciona com seu passado, estando em mudança a todo momento. E também porque a tecnologia está em constante aperfeiçoamento e a cada dia apresenta novas possibilidades. A única garantia possível é a verificação constante do papel e da finalidade da tecnologia aplicada em obras de restauro, identificando, caso a caso, como a tecnologia pode ser instrumento de aproximação para entendimento e compreensão do monumento em questão.

Novamente cabe ressaltar que a definição de como aquele monumento irá se relacionar com seu passado, presente e futuro cabe à profunda análise de seus valores, materiais e significados, e a tecnologia está presente nos dias de hoje para trazer dados que facilitem essa aproximação e análise.

1.3

DOCUMENTAÇÃO ARQUITETÔNICA COMO FERRAMENTA DE SALVAGUARDA

“O registro é a captura de informações que descrevem a configuração física, a condição e o uso de monumentos, grupos de edifícios e locais, em momentos específicos, e é uma parte essencial do processo de conservação. Registros de monumentos, grupos de edifícios e locais podem incluir evidências tangíveis e intangíveis, e constituem uma parte da documentação que pode contribuir para a compreensão do patrimônio e seus valores relacionados.” (ICOMOS, 1996, p. 49, tradução nossa)²²

Desenhos, levantamentos, pesquisas acerca do patrimônio são importantes instrumentos para a efetiva preservação e transmissão dos bens às futuras gerações.,

“[os métodos de documentação são] o processo sistemático de aquisição, tratamento, indexação, armazenamento, recuperação, divulgação, disponibilização de dados e informações gráficas e não gráficas sobre edificações e os sítios urbanos, para os mais variados usos.” (AMORIM, 2008, apud NOGUEIRA, 2010, p.72)

Os métodos de documentação são essenciais para o conhecimento aprofundado do bem, pois permitem a aproximação da equipe com a obra, gerando intimidade com aquele patrimônio, reconhecimento de detalhes de sua configuração física, de seus materiais, técnicas construtivas, patologias, suas causas e efeitos, bem como o entendimento de sua implantação e a dinâmica de seu uso, quando ocupado. Além disso, a intimidade com a obra permite a percepção dos valores históricos e culturais e o melhor entendimento de seu significado para a comunidade.

“(...) trata-se com o fabricado e os seus problemas, observamos as suas patologias de estrutura e de materiais. É a pedra de fecho da fase que apelidamos de cognitiva, e sendo muitas vezes o recurso final de preservação da memória de um edifício, quando não se pode salvá-lo é, portanto, uma operação de extrema responsabilidade e necessidade.” (OLIVEIRA, 2008, p. 29)

O desenvolvimento de registros é uma fase necessária para os processos de investigação e conhecimento do bem, oferecendo condições aos indivíduos envolvidos

²² De acordo com o documento “Principles for the recording of monuments, groups of buildings and sites”, ratificado em ocasião da 11ª assembleia geral do ICOMOS em Sofia (1996).

de compreender o estado atual da obra, com desenhos que explicitem graficamente sua configuração formal e patológica. Além disso, a equipe utilizará os mesmos desenhos técnicos de levantamento como base para outras fases de investigação que antecedem a fase de propostas, isto é, os registros da configuração física atual da obra será uma base gráfica para levantamentos outros, como o mapa de danos, estudos sobre a cronologia construtiva da edificação, estudos sobre áreas específicas que demandem pesquisas e investigações próprias, a depender de fenômenos que prejudiquem sua estrutura ou seus componentes construtivos.

Além disso, a elaboração sistemática de documentação facilita o gerenciamento e o controle mais consistente e eficaz dos trabalhos de manutenção, conservação ou qualquer intervenção no patrimônio arquitetônico. Considerando que uma base de desenhos que represente de forma fiel a realidade de determinada obra, é possível prever e planejar intervenções a curto, médio e longo prazo, elaborando um plano integrado de conservação, onde sejam especificadas ações preventivas de saneamento de problemas quotidianos, como telhas quebradas ou limpeza de calhas. Com uma base fidedigna, pode-se prever custos e prazos para as intervenções com maior precisão, já que as áreas (valores quantitativos) em que os procedimentos serão executados são sabidas pelos levantamentos métrico e de danos. Ainda que em edificações históricas sempre seja possível que novas evidências históricas ou elementos não conhecidos possam surgir, uma base atualizada e fiel à realidade da obra é essencial para o planejamento.

Ademais, conhecendo-se bem a obra, é possível compreender como ela se comporta em determinadas situações ou épocas do ano. Por exemplo, tratando-se de um espaço para recreação de crianças, é esperado que em épocas de férias escolares o número de visitantes aumente, sendo possível prever os efeitos indesejados desse incremento sazonal e prevenir a edificação dos problemas decorrentes. Outro exemplo bastante claro é esperar que em época de chuvas existam mais problemas de infiltrações nas edificações e, existindo o conhecimento da edificação e da localidade em que ela se encontra, pode-se compreender o comportamento dos ciclos de chuvas e planejar intervenções preventivas.

O conhecimento aprofundado da obra e sua decorrente documentação possibilitam ainda estudos para o desenvolvimento de ações visando seu uso sustentável, uma vez que o completo entendimento da edificação abre um campo de potencialidades da mesma, criando condições para análises e simulações de usos e

ocupações coerentes com o caráter histórico-cultural e com as características construtivas da obra. A escolha do uso é decisão-chave para a preservação do patrimônio cultural, sendo determinante para requalificar suas funções e estabelecer outras relações com a comunidade, além daquelas já existentes. Para tanto, a escolha do uso para determinado patrimônio deve ser sempre submetida às condições de preservação e às características histórico-culturais da obra. Os registros e a documentação são ferramentas para que essas análises e estudos sejam realizados de forma a respeitar o objetivo primeiro de ações de preservação, que é a transmissão do bem às futuras gerações em sua autenticidade e significância. A esse respeito, o artigo 5º da Carta de Veneza diz:

“A conservação dos monumentos é sempre favorecida por sua destinação a uma função útil à sociedade; tal destinação é, portanto, desejável, mas não pode nem deve alterar a disposição ou a decoração dos edifícios. É somente dentro desses limites que se deve conceber e se pode autorizar as modificações exigidas pela evolução dos usos e costumes.” (ICOMOS, 1964)

Levantamentos e registros da configuração física e material da obra também promovem maior respeito às características formais, materiais, históricas e culturais do bem. Intervenções desassistidas de documentação têm mais condições de incorrerem em arbitrariedades, pois não possuem como instrumentos os referenciais de características da obra documentados. Os registros, sendo constituintes de uma documentação sistemática com arquivamento formal, são uma ferramenta de cobrança de um resultado coerente com as características da edificação.

A documentação também é fonte de conhecimento sobre o bem patrimonial em casos de demolições, alterações, abandono, guerras, desastres naturais ou quaisquer outras razões que resultem em perdas de partes ou mesmo de toda a obra. Os registros em plantas, desenhos, fotografias, relatos, em muitos casos são as únicas formas de um bem que já não existe poder se fazer presente no futuro. Por mais que existam proteções legais e políticas públicas que visam a salvaguarda do patrimônio, sabe-se que o patrimônio cultural é perdido mais rapidamente do que documentado.

Com o acesso e a utilização de uma documentação adequada, os órgãos de patrimônio têm mais condições de promover o controle do que ocorre nessas obras. Os registros do estado atual da edificação oferecem subsídios para fiscalização e gestão da permanência de suas características formais, materiais, históricas e culturais. A documentação ainda dá suporte às ações de planejamento, fomento e possíveis políticas públicas para ações de preservação.

A documentação do patrimônio cultural permite ainda o registro acessível para pesquisas acadêmicas de diversas disciplinas, uma vez que a documentação permanente e devidamente arquivada é fonte primária de um valioso conhecimento sobre a evolução construtiva, histórica e cultural de determinado bem. A forma de utilização, bem como as relações sociais e culturais que ali se desenrolaram estão caracterizados na arquitetura e expressos nos mais diferentes materiais e formas de utilização dos mesmos, desde as decorações até as técnicas construtivas. Para além de disciplinas diretamente ligadas à História e à Arquitetura, disciplinas como Química, Biologia, Geologia, Engenharia, Ciência da Computação, entre outras, têm no patrimônio arquitetônico uma ampla área de conhecimento a ser descoberto, como a caracterização e resistência de materiais, desenvolvimento de *softwares* e novas tecnologias de registro, etc. Disciplinas ligadas a diversas áreas do conhecimento têm o patrimônio como fonte de pesquisa.

Além de todas as razões já mencionadas que justifiquem o registro sistemático dos bens culturais, a documentação auxilia na divulgação do patrimônio, aproximando a obra da comunidade. Dessa forma, a divulgação se faz mais eficaz na medida em que existam imagens, vídeos e registros gráficos a serem expostos, sendo esse tipo de documentação uma forma mais didática e compreensível para os usuários. O registro gera, como consequência dessa maior aproximação, a identificação, o interesse e o envolvimento da população na preservação do patrimônio.

O patrimônio deve ser entendido como uma prioridade e a documentação, entendida aqui como ferramenta de salvaguarda, passa a ser um objetivo de todos os envolvidos com bens culturais. Desse ponto de vista, os registros devem ser realizados de forma permanente, mas especialmente em determinadas ocasiões que sejam momentos-chave para a compreensão e o controle da obra.

A documentação em ocasião de inventários em níveis nacional, regional ou local é de importância ímpar para a efetividade do trabalho. Sendo uma atividade que consiste de fato em documentar um conjunto específico de bens, é interessante que os registros sejam realizados seguindo uma metodologia que atenda os objetivos do inventário e que seja fiel às condições físicas, históricas e culturais dos bens contemplados no escopo. Com a Constituição Federal de 1988, o inventário se tornou um instrumento jurídico de preservação do patrimônio cultural, sendo a sua forma de registro, portanto, um importante aspecto da eficácia do instrumento na preservação de bens culturais.

Claramente, em ocasião de projetos de conservação e restauro, ou ainda em pesquisas específicas voltadas para entendimento de determinado bem, a documentação ocupa um papel bastante relevante. Nesses casos, os registros têm a função de documentar de forma detalhada o estado da obra anteriormente às intervenções, sua forma física, valores históricos e culturais e suas relações com a comunidade, o levantamento de patologias e dos danos, suas causas e efeitos, além de monitoramentos estruturais e caracterizações de materiais construtivos. Todos os registros nessa ocasião têm a função de documentar a configuração da obra e seu estado real. Além disso, os registros, em especial os gráficos, têm o papel de base de desenho para projeto e especificação das intervenções. O levantamento detalhado da obra, com uma base gráfica apurada e com um nível de precisão adequado, é importante para a proposta de novas configurações, se for o caso do projeto, e para especificação de procedimentos de saneamento de patologias. Quanto mais fiel à realidade, mais precisas serão as especificações de projeto (quando embasadas metodologicamente na teoria de restauro). A boa qualidade dos levantamentos métrico e de danos oferece condições de se levantar as áreas a serem trabalhadas em obra e, assim, prever quantidades e custos das intervenções antes de se iniciar atividades em canteiro. Para além da economia de custos que ocorre em toda obra de arquitetura quando se tem um projeto bem elaborado, em projetos de conservação e restauro essa necessidade de um projeto bem desenvolvido passa a ser mais decisiva, pois sendo um bem de valor histórico e cultural, além dos custos, o projeto impacta diretamente em uma obra de importância ímpar para toda a sociedade. Desse ponto de vista, elaborar um levantamento apurado para desenvolver o projeto é um dever não apenas responsável, mas ético por parte da equipe de projeto.

Os momentos seguintes ao projeto de conservação e restauro também são de extrema importância em serem documentados. Tão importante quanto documentar o estado anterior da obra às intervenções, é documentá-la durante e depois das mesmas. Ainda que não exista um projeto, ou mesmo diretrizes, é necessário que qualquer trabalho de manutenção, alteração ou outra intervenção, ainda que ordinária e quotidiana, seja documentada. O ideal é que exista um sistema e controle das manutenções com a decorrente documentação. Esse tipo de ação ajuda a prevenir possíveis arbitrariedades e forma um corpo documental de controle e história das intervenções daquele bem. Essa ação sistematizada se mostra importante especialmente quando há mudança de gestão do patrimônio e quando existe a necessidade de entender uma intercorrência não justificada ou não prevista.

Quando evidências da história do bem cultural são reveladas durante trabalhos de manutenção, conservação ou restauro, é necessário que a obra seja documentada, bem como suas novas evidências. Considerando-se que exista a prática do registro da obra, de preferência de forma sistemática, a documentação desses novos dados será incluída no controle e na história da obra, e constará do conjunto de informações disponíveis sobre o bem patrimonial.

Outra ocasião em que o registro do estado da obra deve ser realizado é quando existe risco ao patrimônio, seja por catástrofes naturais ou por efeitos da ação do homem (demolição, destruição, abandono ou remanejamento total ou parcial). Nesses momentos, é provável que a documentação desenvolvida seja o único remanescente que fale sobre a configuração física ou sobre as relações que aquele bem mantinha. Dessa forma, a execução dos registros é de importância primária, sejam eles físicos – levantamentos métrico e de danos, monitoramentos, caracterização de materiais, fotografias –, ou que dizem respeito às relações daquele bem com a comunidade, como pesquisas, entrevistas, etc.

Finalmente, quando ocorrer mudanças na responsabilidade pela gestão do patrimônio é recomendado que o estado da obra seja registrado para documentação enquanto parte da história da obra, mas também por um viés legal e possíveis questões jurídicas de responsabilidade sobre o bem. Recomenda-se também que, em ocasião de mudanças de uso, sejam feitos registros de todo o estado geral do bem patrimonial, seja por questões de compor uma documentação que conte a história do bem, seja ainda como ferramenta para a definição de diretrizes para a ocupação e a implantação do novo uso.

O compromisso com a preservação do patrimônio, portanto, requer compromisso com as atividades de registro, uma vez que a documentação aqui é entendida como ferramenta para salvaguarda dos bens culturais. O patrimônio cultural, como área estratégica para as comunidades locais, regionais ou nacionais, deve ser objeto de controle e de políticas públicas que visem sua preservação. Desse ponto de vista, todos os gestores do patrimônio cultural são responsáveis por assegurar o registro, a qualidade e a atualização adequadas das informações. No caso dos órgãos de preservação, além de produzir os registros em determinadas situações, cabe a eles solicitar documentação apropriada em casos de aprovação de projetos e obras.

Segundo o documento “*Principles for the recording of monuments, groups of buildings and sites*”, ratificado pela 11ª assembleia geral do ICOMOS²³, para além do compromisso de todos os envolvidos com a preservação, devido à complexidade dos processos de gravação e interpretação dos dados obtidos em registros²⁴, existe a necessidade de um corpo técnico²⁵ com habilidade, conhecimento e sensibilidade adequados para as tarefas a serem desempenhadas para a documentação.

Para tanto, esforços no sentido de incentivar e produzir essa documentação, antes que um dado patrimônio seja perdido, são realizados por diversas instituições governamentais e não governamentais que promovem treinamentos, cursos, palestras, publicações que orientam os profissionais que lidam com bens culturais, de forma a capacitar esses profissionais e maximizar os esforços de registro e gestão dessas informações.

Desenvolvido entre 2003 e 2007 o projeto “*Recording, Documentation and Information Management for the Conservation of Heritage Places*” no âmbito do *Getty Conservation Institute*²⁶, foi uma das iniciativas de maior alcance no que se refere à capacitação de profissionais para desenvolver documentação de patrimônio cultural, em especial o arquitetônico e o arqueológico. O projeto contou com a participação do *Getty Conservation Institute* (GCI), juntamente com organizações de salvaguarda do patrimônio cultural - ICOMOS, CIPA Heritage Documentation, English Heritage, World Monuments Fund, Heritage Conservation Directorate of Public Works & Government Services Canada, ICCROM, India National Trust for Art and Cultural Heritage, Université du Québec à Montréal, Comité International des Itinéraires Culturels (ICOMOS-CIIC), Comité International de Formation (ICOMOS-CIF), Politecnico di Torino, University of Pennsylvania e World Heritage Center - e tinha como objetivo principal melhorar a prática de conservação, melhorando a capacidade dos profissionais de coletar, criar, gerenciar e interpretar a documentação. Como objetivos secundários: 1) desenvolver

²³ Conselho Internacional de Monumentos e Sítios.

²⁴ Em maior ou menor grau, a depender da técnica de registro, porém todas as formas de levantamento requerem conhecimento específico.

²⁵ Os processos de registro podem envolver profissionais capacitados que trabalhem em colaboração, como especialistas em levantamentos métricos/cadastrais, agrimensores, conservadores, arquitetos, engenheiros, pesquisadores, historiadores da arquitetura, arqueólogos e outros consultores especializados.

²⁶ O Getty Conservation Institute é uma instituição privada, sem fins lucrativos, que trabalha na promoção da prática de conservação do patrimônio através de pesquisa científica, educação e treinamento, projetos de campo e disseminação de conhecimento. O trabalho do GCI é prioritariamente baseado em projetos, enfocando na criação e disseminação de conhecimento para profissionais e organizações com interesse na conservação do patrimônio cultural mundial.

uma rede entre educadores, instituições, conservadores e profissionais de documentação; 2) produzir livros, artigos e recursos baseados na Web sobre documentação; e 3) melhorar a educação tanto no nível profissional intermediário quanto nos programas universitários. Para tanto, no âmbito do ICCROM, o curso ARIS: Registros arquitetônicos, Inventários e Sistemas de Informação para Conservação foi oferecido entre 2003 e 2009 e pode treinar profissionais ligados à conservação provenientes de todo o mundo.

Uma série de publicações resultaram do projeto RecorDIM²⁷, sendo o de maior notoriedade o livro de mesmo nome do projeto, publicado em 2007 e de autoria de Robin Letellier²⁸.

Vale ressaltar que se deve ter em mente que tão importante quanto a fase de registro, propriamente dita, é a etapa que a antecede, isto é, antes que os registros sejam realizados, as fontes de informação já existentes devem ser encontradas e analisadas. Pesquisas, desenhos, fotografias, descrições publicadas e não publicadas, e documentos relacionados às origens e história do patrimônio em questão devem ser levantadas e estudadas para melhor entendimento do objeto a ser documentado.

As pesquisas devem prever a busca de informações em locais como arquivos públicos nacionais e locais, arquivos profissionais que porventura já tenham trabalhado ou desenvolvido algum tipo de projeto ou estudo sobre a obra, arquivos institucionais ou privados que tenham em algum momento se relacionado com a obra, seja por meio de sua gestão ou por uma possível contratação, inventários e coleções, e bibliotecas ou museus. Deve-se prever a consulta a toda e qualquer fonte que tenha possuído, ocupado, gravado, construído, conservado ou realizado pesquisas ou que tenha algum conhecimento da obra.

²⁷ Posteriormente, A CIPA (acrônimo de Comité International de la Photogrammétrie Architecturale - um dos comitês científicos internacionais mais antigos do ICOMOS) continuou o trabalho iniciado no projeto RecorDIM e em 2016 publicou pela editora Whittles Publishing o livro “3D Recording, Documentation and Management of Cultural Heritage”, de autoria de Efstratios Stylianidis e Fabio Remondino, que trata das diversas técnicas de registro e levantamentos 3D.

²⁸ O volume 1 é um guia de princípios orientadores para gestores de patrimônio cultural, indicando formas de documentação e de gestão, armazenamento e divulgação dessas informações. Ele descreve estratégias para integrar pesquisa e investigação em atividades de conservação e discute os princípios, benefícios e abordagens básicos da documentação. O volume 2, exemplos ilustrados, é um compilado de estudos de caso, sendo dezoito projetos bem-sucedidos onde a documentação era crucial para a conservação desses bens.

Os objetivos de determinada documentação e sua forma de armazenamento terão papel preponderante na escolha do escopo, do método de registro e do nível de detalhe e precisão dos registros. A opção por um método de registro ou ainda por dois ou mais métodos que se complementem, bem como o produto final da documentação devem ser apropriados à natureza do patrimônio, aos propósitos do registro, ao contexto cultural, aos recursos financeiros destinados para esse fim. Dessa forma, em um primeiro momento, deve-se definir os objetivos da documentação, sua forma de armazenamento e os recursos disponíveis para tanto. Com essas definições em mente, é possível definir quais os produtos finais necessários, os métodos de registro, e os níveis de precisão e detalhe.

Existem diversos tipos de documentação que vão além dos registros gráficos – levantamentos métricos e cadastrais. São opções de registros à documentação:

- Textos: descrições, bibliografia, referências, textos acadêmicos, legislação, relatórios e especificações.
- Imagens: fotografias, fotografias históricas, fotos retificadas, ortofotos, imagens de satélite, mapas, vídeos, desenhos e esboços, etc.
- Entrevistas em vídeo e áudio.
- Desenhos técnicos: plantas, cortes e elevações.
- Modelos digitais e maquetes físicas.

Vale ressaltar que as formas de registro devem, sempre que possível, usar técnicas não invasivas e não devem causar danos ao bem patrimonial.

De acordo com o documento *“Principles for the recording of monuments, groups of buildings and sites”*, a fase de armazenamento deve prever que:

“Os registros originais devem ser preservados em um arquivo seguro, e o ambiente do arquivo deve garantir a permanência das informações e a liberdade de decadência para padrões internacionais reconhecidos.

Uma cópia de segurança completa de tais registros deve ser armazenada em um local seguro separado.

Cópias de tais registros devem ser acessíveis às autoridades estatutárias, aos profissionais interessados e ao público, quando apropriado, para fins de pesquisa, controles de desenvolvimento e outros processos administrativos e legais.

Registros atualizados devem estar prontamente disponíveis, se possível no local, para fins de pesquisa sobre o patrimônio, gestão, manutenção e socorro em catástrofes.

O formato dos registros deve ser padronizado e os registros devem ser indexados sempre que possível para facilitar a troca e a recuperação de informações em nível local, nacional ou internacional.

A montagem, o gerenciamento e a distribuição eficazes das informações registradas requerem, sempre que possível, o entendimento e o uso apropriado da tecnologia da informação atualizada.

A localização dos registros deve ser tornada pública.

Um relatório dos principais resultados de qualquer registro deve ser disseminado e publicado, quando apropriado." (ICOMOS, 1996, p. 4, tradução nossa)

Tão importante quanto a elaboração de registros e produção de documentação sobre determinado bem, é a forma de gestão, armazenamento e compartilhamento dessas informações. A forma sistematizada de documentação permite que, com o decorrer da vida da obra no tempo, novas informações sejam adicionadas ao corpo documental da mesma, gerando um montante de dados que, segundo Letellier (LETELLIER, 2007, p. 27), é chamado de unidade de informação. Para efetivamente essa unidade de informação trabalhar a favor da preservação da obra, os dados ali contidos devem ser confiáveis, seguros e acessíveis. Para tanto, deve existir uma gestão eficiente dos três aspectos inter-relacionados: a aquisição, o armazenamento e o compartilhamento dos dados, ou seja, os componentes de um sistema de gestão da informação.

Figura 1. Diagrama dos critérios para o gerenciamento efetivo da informação. Adaptado de Letellier, 2007.

Tal como Letellier relaciona os três aspectos mencionados, Owen (2004, apud NOGUEIRA, 2010, p.79) também entende a documentação como um sistema organizado em três estágios: Fase de descoberta, ou aquisição/coleta de dados; Fase científica, ou o processamento, catalogação e gerenciamento de dados; e Fase da disseminação, fase que envolve a gestão do banco de dados e interpretação. Da mesma

forma, Bryan (2006, apud NOGUEIRA, 2010, p.79) organiza o sistema de informação em três grupos: Coleta de dados, construção e armazenamento; Acesso ao conteúdo e manipulação; e Apresentação, exibição, publicação e distribuição, conforme observado no Quadro 1:

Tecnologias	Aquisição de conteúdo, Construção e Armazenamento	Acesso ao conteúdo e Manipulação	Apresentação, Visualização, Publicação e Distribuição
Tecnologias de interface	<ul style="list-style-type: none"> . Multisensor, serviços interativos com inteligência ambiente . Interfaces multimodais para apoio das análises de artefatos e decisões de curadoria 	<ul style="list-style-type: none"> . Realidade aumentada . Interfaces multimodais para apoio da experiência virtual de artefatos raros 	<ul style="list-style-type: none"> . Galerias virtuais customizadas para o usuário . <i>Template</i> pré-executado para galerias virtuais . Interfaces multilingüe e não visuais . Uso exploratório multimodal intuitivo . Narrativas de mídia incorporadas . Integração em sistemas de usuários finais
Tecnologias de captura	<ul style="list-style-type: none"> . Fotografia estérea, panorâmica, aérea, multiespectro e multivisualização . Uso do material captado para apoio a decisões de curadoria . Técnicas de indexação e recuperação . Aquisição de metadados . Objetos nascidos digitais . Tecnologias de captura voltadas para o usuário 	<ul style="list-style-type: none"> . Medições de superfícies radiométricas, colorimétricas e goniométricas. . Existem problemas aqui para artefatos nascidos digitais? . Rendering multi-view de objetos 3D e cenas . Montagem, vistas compostas . Reprodução de mídia cruzada 	
Tecnologias espaciais e baseadas na locação	<ul style="list-style-type: none"> . Monitoramento remoto de objetos CH . Coleta de dados de dispositivo portátil . Suspensão sensível ao contexto geográfico . Gerenciamento de orientação geo-multimídia 	<ul style="list-style-type: none"> . Realidade aumentada . Informação sensível à locação para apoio da compreensão de locais inacessíveis 	<ul style="list-style-type: none"> . Navegação física através do patrimônio cultural . Publicação com reconhecimento de situação sob demanda . Gerenciamento de tarefas com reconhecimento de local

Tecnologias do conhecimento	<ul style="list-style-type: none"> . Desenvolvimento de anotações e ontologias . ferramentas de coleta de visitantes . Descrição do nível de conhecimento de narrativas curatoriais para exposições de uma instituição ou pan-institucionais . Descrição semântica de artefato e domínio . Interpretação profissional de artefatos 	<ul style="list-style-type: none"> . Raciocínio usando dados incompletos e inconsistentes para apoiar a reconstrução de eventos patrimoniais, cenas e artefatos 	<ul style="list-style-type: none"> . Apoio para pesquisa semântica, exploração e recuperação . Estruturas semânticas de alto nível para apresentações de conteúdo e personalização . Recuperação baseada em conteúdo . Apresentação personalizada e sensível ao contexto
Tecnologias de visualização e exibição	<ul style="list-style-type: none"> . Espaços de trabalho avançados para criação, coleta e organização de artefatos. Preservação digital e manipulação de artefatos raros 	<ul style="list-style-type: none"> . Design de realidade virtual (RV) para exposições físicas . Design de exposições virtuais. Realidade aumentada 	<ul style="list-style-type: none"> . Reconhecimento de cena e objeto. Ambientes inteligentes, imersivos, multisensores e interativos. Exposições virtuais. Realidade aumentada

Quadro 1. Organização do sistema de informação. Fonte: Adaptado de Bryan, 2006 apud Nogueira, 2010.

Letellier relaciona ainda a documentação, as atividades de registro e a gestão da informação como momentos-chave, dependentes um do outro, como uma efetiva ferramenta de preservação através da comunicação, com o compartilhamento do conhecimento sobre o patrimônio. Desse ponto de vista, as técnicas digitais facilitam o compartilhamento e o alcance dessas informações e abre um leque de possibilidades de armazenamento e reprodução dos dados. Por outro lado, essas tecnologias demandam constante atualização de *hardware*, *software* e *peopleware*, devido à rápida obsolescência das mídias e das formas de gravação e armazenamento.

A falta de padronização, seja em formatos de gravação e mídias, seja em metodologias que orientem a captação de dados e produtos finais são ameaças à eficiência a longo prazo dos métodos de armazenamento e documentação dos dados como instrumento de salvaguarda. Segundo Nogueira (NOGUEIRA, 2010), é desejável ainda que exista uma rede que articule os agentes envolvidos no processo de preservação e que esses indivíduos renovem suas habilidades de forma constante. O caráter inovador das técnicas digitais demanda a atualização do conhecimento de novas ferramentas e, por ser um processo de dinâmico, em constante amadurecimento, é esperado que a todo momento, inclusive durante os trabalhos, novas técnicas sejam experimentadas e aperfeiçoadas. “A tecnologia digital sempre favorecerá a dinâmica da

atualização, de novos recursos, de renovação, por mais sistemático que o processo possa ser.” (NOGUEIRA, 2010, p. 76).

Com o advento das tecnologias digitais de baixo custo, em especial das câmeras fotográficas e mais tarde dos smartphones, houve uma multiplicidade das formas de conhecimento de um bem e de seu registro. Ainda que a documentação seja uma ciência prioritariamente desempenhada por profissionais capacitados e habilitados para tanto, as tecnologias digitais possibilitaram que cada sujeito possa se tornar um produtor legítimo de conhecimento (THEOPHILO, 2009, apud NOGUEIRA, 2010, p.78). Aqui as tecnologias trabalham não apenas auxiliando o especialista, mas contribuindo para que o indivíduo comum seja ativo na preservação do patrimônio, aproximando a comunidade de seus bens culturais, e permitindo a vivência de uma experiência mais completa sobre os monumentos da forma como pode e consegue contribuir para sua salvaguarda.

“(...) a disseminação [das informações] deve ser entendida como chave no processo de documentação, dando sustentabilidade aos acervos gerados, operando como uma ferramenta de colaboração em duas vias, contribuindo com o diálogo e a participação. Nisto reside a chave para a estratégia futura de pesquisa em patrimônio digital. Humanizar o aspecto, ao invés de focar em uma tecnologia ou num grupo de tecnologias, é para onde a estratégia deve ser dirigida” (EVANS, 2006, apud NOGUEIRA, 2010, p.81)

PARTE 2

**A TECNOLOGIA DIGITAL EM
LEVANTAMENTO MÉTRICO-ARQUITETÔNICO**

2.1

O LEVANTAMENTO MÉTRICO-ARQUITETÔNICO NO PROJETO DE RESTAURO

“[...] os levantamentos métrico-arquitetônico são operações de estudo, mensuração e análise que permitem compreender e documentar o patrimônio arquitetônico, tanto em si quanto em relação ao contexto urbano e territorial, em suas características geométricas, dimensionais, estruturais e construtivas, bem como formais e funcionais, ao mesmo tempo revisitando a história. Tal documentação deve explicitar o processo projetual e construtivo da obra, para compreender integralmente as razões das escolhas, feitas a seu tempo, e como essas foram implementadas, escolhas das quais o monumento é testemunho.” (DOCCI, 2009, p. 287)

O levantamento métrico-arquitetônico²⁹, no âmbito do projeto de restauro, tem como finalidade fornecer à equipe de projeto o conhecimento integral do objeto de estudo, abarcando informações morfológicas, dimensionais, figurativas e tecnológicas, como a identificação de técnicas e sistemas construtivos, materiais, estruturas específicas, etc, bem como as dimensões e configurações de seus espaços e elementos construtivos.

O artigo 16º da Carta de Veneza fala que:

“Os trabalhos de conservação, de restauração e de escavação serão sempre acompanhados pela elaboração de uma documentação precisa sob a forma de relatórios analíticos e críticos, ilustrados com desenhos e fotografias. Todas as fases dos trabalhos de desobstrução, consolidação, recomposição e integração, bem como os elementos técnicos e formais identificados ao longo dos trabalhos serão ali consignados. Essa documentação será depositada nos arquivos de um órgão público e posta à disposição dos pesquisadores; recomenda-se sua publicação.” (ICOMOS, 1964)

Sobre a importância do levantamento arquitetônico para o profundo conhecimento da obra, Pietro Sanpaulesi (apud CIGOLA, 2001, p.15) fala que o levantamento “*distingue i conoscitori da coloro che restano alla superficie, anche se cosiddetta colta, della conoscenza*”. Ele entende que o levantamento oferece condições

²⁹ Por vezes será mencionado apenas levantamento métrico ou levantamento arquitetônico, de forma a não repetir o termo levantamento métrico-arquitetônico em muitas passagens no texto. Os três termos se referem ao mesmo tipo de levantamento.

de proximidade entre o indivíduo e a obra, que leva o conhecimento sobre o objeto de estudo a um outro nível de profundidade, saindo do conhecimento ordinário – na superfície, superficial – para o conhecimento da obra em toda a sua complexidade. É apenas a partir de uma profunda relação entre o monumento e o indivíduo que executa o levantamento que é possível chegar ao conhecimento real do edifício. Cigola (2001, p.15) fala que o levantamento arquitetônico é há muitos séculos um dos principais instrumentos não apenas para saber ver a arquitetura, mas para saber lê-la.

Desde o século XV, o levantamento é utilizado como método para conhecimento da arquitetura. Alberti, no seu *De Re aedificatoria*, afirma que somente o estudo e o levantamento dos antigos monumentos haviam permitido que ele se aprofundasse na matéria e assim pudesse continuar a sua obra, devido à complexidade do tratado. De acordo com Cigola (2001, p.15), Filippo Brunelleschi, juntamente com o amigo Donatello, empenhou-se em uma série de levantamentos métricos de monumentos em Roma. Esse momento de aproximação com as técnicas de levantamento e suas potencialidades como instrumento cognitivo pode ser entendido como o embrião da revolução arquitetônica e perceptiva conduzida por Brunelleschi, anos mais tarde. A intimidade com os monumentos e o conhecimento daí derivado na sua leitura e compreensão puderam sedimentar o caminho para a nova forma de olhar a arquitetura que estava por vir. Entre os séculos XVIII e XIX, os avanços da geometria descritiva e a própria formação do restauro enquanto disciplina autônoma incentivaram os estudos sobre levantamento arquitetônico e fomentaram a formação de profissionais.

Ainda que o levantamento métrico-arquitetônico seja utilizado como ferramenta para outras disciplinas, em especial a disciplina do restauro, o levantamento em si é uma ciência complexa, das poucas que permite compreender a natureza do objeto arquitetônico, revelando características históricas, a forma que o monumento foi assumindo e suas transformações ocorridas em suas várias épocas. Desse ponto de vista, o levantamento não se restringe apenas à coleta de medidas e características formais dos objetos de estudo, mas a um sistema de conhecimento sobre esse objeto.

“É uma posição já entendida que o levantamento, e em modo particular aquele destinado a intervenções de restauro, não seja compreendido como apenas a medição e restituição gráfica de um artefato arquitetônico, mas que, ao contrário, o levantamento seja a somatória de mais operações sucessivas, que tendem ao conhecimento global do objeto estudado.” (FRANCESCHI e GERMANI, 2004, p. 85)

Nas últimas décadas, o levantamento métrico-arquitetônico assumiu um papel fundamental nos trabalhos de restauração, em parte devido às solicitações por parte dos órgãos de preservação, como parte da fase de estudos sobre a obra. Os procedimentos relativos ao levantamento em questão se desenvolvem em medições, desenhos, verificações e comparações entre os dados levantados, revelando semelhanças e diferenças seguindo uma metodologia verdadeiramente filológica (CIGOLA, 2001).

“Levantar significa compreender em uma arquitetura os elementos significativos, aqueles que a fazem diferente de todas as outras e aqueles que na simplificação necessária na passagem da realidade à representação bidimensional, podem ser excluídos ou omitidos: a discretização da obra, conectada com a escala de redação das representações gráficas.” (CIGOLA, 2001, p. 24)

De acordo com o Manual de elaboração de projetos de preservação do patrimônio cultural, elaborado pelo Programa Monumenta (Ministério da Cultura), a fase de Identificação e conhecimento do bem antecede a fase propositiva do projeto e tem como objetivo:

“(...) conhecer e analisar a edificação sob os aspectos históricos, estéticos, artísticos, formais e técnicos. Objetiva também compreender o seu significado atual e ao longo do tempo, conhecer a sua evolução e, principalmente, os valores pelos quais foi reconhecida como patrimônio cultural.” (BRASIL, MINISTÉRIO DA CULTURA. INSTITUTO DO PROGRAMA MONUMENTA, 2005, p. 20).

O manual de elaboração de projetos em questão não se trata de uma teoria metodológica, que possa orientar a equipe quanto à definição de partido de projeto, mas tem o objetivo de estabelecer um roteiro de produtos, com diretrizes práticas. Apesar de apresentar como premissas de projeto o respeito à autenticidade do bem e o conhecimento das cartas patrimoniais e dos documentos internacionais para a elaboração de projetos em patrimônio cultural, em nenhum momento ele dá orientações ou questiona escolhas do projeto do ponto de vista teórico, mas se propõe a oferecer recursos práticos para a equipe de projeto compreender os estudos que são necessários para o bom entendimento da obra.

Segundo o manual (BRASIL, MINISTÉRIO DA CULTURA. INSTITUTO DO PROGRAMA MONUMENTA, 2005) e de acordo com o solicitado pela maioria dos órgãos de preservação no Brasil, para aprovação de projetos de intervenção em edificações ou áreas tombadas, o projeto é dividido em três fases principais, a saber:

1. Identificação e Conhecimento do Bem: Fase que se propõe a conhecer profundamente o objeto de estudo e estabelecer bases que fundamentem a proposta de intervenção. Tem como atividades componentes dessa etapa:

- 1.1. Pesquisa histórica: tem como objetivo compreender o percurso histórico do bem e situar a edificação no tempo. Dessa forma, devem compor a pesquisa todos os aspectos que interfiram nas relações estabelecidas pelo bem ao longo de sua vida, ou seja, aspectos políticos, sociais e econômicos, técnicos e artísticos. Conforme mencionado no capítulo dedicado à documentação arquitetônica, devem ser consultados arquivos, bibliotecas, museus, inventários, coleções e todas as fontes escritas, iconográficas, orais que ajudem a equipe a compreender o percurso histórico do bem, de que forma essa obra foi se relacionando com a sociedade nesse tempo, além de seus aspectos técnicos (do ponto de vista construtivo) e artísticos. Na medida que a pesquisa histórica procura compreender as fases da obra também do ponto de vista construtivo, pede-se o estudo que estabeleça uma cronologia construtiva da edificação, onde as fases da obra são explicadas graficamente. Tem como objetivo complementar a Pesquisa Histórica no sentido de conhecer e analisar a edificação sob aspectos históricos, formais e técnicos. Dessa forma, a cronologia visa trazer para a etapa de Identificação e Conhecimento do Bem a sistematização da sequência de interferências, construções, demolições, reformas e intervenções que a edificação sofreu ao longo de sua existência. Assim, enquanto a Pesquisa Histórica procura entender a evolução da edificação do ponto de vista dos valores pelos quais a obra foi reconhecida, a cronologia procura compreender a evolução construtiva, do ponto de vista físico da construção.

- 1.2. Levantamento Físico: Trata-se do levantamento métrico-arquitetônico/cadastral da obra, do levantamento topográfico do terreno em que está implantada, da documentação fotográfica da edificação e do levantamento dos elementos artísticos integrados. Os produtos são relatórios, desenhos, croquis e as pranchas gráficas contendo plantas de situação, locação e as plantas baixas da edificação de estudo, elevações, cortes, plantas de cobertura, detalhes construtivos diversos e outros desenhos que a equipe entenda como relevante para a compreensão do bem.

- 1.3. Análise Tipológica, Identificação de Materiais e Sistema Construtivo (ou Levantamento de Informações de Infraestrutura, Levantamento

dos Aspectos Legais, Levantamento Sócio-Econômico-Ambiental, em casos de áreas urbanas): É a fase de análise da tipologia construtiva, dos materiais empregados na obra e dos sistemas construtivos utilizados. É parte importante da fase de identificação e conhecimento do bem, já que a compreensão da forma como os materiais se comportam e como os sistemas construtivos funcionam é base para o entendimento da fase de diagnóstico e análise dos danos, sendo, portanto, atividade essencial para o estabelecimento de especificações de projeto para saneamento das patologias.

1.4. Prospecções arquitetônicas, pictóricas, estruturais e do sistema construtivo, e arqueológicas: de forma geral, as prospecções visam complementar a pesquisa histórica, a cronologia arquitetônica, o levantamento cadastral, e a identificação de materiais e sistemas construtivos. São utilizadas para sanar dúvidas sobre a obra, do ponto de vista construtivo, da análise dos materiais, do estado de conservação, possibilitando análises mais aprofundadas sobre a edificação.

2. Diagnóstico: É a etapa de análise pormenorizada do estado da obra. Trata-se de estudos de identificação de patologias e suas análises, com o aprofundamento necessário para orientação de possíveis soluções. Complementa os estudos desenvolvidos anteriormente na medida em que aprofunda o conhecimento sobre a obra. Compõem a fase de diagnóstico o mapeamento de danos, onde são expressos graficamente, sobre a base de desenhos do levantamento cadastral, todos os danos e patologias presentes na edificação; a análise do estado de conservação, que consiste na fase de análise propriamente dita, em que se relacionam questões construtivas e de materiais com os danos apresentados, suas causas e efeitos. Há ainda estudos geotécnicos, ensaios e testes que se façam necessários para entendimento e monitoramento das patologias, principalmente aquelas estruturais e de caracterização de danos.
3. Proposta de intervenção: É a etapa de apresentação das propostas e soluções para a obra. Consiste nas fases de estudo preliminar, projeto básico e projeto executivo. O estudo preliminar é a apresentação do partido do projeto, com a conceituação projetual e os fundamentos teóricos da proposta de intervenção, bem como os indicativos de soluções para os problemas e questões levantadas no diagnóstico e no programa de uso para a edificação. O projeto básico é a etapa seguinte, onde os conceitos são desenvolvidos para gerar uma proposta de fato, com vistas à sua execução e, finalmente, o projeto executivo é onde essas soluções são detalhadas

a fundo, constando de todas as alterações necessárias pela análise da etapa anterior e acrescidas dos desenhos e detalhamentos necessários para correta execução da proposta. Nessa etapa, todas as especificações de serviços – procedimentos, técnicas, materiais - devem possibilitar a perfeita compreensão da proposta, de forma que seja possível colocar as soluções em prática tal como foram pensadas em projeto. É também uma fase essencial para a elaboração de orçamentos e cronogramas.

Dessa forma, conforme explicitado acima, a fase de identificação e conhecimento do bem antecede a fase de proposta e especificação de serviços e deve ser baseada em pesquisas históricas, pesquisas acerca dos materiais e das técnicas construtivas, prospecções arquitetônicas, estruturais, arqueológicas e pictóricas, fotografias, monitoramentos e tudo o que for necessário para o completo entendimento e compreensão do bem. É nessa fase que o levantamento métrico-arquitetônico é realizado.

Claramente, toda a etapa de identificação e conhecimento do bem tem como escopo orientar e fornecer embasamento técnico para a fase de propostas, no entanto, todo o material gerado nessa fase é uma importante documentação do estado do bem na ocasião anterior às intervenções. As pesquisas históricas, as investigações sobre os materiais e técnicas construtivas, os levantamentos e demais análises necessárias se tornam um conjunto de informações que traduzem o estado geral, mas ainda como, quando, por quem e de que forma aquele patrimônio é utilizado e o que ali foi executado.

No caso específico do levantamento métrico-arquitetônico, Docci (2009, p.288) entende que o levantamento deve garantir ao projetista ou à equipe de projeto o conhecimento efetivo do bem, da forma geral aos detalhes, dos vários momentos-chave ocorridos em sua vida a questões específicas do seu tempo de construção, etc. Apenas com o profundo conhecimento da obra os responsáveis pelas decisões de projeto podem optar pelas diversas soluções que são inerentes ao ato de projetar, inclusive em contextos históricos, além de limitar o quanto possível os imprevistos e os riscos que intervenções dessa natureza carregam consigo.

Segundo o autor, o conjunto de informações necessário para compor um bom levantamento, neste caso métrico e de diagnóstico (destinado a intervenções de restauro), consiste em quatro produtos:

1. Conhecimento formal: Desenhos que permitam o conhecimento da edificação com os registros gráficos da forma e geometria do edifício, que permita a compreensão do mesmo em detalhes, inclusive de sua história projetual-construtiva. Fazem parte desse item o levantamento arquitetônico, o levantamento topográfico e urbanístico ou ambiental, e o conjunto de pesquisas histórico-documentais.
2. Conhecimento tecnológico e físico: O levantamento deve oferecer condições de entendimento do sistema construtivo e de suas condições estáticas. Fazem parte desse item o levantamento estrutural, e levantamento do estado de conservação (estrutural e de materiais).
3. Elaboração de pranchas de levantamento temático, que se propõem a aprofundar aspectos específicos da obra. São exemplos: Levantamento das instalações elétricas e hidráulicas, investigações instrumentais de eventuais monitoramentos, análises de materiais, etc.
4. Elaboração de notas históricas, seja após a pesquisa histórica, seja como fruto de observação in loco, durante os estudos diretos. São exemplos: fichamentos histórico-artísticos, relatórios de prospecções (estratigráficas, arquitetônicas, etc).

Lembrando que as premissas básicas para o desenvolvimento de um levantamento métrico requerem uma prévia pesquisa sobre o bem e um planejamento do levantamento. Pede-se que esse projeto do levantamento contemple a escolha dos métodos de levantamento, antecipe problemas como: as possíveis dificuldades do trabalho, a sequência dos procedimentos necessários, a precisão das medições e escalas de representação necessárias, de forma que os resultados obtidos sejam confiáveis e adequados à complexidade que o levantamento desse tipo de edificação exige. Uma terceira premissa é a necessidade do planejamento do manejo dos dados levantados, isto é, quais mídias e extensões de arquivos serão utilizados; se há um banco de dados local, um sistema informatizado que gerencie levantamentos dessa natureza vinculados ou não a órgãos de patrimônio histórico. Em caso positivo, deve-se verificar qual o padrão para incluir o levantamento nesse sistema. Por fim, a última premissa é a observação das normas relacionadas para levantamentos e representações.³⁰

³⁰ No caso brasileiro, pede-se atenção às normas NBR 13532:1995 – Elaboração de projetos de edificações – Arquitetura, NBR 6492:1994 – Representação de projetos de Arquitetura, NBR

Para elaboração dos desenhos, devem ser definidos padrões de representação que facilitem o entendimento da conexão entre as partes do edifício, seja em relação à sua forma geral, seja em relação aos seus detalhes e particulares, além da conexão entre os levantamentos realizados por diferentes técnicas. Em um mesmo levantamento, diversas técnicas podem ser utilizadas de forma a complementar informações ou facilitar a aquisição de dados. Em levantamentos diretos, há a técnica da trilateração, e técnicas baseadas em coordenadas polares ou cartesianas. Há levantamentos topográficos, fotogramétricos, por varredura a laser, entre outros, como será apresentado nos capítulos sucessivos. Devido à grande complexidade das estruturas históricas, é recomendado que duas ou mais técnicas sejam utilizadas, uma em complemento da outra, de forma que os resultados sejam mais precisos e confiáveis. Assim, recomenda-se uma equipe multidisciplinar, com profissionais de diversas áreas relacionadas ao patrimônio. No caso específico do levantamento arquitetônico, os profissionais relacionados são arquitetos (preferencialmente com especialização e experiência em levantamentos arquitetônicos), profissionais com competências de informática específicas em retificação de imagens, georreferenciamento, geógrafos, topógrafos, desenhistas (em *softwares* de desenho técnico, tipo Autocad), etc. Vale ressaltar que o profissional arquiteto deverá ser o líder de projeto e aquele que é o responsável pelo levantamento, do seu planejamento à execução dos serviços de forma geral.

Segundo Docci (DOCCI, 2009), o edifício deve ter todas as suas áreas e partes descritas, estruturais, de vedação e acabamentos, inclusive em pranchas temáticas, por exemplo: pisos, forros, etc. Devem ser oferecidas todas as informações necessárias para embasamentos das decisões de projeto, bem como para planejar o tempo e custos envolvidos. Vale dizer que são parte integrante da documentação final as pranchas com a cronologia arquitetônica, a pesquisa histórica e demais relatórios elaborados na fase de pesquisas e investigações³¹.

Para o autor, são necessárias, portanto, três fases principais para o desenvolvimento dos trabalhos de levantamento arquitetônico até a finalização dos produtos. A primeira fase se dedica ao projeto do levantamento, oportunidade em que

13133 - Execução de Levantamento Topográfico, NBR 16.280:2015 – Reforma em Edificações, NBR 9050: 2015 – Acessibilidade, entre outras a depender do levantamento em questão.

³¹ Fase equivalente à fase de Identificação e conhecimento do bem, do Manual de elaboração de projetos de preservação do patrimônio cultural do IPHAN (BRASIL, MINISTÉRIO DA CULTURA. INSTITUTO DO PROGRAMA MONUMENTA, 2005).

a equipe deverá analisar todas as áreas e partes do objeto e estudar as melhores ferramentas de levantamento para a execução da tarefa, prevendo os tipos e o número de pranchas e desenhos a serem elaborados. No caso da utilização de instrumentos de medição, escaneamento a laser, fotografias, devem ser previstas as tomadas, posições dos equipamentos, posições de alvos ou outros sistemas de referenciamento de nuvens ou fotografias, bem como e as possibilidades de acesso e de verificação da obra. É nessa ocasião que se deve analisar o ambiente e o terreno em que a obra está localizada, bem como as possíveis intercorrências derivadas dessa locação. O projeto do levantamento deverá prever croquis de plantas e elevações gerais (com escalas entre 1:200 e 1:500) com a distribuição gráfica do levantamento, além de uma breve explicação dos procedimentos pretendidos. Deve-se, nessa fase ainda, prever as possibilidades de georreferenciamento e a inclusão dos dados em um banco de dados local ou sistema próprio de gestão de documentação dessa natureza. É importante que se tenha essa definição antes do início do levantamento, pois deverão ser definidos previamente os pontos de controle para serem referenciados na obra durante os trabalhos.

A segunda fase corresponde ao levantamento dos dados. A depender da escolha das técnicas utilizadas, os procedimentos se desenvolverão conforme o planejamento e a demanda da técnica em si. Mesmo em técnicas como a fotogrametria ou o *3D Laser Scanning*, em que um equipamento faz a coleta de dados, é recomendado que seja realizado algum tipo de levantamento direto. Isso se deve à oportunidade de obter material para verificações posteriores e conferência dos produtos obtidos. Além da facilidade em se obter dados de áreas que não foram atingidas pela luz *laser* ou captadas pela fotografia (áreas ocultas ou áreas de sombra), em muitos casos é mais vantajoso colher dados diretamente a ter que trabalhar com mais uma nuvem de pontos ou uma fotografia que não acrescentem grande quantidade de dados a mais na nuvem base ou na ortofoto final.

Cabe ressaltar que, ainda que as técnicas digitais coletem todos os dados necessários, o levantamento direto (ainda que de formas gerais ou de medidas estratégicas) é sempre recomendado por estabelecer intimidade entre o indivíduo e a obra, aproximando a equipe de projeto à obra, em se tratando do seu tecido construtivo. Faz parte dessa fase o relatório fotográfico. O levantamento topográfico é utilizado para definir uma rede de enquadramento da edificação, para determinação de pontos isolados de apoio para o levantamento direto ou digital, ou mesmo para o

georreferenciamento. São pontos que também serão utilizados como referência para outros profissionais que no futuro venham a trabalhar com a obra.

Nesta fase, Docci (DOCCI, 2009, p. 291) ainda menciona a necessidade de um levantamento das fissuras, que devem ser levantadas com particular atenção ao progresso do quadro fissurativo no tempo, isto é, o levantamento deve levar em conta se as fissuras estão ativas e se o quadro tende à piora do seu estado ou está estável. Aspectos como a extensão das fissuras e a difusão das mesmas nas alvenarias também devem ser considerados. Havendo alteração nas alvenarias dessa natureza, o levantamento deverá coletar o maior número de informações possível de maneira a embasar a fase de diagnósticos e auxiliar no planejamento dessa etapa.

A terceira fase se destina ao momento da elaboração dos desenhos e das pranchas gráficas. Recomenda-se ter o máximo cuidado com a escolha dos suportes (papéis que não se deformam ou técnicas de impressão que não se perdem com o passar do tempo), das mídias, extensões de arquivos e das formas de representação. Os produtos finais dessa fase são o resultado de todo o trabalho desenvolvido e devem ser elaborados com responsabilidade, seja por ser informação de embasamento técnico para o projeto, seja por constituir documentação oficial de um bem de interesse cultural.

Assim, são previstos na composição do produto uma breve explicação do levantamento, das técnicas e critérios utilizados, dificuldades encontradas, considerações que eventualmente facilitem o entendimento e acrescentem informações relevantes para a equipe que for utilizar o material; a documentação fotográfica em formato de relatório, com a localização das fotografias em uma planta esquemática para orientação do leitor, levantamento topográfico com os pontos de apoio/referência, localização do lote e da edificação em planta de situação, as plantas de todos os pavimentos da edificação (1:50), as elevações externas (1:50), cortes (1:50), detalhamentos dos elementos decorativos, baixos relevos, cornijas e modenatura (1:10, 1:1), relatórios sobre os acabamentos pictóricos, do mobiliário fixo e decorações em madeira, desenhos (plantas, elevações, etc) diversos sobre temas específicos (pisos, forros, revestimentos), documentação estrutural (relatórios, plantas, desenhos específicos para compreensão dos elementos portantes e de cobertura), documentação do quadro fissurativo (desenhos, relatórios, fotografias), documentação das instalações de elétrica, hidráulica, sistemas de ar condicionado, circuito fechado de TV ou sistemas de vigilância, sistemas de proteção contra descargas atmosféricas, e demais instalações.

Stefania Franceschi e Leonardo Germani apresentam o conceito de “levantamento integrado”, caracterizado pela somatória de diversos componentes, inclusive de sensibilidade e conhecimentos relacionados a condições da preexistência, como técnicas construtivas, características dos materiais construtivos, etc.

“Não é mais o monumento o único motivo de interesse do levantamento, mas o estudo deve se estender também aos aspectos perceptivos, históricos, formais que caracterizam o artefato inserido em seu contexto; toda e qualquer contribuição de conhecimento se faz necessária à compreensão do objeto levantado e fundamental no momento da elaboração do projeto de restauro.” (FRANCESCHI e GERMANI, 2004, p. 88)

A metodologia para levantamentos apresentada por Franceschi e Germani, como mencionado, utiliza como método de pesquisa o “levantamento integrado” e consiste no desenvolvimento de cinco operações:

A primeira operação se trata da “documentação histórico-iconográfica”, ocasião na qual a equipe deverá estudar a pesquisa histórica, procurando momentos-chave na vida do monumento, de forma a compreender sua dinâmica construtiva. Deve também estudar os antigos desenhos (plantas, cortes, elevações, detalhes, etc) e compará-los ao estado atual, bem como as antigas fotografias, sempre procurando compreender a trajetória construtiva da obra até os dias atuais.

A segunda operação diz respeito à “validação perceptiva da imagem”, isto é, no estudo *in loco* da obra do ponto de vista do efeito no espaço de suas características construtivas. Deve-se observar o edifício externamente e internamente, seu entorno e características de implantação, procurando identificar seus sistemas construtivos, materiais, soluções arquitetônicas adotadas, dimensões e proporções, e quaisquer características formais. Essa etapa ajuda a compreender as formas e as intenções de projeto da edificação, podendo ser um fundamental ponto de apoio no planejamento e no decorrer das etapas de campo.

Os autores destacam a relação entre a arquitetura e as necessidades funcionais, estruturais e estilísticas da edificação. As soluções arquitetônicas se relacionavam diretamente às exigências de uso, aos materiais disponíveis na região, bem como da oferta de mão-de-obra, além de condições climáticas, correntes estilísticas ou modelos de referência. As características de uma obra procuravam atender a essas exigências e não eram escolhidas ao acaso. O conhecimento dessas questões é essencial para desenvolver além de um bom levantamento, um correto projeto de intervenção.

A terceira operação é dedicada ao levantamento de campo, fase mais complexa do “levantamento integrado”. Inicia-se com um projeto dos levantamentos, capaz de otimizar o tempo na obra e de organizar o material de coleta para a fase sucessiva de elaboração gráfica. Na fase do projeto do levantamento deve ser estimado o número de pranchas, as escalas dos desenhos (em função do grau de aprofundamento e da precisão das medições) e quais desenhos haverá em cada uma, bem como as eventuais pranchas temáticas com desenhos específicos (pisos, mapa de ocupação dos espaços, decorações, ou qualquer desenho que faça sentido na dinâmica daquele projeto específico). A técnica de levantamento, bem como tudo o que essa opção implica, como capacidade técnica da equipe de operação, equipamentos, *softwares* e *hardwares* disponíveis, custos e prazos, etc. Ainda nessa fase deverá ser elaborado um cronograma, de forma a individualizar prazos para as medições, tomadas fotogramétricas e de varredura, a depender da técnica utilizada. Além da previsão de prazos para a elaboração gráfica posterior.

A quarta operação se refere à elaboração dos desenhos e pranchas gráficas. Prevê uma etapa de análise e síntese das informações coletadas, seguida da elaboração dos desenhos em si e da montagem das pranchas necessárias. Essa operação é independente do sistema de coleta de dados e reflete a complexidade do objeto levantado, isto é, torna-se mais complexa à medida que o objeto levantado é complexo. “A capacidade de um bom levantamento consiste no saber realizar pranchas claras, compreensíveis e significativas do próprio levantamento” (FRANCESCHI e GERMANI, 2004, p. 89)

A quinta e última etapa se refere a “análises e aprofundamentos”. Trata-se da verificação e análise dos materiais, propondo-se a individualizar todos os elementos que o levantamento foi capaz de traduzir em desenhos.

A depender do objetivo do levantamento, essa fase pode se debruçar sobre geometrias, módulos e proporções escondidos, que apenas após os desenhos elaborados puderam ser verificados, ou uma análise metrológica, verificando se há relação entre as medidas levantadas e sistemas de medição utilizados no tempo da construção, como braças ou pés, ou ainda relação entre as dimensões levantadas e características próprias dos materiais e técnicas construtivas utilizados. É uma análise possível de ser feita apenas com os desenhos em mãos, sendo uma importante fase de conhecimento e interpretação do espaço e da construção.

Ainda que os diversos autores difiram entre nomenclatura e classificação de fases, percebe-se que existe uma unidade no entender o levantamento métrico enquanto ferramenta para conhecimento aprofundado da obra. Além da importância da fase de pesquisa histórica e da análise da mesma para compreensão do objeto nas fases antecedentes à de trabalho de campo, ainda há a orientação para que exista um planejamento (ou projeto) do levantamento prévio à fase de medições ou coleta de dados. Da mesma forma, existe concordância na exigência de um planejamento da fase de elaboração gráfica e da posterior verificação dos resultados.

2.2

AS TÉCNICAS DE LEVANTAMENTO ARQUITETÔNICO

Este capítulo aborda o conteúdo relacionado às técnicas de levantamento arquitetônico, com os principais conceitos, princípios de funcionamento, classificação, características e aplicações, de forma a apresentar um panorama geral das técnicas utilizadas em arquitetura, com especial atenção ao *3D Laser Scanning*.

Não é objetivo dessa pesquisa discorrer sobre equipamentos, *softwares* e modos de funcionamento dos mesmos, incorrendo no erro de apresentar tecnologias já obsoletas ou em processo de obsolescência. Pretende-se aqui entender a abordagem metodológica e conceitual do uso dessas ferramentas.

2.2.1 CLASSIFICAÇÕES

As técnicas de levantamento têm em comum o objetivo de extrair informações sobre as características físicas do bem cultural (geometria, dimensões, materiais construtivos, técnicas construtivas e estado de conservação), dados de sua implantação e relação com o entorno. Os métodos de levantamento métrico-arquitetônico são, portanto, ferramentas operacionais para obtenção desses dados, de forma que seja possível prosseguir com a elaboração de desenhos e pranchas gráficas, conforme visto nos capítulos anteriores.

Segundo Groetelaars (GROETELAARS, 2015), as principais técnicas para o levantamento de objetos arquitetônicos são:

- . Medição direta;
- . Métodos topográficos;
- . *3D Laser Scanning* terrestre;
- . Fotografia;
- . Dense Stereo Matching;

. Fotogrametria.

Há diversas classificações e critérios de seleção a depender de suas características e aplicações, de especificidades de cada projeto ou objeto a ser levantado. As classificações separam as técnicas em grupos, a depender da abordagem de cada tipo:

- Métodos diretos X Métodos indiretos

A classificação mais utilizada é a que separa as técnicas em métodos diretos, ou seja, quando há contato direto do indivíduo que está conduzindo os trabalhos em campo com a obra, e métodos indiretos, quando não há contato direto entre o indivíduo e a obra. São exemplos de levantamento direto o levantamento utilizando ferramentas de medição como trenas de fita, trenas a laser, paquímetros, etc, ou utilizando instrumentos mais sofisticados, como estações totais. Neste caso, chama-se levantamento direto instrumental.

Os métodos indiretos são todos aqueles em que não há contato direto entre o indivíduo e o objeto. A fotogrametria e o *3D Laser Scanning* são bons exemplos, já que é desejável, mas não há necessidade do contato com a obra.

- Técnicas ativas X Técnicas passivas

Outra classificação bastante utilizada é a que separa as técnicas entre ativas e passivas. As técnicas ativas são aquelas em que o equipamento ou o indivíduo é responsável pela emissão do mecanismo que coletará o dado do objeto a ser levantado. Um bom exemplo é o *3D Laser Scanning*, já que é o equipamento que emite a luz *laser* que atingirá o objeto e voltará para o equipamento. As técnicas passivas são aquelas em que os dados são recebidos pelo equipamento, sem que o mesmo precise ser o responsável pela sua emissão. A fotogrametria é um exemplo de técnica passiva, já que a câmera fotográfica recebe a luz solar (ou artificial) refletida pelo objeto, e não é responsável pela sua emissão.

- Técnicas tradicionais X Técnicas digitais

As técnicas são também divididas entre técnicas digitais e técnicas tradicionais, tendo como exemplo de técnicas digitais o *3D Laser Scanning*, a fotogrametria, o Dense Stereo Matching e o GPS, e entre técnicas tradicionais estão o levantamento direto, com os conceitos de trilateração, triangulação, e os levantamentos topográficos.

- Medição sobre o objeto X Medição sobre imagem

Existe ainda a divisão por técnicas que têm seus produtos finais a partir de medições sobre o objeto de estudo – como o levantamento direto e o topográfico –, ou aquelas que têm medições sobre produtos intermediários, como fotografias ou imagens de nuvens de pontos, como a fotogrametria e o *3D Laser Scanning*.

- Dados externos às superfícies X Dados ocultos

Além das informações externas às estruturas das obras, coletadas por técnicas que têm como objetivo a captura de dados sobre a forma física, há técnicas que se propõem a capturar dados internos às estruturas das edificações. São métodos não destrutivos de coleta de informações ocultas às superfícies dos objetos, como componentes estruturais, tubulações, entre outros. Pode-se citar a Termografia Infravermelho, o Georradar (Ground Penetration Radar - GPR), a ultrassonografia, método da frequência de ressonância e a Radiografia (por raios X ou raios gama).

- Determinação de informações de interesse em campo X determinação de informações de interesse em escritório.

Quando os dados a serem coletados são definidos no momento do levantamento, em campo, como no método da medição direta, em que a equipe define *in loco* quais informações serão registradas para posterior desenho a limpo no computador; ou quando a coleta das informações se dá de maneira generalizada, como na fotogrametria e no *3D Laser Scanning*, em que todas as informações visíveis do local são registradas em fotografias ou nuvens de pontos, sendo posterior, 'no momento do processamento desses dados, em escritório, a escolha das informações relevantes para o levantamento.

Métodos de Levantamento	Classificações		
	Forma de obtenção de dados	Local de obtenção de dados	Determinação dos pontos de interesse
Medição direta	direto	em campo	em campo
Métodos topográficos	indireto	em campo	em campo
3D Laser Scanning	indireto	em campo	posteriormente*
GPS	direto	em campo	em campo
Fotografia	indireto	nas imagens	posteriormente
Fotogrametria	indireto	nas imagens	posteriormente

Quadro 2. Classificação dos métodos de levantamento. Fonte: Adaptado de Groetelaars, 2004.

2.2.2 CRITÉRIOS DE ESCOLHA

Qualquer levantamento métrico-arquitetônico, por mais detalhado e preciso que seja, jamais poderá abarcar todos os aspectos da realidade de um bem cultural, com a aquisição de todos os dados exatos de sua existência. Todo levantamento métrico de determinado bem carrega em si escolhas de representação que respondem à pergunta: que aspectos dessa obra são importantes serem representados para esse projeto³²?

Para essa resposta, é preciso que exista clareza quanto aos objetivos do projeto, bem como o conhecimento das características físicas do bem a ser levantado e das circunstâncias em que o mesmo se encontra (ambiência, condições climáticas, estado básico de conservação, etc). Cada levantamento deve contar com um planejamento estudado especificamente para determinada obra. Não devem ser considerados planejamentos gerais, ou planejamentos adaptados de levantamentos para outras edificações. A orientação metodológica da teoria do restauro de avaliar cada objeto de estudo em suas especificidades também se aplica ao seu levantamento métrico-arquitetônico. O entendimento de que cada obra é única também se encontra nessa fase.

³² Projeto, inventário, pesquisa ou qualquer proposta que tenha como objeto de estudo um bem cultural que necessite de um levantamento métrico-arquitetônico.

Dessa forma, são diversos os critérios para a escolha de uma ou mais técnicas de levantamento para determinada obra, a depender principalmente da finalidade do trabalho. As várias técnicas de levantamento atendem em maior ou menor grau a essa finalidade, de acordo com o nível de detalhamento e precisão das informações coletadas. Que nível de detalhamento e precisão atenderá as necessidades desse trabalho? E quais técnicas de levantamento podem oferecer esse nível de detalhamento e precisão pretendido?

Ainda que os métodos tradicionais de levantamento sejam os mais utilizados no Brasil, sendo aqueles baseados em medição direta ou registros simples, com croquis e esboços cotados, possíveis de serem utilizados em levantamentos de edificações de formas simplificadas, de baixa complexidade e pequenas dimensões (AMORIM, 2012, apud BASTIAN, 2013), existem diversas técnicas de levantamento métrico que atendem a diferentes escopos de projeto, não devendo ser uma escolha automática a opção pelo método da medição direta.

Muitos autores discorrem sobre a escolha da técnica mais apropriada para determinado levantamento e aqui serão abordadas as formas como Robin Letellier (LETELLIER, 2007), guias do *Historic England*³³ (LANE, 2016) (BARBER, MILLS e ANDREWS, 2011), Alejandro Izquierdo Toscano (TOSCANO, 2017) e Natalie Groetelaars (GROETELAARS, 2015) entendem o tema.

Segundo Letellier (LETELLIER, 2007, p. 36), para a determinação da técnica de levantamento é necessário estabelecer o escopo do projeto, que é definido pela avaliação das necessidades do mesmo, a significância cultural da obra, as interações entre os recursos e equipamentos disponíveis, habilidades/conhecimentos da equipe técnica, prazos, restrições que são relevantes para o contexto, a escolha apropriada do nível de precisão do levantamento e os resultados pretendidos com o trabalho, ou seja, a sua finalidade. O projeto de levantamento deve responder com equilíbrio às necessidades citadas, correspondendo a um custo e a outras restrições já estabelecidos e respeitando os valores culturais do patrimônio.

³³ English Heritage é o consultor estatutário do governo inglês sobre o patrimônio histórico. Fornece consultoria especializada ao governo em todos os assuntos relacionados ao patrimônio histórico e sua conservação. Após 2015, a instituição passou a ser chamada Historic England.

Figura 2. A relação entre o valor cultural do sítio, os objetivos e necessidades do mesmo, o orçamento e outras restrições são parâmetros para o estabelecimento do escopo de um projeto de levantamento métrico. Fonte: Adaptado de Letellier, 2007.

Assim, para Letellier, o escopo deve responder a um dos três níveis de registro: (1) registro de reconhecimento, (2) registro preliminar, e (3) registro detalhado. Os níveis de registro variam e são adequados às necessidades e finalidades do levantamento, isto é, o nível de precisão e detalhamento varia de forma progressiva de modo a ser o mais adequado e responder às necessidades do projeto mais efetivamente. O nível pode ser progressivo inclusive dentro de um mesmo projeto, de maneira que varie dependendo do estágio em que o projeto se encontra, podendo ser um processo continuado de registro, conforme o projeto de intervenção avança em complexidade. Dessa forma, os registros gráficos com o avançar dos trabalhos, passam a complementar e detalhar melhor os levantamentos anteriores.

O primeiro nível de registro corresponde ao Registro de Reconhecimento, que tem como objetivo fornecer uma visão geral da obra e de sua localização. É um levantamento fotográfico com croquis explicativos que mostram o local de implantação, as edificações, a relação entre eles e suas características, de forma suficientemente detalhada para que o indivíduo que entre em contato com o levantamento possa compreender as características daquele patrimônio em sua inteireza. Esse levantamento deve permitir um rápido reconhecimento das principais características e problemas da obra. Tratando-se de uma obra de arquitetura, deve-se prever croquis de plantas, elevações, cortes e outros detalhes pertinentes à compreensão da obra. Devem ser previstas ainda indicações das principais características, entre materiais, técnicas construtivas, principais patologias, etc.

O segundo nível de registro, o Registro Preliminar, é mais detalhado e tem um maior nível de precisão que o nível anterior (de reconhecimento). Ele inclui levantamentos métricos, fornecendo informações mais completas de componentes significativos da obra, pertinentes às necessidades do projeto naquele momento. “O objetivo desse tipo de registro é produzir um conjunto de registros gráficos das

principais características da obra, necessário no processo de conservação para análises preliminares, e para definição de áreas para posteriores investigações e registros detalhados.” (LETELLIER, 2007, p. 37)

O terceiro e último nível de registro é o Registro Detalhado, o mais preciso e detalhado nível de registro de um bem patrimonial. Trata-se do registro apurado da configuração física, condições e características significativas da obra e pode ser elaborado antes, durante e depois de intervenções, como ferramenta integrante da fase de projetos, quando a obra é objeto de uma pesquisa aprofundada ou como documentação pós-obra. Para que esse tipo de registro mais detalhado tenha um bom custo-benefício e justifique os investimentos em um trabalho mais caro e longo, é necessário, no entanto, que o levantamento seja realizado exatamente com vistas ao atendimento das necessidades específicas da equipe de profissionais, ou seja, atendendo ao que essa equipe precisa para desenvolver o trabalho relacionado àquela obra.

Cada nível de registro é adequado para complexidades diferentes de trabalhos e, assim, deve-se optar pelo nível de registro que justifique tal precisão e detalhamento relacionados: quanto maior a precisão, maior o tempo e os custos envolvidos, bem como a necessidade de maior sofisticação das ferramentas de levantamento e dos conhecimentos da equipe técnica. Por essa razão, a opção pelo nível de registro correto está intimamente ligada à escolha da técnica de registro.

Com esse raciocínio em mente, fica clara a importância do bom entendimento do escopo do trabalho antes do início dos levantamentos, ou até mesmo antes da contratação da equipe responsável pelos levantamentos (se for uma equipe externa à equipe de projeto). É preciso que exista uma comunicação clara entre as duas equipes de forma que os registros atendam perfeitamente as necessidades do projeto.

Assim, a escolha da técnica de registro passa pelo conhecimento das técnicas, sejam tradicionais ou digitais, que respondam ao escopo do levantamento.

As técnicas tradicionais - levantamentos diretos manuais e instrumentais - geralmente estão ligadas a menores custos e bons levantamentos podem ser realizados até por uma equipe com conhecimentos básicos das técnicas de levantamento direto. Além disso, o levantamento direto proporciona oportunidades de interação entre a obra e a equipe, gerando intimidade entre a equipe de levantamento e a obra, conforme visto no capítulo sobre documentação arquitetônica.

As técnicas digitais são mais complexas e envolvem um maior tempo de treinamento e conhecimento por parte da equipe de profissionais, bem como ferramentas mais sofisticadas e com maior custo de operação. Elas têm em comum a característica de utilizarem recursos digitais ou computadorizados para o registro.

As técnicas podem ser utilizadas individualmente ou uma em complemento da outra, de modo a enriquecer as informações do registro e fazendo esse conjunto de dados mais adequados às necessidades do projeto.

Segundo Letellier (LETELLIER, 2007, p. 39), o nível e tipo de conhecimento da equipe também são critérios para a escolha da técnica de registro. Por muito tempo, a utilização das técnicas tradicionais pode ser absorvida pela própria equipe de projeto e profissionais de conservação, de forma que a etapa de registros era realizada de maneira autossuficiente. Com a disseminação de técnicas digitais para registros, uma nova configuração das relações se estabeleceu e a equipe de projeto passou a contar com um profissional especializado em registros e levantamentos métrico-arquitetônicos, com conhecimentos aprofundados em uma ou mais técnicas digitais. No contexto atual, de digitalização dos novos levantamentos e com a quase totalidade dos registros sendo elaborados em ambiente digital, com *softwares* de desenho gráfico CAD (como Autocad, Autodesk, por exemplo) ou mesmo utilizando-se de técnicas de registro como fotogrametria digital ou *3D Laser Scanning*, esse profissional passou a fazer parte dos profissionais envolvidos em um projeto de restauro ou conservação.

Além dos valores culturais do bem, objetivos e necessidades do projeto, investimentos financeiros e prazos disponíveis para a elaboração do levantamento são critérios para a escolha da técnica de registro. O gestor do projeto deve prever o equilíbrio entre esses três fatores, de forma que critérios sejam estabelecidos para escolhas dentro dessas três áreas. Assim, de acordo com a metodologia apresentada por Letellier (LETELLIER, 2007, p. 43), alguns procedimentos para escolha da técnica de registro podem ser resumidos em: (1) O profissional a cargo dos registros deve ter contato próximo com a equipe de projeto, compreendendo integralmente as necessidades do projeto e todos os aspectos que o levantamento deve considerar; (2) Elencar todas as necessidades e escopo do levantamento para cada área a ser estudada, definindo o nível de registro e produtos a serem entregues; (3) Essas necessidades serão transpostas para uma estimativa de custos relacionada ao prazo e nível de registro pretendidos; (4) caso o possível orçamento não contemple o nível de registro necessário para atendimento do projeto, a equipe deverá reavaliar os três

parâmetros anteriores, de modo a procurar uma melhor relação custo benefício entre custo e nível de registro pretendido.

Para tanto, a escolha da técnica de registro é fundamental, porque impacta diretamente nos fatores custo/tempo/nível de registro. Cada técnica de registro oferece condições próprias para desenvolvimento dos trabalhos. Enquanto umas são mais rápidas e adequadas a objetos de alta complexidade, outras são mais lentas e apropriadas para objetos menores e de baixa complexidade, além do nível de detalhe e precisão que podem diferir drasticamente entre as diversas técnicas.

Ademais, o tipo de produto final necessário, em termos de apresentação, também é decisivo na escolha do nível de registro e, conseqüentemente, da técnica de levantamento a ser utilizada.

Segundo os guias do então English Heritage (atual Historic England), em especial o *3D Laser Scanning for Heritage* (BARBER, MILLS e ANDREWS, 2011), o *Metric Survey Specifications for Cultural Heritage* (ANDREWS, BEDFORD e BRYAN, 2015) e o *Understanding Historic Buildings: A Guide to Good Recording Practice* (LANE, 2016), existe uma grande variedade de técnicas para levantamentos métricos e a escolha da técnica mais apropriada passa pela avaliação de uma série de critérios.

Segundo Lane (LANE, 2016, p. 25), em concordância com Letellier, é necessário estabelecer o nível do levantamento para posterior definição da técnica de registro. Para tanto, deve-se ter em mente os objetivos e finalidades dos registros e a natureza do monumento. A autora descreve 4 níveis de registros, em que especifica um conjunto mínimo de levantamentos, sendo possível que informações posteriores sejam adicionadas conforme necessário. Ela levanta a possibilidade de, em um grupo de edifícios, a depender dos objetivos e complexidades de cada um, ser apropriado registrar algumas edificações em um nível e algumas em outro, dependendo de seu interesse para o projeto.

O primeiro nível corresponde a registros visuais básicos e dados primários sobre a edificação, como a identificação da locação do edifício, dados como ano de construção e tipologia. É o tipo de registro mais simplificado, normalmente utilizado em situações de avaliação de um conjunto de bens, para fins estatísticos ou de planejamento de ações conservativas, ou mesmo para inventários. Normalmente são coletados dados externos (fachadas) e da locação. A documentação consta de desenhos (croquis de plantas, cortes e elevações com as principais medidas),

fotografias (vistas gerais da locação e da implantação do edifício, com vistas das fachadas ou de particulares que se façam necessários para registro) e relatórios (dados do levantamento como nome do profissional responsável, data e nomes dos arquivos; o endereço do edifício, se possível, suas coordenadas geográficas e posicionamento GNSS; dados legais como números de processos de tombamento, proprietário ou responsável legal, etc; a descrição resumida da edificação, descrevendo o tipo ou finalidade do edifício, historicamente e no momento, seus materiais e técnicas construtivas a partir de uma inspeção superficial).

O segundo nível corresponde a um registro descritivo, realizado nas mesmas situações dos registros de nível 1, porém mais completo em informações. Em geral, é feito para subsidiar o início de um projeto mais amplo sobre determinado edifício. Neste nível, pedem-se informações do exterior e do interior da obra, em desenhos básicos cotados, relatórios contendo a descrição dos espaços, uso, materiais e técnicas, além de fotografias internas e externas.

O terceiro nível é um registro analítico, contendo informações mais aprofundadas que os registros anteriores. Propõe-se a descrever a obra de forma mais completa e com maior embasamento, trazendo a análise das evidências das descrições mencionadas, suas origens, causas e efeitos, permitindo a compreensão mais detalhada do objeto de estudo. Para este nível, solicitam-se desenhos em escala apropriada e registros fotográficos que demonstrem a aparência e a estrutura da obra e que ofereçam embasamento para uma análise histórica. Vale ressaltar que neste nível de registro a obra é fonte primária das pesquisas, sendo a maior parte das informações retiradas diretamente do edifício, e não em fontes bibliográficas.

O quarto nível é um registro analítico mais aprofundado que o nível anterior, utilizado em edificações de maior significado. Neste nível, as pesquisas visam ampliar as fontes de informação para além do próprio edifício, como acontece no nível três, contando com outras fontes de informação sobre o edifício, procurando compreender sua história dos diversos pontos de vista que abrangem a obra. A gama de desenhos também pode ser maior do que em outros níveis. Os registros contam com desenhos cotados que permitam o entendimento detalhado da obra, ilustrando todas as suas características e particulares de interesse. Os registros fotográficos e relatórios descritivos e analíticos também devem cobrir com detalhes e ilustrar de modo completo a edificação.

Existem situações específicas, a depender dos objetivos do registro, em que nenhum desses níveis se enquadra e seja possível um levantamento ainda mais aprofundado em um aspecto de interesse particular. Dessa forma, os produtos resultantes dos registros devem se adequar às necessidades do projeto, de forma a atender com precisão as demandas da equipe de projeto. Em muitos casos, não haverá exatidão na escolha de um ou outro nível e não haverá condições, pelas próprias necessidades do projeto, de uma classificação precisa. Nesses casos, pode-se mesclar dois níveis de registro, de maneira a atender as especificidades de projeto ou das circunstâncias em que, porventura, esse projeto esteja inserido, como risco de perda eminente, por exemplo. “O objetivo do projeto deve sempre determinar o seu escopo” (LANE, 2016, p. 27)

A seguir, a tabela sumariza a relação entre os níveis de registro e seus respectivos produtos, circunstâncias para o levantamento e principais necessidades. A determinação do nível de registro, segundo as necessidades do projeto, é o primeiro passo para a definição das técnicas de registro.

Nível do Registro	Circunstâncias	Principal necessidade	Forma de registro
Nível 1 ou 2	Planejamento estratégico do patrimônio em nível nacional, regional ou local; estudos de paisagens, tipos de construção, áreas e assentamentos	Informações sobre a distribuição, sobrevivência, variação e importância das construções, definidas geograficamente, tipologicamente ou cronologicamente. Compreensão de sua evolução, para fundamentar decisões de gestão do patrimônio e como contribuição para o conhecimento acadêmico.	Fotografias externas complementadas por relatos escritos dos edifícios individuais e/ou textos sintéticos. Os desenhos são simplificados e podem ser utilizados mapas e exemplos-chave.
Nível 2 ou 3	Planejamento de gestão para portfólios de propriedades e para edifícios ou locais individuais	Informação de base sobre a natureza e significância dos edifícios, provendo embasamento para decisões a longo prazo, e identificando onde há necessidade de mais informações.	Desenhos baseados em medições. Há necessidade de maior pesquisa e levantamento mais aprofundado em locais onde as construções formem um grupo geográfico coeso, ou que pertençam a um sítio/área histórica.
Nível 2 ao 4	Propostas de alteração para edifícios significativos	Entendimento do tecido construtivo em risco, dentro do contexto do edifício como um todo, e uma avaliação de sua significância. Isso permite que propostas sejam formuladas e avaliadas, e perdas minimizadas. Há ainda a necessidade de um registro do que será perdido, quando significativo.	Um relato do edifício (resumo das alterações menores/mais detalhado em casos de intervenções maiores), com discussão detalhada das áreas afetadas. Os desenhos com medições são necessários para grandes alterações.
Nível 3 ou 4	Reparos extensos ou alterações em edifícios significativos.	Informação detalhada sobre a natureza e desenvolvimento do tecido construtivo do edifício, no contexto de uma visão geral de sua significância, ou da significância de suas partes.	O registro desenhado pode ser mais detalhado, de maneira a informar passo a passo o processo de tomada de decisão.
Nível 3 ou 4	Danos catastróficos em edifícios significativos (ex: incêndios de grandes proporções)	Entendimento da natureza e do desenvolvimento do tecido construtivo do edifício, no contexto de uma visão geral de sua significância, ou da significância de suas partes.	A atenção deve se ater inicialmente nas áreas mais vulneráveis a perdas, que podem ser levantadas com mais detalhes que o levantamento regular, de forma a auxiliar sua reconstrução.
Nível 3 ou 4	Desmonte antes da re-ereção	Compreensão detalhada do tecido do edifício e de seus processos e técnicas artesanais.	O registro em desenhos e em fotografias provavelmente será extenso e será realizado antes e durante o desmonte. O processo de reconstrução, incluindo qualquer desvio das práticas e materiais tradicionais, também podem ser documentados.
Nível 2 a 4	Proposta de demolição	Avaliação da significância do edifício e um registro do que será perdido.	

Quadro 3. Níveis apropriados de registro, segundo o guia *Understanding Storic Buildings: a guide to good record practice*, de Historic England. Fonte: Adaptado de Lane, 2016.

Segundo Barber, Mills e Andrews (BARBER, MILLS e ANDREWS, 2011), para além de questões de custos e prazos, há uma adequação técnica, que limita o uso das diversas técnicas. Os critérios passam, em especial, pelas dimensões do objeto, ou seja, se determinada técnica pode ser utilizada para levantamentos de objetos de grandes dimensões, como um trecho de cidade, ou para objetos de pequenas

dimensões, como uma pequena escultura. Normalmente, técnicas utilizadas para objetos de pequenas dimensões não são apropriadas para longos trechos de levantamento, com o mesmo rigor de detalhamento. O outro critério de caráter técnico diz respeito à complexidade do objeto de estudo, ou seja, ao número de medidas que a técnica é capaz de coletar.

Para Alejandro Toscano (TOSCANO, 2017), a escolha da técnica de levantamento passa por três questões: **O que** é esse objeto? **Para que** será esse levantamento? **Como** posso fazê-lo?

A primeira pergunta (o quê?) corresponde ao entendimento do que é o objeto e passa por uma pesquisa prévia sobre a obra. Uma vez que já tenha sido realizada tal pesquisa e já exista um conhecimento básico da edificação, é possível estabelecer os objetivos gerais e os objetivos específicos do levantamento (para quê?). Os objetivos gerais se referem ao atendimento das necessidades primárias do levantamento: quais desenhos são necessários para levar adiante o projeto? Por exemplo, o grau de precisão de um levantamento de um bem cultural para um inventário será menor que o grau de precisão do levantamento, do mesmo bem cultural, quando este se destina a um projeto e intervenções de restauro. No primeiro caso, as informações têm base no conjunto de relevância e interesse cultural da obra, enquanto, no segundo caso, as informações devem ser precisas e detalhadas, já que guiarão intervenções que incidirão sobre a fisicalidade do bem. Essa definição deve existir antes de qualquer estabelecimento de objetivos específicos do levantamento e das correspondentes escolhas de métodos de registro (TOSCANO, 2017, p. 173).

Para o autor (TOSCANO, 2017, p. 174), as tecnologias digitais e a utilização de *softwares* de desenho inverteram a lógica do momento em que se faz a escolha dos aspectos a serem representados graficamente nos levantamentos. Em outras palavras, com a medição direta, o indivíduo seleciona *in loco* as informações que serão representadas nos desenhos no momento da coleta de dados, durante os trabalhos em campo do levantamento. Pode-se, posteriormente, refinar dados, descartar informações que não se fazem necessárias, mas a grosso modo, a escolha do que registrar se dá no momento da coleta de dados. Já as novas tecnologias, em especial a fotogrametria digital e o *3D Laser Scanning*, trabalham de modo inverso: no momento da coleta de dados há a aquisição de informações de forma generalizada, sendo num momento posterior, de processamento de dados, a escolha de quais informações são relevantes para o levantamento e quais devem fazer parte dos registros.

Finalmente, a escolha da técnica de levantamento responde à pergunta: como fazer esse levantamento?

“A metodologia³⁴ a ser estabelecida prevê a criação de uma estratégia para evitar imprevistos, tanto na aquisição dos dados, como na sua posterior interpretação, nos trabalhos de escritório; e a metodologia desenvolvida em função dos objetivos influenciará a escolha da instrumentalização. A definição da metodologia se baseará na capacidade técnica disponível para a realização do levantamento geométrico” (TOSCANO, 2017, p. 174, tradução nossa)

De acordo com Groetelaars (GROETELAARS, 2015), há uma série de aspectos que devem ser considerados na escolha da técnica de levantamento métrico mais adequada. Entre eles:

- Objetivos do projeto e produtos necessários (determinação do nível de detalhe e precisão, escalas);
- Características do objeto a ser levantado (complexidade, dimensões, materiais das superfícies externas, acessibilidade ao local, trânsito de pessoas ou outros obstáculos, etc);
- Habilidades e conhecimento técnico-operativo da equipe responsável pelo levantamento (Nogueira [2010] fala em *peopleware*);
- Recursos financeiros disponíveis;
- Recursos tecnológicos disponíveis (*hardware* e *software*);
- Prazos e tempo disponível (rapidez na aquisição de dados e processamentos dos mesmos);
- Levantamento do interior ou apenas das fachadas;
- Necessidade de contato próximo da edificação

O gráfico abaixo demonstra as diferentes técnicas e a pertinência de seus usos de acordo com a complexidade, em outras palavras, o número de medidas a serem coletadas (quanto maior a complexidade, maior o número de medidas a serem coletadas), e dimensões dos objetos.

³⁴ Toscano utiliza o termo “metodologia” para se referir a “técnicas de levantamento”, termo utilizado por essa pesquisa.

Figura 3. Os diversos métodos de levantamento métrico em relação ao tamanho e a complexidade do objeto. Fonte: Adaptado de Barber, Mills e Andrews, 2011.

Pelo gráfico é possível perceber que o levantamento direto manual é apropriado para o registro de pequenos objetos com baixa complexidade, sendo o levantamento direto em grandes áreas impraticável (como grandes áreas rurais ou urbanas, por exemplo) e a aplicação de técnica em objetos de grande complexidade implicaria a coleta de muitas medidas (1000 ou mais), fazendo desse tipo de levantamento uma tarefa bastante trabalhosa e não muito eficaz em termos de tempo, detalhamento e precisão, quando comparada a outras técnicas atuais. Para levantamentos com grande quantidade de informações a serem coletadas, a medição direta é utilizada de forma a complementar outros métodos mais adequados, como a fotogrametria digital e o *3D Laser Scanning* (GROETELAARS, 2015, p. 94). A técnica utilizada em objetos de grandes dimensões seria o levantamento métrico instrumental ou o levantamento topográfico, a depender no nível de complexidade e dos objetivos do levantamento.

A fotogrametria digital e o *3D Laser Scanning* se enquadram no mesmo tipo de levantamento, inclusive são frequentemente utilizados em conjunto, um em complemento do outro. As duas técnicas são apropriadas para a coleta de um grande

número de medidas, ou seja, correspondem a técnicas capazes de registrar objetos de grande complexidade, com maiores níveis de detalhe e precisão. A forma de utilização dessas técnicas – terrestre ou aerotransportado por drones (veículo aéreo não tripulado - VANT) ou por aviões – é determinante na capacidade de coleta de dados em pequenas ou grandes dimensões. A fotogrametria e o *3D Laser Scanning* terrestres podem ser utilizados para objetos de até 100m, enquanto as técnicas com os equipamentos aerotransportados são apropriadas para levantamentos de muitos quilômetros.

A mesma relação se dá entre as técnicas de GNSS - Global Navigation Satellite System (sendo o GPS - Global Positioning System americano o mais conhecido entre os sistemas atualmente disponíveis) e as técnicas de sensoriamento remoto por satélite, onde o primeiro opera na superfície terrestre e o segundo é aerotransportado. O GNSS apropriado para objetos de baixa complexidade ou como técnica auxiliar para coleta de pontos de controle em áreas extensas ou para referenciar levantamentos obtidos por outras técnicas. Já o sensoriamento remoto satélite pode ser utilizado para levantamentos objetos de alta complexidade e grandes extensões (BARBER, MILLS e ANDREWS, 2011).

Segundo Groetelaars (GROETELAARS, 2015, p. 96), a técnica que responde melhor às necessidades de rapidez na aquisição de dados (internos e externos), alta precisão e nível de detalhamento de edificações complexas é o *3D Laser Scanning*. Nessas condições, quando comparado à medição direta, o *3D Laser Scanning* se mostra mais eficiente e vantajoso, em alguns casos inclusive financeiramente, apesar do alto custo inicial com aluguel ou aquisição de equipamentos e *softwares*. A medição direta é um processo moroso e, por vezes, incapaz de atender ao escopo de detalhamento e precisão do levantamento, a depender do grau de complexidade e dimensões do objeto.

A depender das principais características desejadas no levantamento arquitetônico, uma ou mais técnicas podem ser apropriadas, conforme demonstra a tabela³⁵ a seguir:

³⁵ A tabela original de Groetelaars foi adaptada para abranger apenas técnicas indicadas para levantamento métrico-arquitetônico.

Características principais do levantamento	Técnicas mais indicadas
Rapidez na aquisição de grande quantidade de dados (pequenos objetos)	<i>3D Laser Scanning</i>
Precisão dos dados levantados e alto nível de detalhe	<i>3D Laser Scanning</i>
Equipamento de baixo custo (baixa complexidade)	Medição direta
Equipamento de baixo custo (média complexidade)	Fotogrametria
Equipamento de baixo custo (alta complexidade)	Dense Stereo Matching
Levantamento completo do interior da edificação	<i>3D Laser Scanning</i> , Medição direta
Registro de objetos com materiais transparentes ou reflexivos (formas simples de pequenas dimensões)	Medição direta
Registro de objetos com materiais transparentes ou reflexivos (formas complexas de pequenas ou grandes dimensões)	Fotogrametria
Necessidade de modelos geométricos (3D) detalhados de formas irregulares	<i>3D Laser Scanning</i> , Dense Stereo Matching
Necessidade de ortofotos ou modelos geométricos texturizados de elevada qualidade	Fotogrametria, Dense Stereo Matching
Contato próximo com a edificação para observação de materiais, funcionamento das peças/esquadrias	Medição direta
Obtenção de pontos de controle com precisão	Levantamento Topográfico
Levantamento do terreno	Levantamento Topográfico, <i>3D Laser Scanning</i>

Quadro 4. Alguns critérios para escolha da técnica em função das características do levantamento arquitetônico. Fonte: Adaptado de Groetelaars, 2015.

Considerações:

São várias as técnicas possíveis de serem utilizadas para atingir bons resultados de levantamento. No caso das mais utilizadas para levantamento arquitetônico, a medição direta (manual ou instrumental), a fotogrametria e o *3D Laser Scanning*, pelas características intrínsecas de cada uma, apresentam vantagens e desvantagens a serem consideradas durante a escolha, para além do grau de precisão.

Dependendo da complexidade do objeto, a medição direta pode atingir bons resultados em termos de precisão, ainda que o processo seja moroso. Fatores como custo e conhecimento da equipe de trabalho, bem como o estabelecimento de uma

relação próxima entre a equipe e o objeto estudado são vantagens que devem ser consideradas.

A fotogrametria digital (aplicada a levantamentos arquitetônicos), quando comparada à medição direta, apresenta vantagens quanto à quantidade e rapidez de dados coletados e à possibilidade de avaliação e seleção em escritório desses dados. Já em relação ao *3D Laser Scanning*, a fotogrametria apresenta menor custo, já que conta com equipamentos e *softwares* de valores mais baixos (existem inclusive *softwares open source*), além de ser uma técnica mais difundida e com décadas de compartilhamento de conhecimento sobre sua operação. A limitação da fotogrametria são os levantamentos nas áreas internas dos edifícios, devido à dificuldade de amarração dos modelos parciais (GROETELAARS, 2015, p. 96). As vantagens do *3D Laser Scanning* dizem respeito à rapidez na aquisição de dados internos e externos das edificações, além de ser apropriado para levantamentos de estruturas complexas e de grandes dimensões. O custo ainda é o fator de desvantagem em relação às outras técnicas.

Como visto, as técnicas de levantamento apresentam vantagens e desvantagens que devem ser ponderadas, com o objetivo de se optar pela técnica que melhor responda às necessidades do projeto. Cabe aos responsáveis pelo trabalho, no entanto, o conhecimento das características de cada técnica, e das possibilidades e circunstâncias que o projeto oferece.

Com esse diagnóstico em mente (circunstâncias do projeto e características das técnicas), é possível a integração de diferentes técnicas, de modo a obter as vantagens oferecidas por cada uma e minimizar as desvantagens. Com essa integração, o levantamento oferece produtos mais adequados às necessidades específicas de cada levantamento, gerando inclusive redução de custos e prazos, em alguns casos.

Figura 4. Resumo da relação entre conhecimento dos responsáveis, técnicas de levantamento e adequabilidade dos produtos finais.

2.2.3 PRINCIPAIS MÉTODOS UTILIZADOS EM ARQUITETURA

A documentação gráfica pode ser elaborada por diversas formas de levantamento do objeto real, e promove uma aproximação com o monumento ou edificação que permite o entendimento das várias fases da vida do objeto, alterações, tecnologias e materiais utilizados, patologias e danos existentes. É instrumento de análise e fornece dados para ponderações e tomadas de decisão de projeto.

Este capítulo se propõe a apresentar as diferentes técnicas, em especial aquelas mais utilizadas para levantamentos métrico-arquitetônicos.

- Medição direta

É a técnica mais antiga e comum de levantamento. É executada com instrumentos simples de medição como trenas, metros, prumos, níveis de mangueiras e de bolha, e caracteriza-se pela economia e simplicidade. No entanto, exige planejamento, pois a medição direta sendo executada diretamente sobre o objeto de estudo, necessita de acessos a todos os pontos que se deseja medir (CORDOBA, 2012).

Trata-se de um método mais lento, já que requer a interpretação de croquis e dos levantamentos in loco, bem como o desenvolvimento dos desenhos técnicos. Caracteriza-se por ser menos precisa que as outras técnicas de levantamento, pois pode haver propagação de erro no levantamento. A dependência de acessos pode ser mais um fato de demora e lentidão na aquisição dos dados.

- Métodos Topográficos

Segundo Álvares (2009, apud CORDOBA 2012), o método topográfico “consiste em um conjunto de técnicas e processos que permitem a medição de ângulos e distâncias com a utilização de instrumentos adequados, dentre eles os teodolitos, os distanciômetros e as estações totais. Ele permite a obtenção de dados e a determinação de coordenadas topográficas de um conjunto de tomadas (pontos) que representem geometricamente o objeto.

É um método bastante utilizado para locação ou posicionamento de edificações no terreno, por isso as medições devem sempre estar baseadas em pontos de referência locados anteriormente.

No entanto, é um método que pode não ser muito preciso, com a propagação de erros para pontos posteriores. Além disso, entre as desvantagens, há a necessidade de campos visuais sem obstruções, o uso e interpretação de croquis (dependendo da interpretação de um humano muitas vezes sobre o desenho de outrem), a morosidade na obtenção dos pontos e fechamento das formas, a não obtenção de dados em tempo real com a necessidade de processamento de dados em campo e a posterior digitalização dos dados.

- Fotogrametria

Segundo Quintero (et al, 2010), a fotogrametria é uma técnica de alta eficiência em gerar representações de superfícies total ou parcialmente planas. A técnica se baseia em produzir imagens fotográficas retificadas e em escala de um dado objeto, como a fachada de uma edificação, por exemplo.

A técnica é bastante utilizada para levantamentos de patrimônio histórico, sendo recomendada pelo Comitê Internacional de Conservação e Restauração de Monumentos e Sítios (ICOMOS /UNESCO) como técnica adequada para obtenção de dados e levantamentos de edificações históricas, podendo ser aplicada em projetos de edificações de variadas dimensões e complexidades. Além do levantamento arquitetônico, é capaz de documentar com precisão o andamento de deformações, lacunas e degradações dos materiais.

- *3D Laser Scanning*

O *3D Laser Scanning* é uma técnica que se mostra eficiente no levantamento de edificações e monumentos por apresentar como principais características a precisão dos dados e a obtenção de um grande número de medidas tridimensionais em um curto espaço de tempo.

Segundo Böhler e Marbs (2002), a técnica do *3D Laser Scanning* pode ser definida como a coleta automática de coordenadas 3D de uma dada região da superfície de um objeto, em um padrão sistemático com uma alta taxa (centenas ou milhares) de pontos por segundo, alcançando os resultados pretendidos (coordenadas tridimensionais) em tempo real.

É uma técnica que atende a diversas situações de levantamento e de objetos de diversos tipos, dimensões e complexidade variados, de esculturas a centros histórico.

Apesar das vantagens, o *3D Laser Scanning* é uma tecnologia de alto custo e que necessita de mão de obra bastante especializada.

A fotogrametria e o *3D Laser Scanning* podem ser utilizados para obtenção de um grande número de medidas, em geral um número muito maior que as medidas tomadas por sistemas de medição direta, com trena, metro e prumo, por exemplo, que é normalmente um sistema mais moroso e menos preciso. Deve-se ter em mente, portanto, que a escolha da tecnologia a ser aplicada deve levar em conta as especificidades de cada projeto e ser adequada a elas.

2.3

O 3D LASER SCANNING

A tecnologia *3D Laser Scanning* para documentação atualmente pode ser empregada de duas formas principais em arquitetura e patrimônio histórico: desenhos técnicos em 2D (bidimensional) e modelos em 3D (tridimensional).

Até recentemente, a única forma de produzir documentação técnica em arquitetura era com a elaboração de desenhos 2D, com plantas, cortes e elevações, e, até hoje, é esse tipo de material que os órgãos de preservação de patrimônio solicitam para aprovações dos projetos, bem como é essa a forma gráfica mais utilizada em canteiros de obras de restauro e intervenção em patrimônio histórico. A tecnologia *3D Laser Scanning* é utilizada para a elaboração desses desenhos de maneira bastante eficaz, oferecendo vantagens quando comparada a outras técnicas de registro em termos de rapidez e precisão no levantamento de obras de grandes dimensões e alta complexidade.

A introdução de tecnologias que possibilitem a geração de produtos 3D dificilmente irá substituir totalmente a necessidade de desenhos técnicos como plantas, cortes e elevações, mas se mostra uma importante ferramenta de registro, sendo possível a coleta com precisão de detalhes e pormenores arquitetônicos de formas complexas, difíceis de serem representados em desenhos 2D.

Além disso, a presença dos meios digitais e da internet nas formas de armazenamento e divulgação fomenta a utilização dessas tecnologias e faz com que o alcance dessas informações chegue a cada vez mais pessoas, inclusive pessoas leigas em leitura de desenhos técnicos. Assim, os conjuntos de dados 3D são apresentados de uma forma aceitável e visualizável, seja por uma plataforma da internet ou por arquivos em um computador local.

Conforme visto em capítulos anteriores, a divulgação e o acesso às informações sobre determinado bem é uma das políticas de preservação que visa a salvaguarda da obra. Desse ponto de vista, é uma vantagem significativa a ampliação do público atingido pelos levantamentos. Os modelos 3D são, portanto, uma forma didática de comunicação da fisicalidade da obra, oferecendo uma fácil compreensão dos espaços, da relação entre eles e de seus estados de conservação.

Além de sua função enquanto registro e documentação, os modelos 3D ainda são instrumento de estudo volumétrico em patrimônio histórico. Seja o estudo da recomposição de um detalhe arquitetônico, seja a inserção de um novo elemento construtivo junto às estruturas pré-existentes, as possibilidades de estudo e de verificação da viabilidade das propostas em modelo são um ganho para o processo projetual. Assim, sendo verificadas diversas soluções na fase de projeto, e não durante as obras, é mais provável que a solução mais acertada e coerente com a proposta tenha sido a escolhida.

Existem formas de gerar um modelo 3D a partir de desenhos 2D, seja no próprio *software* de desenho (Autocad, Autodesk, em geral) ou em *softwares* especializados em modelagem (3D Studio Max, SketchUp, Rhinoceros, etc) com a importação dos desenhos 2D e posterior modelagem. Em se tratando de patrimônio histórico e sendo o rigor do registro de sua condição atual o objetivo primeiro dos levantamentos, entende-se que a técnica de escaneamento a *laser* das formas e da sua transposição para a nuvem de pontos seja a escolha mais apropriada para registro de estruturas existentes. Sua maior vantagem é a capacidade de gravar grandes conjuntos de dados 3D que podem ser usados "como são" na documentação do patrimônio cultural.

Entende-se, porém, que apesar do produto primário do escaneamento a *laser* – a nuvem de pontos – ter um valor de registro por si só (já que é o registro de como é aquela estrutura, em sua forma mais primitiva de dados), para fins práticos, com vistas à documentação ou a utilização em projetos e obras de intervenção em patrimônio, faz-se necessário o processamento dessa nuvem de pontos de forma a obter um produto final (desenhos 2D e modelos 3D) acessível aos usuários e manipulável em *softwares* de desenho e modelagem.

Assim, os principais conceitos, as aplicações, a aquisição de dados, a forma como os produtos serão gerados, bem como os processos de trabalho serão apresentados a seguir. O objetivo desse capítulo é identificar e descrever os processos de utilização dessa tecnologia, de forma aplicável à preservação do patrimônio cultural, desde a aquisição de dados 3D até a elaboração de desenhos 2D e do modelo 3D.

2.3.1 CONCEITOS, CARACTERÍSTICAS E APLICAÇÕES

O que é o *3D Laser Scanning* ?

É uma tecnologia que permite a obtenção de nuvens de pontos a partir da varredura da superfície de objetos por feixes de raios *laser*. O princípio de funcionamento é simples: O equipamento emite um raio *laser* em direção a uma superfície, que o reflete em direção a um receptor no equipamento. Esse processo coleta dados da geometria e, em alguns casos, de outras características dos objetos, como cor ou estruturas internas, por exemplo.

A luz *laser*

“O *laser* pode ser considerado como um emissor de um estreito feixe de luz monocromática e coerente, gerado por partículas que emitem radiação eletromagnética na região do ultravioleta ao infravermelho “ (HECHT, 1999 apud Groetelaars ,2015).

A energia eletromagnética é amplamente utilizada no cotidiano das pessoas e é mais familiar do que muitas imaginam. Aparelhos de micro-ondas, telefones celulares, aparelhos de rádio e televisão utilizam energia eletromagnética. A energia eletromagnética viaja em ondas e abrange um amplo espectro, desde ondas de rádio muito longas até raios gama muito curtos. O olho humano pode detectar apenas uma pequena porção desse espectro. Um rádio detecta uma porção diferente do espectro e uma máquina de raios X usa outra porção.

Os instrumentos científicos de agências espaciais utilizam toda a gama do espectro eletromagnético para estudar a Terra, o sistema solar e o universo³⁶. Dessa forma, a razão pela qual é possível ver os objetos é porque eles emitem, refletem ou transmitem uma parte visível do espectro a que se atribui o nome de luz: a parte visível do espectro eletromagnético é a gama de cores do arco íris, com cada uma das cores correspondendo a um diferente comprimento de onda.

³⁶ National Aeronautics and Space Administration, Science Mission Directorate. (2010). Introduction to the Electromagnetic Spectrum. Disponível em: NASA Science website http://science.nasa.gov/ems/01_intro. Acesso em 11/06/2018.

Figura 5. O espectro eletromagnético.

Fonte: National Aeronautics and Space Administration, Science Mission Directorate. (2010). Introduction to the Electromagnetic Spectrum. Disponível em: NASA Science website http://science.nasa.gov/ems/01_intro.

A energia eletromagnética se propaga por ondas eletromagnéticas³⁷ que são caracterizadas por:

- Comprimento de onda (λ): As ondas eletromagnéticas têm cristas e vales semelhantes às das ondas do oceano. O comprimento de onda corresponde à distância entre dois pontos equivalentes, pertencentes a dois pulsos consecutivos, ou à distância entre os pontos da crista.
- Amplitude (A): é a altura da crista.
- Frequência (f): taxa de repetição de uma determinada vibração. A frequência de uma onda é a frequência de vibração da fonte que a produziu e é inversamente proporcional ao comprimento de onda.

Uma onda eletromagnética também pode ser descrita em termos de sua energia em unidades de medida chamadas elétron-volts (eV). Um elétron-volt é a quantidade de energia cinética necessária para mover um elétron através do potencial de um volt. Movendo-se ao longo do espectro de comprimentos de onda longos a curtos, a energia aumenta à medida que o comprimento de onda encurta.

³⁷ As ondas são classificadas em ondas mecânicas (ex.: o som) e ondas eletromagnéticas (Ex.: a luz, o calor).

Figura 6. Frequência, comprimento de onda e energia.

Adaptado de National Aeronautics and Space Administration, Science Mission Directorate. (2010). Introduction to the Electromagnetic Spectrum. Disponível em: NASA Science website http://science.nasa.gov/ems/01_intro.

A luz *laser* tem propriedades específicas que a diferenciam de outras luzes, emitidas por outras fontes que não equipamentos de laser. Segundo Genechten e colaboradores (2008), o *laser* apresenta diversas características como a monocromaticidade³⁸, alta intensidade, propagação em direções bem definidas. A característica mais importante da luz *laser* é a sua coerência temporal e espacial: Todos os raios de luz possuem o mesmo comprimento de onda e estão todos em fase (alinhados). Além disso, a propagação do raio laser, isto é, as ondas de luz, viaja com uma finita e constante velocidade em um determinado meio. A energia emitida não se dissipa à medida em que os raios se propagam, o raio se mantém focado, mesmo em longas distâncias. Por essas propriedades, a luz *laser* é altamente aplicável à medição de objetos.

³⁸ A luz *laser* é monocromática por apresentar um único comprimento de onda.

Os tipos mais comuns de equipamentos são os lasers que utilizam os comprimentos de onda do visível e do infravermelho, destacados em vermelho na Figura 5.

Os lasers são usados em uma ampla variedade de aplicações, em diferentes áreas: científica, militar, médica, construção e comercial. Tendo uma grande variedade de aplicações, a luz *laser* deve ser manuseada com extrema cautela e, para tanto, a compreensão dos tipos de *laser* se torna necessária.

Todos os lasers e dispositivos que usam lasers são rotulados com uma classificação, a depender do comprimento de onda e potência de energia que o equipamento produz, de forma que os usuários possam determinar o risco potencial do uso. Segundo a publicação da Comissão Europeia, no âmbito da Leonardo da Vinci Agency para Educação e Cultura, “*Theory and practice on terrestrial Laser Scanning – training material based on practical applications*”, o padrão europeu³⁹ fornece informações sobre classes e precauções de laser. Ele descreve sete classes de lasers:

- “Os lasers de Classe 1 são seguros em condições razoavelmente previsíveis de operação, incluindo o uso de instrumentos ópticos para visualização intra-feixe.
- Os lasers Classe 1M são seguros em condições razoavelmente previsíveis de operação, mas podem ser perigosos se forem empregadas ópticas dentro do feixe.
- Os lasers de classe 2 normalmente evocam um reflexo de piscada que protege o olho; espera-se que esta reação forneça proteção adequada sob condições razoavelmente previsíveis, incluindo o uso de instrumentos ópticos para visualização intra-feixe.
- Os lasers de classe 2M normalmente evocam um reflexo de piscamento que protege o olho; espera-se que essa reação forneça proteção adequada sob condições razoavelmente previsíveis. No entanto, a visualização da saída pode ser mais perigosa se o usuário empregar óptica dentro do feixe.
- Os lasers da classe 3R são potencialmente perigosos quando a visualização direta no feixe está envolvida, embora o risco seja menor do que para os lasers da Classe 3B.
- Os lasers da classe 3B são normalmente perigosos quando ocorre a exposição direta ao feixe. A visualização de reflexos difusos é

³⁹ O padrão europeu está descrito no documento: International Electrotechnical Commission (IEC). *Safety of laser products – Part 1: Equipment - classification, requirements and users guide*. Edition 1.2. International Standard, IEC 60825-1. 2001.

normalmente segura. Esta classe de *laser* geralmente não é adequada para aplicações de levantamentos.

- Os Lasers de classe 4 causarão danos nos olhos ou na pele se forem vistos diretamente. Lasers desta classe também são capazes de produzir reflexos perigosos. Esta classe de *laser* não é adequada para levantamentos.

Usuários de sistemas de escaneamento a *laser* devem estar sempre atentos à classe de seu instrumento. Em particular, o usuário deve garantir que o sistema de classificação correto está sendo usado. Precauções e procedimentos específicos são descritos no documento publicado pelo IEC (*International Electrotechnical Commission*) para Classe 1M, Classe 2M e produtos *laser* da Classe 3R usados em levantamentos. Essas precauções, com relevância para a digitalização a *laser* são:

- Somente pessoas qualificadas e treinadas devem ser designadas para instalar, ajustar e operar o equipamento.
- As áreas onde esses lasers são usados devem ser postadas com um sinal de aviso de *laser* apropriado.
- Devem ser tomadas precauções para garantir que as pessoas não olhem para o feixe visualização intra-feixe pode ser perigosa). Visualização direta do feixe através de óptico instrumentos (teodolitos, etc.) também podem ser perigosos.
- Devem ser tomadas precauções para garantir que o feixe de *laser* não seja direcionado superfícies espelhadas (especulares).
- Quando não estiver em uso, o *laser* deve ser armazenado em um local onde pessoas não autorizadas não pode obter acesso.
- Em ambientes potencialmente explosivos (por exemplo, usinas petroquímicas, mineração), devem ser utilizados equipamentos *laser* “à prova de explosão”. Propriedades importantes de equipamentos à prova de explosão são: a potência de pico do *laser* deve ser limitada, não deve gerar de centelha ou resíduos e a temperatura máxima do equipamento deve ser limitada.” (GENECHTEN, 2008, p. 16, tradução nossa)

A luz *laser* como forma de medição

A luz é o princípio de funcionamento de diversas técnicas de medição, que são categorizadas em técnicas ativas e técnicas passivas, conforme já observado nos capítulos anteriores. Técnicas que utilizam equipamentos que emitem algum tipo de

radiação (luz, ultrassom, raio-x) são consideradas técnicas ativas, e o *3D Laser Scanning* está classificado neste grupo.

O princípio de funcionamento dos equipamentos de medição a *laser* é a emissão de um raio *laser* que, refletido pelo objeto a ser medido, é recebido por um sensor, possibilitando a medição da distância. O processo se repete até a completa varredura da superfície, de forma rápida e precisa, com a coleta de centenas de milhares de pontos por segundo, que variam de acordo com a capacidade do equipamento e da densidade da nuvem de pontos desejada.

As principais características da técnica são:

- Captura de grande quantidade de dados em um curto espaço de tempo.
- Pode ser aplicado para objetos de diversos tipos, dimensões (desde pequenos objetos a centros urbanos), complexidades.
- Não é necessária a iluminação do ambiente, já que o equipamento gera sua própria radiação.
- Os dados podem ser influenciados por condições como: material, refletividade, cor e textura do objeto.
- É capaz de coletar dados de superfícies homogêneas, como paredes brancas, por exemplo (condição que dificulta a coleta de dados em técnicas baseadas em imagens)
- Alta precisão, podendo chegar ao submilímetro.
- O produto básico fruto da captura de dados é a nuvem de pontos.
- Cada um dos pontos que constitui a "nuvem de pontos" é representado por suas coordenadas cartesianas (x, y, z) e um ou mais atributos associados ao mesmo (refletância, temperatura, etc, mostrados em falsa cor).

As aplicações do *3D Laser Scanning* em arquitetura e patrimônio cultural são variadas e atendem a diversas áreas:

Medições e levantamentos arquitetônicos.

Visualização tridimensional.

Modelos renderizados.

Animação.

Modelos geométricos básicos trabalhados em CAD e em ferramentas BIM.

Base para geração de desenhos 2D.

A nuvem de pontos (raw data) é a base para os produtos finais do levantamento

De acordo com Groetelaars (GROETELAARS, 2015, p. 106), há três classificações para o *3D Laser Scanning*, a depender da tecnologia utilizada, do alcance e do posicionamento do equipamento.

Tratando-se de tecnologia, existem três formas de medição:

- Triangulação
- Tempo de voo (Time-of-flight ou LIDAR)
- Diferença de fase (Phase Shift)

Figura 7. Métodos de medição que utilizam luz.

Em relação ao alcance, os equipamentos *laser scanner* podem ser classificados em:

- Muito longo (Ultra long range) – acima de 3500m
- Longo (Very long range) – até 3500m
- Médio – até 500m
- Curto – até 120m
- Muito curto – até 25m

Finalmente, em relação ao posicionamento do equipamento (e equipamentos associados), classificam-se em:

- *Laser Scanning* Terrestre (*Terrestrial Laser Scanning* - TLS): quando o equipamento é posicionado sobre ou próximo à superfície terrestre. Pode ser estático, sobre um tripé, ou dinâmico, sobre uma plataforma móvel, para levantamentos internos ou externos.

- *Laser Scanning* Aerotransportado (*Aerial Laser Scanning* - ALS): quando o equipamento é posicionado em uma aeronave.

Equipamentos aplicados para levantamento

• LIDAR ou Tempo de voo: Conforme já mencionado, as ondas de luz viajam com uma velocidade finita e constante em um determinado meio. Por essa razão, é possível obter a distância entre o equipamento e um ponto específico no objeto. A medição da distância até o objeto ocorre pelo tempo decorrido entre a emissão e o retorno do pulso *laser* ao equipamento, depois de atingir a superfície do objeto. Eles digitalizam todo o seu campo de visão, um ponto de cada vez, alterando a direção do telêmetro⁴⁰. Utilizando os valores conhecidos da velocidade da luz e o índice de refração do meio em que o *laser* atravessa, é possível calcular a distância entre o instrumento e o ponto no objeto, utilizando a seguinte fórmula:

$$D = \frac{c \cdot t}{2}$$

Sendo: c = a velocidade da luz no ar ; t = tempo decorrido entre a emissão e o retorno do pulso laser

Figura 8.Princípio funcionamento do *laser scanner* por tempo de voo.

Fonte: Adaptado de Genechten e colaboradores, 2008.

De acordo com Genechten e colaboradores (GENECHTEN, 2008, p. 22), o valor atual da velocidade da luz no vácuo é exatamente $c = 299.792.458$ m/s. Um fator de

⁴⁰ O telêmetro é a unidade de medição do *scanner*. Existem telêmetros desassociados dos *scanners*, apropriados para a medição de longas distâncias, e utilizados em fotografias, caça, esportes como golfe, etc. Em inglês: rangefinder.

correção igual ao índice de refração (dependendo da densidade do ar) deve ser aplicado a c , já que as ondas de luz viajam no ar. Assim sendo, pode-se calcular que a luz leva 3,33 nanossegundos para viajar 1 metro. Portanto, para atingir uma precisão de ponto de 1 mm, o *scanner* deve ser capaz de medir um atraso de tempo de cerca de 3,33 picossegundos.

Os *scanners* de tempo de voo pulsados não usam feixes de *laser* contínuos, mas fazem uso de pulsos de laser, sendo basicamente três fatores que determinam a precisão do sistema: (1) a exata mesma posição de emissão e recepção do pulso para medir o intervalo de tempo, que pode ser influenciada por ruídos, instabilidade do tempo, intensidade do sinal, etc; (2) A precisão com que atrasos de tempo fixos no sistema são conhecidos e; (3) A precisão do sistema de medição do intervalo de tempo em si.

“A vantagem de usar pulsos para alcance de *laser* é a alta concentração de potência de *laser* transmitida. Este poder torna possível alcançar o SNR necessário (relação sinal-ruído) necessário para medições de alta precisão em longas distâncias (até várias centenas de metros). A desvantagem é o problema de detectar o tempo exato de chegada do pulso de *laser* de retroespalhamento⁴¹, devido à natureza variável do limiar ótico e à atenuação atmosférica.” (GENEHTEN, 2008, p. 24, tradução nossa)

São os mais versáteis, pois têm um alcance entre 0,4 a 5800m, podem ser usados em levantamentos de edificações ou de cidades, seja por plataformas terrestres (fixas ou móveis) ou aerotransportadas.

⁴¹ Retroespalhamento: Da física: Espalhamento de uma partícula em que o ângulo entre sua direção final e inicial é maior que 90 graus; retrodifusão, retrodispersão. Fonte: Dicionário Michaelis da Língua Portuguesa. Disponível em: <http://michaelis.uol.com.br/busca?r=0&f=0&t=0&palavra=retroe>. Acesso em: junho/2018.

Figura 9. *Laser scanners* tipo LIDAR - tempo de voo: Riegl VZ-2000i, Optech Polaris, Leica P50, Trimble TX8. Fontes:

<http://www.riegl.com/nc/products/terrestrial-scanning/>;

<https://leica-geosystems.com/products/laser-scanners/scanners/>;

<http://www.teledyneoptech.com/index.php/product/polaris/>;

<https://geospatial.trimble.com/products-and-solutions/tx8#product-support>;

Em 2017 foi lançado no mercado o *laser scanner* BLK360, da *Leica Geosystems Inc.*, que se destaca pela portabilidade do equipamento e pelos novos recursos digitais, que prometem facilitar todas as fases do levantamento por varredura a laser. Ele apresenta pequenas dimensões, podendo ser levado em uma bolsa de mão comum e ser transportado para praticamente qualquer lugar. Pesa apenas 1 kg e pode operar em qualquer superfície plana ou montado em um tripé. Funciona com uma bateria recarregável de Li-Ion e em cerca de três minutos pode capturar 360 graus de dados, incluindo varredura a laser, imagens em cores e imagens térmicas de infravermelho. A faixa de alcance do equipamento é de 60 metros, sendo adequado para projetos de pequeno a médio porte.

Figura 10. *Laser scanner* BLK360, da Leica Geosystems.

Fonte: <https://lasers.leica-geosystems.com/global/blk360-story>

Geralmente, os *laser scanners* seguem os mesmos princípios operacionais, que podem ser exemplificados pela imagem abaixo: A coleta dos dados na vertical (1 – feixe de luz laser) é realizada por uma unidade de deflexão [espelho poligonal, superfície refletora ou um fiber switch] (2). Para altas taxas de escaneamento e / ou um ângulo de escaneamento vertical de até 100 °, a unidade de deflexão gira continuamente em uma velocidade ajustável. A varredura horizontal de 360 ° é realizada girando a cabeça óptica completa (3).

Os dados coletados são armazenados localmente ou em um dispositivo de armazenamento USB (8) conectado ao instrumento ou transmitido para um laptop (10) via Interface Ethernet TCP / IP (6). A câmera (9) é controlada pelo instrumento e os dados da imagem são armazenados ou transmitidos juntamente com os dados digitalizados.

O instrumento é configurado e operado via display e teclado (4), ou via wireless LAN (7) com um dispositivo móvel (11) (por exemplo, um telefone celular ou media player com LAN sem fio) ou um laptop (10). O laptop também pode ser conectado através da interface TCP / IP (5) na parte fixa do dispositivo. É necessário que o laptop tenha um *software* (12) próprio para manipulação e visualização dos dados coletados.

Figura 11 Princípios gerais de operação do equipamento.

Fonte: <http://www.riegl.com/nc/products/terrestrial-scanning/>

- Diferença de fase: A medição da distância até o objeto ocorre pela comparação das fases dos sinais emitidos e recebidos. O princípio se baseia na modulação da potência do feixe de laser: A luz emitida (incoerente) é modulada em amplitude e disparada em uma superfície. A reflexão dispersa é coletada e um circuito mede a diferença de fase entre as formas de onda enviadas e recebidas, portanto, um atraso de tempo. O cálculo tem como variáveis a distância, a diferença do comprimento de onda (fase), o comprimento de onda modulada e o número inteiro de ciclos da onda.

Os fatores que influenciam a precisão dos *laser scanners* por diferença de fase são: (1) a frequência do sinal ou da modulação; (2) a precisão do ciclo de medição de fase, que pode ser influenciada por ruídos, instabilidade do tempo, intensidade do sinal, etc; (3) Estabilidade do oscilador de modulação; (4) Turbulência no ar através da qual

a medição é feita; (5) Variações no índice de refração do ar (GENECHTEN, 2008, p. 25).

Figura 12. Princípio da medição por diferença de fase.

Adaptado de Genechten e colaboradores, 2008.

Figura 13 Laser scanners por diferença de fase: Faro Focus 350, Leica HDS7000, Z+F Imager 5010.

Fontes:

<https://www.faro.com/pt-br/produtos/construction-bim-cim/faro-focus/>;

https://hds.leica-geosystems.com/downloads123/hds/hds/HDS7000/brochures-datasheet/HDS7000_DAT_en.pdf;

https://www.zf-laser.com/Z-F-IMAGER-R-5010.3d_laserscanner0.0.html?&L=1.

Segundo Gonçalves (2007, apud GROETELAARS, 2015, p.112), os equipamentos que operam por tempo de voo e diferença de fase possuem codificadores (*encoders*) que registram os ângulos de varredura do *laser* e, com as medidas das distâncias, determinam as coordenadas esféricas de cada ponto levantado em relação ao referencial do *laser*. Essas coordenadas esféricas (ρ , α , θ) são convertidas para

coordenadas cartesianas (x , y , z) em cada ponto da nuvem de pontos, resultado da coleta daquela varredura. A nuvem de pontos é visualizada em tempo real, conforme o escaneamento ocorre.

- **Triangulação:** Baseia-se no princípio matemático da triangulação, onde um feixe de *laser* é emitido, reflete no objeto e é captado por um sensor da câmera, formando um triângulo. Conhecendo-se a distância entre a unidade emissora do *laser* e o sensor receptor da câmera, bem como os ângulos formados entre eles e os feixes emitidos e refletidos de *laser*, é possível calcular a distância entre o equipamento e o ponto medido.

Esses *scanners* são usados no levantamento de pequenos ou grandes objetos afastados do equipamento em distâncias geralmente inferiores a 1 m, e em alta precisão, chegando até 1,9 micrometro⁴² (μm).

Figura 14. Princípio da triangulação no equipamento *laser scanner*. Fonte: Nikon Metrology.

⁴² Micrômetro: Unidade de medida de comprimento, equivalente à milionésima parte do metro; Unidade de comprimento do Sistema Internacional de Unidades (SI) de símbolo μm , definido como 1 milionésimo de metro (1×10^{-6} m) e equivalente à milésima parte do milímetro. Disponível em: <http://michaelis.uol.com.br/moderno-portugues/busca/portugues-brasileiro/Micrometro/>. Acesso em junho/2018.

Figura 15. Princípio da medição por triangulação.

Adaptado de Genechten e colaboradores, 2008.

A Figura 15 ilustra a relação entre os ângulos e distâncias: sabe-se que a distância D entre a lente da câmera e o emissor do *laser* é conhecida, bem como o ângulo α . O ângulo β pode ser conhecido pelo campo de visão da câmera. Com a distância D e os ângulos α e β conhecidos, é possível determinar a distância do ponto entre o objeto e o equipamento.

Figura 16. Exemplo de *scanner* por triangulação.

Distância entre o objeto e o *scanner* e alcance de profundidade do sistema.

Fonte : Nikon Metrology.

Os equipamentos de triangulação podem utilizar três formas de projeção de *laser* para realizar a varredura da superfície: ponto, linha ou padrão, o que significa que o ângulo de emissão do *laser* também se modifica conforme a varredura ocorre. A

maioria dos *scanners* utiliza a projeção em linha, ainda que o mais preciso seja baseado na projeção em padrão (GENEHTEN, 2008, p. 20).

Os *scanners* por triangulação podem ser classificados em:

- *Scanners* para máquinas de medição de coordenadas - CMM (ou *Coordinate Measuring Machine*): são dispositivos de medição de objetos que são compostos por uma plataforma, uma “ponte” e a unidade medidora (*scanner*). O objeto a ser medido é colocado embaixo da “ponte”, que desloca o *scanner* sobre o objeto nas coordenadas x, y e z. A posição do *scanner* pode ser controlada manualmente por um operador ou pode ser controlada por computador. Os dispositivos podem apresentar diversas dimensões, desde pequenas plataformas, até sistemas em pórticos para medição de grandes objetos.

Figura 17. Exemplos de plataformas CMM tipo ponte e tipo pórtico.

Fonte: Nikon Metrology (fichas de especificações)

- *Scanners* para braços articulados de medição de coordenadas – CMA (ou *Manual Coordinate measuring Arm*): são dispositivos de medição que são compostos por um braço articulado com um *scanner* que se move ao redor do objeto para realizar a medição. Barber, Mills e Andrews (2011) utilizam o nome *Mechanical Arm* para esse tipo de dispositivo.

Figura 18. Exemplos de braços articulados. Fonte: Nikon Metrology. Faro Factory Metrology.

- *Scanners* para plataformas giratória: dispositivo de medição que consiste em uma plataforma giratória (*rotation stage*), onde o *scanner* permanece estático e o objeto se movimenta com a base giratória (BARBER, MILLS e ANDREWS, 2011).

Figura 19 Exemplos de *scanners* com plataforma giratória. Fonte: Laser Design Inc.

- Sistema baseado em prismas e espelhos mecanizados: o *scanner* é posicionado em um tripé, de forma que todo o sistema se movimenta em torno do objeto. São realizadas várias tomadas, em intervalos de até 2m para coletar os dados de medição. É o mais portátil e fácil de ser transportado e, portanto, o ideal entre os *scanners* que operam por triangulação para levantamento de detalhes arquitetônicos (BARBER, MILLS e ANDREWS, 2011).

No caso dos *scanners* que operam por triangulação, Os fatores que influenciam sua precisão são: (1) A distância entre o objeto medido e o *scanner*, pois quanto menor a distância entre o objeto e o equipamento, menor a precisão, pois aumentam os efeitos

de sombra); (2) A distância D, pois quanto maior D, maiores são os efeitos de sombra; (3) A distância focal da lente, já que seu aumento reduz o campo de visão; e (4) a quantidade de pixels da câmera, já que quanto maior o seu número, menor a imprecisão da câmera.

	Princípio de Medição	Alcance	Classe	Campo de visão	Câmera integrada	Taxa de aquisição de dados (pts/seg)	Precisão
Nikon L100	triangulação	165mm	2	100x60mm aprox.	não	200.000	6,5µm
Nikon LC150x	triangulação	75mm	2	18x15mm	não	70.000	1,9µm
Nikon XC65Dx-Is	triangulação	140mm	2	65x65mm (3x)	não	3x25.000	15µm
Z+F Imager 5010C	Diferença de fase	187,3m	1	320°x360°	sim	1.016.000	0,5-5mm
Faro Focus S 70	Diferença de fase	70m	1	-	sim	488.00	3mm
Leica HDS 6000	Diferença de fase	79m	3R	310°x360°	não	500.000	6-10mm
Leica RTC360	Tempo de voo	130m	1	300°x360°	sim	2.000.000	6-10mm
Leica Scanstation P40	Tempo de voo	270m	1	290°x360°	sim	1.000.000	1,2-6mm
Leica Scanstation P30	Tempo de voo	120m	1	290°x360°	sim	1.000.000	1,2-6mm
Leica Scanstation P16	Tempo de voo	80m	1	290°x360°	sim	1.000.000	1,2-5mm
Leica Scanstation P50	Tempo de voo	>1km	1	290°x360°	sim	1.000.000	1,2-3mm
Optech Polaris HD	Tempo de voo	250m	1	120°x360°	sim	-	5mm
Optech Polaris LR	Tempo de voo	2000m	1	120°x360°	sim	-	5mm
Optech ILRIS-LR	Tempo de voo	3000m	3	40°x40°	sim	-	4-7mm (100m)
Riegl VZ-6000	Tempo de voo	5800	3B	60°x360°	não	222.000	15mm
Riegl VZ-2000i	Tempo de voo	2500m	1	100°x360°	não	500.000	3-5mm
Trimble TX8	Tempo de voo	120m	1	317°x360°	sim	1.000.000	1-2mm
Trimble TX6	Tempo de voo	80m	1	317°x360°	sim	500.000	2mm

Quadro 5. Comparação entre equipamentos que operam por triangulação, diferença de fase e tempo de voo. Fonte: elaboração da autora com base nas fichas de especificações fornecidas pelos fabricantes.

Conforme observado no Quadro 5, as principais características que diferem os equipamentos *laser scanners* estão relacionadas com o modo de operação, a precisão, o alcance e a taxa de aquisição de dados. Essas características influenciam diretamente as formas de aplicação dos *scanners* e a adequabilidade de cada equipamento a determinadas funções.

Vale ressaltar que existem determinados fatores que alteram a precisão dos equipamentos e podem gerar erros na nuvem de pontos final. Genechten e colaboradores (2008, p. 28) classificaram essas fontes de erros em quatro grupos: Instrumentais, inerentes ao objeto, meio ambiente e erros metodológicos.

Os erros instrumentais são relacionados a questões: (1) de propagação do feixe laser, como uma divergência no percurso viajado pela luz, e podem impactar fortemente no resultado final da nuvem de pontos; (2) de arestas que se confundem quando da incidência do feixe laser, ou seja, quando um raio incide sobre a aresta do objeto e se divide em dois, com uma parte sendo refletida por uma das faces que compõem a aresta e a outra parte continua o percurso até incidir sobre outra superfície. Essa questão traz dúvida para o dado e uma média entre as duas incidências é feita, gerando um erro na nuvem de pontos; (3) de incerteza do alcance do feixe laser, sendo que esse fator varia de acordo com o sistema de operação do equipamento (tempo de voo, diferença de fase ou triangulação) e da distância do objeto em relação ao *scanner*; (4) de incerteza angular, quando há imprecisão no ângulo de rotação do prisma ou espelho giratório que direciona o feixe de *laser* para uma direção; e (5) de erros nos eixos do equipamento, isto é, quando há erros na calibração dos eixos vertical, horizontal e de colimação⁴³ do *laser scanner*.

Os erros inerentes ao objeto estão diretamente relacionados às características óticas das superfícies dos materiais que compõem o objeto, isto é, a reflexão da superfície do objeto e o ângulo de incidência do raio *laser* na superfície, além do coeficiente de absorção do raio, que é parcialmente absorvido quando viaja pelo ar. Dessa forma, superfícies escuras ou pretas absorvem uma parte considerável do raio e refletem menos que uma superfície clara, retornando um sinal fraco e menos confiável para o equipamento. Um bom exemplo de como as características da superfície do objeto geram erros na nuvem é quando há superfícies muito reflexivas, como espelhos

⁴³ Colimação vem do ato, processo ou efeito de colimar: Tornar paralelos entre si ou a determinada linha ou direção (raios de luz, por exemplo). Disponível em <http://michaelis.uol.com.br/busca?r=0&f=0&t=0&palavra=colimar>. Acesso em junho/2018.

ou metais polidos. Nesses casos a luz *laser* é defletida para outro ponto do objeto ou do ambiente, direcionado pela superfície espelhada. Quando esse raio retorna ao equipamento, ele não traz dados do objeto, mas de outro ponto, o que gera um erro na nuvem.

Os fatores que causam erros nos dados, que são relacionados ao meio ambiente, provêm principalmente das variações atmosféricas e são classificados em: (1) temperatura, seja temperaturas de áreas externas, com medições são realizadas ao ar livre, sob o sol, quando a radiação externa ao equipamento pode gerar expansão ou retração de componentes do *scanner*, ou temperaturas da própria superfície, que em altas temperaturas alteram a relação sinal-ruído (em inglês “*Signal-to-Noise*” *ratio*) e, conseqüentemente, a precisão das medições; (2) pressão e umidade, que influenciam o índice de refração e alteram o comprimento de onda da energia eletromagnética, ou seja, a velocidade da luz *laser* é fortemente dependente da densidade do ar. Os equipamentos *laser scanners* têm um sistema de correção dessa refração desajustada, estabelecendo um parâmetro de refração; (3) radiação de fontes externas, isto é, a precisão da medição da faixa de frequência pode ser influenciada pela radiação externa, como radiação proveniente de uma fonte de forte iluminação. Há filtros especiais de interferência óptica podem ser aplicados na unidade receptora, permitindo que somente as frequências corretas cheguem ao receptor; (4) distorções causadas por movimento do equipamento (ou do objeto medido), ou seja, ainda que a varredura seja um processo veloz, durante o período de varredura o *scanner* está sujeito a vibrações no ambiente, causando deslocamentos que geram erros na nuvem.

Finalmente, os erros metodológicos são aqueles gerados pelos indivíduos que estão operando o *scanner* ou trabalhando nas fases de pré-processamento ou processamento das nuvens. São os erros gerados pelos humanos. Podem ser erros gerados pela escolha equivocada do equipamento (equipamento não adequado pelo alcance ou pela precisão, por exemplo), pela escolha da densidade errada no momento da varredura, etc. Erros dessa natureza geram sub ou sobreamostragem (*oversampling*) na nuvem, comprometendo a qualidade dos dados ou gerando dificuldades nos processos de registro, com ruídos extras.

2.3.2 O LEVANTAMENTO COM 3D LASER SCANNING

Etapas e procedimentos

O processo de documentação com a utilização do *3D Laser Scanning* tem um formato que se inicia no planejamento e se encerra no controle de qualidade e a exportação dos produtos. Com algumas poucas variações, diversos autores⁴⁴ apresentam um típico fluxo de trabalho para a elaboração de produtos de levantamento arquitetônico, que se diferenciam em sua maioria na nomenclatura ou no agrupamento das fases de processamento e pré-processamento, mas a sequência das etapas é a mesma.

1.Planejamento	Definição do escopo e objetivos
	Localização das estações e alvos
	Definição do nível de precisão e alcance
	Forma de armazenamento e distribuição dos dados
	Escolha dos equipamentos
2.Trabalho de campo	Croquis/Medições diretas/Aproximação com o objeto
	Aquisição de dados
	Levantamento dos pontos de controle
3.Pré-processamento	Redução de ruídos
	Registro das nuvens
	Otimização das nuvens
4.Processamento	Segmentação
	Desenhos 2D
	Modelos 3D
5.Controle de Qualidade e exportação de produtos	Verificação da precisão
	Exportação de produtos
	Forma de armazenamento e distribuição dos dados

Quadro 6. Etapas gerais do processo de documentação arquitetônica com uso da técnica *3D Laser Scanning*.

⁴⁴ BARBER, MILLS e ANDREWS, 2011; DUTESCU, 2006; GROETELAARS, 2015; GENECHTEN, 2008; TOSCANO, 2017.

2.3.2.1 Planejamento

É a fase que se destina a planejar todos os procedimentos de campo, antevendo problemas e encontrando possíveis soluções. A fase de planejamento, assim como todo o processo de levantamento, dependerá do objeto a ser documentado e de suas especificidades, porém é possível traçar análises mínimas, sendo necessária a compreensão e a definição ao menos de:

- A finalidade do levantamento e seus objetivos.

O entendimento das necessidades do projeto é condição primária para determinação da finalidade do levantamento, bem como para a definição dos produtos finais da documentação. Conforme já abordado na seção 2.2, sobre os critérios de escolha da(s) técnica(s) de levantamento, a compreensão do que é o projeto (se se trata de um projeto de restauro, um inventário, ou mesmo um levantamento inicial da obra, etc) é o que guiará os próximos passos do processo de documentação. Essa fase de compreensão das necessidades é comum ao planejamento de todas as técnicas de levantamento: não é possível realizar um levantamento, seja por meio de qualquer técnica, sem que exista clareza dos objetivos e necessidades do mesmo.

Dessa forma, Genechten e colaboradores (2008, p. 37) colocam três perguntas iniciais que devem ser respondidas: (1) Por que o cliente quer esse levantamento e o que ele pretende fazer com os produtos da documentação? (2) Qual técnica e quais equipamentos atendem às necessidades e condições do projeto? (3) Quais são os produtos necessários? Vale destacar que a última pergunta impacta diretamente em decisões de cunho operacional, definidas na fase de planejamento, como o nível de detalhe pretendido, a densidade da varredura e da consequente nuvem de pontos.

- O objeto de levantamento e a área em que está inserido

Deve-se obter o máximo de informações possível sobre a obra a ser registrada, de forma que o próprio objeto de estudo forneça dados para essa fase de análise inicial de planejamento, isto é, analisando o objeto e seu entorno, é possível compreender questões sobre sua complexidade e o tempo necessários para uma determinada tarefa, oferecendo subsídios para o planejamento das ações e dos prazos para tanto.

Para essa fase, notas de campo, croquis e desenhos, levantamentos da obra já realizados, relatórios, mapas, fotografias, imagens de satélite, fotos aéreas e até

recursos de visualização das cidades pela internet, como o *Google Street View*⁴⁵, podem ajudar a determinar possíveis limitações para a fase de aquisição de dados.

Com essas questões definidas, é possível:

- Determinar a melhor localização das estações.

Para além da análise do objeto em si, a análise de seu entorno se faz imprescindível para a definição da localização das estações de escaneamento. A área da implantação do edifício pode oferecer limitações, inclusive inviabilizando o levantamento pela técnica *3D Laser Scanning*, a área pode possuir obstruções como árvores, alto tráfego de pessoas ou veículos, etc., limitando as posições de varredura com o equipamento. Outras análises pertinentes para o planejamento das estações também devem ser consideradas, como restrições de acesso ou de períodos específicos para acessar o local (como igrejas ou locais que continuarão em uso durante os levantamentos).

Para determinação das posições, deve-se procurar minimizar a “pegada” do raio laser, isto é, a incidência do raio *laser* em ângulos agudos na superfície do objeto. A precisão da medição depende do diâmetro da “pegada” da projeção do raio na superfície do objeto: Quanto maior a pegada, menor a precisão da coleta dos dados, pois o raio *laser* em baixos ângulos não é bem refletido para o equipamento, resultando em menor precisão (observar Figura 20). O ângulo de incidência e o alcance do objeto são de grande importância ao determinar a posição do *scanner*.

Figura 20. “Pegadas” do raio *laser* em diferentes ângulos de incidência. Fonte: Genechten et al., 2008.

⁴⁵ *Google Street View* é um recurso do *Google Maps* e do *Google Earth* que disponibiliza vistas panorâmicas de 360° na horizontal e 290° na vertical e permite que os usuários vejam partes de algumas regiões do mundo ao nível do chão/solo, via internet.

Assim, de acordo com a análise do entorno e com a escolha do equipamento, deve-se fazer um projeto da localização das estações, procurando cobrir toda a área de levantamento, prevendo a menor “pegada” possível e minimizando tanto quanto possível o número de tomadas. Deve-se ainda posicionar o equipamento na faixa de cobertura de seu alcance tendo em mente que existe uma relação indireta entre a distância entre o equipamento e o objeto e a precisão dos dados: quanto maior a distância do *scanner* ao objeto, menor a precisão e a resolução. Considerar, portanto, para um bom posicionamento: localização na faixa de alcance do *scanner*, ângulos abertos de incidência do raio, campo visual livre de obstáculos e com o mínimo possível de sombras. Outros fatores a considerar: segurança da equipe, condições ambientais (vibrações, vento, etc.), necessidade de elevação do *scanner* acima do solo e a visibilidade dos alvos artificiais ou naturais

Figura 21. Sobre o posicionamento do *laser scanner*: acima um mau posicionamento e abaixo um bom posicionamento. Fonte: Genechten et al., 2008.

- Localização dos alvos artificiais.

Além da localização das estações de varredura, a posição dos alvos também é determinante para o sucesso dos trabalhos e é na fase de planejamento que a posição dos alvos deve ser estudada.

Os alvos são os referenciais que possibilitam registrar (unir) as nuvens de pontos parciais, obtidas por diferentes varreduras, e gerar um único modelo de nuvem de pontos⁴⁶, ou seja, unir as diferentes nuvens de pontos em um mesmo sistema de coordenadas (georreferenciado ou não). Devem ser distribuídos não apenas em uma direção, mas em x, y e z, de forma que o plano do objeto seja referenciado pelos alvos, não sendo possível girar em torno a um eixo (o que seria possível, caso todos os alvos fossem locados em apenas x, por exemplo).

Os alvos normalmente são fornecidos pela empresa fabricante do *laser scanner* e são projetados para refletir a maior parte do raio *laser* de volta ao *scanner*. O equipamento pode, portanto, detectar automaticamente esses alvos e, após um processo de escaneamento fino, determinar o centro exato registrando as nuvens em um único modelo (GENEHTEN, 2008, p. 41).

São utilizados alvos reflexivos, esféricos ou alvos de papel.

Figura 22. Alvos artificiais. Fonte: <http://www.bohnenstingl.de>

É na fase de planejamento que as definições em relação ao alvos devem ser feitas. A primeira definição é sobre a utilização ou não dos alvos (já que é possível registrar as nuvens de pontos utilizando as feições naturais do objeto). Em caso afirmativo, deve-se definir que tipo será utilizado, bem como seus posicionamentos, sempre levando em conta a minimização do número de tomadas.

- Definir as formas de armazenamento e distribuição dos dados.

⁴⁶ Também é possível registrar as nuvens utilizando as feições naturais do objeto. Observar item referente ao pré-processamento das nuvens: “2.3.2.3 Pré-processamento”.

Ainda durante a etapa de planejamento, devem ser previstos os recursos de *hardware* necessários para o armazenamento, manipulação e a distribuição dos dados. Dependendo da densidade da nuvem de pontos, bem como do número de nuvens parciais, os arquivos de nuvem de pontos, em geral, são arquivos grandes e podem se tornar um desafio para sua armazenagem e manipulação. O planejamento do espaço de armazenamento deve ocorrer antes da fase de campo, já que nesse momento é imprescindível que exista forma de gravação dos dados em disco.

Em resumo, deve-se observar durante a fase de planejamento:

- Se a localização do *laser* permite a cobertura de uma grande área sem obstruções e com o mínimo de áreas oclusas.
- Se o alcance mínimo e máximo do *laser* está adequado para o nível de precisão necessária (quanto maior a distância, menor a precisão e resolução).
- Minimizar as áreas escaneadas com ângulos muito pequenos (quanto maior a “pegada” do raio *laser*, menor a precisão).
- Minimizar o número de tomadas.
- Prever condições para o armazenamento dos dados a serem capturados.

2.3.2.2 Trabalho de Campo

É a fase que se destina aos trabalhos desenvolvidos *in loco*, onde é realizada a captura dos dados e os registros de apoio: é feita a varredura a *laser* do objeto a partir de várias estações para aquisição das cenas.

Vale lembrar que é esse o momento em que se dá a aproximação da equipe de trabalho com o objeto de estudo, sendo uma oportunidade para compreensão da obra, da relação entre seus espaços, sua fisicalidade e seu estado de conservação.

É importante ter em mente que todos os aspectos e detalhes do objeto devem ser coletados nessa ocasião, visto que em muitos casos, não será possível um retorno ao local, além de ser dispendioso o retrabalho de algo que pode ser realizado de forma satisfatória com planejamento, cuidado e atenção necessários.

Posicionamento do *scanner*: O *scanner* e os alvos, se forem utilizados, devem ser posicionados de acordo com o planejamento da localização das estações, realizado na

fase de trabalho anterior. O posicionamento do equipamento sobre um tripé segue o mesmo procedimento usado para posicionar uma estação-total, isto é, posicionando o tripé, com a abertura das pernas em um local estável, acopla-se o *scanner* no tripé, geralmente na altura dos olhos, e ajusta-se o nível do equipamento

Seleção das áreas de interesse: O passo seguinte é configurar o *scanner* de acordo com os parâmetros definidos na etapa anterior. Nesse momento, são definidas as áreas de seleção para o escaneamento, isto é, os *scanners* podem varrer até 360 graus, mas normalmente não são necessários todos esses dados. Dessa forma, é possível selecionar apenas as áreas de interesse. Os *scanners* mais modernos apresentam câmeras integradas que permitem a visualização da cena com o uso dos *softwares* dedicados à aquisição e manipulação das nuvens de pontos. Dessa forma, há a possibilidade de seleção das áreas de ataque e a varredura apenas das áreas de interesse (GENECHTEN, 2008, p. 42). Em muitos casos, porém, é realizado a varredura integral da cena e a seleção das áreas de interesse é realizada na fase de pré-processamento.

Resolução: A resolução (densidade) das nuvens de pontos pretendidas também deve ser configurada nesse momento. Genechten fala que a resolução é uma questão-chave na execução do levantamento por varredura a *laser* e “é definida como a distância entre dois pontos medidos subsequentes e, portanto, determina a densidade de pontos na nuvem de pontos.” (GENECHTEN, 2008, p. 45).

Normalmente são utilizadas diferentes densidades para cada área do objeto, isto é, a depender do grau de detalhamento e precisão da área, uma densidade ideal será configurada. Pormenores arquitetônicos pedem densidades maiores, já que sua representação em nuvem de pontos e graficamente pede uma escala maior para leitura. Em áreas planas, como paredes sem decorações, menos pontos são necessários para modelar o objeto e oferecer a leitura adequada daquela parede. Com poucos pontos não há perda de informação na representação. Já áreas curvas, com altos ou baixos relevos necessitam de mais pontos para serem representadas sem perda de informação relevante. Vale lembrar que sempre há algum nível de perda de informação, visto que a nuvem de pontos é uma representação da realidade, e não a realidade em si. No momento da definição das resoluções, cabe o questionamento de qual é o nível aceitável dessa perda para que o projeto seja atendido. Os alvos normalmente são escaneados com uma resolução maior do que o restante do objeto, de forma a garantir a precisão na fase de registro das nuvens. Essas diferenças de resolução podem ser

programadas no equipamento, de forma que durante a varredura o próprio *scanner* altere as resoluções dependendo do local que está varrendo no momento.

Bryan, Blake e Bedford (2009, p.21 apud GROETELAARS, 2015, p.155) relacionam níveis de precisão e valores de densidade com a escala de representação, conforme o quadro abaixo:

Escala	Precisão aceitável (mm)	Resolução da nuvem de pontos (mm)
1:10	5	1
1:20	6	3
1:50	15	5
1:100	30	15
1:200	60	30
1:500	150	75

Quadro 7. Precisão e densidade da nuvem de pontos de acordo com a escala de representação.
Fonte: Bryan, Blake e Bedford, 2009, apud Groetelaars, 2015, p.155.

Eles ainda falam que a resolução da nuvem de pontos deve ser ao menos metade do tamanho do menor detalhe a registrar. Lembrando que quanto maior a densidade da nuvem, melhor a leitura dos detalhes, maior o tempo para a aquisição dos dados, maior o tamanho do espaço de armazenamento e maiores as dificuldades na manipulação de grandes arquivos. (GROETELAARS, 2015, p. 156). Além do aumento no tempo de captura de dados e do tamanho dos arquivos, a digitalização em uma resolução muito grande pode causar sobreamostragem (*oversampling*) e, assim, resultar em mais ruído no conjunto de dados final.

Conforme já mencionado nas seções anteriores, a distância entre o equipamento e o objeto influencia a resolução final da nuvem. Uma vez que os *scanners* captam os dados em coordenadas polares, quanto mais distante o objeto do *scanner*, menor a resolução dos dados coletados. Dessa forma, a resolução é definida com base em uma distância específica e os pontos além dessa distância terão uma resolução menor que a resolução configurada no *scanner* (GENECHTEN, 2008, p. 45). Os manuais dos equipamentos, em geral, trazem tabelas relacionando as distâncias e as resoluções para cada configuração.

Barber, Mills e Andrews (2011, p.10) relacionam as dimensões e características dos objetos com as densidades. Eles colocam as densidades para as probabilidades de boa visibilidade de 66% e 95% dos elementos levantados.

Tamanho do objeto	Densidade de pontos necessária para oferecer 66% de probabilidade de o objeto ser visível	Densidade de pontos necessária para oferecer 95% de probabilidade de o objeto ser visível
10m	3500mm	500mm
1m	350mm	50mm
100mm	35mm	5mm
10mm	3,5mm	0,5mm
1mm	0,35mm	0,05mm

Quadro 8. Densidades das nuvens de pontos apropriadas (resoluções de amostragem) para vários tamanhos e características do patrimônio cultural. Fonte: Barber, Mills e Andrews, 2011.

Aquisição dos dados: O processo de varredura é totalmente automatizado. Uma vez definidas as configurações, o equipamento executa o escaneamento de forma automática, armazenando os dados em uma memória interna ou cartão de memória⁴⁷.

O tempo gasto para a varredura de uma cena depende da resolução, do ângulo de ataque e das características do equipamento. Durante esse período, conforme já mencionado, é importante que a equipe faça um registro/memória das atividades, isto é, é recomendável que sejam feitos croquis explicativos, indicando as posições das estações e dos alvos, se houve modificações nas atividades planejadas, onde foi necessário coletar dados manualmente, etc. Além disso, recomenda-se que sejam realizados levantamentos de dados que já são previstos não estarem na coleta de dados pelo *scanner*, por exemplo, áreas de sombra ou áreas oclusas, onde não é possível a incidência do raio laser, ou mesmo alguma região pequena, que não justifique a geração

⁴⁷ No caso do *laser scanner* BLK360, da *Leica Geosystems*, o equipamento está ligado a um tablet (*iPad Pro*) ou a um computador via wifi e as imagens e os dados são passados automaticamente, em tempo real. Os dois dispositivos precisam ter softwares próprios para manipulação das nuvens de pontos (*Autodesk Recap Pro for Mobile* para *iPad Pro*, *Autodesk Recap* ou *Cyclone 360* para computadores).

de uma nova nuvem de pontos. Os dados coletados pelo *laser scanner* devem ser complementados por dados coletados diretamente pela equipe de levantamento.

Uma vez completa a varredura, o equipamento é ligado a um laptop que tenha o *software* correspondente para manipulação daquele determinado tipo de arquivo (as terminações dos arquivos variam entre os *laser scanners* e geralmente os fabricantes dos *scanners* desenvolvem *softwares* próprios para manipulação desses arquivos). É importante que os dados sejam baixados em campo no laptop, para verificação se há áreas obstruídas ou se houve algum problema durante o processo de varredura.

Levantamento dos pontos de controle: Ainda durante os trabalhos de campo, devem ser levantados os pontos de controle que serão utilizados durante a fase de registro das nuvens. Os pontos podem ser:

- Naturais: utilizando as próprias feições do objeto, isto é, algum ponto que seja passível de ser utilizado como referência no registro das nuvens, por exemplo, o vértice de uma janela, a ponta de um pináculo, o vértice da platibanda ou de algum friso que claramente seja preciso, sem margem para incoerências. O ponto precisa ser claramente identificável e distinguível no contexto do objeto. Os pontos são escaneados com uma resolução muito alta, para um ajuste fino e o reconhecimento preciso de apenas um ponto em todas as nuvens parciais.
- Artificiais: os alvos que são fixados na superfície do objeto ou locados sobre tripés. Esses pontos devem ter suas coordenadas levantadas com máxima precisão. Normalmente são utilizadas estações totais para esse levantamento e, sendo esse o procedimento, deve-se atentar para que nenhum ponto deixe de ser levantado, além da óbvia atenção necessária para a medição desses pontos. É possível também que apenas o *scanner* faça a varredura dos pontos, com uma alta resolução para uma varredura fina, a fim de determinar exatamente o centro dos alvos. É importante que durante os trabalhos, nenhum alvo seja minimamente movido de lugar, já que são essas posições que irão referenciar a união das nuvens em um único sistema de coordenadas. Além disso, os *softwares* que reconhecem automaticamente os alvos precisam que os mesmos sejam feitos com materiais com alta taxa de refletância, de forma que se destaquem do ambiente e sejam reconhecidos pelo algoritmo.

Figura 23. (a) A aquisição de dados. (b) O produto básico da aquisição de dados é a nuvem de pontos.
Fonte: <http://mundogeo.com>

2.3.2.3 Pré-processamento

É o tratamento das nuvens de pontos para a etapa de processamento. Inclui o registro, o georreferenciamento e a otimização da nuvem de pontos.

O produto obtido na aquisição de dados é a nuvem de pontos em sua forma bruta, isto é, uma vez que a tecnologia *Laser Scanning* não identifica o que se deve coletar, tudo o que estiver na cena será escaneado, resultando em muitos dados que não serão úteis para o levantamento, sobrecarregando os arquivos e gerando ruídos, o que dificulta a manipulação dos dados e sua visualização.

Assim, os dados em estado bruto (em inglês: *raw data*) passam por um preparo, para que a nuvem de pontos se torne um produto-base utilizável na elaboração dos produtos finais. Em resumo, os dados tal como são baixados do equipamento no computador não são de grande valia em termos práticos, pois as nuvens sem tratamento não são produtos finais, e não oferecem condições de serem utilizadas para elaboração de modelos ou desenhos 2D.

Desse ponto de vista, o nível de automação verificado na fase anterior (trabalho de campo) cai drasticamente nas fases de pré-processamento e processamento, sendo a maioria das pesquisas acadêmicas em ciência e engenharia da computação, que trabalham com os processos da tecnologia *Laser Scanning*, concentradas no desenvolvimento de algoritmos para automatizar as fases de registro, otimização e processamento (modelagem).

Figura 24. Gráfico ilustrando o nível de automação durante o processo de trabalho do *3D Laser Scanning*.

Já em ambiente de escritório, é recomendado que os arquivos originais sejam preservados como backup e o trabalho seja realizado com cópias dos arquivos originais. Além disso, é recomendado que um arquivo metadados com a memória da fase de aquisição de dados seja salvo. É importante ter em mente que nenhuma informação deve depender de uma pessoa ou um grupo de pessoas envolvido no trabalho naquele momento. As informações devem ser registradas para futuras consultas, provavelmente realizadas por pessoas que não estão presentes no momento do levantamento. Dessa forma, é responsabilidade da equipe de levantamento que os registros e memórias do levantamento estejam organizadas, constituindo uma fonte de pesquisas sobre o objeto ou sobre o levantamento em si.

2.3.2.3.1 Representação da Nuvem de Pontos

As nuvens de pontos podem ser representadas com a visualização de cada um dos pontos da nuvem. Cada ponto tem suas coordenadas x, y, z, seus valores de refletância e valores de RGB (disponíveis em alguns *laser scanners*). Em geral as imagens das nuvens apresentam o índice de refletância do ponto em falsa cor, isto é, cada cor descreve quanto, como, e com que intensidade um ponto da arquitetura reflete o raio laser. Não se trata de uma cor real, mas de uma falsa cor utilizada para descrever esse valor.

Em alguns casos, o índice de refletância pode indicar os materiais que compõem a arquitetura, mas isso não se verifica de forma confiável, pois a refletância depende de muitos fatores, além do material do objeto levantado. Depende da temperatura, da

umidade, do ângulo de incidência do raio no ponto medido, etc. Dessa forma, é possível utilizar a nuvem de pontos em escala de cinzas, de forma a facilitar a visualização da nuvem.

É possível, porém, atribuir cores aos pontos, dependendo do critério que se deseja utilizar. Esse recurso é bastante utilizado para a visualização de desníveis ou inclinações. Para tanto, faz-se o que se chama de “*elevation map*”, ou mapa de elevação. Trata-se de configurar a visualização da nuvem para que os pontos sejam visualizados com uma cor específica a depender da sua posição. Esse recurso é muito utilizado em topografia, para identificação dos níveis. Em arquitetura é frequentemente utilizado para verificação, por exemplo, do nivelamento das estruturas: em uma parede que está fora do prumo, é possível configurar que os pontos, a cada centímetro (ou milímetro) deslocado no eixo X, sejam visualizados com uma cor diferente. Então os pontos em 0 no eixo X, por exemplo, serão visualizados em vermelho; os pontos em 0,01 em X, serão visualizados em verde e os pontos em 0,02 em X serão visualizados em azul. Dessa forma, graficamente, é possível visualizar se há desnível e de quanto é esse desnível. O mesmo raciocínio pode ser aplicado para verificação do nivelamento do piso, com o estudo realizado em outro eixo.

(a)

(b)

Figura 25. *Elevation map* aplicado para verificação do desnível do piso (a) e para verificação da altura das paredes (b). Fonte: Laboratório de Levantamento Digital com *Laser 3d* aplicado ao Restauro Urbano e Arquitetônico FAUUSP-UNIFI. Setembro/2017.

Figura 26. *Elevation map* utilizado para verificação da altura das paredes.

Fonte:

<https://aurasurvey.co.uk/blogs/3d-laser-scanning-and-point-cloud-modelling-the-new-era-of-survey>

Figura 27. *Elevation map* utilizado para topografia. Fonte: <http://www.robins3d.com/examples-1.html>

Outra forma de representação das nuvens de pontos é o “*depth map*” ou mapa de profundidade. As nuvens de pontos utilizadas como base para os trabalhos de processamento (modelagem os desenhos 2D) são resultado de uma coleta de dados por *Laser Scanning*, que traz um grande número de pontos no espaço, cada um com uma coordenada (x, y, z) e, ao menos, um valor de refletância.

Quando a nuvem de pontos é representada com todos os seus pontos na tela, o resultado gráfico é caótico e um usuário terá dificuldades em reconhecer as estruturas do objeto na nuvem.

Figura 28. Nuvem de pontos desorganizada. Fonte: Genechten et al. (2008)

Segundo Genechten et al. (2008, p.53), um mapa de profundidade é uma estrutura de matriz (2D) na qual cada pixel representa a distância do ponto 3D ao *scanner* na forma de um valor cinza, ou seja, a depender da profundidade do ponto, ele receber um tom de cinza: quanto mais distante do *laser scanner*, o tom de cinza atribuído é mais claro, quanto mais próximo, o tom de cinza é mais escuro. Como esse tipo de representação incorpora informações vizinhas, é de grande utilidade em algoritmos de processamento de nuvem de pontos e é conhecido como nuvem de pontos organizada.

Figura 29. (a) Mapa de profundidade. (b) Localização do mapa de profundidade.
Fonte: Arnar Birgisson, 2007.

Outra forma possível de visualização da nuvem é o chamado “*laser splatting*”, ou seja, a união de pontos que formem uma falsa superfície, utilizada apenas para facilitar a visualização e o entendimento da nuvem de pontos. O *splatting* de pontos gera *surfels* (pequenos elementos de superfície) para cada ponto na nuvem a partir dos dados brutos do *laser scanner*. Cada ponto é representado por uma pequena forma de superfície primitiva (círculo, elipse...) em 3D que herda sua normalidade computada de seus pontos vizinhos. Assim, é possível a representação rápida de uma superfície, sem que seja necessário gerar uma superfície real apenas para visualização.

(a)

(b)

Figura 30. (a) Resultado visual de *point splatting* e (b) pormenor da "superfície" com *point splatting*.
Fonte: Genechten et al. (2008).

2.3.2.3.2 Registro ou Alinhamento das Nuvens de Pontos

Na maioria das vezes é necessário mais de uma tomada de cena para cobrir toda a área do objeto a ser levantado, gerando várias nuvens de pontos: cada nuvem corresponde a uma cena. Assim, é necessário posicionar as várias cenas com suas coordenadas locais, em um único arquivo com o mesmo referencial.

As diversas nuvens baixadas do equipamento para o laptop precisam se tornar um produto-base utilizável para a elaboração dos produtos finais. As nuvens, tal como são baixadas do equipamento, são arquivos separados, com cada cena escaneada em um arquivo diferente, sendo necessário que todas as nuvens parciais sejam unidas em um mesmo sistema de coordenadas, a fim de que se tornem um modelo em nuvem de pontos do objeto completo. Os termos utilizados na literatura para a união das diversas nuvens de pontos em um mesmo sistema de coordenadas são: registro ou alinhamento das nuvens de pontos.

Figura 31. (a) Nuvem de pontos da cena 1; (b) Nuvem de pontos da cena 2; (c) Nuvens de pontos registradas sob mesmo sistema de coordenadas. Fonte: Barber, Mills e Andrews, 2011.

O registro pode ser realizado por muitas formas, a depender das condições do objeto e das circunstâncias do levantamento. As formas de registro abordadas por Dutescu (2006), Groetelaars (2015) e Genechten e colaboradores (2008) correspondem aos sistemas indiretos “alvo-a-alvo”, “nuvem-a-nuvem” (ou *3D similarity registration*) ou “face-a-face” (ou *feature registration*), além do sistema direto em que há o posicionamento do *scanner* sobre pontos de coordenadas conhecidas (pontos já levantados com estação total) (DUTESCU, 2006, p. 28), (GENECHTEN, 2008, p. 50), (GROETELAARS, 2015, p. 157).

Genechten et al.(2008) classifica os métodos de registro das nuvens de pontos em métodos diretos e métodos indiretos, conforme Quadro 9 abaixo:

Registro	Registro orientado por alvos	+ Maior precisão
		+ Permite geo-referenciamento
		- Tempo necessário para locação dos alvos e levantamento dos mesmos
	Registro por similaridade (nuvem-a-nuvem)	+ Reduz o trabalho em campo
		+ A nuvem de pontos final apresenta uma geometria consistente (dependendo da situação)
		- A precisão apresenta resultados aceitáveis apenas em condições de pequenas varreduras
		- Geralmente o geo-referenciamento não é apresentado
		- Requer tempo de processamento extra para grande quantidade de dados
	Registro por identificação de feições naturais	+ Similar ao registro realizado por similaridade de nuvens e de geometria
		+ Reduz o tempo de processamento em casos de grandes conjuntos de dados
		- A precisão apresenta resultados aceitáveis apenas em condições de pequenas varreduras
		- Geralmente o geo-referenciamento não é apresentado

Quadro 9. Formas de registro de nuvens de pontos, com suas vantagens e desvantagens. Fonte: Adaptado de Genechten et al, 2008.

Métodos Indiretos:

- **Registro “Alvo-a-alvo”: pontos artificiais**

Conforme já mencionado, os alvos são a forma mais utilizada e mais precisa de registro, porém é necessário que existam condições de acessibilidade ao objeto ou até mesmo a possibilidade de fixar os alvos na superfície do objeto.

Os alvos são identificados automaticamente ou semi-automaticamente⁴⁸ com uso de *softwares* específicos para manipulação (registro, otimização, modelagem, etc) de nuvem de pontos. O *software* é capaz de reconhecer o ponto do centro do alvo com melhor precisão do que um ponto identificado na própria geometria do objeto.

Segundo Dutescu (2006, p. 29), no processo de registro de duas diferentes nuvens de pontos, uma delas é considerada fixa (“*home scan*”) e a outra é considerada flutuante. O registro consiste em encontrar um conjunto de parâmetros que podem ser aplicados à nuvem flutuante de maneira que a oriente no mesmo sistema de coordenadas da nuvem de pontos fixa. Geralmente o conjunto de parâmetros consiste em três translações e três rotações correspondentes aos eixos do sistema de coordenadas: para o alinhamento de cada par de nuvens de pontos é necessário um mínimo de 3 alvos idênticos, de forma a computar seis parâmetros.

Groetelaars (2015, p.157) sinaliza que o ideal são, ao menos, 5 alvos em comum, de maneira a haver redundância da informação, possibilitando a correção de algum erro que porventura tenha ocorrido em algum alvo (a movimentação ou a medição errada das coordenadas de um dos três alvos, por exemplo). Se houvesse apenas três alvos, essa correção não poderia ocorrer, já que são necessários o mínimo de três alvos para o alinhamento, não sendo possível desprezar um deles.

Melhores resultados são obtidos quando os alvos estão formando uma boa geometria na região de sobreposição, isto é, quando a disposição dos alvos na cena está distribuída sobre diferentes eixos na área da cena que está nas duas nuvens, não estando alinhados e sendo visíveis de todas as estações de medição. Os alvos devem estar afastados entre si, nos três eixos (x, y, z), e em diferentes posições em relação ao

⁴⁸ Os processos no tratamento de nuvens de pontos pode ser automáticos (sem interação com o usuário), semi-automáticos (com interação do usuário) ou manuais (quando o processo é feito manualmente pelo usuário).

scanner (abaixo, acima, à esquerda e à direita), de maneira a evitar que estejam alinhados em algum dos eixos. O estudo sobre a distribuição dos alvos deve ocorrer durante a fase de planejamento dos trabalhos e não durante o trabalho de campo.

Em resumo, a utilização de alvos:

- Facilita o georreferenciamento
- São mais facilmente reconhecíveis pelo *software*, o que significa maior precisão
- Requer acesso viável
- Os alvos são utilizados para unir as várias nuvens de pontos “flutuantes” à nuvem de pontos “base”.

- **Registro por identificação de feições naturais: pontos naturais**

Trata-se da utilização de pontos da própria geometria do objeto (alvos naturais) como referencial para o alinhamento das nuvens. Pontos correspondentes no par de nuvens são selecionados e utilizados da mesma forma dos alvos artificiais, ou seja, com o controle de suas coordenadas e/ou a varredura desses pontos com a alta resolução para precisão no processo de registro. No caso da identificação de pontos nas feições naturais do objeto, recomenda-se que os pontos selecionados não deem margem a dúvidas e minimizem as imprecisões. Dessa forma, deve-se sempre optar pela escolha de pontos resultantes da intersecção de três planos, como o canto de uma sala, que seria o ponto entre duas paredes e o piso, um ponto específico em um elemento decorativo fixo ou componente construtivo. (GSA - GENERAL SERVICES ADMINISTRATION, 2009, p. 33)

Vale ressaltar que essa opção é menos precisa que o registro por alvos artificiais, já que por mais que a resolução da varredura nesses pontos seja alta, há espaço para imprecisões.

- **Registro nuvem-a-nuvem** (ou *3D similarity registration*): Por associação de duas ou mais nuvens de pontos (sobreposição de pelo menos 30%).

Outra forma de registro de nuvens de pontos é com a sobreposição de nuvens e a associação de pontos. É uma técnica que não requer uso de alvos, utilizada quando não há acessibilidade para a locação/fixação dos alvos ou quando o tempo para o

trabalho de campo não permite o levantamento dos alvos com estação total ou mesmo com sua varredura mais densa.

Esforços têm sido feitos no desenvolvimento de soluções para o registro de nuvens de pontos de forma automatizada. Dutescu (2006) e Genechten (2008) fazem referência ao desenvolvimento do algoritmo ICP - *Iterative Closest Point*, desenvolvido por Besl e McKay (1992) e Chen e Medioni (1992), em que todos os pontos da área sobreposta do par de nuvens de pontos são utilizados, mas o usuário deve escolher manualmente ao menos três pontos correspondentes nas duas nuvens de pontos (fixa e flutuante). O algoritmo ICP é um procedimento iterativo⁴⁹, geralmente descrito em três etapas:

- Procurar pares dos pontos mais próximos nas nuvens fixas e flutuantes;
- Estimar uma transformação que alinhe melhor a nuvem de pontos flutuante com a nuvem fixa;
- Aplicar a transformação à nuvem de pontos flutuante.

O processo é repetido até que a convergência seja concluída. Uma vez que os pontos selecionados pelo usuário nunca serão exatamente os mesmos, o papel do ICP é a checagem das distâncias entre todos os pontos das nuvens e a estimativa do alinhamento das nuvens com o mínimo erro (GENECHTEN, 2008, p. 51). O ICP oferece resultados aceitáveis, porém deve ser usado com cautela, já que há problemas no algoritmo no que diz respeito ao seu uso com nuvens de baixa resolução ou se forem utilizados em longos trechos de objetos lineares. Nesses casos, pequenos erros de registro se propagam ao longo da estrutura, gerando grandes erros finais, conforme indicado na figura 32.

O georreferenciamento da nuvem de pontos final pode ser realizado quando conhecidos ao menos três posições do *scanner* conhecidas.

⁴⁹ Iterativo vem de iteração, ou seja, a resolução de equação por meio de uma sequência de operações em que a definição de cada uma é o resultado da que a precede. É o processo chamado na programação de repetição de uma ou mais ações. Cada iteração se refere a apenas uma instância da ação, ou seja, cada repetição possui uma ou mais iterações.

Figura 32. Propagação do erro em registro nuvem-a-nuvem. Fonte: Genechten, 2008.

Em resumo, este método:

- Utiliza todos os pontos da região sobreposta do par de nuvens de pontos, tendo a nuvem de pontos final uma geometria consistente e confiável.
 - O processo consiste na procura por pares dos pontos mais próximos entre a nuvem base e as nuvens flutuantes.
 - Estima o melhor alinhamento entre as nuvens e aplica a transformação.
 - O processo é repetido até que a convergência se conclua.
 - Não requer tempo para colocação/planejamento de alvos. O georreferenciamento é feito com as posições do *scanner*.
 - Desvantagens: problemas com o algoritmo. Atualmente há várias versões para correção de erros e incongruências.
-
- **Registro face-a-face (ou *feature registration*):** trata-se do mesmo conceito do algoritmo ICP, mas utilizando-se apenas de pontos das nuvens de pontos que podem estimar primitivas geométricas.

O algoritmo, nesse caso, estima a distância euclidiana entre as superfícies e procura minimizar essa distância iterativamente, com uma sucessão de alinhamentos até que a convergência se conclua, semelhante ao que ocorre no algoritmo ICP.

Nesse caso, o método é semi-automático. O usuário tem que selecionar nas nuvens de pontos fixa e flutuantes apenas pontos que podem ser usados para estimar as primitivas geométricas. Os pontos são selecionados com o usuário definindo uma região de pontos e associando-a a uma região das outras nuvens.

O método oferece melhores resultados quando a varredura é realizada em alta resolução, facilitando um melhor encaixe entre as primitivas geométricas das áreas selecionadas pelo usuário. Assim, a resolução na etapa de aquisição de dados é determinante na precisão desse método, lembrando que a alta resolução é utilizada na varredura de toda a cena e não apenas em pontos de controle, como nos outros métodos que utilizam alvos ou feições naturais.

Em resumo, o método se baseia:

- Na procura por pares dos pontos correspondentes identificáveis.
- Estima o melhor alinhamento entre as nuvens e aplica a transformação.
- O processo é repetido até que a convergência se conclua.
- Mesmas vantagens do registro nuvem-a-nuvem, mas o método é semi-automático. O usuário escolhe os pontos que podem ser utilizados em primitivas geométricas.

Dutescu (2006, p.31) destaca que todos os métodos são eficientes e entregam bons resultados, no entanto, entende que um método que combine os princípios do uso das formas geométricas e das feições naturais da cena, com posterior validação e checagem dos resultados por alvos artificiais, é o método que oferece resultados mais completos e confiáveis.

Método Direto:

- **Registro direto:** Método em que a posição e a orientação do *scanner* são calculadas diretamente, isto é, a própria posição do *scanner* é utilizada como referencial para o alinhamento das nuvens.

O equipamento é posicionado diretamente sobre um ponto conhecido com auxílio de um prumo a laser. A orientação é determinada quando, na primeira posição, o *scanner* colhe os dados da posição seguinte em que ele estará posicionado e assim sucessivamente, formando uma poligonal. Esse procedimento pode ser facilitando quando o equipamento dispõe de um GPS integrado ou ainda com a instalação de um refletor especial na parte superior do eixo de rotação vertical do *scanner*. A posição exata deste refletor ao centroide do feixe de *laser* pode ser determinada através de um

procedimento de calibração. As coordenadas do refletor são então medidas, com auxílio de uma estação total. (GENECHTEN, 2008, p. 52)

O registro direto reduz o número de alvos utilizados e as varreduras também não precisam de sobreposição.

O método também facilita o georreferenciamento, já que as coordenadas obtidas para o registro já são conhecidas.

2.3.2.3.3 Otimização da Nuvem de Pontos

Cada ponto possui informação de coordenadas, um valor de refletância e, às vezes, dados de cores RGB, fazendo com que os arquivos de nuvens de pontos sejam muito grandes e pesados. Além disso, nuvens com muitos pontos desnecessários se tornam incompreensíveis, dificultando o trabalho de processamento.

A otimização da nuvem de pontos visa a diminuição do número de pontos da nuvem, a diminuição do tamanho do arquivo, ou mesmo a correção de áreas da nuvem sem informações (áreas de vazios), de forma a preparar a nuvem de pontos para o trabalho de modelagem ou de desenho.

Geralmente, a otimização é realizada após o registro das nuvens, com os dados em um único modelo de pontos. Porém, é possível que algum tipo de otimização seja feito antes do registro, quando as nuvens individualmente apresentam muitos ruídos e informações desnecessárias, que sobrecarregam os arquivos, dificultando a manipulação dos mesmos.

Os tratamentos para otimização da nuvem de pontos são realizados antes do processo de modelagem ou elaboração de desenhos. São operações que procuram melhorar a qualidade dos dados, diminuindo o tamanho do arquivo e contam com:

- Remoção de pontos indesejados;
- Identificação e remoção de pontos discrepantes;
- Identificação e remoção de componentes desconectados;
- Redução de ruído;
- Redução de redundância, reamostragem e decimação;
- Adição de pontos;

- **Remoção dos pontos indesejados:**

Durante o processo de varredura, o equipamento não é capaz de distinguir quais elementos da cena são de interesse para o levantamento e quais não são. Diante disso, na aquisição de dados são coletados muitos pontos referentes a elementos que não adicionam informação relevante para a documentação: áreas adjacentes ao objeto, como edificações próximas, objetos próximos ou à frente do objeto de interesse, como carros ou árvores, por exemplo, são informações que devem ser removidas da nuvem de pontos, de forma a não confundir o usuário e não sobrecarregar o arquivo.

Dutescu (2006, p.32) classifica os pontos indesejados em:

- Pontos que não interferem na área de interesse, mas não serão utilizados na elaboração dos produtos;
- Pontos que configuram obstáculos na área de interesse.

A remoção dos pontos que configuram obstáculos pode se mostrar problemática, na medida em que a remoção desses pontos resultará em uma área com informações faltantes. Caso a área tenha sido escaneada por outras posições do *scanner*, esses dados serão preenchidos sem maiores perdas para o levantamento.

O processo é realizado manualmente, com o usuário selecionando os pontos que deseja remover da nuvem de pontos.

- **Identificação e remoção de pontos discrepantes:**

Pontos discrepantes (em inglês: *outliners*) são pontos que não se encaixam no padrão da maior parte da nuvem de pontos. Esses pontos são inseridos na nuvem de pontos durante o processo de varredura e, a depender do nível de discrepância e do tipo de modelagem, podem produzir problemas na fase de processamento, gerando erros nos produtos finais.

A identificação e remoção de pontos discrepantes é realizada de forma semiautomática por *softwares* de manipulação de nuvens de pontos, que utilizam algoritmos que selecionam os pontos de acordo com um valor de tolerância que o usuário determina. Segundo Dutescu (2006, p.33), esses algoritmos se baseiam em:

- Calcular uma solução que padronize todos os pontos (uma primitiva geométrica, como um plano ou uma esfera);
- Aplicar a solução testando os pontos da nuvem;
- Identificar os pontos com maior probabilidade de erros fora do padrão geométrico, de acordo com o nível de tolerância, com base no teste anterior;
- O algoritmo continua a iteração até que todos os pontos dentro do parâmetro tenham sido identificados.
- Ao final do processo o usuário define se os pontos identificados devem ser eliminados ou não.

Figura 33. Identificação e remoção de pontos discrepantes. Fonte: Dutescu, 2006.

A Figura 33 ilustra como ocorre a identificação dos pontos discrepantes, a depender dos níveis de tolerância definidos pelo usuário. Na primeira imagem, os pontos em vermelhos são claramente identificados como fora do padrão geométrico “círculo”, não sendo necessário valores muito precisos de tolerância para sua identificação. Já na segunda imagem, para identificação mais fina de pontos discrepantes, é necessário um nível de tolerância menor em relação ao desvio do padrão geométrico.

- **Identificação e remoção de componentes desconectados:**

Os componentes desconectados são elementos satélites do corpo principal da nuvem de pontos e, tal como o que ocorre com a identificação de pontos discrepantes, também devem ser identificados e removidos para melhora da qualidade do conjunto final de dados.

Para tanto, a operação é parecida com a descrita no último item, com a identificação dos componentes baseada em um valor de tolerância referente às dimensões e/ou à distância dos elementos desconectados em relação à nuvem principal. A operação é semiautomática, com os valores de tolerância definidos pelo usuário, bem como a definição da remoção ou não remoção dos elementos identificados pelo algoritmo.

O processo pode ser descrito como:

- Definição do valor de tolerância de “dimensão”, de acordo com o tamanho dos elementos satélites desconectados do corpo principal da nuvem de pontos.
- Definição do valor de tolerância de “desconexão”, para a distância entre esses elementos e o corpo principal da nuvem de pontos.
- Análise dos conjuntos de pontos identificados pelo algoritmo como desconectados, de acordo com o conhecimento prévio do usuário sobre o objeto e com os objetivos do levantamento.
- Remoção dos pontos definidos pelo usuário como desconectados.

Figura 34. Identificação e remoção de componentes desconectados. Fonte: Dutescu, 2006.

A figura ilustra os dois níveis de tolerância que podem ser utilizados para a identificação dos componentes desconectados. Na primeira imagem vê-se a seleção dos componentes identificados pelas dimensões, ignorando o componente maior e mais distante do corpo principal. A segunda imagem, por sua vez, demonstra os componentes selecionados pela distância do corpo principal.

- **Redução de ruídos:**

A operação de redução de ruídos se destina a identificar e eliminar (ou reduzir) os pontos coletados pelo *laser scanner* de forma errônea. A aquisição de pontos que não representam a realidade ocorre por um erro no cálculo da distância entre o *laser scanner* e o objeto. Exemplos de circunstâncias que geram a coleta de pontos errôneos são:

- a incidência de um feixe de *laser* em uma aresta;
- o ângulo de incidência entre o feixe de *laser* e o objeto;
- a cor do objeto;
- a textura;
- a refletividade da superfície;
- o tipo de laser;
- a resolução da varredura.

Existem diversos tipos de pontos que caracterizam ruído na nuvem de pontos. Dutescu (2006, p.35) cita *phantom points*, *jumping points* e *in depth points*.

Phantom points: o ângulo de incidência entre o raio *laser* e a aresta do objeto é a principal causa para o aparecimento de *phantom points*. Dependendo do ângulo de incidência, o raio é dividido e parte dele segue seu percurso até sua incidência em outro ponto do objeto, ocorrendo divergência no dado coletado (ver Figura 35). O dado que é registrado pelo *laser scanner* é o ponto localizado entre os dois pontos de incidência, não representando a realidade do objeto.

Figura 35. *Phantom points*. Fonte: Dutescu, 2006.

A identificação e remoção desta categoria de pontos falsos é difícil de ser automatizada, visto que não existem parâmetros que podem ser aplicados, como funciona nas operações de pontos discrepantes e componentes desconectados (os

pontos falsos não diferem em tamanho ou em distância, por exemplo. Os pontos falsos são erros muito próximos aos pontos “verdadeiros” da nuvem de pontos. Dessa forma, a operação deve ser realizada manualmente por um operador durante a inspeção da nuvem de pontos ou posteriormente durante a inspeção da malha poligonal.

Jumping points: Os *jumping points* ocorrem devido à alta refletividade da superfície, geram resíduos na gravação dos dados. Os pontos errôneos são gravados afastados da superfície do objeto e também são identificados manualmente na nuvem de pontos ou na malha poligonal pelo usuário (ver Figura 36).

Figura 36. *Jumping points* e *in-depth points*. Fonte: Dutescu, 2006.

In-depth points: O mesmo raciocínio pode ser aplicado para os *in-depth points*, porém de maneira contrária. Também aqui as características da superfície do objeto são determinantes para a geração desses pontos falsos. No caso dos *in-depth points*, com acabamentos porosos, o raio *laser* consegue penetrar a superfície do objeto, gerando pontos falsos para dentro do limite real da superfície. A remoção desses falsos pontos também é feita manualmente pelo usuário, após uma análise visual que identifique os pontos (em geral, localizam-se em áreas mais espessas que o padrão da nuvem de pontos).

Difícilmente um algoritmo entregará bons resultados em redução de ruídos, já que os algoritmos se baseiam na melhor adequação dos pontos a um padrão, identificando os pontos que se afastam desse padrão. Considerando que os pontos falsos apresentam características muito próximas aos pontos verdadeiros, é difícil que esses pontos se afastem dos níveis de tolerância do padrão. Mesmo que o padrão seja estabelecido pelo algoritmo, e não pelo usuário, o algoritmo calcula um padrão médio,

utilizando também os dados de ruído. Assim, os resultados oferecidos não são confiáveis.

Dutescu (2006, p. 36) ressalta que a quantidade de dados de ruído deve ser estimada corretamente, já que um nível de ruído superestimado pode levar à alteração de nuvem de pontos e um nível subestimado pode levar a resultados falsos.

Figura 37. Exemplo da aplicação de filtros para redução de ruídos no *software* Photomodeler.

Fonte: <https://info.photomodeler.com/blog/photomodelers-new-point-cloud-meshing-capabilities/>

- **Redução de redundância, reamostragem e decimação.**

As nuvens de pontos resultantes dos registros que utilizam os métodos de sobreposição de nuvens, ao final do processo apresentam pelo menos 30% a mais de pontos, ou seja, existem 30% de pontos sobrepostos na nuvem que não adicionam informação para o levantamento. A quantidade extra de dados sobrecarrega o arquivo e pode aumentar o tempo de processamento da nuvem de pontos.

As operações de redução de redundância são realizadas com a aplicação de um filtro. A operação pode ser automática ou semiautomática, com o cálculo de um valor médio para a distância entre os pontos ou a definição do nível de tolerância feito pelo usuário e, dentro desse valor, os pontos são eliminados automaticamente. A operação

elimina um dos pontos que são considerados idênticos ou calcula um ponto médio entre dois pontos próximos que são considerados redundantes.

Os processos de reamostragem e decimação, por sua vez, são operações de redução de pontos, de maneira que não sejam eliminados dados que ofereçam informação relevante sobre a forma do objeto, isto é, o processo diminui o número de pontos na nuvem, de maneira que a sua forma não seja alterada. A vantagem dessa redução de dados é a melhora no tamanho do arquivo e na visualização da nuvem de pontos, facilitando o trabalho de manipulação da nuvem e a armazenagem de dados.

Podem ser utilizados três filtros para a reamostragem dos dados:

Filtro uniforme para diminuição de pontos, isto é, os dados são eliminados de maneira uniforme, baseado em uma porcentagem do número total de pontos;

Filtro por *grid*, onde a nuvem é toda segmentada por um *grid*, gerando células de tamanhos idênticos. Nesse filtro, apenas um ponto por célula é mantido, lembrando que o tamanho da célula depende dos valores de espaçamento vertical e horizontal definidos.

Filtro por curvatura, onde a eliminação de pontos preserva pontos em regiões com alta curvatura e reduz pontos em regiões planas, de forma que a informação sobre a forma do objeto seja mantida.

Segundo Genechten et al. (2008, p.56), as operações de reamostragem que utilizam o filtro uniforme e o filtro por grid são operações que podem remover pontos de interesse, eliminando informações relevantes, uma vez que a remoção desses pontos se dá de maneira geral, sem levar em consideração as especificidades e características do objeto.

Dessa forma, a operação de reamostragem que utiliza o filtro por curvatura oferece resultados mais confiáveis, visto que o filtro mantém pontos de interesse nas áreas mais complexas, que requerem mais informações para representar a realidade do objeto.

- **Adição de pontos.**

Após as operações de remoção dos pontos não desejados, é possível visualizar melhor a nuvem de pontos e identificar áreas com pontos faltantes. A operação de

adição de pontos visa a geração automática de novos pontos com o intuito de (a) completar vazios na nuvem (*hole filling*) ou (b) aumentar a densidade da nuvem de pontos de forma geral.

A operação de preenchimento de vazios (a) pode ser realizada após as operações de eliminação de pontos indesejados ou durante a fase de processamento da nuvem de pontos, quando da geração da malha poligonal. Em alguns casos, os usuários preferem proceder com o preenchimento de vazios durante a fase de modelagem, já que vazios de dimensões médias ou pequenas podem ser difíceis de serem identificados na nuvem de pontos e não necessariamente representam um problema para a modelagem (superfícies planas, por exemplo, não necessitam de todos os pontos para serem modeladas corretamente), além do algoritmo aplicado na fase de modelagem oferecer resultados mais confiáveis de preenchimento de vazios.

A operação de “refino” (do inglês *refining*) (b) pode ser entendida como o oposto da operação de reamostragem por grid. É utilizado o mesmo raciocínio de subdividir o objeto em células distribuídas uniformemente pela nuvem, no entanto, nessa operação é aumentado o número de pontos por célula. É utilizado para gerar posteriormente uma malha poligonal mais densa, no entanto, não substitui a operação de preenchimento de vazios, não melhora a qualidade da nuvem de pontos e demanda mais tempo de processamento na modelagem das superfícies. (DUTESCU, 2006, p. 38)

2.3.2.4 Processamento: da nuvem de pontos ao produto final

O processamento é a fase em que se dá a elaboração do produto final da documentação. Podem ser produtos 2D, ou seja, pranchas gráficas com desenhos de plantas, cortes, elevações, detalhes específicos, ou produtos 3D, como modelos e ambientes para realidade virtual.

Groetelaars (2015, p. 139) classifica os possíveis produtos derivados dos levantamentos por sistemas de varredura em produtos primários (nuvens de pontos) e em produtos secundários, obtidos através do processamento das nuvens de pontos. A Figura 38 resume os possíveis produtos, segundo Groetelaars:

Figura 38. Produtos derivados de levantamentos por sistemas de varredura. Fonte: Groetelaars, 2015.

Essa pesquisa se ateve aos produtos mais utilizados em projetos de restauro, a saber: desenhos bidimensionais (2D)⁵⁰, com desenhos gerados interativamente por vetorização sobre ortofotos da nuvem de pontos ou sobre trechos da nuvem de pontos, e gerados por operações semi-automáticas e automáticas, além de modelos tridimensionais (3D), classificados em modelos de arestas, modelos de superfícies e modelos sólidos, gerados por diferentes operações. Vale lembrar que o método escolhido para a criação de objetos 3D dependerá de fatores como o nível de precisão e detalhe, o *software* disponível, o objetivo de uso do modelo, a compatibilidade, formas de exportação e armazenamento do produto, etc. É possível ainda que mais de uma técnica de modelagem seja utilizada em um mesmo modelo final. Dutescu (2006, p.39) fala que partes do produto final podem ser realizadas envolvendo diferentes métodos para, posteriormente, conectá-los. Por exemplo, as nuvens de pontos de uma parede plana de um edifício com elementos de baixo-relevo podem ser modeladas com: uma primitiva geométrica “plano” para a parede plana e uma malha de triangulação para representação dos elementos de baixo-relevo.

⁵⁰ Para aprovação de projetos de restauro, os órgãos de preservação de patrimônio cultural exigem projetos com desenhos bidimensionais. Os modelos tridimensionais não são exigidos.

2.3.2.4.1 Segmentação

Antes da geração dos produtos, porém, é possível trabalhar a nuvem de forma que facilite o processamento do modelo ou dos desenhos. Para tanto, faz-se a segmentação da nuvem, que consiste no agrupamento de regiões ou objetos similares (paredes, cobertura, esquadrias, etc). São estabelecidos padrões para o agrupamento como mudança de planos, alteração nas cores e materiais, inclinações, etc. Os algoritmos identificam os semelhantes de acordo com o critério estabelecido. Pode ser feita também por processos interativos, em que o usuário seleciona manualmente o conjunto de pontos que deseja agrupar (GROETELAARS, 2015, p. 162).

2.3.2.4.2 Desenhos bidimensionais (2D)

Os arquivos de nuvens de pontos podem ser utilizados para facilitar o trabalho dos levantamentos, oferecendo o contexto real do objeto dentro do ambiente de desenho. Uma vez que uma nuvem de pontos é inserida ou tem sua imagem inserida dentro desse ambiente, ela é utilizada como guia para o desenho.

A instalação de *plugins* para importação de nuvens de pontos para *softwares* de desenho foi por muito tempo uma das formas mais utilizadas para elaboração de desenhos 2D. O método consiste na instalação de *plugins* para Autocad (ou *softwares* semelhantes como o Bentley Microstation), que permitem a importação e a manipulação das nuvens de pontos em ambiente CAD (*Computed Aided Design*), podendo utilizar as ferramentas padrão do *software* para navegar pela nuvem. Os *plugins* típicos para realizar essas tarefas são: Leica CloudWorx, Kubit Pointcloud, LFM CAD Link, etc.

Com a utilização dos *plugins*, é possível selecionar uma faixa estreita da nuvem de pontos, de maneira a extrair um perfil da nuvem. Assim, plantas, cortes e elevações podem ser desenhados sobre a nuvem de pontos normalmente em ambiente de desenho CAD com os próprios comandos do *software*.

Segundo Genechten e colaboradores (GENECHTEN, 2008, p. 56), elevações podem ser criadas por dois processos: Quando há informação de cor disponível através de fotografias, ou há intensidade de reflexão do feixe de laser, os pontos podem ser projetados ortogonalmente a um plano, gerando uma verdadeira ortofoto. O processo de elaboração do desenho, portanto, se assemelha ao anteriormente descrito, de

desenho sobre ortofotos. Lembrando que a precisão da elevação depende muito da resolução da varredura. A outra maneira de elaborar uma elevação é traçando as arestas importantes para a representação gráfica do objeto, como aberturas de janelas, aberturas de portas, etc. sobre a nuvem de pontos 3D e, em seguida, projetar todos os elementos 3D em um plano. Essa técnica requer um bom entendimento geométrico e uma capacidade de reconhecer estruturas em nuvens de pontos de forma eficaz.

Segundo Bertocci (BERTOCCI, 2017), uma outra forma de elaborar um desenho 2D com base em nuvens de pontos é via geração de ortofotos da nuvem de pontos e a inserção das ortofotos por imagem *raster* no ambiente CAD. Assim, após a aquisição dos dados e o registro das nuvens, é possível escolher um plano de corte, selecionar os perfis desejados para desenho (plantas ou cortes) ou ainda gerar uma imagem das fachadas. As imagens são, então, inseridas em Autocad no mesmo sistema de referência (x, y, z) do arquivo original de nuvens de pontos, de forma que todas as imagens estejam posicionadas fielmente, de acordo com as coordenadas definidas. O *software* de manipulação de nuvens de pontos gera um arquivo de texto indicando a forma de inserção da imagem em ambiente CAD, de maneira que ela seja posicionada exatamente nas coordenadas compatíveis com as coordenadas daquela imagem na nuvem. É importante destacar que essas imagens correspondem metricamente à realidade, ou seja, não há distorção da escala, sendo inseridas em escala real no Autocad. Finalmente, iniciam-se os desenhos, sobrepondo as linhas às imagens. Vale lembrar que a inserção das imagens correspondentes às elevações e aos cortes no ambiente CAD se dará em posição vertical em relação ao plano de desenho padrão do *software* (com visão do plano XZ/*Front*), já que a posição das coordenadas dessas imagens na realidade do objeto está em posição vertical em relação ao plano XY/*Top*.

Figura 39. Cada imagem exportada gera um arquivo TWF (bloco de notas) onde constam as instruções de inserção em Autocad. Arquivo gerado pela exportação da ortoimagem pelo *software* Cyclone. Fonte: Laboratório de levantamento digital com *laser* 3d aplicado ao restauro urbano e arquitetônico FAUUSP - DIDA UNIFI. Setembro/2017.

Vale ressaltar que esse método é totalmente interativo, isto é, não há automatização de nenhum processo e os desenhos são gerados conforme o usuário os desenha. Assim, o usuário deve traçar as linhas, arcos, polilinhas que representem a forma que está expressa na nuvem de pontos: A modelagem direta em 2D a partir de nuvens de pontos é, portanto, uma questão de interpretação humana. O usuário faz a leitura da forma do objeto na representação da nuvem de pontos e precisa compreender como os pontos traduzem essa forma.

Esta é uma tarefa trabalhosa e que requer conhecimento técnico e experiência na leitura dos dados contidos nas nuvens de pontos. Assim, além do domínio da técnica de registro e manipulação das nuvens, é necessário o conhecimento profundo da edificação e da linguagem da nuvem de pontos. Deve-se considerar também que esse

processo pode levar um tempo considerável para completar apenas um corte ou uma planta, a depender da complexidade e das dimensões do objeto. Para que a interpretação dos dados não varie de acordo com o indivíduo que está lendo a nuvem de pontos, é preciso que todos os envolvidos na elaboração dos desenhos saibam tecnicamente interpretar os dados presentes na nuvem corretamente, sob risco de um desenho ser incompatível com a realidade ou ainda, os mesmos elementos presentes nas fachadas, por exemplo, serem desenhados de forma diferente, a depender de cada pessoa que elaborar o elemento. Questões de desenho, como o entendimento da forma correta de uma cimalha ou de um elemento decorativo são de extrema importância para que todos os componentes e elementos construtivos possam ter desenhos coerentes entre si, e que retratem a realidade do objeto.

(a)

(b)

Figura 40. (a) Nuvem de pontos da fachada da edificação. (b) Desenho elaborado em Autocad sobre nuvem de pontos. Fonte: Aura Survey UK. Disponível em: <https://aurasurvey.co.uk/blogs/3d-laser-scanning-and-point-cloud-modelling-the-new-era-of-survey>. Acesso em: 25/06/2018

(a)

(b)

(c)

Figura 41. Ortofotos de nuvem de pontos representando a fachada do Edifício Baraúna, em São Paulo (a), (b) e (c); Elaboração de desenho em Autocad sobre as ortofotos (d). Fonte: Laboratório de levantamento digital com *laser* 3d aplicado ao restauro urbano e arquitetônico FAUUSP-UNIFI. Setembro/2017.

Figura 42. (a) Nuvem de pontos da fachada da edificação. (b) Desenho elaborado em Autocad sobre nuvem de pontos. Fonte: *Laser Scanning Buildings UK*.

Outra forma de elaborar desenhos 2D com base em nuvens de pontos é com a utilização de *softwares* específicos, como o Autodesk Recap. O *software* é capaz de

converter os arquivos gerados pelos *softwares* de aquisição de dados do *laser scanner*⁵¹ em arquivos lidos pelo *software* Autocad, do mesmo desenvolvedor do Recap, a Autodesk. O *software* converte dados de varredura brutos em arquivos de varredura (arquivos RCS) e arquivos de projeto (arquivos RCP) que referenciam vários arquivos RCS, sendo ambos os formatos passíveis de serem anexados a desenhos em AutoCAD. Para anexar uma nuvem de pontos (nuvens de pontos em arquivos RCS ou RCP) a um desenho, deve-se proceder como anexar qualquer outra referência externa (*refex*). Se a unidade de medida na nuvem de pontos anexada diferir das unidades no desenho de destino, a nuvem de pontos será dimensionada automaticamente com base no tipo de unidade no desenho de destino⁵².

Com auxílio do *software*, é possível ainda gerenciar e melhorar o desempenho do sistema alterando as configurações de exibição das nuvens de pontos, de forma a facilitar a leitura dos dados, modificando o ruído visual, aumentando ou diminuindo o número de pontos visíveis e as dimensões do ponto.

Segundo o desenvolvedor dos *softwares* Autocad e Recap (Autodesk), assim como outros *softwares* de manipulação de nuvens de pontos, com o Recap é possível segmentar e recortar áreas poligonais ou circulares, de forma a visualizar apenas áreas relevantes da nuvem de pontos. No entanto, além dessas operações, o *software* permite seccionar a nuvem de pontos e promete extrair⁵³ geometria 2D dos dados, em um processo automatizado, identificando a geometria 2D subjacente na nuvem de pontos e criando um desenho de linha 2D. Por padrão, a geometria é criada em um plano coincidente com o plano de seção. É possível definir a geometria a ser extraída, em qual camada ela será criada, a cor das linhas ou polilinhas 2D resultantes, a largura das polilinhas e as configurações de tolerância.

No entanto, ainda que o *software* extraia as feições (*feature extraction*) da nuvem de pontos e gere desenhos 2D automaticamente, esse processo continua sendo pautado pela avaliação do indivíduo, do profissional que têm conhecimento técnico em interpretação dos dados das nuvens de pontos e conhecimento do objeto real, e não apenas das informações contidas nos dados coletados pelo *laser scanner*.

⁵¹ Cada fabricante de equipamento *laser scanner* gera um tipo de arquivo de nuvem de pontos, ou seja, o tipo de arquivo bruto nuvem de pontos dependerá do *laser scanner* utilizado na aquisição dos dados.

⁵² As nuvens de pontos não são suportadas em sistemas de 32 bits. É necessário um sistema de 64 bits e a aceleração de hardware deve estar ativada.

⁵³ Comando PCEXTRACTSECTION.

Figura 43. Nuvem de pontos manipulada em ambiente Autocad.

Fonte: Autodesk, publicado em 20 de mar de 2015. Disponível em: <https://youtu.be/rCR95F0Fo88>. Acesso em 26/06/2018.

Dutescu (2006, p.49) afirma que há duas técnicas para a geração de formas (2D ou 3D), além da técnica manual. São elas:

- Geração de linhas semi-automática: o usuário seleciona a faixa de nuvem de pontos desejada e o algoritmo identifica as arestas e cria as linhas que melhor se ajustem aos pontos.
- Detecção automática de feições e contornos dos objetos: o *software* utiliza algoritmos de reconhecimento de feições para detecção de arestas. Bons resultados neste tipo de operação dependem da complexidade do objeto e da densidade da nuvem de pontos, isto é, é necessário que o objeto seja relativamente simples, com geometria regular (peças mecânicas, por exemplo), e a nuvem tenha alta densidade.

Assim, ainda que nos últimos anos tenham sido desenvolvidos instrumentos no sentido de automatizar processos de extração de feições das nuvens de pontos, fica claro que o *3D Laser Scanning* é uma ótima ferramenta para levantamento arquitetônico, facilitando a transferência de dados para o computador, mas é imprescindível o olhar humano para interpretação de seus dados, o entendimento do que é preciso desenhar e o que é relevante para aquele levantamento. A experiência do indivíduo em lidar com as nuvens de pontos é determinante para a fidelidade do desenho ao objeto levantado.

2.3.2.4.3 Modelagem 3D

- Modelos de arestas

Os modelos de arestas (em inglês *wire-frame*) são modelos gerados a partir de nuvens de pontos por operações interativas, semi-automáticas ou automáticas. A forma de obtenção desse modelo se assemelha aos processos de geração de desenhos 2D, pois os algoritmos que trabalham nas operações de detecção de feições dos objetos são semelhantes para a geração de produtos 2D e 3D.

Dessa forma, os processos podem ser interativos, com o usuário traçando as linhas, polilinhas ou arcos sobre as arestas identificadas do objeto na nuvem de pontos. A identificação das arestas, nesse caso, cabe ao usuário, trazendo a necessidade de profundo conhecimento da obra, bem como das técnicas de interpretação e leitura das nuvens de pontos para que os dados sejam corretamente traduzidos para o modelo.

O modelo também pode ser gerado por operações semiautomáticas, quando o usuário seleciona o trecho da nuvem de pontos que se deseja obter a vetorização. Segundo Dutescu (2006, p.50), assim como para a obtenção dos desenhos 2D, bons resultados dessas operações dependem da alta resolução da nuvem de pontos e da regularidade da geometria do objeto, ou seja, objetos pouco complexos, com arestas bem definidas possibilitam produtos com melhores resultados, quando obtidos por operações automáticas. Para levantamentos de objetos arquitetônicos, em geral, essas operações não entregam resultados satisfatórios, devido à alta complexidade das formas arquitetônicas.

Os modelos de arestas apresentam limitações relacionadas à falta de superfícies de fechamento, o que impossibilita atribuir materiais de acabamento. Além disso, a leitura do modelo é dificultada pela transparência da representação, já que não há como esconder as linhas que estão nos planos mais afastados.

Figura 44. Detecção de feições em uma peça mecânica com arestas precisas (a); Nuvem de pontos de um elemento arquitetônico (b) e a detecção de feições do elemento ilustrando a dificuldade de identificação das arestas em um objeto com desenho complexo (c). Fonte: Adaptado de Dutescu, 2006.

Figura 45. Modelo de arestas parcial sobre nuvem de pontos (Autocad com *plugin* Cloudworx). Fonte: Dutescu, 2006.

Segundo Groetelaars (2015, p.146), devido a essas limitações, o modelo de arestas, normalmente é utilizado como base para obtenção de outros modelos geométricos (com superfícies ou sólidos).

- **Modelos a partir de primitivas geométricas**

Modelos sólidos ou de superfícies podem ser obtidos a partir da criação e do ajuste de primitivas geométricas ou formas básicas à representação da nuvem de pontos, a partir de operações de *sweep*, ou com a elaboração de formas livres, como as superfícies NURBS.

A utilização de primitivas geométricas para criação de um modelo a partir de nuvens de pontos consiste na adequação e no ajuste de primitivas geométricas, como esferas, planos, cilindros, cubos, etc, ao formato representado pela nuvem de pontos. Em outras palavras, é possível ajustar formas geométricas criadas em *softwares* de modelagem às formas da nuvem de pontos, de maneira a reconstruir a cena: os dados, antes apenas em pontos, passam a ser representados por figuras geométricas que, juntas, formam um modelo único. Isso é possível porque as primitivas possuem atributos geométricos que são definidos pelo usuário no momento da modelagem. Assim, o usuário define como será aquela primitiva, adequando-a à necessidade de representação expressa na nuvem de pontos.

Para tanto, para ajustar uma primitiva geométrica a um trecho compatível da nuvem de pontos são necessárias duas operações: (a) encontrar a melhor primitiva geométrica para cada conjunto de pontos da nuvem (esses conjuntos podem ter sido definidos no momento da segmentação, a depender do processo de modelagem); e (b) calcular os parâmetros que vão estimar o melhor ajuste entre a primitiva geométrica e o trecho da nuvem de pontos (DUTESCU, 2006, p. 40).

Um plano, por exemplo, pode ser criado utilizando três pontos que sejam coplanares e representem o plano que se deseja da nuvem de pontos. Há algoritmos que trabalham com parâmetros para ajustar o plano a um conjunto de pontos específico, excluindo pontos que não sejam coplanares ou que não representem o plano (parâmetros como distância entre os pontos e coplanaridade entre os pontos são utilizados). Processo semelhante é utilizado para criar outras primitivas geométricas.

Figura 46. Ajuste da primitiva geométrica esfera em duas situações de seleção de pontos: em (a) associação errônea e em (b) associação correta. Fonte: Dutescu, 2006.

Segundo Groetelaars (2015, p. 148), os processos automatizados são mais utilizados na área industrial, onde os objetos apresentam geometria regular, facilmente associados à primitivas geométricas (tubulações, por exemplo são associadas a cilindros, etc). Para objetos arquitetônicos, em geral, os processos são interativos, com a nuvem de pontos utilizada como referência para a modelagem manual.

Com operações de transformação das formas, isto é, operações de rotação, translação, espelhamento e escala, bem como operações booleanas de união, diferença e intersecção, é possível gerar formas mais complexas, adequando as primitivas geométricas à realidade da forma representada na nuvem de pontos.

Figura 47. Modelo a partir de primitivas geométricas: (a) Nuvem de pontos; (b) Modelo. Fonte: adaptado de Dutescu, 2006.

- **Criando objetos 3D: operações de transformação**

Para além da escolha da primitiva geométrica que se ajuste às condições formais da nuvem de pontos, o processo de modelagem deve prever a relação entre essas figuras geométricas, de forma que elas componham o modelo como um todo, e não como figuras separadas. Assim, as operações de transformação são parte do processo de modelagem e são utilizadas para adequação das primitivas geométricas à forma da nuvem de pontos, modificando as características da geometria das primitivas e criando formas complexas, mais adequadas para representação da forma real do objeto levantado.

Dutescu (2006, p.53) classifica as duas principais operações de transformação para modelagem da forma em:

Constructive Solid Geometry (GSC) é a técnica de representação que combina primitivas geométricas 3D simples modificadas por operações booleanas para a elaboração de modelos 3D de formas complexas.

As operações booleanas se dividem em:

- União: operação que une todos as formas em um único objeto:

Figura 48. Operações booleanas: união. Fonte: Dutescu, 2006.

- Combinação: semelhante à operação união, porém com a remoção da superfície sobreposta:

Figura 49. Operações booleanas: combinação. Fonte: Dutescu, 2006.

- Intersecção: Apenas a região comum aos dois objetos é mantida:

Figura 50. Operações booleanas: intersecção. Fonte: Dutescu, 2006.

- Subtração: Mantém apenas a região de um objeto selecionado que não é tocada pelo outro objeto:

Figura 51. Operações booleanas: subtração. Fonte: Dutescu, 2006.

- Fragmentação: operação que combina intersecção e subtração, modificando os dois objetos combinados em três novos objetos:

Figura 52. Operações booleanas: fragmentação. Fonte: Dutescu, 2006.

Juntamente com a *Constructive Solid Geometry* (CSG), a *Boundary Representation* (B-Rep ou Representação de Limite, em português) é a outra técnica de modelagem mais utilizada em *softwares* CAD e em *softwares* de computação gráfica. Segundo Dutescu (2006, p. 55), a geometria do objeto é definida por uma combinação de superfícies, curvas e pontos, e representada por um conjunto de entidades topológicas (sólidos, conchas, faces, laços, asas, bordas e vértices). São

os parâmetros geométricos do objeto que determinam a forma e a posição do objeto, enquanto superfícies, curvas e pontos, bem como a relação entre esses elementos.

Os dois métodos de representação de objeto B-Rep e CSG são, em geral, suficientes para atingir bons resultados em modelos complexos. A escolha do método dependerá de fatores como o nível de complexidade, da escala de representação/simplificação do modelo, já que em alguns casos, haverá modelos muito complexos para o ajuste de primitivas, tornando o trabalho moroso e muito trabalhoso; fatores como disponibilidade de *software* e *hardware*, espaço para o armazenamento de arquivos (arquivos CSG são, em geral, menores) ou compatibilidade com outros modelos de interesse para o projeto também devem ser considerados.

- **Modelos a partir de operações de *sweep***

Os *softwares* CAD ou de computação gráfica, geralmente, trabalham com formas geométricas sendo modificadas por operações de transformação baseadas em processos de *sweep* ou de transformação básica. “A geração de modelos de superfícies ou sólidos, através de operações de *sweep* (varredura), dá-se pelo movimento de uma entidade bidimensional (geratriz, conhecida como seção, perfil, contorno ou profile) ao longo de um caminho (diretriz, mais conhecida como *path*).” (GROETELAARS, 2015, p. 149).

As operações básicas e de *sweep* são comandos comuns a praticamente todos os *softwares* de modelagem e consistem em operações de:

- **Revolução:** operação que cria a superfície ao girar uma seção bidimensional em torno a um eixo. Também pode ser chamada de torno;

Figura 53. Operação de revolução. Fonte: Tutorial 3D Max, Autodesk.

- Extrusão com diretriz reta e com diretriz curva: Operações que criam superfícies a partir da varredura de uma seção ou linha por um caminho reto (geração de prismas), sinuoso ou curvo (geração de formas complexas).

(a)

(b)

Figura 54. Operação de extrusão de uma seção (a) e de linhas (b).
Fonte: Tutorial 3D Max, Autodesk.

- Modelos a partir de operações de *Lofting*
 - *Lofting* (ou extrusão com variação da seção transversal) é uma operação que gera superfícies ou sólidos, sendo um importante método de criação de objetos 3D. É possível fazer objetos a partir de uma diretriz que conduz a criação de uma superfície (ou sólido), unindo diversas seções.

Figura 55. Operação de *lofting* ou extrusão com variação da seção transversal.
Fonte: Tutorial 3D Max, Autodesk.

- *Ruled Surface*: operação que cria uma superfície a partir de uma linha reta, cujas extremidades estão varrendo duas curvas diferentes que definem as bordas da superfície.

Figura 56. Operação *ruled surface*. Fonte: Tutorial 3D Max, Autodesk.

- *Rail sweep surface*: As *rail sweep surfaces* são construídas a partir de curvas. Uma curva define a seção transversal e a(s) outra(s), a(s) borda(s) da superfície. É um processo parecido com a operação *ruled surface*, porém é também uma curva que é varrida ao longo das outra(s) curva(s) e não uma reta.

Figura 57. *Rail sweep surface*. Fonte: Tutorial 3D Max, Autodesk.

- Modelos de superfícies do tipo NURBS (*Non-Uniform Rational B-Splines*)

A geometria NURBS ou superfícies de formas livres (*free-form*) é capaz de representar tanto geometrias simples, como cubos, esferas, linhas e círculos, como geometrias complexas, como formas orgânicas (presentes no corpo humano ou em outros elementos da natureza) ou peças de automóveis, etc. Dessa forma, devido à sua alta capacidade de representação, a criação de formas livres é uma ferramenta muito utilizada em processos de modelagem, sendo normalmente realizada em *softwares* de computação gráfica, em geral, em arquivos compatíveis com *softwares* do tipo CAD.

Segundo Groetelaars (2015, p.151), as formas livres são superfícies na forma de malha ou trama de curvas vetoriais contínuas. Entre as curvas estão os *patches* (retalhos) , que formam a superfície que envolve o objeto.

Figura 58. Superfície NURBS: os pontos de controle estão representados em vermelho.
Fonte: Tutorial 3D Max, Autodesk.

A geometria da forma é definida pelo grau da curva ou da superfície, que são definidos pelos “pontos de controle” (conjunto de vértices que não estão na superfície da forma). Cada ponto de controle tem pesos diferentes que definem o formato da superfície ou da curva: modificando o peso do ponto, modifica-se a curvatura da

superfície no entorno correspondente daquele determinado ponto. Essa área do entorno é determinada pelo *knot vector* (vetor de nós): trata-se de uma matriz de valores que especifica a região de influência dos pontos de controle na curva ou superfície. (ALTMANN, 2004, apud DUTESCU, 2006, p.68)

Assim, além da criação e edição de NURBS pelos pontos de controle, em *softwares* de computação gráfica, é possível gerar uma geometria NURBS através da conversão de primitivas geométricas, formas ou patches em NURBS, ou ainda gerando objetos sólidos a partir de modelos de arestas.

Existem muitas operações de edição de NURBS, dentre as quais, destacam-se:

- *Boundary surface* e *cap surface*: são superfícies criadas para fechamento de bordas em polígonos fechados ou curvas adjacentes.

Figura 59. Operação *cap surface*. Fonte: Tutorial 3D Max, Autodesk.

- *Blend*: operação que cria uma superfície unindo suavemente duas ou mais superfícies;

Figura 60. *Blend*. Fonte: Tutorial 3D Max, Autodesk.

- Operações de extensão ou corte: (a) Extensão ou *extend*: operação que cria superfícies prolongando curvas ou superfícies selecionadas até uma

outra curva ou superfície; (b) Corte, *trim* ou *slice*: operação oposta à extensão. Corta uma curva ou superfície criando novos limites.

Figura 61. Corte, *trim* ou *slice* em diferentes modelos. Fonte: Tutorial 3D Max, Autodesk.

- *Fillet*: Operação que cria uma superfície curva que une as bordas de duas outras superfícies. Normalmente, a operação é utilizada para aparar as duas superfícies originais, com a nova superfície criando uma transição entre elas.

Figura 62. Operação *fillet*. Fonte: Tutorial 3D Max, Autodesk.

Piegl (1991, apud Groetelaars, 2015, p.151) considera que a utilização de NURBS apresenta como vantagens:

- A possibilidade de representação de formas padrão (cônicas, quadráticas, superfícies de revolução) como formas livres;
 - Flexibilidade de representação de grande quantidade de formas, graças à edição dos pontos de controle e de outras ferramentas de edição;
 - Rapidez na geração de formas complexas, bem como menor espaço de armazenamento;
 - A não deformação dos objetos quando submetidos a operações de transformação (escala, rotação, translação).
- **Modelos a partir de malhas triangulares**

A geração de malhas poligonais é a forma mais simples de gerar uma superfície a partir de nuvens de pontos, sendo a malha triangular irregular (ou TIN, do inglês *Triangular Irregular Network*) a mais simples dentre as malhas poligonais.

Segundo Dutescu (2006, p. 58), uma malha poligonal é descrita por sua topologia (como os elementos em rede estão dispostos; como são suas estruturas vizinhas) e geometria (coordenadas dos vértices). A estrutura topológica de uma malha contém vértices, arestas, triângulos e outras características presentes na superfície, como vazios e componentes conectados.

Figura 63. Malha triangular. Fonte: *Institute of Industrial Science, University of Tokio*. Disponível em: <http://wtlab.iis.u-tokyo.ac.jp/wataru/lecture/rsgis/rsnote/cp6/6-10-2.gif>

Os modelos em malha poligonal são os mais adequados para representar objetos complexos e irregulares, que não podem ser gerados por outros métodos, como o ajuste de primitivas geométricas ou operações de *sweep*. São gerados por *softwares* de computação gráfica ou CAD, podendo ser o produto final de representação ou um produto intermediário, elaborado para conversão em superfícies NURBS, por exemplo.

É um modelo largamente utilizado para representação de formas complexas irregulares, seja pela rapidez e disponibilidade dos *softwares* que trabalham com a ferramenta, seja por sua capacidade de representação (GROETELAARS, 2015, p. 147).

Como desvantagem, a malha TIN requer grande espaço para armazenamento e computadores com boa configuração para manipulação de arquivos pesados.

Com vistas à elaboração de um modelo final, é necessário processar e editar a malha TIN, de maneira a reparar problemas topológicos e geométricos, comuns em malhas poligonais criadas a partir de nuvens de pontos. Ainda que tenha existido uma etapa de otimização da nuvem de pontos para correção de erros e pontos indesejados, é esperado que alguns erros apenas possam ser identificados quando da geração da malha triangular. Assim, procedimentos de correção, como limpeza e edição de vazios da malha, por exemplo devem ser realizados para um modelo que represente de fato a realidade do objeto.

Os métodos a seguir se atêm na edição de malhas triangulares, uma vez que as malhas poligonais podem se converter em malhas triangulares com a subdivisão dos seus polígonos.

Figura 64. Exemplos de erros topológicos e geométricos da malha triangular.
 Fonte: adaptado de Dutescu, 2006.

Assim, para otimização da malha triangular, deve-se identificar e reparar erros, remover dados indesejáveis e corrigir falhas. As principais operações são na maioria das ocasiões semiautomáticas e consistem em:

- Correção de triângulos que se intersectam:

Dois triângulos na malha que não são adjacentes, mas sobrepostos, são erros que atrapalham a continuidade da malha e a representação do modelo. Após a identificação dessa condição (de forma manual ou automática), deve-se corrigir o erro com a remoção de um dos triângulos ou com a formação de novos triângulos, conforme a Figura 65:

Figura 65. (a) Identificação de triângulos sobrepostos; (b) Eliminação de um dos triângulos sobrepostos; e (c) Correção da sobreposição com a formação de novos triângulos. Fonte: Dutescu, 2006.

- Corrigir triângulos que se cruzam:

A situação acontece quando existem dois triângulos que se cruzam, mas o vértice aparentemente em comum não existe, ou seja, eles não estão se tocando, não existe um ponto comum, se existisse esses triângulos estariam adjacentes e seria uma situação sem erros na malha. As faces (triângulos) que contêm as arestas do falso vértice são chamadas faces de cruzamento; uma face de cruzamento pode ser gerada por duas arestas que têm um vértice comum e seu triângulo cruza uma aresta sem componente.

O procedimento de limpeza pode ser realizado cortando as faces cruzadas, gerando dois novos triângulos e o vértice que faltava, ou removendo as faces cruzadas, criando novas faces maiores. A escolha da melhor opção deve se ater à melhor representação da forma do objeto.

Figura 66. (a) Identificação dos triângulos A, B, C; (b) Com o corte do triângulo A, há a geração de dois novos triângulos A1, A2 e do vértice P5; (c) Remoção da aresta errônea e criação de duas faces maiores B e C. Fonte: Dutescu, 2006.

- Corrigir triângulos múltiplos, não pertencentes à malha:

A situação errônea ocorre quando uma aresta é compartilhada por três ou mais triângulos. A topologia correta da malha prevê que cada aresta possa pertencer apenas a dois triângulos adjacentes. Quando um terceiro triângulo parte de uma aresta que já tem dois outros triângulos, não há como esse terceiro triângulo fazer parte da malha de forma correta. Na Figura 67, é possível observar que a aresta 1-2 é compartilhada pelos triângulos A, B e C, o que não é possível em uma malha triangular.

Figura 67. (a) Identificação de triângulos múltiplos – triângulo B; (b) Correção realizada pela criação da aresta 1-3; (c) Correção pela remoção do triângulo B. Fonte: Dutescu, 2006.

- Edição da malha para correção de vazios, eliminação e adição de triângulos:

Para identificar vazios é necessário observar se há arestas não compartilhadas por dois triângulos na área interna da malha. Arestas pertencentes a apenas um triângulo é indicação de vazios na malha. Na Figura 68(a), é possível observar as três situações em que há arestas pertencentes a um triângulo apenas: arestas dos limites da malha triangular (A), arestas do vazio central (B) e arestas da ilha que se formou no vazio (C). Na Figura 68(b), vê-se o preenchimento do vazio formado entre as arestas B e C com a formação de novos triângulos. Em geral essa identificação é manual ou semiautomática.

Figura 68. (a) identificação das possíveis situações de arestas compartilhadas apenas com dois triângulos; (b) Preenchimento dos vazios. Fonte: Dutescu, 2006.

Triângulos adicionais podem ser criados manualmente com a indicação dos vértices ou das arestas que irão compartilhar os novos triângulos.

Figura 69. Adição de novos triângulos: na figura os triângulos A e B são criados com a inserção da aresta 1-3 (E1). Fonte: Dutescu, 2006.

É possível também editar a malha para que ela represente melhor o objeto levantado. Ainda que a nuvem de pontos tenha sido otimizada, erros de representação podem ocorrer. Além de vazios, podem existir triângulos que não sejam fiéis ao formato do objeto, por exemplo. Nesses casos, pode-se mover os vértices, tal como pontos de controle, ou ainda mover arestas ou mesmo um grupo de faces inteiras para edição da forma da malha. Podem ainda existir situações em que triângulos precisem ser eliminados e outros triângulos criados, para melhor representação.

Dutescu (2006, p. 65) afirma que o processo de edição, na maioria dos casos, é um processo manual, subjetivo, e considerado uma fase de modelagem, mais do que um processo de engenharia reversa, como ocorre nos casos semiautomáticos de correção da malha com uso de algoritmos. É preciso atenção especial na fase de edição, pois qualquer modificação em um vértice apenas, altera a estrutura dos componentes do entorno (ligados topologicamente), gerando defeitos na malha e falhas na representação.

A edição dos vazios pode ser realizada manualmente, com a inserção de novos vértices e arestas onde melhor representem a forma do objeto, ou com uso de algoritmos de preenchimento. Podem ser corrigidos vazios em áreas planas ou áreas com curvatura. Para tanto, há algoritmos que unem os diversos vértices, de forma a criar os triângulos entre entres. Para vazios maiores, há algoritmos que trabalham diminuindo as dimensões do vazio original criando, por exemplo, uma ponte, como ilustrado na Figura 70.

Há processos de eliminação/adção de triângulos para unir diferentes malhas, por exemplo. Nesses casos, deve-se adequar as áreas sobrepostas das malhas, removendo os triângulos em conflito, identificando as novas arestas de limite e criando

os triângulos necessários para união das malhas, de forma fiel à forma do objeto levantado.

Figura 70. Preenchimento de vazios com a adição de novos triângulos: (a) adição manual; (b) triangulação; (c) Ponte. Fonte: Dutescu, 2006.

Há situações em que não se verifica a representação do objeto com o nível de precisão necessária para visualização, tal como pretendido pelo levantamento. Nesses casos, quando a malha não cumpre o nível de continuidade de curvatura entre faces adjacentes, ou o número atual de faces produz uma superfície aproximada, é necessário um processo de refino (ou aperfeiçoamento) da malha com a criação de mais triângulos, de forma a suprir essa demanda de maior representação. O processo pode ser manual ou através de um algoritmo para subdividir as faces em três ou quatro novos triângulos, adicionando novos vértices em cada uma de suas bordas ou no centro. Pode ainda diminuir os triângulos em áreas planas, onde não há necessidade de tantos triângulos para representação. O algoritmo calcula também a melhor posição dos vértices, melhorando a assim a continuidade da curvatura.

Figura 71. Processo de refino da malha poligonal. Fonte: Tarini, Pietroni, et al., 2010.

A operação inversa à operação de refino é a decimação, ou seja, a redução do número de triângulos na malha. É preciso ter em mente que o processo de decimação,

se não for bem administrado, pode alterar consideravelmente a representação do objeto.

Figura 72. Operação de decimação. Fonte: Tarini, Pietroni, et al., 2010.

Algoritmos para identificação de erros, refino e decimação da malha podem ser aplicados para obtenção de produtos mais adequados às necessidades do levantamento. O número de polígonos está diretamente relacionado ao tamanho do arquivo e à capacidade de representação de detalhes do objeto. Normalmente, quanto maior o número de triângulos, maior a capacidade de representação de detalhes do objeto, conforme demonstrado no Quadro 10. Os processos são semiautomáticos, com os valores de tolerância inseridos pelo usuário.

Figura 73. (a) Malha com menor nitidez/ menor número de polígonos; (b) Malha com nitidez/número de polígonos intermediário; (c) Malha com maior nitidez/ maior número de polígonos. Fonte: Blog oficial Photomodeler, disponível em: <https://info.photomodeler.com/blog/photomodelers-new-point-cloud-meshing-capabilities/>

Nível de nitidez	Número de triângulos	Tempo de reconstrução
1	6.629	1 segundo
2	26.444	3 segundos
3	78.425	10 segundos
4	83.342	10 segundos

Quadro 10. Relação entre a nitidez, o número de triângulos e o tempo de reconstrução da malha (relaciona-se com o tamanho do arquivo). Fonte: Blog oficial Photomodeler, disponível em: <https://info.photomodeler.com/blog/photomodelers-new-point-cloud-meshing->

- Remover *spikes* (picos):

Spikes são gerados por pontos fora da estrutura geral da nuvem, remanescentes do processo de remoção de pontos indesejados. São pontos que não representam a forma do objeto, mas que foram capturados na fase de aquisição de dados por diversas razões (ver sobre pontos indesejados e outliers no item 2.3.2.3.3 Otimização da Nuvem de Pontos).

O processo pode ser interativo, com a identificação dos *spikes* pelo usuário, ou semiautomático, com o usuário inserindo valores de tolerância para comprimentos máximos de arestas, área das faces dos triângulos, desvio de ângulos entre faces, etc. (DUTESCU, 2006, p. 63).

Figura 74. (a) Identificação de spikes. (b) Malha após correção. Fonte: Dutescu, 2006.

É importante ter em mente que apesar dos métodos semi e automáticos facilitarem muita o trabalho de modelagem, é necessária a supervisão e análise humana, para garantir resultados compatíveis com as necessidades do levantamento, com a malha final oferecendo o nível de precisão exigido. Deve-se atentar ainda para a malha final não conter mais informações do que o nível exigido de detalhes, sob risco de aumentar o tamanho dos arquivos, dificultando o armazenamento e a manipulação do modelo, sem que isso adicione informação relevante.

2.3.2.5 Controle de qualidade e exportação dos produtos

É importante ter em mente que a qualidade começa com o total entendimento do projeto. Isso permite a correta escolha dos equipamentos *softwares*, resolução, método de registro, etc.

Durante todas as etapas do trabalho, desde o planejamento, passando pelo trabalho de campo, pré-processamento e processamento, é recomendável que exista um método de controle e verificação da qualidade do trabalho desenvolvido, sob risco de observar problemas em etapas muito posteriores, gerando muito retrabalho. Ajustes no percurso sempre terão que ocorrer e é melhor que esses ajustes sejam realizados o

quanto antes. Dessa forma, recomenda-se que a equipe desenvolva um método de verificação adequado para cada trabalho.

Além dos fatores técnico-operacionais de definição da resolução apropriada, localização das estações e dos alvos, etc., a equipe também deve se atentar a questões como a cobertura de área pela varredura, se toda a cena foi capturada e, se alguma área não o foi, ocorreu devido a um erro ou propositalmente? A cena será concluída com a utilização de levantamentos diretos ou por outra técnica? Se houve fotografias de referência com câmera de alta resolução, aquisição correta do posição dos alvos e demais levantamentos diretos necessários, entre outros fatores relevantes. Cada projeto deverá ter um sistema de verificação das etapas adequado às suas especificidades.

Há a verificação da precisão do trabalho final, que consiste na sua validação de duas formas: métrica e semântica.

“A validação métrica corresponde naturalmente à comparação entre as medidas que têm no desenho e as medidas que se tiram no local. Este aspecto já foi discutido acima. A validação semântica corresponde à verificação da correção ou incorreção do registo no que diz respeito à interpretação. Trata-se, por exemplo, de verificar se algum elemento ficou omissa na representação por não ser visível ou perceptível nas fotos, de verificar se o que foi registado corresponde de fato a uma interpretação aceitável das características do objeto.” (MATEUS, 2012, p. 267)

É importante que essa etapa de verificação final seja realizada, e fica evidente nesse momento, que o conhecimento prévio do objeto do levantamento é primordial para o sucesso da verificação. “Por mais indireto que seja um método de levantamento, nunca se pode considerar dispensável o contato direto com o objeto arquitetônico como uma fonte de conhecimento do mesmo.” (MATEUS, 2012, p. 267)

Assim, procede-se com checagem manual de dimensões ou ainda a utilização de *softwares* específicos, por exemplo, *softwares* que sobreponham a nuvem de pontos e o modelo geométrico/desenhos bidimensionais para análise automática da precisão, a partir de cores que indicam o desvio da modelagem. Com essa análise, é possível fazer ajustes no modelo ou nos desenhos (GROETELAARS, 2015, p. 165).

Finalmente, os produtos são exportados para programas CAD e BIM, *softwares* de animação, renderização, simulação, realidade virtual, prototipagem, etc., de acordo com a necessidade do projeto.

PARTE 3

**O RESTAURO DO PALACETE TEREZA LARA
E O USO DA TECNOLOGIA *3D LASER SCANNING***

3.1

APRESENTAÇÃO

Figura 75. O Palacete Tereza Lara após as obras de restauro. Fonte: Estúdio 58/Concrejato. 2017.

Em janeiro de 2009, por iniciativa da proprietária do Palacete Tereza Lara⁵⁴, foi contratado o projeto de restauro com vistas à recuperação do edifício, localizado no coração do centro histórico da cidade de São Paulo.

A equipe de trabalho dispunha de 120 dias para a elaboração do projeto, que pretendia preservar e conservar as suntuosas fachadas voltadas para as ruas Quintino Bocaiúva, Direita e José Bonifácio, além de elaborar uma proposta de modernização das instalações internas do edifício e preservação de seus componentes construtivos e materiais de acabamento. O edifício encontrava-se em processo de tombamento no CONPRESP/DPH⁵⁵, órgão responsável pela preservação do patrimônio cultural da

⁵⁴ Por vezes, o nome Palacete Tereza Lara será substituído pela sigla PTL.

⁵⁵ CONPRESP: Conselho Municipal de Preservação do Patrimônio Histórico, Cultural e Ambiental da cidade de São Paulo. DPH: Departamento de Patrimônio Histórico. Ambos estão no âmbito da Secretaria de Cultura municipal.

cidade de São Paulo. Neste sentido, era necessário o acompanhamento dos trabalhos pelo órgão de preservação municipal e a sua aprovação do projeto de restauro.

O edifício foi projetado pelo arquiteto Augusto Fried e inaugurado em 1910. Desde sua construção, o Palacete Tereza Lara teve uso comercial, com o térreo ocupado por comércio, com lojas abertas para as ruas e escritórios nos demais pavimentos.

O lote, anteriormente à construção do edifício, era ocupado pelo casarão de dona Sofia Eugênia da Silva Marques e foi comprado por Antônio de Toledo Lara para a construção do palacete. O edifício sempre esteve em propriedade da família Toledo Lara, permanecendo assim até os dias de hoje.

A arquitetura da edificação pode ser classificada como eclética, tendo como principal característica a referência de diversos estilos arquitetônicos. No caso do palacete, há claras indicações renascentistas, maneiristas e barrocas. As fachadas são sobrecarregadas e apresentam diversos elementos decorativos e trabalhos em volumes, altos e baixos relevos, trazendo para a obra uma composição elaborada e complexa. Apresenta um conjunto de balcões no primeiro e segundo pavimentos que, juntamente com as cornijas ora interrompidas pelos balcões, marcam a posição dos andares. O ritmo é ditado pelas aberturas das portas-balcões e as pilastras de seção retangular que conduzem verticalmente o olhar da base do edifício até o fechamento superior, arrematado por uma cornija de entablamento proeminente, encimada por uma platibanda balaustrada. Há uma sobrecarga ornamental, com presença de carrancas, esculturas alegóricas, e outros motivos decorativos como guirlandas, cártulas, pináculos e medalhões que dão grande interesse visual ao prédio.

O edifício principal foi construído em alvenaria portante de tijolos sobre fundação de alvenaria de pedra, com fachadas apresentando acabamento em argamassa de areia, cimento e cal, e embasamento composto por uma alvenaria de pedras de bossagem, com silhares almofadados, arestas em bisel e elementos decorativos esculpidos na mesma pedra.

As fachadas externas não possuem acabamentos em pintura, mas à época do projeto, algumas áreas da alvenaria de pedra da fachada (térreo) apresentavam pintura esmalte.

O telhado da edificação principal tem estrutura em madeira e cobertura de telhas francesas. Os anexos que foram construídos posteriormente no vazio central do edifício apresentam cobertura de telhas de fibrocimento.

As esquadrias das fachadas do primeiro e segundo pavimentos são em madeira pinho de riga com pintura esmalte, enquanto as portas voltadas para a rua, no térreo, são de aço de enrolar, com bandeiras em gradis de ferro.

Figura 76. Vista de parte da fachada voltada para a Rua Quintino Bocaiúva. Fonte: Concrejato.

Figura 77. Particular de uma das esculturas da fachada. Fonte: Concrejato.

Figura 78. Particular de uma das carrancas presentes no final das pilastras. Fonte: Concrejato.

O edifício, desde as décadas de 40 e 50, passou a ser conhecido como “A Esquina Musical de São Paulo”, pois se tornou uma referência para a compra de instrumentos e partituras musicais com a presença da “Casa Bevilacqua” e da “Casa

Irmãos Vitale”, que ocuparam lojas no prédio desde sua construção. Além disso, foi por muitos anos a sede da Rádio Record de São Paulo, passando por ali os maiores compositores e cantores brasileiros da época. Os balcões do palacete foram importantes porta-vozes da Segunda Guerra. As pessoas se amontoavam na rua, embaixo do balcão da rádio, aguardando que a Rádio Record anunciasse os últimos acontecimentos. Desde fevereiro de 2017, a Casa de Francisca⁵⁶ ocupa o primeiro pavimento, mantendo viva a vocação musical do edifício.

A localização do edifício e o formato do lote foram determinantes para a concepção espacial e proposta arquitetônica. Localizado no encontro das ruas Direita, Quintino Bocaiúva e José Bonifácio, o edifício nasceu no epicentro da vida citadina de São Paulo.

“O Triângulo é onde a cidade de São Paulo nasce. O perímetro delimitado pelas atuais ruas Direita, São Bento (antiga rua Direita de São Bento) e 15 de Novembro (antiga rua do Rosário, depois da Imperatriz e, desde o início da República, 15 de Novembro), no Vale do Anhangabaú, concentra a ferveção populacional da São Paulo do início do século XX.

As duas ruas “direitas” (a de Santo Antônio e a de São Bento) eram planas, retas e cruzavam-se em ângulo reto, fato único na cidade, razão por que este ponto era conhecido como “quatro cantos”.

A área do Triângulo era onde se concentravam as principais funções e cujos vértices eram balizados pelos conventos de São Francisco, São Bento e São Carmo. As ruas não iam além dos vales dos rios Tamanduateí e Anhangabaú.

Consideradas estreitas até para os padrões de construção da época, com o passar do tempo, as “Ruas do Triângulo” se transformaram, naturalmente, em ruas estritamente para pedestres.

Durante o governo de João Teodoro (1872-1875), foi feito o calçamento das ruas da região, uma novidade então na época, abrangendo também o Largo do Rosário e a Praça da Sé.

O Triângulo acabou virando uma região de passeio. A expressão “fazer o Triângulo” acabou denominando o passeio de grupos de rapazes saindo do Largo São Bento, avançando pelas ruas 15 de Novembro, Direita e São Bento., enquanto as moças faziam o trajeto inverso.” (BUSCARIOLLI, 2009, p. 6).

⁵⁶ A Casa de Francisca é uma casa de apresentações musicais, reduto da cena musical alternativa, voltada à diversidade musical brasileira. Esteve por nove anos em um pequeno sobrado à Rua José Maria Lisboa, no Jardim Paulista quando, com 44 lugares, era considerada a menor casa de shows. Transferiu-se para o Palacete Tereza Lara em 8 de fevereiro de 2017, ampliando o número de lugares para 120, mas mantendo o ar intimista das apresentações.

O edifício dispunha de uma localização privilegiada, com amplitude visual para que fosse apreciado pelos pedestres a partir do Largo da Misericórdia e do caminhar pelas atuais ruas 15 de Novembro, Quintino Bocaiúva, Direita e José Bonifácio.

Figura 79. Localização do Palacete Tereza Lara indicada em vermelho. Fonte: Google Earth Pro. 2018.

Figura 80. Detalhe do mapa criado nos anos 70 pela Cota Engenharia, representando trecho da cidade em perspectiva cavaleira, com todas as edificações existentes. Em vermelho a indicação da localização do Palacete Tereza Lara. Fonte: Pesquisa Histórica do Projeto de Restauro do PTL.

Figura 81. Vista superior do edifício. Fonte: Estúdio 58 / Concrejato. 2017.

Código do IPTU pesquisado
Setor/Quadra/Lote/Dac
005.004.0013-1
Dados de Tombamento
Nível de preservação do Imóvel:
TOMBADO
Descrição dos atos de tombamento do Imóvel:
RES. 22/16 - TOMB. DO CONJUNTO IMOVEIS E LOGRADOUROS INTEGRANTES DA Z8-200 (ANEXO I - ITEM 123); RES. 17/07 - TOMB. DA AREA DO CENTRO VELHO (LISTADO COMO A.E. - VIDE ART. 4º); A.E. DA CASA DA MARQUESA DE SANTOS (TEO RES. 05/91); A.E. RES. SC S/N/70; ETC.
Endereço secundário do Imóvel:
DIREITA 115, 119, 123, 133, R. C/ QUINTINO BOCAIUVA 16, 22, 24, 26, 30, R. C/ JOSE BONIFACIO 50, 54, 58, 62, R.
Denominação do imóvel:
ANTIGA RÁDIO RECORD / ÁREA DO CENTRO VELHO

Figura 82. Dados do tombamento do imóvel. Fonte: CIT-Cadastro de Imóveis Tombados. Coordenação Municipal de Cultura. Prefeitura de São Paulo. Data da consulta: 04/07/2018.

Figura 83. O Palacete Tereza Lara em primeiro plano: Detalhe para a propaganda da Casa Bevilacqua. A Rua Direita entre 1930 e 1950, importante rua comercial da cidade, intensamente trafegada por automóveis, foi cedendo espaço aos pedestres, até ser transformada em uma rua pedonal nos anos 70. Fonte: Pesquisa Histórica do Projeto de Restauo do PTL.

Figura 84. Na rua Quintino Bocaiúva, painel do Repórter Esso, no Palacete Tereza Lara, onde funcionou a Rádio Record, anuncia a rendição da Alemanha na 2ª Guerra, em 1945. Fonte: Pesquisa Histórica do Projeto de Restauro do PTL.

Figura 85. Multidão acompanha resultados das eleições legislativas, estaduais e municipais de 1954, em tabuletas eleitorais e por boletins da Rádio Record, no Palacete Tereza Lara. Fonte: Pesquisa Histórica do Projeto de Restauro do PTL.

Figura 86. Profusão de anúncios, em 1970. O Palacete Tereza Lara está no plano médio, à esquerda, na esquina com a rua Quintino Bocaiúva. Fonte: Lindeberg de Menezes.

FICHA TÉCNICA:

Endereço: rua Quintino Bocaiúva, 16 a 30; rua Direita, 115 a 133; rua José Bonifácio, 50 a 62

Uso Atual: estabelecimentos comerciais, Casa Amadeus, Casa de Francisca; antiga Rádio Record.

Nº de Pavimentos: três mais porão

Data da inauguração: 1910

Projeto: Augusto Fried

Estilo Arquitetônico: Eclético

Técnica Construtiva: alvenaria de tijolos

Proteção existente: Conpresp

Imóvel classificado como ZEPEC (Zonas de Preservação Cultural).

3.2

O PROJETO DE RESTAURO DO PALACETE TEREZA LARA

Em 2009, prestes a completar um século de sua construção, o Palacete Tereza Lara foi objeto de um projeto de restauro, com vistas às obras de restauração e modernização das instalações. O projeto surgiu da vontade de sua proprietária, Tereza Artigas Lara, neta do construtor do edifício, Antônio de Toledo Lara, de restaurar o edifício que por tantos anos esteve em sua família e pelo qual nutria forte apreço.

Segundo o Arquiteto Marcello Pucci, responsável técnico do escritório contratado para elaboração do projeto de restauro, no final do ano de 2008 a *VEC Engenharia e Gestão* foi procurada pelo responsável pela manutenção do palacete, a pedido da proprietária, para que iniciassem o projeto executivo de restauro de suas fachadas, cobertura e áreas comuns, para aprovação nos órgãos patrimoniais.

Ainda segundo o arquiteto, apesar da beleza e suntuosidade das fachadas e das áreas comuns, suas instalações de infraestrutura já não atraíam e atendiam à demanda dos locatários interessados em ali instalar seus escritórios e lojas comerciais, o que reforçava o ciclo de esvaziamento dos espaços internos e a depreciação dos valores de locação. A questão comercial, aliada à vontade de valorização de um patrimônio familiar, foi a principal motivação para que a restauração do edifício tivesse respaldo financeiro e pudesse ser levado adiante.

Assim, a expectativa da proprietária, era dotar a edificação de uma infraestrutura⁵⁷ que pudesse novamente atender à demanda dos interessados em locar seus espaços internos, bem como as lojas voltadas para as ruas, onde a procura pelos pontos comerciais é bastante disputada, o que gera recursos que são destinados à manutenção da edificação como um todo. Já nas áreas internas, era desejo da proprietária abrigar, além dos usos tradicionais como escritórios ou lojas, um espaço que pudesse ter um caráter cultural, a exemplo de outros edifícios históricos no centro de São Paulo, e que permitisse que um outro tipo de público passasse a frequentar o palacete, e em horários alternativos ao horário comercial. Ainda durante os trabalhos

⁵⁷ Instalações elétricas e hidrossanitárias, acessibilidade, sanitários, copa para funcionários, etc.

de restauração, foram iniciadas as conversas com os diretores da Casa de Francisca para locação do primeiro pavimento para a casa de apresentações musicais.

Existia ainda a expectativa de modernizar as instalações de sanitários e copa, que continuariam sendo de uso comum, e um espaço interno para convivência dos frequentadores.

Segundo Pucci, a equipe de projeto, no início, era composta por 3 arquitetos e um engenheiro civil, todos especialistas em patrimônio histórico, e também estagiários de arquitetura. Essa equipe se dedicou primeiramente ao levantamento cadastral das áreas internas e prospecções cromáticas. Havia também uma arquiteta trabalhando no levantamento histórico, documental e iconográfico da edificação. Posteriormente outros profissionais (restaurador, biólogo, light designer, engenheiro de avaliações, engenheiro elétrico, etc.) uniram-se à equipe, traçando o caráter multidisciplinar característico dos projetos de restauro e conservação de bens culturais. No entanto, o levantamento métrico-arquitetônico das fachadas ainda não havia sido iniciado, e era esse o maior desafio da equipe nessa fase. Devido ao prazo exíguo e ao grau de complexidade das fachadas, uma análise sobre a melhor técnica de levantamento deveria ser feita com cuidado, pois não havia tempo nem capacidade financeira contratual para retrabalhos.

A elaboração de um modelo 3D seria desejável, mas não essencial. De acordo com Pucci, o partido de projeto não previa alterações volumétricas na fachada, baseando-se substancialmente na consolidação e na limpeza das pedras e argamassas e manutenção dos caixilhos.

A opção pelo levantamento por *3D Laser Scanning* ocorreu após análises dos produtos que realmente eram necessários para o projeto e do grau de detalhamento e precisão que um objeto tão complexo requeria. Conforme mencionado, o maior desafio da equipe para este projeto era o levantamento métrico das fachadas, sobretudo, por se tratar de fachadas extremamente ornamentadas, com altura de 22 metros em alguns pontos. Havia ainda dificuldade de acesso, a proximidade das edificações localizadas na frente do Palacete, bem como o grande movimento nos calçadões e a necessidade de as lojas do térreo permanecerem em funcionamento durante todo o processo de restauração do edifício.

Como já mencionado, outra preocupação da equipe era quanto ao tempo que o levantamento direto (manual), sendo um processo moroso e lento, poderia tomar.

Pensou-se ainda em utilizar fotogrametria, no entanto, devido à pouca largura das ruas, incorrendo em curtas distâncias entre as edificações, haveria necessidade de acessar os andares dos prédios vizinhos para poder fotografar com mais precisão as fachadas, porém, com risco de imprecisões e erros. Finalmente, uma das arquitetas da equipe, que já havia trabalhado em um projeto piloto com uso do *3D Laser Scanning*, sugeriu a utilização da tecnologia, indicando uma empresa que havia realizado este tipo de serviço para um outro escritório de São Paulo.

Segundo Pucci, a empresa contratada, na grande maioria dos seus trabalhos, utilizava a tecnologia *3D Laser Scanning* para trabalhos de levantamentos e *as built* em plantas para o setor energético no Brasil, como usinas eólicas, centrais elétricas, refinarias e plataformas petro-químicas, plantas de GNL (gás natural liquefeito), plantas de dessalinização, etc. Havia, porém, um de seus colaboradores que era arquiteto e bastante interessado na preservação de bens culturais e, por desejo desse colaborador em prestar serviços desse tipo para escritórios que trabalhassem com projetos de restauro e conservação de bens culturais, houve uma pré-disposição da empresa em oferecer esse serviço para trabalhos de arquitetura.

De acordo com Pucci, na época do projeto (2009), este tipo de tecnologia era uma grande novidade entre os profissionais da área no Brasil. Assim, ao mesmo tempo em que despertava em todos a curiosidade e a expectativa pelas possibilidades de resultados que poderiam ser obtidos, gerava dúvidas, principalmente em relação ao custo, já que, como toda nova tecnologia, o equipamento e o *software* utilizados tinham um valor bastante alto para os padrões de contratos da empresa. De qualquer modo, a equipe resolveu fazer um orçamento para verificar a viabilidade financeira do levantamento realizado por *3D Laser Scanning*.

O processo de contratação do levantamento teve alguns revezes. Pucci afirma não se lembrar do valor exato da proposta enviada pela empresa, mas se recorda que o valor era inviável frente ao valor comercial do contrato global do projeto de restauro. No entanto, após muitas negociações e, graças ao desejo da empresa de investir na prestação desse tipo de serviço na área de patrimônio, sobretudo nos momentos de ociosidade do equipamento, chegou-se a um valor razoável, que permitiu a contratação dos serviços.

A equipe acompanhou esta fase do levantamento, em especial por parte das arquitetas que ficaram responsáveis pelo desenvolvimento do projeto de restauro,

checando os resultados dos produtos gerados a partir da nuvem de pontos, solicitando alterações, etc. Para o levantamento mais fino dos elementos decorativos e esculturas, foi necessário utilizar em alguns pontos fotografias retificadas para inclusão de alguns detalhes. O trabalho referente ao levantamento cadastral foi submetido a diversas análises e verificações quanto à precisão até que se chegasse a um resultado que a equipe julgasse ser o necessário. em termos de detalhamento e informações de relevância para o desenvolvimento das próximas fases do projeto e suporte para a obra de restauro.

A fase de aquisição dos dados (nuvem de pontos) foi algo bastante rápido. Segundo Marcus Mendes, arquiteto especialista em levantamentos métricos com a tecnologia *3D Laser Scanning*, responsável pelos trabalhos de levantamento arquitetônico das fachadas do Palacete Tereza Lara, após as negociações com a VEC Engenharia e fechamento dos trabalhos, devido à proposta financeira reduzida, foi preciso aguardar um período em que o equipamento estivesse ocioso, aproveitando esse momento para realizar a varredura das fachadas. A empresa optou por realizar essa etapa durante o final de semana, nos horários em que o movimento de pedestres caí significativamente nas imediações. Além disso a empresa também obteve autorização para acessar alguns locais das edificações em frente ao Palacete para obter melhores posições de varredura.

A equipe de levantamento era composta por três profissionais, e contava com:

- um arquiteto operador do *scanner*;
- um ajudante, responsável pelo auxílio na locação do equipamento, dos alvos, EPC (equipamentos de proteção coletiva) em torno do *scanner*, controle de passagem de pedestres (quando possível), etc;
- e um gestor, responsável pelo contrato e pelo controle de qualidade das fases de registro e dos produtos finais.

De acordo com o arquiteto, após visita técnica, foram planejados:

- Localização das estações;
- Localização dos alvos (*targets*);
- Sequência das tomadas;
- Cena em detalhe⁵⁸;

⁵⁸ Cena em detalhe: varredura de locais específicos, que devem ser desenhados, mas que não são visualizados nas tomadas gerais. As portas-balcão são bons exemplos. Por estarem atrás

- “Amarração” das cenas em detalhe, isto é, prever as formas que essas nuvens de pontos serão registradas com a nuvem principal.
- Resolução da varredura.

De acordo com Mendes, as tomadas foram executadas com o *laser scanner* Z+F, modelo *Imager 5010*, em resolução média. As estações estavam localizadas a uma distância de 2,5m da fachada, com distância de 3m entre si. Esse número foi necessário devido à complexidade de relevos da fachada, o que gera muitas sombras e deficiência na aquisição dos dados de forma completa. Além disso, outras tomadas foram realizadas a 4m de distância da fachada, algumas nos balcões para coleta de dados específicos e duas tomadas foram realizadas no Edifício Triângulo, localizado à Rua Quintino Bocaiuva, em frente à fachada principal do palacete. As tomadas mais afastadas foram realizadas com o intuito de aferir com mais precisão as alturas das platibandas e pináculos. A sequência das tomadas, bem como a localização das estações são anotadas na caderneta de campo, com as respectivas coordenadas.

Figura 87. Localização das estações de varredura. Fonte: elaboração da autora com base nas informações cedidas pelo arquiteto Marcus Mendes/EGS.

das do guarda-corpo das varandas, não era possível obter os dados de representação das formas desses caixilhos. Outro exemplo é a parte de baixo da platibanda, isto é, por estar imediatamente após a cornija de entablamento, grande parte da base da platibanda estava em área de sombra, sendo necessário uma tomada localizada no terceiro andar do Edifício Triângulo, localizado em frente ao palacete, para que essa região pudesse ser levantada.

Os maiores problemas relatados na fase de aquisição de dados foram os pedestres que passavam diante do equipamento e a estreita largura das ruas, que tornava o ângulo de incidência do *laser* muito agudo, diminuindo a precisão dos dados.

Posteriormente, iniciou-se a fase de registro, otimização e processamento da nuvem de pontos.

Segundo Mendes, o procedimento após a aquisição dos dados consistiu em:

- Fazer o download dos arquivos de nuvens de pontos no laptop;
- Verificação da qualidade dos arquivos, isto é, se não estão corrompidos, se estão de acordo com a sequência de tomadas registrada na caderneta de campo;
- Criação de backup. Os arquivos originais não são utilizados.

Após a criação do backup, os arquivos foram convertidos em arquivos para registro com auxílio do *software LFM Converter*⁵⁹. Em seguida, com uso do *software LFM Register*, as nuvens foram registradas, gerando um único modelo de pontos. Neste momento, existe um procedimento de controle de qualidade, em que são verificados os alinhamentos das nuvens, se elas estão perfeitamente sobrepostas ou se existem “dentes” ou ruídos de sobreposição. O controle de qualidade é realizado manualmente e por ferramentas como *Clash Detection*.⁶⁰ Ainda segundo Mendes, o controle de qualidade foi realizado também no *software Cyclone*, com exportação do arquivo em formato *.lfr* para o formato *.ptx* (formato universal), para abertura no *software* da *Leica*.

Após os procedimentos de registro, a nuvem foi otimizada manualmente e com o uso de filtros próprios do *software* para redução de pontos sobrepostos e ruídos, em especial, ruídos gerados por pessoas que passavam em frente ao equipamento no momento da captação dos dados e ruídos de chuviscos, que em alguns momentos ocorreram. Com a utilização dos *softwares* LFM, existe ainda a etapa de envio das nuvens de pontos para o servidor do desenvolvedor.

⁵⁹ Os softwares LFM são desenvolvidos pelo fabricante do *laser scanner* Z+F, que foi utilizado na captação dos dados.

⁶⁰ Uma funcionalidade para ativar a detecção de interferências. Isso significa que os usuários podem selecionar partes do modelo ou nuvens de pontos registradas e procurar lugares onde a geometria conflite. É uma ferramenta para encontrar falhas no modelo.

Os desenhos foram realizados em Autocad (Autodesk), com *plugin* para carregamento das nuvens no ambiente de desenho e com *LFM Server*. O *LFM Server* é o *software* que permite que a nuvem de pontos seja disponibilizada para uso em *plugins* de terceiros ou apenas como um visualizador⁶¹. Os desenhos foram elaborados com a segmentação em 5 trechos de fachada: a fachada voltada para a Rua José Bonifácio, a fachada voltada para a Rua Quintino Bocaiúva, a fachada voltada para a Rua Direita e os dois “chanfros” das esquinas (as fachadas não se encontram em ângulo). Nenhum procedimento de desenho foi automatizado ou semi-automatizado. Tudo foi desenhado manualmente. O controle de qualidade dos desenhos foi realizado com conferência de medidas em superfície e perfis das fachadas, além de sobreposição dos perfis e das superfícies para checagem da precisão.

Finalmente, os desenhos foram entregues em 5 trechos de fachadas, em formato *.dwg*, por email para o cliente.

Segundo Pucci, todo este processo levou algo entre 45 e 60 dias. Após a entrega dos desenhos elaborados com o *3D Laser Scanning*, os elementos decorativos foram refinados com auxílio da fotogrametria. A equipe entendeu que o grau de complexidade das fachadas requeria um maior grau de detalhamento desses elementos. Como não haviam sido realizadas tomadas com alta resolução para essas áreas, não era possível a elaboração dos desenhos de forma mais detalhada. Assim, um outro profissional foi contratado para fazer o refinamento desses elementos, dessa vez utilizando a fotogrametria, e incluí-los na base gerada pelo levantamento a laser. Segundo Pucci, do ponto de vista da equipe, ao final do levantamento, foi um enorme alívio ver que as informações levantadas de fato haviam gerado produtos com os detalhes e precisão necessários, que pudessem corresponder à qualidade que pretendiam entregar o projeto. Os desenhos das fachadas foram apresentados em escala 1:50.

De acordo com o arquiteto, a base gerada pelo levantamento a *laser* permitiu que o mapeamento de danos e patologias fosse muito mais preciso, bem como o mapeamento das áreas ocas e com argamassa de revestimento desprendidas do substrato. Permitiu maior precisão na indicação e localização dos danos e, por

⁶¹ O arquivo *.lfr* é usado para gerar um banco de dados no servidor LFM, não é importado ou aberto. O usuário tem uma fonte para os formatos *.zfc*, *.png*, (O modo Gateway converte dados de outros formatos de *scanner* em *.zfc .png* etc), um local para geração de arquivos e um destino para os arquivos do banco de dados.

consequência, o projeto de restauro, no que se trata da conservação dos materiais e da fisicalidade do edifício, foi praticamente cirúrgico, já que uma boa base de dados, permitiu que os danos pudessem ser melhor compreendidos e localizados ao se fazer a leitura do projeto.

Em relação a orçamentos e a questões de planejamento de obra, a base gerada pelo levantamento a *laser* foi um facilitador das posteriores fases do projeto. Para além de garantir uma melhor proposta de restauro, no que se refere à saneamento das patologias, na fase de elaboração de orçamentos foi possível aferir melhor os quantitativos de superfícies a serem tratadas, as áreas e peças a serem restauradas ou reintegradas, além de facilitar a leitura das reentrâncias e volumetria dos panos de fachada. Quanto ao planejamento de obra, Pucci entende que o levantamento arquitetônico tal como foi entregue influenciou no melhor entendimento da leitura das patologias e danos a serem restaurados/tratados, permitindo assim otimizar alguns processos e procedimentos, causando impacto na racionalidade e economia de despesas do contrato de obra.

CONDIÇÕES DO PROJETO:

- Fornecer uma base de dados confiável para a equipe de projeto
- Modelo 3D seria desejável, mas não essencial (as fachadas não sofreriam modificações significativas. Seria interessante como forma de documentação e divulgação)
- Alto nível de detalhe e precisão. A medição direta não atenderia o nível pretendido.
- Havia disponibilidade por parte da proprietária de custear um levantamento de valor mais alto.

DADOS DO PROCESSO DE AQUISIÇÃO DE DADOS

- Equipamento: Z + F modelo Imager 5010
 - Principais Características:
 - Opera por diferença de fase;

- Equipamento portátil capaz de medir milhares de pontos por segundo alcançando precisões entre 3mm a 6 mm, com Erro Linear menor que 1mm em 50 metros;
 - Alcance de 187m e taxa de medição de até 1.016.000 pontos por segundo;
 - Nuvem de pontos coletada pode ser armazenada diretamente no IMAGER 5010 (HD interno de 60 GB) ou em um pen drive.
-
- Aquisição de dados:
 - Tomadas de 360°;
 - Resolução média;
 - Tempo por tomada 2'30";
 - Resolução 1.000.000 pontos por tomada (mas é utilizada apenas uma parte dos 360° > ângulo de ataque).

Figura 88. Imagem de trecho da nuvem de pontos, onde se vê parte da fachada, com a escultura e o brasão. É possível verificar áreas de sombra sobre os balcões e sobre as cornijas. Fonte: Marcus Mendes/EGS.

Figura 89. Imagem de trecho da nuvem de pontos, onde se vê parte da fachada, com a escultura e o brasão. É possível verificar áreas de sombra sobre os balcões e na platibanda.
Fonte: Marcus Mendes/EGS.

Figura 90. Imagem de trecho da nuvem de pontos, onde se vê parte da fachada, em uma das esquinas. É possível verificar áreas de sombra sobre os balcões e na platibanda. Fonte: Marcus Mendes/EGS.

Figura 91. Imagem de trecho da nuvem de pontos, onde se vê parte de um dos chanfros da fachada.
Fonte: Marcus Mendes/EGS.

Figura 92. Imagem de trecho da nuvem de pontos, onde se vê parte da fachada, com a carranca em detalhe. Fonte: Marcus Mendes/EGS.

Figura 93. Imagem de trecho da nuvem de pontos, onde se vê parte da fachada, com a carranca em detalhe. É possível observar a área de sombra na platibanda. Fonte: Marcus Mendes/EGS.

Figura 94. Processo de desenho sobre trecho de nuvem de pontos. Fonte: Marcus Mendes/EGS.

Figura 95. Representação da nuvem de pontos por mapa de profundidade. Fonte: Marcus Mendes/EGS.

Figura 96. Representação da nuvem de pontos por mapa de profundidade. Fonte: Marcus Mendes/EGS.

Figura 97. Vista superior da nuvem de pontos. Os círculos escuros são algumas das posições do *laser scanner*. Fonte: Marcus Mendes/EGS.

A seguir, podem ser visualizados os desenhos das três fachadas do palacete tal como foram entregues pela equipe de levantamento por *3D Laser Scanning* e o levantamento final utilizado para o projeto, após processo de detalhamento dos elementos decorativos.

LEVANTAMENTO MÉTRICO-ARQUITETÔNICO FINAL
FACHADA RUA QUINTINO BOCAIÚVA
ESCALA 1:100

Figura 98. Levantamento métrico-arquitetônico da fachada voltada para a Rua Quintino Bocaiúva, realizado com 3D Laser Scanning. Fonte: VEC Engenharia e Gestão.

LEVANTAMENTO MÉTRICO-ARQUITETÔNICO POR 3D LASER SCANNING
FACHADA RUA QUINTINO BOCAIUVA
ESCALA 1:100

Figura 99. Levantamento métrico-arquitetônico da fachada voltada para a Rua Quintino Bocaiuva, após maior detalhamento dos ornatos e elementos decorativos. Fonte: VEC Engenharia e Gestão.

LEVANTAMENTO MÉTRICO-ARQUITETÔNICO POR 3D LASER SCANNING
FACHADA RUA DIREITA
ESCALA 1:100

Figura 100. Levantamento métrico-arquitetônico da fachada voltada para a Rua Direita, realizado com 3D Laser Scanning. Fonte: VEC Engenharia e Gestão.

LEVANTAMENTO MÉTRICO-ARQUITETÔNICO FINAL
FACHADA RUA DIREITA
ESCALA 1:100

LEVANTAMENTO MÉTRICO-ARQUITETÔNICO POR 3D LASER SCANNING
FACHADA RUA JOSÉ BONIFÁCIO
ESCALA 1:100

Figura 102. Levantamento métrico-arquitetônico da fachada voltada para a Rua José Bonifácio, realizado com 3D Laser Scanning. Fonte: VEC Engenharia e Gestão.

LEVANTAMENTO MÉTRICO-ARQUITETÔNICO FINAL
FACHADA RUA JOSÉ BONIFÁCIO
ESCALA 1:100

Figura 103. Levantamento métrico-arquitetônico da fachada voltada para a Rua José Bonifácio, após maior detalhamento dos ornatos e elementos decorativos. Fonte: VEC Engenharia e Gestão.

3.3

A OBRA DE RESTAURAÇÃO DO PALACETE TEREZA LARA

Figura 98. Palacete Tereza Lara após as obras de restauração das fachadas. Fonte: Concrejato.

A obra de restauro do Palacete Tereza Lara contou com três fases em que foram contemplados serviços nas fachadas, coberturas e áreas comuns do edifício. A empresa contratada para execução dos serviços foi a Concrejato Obras Especiais, uma empresa especializada em obras dessa natureza, com experiência em trabalhos semelhantes. A obra teve início em 2014 e foi finalizada em 2016.

A primeira fase correspondeu ao restauro das fachadas, com limpeza, estabilização e consolidação das estruturas, tratamento de trincas, restauro dos ornatos, estucagem dos panos da fachada com argamassa penteada e recuperação do telhado. A segunda fase contemplava os trabalhos nas áreas comuns no interior do palacete, isto é, os corredores, hall de entrada, escada e sanitários, além da instalação de um sistema de iluminação das fachadas. A terceira fase previu a adequação estrutural do elevador e o restauro das pinturas murais do hall de entrada, encontradas sob um forro tipo *Eucatex*.

Com foco no entendimento do papel do levantamento métrico-arquitetônico por *3D Laser Scanning* na obra, a pesquisa selecionou os procedimentos referentes ao restauro das fachadas, que ocorreram na primeira fase dos trabalhos, já que o levantamento das áreas internas foi realizado por medição direta.

Para tanto, foram analisados os diários de obra e relatórios fotográficos mensais⁶², com o intuito de identificar os procedimentos realizados e compreender a dinâmica geral da obra. Além disso, a arquiteta residente na obra, Erica Machado, foi muito solícita em responder todas as dúvidas surgidas durante essa pesquisa, oferecendo também a sua visão sobre os efeitos do levantamento métrico na obra.

De acordo com a documentação de obra levantada, a grosso modo, os trabalhos se desenvolviam com frentes na execução de estucagem das argamassas de revestimento, no restauro dos ornatos, das cantarias em pedra do térreo e dos caixilhos em madeira. Vale dizer que todos os serviços foram realizados com o edifício em pleno funcionamento, com as lojas atendendo aos clientes normalmente, inclusive as localizadas no térreo, voltadas para as ruas.

A seguir estão brevemente descritos os procedimentos-chave para a execução da obra, de acordo com os diários de obra, relatórios fotográficos e o depoimento da arquiteta Erica Machado, arquiteta especialista em restauro e coordenadora da obra de

⁶² Os diários de obra e os relatórios fotográficos mensais foram gentilmente cedidos pela equipe da Concrejato, empresa responsável pelos trabalhos de restauro no Palacete Tereza Lara.

restauro do Palacete Tereza Lara. As imagens foram cedidas pela empresa, presentes nos relatórios fotográficos.

- Montagem de andaimes fachadeiros

A forma de acesso às áreas de trabalho da fachada se deu por meio de andaimes fachadeiros, que possuíam a peculiaridade de estarem sobre uma área de grande movimento de pessoas, não apenas em suas imediações, mas imediatamente embaixo do próprio andaime. Com o funcionamento das lojas voltadas para as ruas e a característica pedonal do trecho, o projeto dos andaimes precisou considerar a segurança dos pedestres das ruas, dos clientes e colaboradores que acessavam o palacete, além da segurança dos trabalhadores da obra.

Andaimes fachadeiros necessitam de projeto, inclusive com recolhimento de Anotação de Responsabilidade Técnica, pelos CREAs estaduais (Conselhos Regionais de Engenharia e Agronomia). O projeto dos andaimes foi elaborado sobre a base do levantamento, sendo a precisão dos desenhos de base essencial para um projeto de andaimes compatível com a realidade e que atenda às necessidades da obra, sem gerar retrabalho e remanejamento de peças. Andaimes fachadeiros normalmente têm sua estruturação baseada na montagem de painéis que se encaixam uns nos outros desde o solo, onde são apoiados em sapatas metálicas. No caso de andaimes que prevêm passagem de pedestres no solo, há necessidade de um trabalho estrutural com vigas, tubos e braçadeiras, ou seja, há a elevação do sistema de painéis para um andar acima do solo, estruturado sobre vigas metálicas. Tratando-se de um sistema baseado em encaixes, a precisão dos desenhos é de extrema importância, já que não há margem para acomodações de erros.

Para um projeto com essas especificidades, a precisão do levantamento métrico-arquitetônico sobre o qual o projeto de andaimes irá ser elaborado é de extrema importância. Desse ponto de vista, o levantamento por *3D Laser Scanning*, realizado na fase de projeto, atendeu satisfatoriamente o projeto de andaimes.

Figura 99. Palacete durante as obras de restauro: andaimes fachadeiros em toda a extensão de trabalho.
Fonte: Concrejato.

Figura 100. Desmontagem dos andaimes após finalização da obra. Fonte: Concrejato.

Figura 101. Desmontagem dos andaimes após finalização da obra. Fonte: Concrejato.

- Restauro da argamassa de revestimento

A argamassa de revestimento foi o principal serviço executado e também o mais desafiador para a equipe de obra.

Segundo Machado, a argamassa de revestimento já não apresentava a camada de acabamento - o reboco -, estando diretamente com o emboço (argamassa mais grossa, para proteção do substrato) exposto. Assim, à época da obra, foi decidido que um novo reboco seria executado, com o acabamento penteado, tal como era o reboco original. No entanto, ainda faltava a definição da cor da argamassa. A premissa para a escolha da cor era ser um tom próximo ao tom original da argamassa de acabamento. Já não havia remanescente de reboco nas fachadas e não havia fotos coloridas antigas que pudessem ser referência para a escolha da cor. A principal referência passou a ser a lembrança dos tempos de infância da proprietária do palacete.

Dessa forma, foram realizados inúmeros testes de argamassa com diversas pigmentações. Essa indefinição se arrastou por bastante tempo, paralisando os trabalhos na argamassa de revestimento, que aguardavam a escolha final do traço a ser aplicado na fachada.

Machado fala que quando da visita da proprietária para avaliação do último teste realizado, a mesma chegou a se emocionar ao ver a cor que acabou sendo a escolhida para a fachada.

Os diários de obra e relatórios fotográficos descrevem os seguintes procedimentos referentes às argamassas de revestimento:

- Hidrojateamento com pressão controlada;
- Execução de testes de limpeza das sujidades incrustadas;
- Limpeza das sujidades incrustadas com auxílio de lama betonítica;
- Testes de remoção das pichações;
- Tratamento de fissuras;
- Consolidação e grampeamento de trincas profundas;
- Remoção de interferências nas fachadas (cabeamento, eletrodutos, etc);
- Testes de tonalidade da argamassa para estucagem;
- Estucagem das fachadas, com acabamento penteado;
- Aplicação de hidrorrepelente.

Antes dos trabalhos de estucagem, os pedreiros que trabalhariam com essa frente foram treinados para que o acabamento penteado fosse executado exatamente da mesma forma, com a mesma pressão no pente de acabamento. Esse treinamento foi importante, pois o acabamento penteado pode alterar muito a percepção da argamassa, inclusive da cor, dependendo a luz e do ângulo de visão.

Segundo a arquiteta, os trabalhos foram iniciados na fachada José Bonifácio, partindo da parte superior, em direção ao térreo e, para definição das frentes de trabalho e planejamento do cronograma, foram realizados testes de produtividade. O levantamento métrico-arquitetônico foi utilizado como base para o planejamento dos trabalhos em frentes por período (manhã ou tarde), ou seja, como os panos de argamassa não admitem emendas, um mesmo pano deve ser finalizado em um único período. Erica Machado fala que o levantamento métrico auxiliou na seleção dos panos de argamassa para planejamento da sequência de trabalho, além da distribuição das áreas de argamassa para a equipe.

A argamassa foi totalmente elaborada no canteiro de obras, com a pesagem com balança de precisão dos pigmentos adicionados. Outra peculiaridade é a falta de áreas de estocagem de materiais no edifício. O material era armazenado em outra obra da empresa, próxima ao palacete, e o que seria utilizado proximamente era trazido com auxílio de carrinho plataforma para o palacete e depois carregado manualmente até o segundo pavimento do edifício.

Figura 102. Limpeza da argamassa de revestimento com lama betonítica. Fonte: Concrejato.

Figura 103. Tratamento de trincas e fissuras. Fonte: Concrejato.

Figura 104. Consolidação da argamassa e tratamento das trincas. Fonte: Concrejato.

Figura 105. Tratamento das trincas profundas com grampeamento. Fonte: Concrejato.

Figura 106. Tratamento das ferragens dos elementos da fachada. Fonte: Concrejato.

Figura 107. Testes de acabamento da argamassa de revestimento. Fonte: Concrejato.

Figura 108. Definição dos componentes utilizados na argamassa. Fonte: Concrejato.

Figura 109. Estucagem da fachada com a argamassa definida após testes. Fonte: Concrejato.

Figura 110. Aplicação de hidro-repelente nas fachadas. Fonte: Concrejato.

- Restauro dos ornatos e elementos decorativos

Os ornatos e elementos decorativos também passaram por procedimentos de limpeza e consolidação, tal como o restante da fachada em argamassa e, seguindo a mesma premissa que orientou os procedimentos nos panos de argamassa, tiveram suas lacunas e partes faltantes reintegrados.

Assim, após a montagem dos andaimes, os ornatos passaram por um levantamento *in loco* do seu estado de conservação. Vale lembrar que a obra teve início após 5 anos de elaboração do projeto de restauro, sendo, portanto, necessária uma atualização dos danos e patologias presentes no palacete.

De acordo com a arquiteta residente, havia muitos ornatos faltantes, e os que ainda se encontravam na fachada apresentavam péssimo estado de conservação, com muitas lacunas e fissuras.

Ainda segundo a arquiteta, o levantamento métrico-arquitetônico foi utilizado para esses serviços na medida em que auxiliou o planejamento das ações e a quantificação de elementos e material necessário para as réplicas. O levantamento não foi utilizado como auxiliar na execução de moldes, já que todos os ornatos faltantes tinham pares originais presentes na fachada, sendo estes utilizados como matriz para a execução dos moldes.

Segundo os relatórios e diários de obra, o restauro dos ornatos contou com:

- Tratamento das fissuras;
- Consolidação das trincas profundas;
- Tratamento das ferragens;
- Execução de moldes, contramoldes e “carrinhos”;
- Execução (enchimento dos moldes com argamassa e argila expandida) dos ornatos faltantes e/ou reintegração das lacunas das esculturas e elementos decoativos;
- Desforma;
- Fixação do elemento decorativo no local;
- Acabamento final.

Figura 111. Reintegração da escultura. Fonte: Concrejato.

Figura 112. Reintegração da escultura e execução de molde a partir de escultura existente. Fonte: Concrejato.

Figura 113. Análise das fissuras do pináculo. Fonte: Concrejato.

Figura 114. Reintegração do pináculo. Fonte: Concrejato.

Figura 115. Execução de contramolde para réplica de ornatos. Fonte: Concrejato.

Figura 116. Fixação da réplica no topo do pináculo. Fonte: Concrejato.

Figura 117. Estucagem dos ornatos— acabamento final. Fonte: Concrejato.

- Restauro da cantaria de pedra

Os trabalhos na cantaria de pedra apresentaram muitas dificuldades, principalmente aqueles que visavam a remoção de pintura com tinta esmalte das pedras. Durante a fase de projeto, testes de remoção da pintura haviam sido realizados e já tinham apontado para as dificuldades do serviço.

Os produtos químicos utilizados nos testes não foram capazes de remover a pintura e, por fim, a equipe entendeu que o procedimento que entregaria melhores resultados seria o jateamento com partículas de pedra, sendo justificado pela ocasião extraordinária da obra.

Além disso, havia parte da fachada da Rua Direita que estava revestida com concreto (inclusive a laje de um dos balcões) e parte com revestimento cerâmico.

Vale dizer que após a finalização dos trabalhos nas fachadas, passados alguns meses, a proprietária e a equipe de obra sentiram necessidade da aplicação de um produto antigrafito nas áreas em pedra, sobretudo por estarem no térreo, em local de fácil acesso. A incidência de vandalismo era praticamente diária.

O levantamento métrico-arquitetônico foi utilizado como suporte para o planejamento das ações, programação e distribuição dos serviços, além de auxiliar na quantificação de volume das retiradas de concreto e de aplicação de produto antigrafito. Não foi utilizado como suporte para execução de réplicas.

Assim, de acordo com os diários de obra e os relatórios fotográficos, os principais procedimentos relativos aos elementos de pedra foram:

- Testes para remoção de pintura com tinta esmalte e pichações;
- Demolição do concreto e retirada do revestimento sobre a cantaria;
- Limpeza com hidrojateamento com pressão controlada;
- Remoção de pintura com tinta esmalte e pichações;
- Execução de réplicas para reintegração de lacunas;
- Limpeza das soleiras em granito;
- Aplicação de produto antigrafito.

Figura 118. Teste para remoção das pintura esmalte. Fonte: Concrejato.

Figura 119. Demolição do revestimento sobre cantarias da Rua Direita. Fonte: Concrejato.

Figura 120. Reprodução da cantaria em pedra do térreo. Fonte: Concrejato.

Figura 121. Reintegração da cantaria do térreo. Fonte: Concrejato.

- Restauro dos caixilhos

Os procedimentos realizados nos caixilhos ocorreram durante todo o período da obra. De acordo com os registros em diário de obras, existem procedimentos para essa frente desde o primeiro mês, com a retirada das folhas para restauro na oficina implantada no palacete, até o último mês com serviços de pintura.

Os trabalhos são demorados, principalmente aqueles que se destinam a retirada manual das camadas de pintura.

O levantamento métrico foi utilizado como suporte para elaboração de cronograma.

De acordo com os diários de obra e relatórios, os principais procedimentos foram:

- Remoção de vidros;
- Decapagem da pintura (folhas e batentes);
- Execução de enxertos;
- Preparação para pintura;
- Descupinização;
- Pintura;
- Réplica do gradil (bandeira das portas de enrolar em aço das lojas do térreo).

Figura 122. Execução de enxertos de madeira nas esquadrias. Fonte: Concrejato.

Figura 123. Pintura dos caixilhos. Fonte: Concrejato.

Figura 124. Descupinização das esquadrias da fachada. Fonte: Concrejato.

- Tratamento dos balcões

Além dos serviços já apresentados, foram ainda realizados trabalhos de recuperação das lajes e do guarda-corpo dos balcões. As lajes apresentavam infiltrações, o topo dos peitoris também tinham problemas de umidade e desagregação da argamassa, assim como os balaustres dos guarda-corpos. Faltavam alguns balaustres e havia peças com lacunas.

Dessa forma, segundo os registros, uma nova impermeabilização das lajes foi realizada, foram instalados ladrilhos hidráulicos sobre novo contrapiso, os topos dos peitoris foram totalmente refeitos e os balaustres tiveram suas lacunas reintegradas e réplicas instaladas nos locais em que as peças já não existiam.

O levantamento métrico foi utilizado para quantificação das réplicas dos balaústres, para levantamento de material a ser empregado nos novos pisos (ladrilhos hidráulicos, impermeabilização, etc) e nos novos peitoris (concreto, forma, argila expandida, etc), bem como suporte para elaboração de cronograma.

Seguem os serviços observados nos registros disponibilizados:

- Remoção dos pisos dos balcões;
- Remoção dos topos dos peitoris;
- Consolidação de trincas e fissuras;
- Tratamento dos gradis;
- Tratamento de alvenarias expostas;
- Tratamento das ferragens;
- Execução de novo peitoril, com núcleo preenchido com argila expandida;
- Execução de réplicas dos balaústres;
- Execução de impermeabilização, contrapiso, e instalação de ladrilhos hidráulicos.

Figura 125. Lacunas na balastrada do balcão. Fonte: Concrejato.

Figura 126. Concretagem do peitoril do balcão. Fonte: Concrejato.

Figura 127. Molde e ferragem para reprodução dos balaústres. Fonte: Concrejato.

Figura 128. Réplicas dos balaústres. Fonte: Concrejato.

3.4

CONSIDERAÇÕES SOBRE O CASO DE ESTUDO

Essa terceira parte do estudo visou compreender os aspectos práticos da aplicação da tecnologia *3D Laser Scanning*, com caso de estudo do Palacete Tereza Lara que, entre projeto e obra, traz diversas questões que merecem ser pontuadas.

Com relação ao projeto, identificou-se que a aplicação do fluxograma de trabalho realizado no palacete foi bastante similar ao fluxo de trabalho apresentado na parte 2 dessa dissertação, com todas as etapas sendo realizadas na ordem prevista. No entanto, percebe-se que nas etapas de pré-processamento (registro e otimização) e processamento (modelagem/desenhos 2D), por uma questão de especificidade dos *softwares*, algumas operações se diferenciaram do apresentado anteriormente, como o registro das nuvens em um banco de dados do desenvolvedor do *software*.

Além disso, pode-se perceber que o levantamento realizado com o uso da tecnologia não satisfaz totalmente a equipe de projeto, uma vez que a base dos desenhos elaborados com *3D Laser Scanning* ainda passou por um processo de refino com auxílio da fotogrametria. Segundo a equipe de projeto, o conhecimento que possuíam na ocasião sobre as potencialidades da tecnologia os fazia crer que a atenção ao detalhamento era uma característica própria dessa técnica. Para eles, os desenhos seriam detalhados em profundidade, pois era exatamente essa a razão de ser da técnica de levantamento em questão. Entende-se que houve aqui uma falha de comunicação entre a equipe de projeto e a equipe de levantamento, e que as expectativas quanto ao resultado final não foram alinhadas.

Tratando-se de um serviço de levantamento cadastral com um custo consideravelmente maior que os serviços que utilizam outras técnicas diretas ou indiretas, entende-se que neste caso o levantamento realizado apresentou vantagens quanto ao prazo, por atender ao cronograma enxuto, no entanto, em termos de resultados gráficos, não apresentou vantagens quando comparado ao nível de detalhe de outras técnicas de levantamento métrico-arquitetônico.

Com relação à obra, de acordo com o depoimento da arquiteta Erica Machado, o levantamento métrico-arquitetônico foi utilizado como suporte para ações de planejamento e gestão da equipe e dos serviços.

O planejamento da obra tem impacto em vários aspectos do processo. Ele está presente na provisão dos recursos materiais e humanos para realização dos trabalhos, no estabelecimento de um cronograma físico-financeiro que determine o valor de investimento que a obra necessita periodicamente, na sequência dos procedimentos, com especial atenção aos tempos que cada técnica necessita, de repouso dos materiais antes que os procedimentos seguintes sejam realizados, etc. Além disso, o levantamento foi bastante utilizado para avaliação da produtividade da equipe.

Em uma obra de restauro como a do Palacete Tereza Lara, com alto nível de complexidade, seja em relação aos procedimentos a serem realizados, seja em relação às circunstâncias da obra em termos de ambiente e condições de trabalho, a etapa de planejamento de obra se faz muito necessária.

Desse ponto de vista, confiar nos dados desenhados na base de levantamento métrico-arquitetônico é de importância ímpar na dinâmica dos trabalhos e, segundo a arquiteta, o levantamento realizado com o *3D Laser Scanning* atendeu com precisão às necessidades da obra.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A tecnologia é uma realidade presente em todas as áreas da sociedade atual. Não há como negar o seu impacto nas formas de viver e em como, em um curto espaço de tempo, houve uma total modificação nas relações entre pessoas e nas formas como as sociedades ocupam e se relacionam com seus espaços.

Com esse contexto em mente, a dissertação trilhou um percurso de reflexão sobre a forma como a tecnologia vem ocupando espaço nas estratégias de salvaguarda e conservação dos bens culturais, em que medida ela interfere nesses processos e como pode contribuir para a preservação.

Relacionar História (passado) e Tecnologia (futuro) foi um desafio para a elaboração desse estudo. Compreender de que forma esse novo panorama pode ser utilizado em favor da preservação do patrimônio foi um convite à desconstrução de muitos preconceitos.

A ideia de que existe uma confiabilidade extrema na tecnologia, convicções de que bastam análises, levantamentos e outros procedimentos que não são questionados apenas por terem a tecnologia como pano de fundo, e que por isso seriam neutros, procedimentos que são automaticamente especificados por se tratarem de “tecnologia de ponta”, do “último lançamento”, foram motivações que deram origem a essa pesquisa e à vontade de compreender melhor essa relação. Concluir que tal postura acrítica frente aos inevitáveis benefícios da tecnologia de fato existe, já era esperado. O que não era esperado foi compreender quantos benefícios à preservação a tecnologia pode trazer, se utilizada como parte das ações de salvaguarda, como instrumento para tal, e não como um fim em si mesmo.

O bom uso da tecnologia aplicada à preservação passa pelo entendimento dos aspectos teóricos que toda e qualquer especificação de conservação e restauração deve passar. Não é possível se abster da compreensão da teoria, como eixo estrutural do campo disciplinar, das orientações metodológicas que guiam as ações práticas na restauração. O papel do arquiteto, enquanto profissional que tem uma formação humanística, histórica e estética, capaz de tecer um juízo de valor e de ponderar sobre diversas soluções e prever efeitos a médio e longo prazo, vai além de um simples reprodutor de especificações. Num campo disciplinar complexo como o da restauração, não cabem soluções prontas e a tecnologia não pode ser usada para justificar essas ações. O uso da tecnologia não pode prescindir dessa reflexão.

Por outro lado, a tecnologia pode ser uma ferramenta poderosa a favor da conservação do patrimônio. Quando utilizada com um propósito embasado teoricamente, os recursos tecnológicos disponíveis nos dias de hoje são grandes. As potencialidades nas áreas de gestão, análises, levantamentos, armazenamento, capacitação de profissionais, divulgação, distribuição de dados são imensas. As alternativas que utilizam a tecnologia como facilitador dos processos podem gerar ganhos reais para a preservação de bens culturais como um todo.

Tratando-se do recorte estudado nessa pesquisa, a documentação arquitetônica, há vantagens em todas as fases do processo. Desde as primeiras pesquisas em bancos de dados do material existente, passando pelo levantamento métrico-arquitetônico e chegando à distribuição dos dados e divulgação do material, se os processos forem embasados teoricamente, apresentam ganhos aos sistemas tradicionais de documentação, isto é, um banco de dados informatizado, com o material disponível online para pesquisa, traz benefícios não apenas aos pesquisadores (e consequentemente ao projeto), mas pode auxiliar em uma maior preservação de informações, melhor distribuição dos dados, maior alcance de divulgação.

Passa pela tecnologia também a possibilidade de qualquer cidadão comum ser produtor de conhecimento e de documentação e, na medida em que esse conteúdo extrapola a esfera especializada, ocorre uma aproximação da sociedade e seu patrimônio reconhecido como cultural, ou não. Considerando que esse efeito de aproximação promova uma maior valorização dos bens culturais, colocando a preservação na agenda do cidadão comum, e não apenas de profissionais especializados, talvez essa seja a maior vantagem que a presença da tecnologia possa promover nas políticas de preservação a longo prazo.

Tratando-se especificamente dos processos de registro, com foco no *3D Laser Scanning* terrestre, foram apresentados os principais conceitos e fluxos de trabalho da tecnologia, de forma a desmistificar o uso da varredura a *laser* para levantamentos métricos para os profissionais que utilizam a documentação. Não houve aqui a pretensão de capacitar um possível operador, mas de apresentar o método, pontuando suas potencialidades e deficiências, trazendo para o profissional que lida com o patrimônio os principais recursos que essa tecnologia pode oferecer ao projeto de restauro, ao inventário ou plano de conservação.

Com a apresentação da primeira parte da dissertação, em que se abordaram os conceito teórico-metodológicos, e do capítulo referente ao levantamento métrico-arquitetônico no projeto de restauro, situando a função do registro físico do objeto dentro do projeto global de restauro, com as etapas de análises, levantamentos e soluções a serem estudadas, é possível que os profissionais responsáveis pela produção de dados de registro compreendam a face do projeto para além da coleta de dados da forma física do objeto.

Abriu-se, portanto, um diálogo entre os profissionais que produzem a documentação (topógrafos, geógrafos, arquitetos especializados em levantamentos, etc.) e os profissionais que a utilizam (conservadores, arquitetos, arqueólogos, historiadores, etc.), criando uma ponte entre os produtores e os utilizadores de informação. Entende-se que a correta compreensão da tecnologia e da forma como ela é utilizada no contexto do projeto de restauro deve ser parte dos conhecimentos dos profissionais que lidam com o patrimônio.

A observação da forma como o levantamento métrico-arquitetônico foi realizado e utilizado no projeto e obra do Palacete Tereza Lara demonstrou eficazmente os conceitos abordados nas duas partes anteriores do estudo: em especial a necessidade do envolvimento da equipe de projeto em todas as fases do levantamento, na necessidade permanente de comunicação entre o profissional de levantamento e a equipe, sobretudo a respeito dos objetivos do levantamento, produtos pretendidos, forma de apresentação, nível de detalhe e precisão.

O processo de análise e conhecimento do patrimônio, diferentemente da natureza cíclica da conservação, apresenta-se em uma espiral, com um aprendizado constante a respeito de determinado bem. Os processos de documentação e as tecnologias que são utilizadas, desse ponto de vista, vêm enriquecer essa dinâmica de conhecimento, de forma que é possível dia após dia, conhecer e entender melhor aquela obra, gerando benefícios para a salvaguarda do bem em um longo prazo. Não se trata, nesse caso, da documentação com um fim em si mesma, mas da produção de conhecimento que reverbera na preservação do patrimônio.

Assim, com o correto embasamento teórico-metodológico, com a clareza quanto aos objetivos da ação de preservação (seja um projeto de restauro, um inventário, um plano de conservação, etc.), com o conhecimento das potencialidades e das limitações das várias técnicas aplicáveis em benefício do patrimônio cultural, entende-se que a

utilização da tecnologia pode e deve ser utilizada em favor da salvaguarda do patrimônio cultural. A tecnologia é uma realidade, cabe a nós compreendermos o papel que ela deve desempenhar na dinâmica da preservação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDELHAFIZ, A. **Integrating Digital Photogrammetry and Terrestrial *Laser* Scanning**. Brunswick: Tese de doutorado apresentada à Faculdade de Arquitetura, Engenharia Civil e Ciências do Ambiente da Universidade Técnica Carolo-Wilhelmina, 2009.

ADAN A., XIONG X., AKINCI, B., HUBER, D. Automatic creation of semantically rich 3d building models from *laser scanner* data. In: **Automation in Construction**. Vol. 31. Maio 2013.

AMORIM, A. L. D. **Documentação do patrimônio arquitetônico do estado da Bahia com tecnologias digitais**. Computação gráfica: pesquisas e projetos rumo à educação patrimonial. São Paulo: AHMWL/DPH/SMC/PMSP. 2008.

AMORIM, Arivaldo Leão de. Methodological aspects of architectural documentation. In: INTERNATIONAL CIPA SYMPOSIUM, 23., 2011, Prague. In: **Proceedings...** Prague: CIPA, 2011. Disponível: <<http://cipa.icomos.org/fileadmin/template/doc/PRAGUE/007.pdf>>. Acesso em 10 jan. 2014.

ANDREWS, D.; BEDFORD, J.; BRYAN, P. **Metric Survey Specifications for Cultural Heritage**. Swindon: Historic England, 2015.

ATTENNI, Martina; BARTOLOMEI, Cristiana.; IPPOLITO, Alfonso. Digital Acquisition: reflections on data quality. **Archeologia e Calcolatori**, Firenze, p.507-519, fevereiro/2017.

ATTENNI, M; et al.. Survey and modeling: from a process to a methodology. In: **Scires.it**, n.1, 2017.

ATTENNI, M; et al.. Low cost survey and heritage value. In: **Scires.it**, n.2, 2017.

BALZANI M., SANTOPUOLI N., GRIECO, A.,ZALTRON, N. ***Laser scanner* 3D surveyin archaeological Field: the Forum of Pompei**. In: International Conference on Remote Sensing Archaeology. 2004, Beijing.

BARBER, D.; MILLS, J.; ANDREWS, D. **3D *Laser Scanning* for Heritage. Advice and guidance to users on *laser* scanning in archaeology and architecture**. Swindon: Historic England, 2011.

BARDESCHI, M. D. **Restauro: punto e da capo**. Frammenti per una (impossibile) teoria. Milão: Franco Angeli, 2009.

BARDESCHI, M. D. Il restauro è recupero: l'architettura vive solo una volta. **Corriere della Sera**, 01 luglio 2012.

BASTIAN, A. V. Uma discussão sobre técnicas baseadas em imagens para levantamento de edificações. In: **Simpósio Nacional de Geometria Descritiva e Desenho Técnico**, Florianópolis, 2013.

BERTOCCI, S. **Laboratório de levantamento digital com *laser* 3d aplicado ao restauro urbano e arquitetônico: Notas de aula**. FAUUSP-UNIFI. 28 de agosto a 20 de setembro. 2017.

BIANCHINI, Carlo; INGLES, Carlo; IPPOLITO, Alfonso. **I teatri antichi del Mediterraneo come esperienza di rilevamento integrato**. Roma: Sapienza Università Editrice, 2016.

BILL, B. Metric Condition Records: Does the Capture Method or the Information Need Determine the Performance of 3D Heritage Records? **Change Over Time**, Filadélfia, v.1, Fall 2011. 168-182.

BOITO, Camillo. **Os Restauradores**. Cotia: Ateliê, 2002.

BONELLI, R. "Restauro" (Il restauro architettonico). **Enciclopedia Universale dell'Arte**, Roma-Venezia, v. 11, p. 347-348, 1963.

BOEHLER, W., HEINZ, G., MARBS, A. The potential of non-contact close range *laser scanners* for cultural heritage recording. In: **International Symposium of CIPA 2001 Potsdam**, 2001, Alemanha.

BONELLI, Renato. Teoria e metodo nella Storia dell'Architettura. In: **Bollettino dell'Istituto Storico Artistico Orvietano**, 1945, vol. 1, pp 2-10.

_____. Restauro: l'immagine architettonica fra teoria e prassi. In: **Storia architettura**, 1988 Vol. 112.

_____. **Scritti sul restauro e sulla critica architettonica**. Roma: Bonsignori, 1995.

BRAGA, Marcia. **Conservação e Restauro**. Rio de Janeiro: Rio, 2003.

BRANDI, Cesare. Il Fondamento Teorico Del Restauro. In: **Bollettino dell'Istituto Centrale del Restauro**, 1950, n.1, pp 5-12.

_____. **Il Restauro. Teoria e Pratica**. Roma: Editori Riuniti, 1994.

_____. **Teoria da Restauração**. Tradução de Beatriz Mugayar Kühl. Cotia: Ateliê Editorial, 2005.

BRASIL, MINISTÉRIO DA CULTURA. INSTITUTO DO PROGRAMA MONUMENTA. **Manual de elaboração de projetos de preservação do patrimônio cultural** . Brasília: Ministério da Cultura, Instituto do Programa Monumenta, 2005.

_____. **Inventário de Bens Arquitetônicos. Departamento de Identificação e Documentação (DID)**. Brasília: IPHAN, 2002.

BUSCARIOLLI, O. M. Pesquisa Histórica. In: VEC **Projeto de Restauo do Palacete Teresa Lara**. São Paulo: Projeto apresentado ao CONPRESP para aprovação, 2009.

CAMPANELLI, Alessandro Pergoli. O restauro do complexo monumental do Templo - Catedral de Pozzuoli, In: **Revista Pós**, São Paulo, n. 23, junho 2008, pp. 187-193.

CARBONARA, G. **Avvicinamento al restauro. Teoria, storia, monumenti**. Napoli: Liguori, 1997.

_____. **Brandi e a restauração arquitetônica hoje** . Designio, 2006, n.06, pp. 35-47.

_____. **Trattato di restauro architettonico** , Turim: UTET, 2008.

_____. **Architettura d'oggi e restauro. Un confronto antico-nuovo**. Torino: UTET Scienze Tecniche, 2011.

CARDOSO, Christina Araújo Paim. **Formas arquitetônicas: possibilidades em ambiente computacional**. Tese apresentada à UFBA, 2005.

CHIAVONI, E. et al. Metodologie e tecniche integrate per il rilievo e il disegno dell'abbazia di S. Croce di Sassovino. In: BARELLI, et al. (org). **Oltre le Carte L'abbazia di S. Croce di Sassovino presso Foligno e la sua realtà materiale** . Roma: Fabrizio Fabbri Editore, 2014.

CHIAVONI, E.; DOCCI, M. Mole da olio e mole da grano tra paesaggio agrario e archeologia industriale: Il sistema dei frantoi e dei mulini ad acqua nell'Alto Lazio: conoscenza e valorizzazione. Roma: Sapienza Università di Roma, 2012.

CHIAVONI, Emanuela. Il ruolo del rilevamento a vista nell'analisi dell'architettura. In: DOCCI, Mario. **Strumenti didattici per il rilievo** . Roma: Gangemi Editore, 2000. p.22-29.

_____. Integrated Methodologies for the Study and Documentation of the Architectural and Archaeological Heritage: The Treasury of Petra in Jordan. In:

BRUSAPORCI, Stefano. **Handbook of Research on Emerging Digital Tools for Architectural Surveying, Modeling, and Representation** . Hershey: Engineering Science Reference, 2015.

_____. Ripensare il disegno per la documentazione e la conservazione: riflessioni sulla città di Blanca in Spagna. Documentazione e Conservazione del Patrimonio Architettonico ed Urbano. In: **Disegnarecon: Documentazione e Conservazione del Patrimonio Architettonico ed Urbano**. L'Aquila, 2012, numero especial.

CHOAY, Françoise. **O patrimônio em questão** . Belo Horizonte: Fino Traço, 2011.

_____. **A Alegoria do Patrimônio** . São Paulo: Estação Liberdade / Ed. Unesp, 2001.

CIGOLA, M. Il rilevamento per la conoscenza del costruito. In: CIGOLA, M., et al. **Metodi e tecniche della rappresentazione** . Cassino: [s.n.], 2001.

CORDOBA, Andrea. **Levantamento fotogramétrico de monumentos arquitetônicos para projetos de restauração** . Dissertação de Mestrado apresentada à Faculdade de Tecnologia da Universidade de Brasília. 2012.

CORTIZO, Eduardo Cabaleiro. **Avaliação da técnica de termografia infravermelha para identificação de estruturas ocultas e diagnóstico de anomalias em edificações: ênfase em edificações do patrimônio histórico** . Tese apresentada à UFMG, 2007.

COSTA, Luis Gustavo Gonçalves. **Cronidas: elaboração da base de dados para auxílio em representação de mapas de danos** . Dissertação (mestrado) - Universidade Federal da Bahia, Faculdade de Arquitetura, 2010.

CUNHA, C. R. **Restauração: Diálogos entre teorias e práticas no Brasil nas experiências do Iphan**. São Paulo: Tese de Doutorado apresentada à FAU USP, 2010.

CURY, Isabelle. **Cartas Patrimoniais** , Rio de Janeiro: IPHAN, 2000.

DOCCI, M. M. D. **Manuale di rilevamento architettonico e urbano**. Roma: Laterza, 2009.

DUTESCU, E. **Digital 3D Documentation of Cultural Heritage Sites Based on Terrestrial Laser Scanning**. Munique: Tese apresentada à Universität der Bundeswehr München, 2006.

DVORÁK, M. **Catecismo da preservação dos monumentos** . Cotia: Atelie, 2008.

FIORANI, D. **Restauro e tecnologie in Architettura** . Roma: Carocci Editore, 2009.

FONSECA, Maria Cecília Londres. **O Patrimônio em Processo** . Rio de Janeiro: UFRJ / IPHAN, 1995.

FRANCESCHI, S.; GERMANI, L. **Linee guida per il recupero architettonico** . Roma: DEI, 2004.

FREITAS, P. M. G. D. **O desenho e o reconhecimento do objeto histórico: os princípios metodológicos do projeto de restauro arquitetônico**. Campinas: Dissertação de Mestrado apresentada à Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da UNICAMP, 2012.

GENECHTEN, B. V. E. A. **Theory and practice on terrestrial *laser* Scanning: training material based on practical applications**. Valencia: Universidad Politecnica de Valencia Editorial, 2008. Disponível em: <<https://lirias.kuleuven.be/handle/123456789/201130>> . Acesso em: mar. 2017.

GIOVANNONI, Gustavo. **Verbete: Restauro dei monumenti** . In: **Enciclopedia Italiana di Scienze, Lettere ed Arti**. Roma: Istituto della Enciclopedia Italiana (Treccani), 1936, v. 18, pp. 127-130.

_____. O desbastamento. In: KÜHL, Beatriz (org.). **Gustavo Giovannoni: Textos Escolhidos** . Cotia: Ateliê, 2013.

GROETELAARS, N. J. **Um estudo da fotogrametria digital na documentação de formas arquitetônicas e urbanas** . Salvador: Dissertação de Mestrado apresentada à Faculdade de Arquitetura da UFBA, 2004.

GROETELAARS, Natalie Johanna; AMORIM, Arivaldo Leão de. **Tecnologia 3D Laser Scanning: características, processos e ferramentas para manipulação de nuvens de pontos**. In: **Sigradi 2011 - Congreso de la Sociedad Iberoamericana de Gráfica Digital** , 15., 2011, Santa Fé. Anais eletrônicos... Santa Fé: SIGRADI, 2011b.

GROETELAARS, N. J. **Criação de modelos bim a partir de "nuvens de pontos": estudo de métodos e técnicas para documentação arquitetônica**. Salvador: Tese de doutorado apresentada à Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da UFBA, 2015.

GSA - GENERAL SERVICES ADMINISTRATION. **GSA Building Information Modeling Guide Series: 03 – GSA BIM Guide for 3D Imaging**. Disponível em: https://www.gsa.gov/cdnstatic/GSA_BIM_Guide_Series_03.pdf, 2009. Acesso em: 21 junho 2018.

HARVEY, David. **Condição Pós-moderna: uma pesquisa sobre as origens da mudança cultural**. São Paulo: Edições Loyola, 1994.

HERNÁNDEZ MARTINEZ, Ascención. **La clonación arquitectónica**. Madrid: Siruela, 2007.

_____. A la búsqueda (impossible) del tiempo perdido...* **Reflexiones en torno a la “reconstrucción idéntica” definida por Paul Philippot**, *Conversaciones*, 2015, n.1, pp.96-116.

HUBER, Daniel., AKINCI, Burcu., TANG, Pingbo., ADAN, Antonio., OKORN, Brian., XIONG, Xuehan. Using *Laser scanners* for Modeling and Analysis in Architecture, Engineering, and Construction. In: **Information Sciences and Systems (CISS)**, 44th Annual Conference. 2010. Princeton, NJ, USA.

ICOMOS, 1. G. A. **Principles for the recording of monuments, groups of buildings and sites**. Sofia: [s.n.]. 1996. p. 4.

ICOMOS, 2. I. C. O. A. A. T. O. H. M. **International charter for the conservation and restoration of monuments and sites (the Venice Charter)**. Veneza: [s.n.]. 1964.

IPPOLITO, Alfonso. Digital documetation for Archaeology: case studies on etruscan and roman heritage. **Scires.it**, n.2, 2015.

IPPOLITO, Alfonso. **La Scarzuola tra idea e costruzione: Rappresentazione e analisi di un simbolo tramutato in pietra**. Roma: Sapienza Università Editrice, 2018.

JOKILEHTO, J. I. **A History of architectural conservation**. Oxford: Butterworth-Heinemann, 1999.

KÜHL, B. M. O tratamento das superfícies arquitetônicas como problema teórico da restauração. **Anais do Museu Paulista**, São Paulo, v. 12, p. 309-330, jan 2004.

_____. História e Ética na Conservação e na Restauração de Monumentos Históricos. **Revista CPC**, São Paulo, v. 1, n. 1, p. 16-40, nov 2005.

_____. **Preservação do patrimônio arquitetônico da industrialização: problemas teóricos de restauro**. Cotia: Ateliê Editorial, 2008.

_____. Cesare Brandi e a teoria da restauração. In: **Pós**. Revista do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da FAUUSP, n.21 São Paulo jun. 2007.

LA REGINA, Francesco. **Restaurare o conservare. La costruzione logica e metodologica del restauro architettonico.** Napoli: Clean, 1984.

_____. **Il restauro dell'architettura, l'architettura del restauro** . Napoli: Liguori, 2004.

LANE, R. **Understanding Historic Buildings. A Guide to Good Recording Practice** . [S.l.]: Historic England, 2016.

LETELLIER, R. **Recording, Documentation and Information Management for the Conservation of Heritage Places** . Los Angeles: The Getty Conservation Institute, v. 1, 2007.

MARCONI, P. **Dal piccolo al grande restauro** . Veneza: Marsilio, 1998.

MARIANI, G. M. I Restauri di Pierre Prunet: Un Pretesto per Parlare di Architettura. **Palladio**, Roma, v. 27, 2000.

MATEUS, L. M. C. **Contributos para o Projecto de Conservação, Restauro e Reabilitação:** uma metodologia documental baseada na fotogrametria digital e no varrimento *laser* 3D terrestre. Lisboa: Tese de doutorado apresentada à Faculdade de Arquitectura da Universidade Técnica de Lisboa, 2012.

MENESES, Ulpiano T. Bezerra de. A História, cativa da memória? Para um mapeamento da memória no campo das Ciências Sociais. In: **Revista do Instituto de Estudos Brasileiros**. Volume 34, 1992, pp9-24.

_____. Os usos culturais da cultura. In: YAZIGI, E. (et al.). **Turismo, espaço, paisagem e cultura** . São Paulo: Hucitec, 1996.

MIANO, Giuseppe. Camillo Boito. In: **Dizionario Biografico degli Italiani** – Volume 11, 1969, Treccani.

NOGUEIRA, F. M. D. S. **A representação de sítios históricos:** documentação arquitetônica digital. Salvador: Dissertação de Mestrado apresentada à UFBA, 2010.

OLIVEIRA, Mário Mendonça de. **Tecnologia da Conservação e da Restauração** . Salvador: EDUFBA, 2006.

OLIVEIRA, M. M. D. **A documentação como ferramenta de preservação da memória** . Brasília, DF: IPHAN/Programa Monumenta, 2008.

PANE, A. **Il ruolo della teoria nel progetto di restauro: ieri, oggi, domani.** Fórum Internacional Sobre Patrimônio Arquitetônico Brasil/Portugal (FIPA). Campinas: [s.n.]. 2016.

PHILIPPOT, Paul & MORA, Paolo & Mora, Laura. Il Restauro degli Intonaci colorati in architettura: l'esempio di Roma e Le questioni di metodo. In: **Bollettino d'Arte**, 1986, supplemento al n. 35-36, pp. 139-141.

QUINTERO, Mario Santana (et al.). **Architectural Heritage Recording Manuals: A Methodology for Digital Recording of Buildings and Monuments in Jerusalem**. University College St Lieven & Raymond Lemaire Int. Centre for Conservation (KU Leuven). 2010.

REMONDINO, Fabio. Heritage Recording and 3D Modeling with Photogrammetry and 3D Scanning. In: **Remote Sensing**. Vol. 3, 2011, pp.1104-1138.

RESENDE, Wagner. **Fotogrametria digital e Patrimônio Histórico: uma proposta metodológica.** Forum Patrimônio: Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável. Belo Horizonte, V2, N°2, Maio/Agosto 2008.

REZNICEK, J.; PAVELKA, K. New low-cost 3D scanning techniques for cultural heritage documentation. In: **XXIst ISPRS Congress: Commission V**, WG 2, Beijing, p.237-240 (2008).

RIEGL, Alois. **O culto moderno dos monumentos**. Trad. Werner Rothschild Davidsohn. São Paulo: Perspectiva, 2014.

SALVO, Simona. Arranha-céu Pirelli: Crônica de uma restauração. In: **Desígnio**, 2006, n.6, pp.69-86.

SANTOS, Humberto Diniz Guerra. **Sistema de informações do patrimônio histórico da cidade de Mucugê – Bahia**. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal da Bahia, Faculdade de Arquitetura, Salvador, 2014.

TARINI, M. et al. **Practical quad mesh simplification**. Oxford: Blackwell Publishing, 2010.

TIRELLO, Regina. **A ruína, o restauro e as pinturas murais oitocentistas do Vale do Paraíba Paulista**. Tese de Doutorado apresentada à FAUUSP. 1999.

TORSELLO, B. Paolo. **Che cos'è il Restauro. Nove studiosi a confronto**. Venezia: Marsilio, 2005.

TOSCANO, A. I. **Documentación gráfica y dinamización del patrimonio histórico mediante nuevas tecnologías** . Sevilla: Tese de doutorado apresentada à Escuela Técnica Superior de Ingeniería de la Edificación da Universidade de Sevilla, 2017.

VEC ENGENHARIA E GESTÃO. **Memorial do Projeto de Restauro do Palacete Teresa Lara**. São Paulo. 2009.