

UFRGS
ESCOLA DE ENGENHARIA
FACULDADE DE ARQUITETURA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESIGN

Guilherme Resende Muniz

**O USO DO DESIGN E DAS TECNOLOGIAS 3D NA CRIAÇÃO DO
REPOSITÓRIO DIGITAL DE ELEMENTOS DE FACHADA DOS PRÉDIOS
HISTÓRICOS UFRGS**

Porto Alegre

2015

UFRGS
ESCOLA DE ENGENHARIA
FACULDADE DE ARQUITETURA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESIGN

Guilherme Resende Muniz

**O USO DO DESIGN E DAS TECNOLOGIAS 3D NA CRIAÇÃO DO REPOSITÓRIO
DIGITAL DE ELEMENTOS DE FACHADA DOS PRÉDIOS HISTÓRICOS DA
UFRGS**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação
em Design da Universidade Federal do Rio Grande do
Sul para a obtenção do Grau de Mestre em Design.

Orientador: Prof. Dr. Wilson Kindlein Júnior

Porto Alegre

2015

Guilherme Resende Muniz

O USO DO DESIGN E DAS TECNOLOGIAS 3D NA CRIAÇÃO DO REPOSITÓRIO
DIGITAL DE ELEMENTOS DE FACHADA DOS PRÉDIOS HISTÓRICOS DA
UFRGS

Exame de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Design da UFRGS.
Porto Alegre, 14 de dezembro de 2015.

Prof. Dr. Fábio Gonçalves Teixeira
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Design da UFRGS

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Wilson Kindlein Júnior
Orientador
Programa de Pós-Graduação em Design / UFRGS

Prof.^a Dr.^a Gabriela Trindade Perry
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof.^a Dr.^a Paula Viviane Ramos
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof.^a Dr.^a Suely Dadalti Fragoso
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof. Dr. José Luís Farinatti Aymone
Programa de Pós-Graduação em Design
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Relações entre cultura, educação, ciência e comunicação

O desenvolvimento global da sociedade exige políticas complementares nos campos da cultura, da educação, da ciência e da comunicação, a fim de estabelecer um equilíbrio harmonioso entre o progresso técnico e a elevação intelectual e moral da humanidade.

A educação é o meio por excelência para transmitir os valores culturais nacionais e universais. É necessário revalorizar as línguas nacionais como veículos do saber. A alfabetização é condição indispensável para o desenvolvimento cultural dos povos.

O ensino da ciência e da tecnologia deve ser concebido principalmente como um processo cultural de desenvolvimento do espírito crítico e integrado aos sistemas educativos, em função das necessidades de desenvolvimento dos povos.

Os avanços tecnológicos dos últimos anos têm dado lugar à expansão das indústrias culturais. Tais indústrias, qualquer que seja a sua organização, desempenham um papel importante na difusão de bens culturais. Em suas atividades internacionais, no entanto, ignoram muitas vezes os valores tradicionais da sociedade e suscitam expectativas e aspirações que não respondem às necessidades efetivas do seu desenvolvimento. Por outra parte, a ausência de indústrias culturais nacionais, sobretudo nos países em desenvolvimento, pode ser fonte de dependência cultural e origem de alienação.

ICOMOS – Declaração do México de 1986

“A educação não deve ser vista como fator de distinção e sim como fator de transformação”

“A tecnologia, para não ser alienante, deve andar sempre junto com as artes e as humanidades”

“Se o nosso mundo cotidiano se dá no âmbito tridimensional, por que ainda representamos as coisas que nos cercam de forma bidimensional?”

Agradecimentos

À toda minha família, em especial minha mãe, Mônica Rico de Almeida e a minha companheira, Gabriela Wolffenbüttel.

A toda a comunidade acadêmica da UFRGS. A todo o corpo docente do PGDesign, CNPq, Secretaria do Patrimônio Histórico, e ao LdSM. Aos professores e amigos que me ensinaram que a ciência, antes de tudo, é uma construção colaborativa: Fábio Pinto, Mariana Pohlman, Liane Roldo, Bruna Barth, Lauren Cunha Duarte, Yuri Walter, Israel Savaris, Gabriela Trindade Perry e Laura Moura. Ao meu orientador Wilson Kindlein Jr. por todo o apoio e todas as oportunidades de aprendizado, dentro e fora da sala de aula.

A todos os professores que já tive.

LISTA DE SIGLAS

API: (*Application Programming Interface*). Interface de Programação de Aplicativos. Conjunto de rotinas de programação utilizadas a partir de códigos ou softwares de terceiros para criar um novo programa.

HTML: (*Hyper Text Markup Language*). Linguagem de Marcação de Hipertexto. Linguagem de marcação utilizada para produzir páginas na Web.

ICBS: Instituto de Ciências Básicas da Saúde da UFRGS.

ISO: (*International Organization for Standardization*). Organização Internacional para Padronização. É uma organização independente e não governamental responsável por padronizações e normatizações internacionais.

JPG: (*Join Photographic Experts Group*). Formato de arquivo de imagem compactada.

LdSM: Laboratório de Seleção de Materiais da UFRGS.

MTL: (*Material Library File*). Arquivo contém informações sobre as características dos materiais (cor, índice de reflexão, textura). Pode ser usado em conjunto com o formato de arquivo OBJ.

OBJ: Formato de arquivo desenvolvido pela Wavefront Technologies. Contém malhas poligonais. Um dos formatos mais populares para armazenamento de conteúdo em 3D.

PDF: (*Portable Document Format*). Formato de arquivo que armazena e reproduz gráficos, textos, vídeos e informações 3D independentemente do hardware ou sistema operacional. Criado pela Adobe®, em 1993.

PLY: (*Polygon File Format*). Formato de arquivo 3D desenvolvido na universidade de Stanford como alternativa ao formato OBJ.

PNG: (*Portable Network Graphics*). Formato de arquivo de imagens criado em 1995. Tem como uma das suas principais características, o suporte a uso de transparências.

RGB: (Red, Blue, Green). Sistema de cores utilizado para reprodução de imagens em dispositivos eletrônicos.

SPH: Secretaria de Patrimônio Histórico da UFRGS.

STL: (*Stereo Lithography*). Também conhecido como *Standard Triangle Language*. Formato de arquivo 3D. Criado pela empresa 3D Systems. Muito utilizado em prototipagem rápida.

VRML: (*Virtual Reality Modeling Language*). Linguagem para Modelagem de Realidade Virtual. Formato de arquivo que contém informações 3D. Muito utilizado para levar a realidade virtual ao ambiente da web, embora também funcione localmente. Atualmente,

esta tecnologia foi ultrapassada por outras técnicas de representação 3D como o WebGL e o X3D.

X3D: Evolução do VRML. Padrão aberto para a distribuição de conteúdo 3D. Combina o VRML com a linguagem de marcação XML.

XML: (*eXtensible Markup Language*). Linguagem de marcação. Similar ao HTML.

JSC3D: Visualizador 3D simples, programado em *javascript*.

JS: (*Javascript*). Formato de arquivo da linguagem de programação.

MB: (Megabyte). Unidade de informação. Equivale a 1000000 bytes.

UFRGS: Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

PHP: (Hypertext Preprocess). Linguagem de programação. Criada em 1995, é uma linguagem muito popular para geração de conteúdo na web.

CMS: (*Content Management Systems*) Sistema de gerenciamento de conteúdo. Sistema que gerencia websites, portais ou intranets integrando ferramentas para criar, gerenciar (editar e inserir) conteúdo em tempo real, sem a necessidade de programação de código. Seu objetivo visa facilitar a criação, administração, distribuição, publicação e disponibilidade da informação.

ICOMOS: (*International Council of Monuments and Sites*) Conselho Internacional de Monumentos e Sítios. Associação civil não-governamental, ligada à ONU, através da Unesco. Tem sede em Paris, França.

RESUMO

As novas tecnologias informacionais mudaram o nosso modo de vida, modificaram nossos hábitos e transformaram profundamente a sociedade. A evolução da informática e da internet trouxe um mundo no qual estamos constantemente conectados através de *smartphones*, *tablets* e/ou computadores. Entretanto, na era da informação a velocidade e a facilidade de acesso aos dados, muitas vezes, têm se mostrado superiores à nossa capacidade de absorvê-los e transformar a informação em conhecimento. Neste contexto, novas mídias emergem criando possibilidades de comunicação, dentre as quais destacam-se as tecnologias 3D. Essas abrem novas possibilidades nas mais diversas áreas, oferecendo maior liberdade para que os objetos sejam representados e manipulados no espaço. O campo da educação, por sua vez, tem encontrado dificuldades de absorver estas tecnologias e utilizá-las como ferramentas didáticas. Acredita-se que as tecnologias 3D possam vir a ser importantes instrumentos para a prática pedagógica. O presente trabalho tem como objetivo pesquisar possibilidades de ampliação e facilitação do uso da tecnologia 3D para fins educacionais e de preservação histórica. Para tal, realizou-se uma pesquisa sobre como esta tecnologia tem sido utilizada em ambos os campos. Após, foi realizado levantamento das principais técnicas de digitalização em 3D. Em seguida, foram testadas as principais plataformas e tecnologias para a exibição deste tipo de conteúdo: *Cliver*, *Sketchfab*, *JSC3D*, *WebGL*, *Three.js*, *VRML*, *X3D*, *PDF3D* e *Unity*. A partir desta análise, em caráter experimental, criou-se um repositório virtual 3D, o qual encontra-se hospedado nos servidores da UFRGS. O repositório facilita a divulgação de modelos 3D por parte dos criadores deste tipo de conteúdo, pois permite a sua inserção na internet de forma simples, sem a necessidade de conhecimento prévio de programação. Deste modo, o conteúdo gerado pode ser visualizado em computadores e/ou dispositivos móveis, diretamente no navegador, dispensando a instalação de programas complementares, contribuindo para a propagação deste tipo de mídia. Também é possível disponibilizar as obras digitalizadas para reprodução física, mediante técnicas de prototipagem rápida como manufatura aditiva (popularmente conhecida como impressão 3D) e/ou usinagem em CNC. Para a criação do conteúdo 3D, digitalizou-se em três dimensões de quatro elementos, fachadas específicas dos prédios históricos da UFRGS. Os modelos gerados a partir da digitalização foram disponibilizados, através do repositório 3D, e podem ser acessadas no endereço: www.ufrgs.br/ldsm/3d. O repositório 3D dos prédios da UFRGS é uma ação inovadora com propósitos educacionais e de

conservação de patrimônio histórico, agindo como catalisador, onde arte, tecnologia e educação convergem em prol da construção do conhecimento.

Palavras chave: Design e tecnologia. Arte e tecnologia. Ciência e tecnologia. Educação e novas tecnologias. Repositórios 3d. Digitalização 3d. Novas mídias. Patrimônio histórico. Prédios históricos da UFRGS. Visualização online 3D.

ABSTRACT

The new informational technologies have changed our way of life, have changed our habits and profoundly transformed the society. The evolution of computer science and the internet brought a world in which we are constantly connected, whether through smartphones, tablets, and/or computers. However, in this Information Age, the speed and ease of access to data often has been shown to be superior to our capacity to absorb them and to transform the information into knowledge. Within this context, new media has emerged creating new possibilities of communication, among which stand out the 3D technologies, which open up new possibilities in the most diverse areas, offering greater freedom for the objects that are represented and manipulated in space. Fields of education, in this matter, have found difficulties to absorb these technologies and use them as teaching tools. In this context, it is believed that 3D technologies are likely to be important instruments for the pedagogic practice. The present study aims to search possibilities of expansion and facilitation in the use of 3D technology for educational purposes and historical preservation. With this research, it was studied on how this technology has been used in both fields. After this, it was done a survey of the main techniques of 3D scanning. Then, were tested major platforms and technologies for the display of this content type: Cl3ver, Sketchfab, JSC3D, WebGL, Three.js, VRML, X3D, PDF3D and Unity. Through this analysis, for experimental purposes was done the creation of a 3D virtual repository which is hosted on the servers of UFRGS. The repository facilitates the dissemination of 3D content by content creators, as it allows its insertion on the Internet in a simple way, without the need for programming skills, so that the content generated can be viewed on computers and/or mobile devices directly in the browser, without the need to install additional programs, contributing to the popularization of this type of media. It is also possible to transform the digitized 3D data creating physical models through rapid prototyping techniques, such as additive manufacturing (popularly known as 3D printing) and/or CNC machining. To create 3D content, 3D scanning was performed of four elements of specific historical UFRGS buildings facades. The models generated from scanning were provided through 3D repository, that can be accessed at: www.ufrgs.br/ldsm/3d. The 3D buildings of UFRGS repository is an innovative action, with educational purposes besides the conservation of historical heritage, acting as a catalyst where art, technology and education converge towards the construction of knowledge.

Key words: Design and technology. Art and technology. Science and technology. Education and new technologies. Repositories 3d. 3d scanning. New media. Heritage. Historic buildings UFRGS. Online 3D visualization.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: temáticas abordadas pelo repositório	22
Figura 2: relações entre os corpos de conhecimento abordados no projeto de construção do repositório 3D.....	24
Figura 3: modelo em 3D demonstrando o ciclo de vida do vírus HIV.....	29
Figura 4: protótipo de sala de aula virtual do LabInter	31
Figura 5: Dados do laboratório do MIT exibidos em tempo real	33
Figura 6: Visualizações interativas no PDF 3D no artigo: <i>3D Models of Biological Specimens in PDF Publications. Ruthensteiner(2008)</i>	34
Figura 7: informações semânticas destacadas no objeto 3D	38
Figura 8: O Laçador 3D.....	41
Figura 9 demonstração do uso do Skatchpad	43
Figura 10: a primeira digitalização 3D feita na história	44
Figura 11: Resultado da primeira digitalização 3D feita na história	44
Figura 12: Princípio da digitalização 3D a laser	48
Figura 13: Resumo dos aspectos negativos e positivos das técnicas de digitalização 3D	50
Figura 14: Aparência dos detalhes.....	53
Figura 15: Nível de precisão: fidedigna em relação ao objeto digitalizado	54
Figura 16: nuvem de pontos gerada a partir da digitalização 3D da janela do Observatório da UFRGS	55
Figura 17: detalhe do modelo 3D da janela do Observatório da UFRGS	56
Figura 18: detalhe do modelo 3D da janela do Observatório da UFRGS com textura de cor.....	57
Figura 19: Modelos virtuais da janela do Observatório:	57
Figura 20: Exemplo de aplicação do mapa de normais.	59
Figura 21: Resultado da aplicação de um mapa de normais.....	59
Figura 22: Comparação da digitalização de uma bandeja de metal realizado pelo LdSM	60
Figura 23: Demonstração do funcionamento prático das variáveis Ks (A), Kd (B) e Ks (C) do formato de arquivo MTL.	62
Figura 24: Digitalização 3D da estátua Cahy	64

Figura 25: Modelo digitalizado em 3D da janela do observatório astronômico da UFRGS	72
Figura 26: Capturas de tela comparativas 3DHOP X WebGL X X3DOM.....	74
Figura 27: teste dos recursos da plataforma P3D.in.	76
Figura 28: Teste de uso da plataforma Cl3ver.....	77
Figura 29: Recursos disponíveis na plataforma Skatchfab:.....	78
Figura 30: Captura de tela do visualizador 3D <i>Smithsonian 3DX</i>	79
Figura 31: Caminhos metodológicos selecionados para este estudo.....	81
Figura 32: Elementos de fachadas dos prédios históricos da UFRGS selecionados para digitalização tridimensional.	83
Figura 33: Sensores do escâner 3D artec EVA.	84
Figura 34: Uso do extensor acoplado ao Artec Eva para a digitalização tridimensional de locais de difícil alcance.	85
Figura 35: Etapas da geração de conteúdo para o repositório 3D.	88
Figura 36: Fluxograma das etapas, materiais e processos envolvidos na construção do repositório 3D.....	89
Figura 37: Local das digitalizações. Vista aérea do campus central da UFRGS.....	91
Figura 38: Observatório Astronômico da UFRGS	92
Figura 39: Digitalização do Observatório Astronômico da UFRGS.....	93
Figura 40: Detalhe da digitalização da janela do Observatório Astronômico.	94
Figura 41: Modelo usinado em poliuretano do detalhe da janela do Observatório Astronômico da UFRGS	94
Figura 42: Comparação entre a fotografia e o modelo virtual em 3D da janela do Observatório Astronômico da UFRGS.	95
Figura 43: Fachada do ICBS	96
Figura 44: Digitalização da fachada do ICBS.	97
Figura 45: Comparação entre o modelo virtual em 3D e a foto real do elemento de fachada do ICBS.....	97
Figura 46: Presença aparelho de ar-condicionado.....	98
Figura 47: Buraco na malha triangular (A) do ornamento da janela do prédio do ICBS	98
Figura: 48 Comparação de softwares: funcionalidade de preenchimento de buracos na malha triangular.	99
Figura 49: Modelo do ornamento do ICBS usinado em CNC cuja função é apreciação tátil de pessoas com deficiência visual.....	100

Figura 50: Construção do Instituto Ginásial Júlio de Castilhos	101
Figura 51: Informações dos pilares remanescentes do antigo Instituto Ginásial Júlio de Castilho	102
Figura 52: Vista aproximada do pilar do antigo gradil do Instituto Júlio de Castilhos.	102
Figura 53: Detalhe dos ornamentos que foram reconstruídos digitalmente em sua parte interna.....	103
Figura 54: Mapa de texturas utilizado no modelo para web do pilar do Instituto Júlio de Castilhos.....	103
Figura 55: Versão virtual do pilar do antigo gradil da UFRGS.....	104
Figura 56: Uso do extensor na digitalização do antigo pilar do Instituto Júlio de Castilhos	104
Figura 57: Comparação entre o modelo virtual em 3D e a foto real do pilar do antigo gradil do Instituto Ginásial Júlio de Castilhos.	105
Figura 58: Localização da estátua digitalizada em 3D do Instituto de Química da UFRGS.	106
Figura 59: Digitalização 3D da estátua do Instituto de Química Industrial da UFRGS.	107
Figura 60: Comparação: Modelo digitalizado da estátua do Instituto de Química.	107
Figura 61: Comparação entre a foto da estátua do Instituto de Química e o modelo 3D	108
Figura 62: Página inicial do repositório LdSM3D.	110
Figura 63: Fluxograma de tomada de decisão dos recursos analisados	112
Figura 64: Visão geral da disposição dos recursos do repositório 3D.....	113
Figura 65: Instruções para inserção dos objetos 3D do plug-in LdSM3D em cinco passos	114
Figura 66: Modelo 3D exibido no repositório 3D	115
Figura 67: Demonstração do layout responsivo do repositório 3D	116
Figura 68: Demonstração da funcionalidade de “auto-ajuste” do modelo 3D no repositório 3D.....	117
Figura 69: Botões de funcionalidades complementares do repositório 3D.....	117
Figura 70: formas de interação com o modelo 3D: diferentes tipos de dispositivos.....	118
Figura 71: Comparação entre os modelos 3D do repositório: modo compatibilidade e normal	119
Figura 72: teste do repositório em dispositivos móveis.	121

Figura 73: PDF'S 3D gerados a partir das digitalizações.....	122
Figura 74: Gravação a laser de QR Code em mármore contendo link para o repositório 3D.....	123

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Critérios de escolha de sistemas de digitalização tridimensional.....	46
Tabela 2 - Compatibilidade dos dispositivos móveis com relação ao WebGL.....	66
Tabela 3 - Compatibilidade dos navegadores web com relação ao WebGL.....	67
Tabela 4 - Estatísticas de renderização da malha triangular “Happy Buddha”	73
Tabela 5 - Lista de plug-ins utilizados no repositório com suas respectivas finalidades	87
Tabela 6 - Dados técnicos: digitalização da janela do Observatório Astronômico da UFRGS.....	95
Tabela 7 - dados técnicos da digitalização do ornamento da janela do ICBS.....	100
Tabela 8 - Dados técnicos resultantes da digitalização tridimensional do pilar do antigo gradil do Instituto Júlio de Castilhos.....	105
Tabela 9 - Dados técnicos resultantes da digitalização tridimensional da estátua do Instituto de Química Industrial da UFRGS.....	108
Tabela 10 - Resumo dos dados gerados a partir das digitalizações dos elementos de fachada dos prédios históricos	109
Tabela 11 - Teste de compatibilidade do repositório 3D com os principais navegadores para sistemas desktop	120
Tabela 12 - Teste de compatibilidade do repositório 3D com dispositivos móveis.....	121

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	20
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	27
2.1 Educação: uso do 3D como ferramenta pedagógica	27
2.1.1 Visualização de multi-dados 3D em tempo real: o projeto <i>Doppelab</i>	31
2.1.2 O uso do 3D em periódicos científicos	34
2.2 Conservação de Patrimônio Histórico e as novas tecnologias.	35
2.2.1 Critérios para exibição de captura e visualização 3D	38
2.2.2 O 3D semântico.....	40
2.3 Digitalização 3D	41
2.3.1 Seleção de métodos para digitalização tridimensional quando aplicadas a lógica de conservação de patrimônio	45
2.4 Técnicas de digitalização 3D sem contato.....	47
2.4.1 Digitalização tridimensional a laser	47
2.4.2 Digitalização tridimensional a partir de luz estruturada (luz branca)	48
2.4.3 Digitalização tridimensional: forma a partir da silhueta (<i>shape from silhouette</i>).....	49
2.4.4 Técnicas de varredura a laser (<i>laser range techniques</i>).....	49
2.5 Processamento de dados 3D aplicados à preservação de patrimônio:.....	52
2.5.1 Obstáculos do escaneamento 3D.....	62
2.6 Tecnologias para a exibição de conteúdo em 3D.....	64
2.6.1 WebGL.....	65
2.6.2 VRML	67
2.6.3 X3D.....	68
2.6.4 PDF 3D	69
2.6.5 JSC3D	70
2.6.6 Unity.....	71
2.6.7 3DHOP.....	73

2.7 Repositórios 3D: análise das plataformas.....	75
2.7.1 P3D.in	76
2.7.2 Cl3ver.....	77
2.7.3 Skatchfab.....	78
2.7.4 Smithsonian 3D X.....	79
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	80
3.1 Preparação: digitalizações 3D - elementos de fachada dos prédios históricos da UFRGS.....	82
3.2 Aquisição dos dados.....	84
3.3 Processamento dos dados das digitalizações 3D.....	85
3.4 Processamento dos modelos para exibição na web.....	86
3.5 Construção do repositório digital 3D	86
4.RESULTADOS E DISCUSSÃO	88
4.1 Digitalização 3D: Elementos de fachada dos prédios históricos da UFRGS	90
4.1.1 Digitalização da janela do observatório da astronômico da UFRGS	92
4.1.2 Digitalização de elemento da fachada da janela do antigo prédio da faculdade de medicina (atual ICBS)	96
4.1.3 Digitalização do pilar do gradil da universidade próximo ao antigo Instituto Ginásial Júlio de Castilhos	101
4.1.4 Digitalização da estátua do prédio do Instituto de Química da UFRGS....	106
4.2 Construção do repositório 3D	110
4.2.1 Criação do <i>plug-in</i> do repositório 3D para <i>Wordpress</i>	114
4.2.2 Compatibilidade com dispositivos móveis.	116
4.2.3 Funcionalidades complementares	117
4.2.4 Modo de compatibilidade.....	119
4.2.5 Navegadores e dispositivos testados	120
4.2.6 Geração de PDF'S 3D para visualização off-line.	122

4.2.7 Sugestão de outras funcionalidades: expandindo o alcance do repositório 3D, gravação a laser de QR <i>code</i> em granito	123
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	124
6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	127
REFERÊNCIAS	128
ANEXO A - Significado das variáveis no formato de arquivo .MTL.....	135
ANEXO B - Workflow das etapas de digitalização 3d do Artec Eva	136
APÊNDICE A - Resumo das fases realizadas para a etapa de geração de conteúdo do repositório 3d dos elementos de fachada dos prédios históricos da UFRGS ...	137
APÊNDICE B - Resumo dos objetivos da pesquisa	138

1 INTRODUÇÃO

Entre 50 mil e 20 mil anos é o período aproximado das primeiras pinturas rupestres que se tem conhecimento. São considerados os primeiros registros a respeito da capacidade do homem moderno de representar seu mundo e suas crenças e abstraí-las através do desenho. Dentre as mais conhecidas (e antigas): um disco vermelho de forma pouco definida, localizado em *El Castillo*; uma mão e porcos primitivos localizados em *Celebes*, ilha da Indonésia (AUBERT *et. al.* 2014); e as representações de cavalos, rinocerontes e outros animais, na caverna de *Chauvet*, no sudoeste da França.

Contudo, em virtude de sua importância histórica e, visando prevenir eventuais danos causados por visitantes, o acesso a estes sítios é restrito. Novas tecnologias vêm sendo utilizadas como aliadas para contornar este entrave, tornando-se ferramentas fundamentais para a conservação da cultura. Como exemplo, destaca-se a recém-inaugurada réplica em tamanho real da caverna de *Chauvet*. Uma equipe interdisciplinar de engenheiros, designers, arquitetos e artistas, através do uso do escaneamento 3D em conjunto com técnicas de prototipagem, replicaram em tamanho real a caverna, para que o público pudesse ter acesso a um dos “berços do nascimento da arte” da humanidade.

Atualmente, em termos de registro, as ferramentas de digitalização tridimensionais estão possibilitando grandes avanços relativos à preservação do patrimônio, colaborando com a criação de exposições virtuais cada vez mais fidedignas. A acessibilidade é outro aspecto a ser destacado. Através da digitalização, junto a técnicas de prototipagem rápida, pode-se criar réplicas de obras de arte com extrema fidelidade, permitindo que pessoas com deficiência visual possam manuseá-las, preservando as peças originais.

Dentre os diversos formatos digitais de mídias, áudio, vídeo e texto, o 3D vem se tornando cada vez mais popular. Está sendo visto como um novo formato de mídia que oferece mais liberdade para o usuário devido às infinitas possibilidades de visualização, podendo, inclusive, ser editado e compartilhado por diversos usuários de maneira colaborativa, tal como ocorre com imagens, vídeos e textos. A crescente popularidade não se restringe à esfera da conservação de patrimônio, tornando-se ferramenta fundamental em diversas áreas com as mais variadas gamas de aplicações.

Algumas áreas em que o 3D tem assumido destaque: indústria de jogos eletrônicos, produção de protótipos virtuais para a indústria, área da saúde, arquitetura,

biologia, educação, cinema, entre outras: “(...) A cada dia novos temas e pesquisadores são incorporados, demonstrando que as tecnologias tridimensionais se encontram em franca expansão quanto à abrangência de suas aplicações”. (GOMES. *Et al* 2005. 204).

Problematização: apesar de contarem com amplo campo de aplicações, os softwares de produção de conteúdo 3D são complexos de serem utilizados e apresentam curva de aprendizado relativamente alta. Esforços estão sendo feitos visando simplificar seu uso. Um exemplo é a inclusão do 3D *Builder*[®], software gratuito para a criação de conteúdo 3D no *Windows 10*[®]. Embora disponha de poucas funcionalidades, o software possui interface intuitiva e simples, há também a opção para o usuário imprimir em 3D a partir do programa.

Outra complicação é a grande gama de formatos de arquivos em três dimensões (OBJ, STL, IGS, STP, entre outros). Devido a tal fragmentação, não há consenso quanto ao tipo de tecnologia mais indicada para a disseminação. Também não há entendimento a respeito da forma ideal para executar arquivos digitais como um todo. Para tal, faz-se necessário contexto tecnológico específico para que os dados possam ser corretamente visualizados.

Embora as soluções para as dificuldades relacionadas à produção de formas complexas de conteúdo em 3D sofram aprimoramento contínuo pela própria comunidade da computação gráfica, as ferramentas disponíveis para representação, programação na web, compartilhamento e co-criação, ainda estão longe de serem satisfatórias: pesquisas interdisciplinares são necessárias para buscar, ainda mais, o desenvolvimento das aplicações de uso do 3D na internet (CATALANO, 2011).

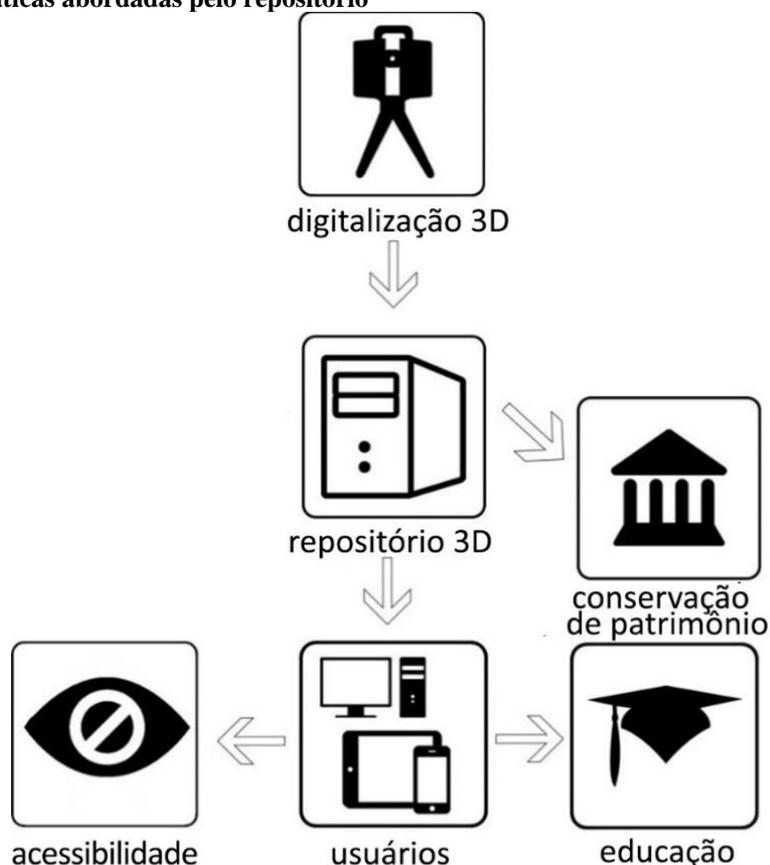
Objetivo: diante dos fatos apresentados realizou-se levantamento das tecnologias disponíveis bem como das plataformas já existentes voltadas para divulgação de conteúdo em 3 dimensões. Após a análise dessas alternativas, fez-se o seguinte questionamento: como facilitar e ampliar o acesso do público não especializado¹ a este tipo de conteúdo?

Desta forma, o objetivo do presente trabalho é utilizar a digitalização tridimensional e analisar as tecnologias de reprodução de conteúdo 3D como potenciais

¹ No presente trabalho, emprega-se o termo “público não especializado” referindo-se as pessoas que não utilizam programas nem possuem conhecimentos específicos em termos de produção de conteúdo 3D.

ferramentas com propósitos pedagógicos, de divulgação, conservação de patrimônio e acessibilidade. Para demonstrar o estudo desenvolvido, foi construído em caráter experimental um repositório 3D contemplando os temas propostos. (figura 1)

Figura 1: temáticas abordadas pelo repositório



Nota: elementos visuais do repositório 3D

Objetivos secundários: como forma de atingir o objetivo proposto e, para melhor compreensão, optou-se por dividir o presente trabalho em duas partes. A primeira, consistiu na produção de conteúdo para o repositório 3D (digitalizações tridimensionais dos elementos das fachadas dos prédios históricos da UFRGS). Esta fase incluiu as digitalizações dos respectivos elementos e, posteriormente, o tratamento de seus dados, etapa necessária para que possam ser visualizados e disponibilizados através da internet.

A segunda parte do trabalho consistiu na construção de um sistema para a exibição do conteúdo digitalizado durante a primeira fase. Baseando-se na análise e na seleção das tecnologias existentes para exibição de gráficos 3D, foi possível compreender os pontos fortes e fracos de cada uma delas, de forma a elencar as funcionalidades desejáveis que o repositório deveria possuir.

Digitalização dos elementos: na etapa da digitalização, buscou-se práticas que levassem em conta as características dos aspectos físicos das peças, bem como dos locais que elas se encontravam e do equipamento disponível para a digitalização.

As peças digitalizadas para a pesquisa foram selecionadas valendo-se de um projeto conjunto do LdSM (Laboratório de Seleção de Materiais da UFRGS) e do SPH (Secretaria do Patrimônio Histórico da UFRGS), o qual prevê a digitalização em três dimensões dos elementos de fachada de prédios de valor histórico cultural da Universidade.

O LdSM vem trabalhando com digitalização 3D há mais de 10 anos e uma das áreas de atuação é o uso desta tecnologia em conjunto com o patrimônio cultural. Dentro desta linha de pesquisa há um projeto intitulado: “O uso da tecnologia de digitalização tridimensional na documentação e preservação de bens materiais instalados em espaços públicos”. Neste sentido, o presente trabalho contribui com tal projeto, pois as peças digitalizadas estão disponíveis na internet para o público através do repositório 3D.

Exibição dos conteúdos em 3D: quanto à construção do repositório, no aspecto da visualização dos modelos tridimensionais, desenvolveu-se uma extensão (*plug-in*²) para o gerenciador de conteúdo web *Wordpress*³, com o objetivo de inserir o conteúdo 3D da maneira mais intuitiva possível, de modo que para tal, não seja necessário nenhum conhecimento de programação. Esta extensão também seleciona automaticamente entre duas *API's*⁴ (*Application program Interface*), cuja função é processar e exibir o conteúdo 3D. Desta maneira, é possível obter maior compatibilidade entre os mais variados tipos de dispositivos (computadores, *tablets*, videogames e *smartphones*).

O design e a tecnologia como elementos agregadores: desde o princípio da idealização ficou claro que o repositório funcionaria como ponte conectora entre as diferentes áreas do conhecimento a partir das tecnologias de produção de conteúdo tridimensional. Assim, optou-se pela abordagem transdisciplinar, valendo-se da dinâmica do design como elemento aglutinador dos demais campos do conhecimento que

² *Plug-ins* são programas de computador que adicionam novas funcionalidades a outros programas maiores. Os *plug-ins* não funcionam por si só. Necessitam de um programa base para que funcionem (nota do autor).

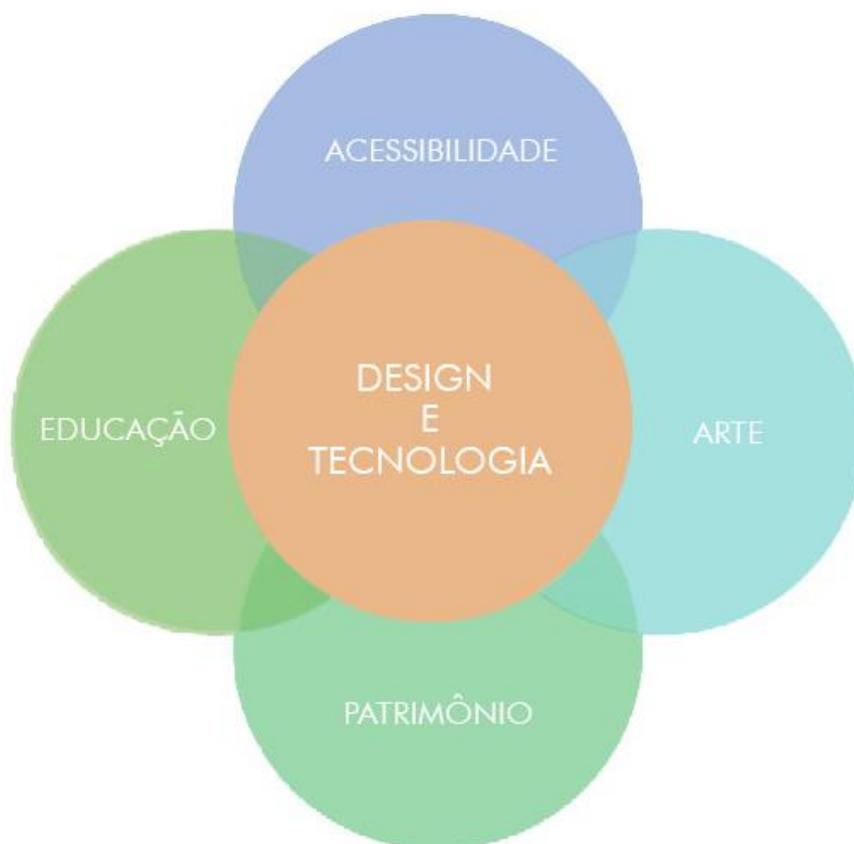
³ *Wordpress* é um sistema de gerenciamento de conteúdo (Content Management System - CMS) de websites. Sendo um dos mais conhecidos e mais utilizados no mundo (nota do autor).

⁴ *API's* é um conjunto de rotinas que visam facilitar a programação para acesso a um aplicativo de software ou plataforma baseado na Web (nota do autor).

permeiam o projeto: educação, conservação de patrimônio, acessibilidade e arte (figura 2). Além da digitalização, a tecnologia também se fez presente por meio das ferramentas utilizadas na própria criação do repositório 3D.

Para melhor compreensão acerca dos temas contemplados pelo projeto, bem como a maneira com que se relacionam entre si, é possível fazer a seguinte analogia: se o presente projeto fosse considerado uma construção física, sua gênese se daria através do design, elemento central, que representa a filosofia sob a qual o projeto foi idealizado; a tecnologia representaria o motor, a parte prática sob a qual se deu a materialização do projeto; os demais temas contemplados, educação, conservação do patrimônio, acessibilidade e arte, podem ser entendidos como extensões que funcionam por meio do eixo central do projeto: (design e tecnologia).

Figura 2: relações entre os corpos de conhecimento abordados no projeto de construção do repositório 3D.



Nota: diagrama ilustrativo das relações entre os corpos de conhecimento abordados no projeto de construção do repositório 3D.

Cardoso (2012), defende que um dos principais aspectos do design reside na sua habilidade de diálogo junto a diferentes disciplinas em uma sociedade na qual os conhecimentos encontram-se cada vez mais compartimentalizados. Já Edgar Morin, (1994) na *Carta da Transdisciplinaridade*⁵ versa a respeito de como o crescimento exponencial do saber leva a uma fragmentação do conhecimento, tornando inviável uma visão global acerca do ser humano. Para o autor, a transdisciplinaridade: “ultrapassa o domínio das ciências exatas pelo seu diálogo e sua reconciliação não somente com as ciências humanas, mas também com a arte, a literatura, a poesia e a experiência interior”⁶. Também reconhece que existem diferentes níveis de realidades e que, quando analisadas sob a ótica transdisciplinar, torna possível relacionar estes diversos níveis, obtendo, desta forma, uma visão mais ampla sobre o conhecimento.

O resultado desta abordagem transdisciplinar permitiu reunir o máximo de informações e estabelecer critérios para a criação de uma base teórica, permitindo nortear os processos de escaneamento dos prédios históricos da Universidade, bem como a construção do repositório.

Segue o resumo dos assuntos tratados de acordo com a temática representada pelos ícones:



Escaneamento / Digitalização 3D:

Referente a análise das técnicas de digitalização mais conhecidas apresentando vantagens e desvantagens de cada uma. Também é contemplada a questão do processamento dos dados capturados através do escaneamento quando aplicados a lógica da conservação do patrimônio.



Educação:

Experimentos relativos a utilização das tecnologias 3D como ferramenta didática.

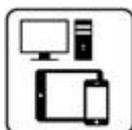
⁵ FREITAS, L, MORIN, E. NICOLESCU, B. Carta da Transdisciplinaridade apresentada no Primeiro Congresso Mundial de Transdisciplinaridade - Convento da Arrábida, 6 de novembro de 1994. Fonte: O Manifesto da Transdisciplinaridade. Basarab Nicolescu – São Paulo: TRIOM, 1999.

⁶ Artigo 5 da Carta da Transdisciplinaridade. Ibidem.



Conservação do patrimônio histórico:

Trata-se do armazenamento de dados, em três dimensões, de monumentos históricos e, de como a posterior reconstrução em ambiente virtual pode ser aplicada com a finalidade da conservação.



Tecnologias para a exibição de conteúdo em 3D:

Comparação entre tecnologias disponíveis para visualização tridimensional. Realizou-se levantamento de serviços, programas e *APIS's* que visem simplificar ao máximo o processo de visualização dos objetos 3D. Foram analisadas características como: facilidade de uso (tanto sob a ótica do usuário final, como também do criador do conteúdo 3D), compatibilidade de software e hardware, recursos computacionais exigidos, largura de banda necessária, opções de renderização e de interface disponíveis.



Acessibilidade:

Diz respeito às possíveis formas de interação entre o repositório e pessoas com determinado tipo de deficiência. Exemplo: possibilidade de áudio-descrição do conteúdo do repositório junto a disponibilização dos arquivos 3D das peças digitalizadas para impressão 3D para que o público com deficiência visual possa “sentir” a obra.



Repositórios 3D:

Referente ao problema de pesquisa: disseminação do conteúdo 3D para o público não especializado. Foram apresentadas análises comparativas de serviços similares. O repositório 3D é o resultado prático do projeto, de modo a agregar todos os temas anteriormente abordados. A construção do protótipo foi realizada com o objetivo da preservação histórica e de estimular o aprendizado através dos conteúdos 3D produzidos.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA



2.1 Educação: uso do 3D como ferramenta pedagógica

A educação vem passando por profundas mudanças em decorrência dos avanços tecnológicos das últimas duas décadas. O ensino tradicional, por sua vez, não acompanha tais possibilidades advindas desta evolução. As novas plataformas de comunicação, a interatividade e a rapidez das informações disponíveis através dos computadores e dispositivos móveis possibilitam ao aluno assumir a posição de protagonista do próprio aprendizado. Nesse contexto, percebe-se a necessidade de uma mudança de paradigma. Tradicionalmente visto como o detentor da informação, o professor deve alterar seu papel, assumindo uma postura de “orientador/guia”, justamente para auxiliar o aluno a transformar a informação em conhecimento. Para que esta mudança ocorra, é fundamental estimular o aprendizado por outros meios que envolvam interatividade, ludicidade e uma didática que trabalhe em conjunto com os novos horizontes propiciados pelas novas tecnologias. (BEETHAM, SHARPE 2013).

Segundo Means (2010), diversos estudos apontam que a utilização de tecnologia em sala de aula pode auxiliar no estímulo de competências fundamentais dos alunos como a iniciativa, o trabalho em equipe e a criatividade. Algumas das possibilidades que as tecnologias 3D proporcionam, como a representação de formas complexas de modelos abstratos, somados a interatividade e a ludicidade, são alguns dos motivos pelos quais estão sendo adotadas neste campo.

Existem diversas iniciativas de uso de recursos 3D como ferramentas de auxílio pedagógico. A tecnologia está sendo utilizada pertinentemente como ferramenta didática aliada a educação. Na medida em que ocorre a proliferação de dispositivos eletrônicos móveis, abrem-se novas possibilidades para sua utilização, podendo servir de auxílio ao professor de forma a tornar mais lúdica a abordagem do conteúdo proposto. A visão comum entre educadores é que a tecnologia pode auxiliar os alunos, ajudando a tornar mais tangíveis conceitos abstratos abordados em aula (DIAS, 2013).

Para exemplo prático de como as tecnologias tridimensionais podem ser importantes aliadas à educação, pesquisadores do Laboratório de Ultraestrutura Celular Hertha Meyer do Instituto de Biofísica da Universidade Federal do Rio de Janeiro construíram um modelo 3D do *Trypanosoma cruzi*, protozoário causador da doença de Chagas, a partir da montagem de diversas imagens em 2D obtidas por tomografia

computadorizada. O modelo 3D, permite observar as diferentes estruturas celulares com espessuras variadas sob diversos ângulos. Tal abordagem é considerada um avanço no campo da biologia celular e estrutural, pois as possibilidades de visualização que o 3D proporciona podem ajudar na caracterização das organelas e estruturas de qualquer tipo de célula. A partir do modelo virtual, os pesquisadores produziram um modelo físico do protozoário por meio de impressão 3D:

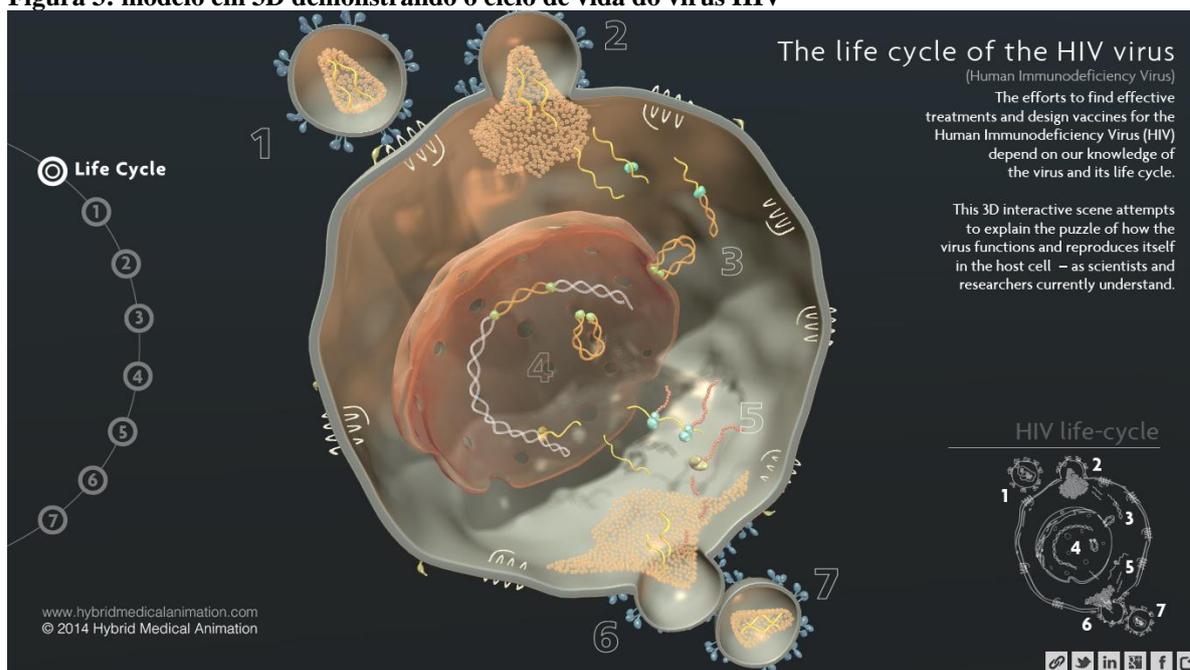
Os modelos virtuais, e os físicos, que permitem interação tátil, tem função relevante quando utilizados em eventos científicos, tais como exposições em museus, centros de pesquisa, instituições de ensino e são importantes como material de apoio nas apresentações de trabalhos em congressos científicos. Este tipo de trabalho pode dar grande impulso de modelos 3D como material pedagógico em salas de aula, desde o ensino fundamental até os cursos de pós-graduação. (GIRARD *et al*, 2013, p.161).

Segundo os pesquisadores, a possibilidade da criação de um modelo físico através de técnicas de prototipagem rápida permite melhor entendimento por parte do aluno de conceitos complexos que anteriormente demandavam, para a sua assimilação, elevada capacidade de abstração. As técnicas de prototipagem rápida, quando utilizadas sob a ótica educacional ampliam as possibilidades de divulgação científica podendo ser aplicadas do ensino fundamental à pós-graduação:

A materialização física para fins didáticos em conjunto com a interação tátil abre um novo caminho para a divulgação científica aproximando o espectador da realidade. Essa nova tecnologia poderá facilitar muito o ensino da biologia celular e de áreas correlatas do conhecimento. (GIRARD *et al* 2013 P.167).

O *Hybrid* é um estúdio de design especializado em criação de conteúdo 3D, englobando ilustração, animação e modelagem, voltado à área médica. Por meio da união entre arte e ciência, a equipe do estúdio criou um modelo interativo em 3D de uma célula que explica o ciclo de vida do vírus HIV. Texto e imagem interagem em conjunto com o cenário em três dimensões para melhor transmitir o conteúdo proposto como mostra a figura 3.

Figura 3: modelo em 3D demonstrando o ciclo de vida do vírus HIV



Fonte: Hybrid Medical Animation⁷

Nota: Modelo interativo em 3D de uma célula que explica o ciclo de vida do vírus HIV, desenvolvido pelo *Hybrid* Estúdio de design especializado.

Outro exemplo do uso de elementos interativos em 3D que gerou repercussão é a tese de doutorado do professor da Unicamp, Manuel Moreira Baptista. A tese versa sobre o uso de animações 3D para o ensino de química. Segue trecho publicado no Jornal da Unicamp⁸:

Os temas abordados nas animações são Teoria do Orbital Atômico, distribuição eletrônica, hibridização, Teoria do Orbital Molecular, Teoria de Ligação de Valência, Teoria VSEPR, estruturas de Lewis, estruturas cristalinas dos compostos iônicos e metais (célula unitária, empacotamento e retículo cristalino), transformações químicas e polímeros. Nas imagens animadas, a parte microscópica da Química ganha outra dinâmica. “Com esse tipo de recurso pedagógico o professor não precisa mais pedir para que o aluno imagine a reação química, pois ele está vendo em detalhes como ela acontece dinamicamente(...)”.

⁷ Modelo interativo em 3D de uma célula que explica o ciclo de vida do vírus HIV. Disponível em: <<http://www.hybridmedicalanimation.com/work/animation/life-cycle-of-hiv-virus/>>. Acesso em: 29 abr. 2016.

⁸ Jornal da Unicamp. *Animações em 3D tornam o ensino de química mais efetivo e prazeroso*. Campinas, 11 de novembro de 2013 a 24 de novembro de 2013 – ANO 2013 – Nº 583, p. 6.

As animações produzidas durante o doutorado foram disponibilizadas através do site Química 3D⁹, desenvolvido como parte da tese e do canal¹⁰ do site *youtube*.

O retorno do trabalho é significativo, como demonstram os números: foram realizados cerca de 360 mil *downloads* das animações através do site e o canal do *youtube* conta com mais de 1 milhão de visualizações. Segundo o autor, o uso da tecnologia 3D como ferramenta didática estimula e facilita o aprendizado:

A facilidade que a internet oferece para divulgar o conhecimento, associada ao surgimento de softwares de modelagem e animação em 3D para computadores pessoais na década de 2000, vem causando mudanças no ensino e aprendizado de Química. Em nossa opinião, a visualização tridimensional e o movimento em transformações químicas, por exemplo, têm mostrado que as animações em 3D são um recurso didático importante. (BAPTISTA 2013).

Outra iniciativa a respeito do uso de tecnologias 3D como ferramenta de ensino, foi desenvolvida no Laboratório Interdisciplinar Interativo (LabInter) instalado na Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). Segundo a descrição encontrada no website¹¹, o *LabInter*:

(...) objetiva a produção de um novo discurso eletrônico, outras maneiras de lidar com a informação e a comunicação, novos deslocamentos e “descentramentos” perceptivos, outros modos de subjetivação em redes a partir de complexidades, multiplicidades e multimodalidades. Constitui como um espaço de pesquisa e criação de projetos interativos interdisciplinares e colaborativos.

Nele foi desenvolvido um protótipo de uma sala de aula em 3D para o ensino de língua inglesa. Com uma proposta interdisciplinar, o curso foi desenvolvido integrando a plataforma de ensino *Moodle*¹² operando em conjunto com o *OpenSimulator* (plataforma de construção e hospedagem de ambientes virtuais em 3D). O curso utiliza o *Moodle* como gestor de conteúdo e o integra através da *OpenSimulator*. Este, por sua vez,

⁹ Site Química 3D. Disponível em <<http://www.quimica3d.com>>

¹⁰ Canal Manuel Moreira Baptista. Disponível em <<https://www.youtube.com/user/m770596>>

¹¹ Descrição do Laboratório Interdisciplinar Interativo, publicada na capa do site. Disponível em: <<http://coral.ufsm.br/labinter/>>. Acesso em: 22 jun. 2014.

¹² MOODLE é o acrônimo de "*Modular Object-Oriented Dynamic Learning Environment*", um software livre, de apoio à aprendizagem, executado em ambiente virtual. A expressão designa ainda o Learning Management System (Sistema de gestão da aprendizagem) em trabalho colaborativo baseado nesse software ou plataforma, acessível através da Internet ou de rede local. Em linguagem coloquial, na língua inglesa o verbo "to moodle" descreve o processo de navegar despreziosamente por algo, enquanto fazem-se outras coisas ao mesmo tempo. Utilizado principalmente num contexto de *e-learning* ou *b-learning*, o programa permite a criação de cursos "*on-line*", páginas de disciplinas, grupos de trabalho e comunidades de aprendizagem, estando disponível em 75 línguas diferentes. Conta com 25.000 websites registrados, em mais de 175 países. A plataforma pode ser acessada através do endereço <https://moodle.org>

reproduz uma sala de aula virtual em 3D. No protótipo desenvolvido (figura 4) a prática de inglês é estimulada através da abordagem de temas interdisciplinares. O conteúdo pode ser acessado por meio do navegador.

Figura 4: protótipo de sala de aula virtual do LabInter



Fonte: Oliveira, A. M. *et al* (2012).

Nota: protótipo de sala de aula em 3D para o ensino de língua inglesa.

2.1.1 Visualização de multi-dados 3D em tempo real: o projeto *Doppelab*.

Devido à grande quantidade de dados produzidos atualmente, o *MIT media lab*¹³, departamento do Instituto de Tecnologia de Massachusetts (MIT) especializado em pesquisas de novas mídias, criou o *DoppelLab: Tolls for Exploring Multimodal Sensor Data*¹⁴. O projeto mescla o conceito de Internet das Coisas¹⁵ em conjunto com novas

¹³ MIT Media Lab é um laboratório nos Estados Unidos. Com o lema que diz "o futuro é vivido e não imaginado", o Media Lab faz parte do departamento de pesquisa da escola de arquitetura e Urbanismo da MIT, pode ser acessado através do endereço <http://www.media.mit.edu/>.

¹⁴ Disponível no endereço <http://doppelab.media.mit.edu/>

¹⁵ A "Internet das Coisas" se refere a uma revolução tecnológica que tem como objetivo conectar os itens usados do dia a dia à rede mundial de computadores. Cada vez mais surgem eletrodomésticos, meios de transporte e até mesmo tênis, roupas e maçanetas conectadas à Internet e a outros dispositivos, como computadores e smartphones. Fonte: Blog da Globo.com. Techtudo. 'Internet das Coisas': entenda o conceito e o que muda com a tecnologia. - Atualizado em 16/08/2014 09h01. Disponível em <<http://glo.bo/1MTyHAF>>

formas de visualização de dados. Múltiplos sensores espalhados pelo prédio do laboratório captam informações como som, temperatura ambiente, iluminação e umidade, alimentando o repositório virtual. Estas informações são então exibidas em tempo real e formato tridimensional. A forma de exploração dos dados produzidos se dá através de um modelo virtual do prédio (figura 5). O projeto foi construído usando a *engine*¹⁶ de jogos *Unity 3D*¹⁷, sendo necessário a instalação do *plug-in Unity Web Player*¹⁸ para funcionar. Ocorre que, em janeiro de 2015, por questões de segurança e performance, através de seu *blog* oficial¹⁹, foi anunciado que o navegador *Google Chrome*²⁰ desabilitou por padrão o suporte ao *plug-in NPAPI Netscape Plug-in Application Programming Interface*²¹. Isto afetou o *Unity Web Player*. Agora, para funcionar corretamente, é necessário que o usuário libere a permissão deste *plug-in* manualmente em seu navegador para que seja possível a exibição do *DoppelLab*. Entretanto, o *blog* informou também, que o suporte para NPAPI foi totalmente encerrado, em setembro de 2015. Como consequência, todas as aplicações que usam o *plug-in* da *Unity* deixaram de funcionar.

¹⁶ Motor de jogo, também conhecido pelo termo em inglês, *game engine*, ou simplesmente *engine*, é um programa de computador e/ou conjunto de bibliotecas, para simplificar e abstrair o desenvolvimento de jogos eletrônicos ou outras aplicações com gráficos em tempo real, para videogames e/ou computadores rodando sistemas operacionais. A funcionalidade tipicamente fornecida por um motor de jogo inclui: um motor gráfico para renderizar gráficos 2D e/ou 3D, um motor de física para simular a física ou simplesmente para fazer detecção de colisão, suporte a animação, sons, inteligência artificial, networking, gerência de memória, gerência de arquivos, gerência de linha de execução, suporte a grafos de cena e entidades e, suporte a uma linguagem de script (nota do autor).

¹⁷ *Unity 3D*, é um motor de jogo 3D proprietário e uma IDE (Ambiente de Desenvolvimento Integrado) criado pela *Unity Technologies*, similar ao *Blender*, *Virtools* ou *Torque Game Engine*, em relação a sua forma primária de autoria de jogos: a sua interface gráfica. O *Unity* possui duas versões principais: *Unity Pro* e a versão gratuita, simplesmente chamada *Unity*, que pode ser usada tanto para fins educacionais, quanto para fins comerciais. O *Unity* na grande maioria das vezes é usado na criação jogos de browser, (Jogos que rodam em navegador de internet). Mas o motor é capaz de criar grandes jogos (nota do autor). O site da *Unity* está disponível no endereço < <https://unity3d.com/pt/unity>>.

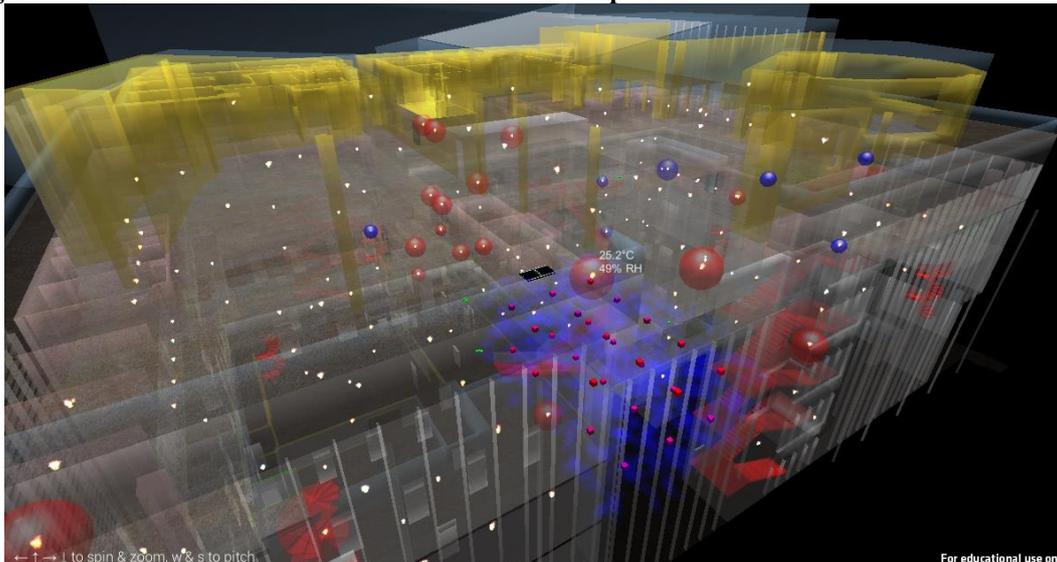
¹⁸ O *Unity Web Player* permite visualizar conteúdo em 3D criado com o *Unity* diretamente do navegador, atualizado automaticamente conforme a necessidade. Permite construir jogos 3D com personagens animados, gráficos, elementos físicos imersivos. Fonte: *website Unity 3D*. Disponível em < <https://unity3d.com/pt/webplayer>>.

¹⁹ *Blog Unity* disponível <http://blogs.unity3d.com/pt/2015/10/08/unity-web-player-roadmap/>

²⁰ O *Google Chrome* é um navegador de internet, de código aberto (open source), desenvolvido pela companhia Google (nota do autor).

²¹ *Netscape Plugin Application Programming Interface* (NPAPI) é uma API que permite o desenvolvimento de *plugins* para *browser*. Esta API, é responsável por correr *plugins* como *Java* ou *Silverlight* e tem-se revelado responsável por falhas a nível de desempenho e segurança do navegador. *Browsers* como o *Google Chrome* e *Microsoft Edge* já não suportam *plugins* NPAPI, sendo os conteúdos renderizados diretamente no navegador, terminando assim a dependência de *plugins* externos. Fonte: *Tecnologia.com*. Disponível em <<http://www.tecnologia.com.pt/2015/10/mozilla-vai-acabar-plugins-npapi-no-firefox/>>

Figura 5: Dados do laboratório do MIT exibidos em tempo real



Fonte: MIT Doppellab

Nota: modelo virtual do prédio permite exploração dos dados através de múltiplos sensores espalhados pelo prédio do laboratório que captam informações como som, temperatura ambiente, iluminação e umidade, alimentando o repositório virtual.

Segundo a descrição oficial, o *DoppelLab* propõe nova maneira de visualizar grande quantidade de dados, de modo a transmiti-los em tempo real por meio da plataforma virtual em 3D. Permite fazer consultas tanto amplas quanto específicas sobre as atividades monitoradas no ambiente, através de complexo sistema de visualização. O objetivo é desenvolver interfaces 3D para promover melhor compreensão do grande fluxo de dados criados a partir dos sensores. (DUBLON, G *et.al* 2011).

O *DoppelLab* demonstra que a visualização 3D pode ser utilizada como ferramenta, de modo que, grandes volumes de informações complexas possam ser transmitidas de maneira intuitiva, facilitando a compreensão.

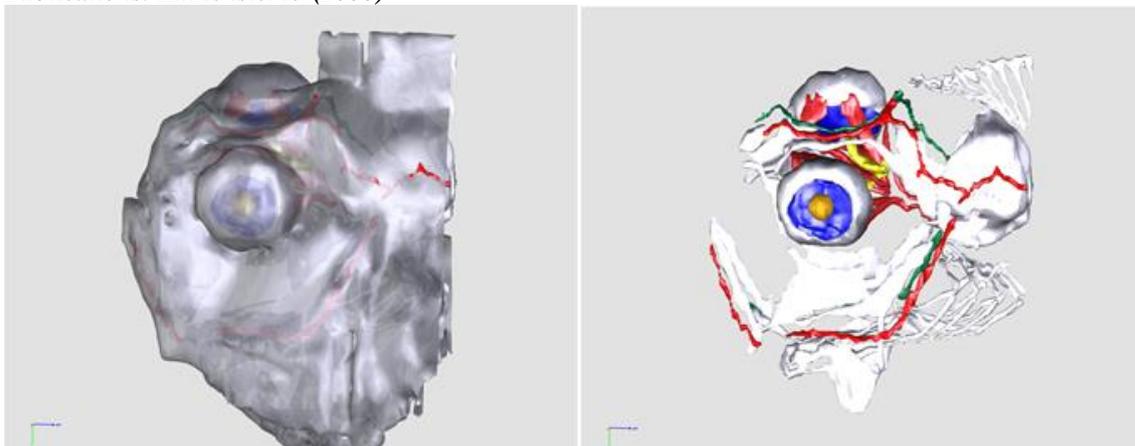
Ruthensteiner (2008), defende que o uso de modelos interativos em 3D torne-se padrão em publicações científicas. Para demonstrar a viabilidade e as vantagens que a visualização em três dimensões pode oferecer, escreveu um artigo²² e incorporou ao documento PDF²³ dois modelos de duas espécies diferentes de peixes (figura 6), que foram dissecadas para depois serem manualmente desenhadas em 3D de maneira a ser

²². Ruthensteiner, B., Heß, M., 2008. *Embedding 3D models of biological specimens in PDF*. Publications. Microsc. Res. Tech. 71, 778±786 Publications.

²³ Ver lista de siglas.

possível explorá-los em diversas camadas. De acordo com o pesquisador, a possibilidade de interação encoraja que cada leitor explore a “imagem” de sua própria maneira. Isto também estimula a curiosidade e ajuda na memorização das informações.

Figura 6: Visualizações interativas no PDF 3D no artigo: *3D Models of Biological Specimens in PDF Publications*. Ruthensteiner(2008)



Fonte: Ruthensteiner (2008)

Nota: O PDF 3D permite que o leitor explore diversas camadas de tecido do peixe.

2.1.2 O uso do 3D em periódicos científicos

A visualização de modelos 3D em periódicos científicos já é uma realidade. A editora *Elsevier*²⁴ oferece dois visualizadores de dados 3D, os quais são utilizados em diversos periódicos disponíveis no site da revista eletrônica *Sciencedirect*²⁵.

De acordo com a editora, a justificativa para tal inovação é que a visualização 3D é uma ferramenta pertinente para entender estruturas complexas e simulações dinâmicas.

Outra consequência benéfica a respeito da adoção de modelos interativos em 3D é que eles oferecem infinitas possibilidades de visualização, podendo evitar equivocadas interpretações das imagens contidas nos artigos. Nas tradicionais figuras, temos uma representação estática em 2D. Isto é, uma vista pré-determinada. Um recorte da realidade em formato bidimensional. Entretanto nossa visão é tridimensional. O objeto é reduzido ao universo estático em 2D, preso sob o ponto de vista do autor. Já o universo 3D,

²⁴ Elsevier é uma editora de literatura médica e científica. Faz parte do grupo *Reed Elsevier*. Localizada em Amsterdã, a companhia opera no Reino Unido, EUA, Europa e no Brasil (nota do autor).

²⁵ *Scientific, technical, and medical research on ScienceDirect*. Uma lista completa desses periódicos pode ser encontrada em: <<http://goo.gl/SFACHD>>

apresenta inúmeras novas possibilidades de interação e visualização do objeto. Há maior liberdade e, por consequência, maior respaldo em relação aos dados e ao conteúdo apresentado pelo artigo. Devido as infinitas possibilidades de visualização por parte dos receptores do conteúdo, modelos com complexas estruturas podem ser melhor compreendidas comparadas as ilustrações em duas dimensões. Até mesmo diversas imagens em 2D de um mesmo objeto são menos informativas comparadas ao seu respectivo em 3D²⁶.

Atualmente os formatos suportados pelos visualizadores 3D dos periódicos são: PLY, OBJ e U3D.



2.2 Conservação de Patrimônio Histórico e as novas tecnologias.

Não é objetivo do presente trabalho o estudo aprofundado da gestão do patrimônio histórico e sim o papel das novas tecnologias no auxílio à conservação e acesso dos dados relativos ao sistema de estudo.

Pons (2011) afirma que “Hoje, só se justifica preservar um acervo se o público puder ter acesso a ele. A lógica da preservação passa a ser o acesso”. De acordo com o pesquisador, as tecnologias digitais estão transformando a preservação patrimonial, inclusive dando novo significado ao seu próprio conceito. As novas tecnologias estabelecem novas técnicas, que por sua vez levam a novas políticas. Nesta temática a questão da acessibilidade é tratada como um dos pontos centrais.

Seus estudos apontam que a proliferação dos acervos virtuais, além de ampliarem as possibilidades de acesso ao público, possibilitaram novas formas de interação tornando-as mais flexíveis, o que acabou por transformar o próprio conceito original de preservação:

(...) além da preservação da integridade física dos objetos, passamos a ter de zelar também pela integridade intelectual: os dados, sua principal característica, e os metadados²⁷, registrando informações sobre a sua geração, manutenção e acesso. (PONS, 2011 p.51).

²⁶ Ver lista de siglas.

²⁷ Metadados significam dados sobre dados. Fornecem informações de conteúdos físicos ou digitais, tornando possível a identificação, compartilhamento, integração e a interoperabilidade dos arquivos. Metadados fornecem informações descritivas que contribuem para o melhor entendimento do contexto da informação como: localização, palavras-chave, autor, localização de recursos, formatação dentre outras. (GOMES, 2005).

Há uma crescente necessidade de interoperabilidade²⁸ entre os diversos formatos de conteúdo digital produzidos, sejam vídeo, foto, áudio, texto ou mais recentemente conteúdo 3D. A interoperabilidade é a capacidade de diversos tipos de dados “conversarem entre si”, de forma a ampliar o acesso, oferecendo contextualização mais ampla para o público em relação ao tema tratado.

A declaração feita durante a Conferência Mundial sobre Políticas Culturais do Conselho Internacional de Monumentos e Sítios – *International Council on Monuments and Sites* – (ICOMOS), realizada em 1985, no México, ressalta a importância a respeito da adoção de novas tecnologias para a divulgação do patrimônio cultural. De acordo com o documento²⁹, a utilização de novos meios informacionais tem adquirido caráter fundamental na difusão cultural, na educação e na formação de pessoas. Tais técnicas devem ser utilizadas em prol tanto do desenvolvimento individual, quanto coletivo, preservando, deste modo, a identidade e soberania das nações. A construção do repositório 3D do LdSM vai ao encontro de tal assertiva (promoção, disseminação e conservação do patrimônio histórico).

Para Meira (2004), o conceito de preservação quando referente ao patrimônio histórico, engloba a identificação (inventários, levantamentos, documentação e registro); a conservação, referente a parte física (manutenção, restauração); e, a proteção, referente aos aspectos simbólicos (valorização por meio da educação patrimonial e divulgação).

É de conhecimento geral a pertinência de documentar o patrimônio cultural, porém, o que ocorre, hoje, é a crescente pressão para documentar e preservar o patrimônio em formato digital. Portanto, as informações armazenadas em 3D são, atualmente, um componente de extrema relevância para guardar permanentemente objetos importantes, de forma que, possam ser passados para as gerações futuras, caso algo (dano, restauro ou furto, por exemplo) ocorra com o modelo físico (REMONDINO, RIZZI, 2010).

De acordo com pesquisadores citados, apesar das pressões das organizações internacionais, a utilização de modelos 3D para a preservação de patrimônio histórico, ainda não é padrão por quatro motivos:

- 1) alto custo;
- 2) alta demanda técnica exigida para obtenção do modelo 3D;

²⁸ De acordo com o ISO/IEC 2382 a interoperabilidade é definida como: a capacidade de comunicar, executar programas ou transferir dados entre diferentes dispositivos de forma que de uma forma que o usuário tenha pouco ou nenhum conhecimento das características únicas destes dados.

²⁹ Fonte: Instituto de Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (Iphan), disponível em: <<http://portal.iphan.gov.br/portal/baixaFcdAnexo.do?id=255>>. Acesso em 6 set. 2014.

- 3) entendimento que o modelo tradicional de conservação (restauro, com finalidades estáticas e educacionais) em conjunto com a documentação (2D) é suficiente;
- 4) dificuldade de integrar informações 2d com informações 3D.

A preservação do patrimônio está intimamente ligada ao conhecimento. Segundo Kindlein Jr., (2014, p.32) “Para atingirmos níveis mais profundos de conhecimento, é necessário tempo”. E o tempo se faz necessário para contrapor a ansiedade, que por sua vez gera o descarte. E com o descarte, há o descaminho, que impossibilita a construção da história: pois sem caminho, como construir a história? “O raciocínio é cíclico, pois um homem sem memória é um homem sem caminho (e vice-versa) e por isso, é um homem abandonado, descartado” (KINDLEIN. JR, 2014 b, p.32).

Faz-se então, a seguinte analogia: ao se digitalizar determinado acervo, um dos fundamentos básicos é que os objetos passam a ter valor informacional além da importância enquanto matéria. Um artefato pode ser percebido, porém, para ser compreendido é preciso ser interpretado e a informação do contexto é essencial. E é aí que é encontrado seu valor. Bem como o homem com memória, o objeto interpretado transcende o efêmero, possui história e conseqüentemente não deve ser descartado.

A construção de uma base de dados por si só não é sinônimo de ampliação de acesso. O repositório deve ser capaz de cruzar tais dados de maneira a refinar a informação disponibilizada, facilitando o acesso do público. (PONS 2011).

Guarnieri (2010), explora o uso de *softwares* livres³⁰ para o escaneamento 3D, processamento e divulgação de patrimônio histórico. Segundo o autor, foi interessante destacar o significado simbólico das peças. Como alternativa, os modelos digitalizados em 3D usados em seu artigo foram desmembrados, de forma a documentar as características de partes específicas das obras (figura 7). Assim, o pesquisador demonstrou que é possível inserir metadados nas diferentes partes de destaque do objeto, atribuindo informações suplementares a respeito da obra. A interpretação simbólica das partes individuais pode levar a melhor contextualização a respeito de seu significado de maneira mais ampla.

³⁰ Software livre é uma expressão utilizada para designar qualquer programa de computador que pode ser executado, copiado, modificado e redistribuído pelos usuários gratuitamente. Os usuários possuem livre acesso ao código-fonte do software e fazem alterações conforme as suas necessidades (nota do autor).

Figura 7: informações semânticas destacadas no objeto 3D



Fonte: Guarnieri (2010).

Nota: as informações semânticas destacadas no objeto 3D favorecem melhor interpretação da obra como um todo.

Assim, o pesquisador demonstrou que é possível inserir metadados nas diferentes partes de destaque do objeto, atribuindo informações suplementares a respeito da obra. A interpretação simbólica das partes individuais pode levar a melhor contextualização a respeito de seu significado de maneira mais ampla.

2.2.1 Critérios para exibição de captura e visualização 3D

Devido ao fato de ser uma tecnologia relativamente recente quanto à aplicação na conservação do patrimônio cultural, existem critérios definidos para a captura e para a exibição de conteúdos em 3D.

Enquanto os métodos de visualização baseados em computador são empregados em ampla variedade de contextos para ajudar na pesquisa, comunicação e preservação do patrimônio cultural, é necessário um conjunto de princípios para garantir a visualização, pelo menos tão intelectual e tecnicamente rigorosa quanto os métodos de pesquisa e comunicação do patrimônio cultural já estabelecidos. Ao mesmo tempo, esses princípios devem refletir as propriedades distintas de tecnologias e métodos de visualização baseada em computadores.

Em 2006, Beacham, Denard e Niccolucci publicaram o artigo intitulado *The evolution of Information Communication and Technology in Cultural Heritage* que, por sua vez, deu origem ao *London Charter* (Carta Régia de Londres, tradução livre). Criado com o objetivo de agir como catalisador para o estabelecimento de consenso internacional

sobre os princípios de difusão das melhores práticas de registro virtual e de visualização do patrimônio, o *London Charter* visa criar parâmetros, de forma a aumentar o rigor com que os métodos e resultados de visualização virtuais são utilizados e avaliados no contexto da preservação do patrimônio, promovendo, assim, a compreensão e reconhecimento dos mesmos.

São seis os princípios gerais³¹ do *London Charter* usados para nortear a visualização virtual de patrimônio histórico:

Princípio 1 – Implementação: os princípios da Carta de Londres são válidos sempre que a visualização em computador for aplicada à pesquisa ou difusão do patrimônio cultural;

Princípio 2 – Objetivos e Métodos: determinado método de visualização baseada em computador deve ser utilizado somente quando esteja de acordo com o seu objetivo. Não se deve presumir que a visualização virtual é o meio mais adequado de abordar todas as investigações ou objetivos de herança cultural;

Princípio 3 – Fontes de Pesquisa: a fim de garantir a integridade intelectual de métodos e resultados de visualização baseada em computador, fontes de pesquisa relevantes devem ser identificadas e avaliadas de forma estruturada e documentada;

Princípio 4 – Documentação: informações suficientes devem ser produzidas, documentadas e divulgadas para permitir que os métodos e resultados advindos das visualizações virtuais possam ser entendidos e avaliados em relação aos contextos e propósitos para os quais estão sendo empregados;

Princípio 5 – Sustentabilidade: as estratégias de produção e visualização de conteúdo digital devem ser adotadas de forma a garantir a sustentabilidade a longo prazo. Devem ser documentadas e preservar a memória, a herança social, econômica e cultural;

Princípio 6 – Acessibilidade: a criação e disseminação de visualização baseada em computador deve ser planejada de forma a garantir que o máximo de benefícios possíveis sejam alcançados para o estudo, compreensão, interpretação, preservação e gestão do patrimônio cultural.

³¹ The principles of the London Charter. Disponível em < <http://www.londoncharter.org/principles.html>>. Acesso em 20 jun. 2016.

2.2.2 O 3D semântico.

Inicialmente, os gráficos em 3D gerados por computação gráfica, preocupavam-se apenas em representar formas, não levando em conta o significado semântico das representações. Uma descrição semântica do objeto em três dimensões representada na tela do computador pode ser considerada como metadados, auxiliando o entendimento do contexto da informação que se deseja transmitir (CATALANO, 2011). Para ilustrar: O Laboratório de Design e Seleção de Materiais da UFRGS (LdSM) realizou a digitalização em 3D da estátua do Laçador, monumento símbolo da cidade de Porto Alegre. A partir dos dados obtidos, produziu-se um PDF3D. No entanto, se a pessoa que visualizar o documento não conhecer o Laçador e todo o significado cultural que representa para a cidade, o contexto da informação se perde. Para contornar esse obstáculo o uso de informações complementares faz-se necessário. A contextualização do documento 3D pode se dar através de informações complementares por meio da ação conjunta entre outros tipos de mídia e/ou, através de metadados. Neste ponto, ressalta-se a importância da já citada intercambialidade para que estes metadados, por meio da escolha de padrões abertos, favoreçam a troca de informações referidas ao objeto 3D.

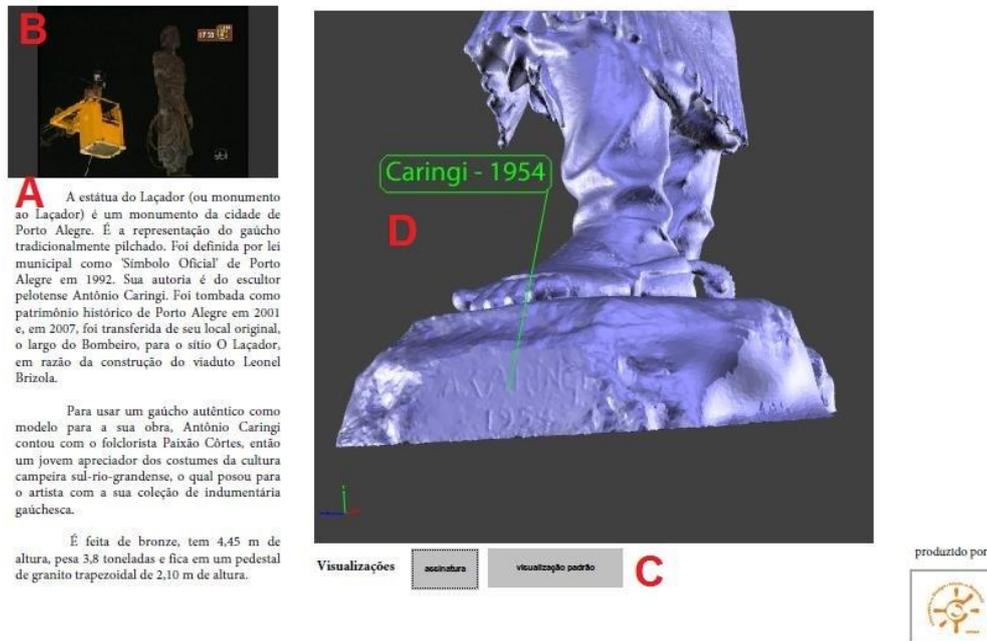
O artigo 11 da carta da transdisciplinaridade ressalta a importância da contextualização do conhecimento.

Uma educação autêntica não pode privilegiar a abstração no conhecimento. Ela deve ensinar a contextualizar, concretizar e globalizar. A educação transdisciplinar reavalia o papel da intuição, do imaginário, da sensibilidade e do corpo na transmissão do conhecimento. (FREITAS; MORIN; NICOLESCU, 1994, p.4)

A figura 8, capturada a partir de um PDF3D, demonstra como o uso de diversas mídias, (texto, vídeo, áudio e 3D) podem ser utilizadas em conjunto, de forma complementar, para melhor contextualização a respeito do conteúdo em 3D que está sendo exibido. O texto apresenta informações básicas sobre a obra (elemento A), o vídeo, reportagem sobre o processo de digitalização (elemento B); também é possível realizar anotações diretamente no modelo tridimensional, o que pode ser útil para ressaltar detalhes de forma a não passarem despercebidos. No caso específico da anotação, foi criado um botão (elemento C) para exibir o exato local da assinatura (elemento D) do criador do Laçador, (Antônio Carangi e o ano de criação).

Figura 8: O Laçador 3D

Teste de conteúdo - Laçador



Fonte: LdSM.

Nota: Funcionalidades do PDF3D do monumento O laçador. (A) texto sobre a obra, (B) vídeo da digitalização da obra, (C) controles de vistas personalizadas (D) detalhe da assinatura de Antônio Caringi e ano de criação da obra.



2.3 Digitalização 3D

O escaneamento em três dimensões (termo equivalente à digitalização 3D), consiste no processo de coleta de dados da superfície de determinado objeto. Desta forma, as informações são digitalizadas e armazenadas em diversos pontos correspondentes ao objeto, cada qual com suas respectivas coordenadas nos planos X, Y, Z. Através de um software, este conjunto de pontos (nuvem de pontos) é transformado em uma malha triangular. O objeto escaneado, pode então ser visualizado em três dimensões através de programas CAD³² e ser reproduzido através de programas CAM³³ (SILVA. F.P *et al*, 2011).

³² Computer aided design – CAD ou desenho assistido por computador (nota do autor)

³³ Computer aided manufacturing – CAM ou manufatura auxiliada por computador (nota do autor).

Em 1963, a história do escaneamento 3D deu um importante passo. Foi quando Ivan Sutherland³⁴ publicou sua tese de PhD no MIT, a qual propunha nova forma de interação entre homem e computador. A tese foi posta em prática dando origem ao programa *Sketchpad*³⁵, considerado o precursor do CAD³⁶. Sutherland criou o conceito de GUI³⁷, no qual o usuário passa a interagir com o computador através de imagens e símbolos ao invés de códigos de programação, e o pôs em prática através do programa. Ele também inovou na área do *hardware*³⁸, criando um novo dispositivo de interação usuário/computador por meio de uma caneta chamada *lightpen* através da qual o usuário realizava os desenhos no programa (figura 3). Em sua tese³⁹ intitulada: *Sketchpad: A man-machine graphical communication system*, Sutherland descreve o programa: “O *Sketchpad* usa o desenho como meio de se comunicar com o computador. O sistema possibilita a entrada, saída através das instruções computacionais que permitem que o computador interprete os desenhos e os exiba diretamente na tela”⁴⁰.

Pela criação, Sutherland foi agraciado com o prêmio *Turing* oferecido pela *Association for Computing Machinery* (ACM), também conhecido como o Nobel da Computação e considerado o mais importante prêmio da área.

³⁴ Ivan Edward Sutherland é um informático estadunidense. Um dos pioneiros da *Internet*. Desenvolveu o *Head-Mounted-display*, em 1968. Criou o *Sketchpad*, em 1963, uma aplicação gráfica inovadora (nota do autor).

³⁵ O *Sketchpad* é considerado um marco na Informática, sendo o primeiro editor gráfico orientado a objetos (no sentido que conhecemos o termo, atualmente). Não apenas era possível colocar *bits* coloridos no *canvas* (cavalete), mas criar objetos que poderiam ser manipulados distintamente dos outros. E, mais importante ainda, o *Sketchpad* permitia que fosse definido um *master drawing* (desenho mestre), a partir do qual seriam criadas *instance drawing* (desenhos instanciados). Cada um dos desenhos instanciados seria semelhante ao desenho mestre e se este fosse alterado, todas as instâncias seriam alteradas da mesma forma. As ideias implementadas no *Sketchpad* foram o ponto de partida para a herança em orientação a objetos, onde estrutura e comportamento são passados de alguns objetos para outros. A terceira versão do *Sketchpad* estendeu seu sistema de duas dimensões para três dimensões. Foi o primeiro editor gráfico a implementar as tradicionais vistas ortogonais com vistas em perspectiva em escalas diferentes (nota do autor).

³⁶ CAD é abreviação de *computer aided design*, ou em português, desenho assistido por computador. O programa *Autocad* é um exemplo de programa CAD (nota do autor).

³⁷ *Graphic user interface* – GUI ou Interface gráfica orientada ao usuário. Nos primórdios da era computacional a forma de dar entrada de dados era através da digitação de comandos específicos. A criação da GUI permitiu a interação do usuário com o computador através de símbolos representados graficamente na tela do computador, sem a necessidade de decorar instruções específicas (nota do autor).

³⁸ *Hardware* – partes concretas de uma máquina, como o gabinete, o teclado, o mouse, a impressora, o disco rígido, a memória, entre outros itens utilizados na fabricação de um computador ou equipamentos eletrônicos. Esses elementos se comunicam com os demais através do barramento, um dos componentes da placa-mãe (nota do autor).

³⁹ SUTHERLAND, E.I – *Sketchpad: A man-machine graphical communication system*. *Massachusetts Institute of Technology* – Massachusetts - January, (1963). ISSN 1476-2986.

⁴⁰ Traduzido pelo autor.

Figura 9 demonstraco do uso do Sketchpad



Fonte: Sutherland (1962)⁴¹.

Nota: Sutherland demonstra como usar o *Sketchpad*.

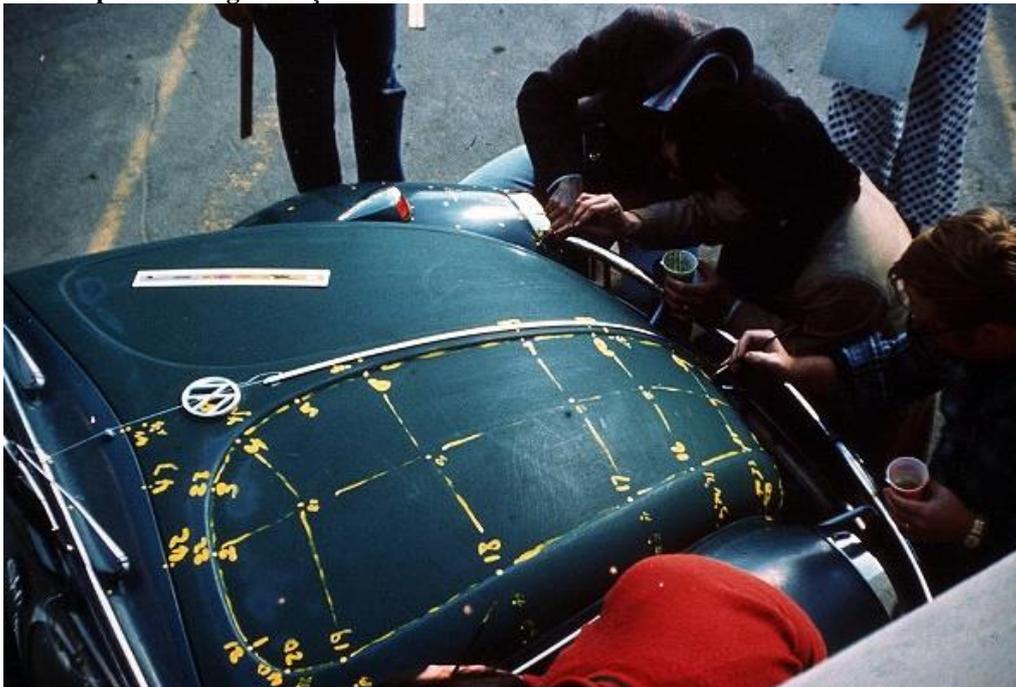
Em 1972, Sutherland, ja como professor de computaco da Universidade de Utah, propôs a seus alunos criarem o primeiro modelo renderizado⁴² a partir de um objeto físico. Ou seja, propôs aos alunos a realizaco do primeiro escaneamento 3D de que se tem notcia⁴³. O objeto escolhido foi um “Fusca”. Porém, na época não existiam *softwares* de modelagem em três dimensões, tampouco scanners 3D. A soluço encontrada foi fazer a medio física através de linhas desenhadas no próprio carro, conforme demonstra a figura 4, para então digitar as informaes dos planos X, Y e Z manualmente no computador. Apenas metade da carenagem foi digitalizada, pois os alunos presumiram que ela era simétrica. O desenvolvimento do trabalho (a) e o resultado final (b) podem ser vistos na figura 10.

⁴¹ Ivan Sutherland *using Sketchpad* in 1962. Disponível em <<http://history-computer.com/ModernComputer/Software/Sketchpad.html>>.

⁴² Renderizao constitui o processamento e a posterior compilaco de dados digitais a fim de se obter um produto final, fruto deste processamento (nota do autor).

⁴³ *Newsletter for the Alumni and Friends of the University of Utah School of Computing*, 2003 p.7.

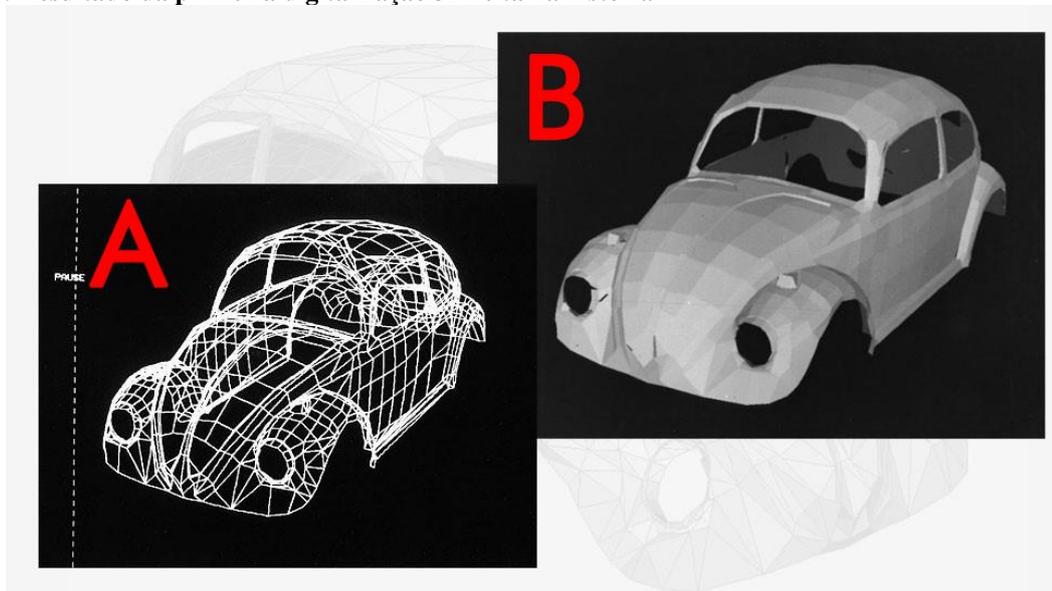
Figura 10: a primeira digitalização 3D feita na história



Fonte: Computer History Museum⁴⁴

Nota: medição física através de linhas desenhadas no próprio carro, solução encontrada na ausência de *scanner* 3D.

Figura 11: Resultado da primeira digitalização 3D feita na história



Fonte: Computer History Museum⁴⁵, adaptado pelo autor.

Nota: (A) versão vista em modo *wireframe* e (B) versão final.

⁴⁴ Disponível em <<http://www.computerhistory.org/revolution/computer-graphics-music-and-art/15/206/560>>.

⁴⁵ Disponível em <http://www.computerhistory.org/revolution/computer-graphics-music-and-art/15/206/560>

2.3.1 Seleção de métodos para digitalização tridimensional quando aplicadas a lógica de conservação de patrimônio

Existem duas grandes vertentes de possibilidades de digitalização tridimensional: por contato e sem contato.

O método por contato, como o próprio nome indica, funciona quando o dispositivo digitalizador “toca” o objeto que está sendo digitalizado.

As técnicas de escaneamento sem contato utilizam algum tipo de onda eletromagnética para digitalizar o objeto em questão. E, podem ser classificadas em duas grandes categorias: fontes passivas ou ativas.

Fonte ativa: os equipamentos que possuem fonte ativa funcionam através da emissão de onda eletromagnética que incide no objeto. O próprio scanner, em seguida, realiza a captura desta onda e, através do processo de triangulação⁴⁶ determina as coordenadas de localização dos respectivos pontos do objeto (SILVA F. P, 2010). Fonte passiva: não há qualquer tipo de emissão de onda por parte do escâner, por exemplo, técnica de fotogrametria.

Cada método de digitalização apresenta vantagens e desvantagens dependendo do objetivo, local e propriedades físicas do objeto a ser digitalizado. Como o propósito do repositório é armazenar dados escaneados dos prédios históricos da UFRGS, o uso de escâner de contato seria inviável. Por esta razão, serão apresentadas apenas alternativas de digitalização sem contato.

Atualmente, existem diversas técnicas de escaneamento 3D. De acordo com Koutsoudis (2013), não existe técnica de digitalização plenamente superior a outra, inclusive diversas técnicas podem ser usadas de forma complementar para digitalizar o mesmo objeto, caso se faça necessário. Fatores como custo, tempo, tamanho do objeto, também devem ser considerados na escolha do tipo escaneamento a ser realizado.

Com base nestes fatores Pavlidis (2007), elaborou a tabela a seguir (tabela 1), que estabelece nove critérios a serem considerados para o planejamento e escolha do(s) método(s) de digitalização 3D a ser(em) utilizados quando o objetivo da aquisição de dados é relacionado com preservação e/ou conservação de patrimônio histórico.

⁴⁶ Processo de Triangulação é uma estratégia para melhorar a validade e a confiabilidade da pesquisa (nota do autor).

Tabela 1 - Critérios de escolha de sistemas de digitalização tridimensional

Os nove critérios a serem considerados para escolha do (s) sistema (s) de digitalização mais apropriado (s) (em ordem de relevância)	
Nº	Critérios
1	Custo
2	Propósito do objeto a ser digitalizado
3	Tamanho objeto a ser digitalizado
4	Portabilidade do equipamento
5	Precisão do sistema
6	Captação de textura
7	Produtividade da técnica
8	Conhecimento técnico demandado
9	Compilação dos dados gerados de acordo com os padrões (compatibilidade)

Fonte: Pavlidis *et al*, (2007, p.94)⁴⁷

Nota: critérios a serem considerados para o planejamento e escolha do(s) método(s) de digitalização 3D a ser(em) utilizados quando o objetivo da aquisição de dados é relacionado com preservação e/ou conservação de patrimônio histórico.

A tabela é relativa aos três passos fundamentais a serem tomados na fase de planejamento da digitalização:

1) Preparação inicial: envolve a decisão da(s) técnica(s) adotada(s) de escaneamento levando em consideração o local em que irá se dar a digitalização, propriedades físicas do objeto (tamanho, forma e textura) e o levantamento de possíveis riscos que possam ocorrer durante a digitalização;

2) Execução da digitalização: ocorre de acordo com as decisões tomadas na fase anterior;

3) Processamento dos dados coletados: nesta fase, ocorre a junção dos dados obtidos durante as sessões de escaneamento. Os pontos são processados e transformados em uma malha triangular. Também ocorre o processo de modelagem, fechamento de “buracos” na malha e a texturização (caso esteja prevista no escaneamento).

⁴⁷ Tradução do autor.

Segundo Curless (2000), a fidelidade do escaneamento deve sempre ser uma das primeiras prioridades. A respeito da qualidade do escaneamento, o autor elenca cinco atributos, sendo estes:

Resolução: é a menor área de captura de pontos que determinado método de digitalização consegue adquirir. Se o objeto escaneado tiver muitos detalhes de pequenas dimensões, é desejável uma elevada resolução;

Precisão: são as variações estatísticas entre medidas de valor conhecido. Ou seja, a capacidade do escâner de detectar e reproduzir com fidelidade a posição exata dos pontos captados do objeto;

Repetitividade: é relacionada com a precisão. Diz respeito a possíveis variações de medições para uma mesma área capturada;

Sensibilidade em relação ao ambiente: propriedade que diz o quanto o método de escaneamento é suscetível a variações do ambiente como temperatura, umidade, iluminação, velocidade do vento, entre outras;

Velocidade: tempo de aquisição dos dados da digitalização 3D.



2.4 Técnicas de digitalização 3D sem contato

Nesta seção serão avaliadas quatro técnicas de digitalização sem contato. Foram selecionadas de acordo com a relevância quando aplicadas à finalidade de conservação de patrimônio. Estas técnicas também estão relacionadas com os critérios abordados pela tabela 1.

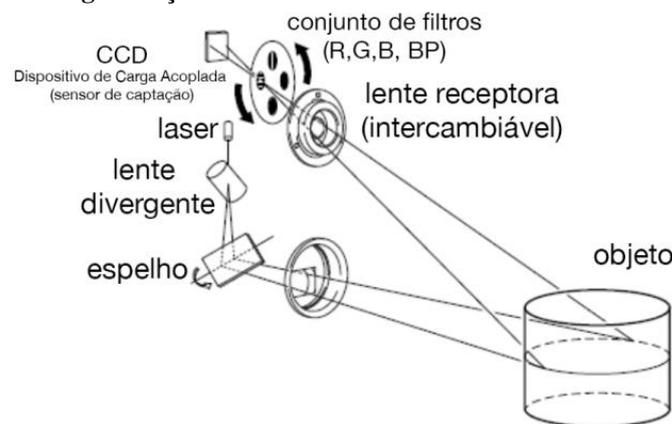
2.4.1 Digitalização tridimensional a laser

O processo básico de funcionamento deste tipo de escâner, consiste na emissão de um feixe de laser por parte do equipamento. Este, por sua vez, atinge o objeto e é refletido. Através de um receptor localizado no escâner o laser refletido é detectado. Por meio do princípio da triangulação, os dados captados são convertidos em pontos com coordenadas X, Y e Z (SILVA F.B., 2011) que posteriormente podem ser convertidos em polígonos, criando, desta forma, “uma malha triangular” na qual é composta, a representação tridimensional do objeto.

Segundo Pavlidis (2007), uma das vantagens do escâner a laser deve-se ao fato de ter grande alcance. Como consequência, é possível obter alta precisão no escaneamento mesmo a relativa distância (em comparação com outros dispositivos). Por outro lado, alguns sistemas não possuem o recurso de captação de textura do objeto escaneado. No caso da figura 12, que corresponde ao processo de captação do escâner *Vivid 9i*⁴⁸, a aquisição de textura se dá através do conjunto de filtros RGB⁴⁹, que fotografa o objeto escaneado, atribuindo valor de cor para cada ponto captado.

O processo a laser é mais preciso e é, em geral, mais rápido. Porém depende-se opticamente de fatores como opacidade e cor da superfície escaneada. É adequado para objetos com grande quantidade de detalhes, independentemente de características físicas e químicas do material, tendo em vista que não há um contato entre o instrumento e peça digitalizada (SILVA *et al*, 2010).

Figura 12: Princípio da digitalização 3D a laser



Fonte: adaptado pelo autor do manual Konica Minolta (2006).

Nota: processo de captação do escâner *Vivid 9i*.

2.4.2 Digitalização tridimensional a partir de luz estruturada (luz branca)

Este método também é baseado em triangulação, porém não usa especificamente fonte emissora baseada em laser.

Os sistemas de luz branca têm como vantagem a utilização de lâmpadas de projeção. Assim, em detrimento da precisão, é possível projetar várias listras simultaneamente em grandes áreas. Porém, para obter maior resolução, é necessário fazer

⁴⁸ Konika Minolta Sensig, Inc. Non-contact 3D Digitizer Vivid 9i. Instruction Manual Japan, 2006 disponível em: <http://www.konicaminolta.com/instruments/download/instruction_manual/3D/pdf/vivid-910_vi-910_instruction_eng.pdf> p.56 – Acesso em 21 jun. 2015.

⁴⁹ Ver lista de siglas.

algumas projeções com as listras deslocadas e adquirir múltiplas imagens, aumentando o tempo de digitalização. O tempo de aquisição é considerado baixo, ocorrendo problemas de movimento apenas quando é necessário montar mais de uma vista a partir do mesmo objeto. (SILVA F. P, 2011). Estes sistemas são geralmente portáteis.

2.4.3 Digitalização tridimensional: forma a partir da silhueta (*shape from silhouette*)

Esta técnica é baseada na captura de diversas fotografias, a partir de um mesmo objeto, de diferentes ângulos. Depois, a geometria é “deduzida” de acordo com a variação das captações das silhuetas do mesmo. Esta é uma ideia criada por François Villeme, que batizou o método chamando-o de foto-escultura (KONSTANTINOV *et al* 2012).

Recentes melhorias neste método, como o uso de textura para corrigir ou aperfeiçoar a geometria, têm apresentado resultados satisfatórios. A forma a partir da silhueta é um processo automatizado com elevada produtividade e de custo relativamente baixo. Atualmente, é um processo muito popular, portátil e de fácil manuseio. Sua principal desvantagem é a precisão e resolução em relação as medidas do objeto (PAVLIDIS, 2007).

2.4.4 Técnicas de varredura a laser (*laser range techniques*)

A técnica de varredura a laser consiste na instalação de escâner em ponto fixo, ou móvel, como, por exemplo, um carro, para ser utilizado na digitalização 3D de objetos de grande porte como: fachadas de prédios, pontes, levantamento de dados topográficos etc.

Por causa da velocidade e da facilidade de adquirir volume de dados de grandes estruturas, há diversas áreas de aplicação para esta técnica, como:

- Restauração e preservação de monumentos históricos;
- Aplicação em sítios arqueológicos;
- Monitoramento de estruturas;
- Engenharia reversa;
- Controle de qualidade na indústria;
- Criação de maquetes eletrônicas para uso em ambiente de realidade virtual (GONÇALES, 2009).

Esta é uma técnica confiável e precisa (porém não tão precisa quanto as técnicas de triangulação a laser). Por outro lado, possui alto custo e apresenta dificuldades quanto a sua operacionalização, mobilidade e autonomia.

Com base nas técnicas levantadas, para melhor visualização, elaborou-se um quadro geral comparativo com as vantagens e desvantagens de todas as técnicas que foram apresentadas (figura 13).

Figura 13: Resumo dos aspectos negativos e positivos das técnicas de digitalização 3D

  **Principais Métodos de Digitalização de Patrimônio Histórico**

Método	DIGITALIZAÇÃO A LASER	LUZ ESTRUTURADA	FORMA A PARTIR DA SILHUETA	TÉCNICAS DE VARREDURA A LASER
	 Alta precisão nas medições de geometria.	 Boa precisão e produtividade. Geralmente portáteis e fáceis de usar.	 Produtividade e custo relativamente baixo. Portável e fácil de usar, captura textura e geometria.	 Alta precisão e produtividade. Grande volume de dados de medição produzidos.
	Alto custo dos equipamentos.	Ainda se estuda formas de melhorar a resolução nesse método.	Resolução de qualidade média a baixa nas medições de geometria.	Alto custo e de difícil transporte.

Fonte: KOUTSOUDIS (2013), adaptado pelo autor.

Nota: quadro geral comparativo com vantagens e desvantagens de todas as técnicas que foram apresentadas

Não existe, atualmente, uma técnica de digitalização definitiva. Todas as tecnologias de digitalização 3D analisadas possuem vantagens e desvantagens. A escolha varia com a finalidade de aplicação desejada. Além disso, é possível utilizar diferentes técnicas de digitalização 3D em um mesmo objeto, de forma que possam complementar umas às outras.

A integração de diferentes conjuntos de dados é essencial para superar as limitações, de forma a se obter mais informações a respeito do material e das técnicas que foram usadas para construir determinado patrimônio (REMONDINO F.; RIZZI, 2010).

Segundo Koutsoudis (2013), todas as técnicas de escaneamento compartilham um ponto em comum no que diz respeito a fase de coleta de dados. De acordo com o

autor, esta etapa sempre demanda menos tempo do que a subsequente: o processamento das informações adquiridas.

Quando direcionado para a conservação de patrimônio histórico Remondino F. Rizzi (2010), fala que há muitas discussões em aberto sobre qual técnica se utilizar em determinada situação. O autor defende que a melhor alternativa se dá através do uso conjunto de múltiplos sensores e técnicas de modo que se complementem. O pesquisador discorre a respeito dos seguintes tópicos a respeito do equipamento quando o objetivo é realizar digitalizações fora do ambiente controlado de laboratório:

- **Confiabilidade:** relacionada com a precisão dos dados obtidos. São dois fatores importantes para um trabalho de campo. A não ser que o objetivo esteja desprovido de objetivos científicos e/ou de conservação, apenas com o propósito de rápida e simples visualização em tela;
- **Portabilidade:** a(s) técnica(s) escolhidas para o escaneamento devem ser portáteis devido a obstáculos que muitos sítios apresentam, tais como falta de eletricidade, difícil localização, presença de obstáculos das mais diferentes naturezas no local, etc.
- **Baixo custo:** a maior parte das expedições arqueológicas possuem orçamento limitado, portanto não podem arcar com equipamentos caros. Entretanto, quando se fala de custos, tudo torna-se relativo. A discrepância de orçamento entre instituições é grande;
- **Tempo de aquisição do modelo:** ss sítios arqueológicos e áreas de escavações impõem limitação de tempo para a documentação de dados de modo que não atrapalhe quem está trabalhando no local e/ou visitantes.

A seleção do método de escaneamento em 3D é uma fase crucial no planejamento da aquisição do modelo sendo diretamente relacionada com os requerimentos do projeto como tempo disponível, orçamento e o propósito de uso da digitalização. Para efeito ilustrativo: Caso o modelo 3D seja utilizado somente para visualização em tela, o número de polígonos pode ser menor do que ele seria, caso o objetivo fosse a impressão 3D. Neste caso pode se optar por um método mais simples e rápido de digitalização. O tempo de pós-processamento dos dados da malha triangular adquirida também tende a diminuir. Entretanto, etapas adicionais, como a criação de mapas de texturas, podem ser necessárias.



2.5 Processamento de dados 3D aplicados à preservação de patrimônio:

O próximo passo após a digitalização é o processamento dos dados adquiridos a fim de reconstituir o modelo 3D de forma virtual. Esta fase pode demandar mais tempo do que a anterior (captura dos dados), dependendo da qualidade dos dados adquiridos e do *hardware* disponível para o processamento. As últimas etapas (textura de cor e mapas de normais⁵⁰, são opcionais). Seguem abaixo as etapas subsequentes:

- a) **Registro:** é a fase na qual de modo rude, há o alinhamento entre duas capturas sobrepostas. O registro pode ser feito de modo manual, escolhendo pontos em comum das digitalizações ou de forma automática (caso o *software* utilizado possua esta opção);
- b) **Registro fino:** há o alinhamento do conjunto da nuvem de pontos de forma progressiva, a fim de minimizar a diferença entre os mesmos. O algoritmo⁵¹ *The interactive Closest Point* (ICP) criado por Neil D. e Mckay (1992) é um dos algoritmos usados para esta função. As etapas do algoritmo consistem em:
 - I. Para cada ponto dentro da nuvem de pontos, encontrar o seu par subsequente mais próximo na nuvem de pontos de referência;
 - II. Estimar a posição através da média de erro e o melhor alinhamento de cada ponto de origem em relação ao correspondente encontrada na etapa anterior;
 - III. Alinhar os pontos de origem utilizando a transformação obtida na etapa anterior;
 - IV. Repetir o processo com a próxima nuvem e de forma sucessiva até encontrar o melhor alinhamento.
- c) **Registro global:** um problema recorrente ao alinhamento dos pares é que os erros são cumulativos: Se tivermos nove nuvens de pontos alinhadas através do registro fino, a décima nuvem a ser alinhada, terá a soma das discrepâncias dos alinhamentos anteriores. Este erro cumulativo pode se tornar significativo conforme mais nuvens de pontos são adicionadas. Sendo assim, o registro global visa distribuir as discrepâncias dos alinhamentos acumulados através de todas as nuvens. No registro fino, o alinhamento

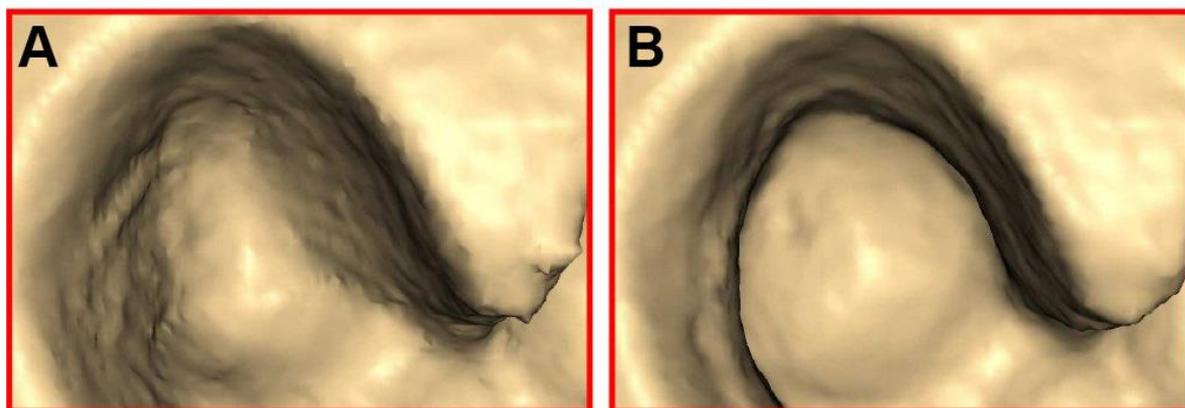
⁵⁰ *Normal map*: é uma técnica para gerar relevo em uma superfície por meio de imagem associada ao objeto, sem a necessidade de adicionar mais polígonos (nota do autor).

⁵¹ Conjunto de instruções computacionais voltadas a resolver um problema (nota do autor).

entre as nuvens de pontos se dá de forma subsequente. A nuvem 1 é alinhada com a nuvem 2, com a nuvem 3, e assim sucessivamente. No global, elas são alinhadas entre todas. A nuvem 1 é alinhada com a nuvem 2 e a nuvem 3 de forma conjunta.

A fim de minimizar distâncias entre os escaneamentos em todas as regiões sobrepostas, o registro global não rígido é um método desenvolvido para calcular simultaneamente, de forma não rígida, as deformações de um grande conjunto de malhas 3D. O alinhamento minimiza a deformação aplicada a cada varredura, e distribui uniformemente erro em todas as malhas de forma a minimizá-lo no total dos escaneamentos (BROWN, 2007). A diferença do resultado visual do alinhamento não rígido pode ser observada na figura 14.

Figura 14: Aparência dos detalhes



Registro global rígido

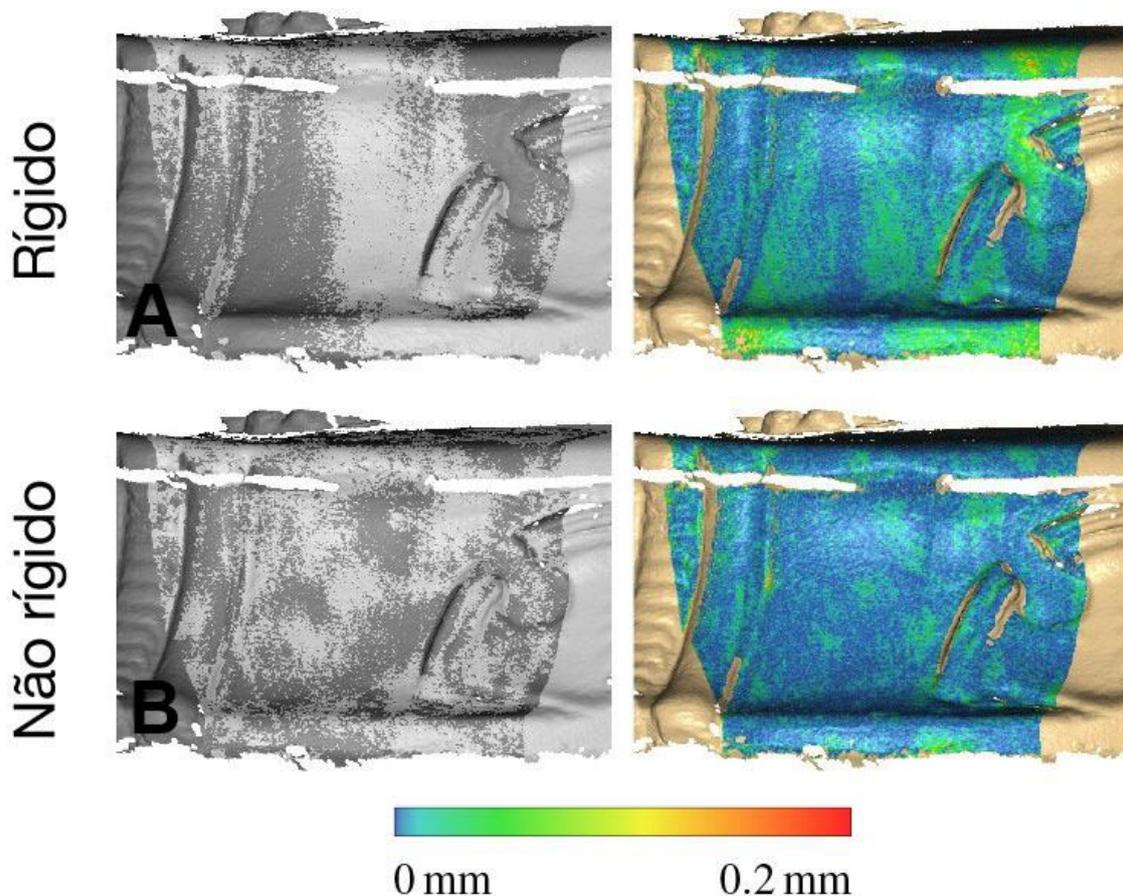
Registro global não-rígido

Fonte: Brown, Rusinkiewicz (2007) adaptado pelo autor

Nota: registro global rígido (A) X registro global não rígido (B)

Ao alinhar corretamente os detalhes da superfície, o método não rígido garante que as pequenas discrepâncias da medição não interfiram nas altas: os modelos mesclados apresentam forma mais suave e precisão maior (figura 15) do que suas contrapartes, caso fossem rigidamente alinhadas. Este método é indicado para o escaneamento de objetos de grande porte, pois minimiza os erros gerados pelo alinhamento como demonstram as imagens a seguir:

Figura 15: Nível de precisão: fidedigna em relação ao objeto digitalizado



Fonte: Brown, Rusinkiewicz (2007) adaptado pelo autor

Nota: registro global rígido (A) X não rígido (B): as imagens cinzas demonstram a sobreposição de dois escaneamentos distintos da mesma peça. As imagens coloridas demonstram a variação do nível de precisão de acordo com o tipo de alinhamento selecionado. Neste caso, o alinhamento não reduziu as discrepâncias entre os escaneamentos, gerando uma malha a mais.

- a) **Alinhamento:** após o registro global, o próximo passo consiste em alinhar todos os conjuntos de nuvens de pontos. Alguns *softwares* oferecem a opção de alinhar diversas nuvens de forma automática, sem ter que especificar pontos em comum entre elas. Porém, para que esta opção funcione corretamente faz-se necessário que as áreas sobrepostas dos escaneamentos contêm, preferencialmente, informações das texturas e que elas estejam com boa qualidade.

- b) **Fusão dos pontos:** com as nuvens alinhadas, o próximo passo é a construção da malha triangular. Isto se dá através da triangulação dos pontos escaneados. Como resultado, ao invés de pontos, o arquivo gerado contém polígonos (figura 16). Os formatos de arquivos mais conhecidos de malha poligonal são: STL, OBJ e PLY⁵².

Figura 16: nuvem de pontos gerada a partir da digitalização 3D da janela do Observatório da UFRGS



Nota: nuvem de pontos gerada a partir da digitalização 3D da janela do Observatório da UFRGS

- a) **Preenchimento de buracos:** após a transformação das nuvens de pontos, caso haja falta de informações, buracos podem aparecer na malha poligonal. Para contornar o problema, há duas opções: digitalizar novamente a parte específica que ficou faltando, ou então fechar o buraco através de *software*. As imagens (figuras 17, 18 e 19) correspondem ao resultado do escaneamento de um detalhe da janela do prédio do Observatório Astronômico da UFRGS, que foi realizado pelo laboratório LdSM. Devido ao seu formato complexo, algumas áreas não puderam ser capturadas, sendo posteriormente reconstruídas através de software.

⁵² Ver lista de siglas.

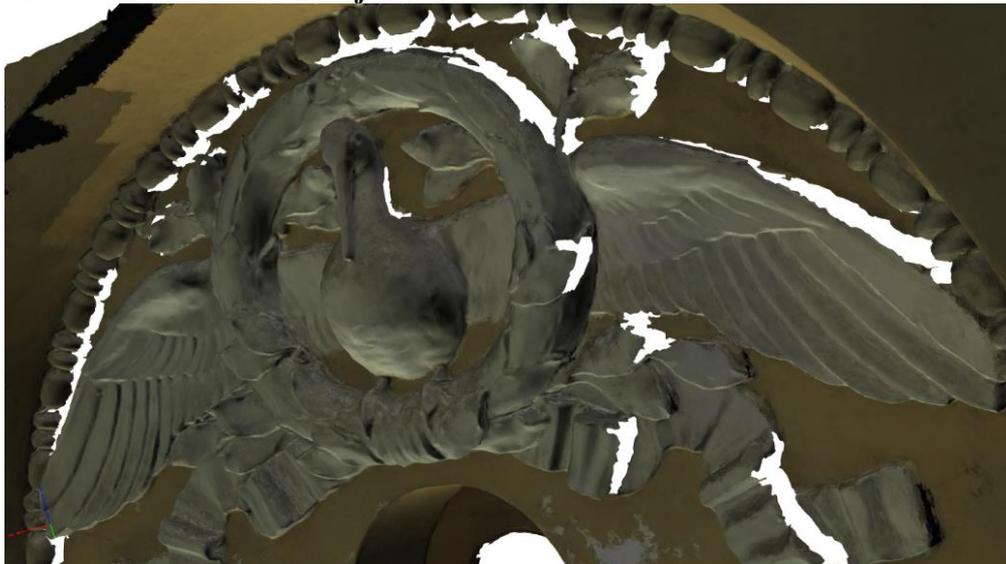
Figura 17: detalhe do modelo 3D da janela do Observatório da UFRGS



Nota: As áreas em branco da figura correspondem aos locais os quais não foi possível fazer a captura de dados.

- a) **Texturização:** a textura é uma importante informação, que combinada com a geometria, confere maior realismo ao objeto 3D. Atualmente existem duas maneiras de se capturar a textura de um objeto. A primeira é através da captura de imagem juntamente com o escâner. Ou seja, sincronizar as coordenadas da captura da superfície 3D junto com a da captura da imagem. A outra alternativa consiste em gerar um mapa de texturas no objeto, posteriormente, por meio de *software*. Cada vértice do polígono recebe coordenadas de textura (que no caso 2D também é conhecido como coordenada UV), através de uma atribuição automática ou pré-definida. Percebe-se que não há textura nas áreas em que há buracos na malha (figura 18). Para tal, seria necessário fechar os buracos e preencher a textura de forma manual copiando as texturas de áreas já existentes para as partes que estão faltando. Alguns programas de manipulação 3D oferecem tal função, porém geralmente isto é feito através de um *software* de edição de imagem em separado.

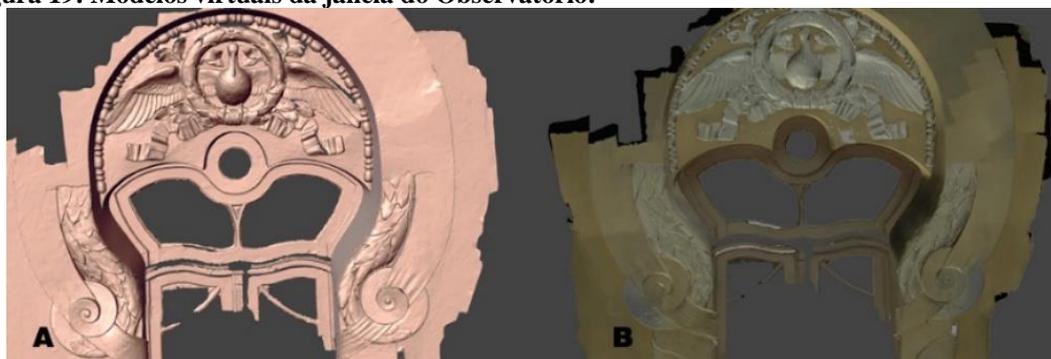
Figura 18: detalhe do modelo 3D da janela do Observatório da UFRGS com textura de cor.



Nota: Não há textura nas áreas em que há buracos na malha. Para tal, seria necessário fechar os buracos e preencher a textura de forma manual copiando as texturas de áreas já existentes para as partes que estão faltando

A figura 19 exemplifica a diferença entre um modelo sem (A) e com textura (B) (mapa de cor). O formato do arquivo da textura é uma imagem, geralmente de extensão BMP, JPEG ou PNG⁵³. A diferença básica entre o PNG e o BMP é que o formato BMP apresenta o menor nível de compactação de dados entre eles. Já o JPEG possui compactação de dados, porém ao custo de perda de qualidade da imagem. O PNG, tem as vantagens de possuir maior nível de compactação do arquivo em relação ao BMP, e de não ter perda de qualidade como o formato JPEG. Além disso, o PNG possui um canal de imagem extra, que possibilita o recurso de transparências.

Figura 19: Modelos virtuais da janela do Observatório:



Nota: (A) Modelo sem textura; (B) modelo com textura.

⁵³ Ver lista de siglas.

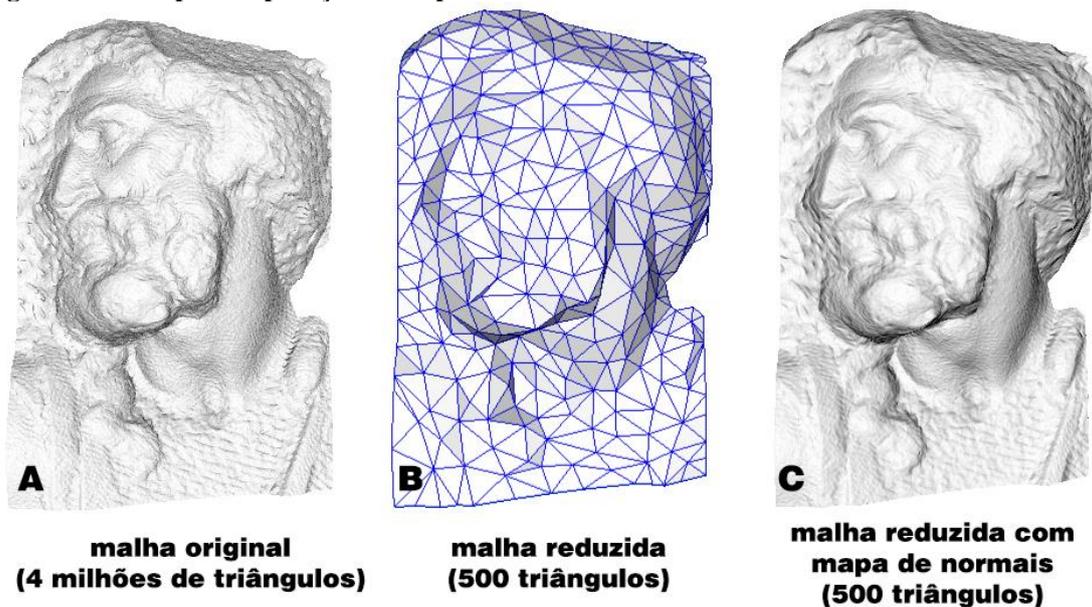
Mapas de textura: de acordo com Heckbert e Paul. S.:

Seu uso pode aumentar a riqueza visual das imagens de digitalização imensamente enquanto provocam um aumento relativamente pequeno na demanda computacional do modelo. A técnica tem sido aplicada a como forma de alterar diversos atributos da superfície: cor, relevo, refletividade (*specularity*), transparência, iluminação e deslocamento da superfície normal, para citar alguns (HECKBERT, PAUL. S, 1986, p.1).

Além do mapa de cor, existem diversos outros tipos de mapas de textura. Eles são imagens em duas dimensões usadas em conjunto com a malha triangular (normalmente com baixa resolução) com o objetivo de melhorar a qualidade gráfica do modelo a custo computacional baixo. Existem diversos tipos de mapas de textura. Alguns simulam os efeitos de saliência como: *bump*, normal e *displacement*. Outros alteram as propriedades espectrais do modelo, alterando propriedades como o índice de reflexão e transparências. Cada mapa age de maneira diferente, tanto no aspecto visual quanto no seu funcionamento, entretanto, eles compartilham da finalidade de adicionar novas características à malha 3D dando mais qualidade ao modelo.

Mapa de normais: é uma técnica que melhora a aparência do modelo 3D sem adicionar novos polígonos à malha poligonal. É uma técnica criada por Levoy e Krishnamurthy em 1996. Nela, um modelo em alta resolução, dá origem a um mapa de textura no padrão RGB (vermelho, verde e azul). Cada canal de cor controla um vetor de direção nos eixos X, Y e Z. Os canais verde e vermelho, geralmente controlam os planos X e Y. O azul corresponde ao eixo de profundidade (Z). Este mapa é então aplicado a uma malha poligonal reduzida (a partir da malha original). O sistema de renderização emite raios na superfície do modelo reduzido à procura por informações de geometria do modelo em alta definição que estão contidas no mapa de normais. Logo em seguida, “simula” os detalhes da superfície da malha em alta resolução que está contida no mapa de normais e os aplica no modelo de baixa resolução. O resultado final é um modelo com menos polígonos em relação ao original, mas que passa a impressão de muito mais detalhes em sua superfície do que há de fato. A figura 20 mostra a comparação entre um modelo com alta quantidade de polígonos (A), um modelo com quantidade reduzida (B) e por último, o modelo reduzido com o mapa de normais aplicado (C).

Figura 20: Exemplo de aplicação do mapa de normais.

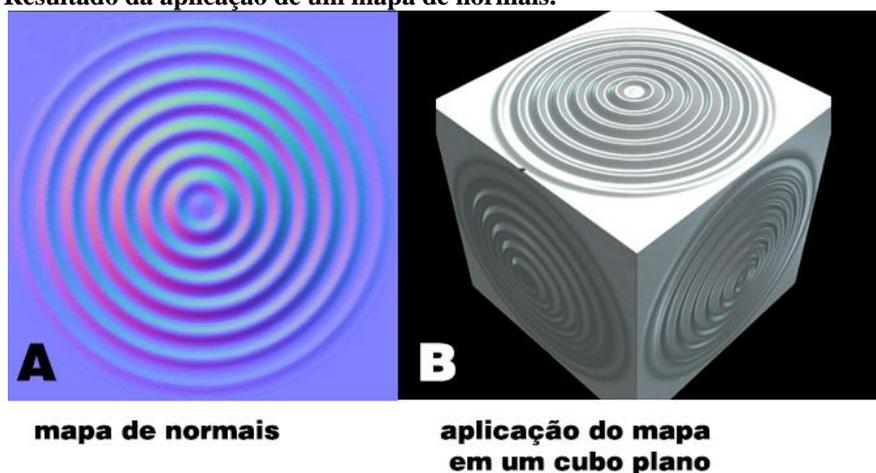


Fonte: Paolo Cignoni, adaptado pelo autor

Nota: comparação entre modelos com diferentes quantidades de polígonos.

A figura 21 demonstra a aplicação do mapa de normais (A) em um cubo totalmente plano (B). O resultado final é que há a ilusão de que o polígono possui ondulações. Esta imagem está disponível no site *Normal Map Online*, o qual permite que o usuário aplique e visualize o mapa de normais pelo seu navegador.

Figura 21: Resultado da aplicação de um mapa de normais.



Fonte: *Normal Map Online*⁵⁴, adaptado pelo autor.

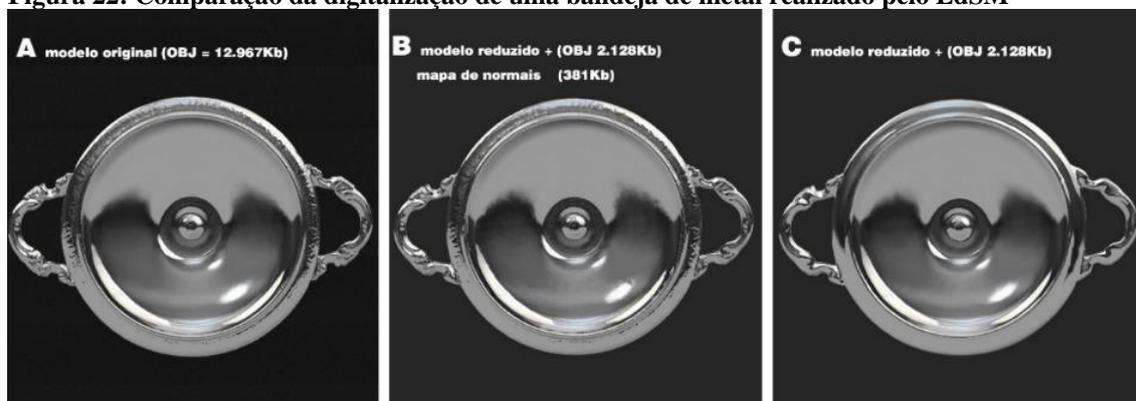
Nota; aplicação do mapa de normais (A) em um cubo totalmente plano (B). O resultado final é que há a ilusão de que o polígono possui ondulações.

⁵⁴ Normal Map Online. Disponível em <<http://cpetry.github.io/NormalMap-Online/>>. Acesso em 26 jun. 2016.

O funcionamento do mapa de normais, com a descrição completa de todos os detalhes técnicos pode ser encontrado no artigo *Fitting Smooth Surfaces to Dense Polygonal Meshes*, escrito por Krishnamurthy e Levoy (1996)⁵⁵. Em conjunto com o mapa de cor, esta técnica foi utilizada no repositório 3D do LdSM em dois modelos dos elementos de fachadas dos prédios históricos da UFRGS digitalizados em 3D.

A figura 22 mostra a comparação, incluindo o tamanho dos arquivos, entre o modelo original (A), um modelo reduzido com mapa de normais aplicado (B) e um modelo somente reduzido (C), de uma bandeja de metal cedida pelo museu José Joaquim Felizardo e digitalizada pelo LdSM.

Figura 22: Comparação da digitalização de uma bandeja de metal realizado pelo LdSM



Fonte: equipe do LdSM

Nota: bandeja de metal cedida pelo museu José Joaquim Felizardo e digitalizada pelo LdSM, onde: (A) modelo original, (B) modelo reduzido com mapa de normais e (C) modelo reduzido.

Formato de arquivo MTL: é um formato de arquivo que contém uma ou mais definições dos materiais e os associam ao arquivo .OBJ (formato que contém a malha poligonal do objeto 3D). O arquivo MTL inclui cor, textura e o mapa de reflexão individual de cada material (RAMEY. D, R. LINDA e TYERMAN. L., 1995). Estes, são armazenados no formato ASCII, podendo ser alterados em qualquer editor de texto.

Pode-se modificar diversas propriedades exibidas do modelo 3D alterando os padrões do arquivo MTL como cor, índice de reflexão, transparência, entre outros. Os

⁵⁵ Krishnamurthy .V, Levoy .M - *Fitting Smooth Surfaces to Dense Polygon Meshes*, Proc. SIGGRAPH '96. Disponível em <[www.https://graphics.stanford.edu/papers/surfacefitting/](https://graphics.stanford.edu/papers/surfacefitting/)>. Acesso em 23 abr. 2014.

significados de todas as variáveis de alteração das propriedades dos materiais contidos no formato podem ser encontrados no apêndice 1.

Exemplo de um arquivo MTL usado no repositório 3D do LdSM:

```
# Laboratório de Design e Seleção de Materiais (LdSM)
# Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)
# http://www.ufrgs.br/ldsm/3d
```

```
# LdSM 3D | OBJ - MTL to three.js
```

```
newmtl material
  Ns 1000
  Ka 0.5 0.5 0.5
  Kd 0.45 0.45 0.48
  Ks 0.1 0.1 0.08
  #map_kd
  #map_bump
  #bm 1
  map_normal boneca-low_n.jpg
```

Ns = índice de reflexão **phong*⁵⁶

Kd = índice de reflexão difusa do material.

Ka = índice reflexão ambiente do material.

Ks = índice de reflexão especular.

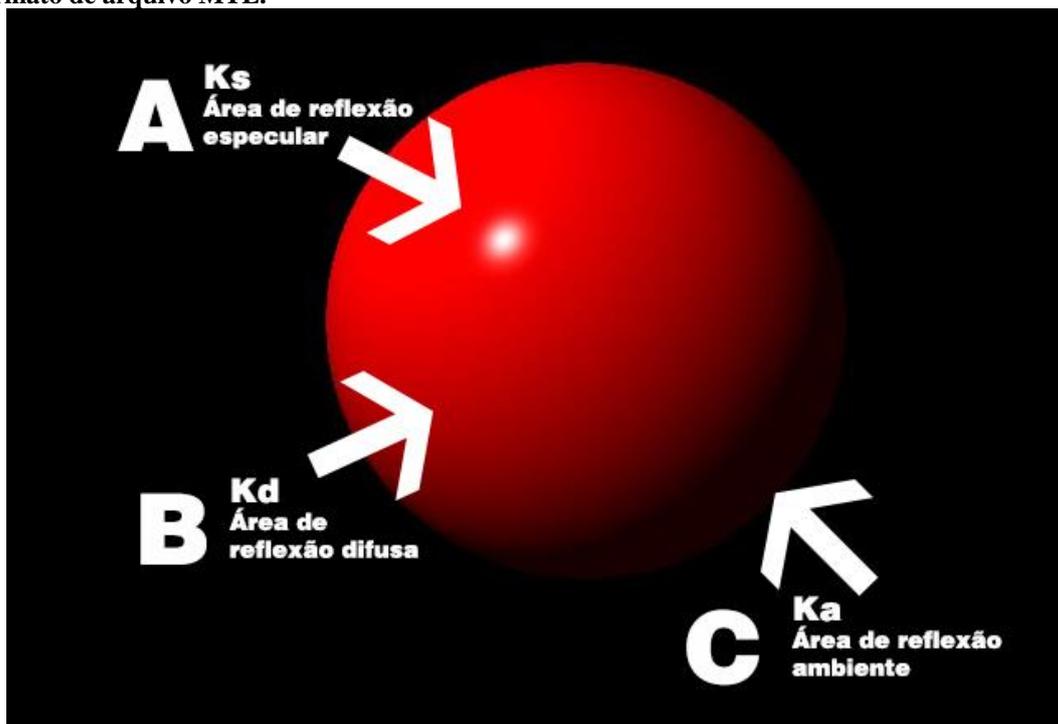
Map normal – boneca-low_n.jpg = indica a ordem para que o mapa de normais do modelo seja carregado.

Observação: O símbolo “#”, que precede algumas variáveis acima, indica que estas não devem ser executadas.

Existem três valores nas linhas Kd, Ka e Ks, que correspondem respectivamente aos valores RGB. Logo, caso seja desejado que uma esfera apresente cor totalmente vermelha, deve-se colocar na linha Ka (reflexão ambiente do material) o valor Ka=1 0 0, indicando 100% de vermelho, 0% de verde e 0% de azul. A figura abaixo ilustra o significado de cada variável Ks (A), Kd (B) e Ka (C) do formato MTL.

⁵⁶ *Phong* é o nome de uma técnica utilizada em imagens gráficas, modelando a sua reflexão a partir das variáveis da iluminação ambiente, difusa e especular. É um dos métodos mais utilizados na renderização de cenas 3D na computação gráfica. Esta técnica foi desenvolvida por Bui Tuong Phong, em 1973, na Universidade de Utah por meio do seu Ph.D. The University of Utah, School of Computing. Disponível em < <http://www.cs.utah.edu/about/history/#phong-ref>>. Acesso em 10 set. 2015. (Traduzido pelo autor).

Figura 23: Demonstração do funcionamento prático das variáveis Ks (A), Kd (B) e Ks (C) do formato de arquivo MTL.



Nota: demonstração do significado de cada variável Ks (A), Kd (B) e Ka (C) do formato MTL.

A lista completa, contendo todas as variáveis do formato MTL e seus respectivos significados, encontra-se disponível no anexo 1 do presente trabalho.

2.5.1 Obstáculos do escaneamento 3D

Um dos projetos pioneiros no uso do escaneamento 3D voltado a conservação de patrimônio foi o *The Digital Michelangelo Project: 3D Scanning of Large Statues*⁵⁷. (GOMES; BELLON; SILVA 2014) O projeto foi fruto de ação conjunta entre as universidades de Stanford e Washington, realizada entre 1998 e 1999, com o objetivo de digitalizar o máximo de estátuas – do escultor Michelangelo⁵⁸ – possíveis durante este tempo. Foram digitalizadas 10 estátuas na Itália, incluindo a famosa estátua de *Davi*⁵⁹,

⁵⁷ LEVOY .M, PULLI .K, CURLESS .B, RUSINKIEWICZ .S, KOLLER .D, PEREIRA .L, GINZTON .M, ANDERSON .S, DAVIS .J, GINSBERG .J, SHADE .J, FULK .D. *The Digital Michelangelo Project: 3D Scanning of Large Statues*. Siggraph 2000. Disponível em < <http://graphics.stanford.edu/papers/dmich-sig00/dmich-sig00-nogamma-150dpi-comp-low.pdf>>. Acesso em 20 abr. 2014.

⁵⁸ *Michelangelo di Lodovico Buonarroti Simoni*, (6/3/1475, Caprese, Itália – 18/2/1564, Roma, Itália) mais conhecido simplesmente como Michelangelo, foi pintor, escultor, poeta e arquiteto italiano, considerado um dos maiores criadores da história da arte do ocidente (nota do autor).

⁵⁹ *David* ou *Davi* é uma das esculturas mais famosas do artista renascentista *Michelangelo*. O trabalho retrata o herói bíblico com realismo anatômico impressionante, sendo considerada uma das mais

dois interiores de prédios e 1163 fragmentos recolhidos na cidade de Roma. Devido à magnitude da estátua de *Davi* (19m² de área), durante a fase do pós-processamento dos dados, os pesquisadores tiveram que criar novos métodos para o alinhamento, fusão da malha triangular e exibição do modelo (LEVOY *et.al*, 2000). Deve se levar em conta que o poder de processamento dos computadores, hoje em dia, é bem maior do que o da época do projeto. Ainda assim, o tamanho, a forma e o material do objeto continuam sendo fatores complicadores da digitalização em três dimensões.

Outros obstáculos encontrados foram as questões legais e a logística. Foi difícil conseguir autorização para o escaneamento junto as instituições culturais responsáveis pelas obras devido a divergências de natureza de propriedade intelectual. Foi acordado que as digitalizações poderiam ser usadas somente para divulgação científica e que para qualquer aplicação comercial, um novo acordo deveria ser feito. Quanto à questão logística, foram gastos \$50.000 (valores não corrigidos) para a contratação de seguranças, para os equipamentos, durante as seções de digitalização. Tal fato é um exemplo de que fatores não previstos devem ser considerados no planejamento da digitalização 3D. Outro obstáculo não previsto nas digitalizações aconteceu em ambientes abertos ao público: *flashes* das máquinas fotográficas dos turistas causaram alguns problemas, interferindo na captura dos dados. Também não conseguiram escanear a estátua *Pietà*⁶⁰, pois estava sendo restaurada. Os pesquisadores salientaram, no entanto que, *Pietà* seria difícil digitalizar através da técnica que estavam utilizando, triangulação a laser, devido à complexidade de sua forma e por ser altamente polida.

Flores (2012) ressalta que a quantidade de luz ambiente é outro fator importante que pode vir a interferir (negativamente) de forma mais ou menos intensa, variando de acordo com o método escolhido de escaneamento, sendo, desta forma, um ponto decisivo a ser levado em conta na escolha do tipo de método. Como exemplo prático para observar a influência da luminosidade, realizou-se, durante o dia, a digitalização da estátua *Cahy*⁶¹ que se encontrava localizada na praça São Sebastião, em Porto Alegre.

importantes obras do Renascimento. Foi esculpida entre 1501 e 1504 e está em exposição na Galleria dell'Accademia, Firenze (IT) (Wikipedia).

⁶⁰ A *Pietà* de Michelangelo é talvez a “pietà” mais conhecida e uma das mais famosas esculturas feitas pelo artista. Representa Jesus morto nos braços da Virgem Maria. Esculpida entre os anos 1498 e 1499, está exposta na Basílica de São Pedro, no Vaticano. (Wikipédia).

⁶¹ Fonte: ArquivoPOA - A Memória de Porto Alegre. *Cahy* é a personificação do Rio Caí, e faz parte do Primeiro Monumento de Porto Alegre, um conjunto composto por cinco estátuas instaladas na Praça da Matriz em 1866, uma homenagem para o Rio Guaíba. Eram divididas em duas figuras femininas e outras duas masculinas. Essas ladeavam uma elevada representação masculina da república, que representava o Guaíba. As mulheres têm em suas bases as denominações de Cahy e Sinos, e os homens, Gravatahy e Jacuhy. O projeto é atribuído ao arquiteto José Obino. Disponível em <

A digitalização 3D da estátua *Cahy* foi realizada em 1º de dezembro de 2010 pela equipe do LdSM/UFRGS, entre às 18h30 e 20h30, horário ainda diurno nesta época do ano em Porto Alegre e, no qual se fez necessário a utilização de lona para controle da luminosidade. (FLORES. A. B. 2012).

Figura 24: Digitalização 3D da estátua Cahy



Fonte: Flores (2012).

Nota: o escâner utilizado para a digitalização da estátua *Cahy*, foi o modelo *Konica Minolta Vivid 9*. O mesmo foi usado, posteriormente, para a digitalização da estátua do Laçador, monumento símbolo da cidade de Porto Alegre.



2.6 Tecnologias para a exibição de conteúdo em 3D.

Devido aos avanços tecnológicos, a produção de conteúdo em 3D vem crescendo substancialmente. Entretanto, *softwares* de produção 3D como Maya[®], 3DMax[®], AutoCAD[®], geralmente possuem alto valor e apresentam alta curva de aprendizado. Há

<http://arquivopoa.blogspot.com.br/2010/03/o-primeiro-monumento-de-porto-alegre.html>>. Acesso em 26 jun. 2016.

softwares gratuitos de produção 3D como, por exemplo, o *Blender*, *Sketchup*, *MeshLab* porém, são exceções no que tange ao uso profissional, apresentando pouca representatividade frente aos *softwares* comerciais (pagos). Visto que um dos objetivos do repositório é maximizar o alcance das produções em 3D, a simplicidade, facilidade de uso e compatibilidade são critérios relevantes.

Ortiz (2010), em seu artigo intitulado “Está o 3D finalmente pronto para a web?⁶²”, discorre sobre as tecnologias disponíveis e os obstáculos para a popularização do conteúdo 3D na internet. De acordo com o autor, para que o 3D possa realmente disseminar-se, é necessário superar obstáculos dentre os quais destacam-se:

- O fim da necessidade de *plug-ins* para a visualização dos modelos 3D, não somente pelo empecilho da sua instalação, mas também pela suscetibilidade a travamentos e diminuição de performance dos navegadores;
- A multiplicidade de formatos 3D pode levar a uma fragmentação, forçando os desenvolvedores a criarem diversas versões (soluções) para a mesma finalidade. Este leque de opções, com a mesma finalidade, pode vir a confundir o usuário final.

Existem diversas tecnologias de exibição de conteúdo 3D. Para efeito de comparação, serão apresentadas as mais relevantes e utilizadas. A partir do levantamento feito, serão avaliadas de acordo com suas respectivas vantagens e desvantagens. São elas: WebGL, o VRML, o X3D e o PDF3D. Algumas funcionam somente através da web, outras, como o PDF3D funcionam também de modo *off-line*, não sendo necessário a conexão com a internet.

2.6.1 WebGL

O WebGL é uma alternativa que promete se tornar padrão para o uso de 3D na Web. Consiste em uma API feita em *Java Script*⁶³, de código aberto, que permite o acesso direto à GPU de forma que seja possível exibir elementos gráficos complexos (como modelos tridimensionais) diretamente no *browser* do computador, sem a necessidade de instalação de *plug-ins*. O WebGL é uma linguagem de programação que funciona em conjunto com o elemento *Canvas*⁶⁴ presente no HTML5. O *Canvas* possibilita a criação

⁶² Traduzido pelo autor. Título original: *Is 3D Finally Ready for the Web?*

⁶³ Para esta e as demais siglas, ver lista de siglas.

⁶⁴ Canvas é um elemento do HTML5 que representa a delimitação de determinada área, cujo o fim se dá para a renderização dinâmica de gráficos. (Fonte: Web GL Wikipedia).

de diversas alternativas para geração de cenas e criação de objetos tridimensionais e bidimensionais. O HTML5 vem sendo implementado por um consórcio de grandes empresas de tecnologia como *Apple, Microsoft, Google, Adobe*, e tem por objetivo se tornar o novo padrão para construção de páginas Web. (SILVA, 2010)

Programar diretamente em WebGL demanda alto conhecimento e é muito trabalhoso. Por isto, vem sendo bastante utilizado em conjunto com outras bibliotecas⁶⁵ com o objetivo de automatizar algumas funções, tornando mais simples a programação para exibição de gráficos em 3D. De acordo com Evans *et al* (2014), uma das bibliotecas mais populares utilizada pelos programadores é a *tree.js*. Enquanto o desenho de um simples cubo em WebGL demandaria centenas de linhas e um código para o *shader*⁶⁶, o *three.js* reduz o trabalho a apenas uma fração. Há um uso crescente de *websites* que utilizam o WebGL para as mais diversas finalidades como: divulgação de produto, visualização de dados, publicidade e jogos⁶⁷.

A compatibilidade do WebGL, tanto em relação aos principais navegadores *desktops*, quanto aos principais sistemas operacionais mais conhecidos dos dispositivos móveis, pode ser conferida nas duas tabelas seguintes (tabelas 2 e 3, respectivamente).

Tabela 2 - Compatibilidade dos dispositivos móveis com relação ao WebGL

Dispositivos	Compatibilidade
Android	O navegador nativo do Android não suporta WebGL e também não possui recursos novos de HTML5. Caso deseje usar WebGL no Android, é recomendável usar as versões mobile dos navegadores <i>Google Chrome, Opera</i> ou <i>Firefox</i> .
iOS	Há suporte ao WebGL para dispositivos que possuem a versão iOS8. O navegador Safari, em sua versão 8, apresenta grande compatibilidade com o WebGL .
Windows mobile	O Sistema Windows Mobile suporta WebGL desde a sua versão 8.1

Fonte: Dirksen. J.⁶⁸

Nota: tabela de comparação com relação ao WebGL, para dispositivos móveis.

⁶⁵ Termo do inglês *library*: quando aplicado na computação, significa um conjunto de funções previamente escritas por outros programadores (nota do autor).

⁶⁶ Em computação gráfica, um *shader* ou sombreador é um programa de computador usado para fazer *shading*: a produção de níveis de cor apropriadas para uma imagem, ou, na era moderna, também produzir efeitos especiais ou pós-processamento de vídeo. São executados na GPU (nota do autor).

⁶⁷ O repositório oficial do WebGL, contendo diversos exemplos de possibilidades de aplicações dos recursos desta linguagem está disponível em <<http://mrdoob.github.io/three.js/>> (nota do autor).

⁶⁸ Traduzido pelo autor.

Tabela 3 - Compatibilidade dos navegadores web com relação ao WebGL

Navegador	Compatibilidade
Mozilla Firefox	O navegador suporta WebGL desde a versão 4.0.
Google Chrome	O navegador suporta WebGL desde a versão 9.
Safari	A versão do <i>Safari</i> 5.1 e a mais recente, que vem instalada no sistema operacional Mac OS X <i>Moutain Lion</i> ou <i>Snow Leopard</i> , suportam WebGL. É necessário certificar-se que esta opção esteja ativada no navegador. Para isto, deve-se ir no menu: <i>preferences > advanced</i> .
Opera	Este navegador tem suporte WebGL desde sua versão 12.00. É necessário habilitá-la manualmente através do menu: <i>opera > config</i> .
Internet Explorer	O Internet Explorer foi, por longo tempo, o único dos navegadores populares que não suportavam WebGL. No entanto, a <i>Microsoft</i> adicionou o suporte a WebGL a partir da versão 10 do navegador.

Fonte: Dirksen. J.⁶⁹

Nota: tabela de comparação com relação ao WebGL, para para Sistemas desktop.

Vantagens:

- Formato aberto, compatível com computadores desktop como também com dispositivos móveis (*tablets* e *smartphones*);
- Permite a visualização de arquivos 3D sem a necessidade de instalação de *plug-ins* para o navegador ou de outros programas específicos para esta finalidade.

Desvantagens:

- É necessário que o navegador seja compatível com HTML5;
- É necessário conhecimento de linguagem HTML e *Java Script* para criar conteúdo.

2.6.2 VRML

Criado em 1995, o VRML, abreviação de *Virtual Reality Modeling Language*, é um padrão de formato que permite a criação de objetos em 3D, tanto na *Internet* como em ambientes locais. Existe certa semelhança entre o VRML e o HTML: ambas são

⁶⁹ Traduzido pelo autor.

linguagens que descrevem uma cena sem procedimento de lógica característicos das linguagens de programação convencionais.

Após sua criação, diversas versões de VRML foram lançadas apresentando correções e novas funcionalidades, a mais atual é a VRML 97.

Vantagens:

- Formato aberto;
- Gratuito;
- Não necessita conexão constante com a internet para a visualização do arquivo;
- Para fins práticos de exibição de um objeto escaneado, exige pouco conhecimento de programação, bastando apenas criar o arquivo .VRML ou .WRL e disponibilizá-lo através da internet.

Desvantagens:

- Necessita instalação de *plug-in* no browser para a visualização de arquivo;
- Há pouco controle sobre a experiência do usuário, visto que existem diversos *plug-ins* disponíveis;
- Versões mais antigas do VRML não possuem funcionalidades básicas como suportar texturas, som e animações;
- Não suporta luzes nem sombras dinâmicas (mudança da localização e da forma das áreas sombreadas do modelo 3D, de acordo com a posição e a intensidade da fonte de luz).

2.6.3 X3D

O X3D foi criado como sucessor do VRML. É um padrão aberto que combina formato de arquivos contendo as geometrias do modelo, incluindo também, outros dados como descrições da cena, iluminação, controle de câmera, entre outros. O X3D possui formato aberto, livre de *royalties*⁷⁰ e usa a arquitetura XML⁷¹ para construir as cenas em 3D. Possui certificado ISO, fornecendo sistema de armazenamento, recuperação e

⁷⁰ *Royalties* é uma palavra em inglês que significa regalia ou privilégio. Consiste em uma quantia que é paga por alguém ao proprietário pelo direito de usar, explorar ou comercializar um produto, obra, terreno, etc. (nota do autor).

⁷¹ O XML é uma linguagem de marcação baseada em texto simples usada para organizar dados de maneira hierárquica, criado para descrever dados e não para os exibir (nota do autor).

reprodução de conteúdo em tempo real, gráficos incorporados em aplicações, tudo dentro de uma arquitetura aberta para suportar ampla gama de domínios e cenários de usuários⁷².

Vantagens:

- Interoperabilidade com o VRML;
- Mais fácil de programar em função da estrutura XML usada para construir o cenário 3D.
- Possui padronização certificada: ©/IEC 14772.

Desvantagens:

- Necessita de instalação de *plug-in* para ser visualizado.

2.6.4 PDF 3D

O PDF (*portable document file*) é um formato idealizado pela *Adobe System*. Criado em 1991, com o objetivo de facilitar a troca de informações entre computadores, independentemente do *hardware* e do sistema operacional utilizado, preservando a informação visual do arquivo, mesmo que aberto em diferentes dispositivos (ISO *Standards Catalogue*). Em um arquivo PDF, os dados são visualizados de forma idêntica, mesmo que sejam executados em diferentes dispositivos e/ou sistemas. Com o passar do tempo, novas funcionalidades foram adicionadas ao PDF como a possibilidade de incorporação de elementos em três dimensões. Atualmente, além do 3D, suporta também, reprodução de áudio e vídeo, links e formulários dinâmicos. O PDF tornou-se um formato aberto em primeiro de julho de 2008, e possui certificado ISO 32000.

Vantagens:

- Relativa facilidade de conversão de conteúdo 3D para o formato PDF;
- Grande base de usuários;
- Facilidade de criação de layouts;
- Possibilidade de integração de diversos tipos de mídia (texto, vídeo, áudio e 3D) no mesmo documento;

⁷² Fonte: Web 3D Consortium. Disponível em < <http://www.web3D.org/x3D/what-x3D>>. Acesso em 12 ago. 2014.

- Facilidade de criação de comentários e de vistas pré-determinadas do arquivo 3D;
- Gratuito (para a visualização do arquivo);
- Possui versão totalmente funcional para dispositivos móveis com sistema *Android* e *iOS* (sem previsão para sistema *Windows Phone*) através do *app* 3D PDF Reader 2.0.

Desvantagens:

- Para incorporação do conteúdo 3D, é necessário utilizar *softwares* pagos como o *Adobe Acrobat Pro*;
- Não possui suporte para mapas de texturas como por exemplo: *normal maps* e *bump maps*;
- Há limitações de exibição do conteúdo 3D dependendo do programa utilizado. Nos testes de compatibilidade realizados em sistemas *desktops*, os dados 3D só foram exibidos corretamente no leitor de PDFs da própria *Adobe (Acrobat Reader XI)*;
- Não possui suporte para animações;
- Nos pré-testes, realizados com um telefone *Zenphone 5* com as seguintes especificações: processador *intel Z2520 - dual core 1,6GHZ*, 2GB de RAM, houve demora para carregar os arquivos PDF. O modelo da estátua do Laçador, que possui 3MB de tamanho, demorou cerca de 1h30min para abrir no programa 3D PDF *Reader*. Ressalta-se que após o arquivo ser carregado, a interação com o modelo transcorreu de forma fluente.

2.6.5 JSC3D

De acordo com a descrição no site⁷³, o JSC3D foi concebido com o propósito de ser um visualizador tridimensional *web* simples, direcionado à objetos 3D e para pequenas cenas. Foi criado através da linguagem de programação *javascript*. A exibição e interação do objeto se dá por meio de um *canvas* através do HTML. De acordo com seu criador, Steve Pomeroy, o JSC3D não foi criado para a geração de cenas complexas ou para renderizar jogos. Seu propósito é a exibição e compartilhamento de conteúdo em 3D, visando obter o máximo de compatibilidade e performance com variada gama de

⁷³ Disponível em <<https://github.com/xxv/jsc3d/tree/master/jsc3d>>.

navegadores disponíveis. O código⁷⁴ do JSC3D e o guia de referência⁷⁵ para utilização, contendo todas as funcionalidades, estão disponíveis na internet.

Vantagens:

- A principal vantagem do JSC3D é a ampla compatibilidade com os navegadores, podendo renderizar o conteúdo tanto em WebGL, como também via *software*. Exibiu os modelos 3D digitalizados corretamente em quase todos os sistemas de visualização testados (incluindo *smart TV's* e videogames);
- Por não possuir muitos recursos de exibição, é relativamente fácil de ser utilizado, demandando poucas linhas de código para que o objeto seja exibido na tela;
- Em navegadores mais antigos que não são compatíveis com o HTML5, como por exemplo o *Internet Explorer 7* e *8*, o JSC3D também funciona, porém faz-se necessária a instalação de um *plug-in* em linguagem *flash* para o seu funcionamento.

Desvantagens:

- Devido ao fato de ter o foco apenas na visualização 3D, o JSC3D não possui muitos recursos para exibição e interação com o conteúdo. Suporta apenas mapa de cor. Não suporta múltiplos mapas de textura (por exemplo: *bump mapping*, *normal map*);
- Não há controle de cena e iluminação. Também não é possível personalizar a tela de carregamento do objeto.

2.6.6 Unity

Ao lado da *Unreal*, a *Unity* é uma das *engines* mais utilizadas para a criação de games. Apesar de serem primariamente concebidas para criação de jogos, as *engines* vêm sendo utilizadas em outras áreas, como por exemplo, na arquitetura e na construção civil, para a exibição de modelos 3D dos projetos.

Vantagens:

- Gratuita para estudantes e para instituições educacionais. Para os desenvolvedores profissionais há a versão PRO com mais recursos de produtividade. Existem diversas

⁷⁴ Disponível através do endereço eletrônico <<https://github.com/humu2009/jsc3d>>.

⁷⁵ Disponível através do endereço eletrônico <http://jsc3d.googlecode.com/svn/trunk/jsc3d/docs/index.html>.

modalidades de pagamento. A licença do *software* custa US\$1500,00. Há também a possibilidade de assinatura mensal através de plano mínimo que começa em US\$75,00;

- Conta com ampla documentação e diversos tutoriais. Há uma grande comunidade ativa que presta auxílio tanto a usuários iniciantes quanto avançados;
- Direcionada para games, há diversos recursos voltados para a qualidade visual;
- A partir da versão 5, é possível exportar a o jogo criado (ou a cena) diretamente para WebGL.;

Desvantagens:

- A compatibilidade é limitada e o tamanho dos arquivos exportados é maior do que outras soluções WebGL. Para efeito de comparação, foi realizado teste com os dados da digitalização 3D da janela do Observatório Astronômico da UFRGS (figura 25). O tamanho dos arquivos exportados pela *Unity* (na versão 5.01) demandou 110MB para a visualização do modelo 3D. Para efeito de comparação, a mesma cena gerada, com o mesmo objeto, demandou somente 5MB quando construída utilizando-se o *three.js*;
- Para ser utilizada no repositório 3D, seria necessário criar uma “cena” para cada objeto escaneado. Isto acarretaria em uma camada extra adicionando um *software* a mais no processo da exibição dos modelos;
- Há limitação de 65.000 polígonos por modelo importado. Caso a quantidade de triângulos do objeto seja maior, a própria *Unity* divide o modelo em partes menores para que fiquem dentro máximo permitido.

Figura 25: Modelo digitalizado em 3D da janela do observatório astronômico da UFRGS



2.6.7 3DHOP

O 3DHOP - *3D Heritage Online Presenter*- é um *framework*⁷⁶ baseado em WebGL, criado especialmente para a exibição de modelos 3D de valor histórico cultural. Segundo Potenziani⁷⁷ *et al* (2015), uma de suas principais características é a performance e capacidade de suportar modelos com grande número de polígonos. A tabela 4 demonstra o tempo necessário para que o 3DHOP faça o carregamento total de um modelo em comparação com os outros sistemas de visualização. São mostrados dois valores: o primeiro é o tempo necessário para que o usuário visualize o início do modelo e, o segundo é o tempo de carregamento total (exibição de todos os detalhes do modelo 3D).

Tabela 4 - Estatísticas de renderização da malha triangular “Happy Buddha”

Tempo em segundos			
	3DHOP	WebGL loader	X3D DOM
3,0 Mbit/s	0,3 / 9,5	2,0 / 19,4	0,6 / 44,5
5,0 Mbit/s	0,2 / 4,8	1,1 / 10,8	0,6 / 24,8
8,0 Mbit/s	0,2 / 3,9	0,7 / 6,8	0,6 / 15,2
20,0 Mbit/s	0,2 / 3,7	0,3 / 2,7	0,5 / 6,0
50,0 Mbit/s	0,2 / 3,6	0,2 / 1,1	0,5 / 2,4

Fonte: *Potenziani et al.* (2015)⁷⁸

Nota: Estatísticas de renderização da malha triangular “Happy Buddha” (1M de triângulos) em diferentes larguras de bandas (3, 5, 8, 20 e 50 Mbit/s) usando os *frameworks* 3DHOP, WebGL-loader e X3DOM binário. Cada célula da tabela mostra duas médias (valores em segundos): o primeiro valor diz respeito ao início da renderização (referente ao tempo no qual o usuário espera até ver algo na tela), o segundo é relacionado com o tempo final da renderização do modelo (tempo no qual o modelo é carregado totalmente). Todos os testes foram realizados no mesmo servidor, como forma de garantir iguais condições. Os valores em negrito correspondem as melhores performances de cada *framework* em cada caso.

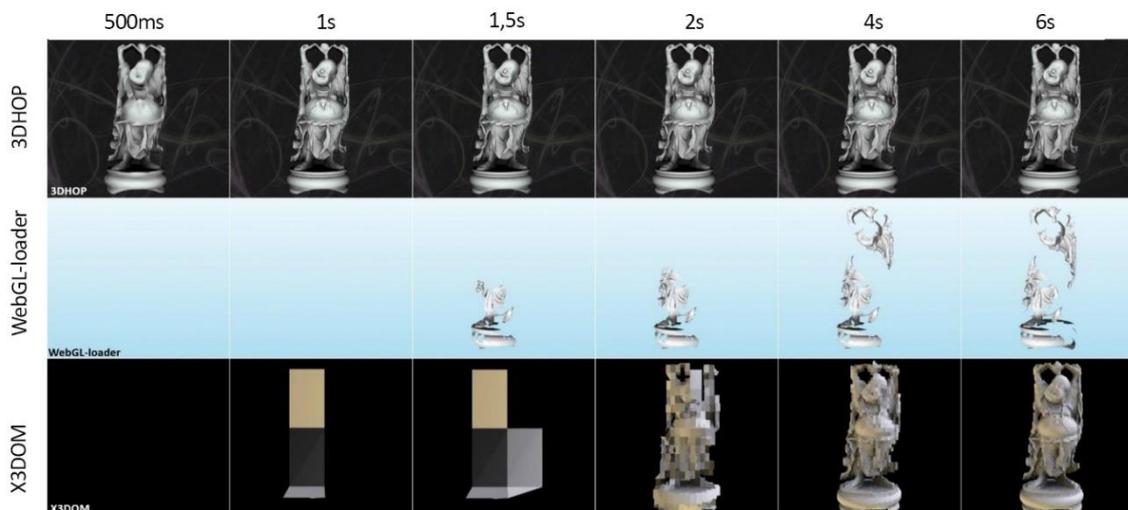
⁷⁶ *Framework*, em desenvolvimento de *software*, é uma abstração que une códigos comuns entre vários projetos de software provendo funcionalidade genérica. Um *framework* pode atingir uma funcionalidade específica, por configuração, durante a programação de uma aplicação. Ao contrário das bibliotecas, é o *framework* quem dita o fluxo de controle da aplicação (nota do autor).

⁷⁷ Marco Potenziani, um dos desenvolvedores da plataforma (nota do autor).

⁷⁸ Adaptado e traduzido pelo autor.

A figura 26 demonstra como se dá a exibição do modelo 3D nas diferentes plataformas durante o carregamento.

Figura 26: Capturas de tela comparativas 3DHOP X WebGL X X3DOM



Fonte: *Potenziani et al. (2015)*⁷⁹

Nota: Capturas de tela comparativas 3DHOP X WebGL X X3DOM: renderização de uma malha triangular de 1 MB em conexão de 5Mbit/s utilizando o 3DHOP na primeira linha, o WebGL *loader* na segunda linha e o X3DOM na última linha. Todos os testes foram feitos no mesmo servidor para garantir iguais condições. Da esquerda para a direita, as capturas foram feitas respectivamente aos 500ms, 1s, 1.5s, 2s, 4s, e 6s após o carregamento total da página.

Vantagens:

- De acordo com seus criadores, o 3DHOOP apresenta, na maioria dos casos analisados, maior velocidade de carregamento dos modelos quando comparado aos seus similares.

Desvantagens:

- A compatibilidade com dispositivos móveis não está totalmente implementada;
- Não possuiu suporte a outros mapas de textura (*bump map, normal map, displacement map*).

⁷⁹ Adaptado e traduzido pelo autor.



2.7 Repositórios 3D: análise das plataformas

Devido ao aumento da produção de conteúdo 3D, há crescente demanda por repositórios desta natureza. Tais repositórios têm propósitos de armazenamento e divulgação por meio da visualização 3D. Os mesmos estão sendo utilizados pelos profissionais das mais variadas áreas como designers, arquitetos e educadores, que têm contribuído a popularizar o uso do 3D nas mais diversas áreas, como *marketing*, educação, mídia, entretenimento, saúde, *e-commerce* e games. Foram analisados quatro serviços deste tipo: P3D.in⁸⁰, Cl3ver⁸¹, *Skatchfab*⁸² e, por fim, o *Smithsonian X 3D*⁸³ (tratado à parte). Todos compartilham de características em comum como:

- São baseados na lógica do *cloud-computing*⁸⁴ ou seja, os modelos 3D ficam armazenados em servidores próprios;
- Funcionam diretamente no navegador, não necessitando de instalação de programas adicionais. Utilizam, para funcionamento, a tecnologia WebGL em conjunto com o HTML5;
- Basearem-se no modelo *freemium*, (exceto o *Smithsonian X 3D*), no qual as funcionalidades básicas como o *upload* e visualização dos objetos são gratuitas, porém serviços adicionais como espaço adicional para *uploads* de novos modelos, customização de material, de cena, remoção do logo da empresa, são disponibilizados através de planos específicos de pagamentos mensais;
- Apresentam compatibilidade com a maioria dos *smartphones* e *tablets* (caso o browser suporte *Javascript* e HTML5).

Para exemplo prático de aplicação destes serviços foi feito o *upload* do arquivo resultante da digitalização da janela do prédio do Observatório Astronômico da UFRGS. O arquivo em questão possui 13 *megabytes* de tamanho, está no formato .OBJ sem textura e possui 299459 triângulos.

⁸⁰ P3D.in <www.p3D.in>

⁸¹ *Platform for Interactive 3D Presentations* < www.cl3ver.com>

⁸² *Skatchfab* < https://skatchfab.com/>

⁸³ *Smithsonian X 3D* < http://3D.si.edu/>

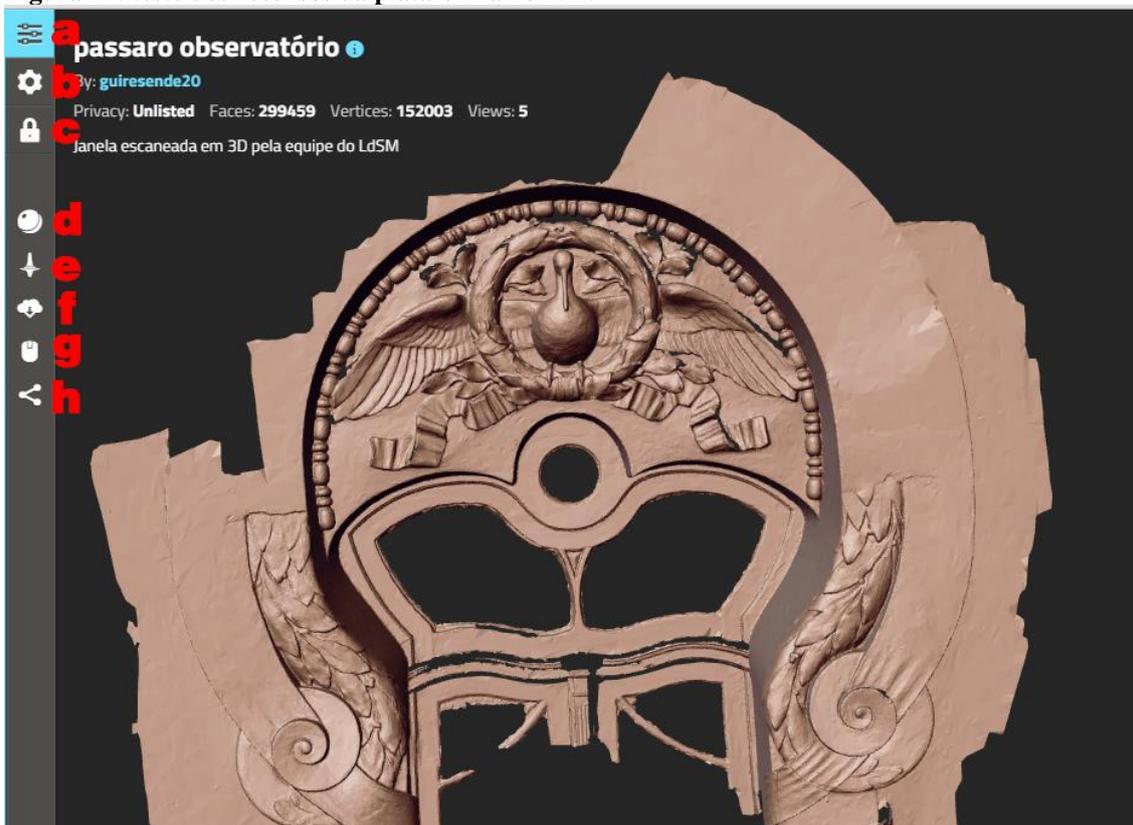
⁸⁴ *Cloud computing* (computação nas nuvens) é a capacidade de computação infinitamente disponível e flexível. A nuvem é tudo aquilo que fica por detrás da conexão. As preocupações com a largura de banda, espaço de armazenamento, poder de processamento, fiabilidade e segurança, são postas à parte (nota do autor).

2.7.1 P3D.in

O serviço mostrou-se o mais fácil de utilizar dentre os avaliados. Após subir o modelo (figura 27), é possível alterar os aspectos visuais, aplicar textura, mudar a iluminação (a); acrescentar informações sobre o modelo (tags, posição de visualização inicial) (b); configurar a privacidade (disponibilização do modelo para download) (c); alterar o tipo de renderização do modelo (d). Também há a função de auto-rotação (e); download do modelo (caso permitido) (f); dicas de navegação (g) e, por fim, alternativas de compartilhamento (h).

Na sua modalidade gratuita, o P3d.in disponibiliza até 100 megabytes para o upload dos modelos bem como suas respectivas texturas.

Figura 27: teste dos recursos da plataforma P3D.in.



Fonte: P3d.in⁸⁵

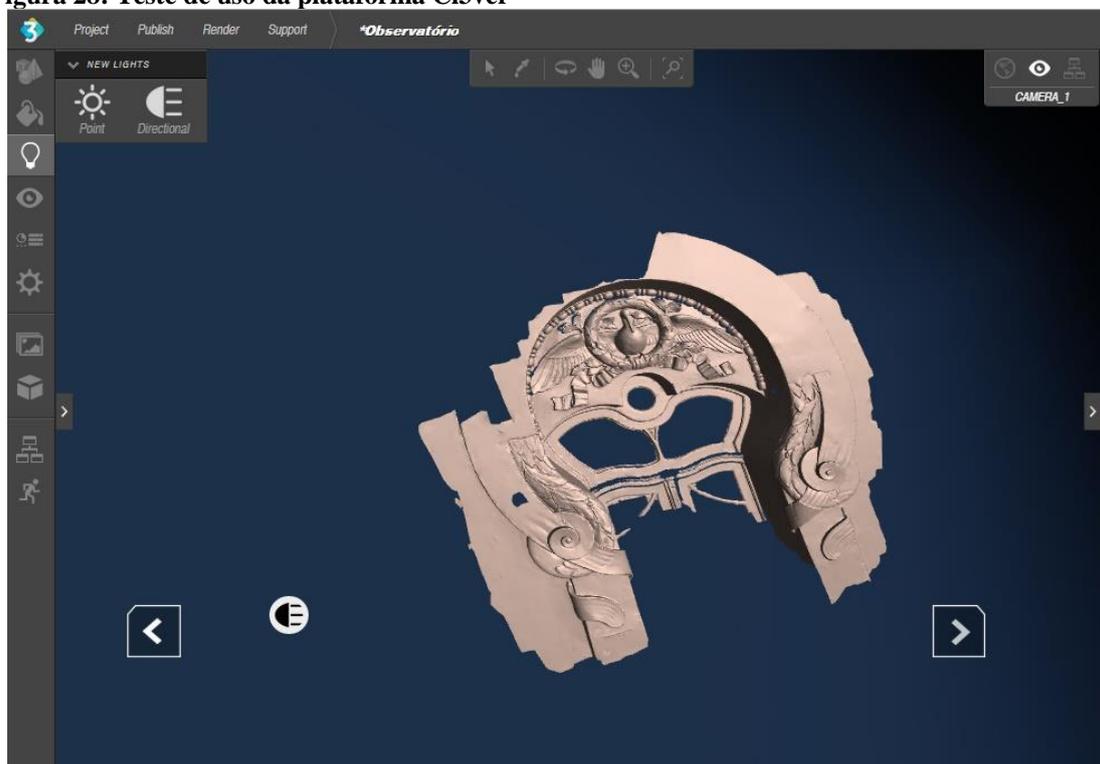
Nota: Controle dos aspectos visuais do modelo 3D (a), informações sobre o modelo 3D (b), alterar privacidade (c), tipo de renderização (d), auto-rotação do modelo (e), download do modelo (f), menu de ajuda (g) e compartilhamento (h).

⁸⁵ Fonte: p3e.in, disponível em <<https://p3D.in/HYPOG>>. Acesso em 26 jun. 2016.

2.7.2 Cl3ver

Este serviço se diferencia dos demais, pois oferece diversos recursos de interação com o objeto 3D, de modo que se possa criar um *tour* no objeto, adicionando imagens, texto, menus e vídeos. Devido à quantidade de recursos disponíveis, sua utilização é a mais complicada de todos os serviços de exibição 3D avaliados. Atualmente, o serviço é cobrado e possui diversas faixas de preço, variando de acordo com o número de visualizações de terceiros e recursos extras. O preço mínimo da assinatura é de US\$650 com duração de um ano. Entretanto, na ocasião do teste, o Cl3ver possuía opção gratuita para estudantes. Tal opção foi removida da plataforma. No entanto os modelos utilizados antes do fim da gratuidade da plataforma continuam disponíveis

Figura 28: Teste de uso da plataforma Cl3ver



Fonte: Modelo de uso do serviço, realizado pelo autor ⁸⁶.

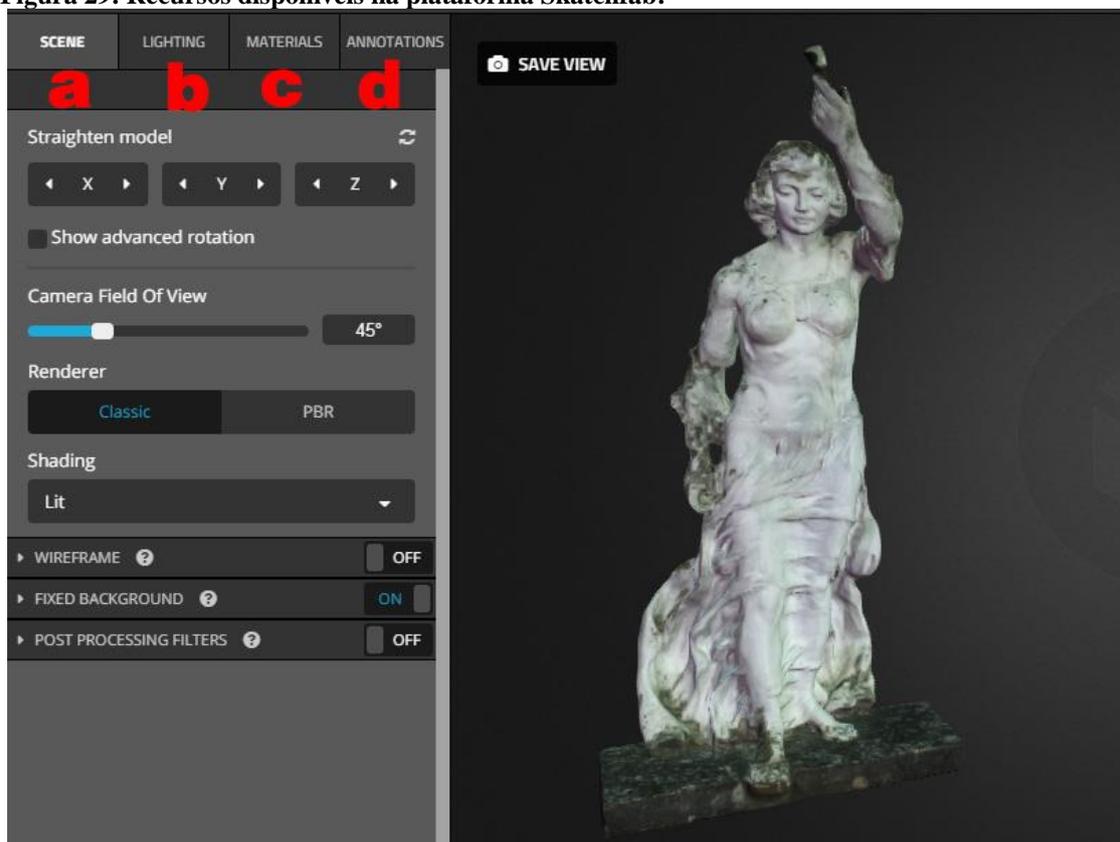
Nota: modelo da janela do Observatório Astronômico da UFRGS.

⁸⁶ O modelo testado janela do Observatório Astronômico da UFRGS está disponível em <<http://3d.cl3ver.com/9urBa>>.

2.7.3 Skatchfab

O *Skatchfab* apresenta interface amigável e intuitiva. O serviço permite anotações diretamente no modelo 3D e um sistema de vistas do objeto que pode ser personalizado. Os controles da cena 3D são divididos em abas (figura 29). Controle de cena (câmera) (a), controle de luz (b), controle de aspectos visuais do modelo (textura) (c) e anotações (D). Uma das grandes vantagens do *Skatchfab* em relação aos seus concorrentes é que permite, atualmente, o *upload* ilimitado de modelos, (com no máximo 50 MB) mesmo na sua modalidade gratuita. Para efeitos de testes, os quatro modelos digitalizados em 3D das fachadas dos prédios da UFRGS foram disponibilizados através desta plataforma⁸⁷.

Figura 29: Recursos disponíveis na plataforma Skatchfab:



Fonte: testes realizados pelo autor na plataforma *Skatchfab*⁸⁸

Nota: Controle de cena (a), controle de luz (b), aspectos visuais do modelo (cor, textura) (c), anotações e câmeras pré-determinadas (d).

⁸⁷ Os modelos testados podem ser acessados na plataforma. Disponível em <https://sketchfab.com/ldsm_ufrgs/models>.

⁸⁸ Ibidem.

2.7.4 Smithsonian 3D X

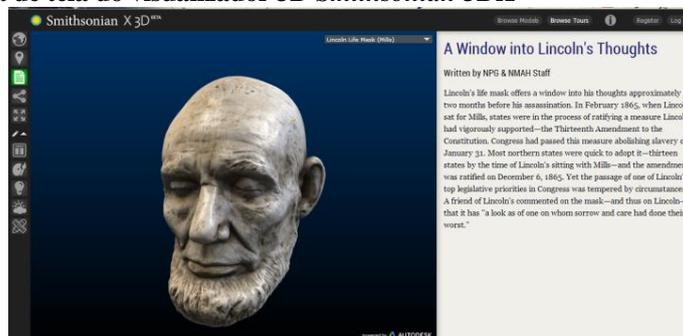
Smithsonian é o nome do instituto que administra 19 museus, cuja missão consiste em propósitos educacionais e de pesquisa. Subordinados ao Governo Federal dos Estados Unidos, o instituto possui diversas iniciativas envolvendo patrimônio, cultura e inovação, aplicadas a educação, entre os quais, destaca-se o *Smithsonian X 3D*.

Este projeto foi criado com o objetivo de digitalizar em 3D o acervo dos museus para disponibilizá-los ao público através de seu *website*⁸⁹. A iniciativa é patrocinada pela *Autodesk* e pela *3D Systems*, duas das maiores empresas atuantes na indústria referentes a produção 3D, desenvolvendo *softwares*, impressoras e escâner.

O *website* funciona como repositório virtual, disponibilizando os arquivos 3D para impressão. Apresenta, também, em conjunto com o modelo 3D exibido, outras funcionalidades complementares como textos explicativos referente as obras digitalizadas, alternativas de compartilhamento por e-mail e/ou redes sociais, controle de luminosidade e alteração do tipo de material do objeto, entre outras. Também é possível incorporar os modelos disponibilizados para outros blogs e websites.

No site encontra-se a seguinte descrição⁹⁰ do projeto: *O fim da era do “não toque”*: *Explore os objetos do Smithsonian X 3D de forma a manipulá-los como nunca fora possível antes. Crie e compartilhe suas próprias cenas. Imprima réplicas em alto detalhe de peças da coleção do museu.* Este projeto indica que novas tecnologias, trabalhando em conjunto com a arte, possuem capacidade, não somente para auxiliar a missão do *Smithsonian* de promover a difusão do conhecimento, como também transformar profundamente o papel dos museus. A figura 30 é uma captura de tela do visualizador do *Smithsonian X 3D*.

Figura 30: Captura de tela do visualizador 3D Smithsonian 3DX



Fonte: captura de tela realizada pelo autor no website do *Smithsonian X 3D*.

⁸⁹ O *website* do projeto pode ser acessado através do endereço <<http://3D.si.edu/>>

⁹⁰ Traduzido pelo autor.

3. MATERIAIS E MÉTODOS.

Devido ao caráter interdisciplinar do experimento, para a composição do quadro teórico, optou-se pela utilização de diferentes metodologias, de acordo com cada área a ser abordada no projeto.

Supõe-se que há uma proliferação da geração de conteúdo em três dimensões, não havendo consenso relativo quanto a melhor forma de disseminação deste tipo de conteúdo. De acordo com Dias e Fernandes (2008, p.8), “(...) método hipotético-dedutivo: inicia-se pela percepção de uma lacuna nos conhecimentos, formula-se uma hipótese e, pelo processo dedutivo, testa a predição da ocorrência de fenômenos”.

A pesquisa pode ser caracterizada, quanto ao objetivo, como de cunho exploratório. Tal escolha deve-se ao fato de propiciar um planejamento flexível e, principalmente, por permitir o estudo do tema a partir de diversos olhares através de levantamento bibliográfico e análise de exemplos concretos.

A pesquisa exploratória:

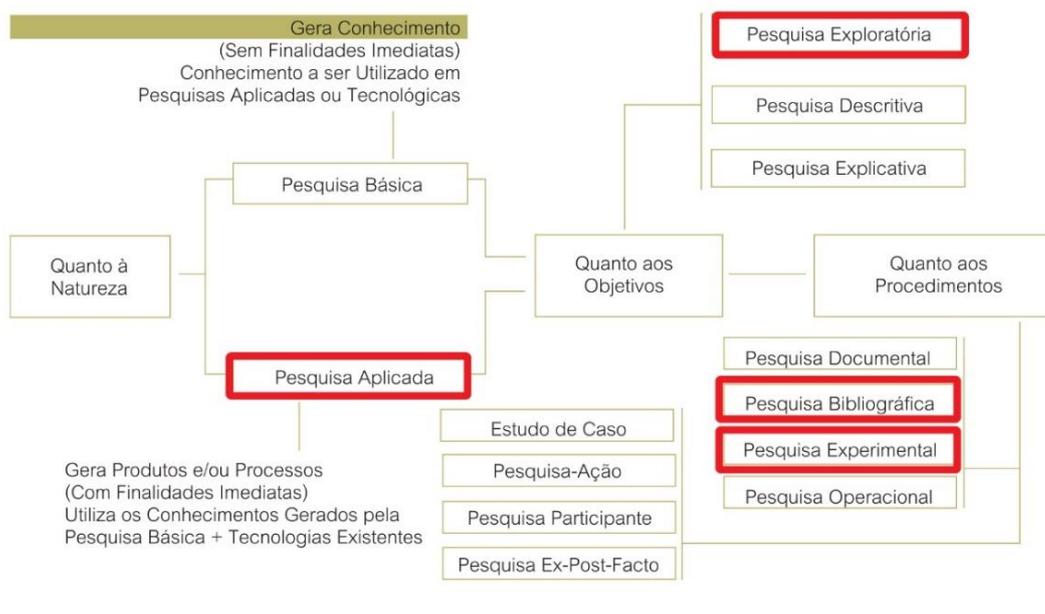
(...), tem como finalidade proporcionar mais informações sobre o assunto que vamos investigar, possibilitando sua definição e seu delineamento, isto é, facilitar a delimitação do tema da pesquisa; orientar a fixação dos objetivos e a formulação das hipóteses ou descobrir um novo tipo de enfoque para o assunto. Assume, em geral, as formas de pesquisas bibliográficas e estudos de caso. (PRODANOV, 2013, p.51).

Através de revisão bibliográfica foi definida a melhor tecnologia de exibição de conteúdo a ser utilizada pelo repositório, bem como os métodos mais adequados para a digitalização em três dimensões dos objetos.

A última fase do projeto, correspondente à construção do repositório 3D. Etapa experimental, pode ser caracterizada quanto a sua natureza como pesquisa aplicada, visto que tem como finalidade a implementação de alternativa de pesquisa aplicada: quando determinamos um objeto de estudo, selecionamos as variáveis que seriam capazes de influenciá-lo, definimos as formas de controle e de observação dos efeitos que a variável produz no objeto (SILVA, C. R. O, 2004).

A figura 31 corresponde aos caminhos selecionados metodológicos para o presente trabalho (da esquerda para a direita). Desta forma é possível obter visão geral do quadro teórico norteador de todo o projeto.

Figura 31: Caminhos metodológicos selecionados para este estudo



Fonte: Silva C. R (2004)⁹¹.

Nota: caminhos selecionados em relação aos tipos de pesquisa adotados pela presente dissertação.

Quanto aos objetivos, segue-se a vertente exploratória, a ser realizada através de levantamento bibliográfico e da análise de exemplos de repositórios virtuais com finalidade e/ou tecnologias similares às propostas pelo projeto. Tal escolha se justifica devido à natureza dinâmica e interdisciplinar do tema e levando-se em conta que as tecnologias 3D encontram-se em estágio de constante evolução.

Conforme já fora dito no capítulo introdutório, para melhor compreensão, o projeto de construção do LdSM 3D pode ser dividido em duas etapas:

O primeiro momento engloba os processos relativos as etapas de digitalização dos modelos e suas respectivas fases: preparação da digitalização, aquisição dos dados, processamento, pós-processamento, tratamento para exibição na web. Para esta primeira parte, realizou-se parceria entre a Secretaria de Patrimônio Histórico da UFRGS (SPH) e o Laboratório de Design e Seleção de Materiais (LdSM), a cargo da digitalização em três dimensões de partes específicas dos prédios históricos da universidade. Ao SPH coube a disponibilização da infraestrutura para a digitalização. Também foram utilizadas duas

⁹¹ Adaptado pelo autor.

placas de poliuretano (Cibatool®⁹²) de 300 x 400 x 50 mm para usinagem de dois dos modelos digitalizados.

A segunda parte engloba, através do levantamento bibliográfico e da análise das soluções disponíveis, a construção do repositório com suas respectivas funcionalidades baseando-se nos estudos realizadas no capítulo dois – 2.4 (Tecnologias de exibição de conteúdo 3D), 2.5 (Educação: O uso do 3D como ferramenta pedagógica), 2.6 (Conservação de patrimônio histórico e as novas tecnologias) e 2.7 (Repositórios 3D: uma análise das plataformas). O repositório tem como principais funções a visualização 3D, junto à possibilidade de disponibilização do *download* dos arquivos dos modelos para impressão em 3D. O objetivo é estimular a divulgação cultural, a educação e a conscientização, aproximando o público, tanto externo como interno da Universidade, de forma a contribuir para a preservação, história e identidade cultural da instituição.

Por fim, os quatro modelos digitalizados em 3D foram incorporados, dando origem a quatro arquivos no formato PDF3D, para serem visualizados em modo *off-line*.

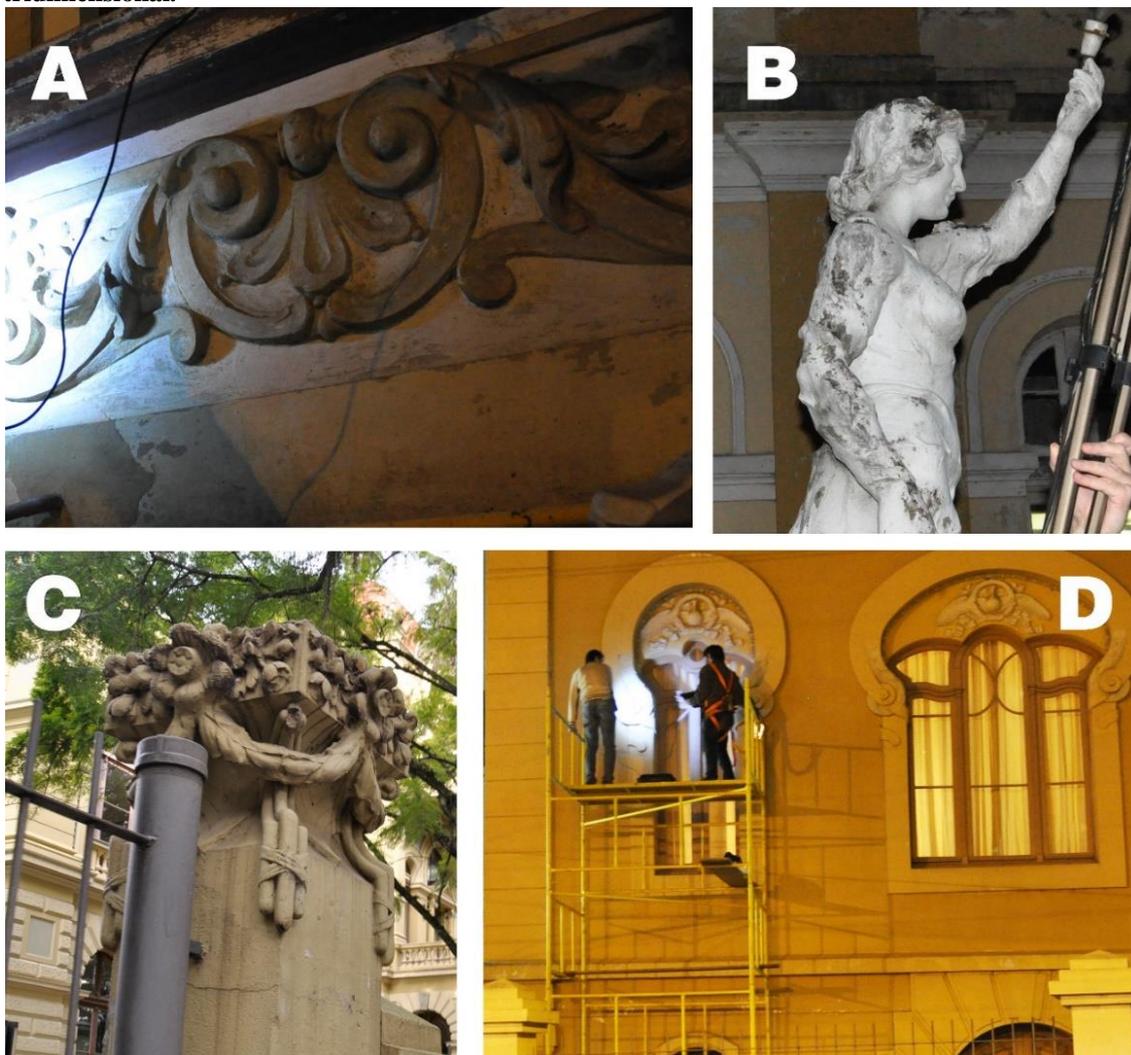
3.1 Preparação: digitalizações 3D - elementos de fachada dos prédios históricos da UFRGS

Durante esta fase preparatória, se deu a seleção dos elementos de fachada a serem digitalizados. As escolhas foram baseadas na relevância histórica (de acordo com critérios da Secretaria do Patrimônio Histórico da UFRGS), localização, dimensões e forma, de modo que fosse possível haver uma estimativa do tempo necessário para a digitalização de cada elemento. Observa-se que tais critérios são similares aos encontrados na tabela 1 (critérios de escolha de sistemas de digitalização tridimensional) do capítulo dois (2.1.1). Porém, alguns quesitos foram adaptados às demandas do projeto. Por exemplo, a seleção do método de digitalização ficou restrito aos escâneres 3D disponíveis no LdSM. A localização dos elementos também foi um fator restritivo, pois em alguns lugares, foi necessária a montagem de andaimes em vias públicas por mais de um dia. Por causa do andaime, também foi necessário o uso de equipamentos de segurança. Esta fase operacional preparatória de montagem de estrutura para a digitalização 3D pode ser um grande obstáculo, pois demanda estruturas e apoio complementares que são imprescindíveis para objetos de difícil acesso.

⁹² Polímero utilizado para usinagem devido as suas propriedades mecânicas (nota do autor).

Com base nos critérios explicitados, foram selecionados quatro elementos de fachada para serem digitalizados: o adorno da fachada da janela do Instituto de Ciências Básicas da Saúde (ICBS) (A), a estátua do Instituto de Química da UFRGS (B), o pilar do antigo gradil próximo a faculdade de Ciências Econômicas da UFRGS (aonde se encontrava o antigo Instituto Ginásial Júlio de Castilhos, destruído em um incêndio) (C), e por fim, a janela do Observatório Astronômico da UFRGS (D). Estes elementos podem ser observados na figura 32.

Figura 32: Elementos de fachadas dos prédios históricos da UFRGS selecionados para digitalização tridimensional.



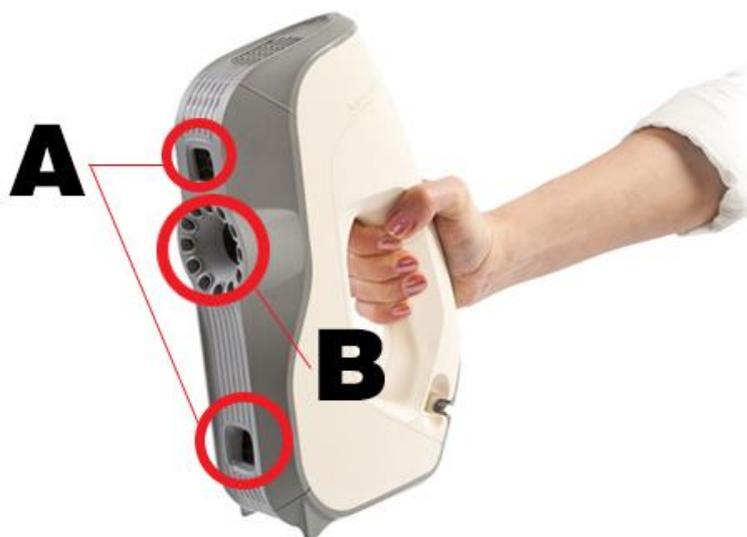
Fonte: equipe do LdSM

Nota: os quatro elementos selecionados para a digitalização 3D: adorno da fachada da janela do ICBS (Instituto de Ciências Básicas da Saúde) (A), estátua do Instituto de Química da UFRGS (B), pilar do antigo gradil próximo ao antigo Instituto Júlio de Castilhos (C), e janela do observatório astronômico da UFRGS (D).

3.2 Aquisição dos dados.

Todas as aquisições dos dados dos elementos de fachada foram realizadas utilizando-se o escâner 3D modelo *Artec Eva* (figura 33). O escâner tem a precisão (nível de exatidão da captura dos pontos) de 0.1mm, resolução (quantidade de pontos captados) de 0.5mm e possui uma distância de funcionamento entre 0.4 e 1 metro. A captura da nuvem de pontos se dá através dos sensores localizados nas extremidades (A), e a captura da textura por meio do sensor central (B). A descrição completa do *workflow*⁹³, detalhando as etapas do processo desde a digitalização até o modelo final 3D encontra-se no anexo 2 do presente trabalho. O *Artec Eva* necessita ser operado em conjunto com um computador. Portanto, foi usado em conjunto com um notebook HP com a seguinte configuração: processador Intel[®] core i7(modelo 4500-U), 1,8 até 3,0 GHz. 8GB de memória RAM com placa de vídeo *onboard* HD4000 e *offboard* AMD Radeon™ HD 8670M com memória de 2GB DDR3.

Figura 33: Sensores do escâner 3D artec EVA.



Fonte: adaptado do website da Artec Corporation[®]

Nota: Escâner 3D Artec EVA: (A) sensores de captura das dimensões e (B) das texturas.

⁹³ Segundo a *Workflow Management Coalition* (WfMC), fluxo de trabalho é a sistematização do processo de negócio, na sua totalidade ou em partes, onde documentos, informações ou tarefas são passadas de um participante para o outro para execução de uma ação, de acordo com um conjunto de regras de procedimentos (nota do autor).

Todas as digitalizações foram realizadas à noite, com exceção do pilar do antigo gradil da UFRGS, próximo a faculdade de Economia, que teve início no fim da tarde, a fim de evitar a interferência que o excesso de luz pode causar na captura dos dados. Outro aspecto a ser destacado é que variação de luz ambiente pode alterar a cor da captura das texturas. Para atingir lugares de difícil acesso, utilizou-se um extensor (figura 34) acoplado ao escâner durante as capturas da janela do prédio do Observatório Astronômico (A), na estátua do antigo Instituto de Química Industrial (B) e por fim, no pilar do antigo gradil da universidade (C).

Figura 34: Uso do extensor acoplado ao Artec Eva para a digitalização tridimensional de locais de difícil alcance.



Fonte: equipe do LdSM

Nota: uso do extensor na janela do observatório astronômico (A), estátua do antigo Instituto de Química Industrial (B) e pilar do antigo gradil da UFRGS (C).

3.3 Processamento dos dados das digitalizações 3D.

No processamento das digitalizações, utilizou-se o próprio *software* do escâner, *Artec Studio*® 9.2. A configuração do computador utilizado para o processamento dos dados foi: desktop PC com 2 processadores Intel® Xeon seis núcleos físicos cada mais seis núcleos virtuais totalizando 24. Cada núcleo opera com velocidade máxima de 2,66 GHz. O sistema conta com 32GB de RAM e placa de vídeo Nvidia® Quadro 4200 com 4GB GDDR5. Os fechamentos de eventuais buracos na malha triangular foram realizados

no *software Geomagic Studio Studio*[®]. Utilizou-se o *software Photoshop* para retoques finais na textura dos modelos 3D produzidos.

3.4 Processamento dos modelos para exibição na web.

Para que os modelos fossem disponibilizados no repositório, foi necessária a redução de tamanho. A forma para obtenção de tal resultado se dá por meio da redução do número de polígonos de sua malha triangular. A melhor maneira de compensar a inevitável perda de detalhes é através da criação de mapa de texturas (no caso específico, *normal map*), que confere ao modelo reduzido qualidade muito similar ao do original (como foi explanado no capítulo dois, “2.3”). Os modelos nos quais utilizou-se desta técnica foram: a estátua do Instituto de Química e o pilar do antigo gradil da UFRGS, próximo a Faculdade de Economia e a janela do Observatório Astronômico. A redução da malha poligonal dos objetos foi realizada utilizando-se o *software Artec Studio 9.2*. A retopologia⁹⁴ do modelo e a criação dos mapas de normais foi feita no 3Ds *Max*. Eventuais retoques nas texturas do mapa de normais foram editadas no *Photoshop*. Para ajustes finos do brilho, contraste e cor, alterou-se as propriedades do arquivo MTL de cada modelo.

3.5 Construção do repositório digital 3D

Para a construção do repositório utilizou-se como base o *Wordpress*⁹⁵ versão 4.2.2 que está instalado nos servidores da UFRGS. Para a exibição dos modelos 3D, por meio da análise feita no capítulo 2.4, foram selecionadas duas bibliotecas: *three.js* versão (r.71) e o JSC3D (para o modo de compatibilidade). Também foram instalados *plug-ins* com objetivo de adicionar novas funções ao repositório (tabela 5). Todos eles são gratuitos e podem ser encontrados no site oficial do *Wordpress*⁹⁶.

⁹⁴ Processo no qual há uma alteração na topologia, geralmente consiste em malha poligonal de alta densidade (*high poly*), sendo transformada em uma malha de baixa densidade (*low-poly*) (nota do autor).

⁹⁵ WordPress é um aplicativo de sistema de gerenciamento de conteúdo para web, escrito em PHP com banco de dados MySQL, voltado principalmente para a criação de sites e blogs via web. Essa é uma das ferramentas mais famosas na criação de (nota do autor).

⁹⁶ Disponível em < <https://WordPress.org/plugins/>>.

Tabela 5 - Lista de plug-ins utilizados no repositório com suas respectivas finalidades

Plug-in	Função
<i>Responsive voice</i>	Permite que textos do repositório 3D sejam transformados automaticamente em áudio.
<i>Easy Responsive Google Maps</i>	Adiciona localizações através do google maps ao website.
<i>Custom Upload Folder Plus</i>	Personaliza os uploads dos arquivos, direcionando-os automaticamente o para o diretório da escolha do usuário.
<i>Unite Gallery lite</i>	Adiciona galeria de fotos

Nota: Funções dos *plug-ins* para *Wordpress* instalados no repositório 3D:

Para a visualização *off-line* dos modelos, foram produzidos arquivos no formato PDF'S 3D. Para tal utilizou-se o *software* gratuito *Meshlab* que tem a função de converter a malha poligonal para um padrão compatível com o do programa *Acrobat Pro XI*[®]. Este, por sua vez tem a função de incorporar o arquivo que contém as informações do modelo 3D, criando desta maneira o PDF3D.

4.RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para melhor organização, os resultados obtidos no presente projeto são apresentados em duas fases. A primeira, corresponde a digitalização dos quatro elementos de fachada dos prédios históricos selecionados (etapa de geração de conteúdo para o repositório). Esta fase engloba breve pesquisa com a descrição histórica do modelo (para texto introdutório de cada modelo a ser incluído no repositório); planejamento prévio da digitalização, (incluindo o local no qual se encontra o objeto, volume e o tipo de material); digitalização, o tratamento dos dados obtidos, a montagem do modelo final (incluindo disponibilização para impressão 3D); e, a redução do tamanho dos modelos para a exibição 3D, através do repositório (figura 35).

Figura 35: Etapas da geração de conteúdo para o repositório 3D.



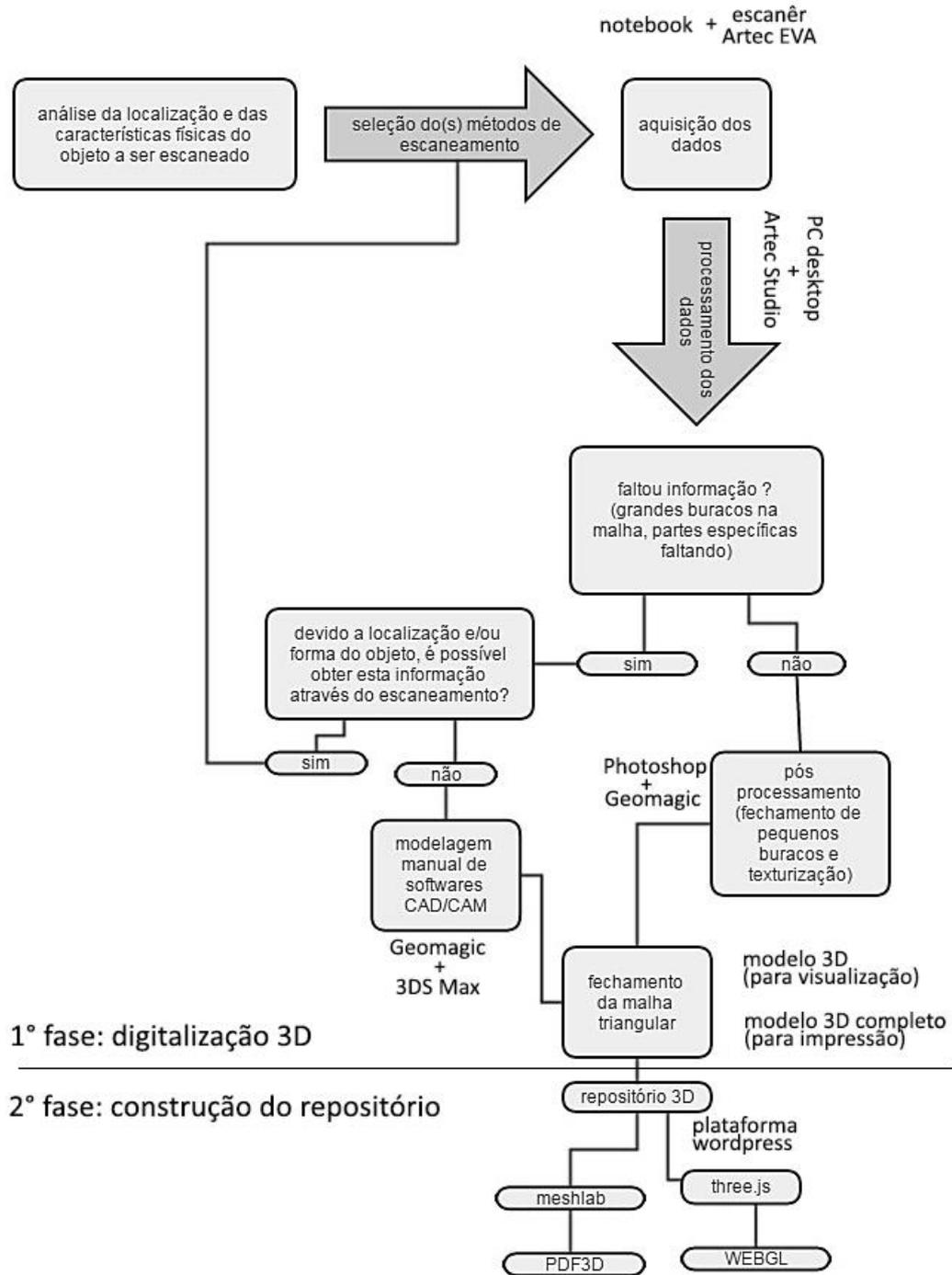
Nota: descrição da primeira fase dos resultados obtidos no presente projeto.

A segunda etapa corresponde ao planejamento e a construção do repositório para a exibição dos modelos 3D. O repositório também inclui outras funcionalidades de acessibilidade, educação e conservação de patrimônio. Por fim, foi realizada análise de compatibilidade com diversos dispositivos móveis (*tablets e smatphones*). Uma visualização completa, incluindo as etapas, os materiais e os processos envolvidos encontra-se no fluxograma a seguir (figura 36).

Figura 36: Fluxograma das etapas, materiais e processos envolvidos na construção do repositório 3D.

Fluxograma de construção do repositório 3D

equipamentos, programas e etapas envolvidas na criação do repositório 3D



Nota: visualização das etapas, materiais e processos envolvidos no projeto.

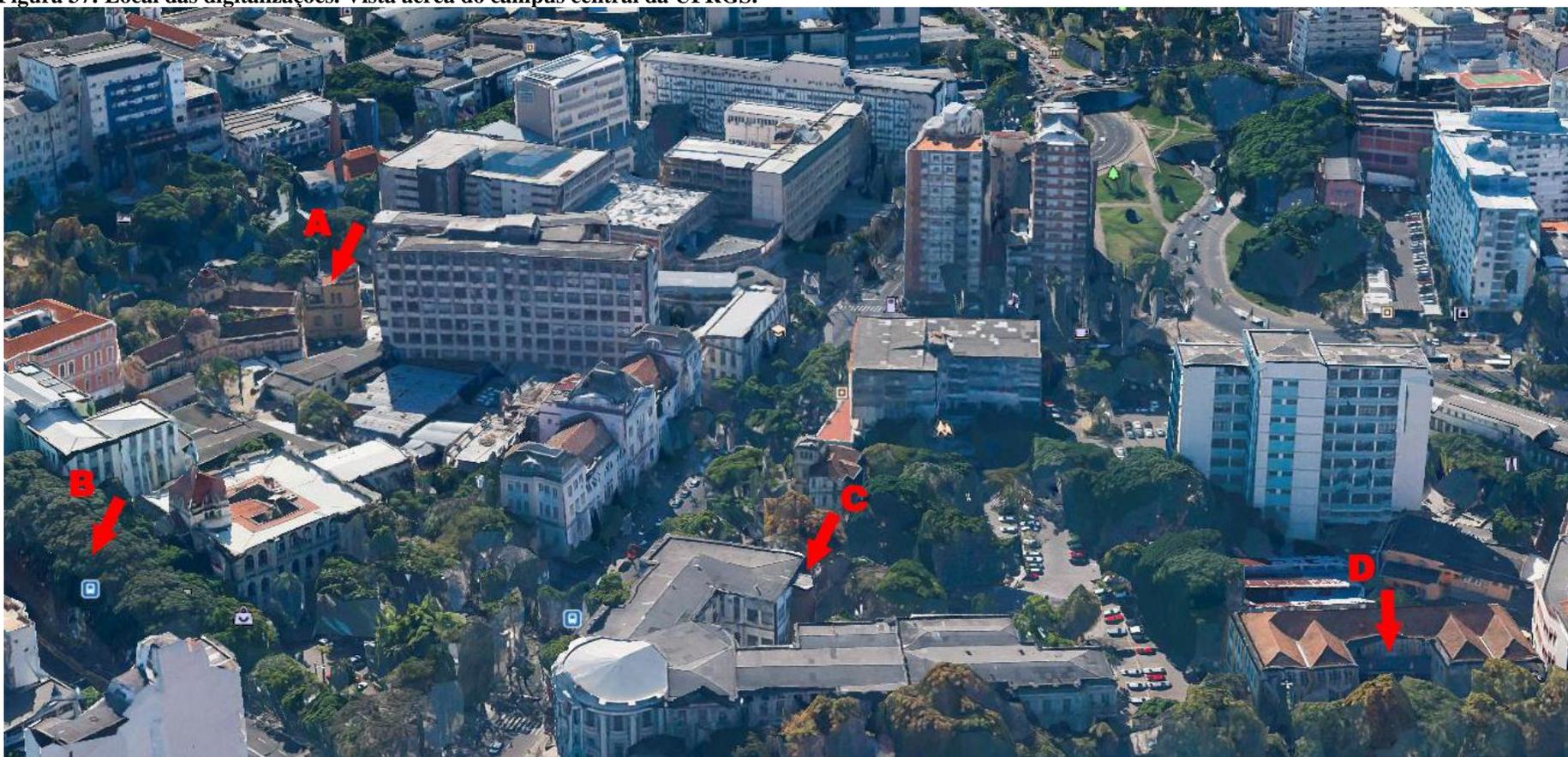
4.1 Digitalização 3D: Elementos de fachada dos prédios históricos da UFRGS

Destacando o posicionamento de Catalano (2011), a respeito da importância das informações suplementares de outras mídias quando aplicada à lógica da conservação (capítulo dois, 2.6.2), como a descrição semântica junto ao modelo 3D, foi realizado levantamento de informações históricas acerca dos elementos digitalizados. Tais informações são exibidas no repositório junto aos seus respectivos modelos tridimensionais, de forma que o usuário tenha melhor entendimento do contexto histórico que as permeiam.

O Campus Central da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, foi o primeiro campus universitário construído no Brasil (CARVALHAL, 1998, p.14). Os primeiros prédios das instituições que viriam a se tornar a UFRGS tiveram origem em 1895, no governo Júlio de Castilhos, com a criação da Escola de Farmácia e Química Industrial. Logo em seguida, em 1986, inicia-se a construção da Escola de Engenharia, cujo projeto ficou a cargo do arquiteto Theodor Alexander J. Wiederspahn, responsável, também, pelo prédio do Instituto de Ciências Básicas da Saúde da UFRGS (ICBS), entre outras obras famosas na cidade de Porto Alegre. Inaugurada em 1901, a Escola de Engenharia torna-se a primeira edificação construída no local que viria a ser o atual Campus Central da UFRGS. O segundo prédio foi o Instituto Ginásial Júlio de Castilhos (em 1908), onde atualmente encontra-se a Faculdade de Ciências Econômicas. A seguir foram construídos o *Chateau*⁹⁷, o Observatório Astronômico, o departamento de Energia Nuclear e o prédio da Faculdade de Direito. O ICBS foi inaugurado em 1924, e o Instituto de Química em 1926. Todos eles sofriam forte influência da filosofia positivista que vigorava na época (CARVALHAL, 1998). O mapa do local de todas as digitalizações realizadas para a construção do repositório 3D pode ser encontrado na figura 37.

⁹⁷ Construído entre 1906 e 1908, o *Château* abrigava a Oficina de Serralheria; a Oficina de Máquinas para Trabalhos em Madeira; o Almoxarifado (no andar térreo) e o Posto Médico (no 1º andar) do Instituto Técnico Profissional da Escola de Engenharia. Esta edificação forma, juntamente ao Castelinho e com o Observatório Astronômico, um singular e harmonioso conjunto arquitetônico que apresenta elementos *art nouveau* e que se destaca na cidade de Porto Alegre. Atualmente, abriga o Laboratório de Metalurgia Física (LAMEF – Unidade Campus Centro) e a Secretaria de Desenvolvimento Tecnológico (Sedetec). Fonte: Setor de Patrimônio Histórico. Disponível em < <http://www.ufrgs.br/predioshistoricos/predios/primeira-geracao/chateau>>. Acesso em 28 jun 2016.

Figura 37: Local das digitalizações. Vista aérea do campus central da UFRGS.

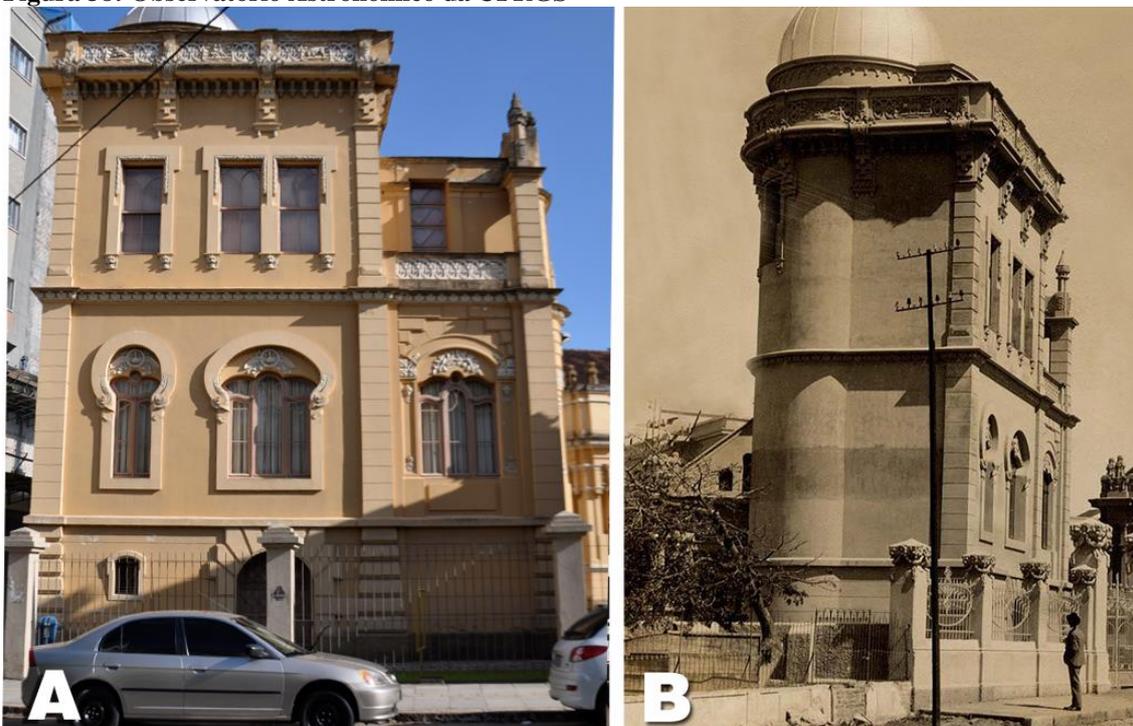


Nota: O mapa d as digitalizações realizadas para a construção do repositório 3D Observatório Astronômico, (B) pilar: antigo gradil da UFRGS, (C) ornamento de fachada, ICBS (D) estátua do Instituto de Química.

4.1.1 Digitalização da janela do observatório da astronômico da UFRGS

Histórico: O Observatório Astronômico da UFRGS (figura 38) foi inaugurado em 1908. Projeto concebido pelo engenheiro Manoel Assumpção Barbosa Itaquy. Além dos estudos astronômicos, a instituição também prestava serviços meteorológicos à comunidade de Porto Alegre. O estilo arquitetônico mescla várias tendências dentro da *art-nouveau*⁹⁸. A partir de 1912, o Observatório Astronômico também passou a fornecer o serviço de hora certa para Porto Alegre. Três lâmpadas instaladas em locais distintos – no Instituto Júlio de Castilhos, na Intendência Municipal e na confeitaria Rocco – eram acessas às 19h55 e apagadas às 20h00, de forma que toda a cidade pudesse saber a hora certa (OBSERVATÓRIO ASTRONÔMICO – HISTÓRIA, 2015).

Figura 38: Observatório Astronômico da UFRGS



Fonte: Fotografia (A) do autor; fotografia (B) banco de imagens SPH, acessado através do repositório digital da UFRGS – LUME.

Nota: janela do observatório da astronômico da UFRGS. (A) foto de 2015; (B) foto sem data definida.

⁹⁸ Estilo ornamental utilizado em arquitetura, decoração, joalheria, ilustração etc., que se caracteriza pelo uso de linhas longas, ondulantes e assimétricas, muitas vezes apresentando elementos que lembram formas da natureza. Floresceu aproximadamente entre 1890 e 1910 e inspirou-se, em parte, na arte japonesa da gravura (nota do autor).

Digitalização 3D: a primeira digitalização realizada pelo projeto foi a janela do prédio do Observatório Astronômico da UFRGS. Também foi a mais complexa, tanto sob o aspecto logístico quanto da própria digitalização em si. Como o objeto a ser digitalizado é de difícil acesso, foi necessário a montagem de andaime de aproximadamente quatro metros de altura (A) e, a acoplagem de extensor no escâner para realizar a captura dos dados com máximo de informações possíveis (B) (figura 39).

Figura 39: Digitalização do Observatório Astronômico da UFRGS



Fonte: Equipe do LdSM.

Nota: Andaime montado para a digitalização da janela do observatório astronômico (A). Extensor acoplado ao escâner para alcançar detalhes de difícil acesso (B).

A digitalização ocorreu durante duas noites consecutivas. Os principais empecilhos encontrados foram a localização e o tamanho do objeto. A base pequena do andaime, que dificultava o equilíbrio, somado ao tamanho e aos ângulos negativos do objeto foram obstáculos para a digitalização (uma das principais razões pelas quais o processo de captura demandou duas noites). Ressalta-se que mesmo com o andaime e com o uso do extensor, algumas pequenas partes da janela não puderam ser digitalizadas devido à natureza de seu formato, como a parte traseira da cabeça do pelicano (figura 40) e, foram reconstruídas, digitalmente, através dos *softwares* *Geomagic Studio* e *3Ds Max*.

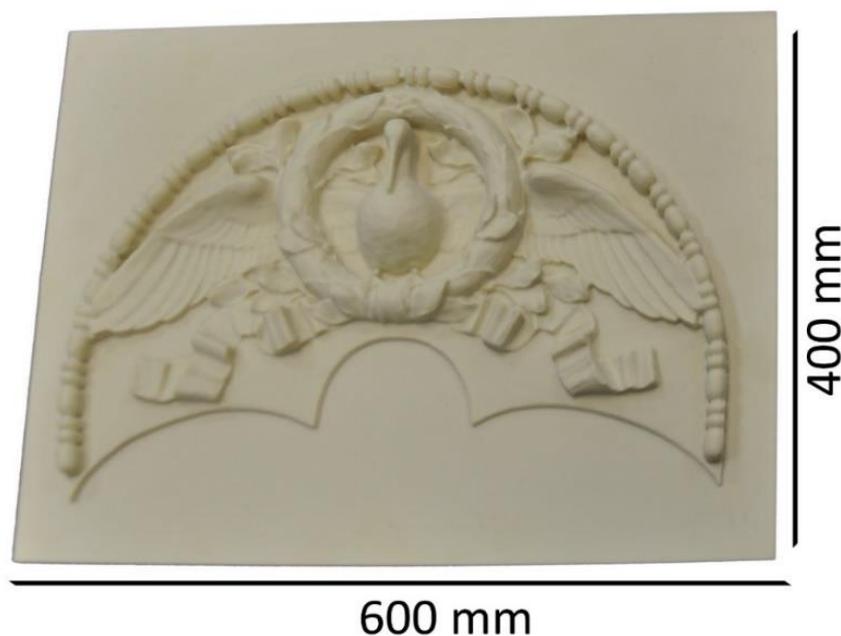
Figura 40: Detalhe da digitalização da janela do Observatório Astronômico.



Nota: Detalhe em destaque (A) parte traseira do elemento decorativo reconstruída digitalmente.

A partir dos dados obtidos construiu-se modelo usinado, do detalhe da janela, em poliuretano, com as medidas de 600 x 400 x 50 mm (A x L x P) (figura 41), com a função de ampliar a acessibilidade, de modo que pessoas com deficiência visual possam sentir os detalhes da janela através do tato. Os dados técnicos da digitalização da janela do observatório astronômico são encontrados na tabela 6.

Figura 41: Modelo usinado em poliuretano do detalhe da janela do Observatório Astronômico da UFRGS



Nota: Sua função é voltada para apreciação tátil de pessoas com deficiência visual. Tamanho da peça: 600 x 400 x 50 mm (largura X altura X profundidade).

Os dados técnicos da digitalização do modelo da janela do Observatório Astronômico são encontrados na tabela a seguir.

Tabela 6 - Dados técnicos: digitalização da janela do Observatório Astronômico da UFRGS

Parâmetros / Tipo de Modelo	Modelo em alta resolução (arquivo original)	Modelo em baixa resolução (visualização online)
Nº de vértices	19.999.860	41.718
Tipo de faces	Triângulos	Triângulos
Nº de faces	200.822.105	82.271
Tamanho da malha	978 MB (.stl)	5,30 MB (.obj)
Mapa de textura/cor (tamanho e resolução)	–	1,08 MB (4K)
Mapa de normais (tamanho e resolução)	–	0,22 MB (1024)

Na figura 42 podemos comparar o a foto real da Janela do Observatório (A) com o modelo virtual 3D (B).

Figura 42: Comparação entre a fotografia e o modelo virtual em 3D da janela do Observatório Astronômico da UFRGS.



Nota: (A) Fotografia da janela do Observatório Astronômico (B) modelo virtual em 3D.

4.1.2 Digitalização de elemento da fachada da janela do antigo prédio da faculdade de medicina (atual ICBS)

Histórico: o lançamento da pedra fundamental do antigo prédio da faculdade de Medicina, atual ICBS, (figura 43) deu-se em 1913. Projetado pelo arquiteto Theodore Wiedersphan, a obra foi executada por Rudolph Ahrons (início)/Augusto Sartori (término). Seu estilo é caracterizado como neoclássico. Os ornamentos externos são de autoria do escultor italiano Frederico Pellarin. O prédio passou por ampliações nos anos de 1937, 1952 e 1955 e possui área construída de 9.285m² (ICBS – HISTÓRICO). Abriga atualmente, a sede do Instituto de Ciências Básicas da Saúde, responsável pelo curso de biomedicina e de mais seis programas de pós-graduação.

Figura 43: Fachada do ICBS



Fonte: (A) equipe do LdSM e (B) adaptado de acervo SPH.

Nota: (A) Imagem capturada em 2015 e (B) imagem capturada entre os anos de 1937 e 1924.

Digitalização 3D: a segunda digitalização prevista no projeto foi realizada durante apenas uma noite. Como pode ser observado na figura 44, o uso de andaime também se fez necessário (A), porém, devido as proporções do objeto, não foi preciso acoplar o extensor ao escâner para a digitalização (B).

Figura 44: Digitalização da fachada do ICBS.



Fonte: equipe do LdSM.

Nota: (A) Andaime utilizado para a digitalização do ornamento da janela do ICBS e (B) vista do procedimento da digitalização 3D (B).

Dentre as quatro digitalizações, o adorno do ICBS foi o que menos demandou tempo de escaneamento, de processamento e de tratamento dos dados. Isto se deve ao formato mais simples, localização e as dimensões.

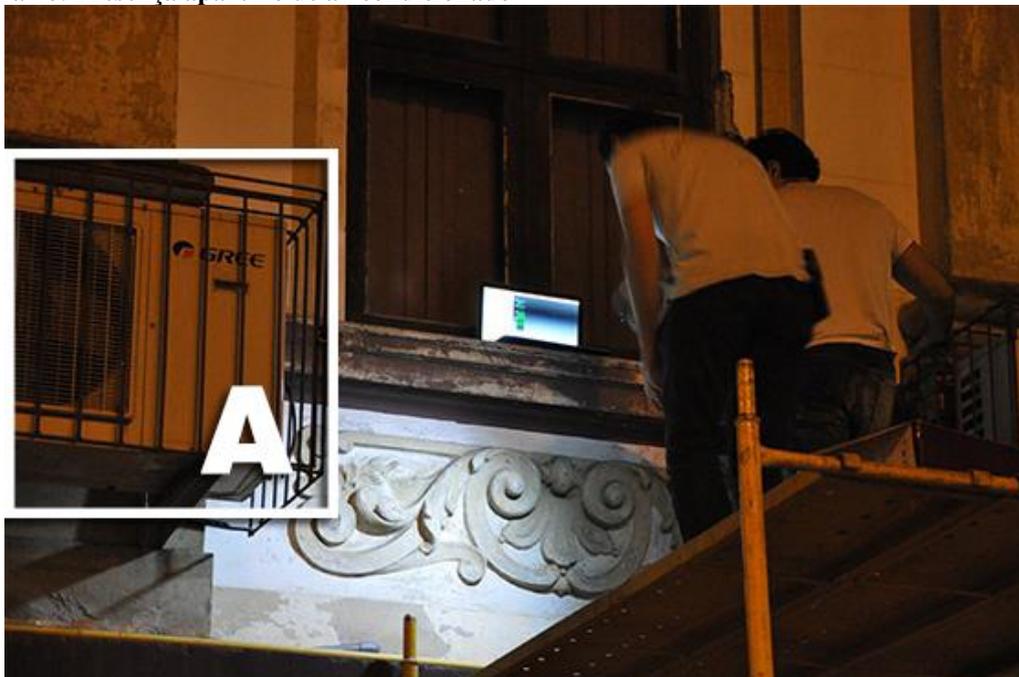
Figura 45: Comparação entre o modelo virtual em 3D e a foto real do elemento de fachada do ICBS.



Nota: (A) Modelo virtual em 3D; (B) fotografia do elemento de fachada do ICBS.

Um dos fatores que dificultou o escaneamento foi a presença do ar-condicionado (A) (figura 46), que impossibilitou a captura de determinadas partes do ornamento (figura 47), as quais foram reconstruídas digitalmente.

Figura 46: Presença aparelho de ar-condicionado



Fonte: equipe do LdSM.

Nota: Presença de aparelho de ar-condicionado (elemento A) prejudicando a digitalização tridimensional do ornamento de fachada da janela do ICBS.

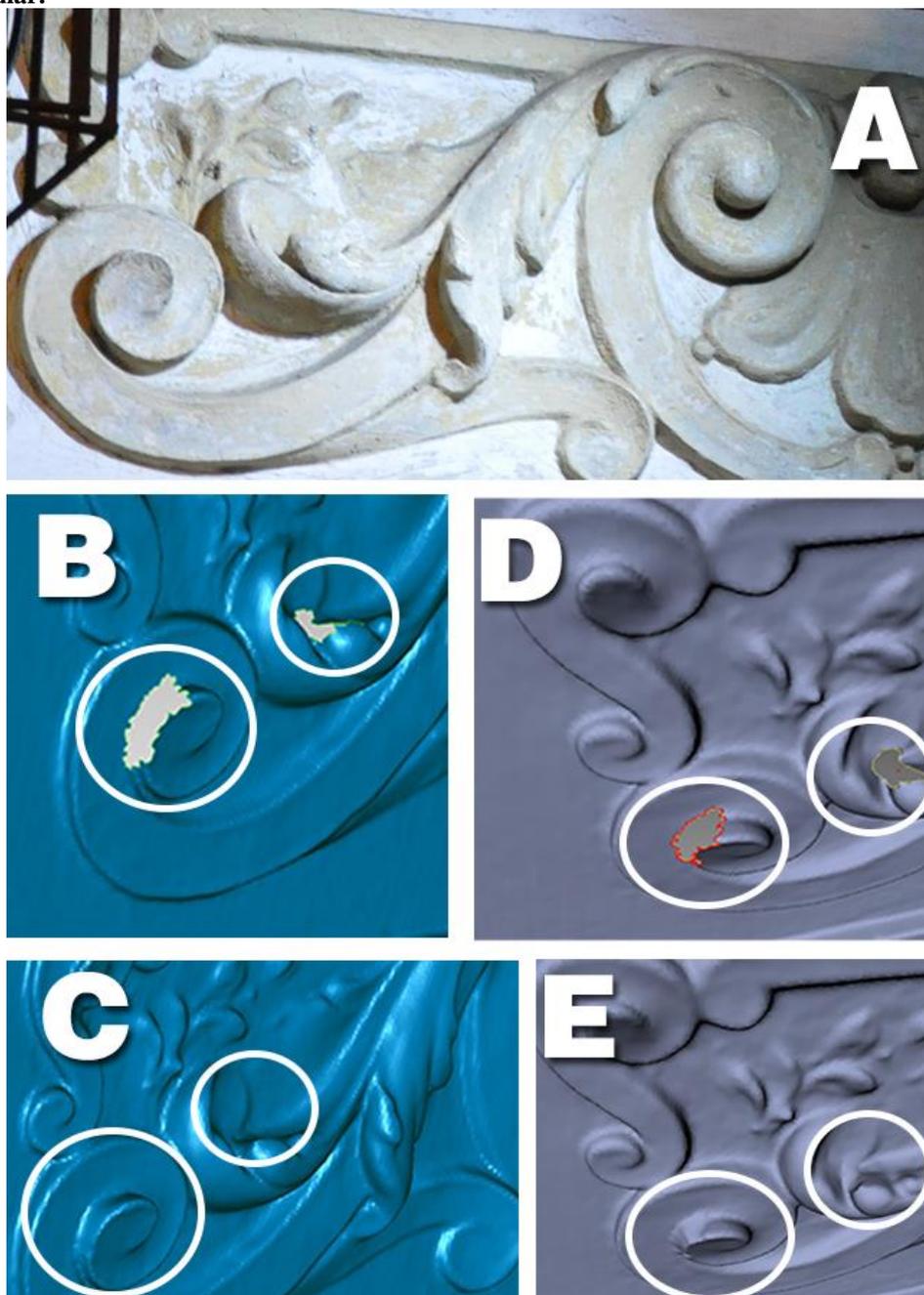
Figura 47: Buraco na malha triangular (A) do ornamento da janela do prédio do ICBS



Nota: Buraco na malha triangular (A) do ornamento da janela do prédio do ICBS, devido ao ar condicionado, obstáculo que impossibilitou o escaneamento na área.

Ambos os *softwares* utilizados para o tratamento das malhas, *Artec Studio* e *Geomagic Studio*, possuem opção de preenchimento de buracos na malha triangular. Entretanto, observando-se o modelo original (A), o *Geomagic* (B) e (C) apresentou resultados mais fidedignos comparado ao do *Artec Studio* 10 (D) e (E) (figura 48). Tal observação aplica-se também aos outros modelos digitalizados.

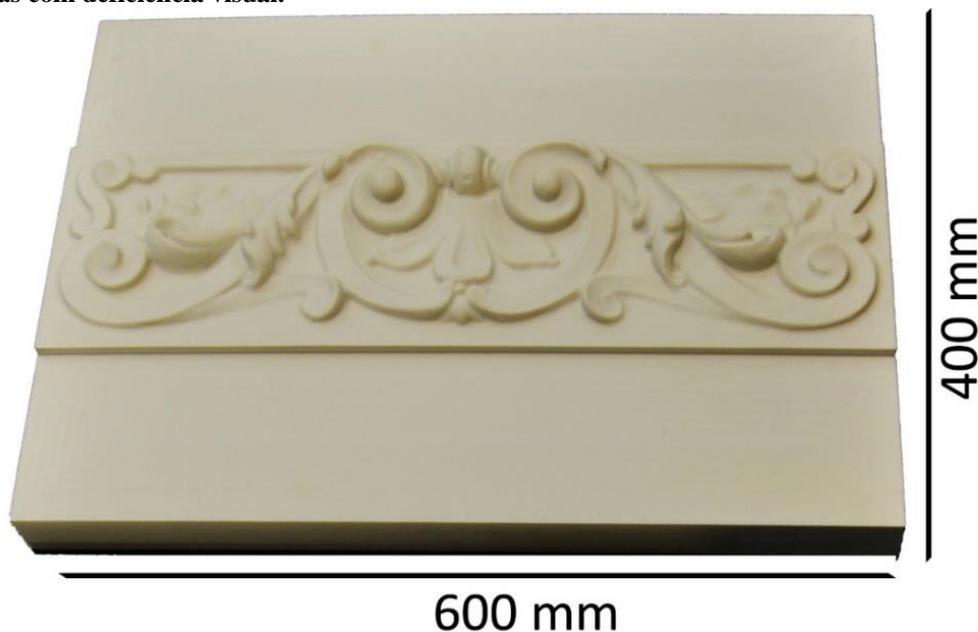
Figura: 48 Comparação de softwares: funcionalidade de preenchimento de buracos na malha triangular.



Nota: Modelo original (A). *Geomagic Studio* (B) e (C) e *Artec Studio* 10 (D) e (E).

Para a apreciação tátil de pessoas com deficiência visual, utilizando-se os dados da digitalização do modelo do ICBS, foi realizada usinagem CNC em placa de poliuretano nas seguintes dimensões: 600 x 400 x 50 mm (L x A x P) (figura 49)

Figura 49: Modelo do ornamento do ICBS usinado em CNC cuja função é apreciação tátil de pessoas com deficiência visual.



Nota: Tamanho da peça: 600 x 400 x 50 mm (largura x altura x profundidade).

Os dados da digitalização do modelo do ICBS encontram-se na tabela 7.

Tabela 7 - dados técnicos da digitalização do ornamento da janela do ICBS

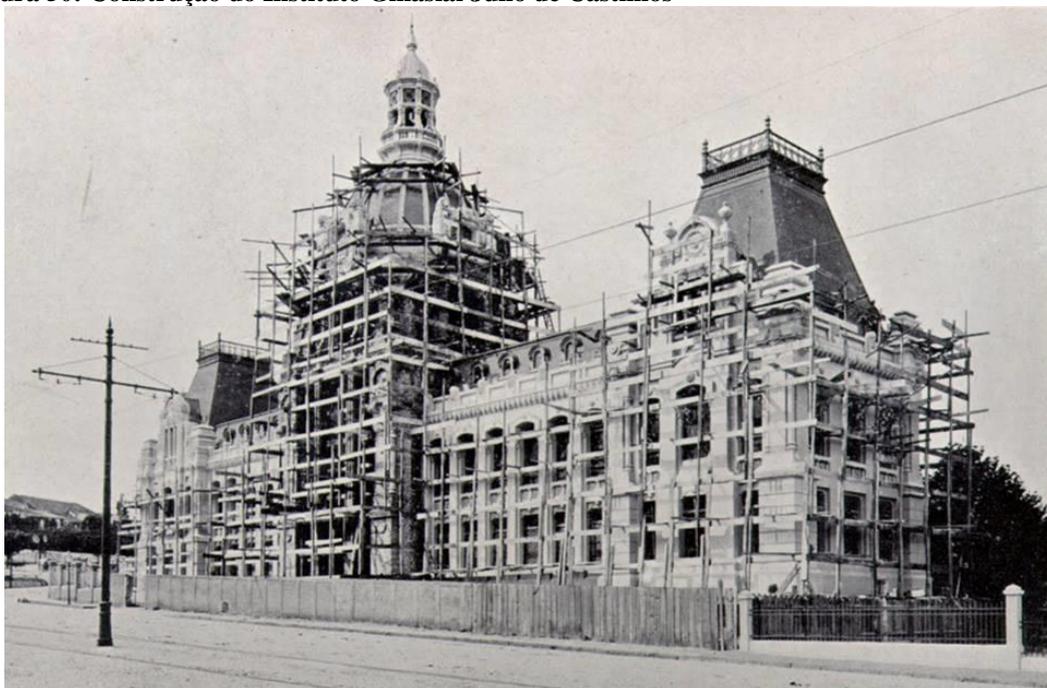
Parâmetros	Modelo em alta resolução (arquivo original)	Modelo em baixa resolução (visualização online)
Tipo de Modelo		
Nº de vértices	459.161	8.499
Tipo de faces	Triângulos	Triângulos
Nº de faces	911.972	16.720
Tamanho da malha	84,3 MB (.obj)	1,42 MB (.obj)
Mapa de textura/cor (tamanho e resolução)	–	0,59 MB (2K)

Nota: organização dos dados técnicos da digitalização do modelo do ornamento da janela do ICBS.

4.1.3 Digitalização do pilar do gradil da universidade próximo ao antigo Instituto Ginásial Júlio de Castilhos

Histórico: inicialmente criado em uma das dependências do prédio do curso de engenharia, com nome de Ginásio do Rio Grande do Sul, o Instituto Ginásial Júlio de Castilhos ganhou sede própria em 1908 (figura 50), (algumas fontes datam sua inauguração em 1910). Sua função era preparar os alunos para seguirem os estudos nas instituições de nível superior que se proliferavam à época.

Figura 50: Construção do Instituto Ginásial Júlio de Castilhos



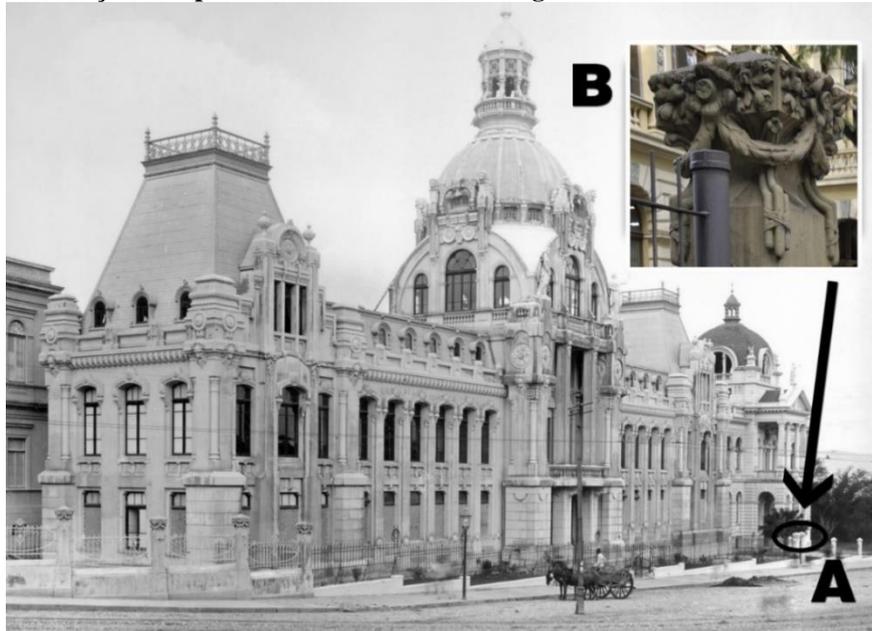
Fonte: Fundação de Apoio ao Colégio Estadual Júlio de Castilhos

Nota: registro da construção do prédio do curso de engenharia, que abrigou o Ginásio do Rio Grande do Sul (Instituto Ginásial Júlio de Castilhos).

Destruído por um incêndio em 1951, o Instituto Ginásial Júlio de Castilhos foi o segundo prédio construído na área que atualmente abriga o Campus Central da UFRGS. Em seu local ergueu-se o prédio da faculdade de Ciências Econômicas da UFRGS. Como resquícios remanescentes do antigo prédio, perduram até os dias de hoje, dois pilares localizados entre a faculdade de Economia e a de Direito (figura 51). Este elemento arquitetônico circundava o quarteirão da Escola de Engenharia no início do século

passado. O exemplar remanescente fazia parte do antigo Instituto Ginásial Júlio de Castilhos.

Figura 51: Informações dos pilares remanescentes do antigo Instituto Ginásial Júlio de Castilho



Fonte: (A) adaptado de banco de imagens SPH. (B) próprio autor.

Nota: (A) Localização do pilar remanescente do Instituto Júlio de Castilhos; (B) vista ampliada na atualidade.

Digitalização 3D: o pilar do gradil do antigo Instituto Júlio de Castilhos (onde, atualmente, encontra-se a faculdade de Ciências Econômicas) foi o objeto com a forma mais complexa dentre os quatro elementos digitalizados (figura 52). Mesmo assim, por ter tamanho relativamente pequeno e localização de fácil acesso, a digitalização foi realizada em apenas um turno, tendo início no fim da tarde e término durante a noite.

Figura 52: Vista aproximada do pilar do antigo gradil do Instituto Júlio de Castilhos.



Nota: o pilar do gradil do antigo Instituto Júlio de Castilhos, objeto com a forma mais complexa dentre os quatro elementos digitalizados.

Devido ao nível de detalhes e complexidade de seus ornamentos, o alinhamento entre os escaneamentos do pilar foi o mais difícil de ser concluído em comparação aos outros três elementos digitalizados. Outro fator que tornou o processo ainda mais laborioso, foi o formato simétrico dos quatro lados. A figura 53 mostra algumas partes do ornamento do pilar, as quais não foram possíveis escanear devido ao método de digitalização selecionado, como por exemplo, a parte interna do ornamento, próxima às flores.

Figura 53: Detalhe dos ornamentos que foram reconstruídos digitalmente em sua parte interna.

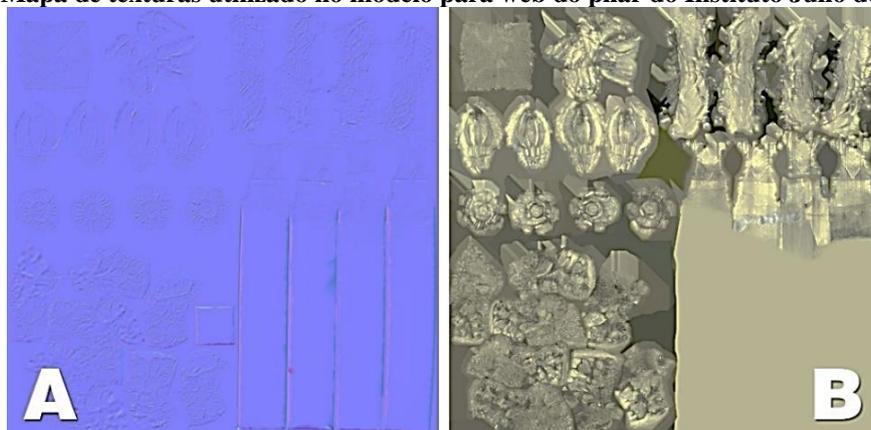


Fonte: equipe do LdSM

Nota: detalhe do ornamento do pilar que não foi possível escanear, devido ao método de digitalização selecionado.

Em razão do alto número de detalhes, foi gerado um mapa de normais (*normalmap*) (A) para a visualização *online* do modelo 3D do pilar. Ao lado, encontra-se o mapa de textura de cor (B) (figura abaixo).

Figura 54: Mapa de texturas utilizado no modelo para web do pilar do Instituto Júlio de Castilhos.



Nota: Mapa de normais (A) e mapa de cor (B), desenvolvidos para visualização *online* do modelo 3D do pilar.

Como a distância mínima de captura do escâner é de 400 mm, não há angulação possível para a digitalização. Sendo assim, estes detalhes tiveram que ser reconstruídos digitalmente através do *Geomagic Studio* e do *Photoshop* (figura abaixo).

Figura 55: Versão virtual do pilar do antigo gradil da UFRGS.



Nota: A seta indica a reconstrução digital da parte interna do detalhe do ornamento.

Devido à altura do pilar, de aproximadamente 2,5m, o extensor foi utilizado em conjunto com o escâner para alcançar a parte superior e a lateral.

Figura 56: Uso do extensor na digitalização do antigo pilar do Instituto Júlio de Castilhos



Fonte: equipe do LdSM.

Nota: Digitalização da parte superior (A) e lateral (B) do pilar.

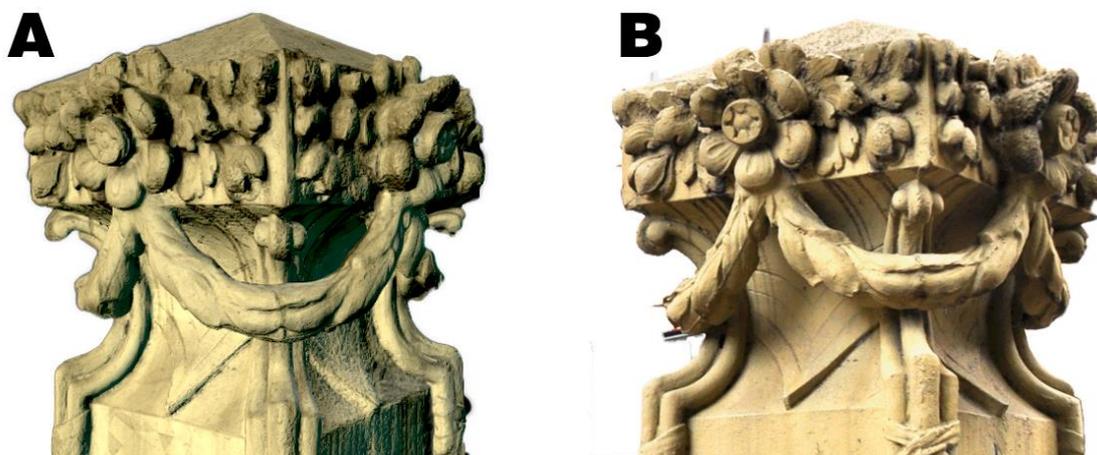
Tabela 8 - Dados técnicos resultantes da digitalização tridimensional do pilar do antigo gradil do Instituto Júlio de Castilhos.

Parâmetros	Modelo em alta resolução (arquivo original)	Modelo em baixa resolução (visualização online)
Tipo de modelo		
Nº de vértices	7.185.423	71.345
Tipo de faces	Triângulos	Triângulos
Nº de faces	13.688.335	142.479
Tamanho da malha	350 MB (.stl)	9,240 MB (.obj)
Mapa de textura/cor (tamanho e resolução)	–	1,58 MB (4K)
Mapa de normais (tamanho e resolução)	–	0,98 MB (4K)

Nota: organização dos dados técnicos da digitalização do modelo do ornamento do antigo pilar do Instituto Júlio de Castilhos.

A figura 57 demonstra a comparação entre a versão do modelo virtual digitalizado em 3D e a foto real do pilar do antigo gradil do Instituto Ginásial Júlio de Castilhos.

Figura 57: Comparação entre o modelo virtual em 3D e a foto real do pilar do antigo gradil do Instituto Ginásial Júlio de Castilhos.



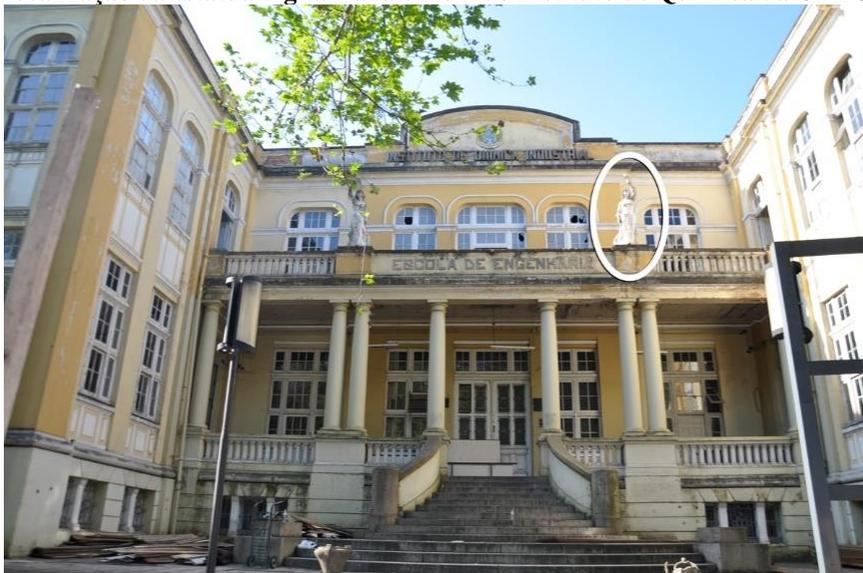
Nota: comparação entre a versão do modelo virtual digitalizado em 3D (A) e a foto real do pilar do antigo gradil do Instituto Ginásial Júlio de Castilhos (B).

4.1.4 Digitalização da estátua do prédio do Instituto de Química da UFRGS

Histórico: o projeto do prédio do Instituto de Química Industrial da UFRGS foi executado pelo escritório Andriguetto, tendo Chretien Hoogenstraaten como arquiteto. A edificação foi inspirada no palácio de *Rocca Saporitti*, situado na cidade de Milão, e no *Cumberland Terrace*, em Londres. [CARVALHAL, FRANCO T., (1998). p.51 *apud* CARVALHO LEITE, F. (1995)].

O curso de química existia no Rio Grande do Sul desde 1897, e era associado ao curso de Farmácia. Em 1920, o curso de Química Industrial é criado, ficando sob a tutela do departamento de engenharia. Em 1926, é elevado a Instituto de Química e o curso se transfere para o novo local, sendo inaugurado no mesmo ano pelo presidente Washington Luiz. A estátua digitalizada encontra-se na sacada do segundo andar do prédio.

Figura 58: Localização da estátua digitalizada em 3D do Instituto de Química da UFRGS.



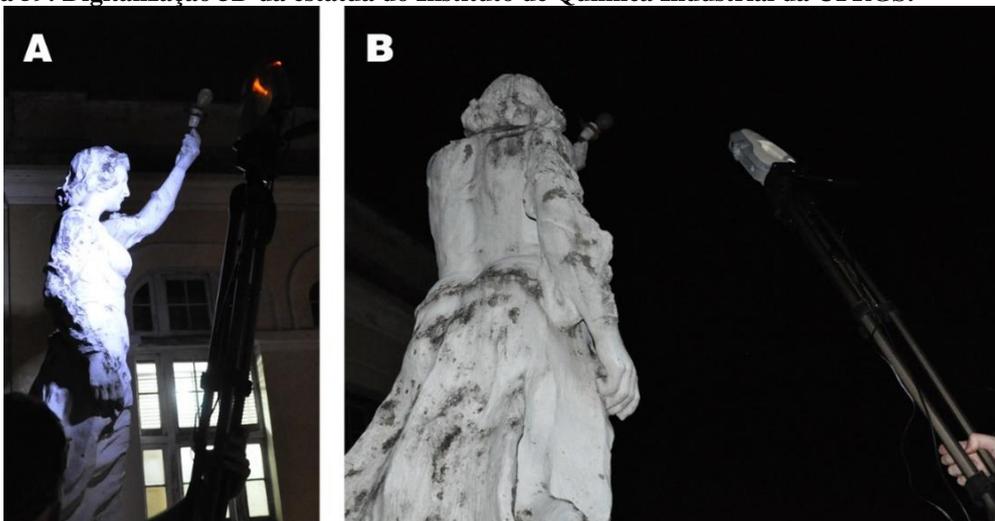
Nota: fotografia da estátua localizada na sacada do segundo andar do prédio da engenharia, antiga sede do Instituto de Química.

Digitalização 3D: a digitalização da estátua do Instituto de Química foi realizada durante duas noites. Devido a difícil localização, foi capturado um grande volume de dados. Conseqüentemente o tempo de processamento das informações do escaneamento (registro, alinhamento, texturização) foi extenso, durando mais de 100 horas no total.

Como as estátuas estão localizadas no segundo andar do instituto, inicialmente, cogitou-se a instalação de um andaime para a digitalização de sua parte frontal.

Entretanto, por questões logísticas, não foi possível. Sendo assim, como pode ser observado na próxima figura, utilizou-se novamente o extensor para capturar as áreas de difícil acesso, em especial a parte frontal (A) e o braço elevado (B).

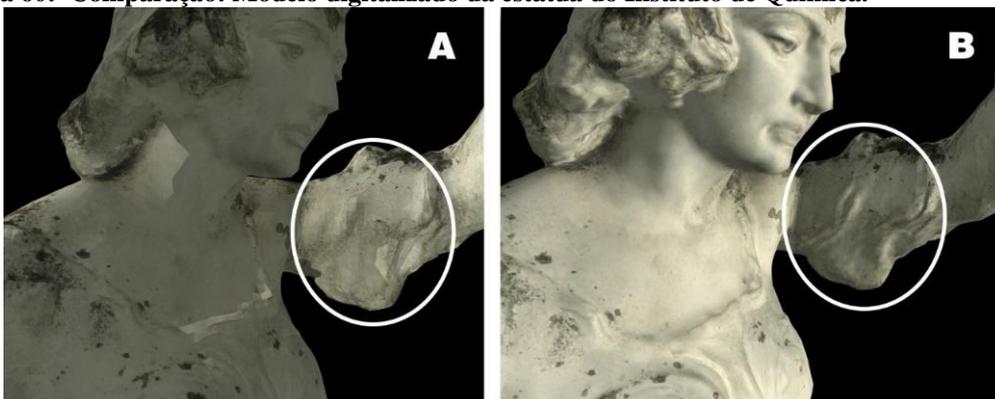
Figura 59: Digitalização 3D da estátua do Instituto de Química Industrial da UFRGS.



Nota: uso do extensor para capturar as áreas de difícil acesso, em especial a parte frontal (A) e o braço elevado (B).

Para melhorar a qualidade do modelo de exibição 3D na web, criou-se o mapa de normais. A figura 60 mostra a diferença dos detalhes exibidos entre o modelo sem o mapa de normais (A) e com o mapa de normais (B).

Figura 60: Comparação: Modelo digitalizado da estátua do Instituto de Química.



Nota: diferença dos detalhes exibidos entre o modelo sem o mapa de normais (A) e com o mapa de normais (B).

A tabela 9 apresenta os dados resultantes da digitalização da estátua do Instituto de Química da UFRGS.

Tabela 9 - Dados técnicos resultantes da digitalização tridimensional da estátua do Instituto de Química Industrial da UFRGS

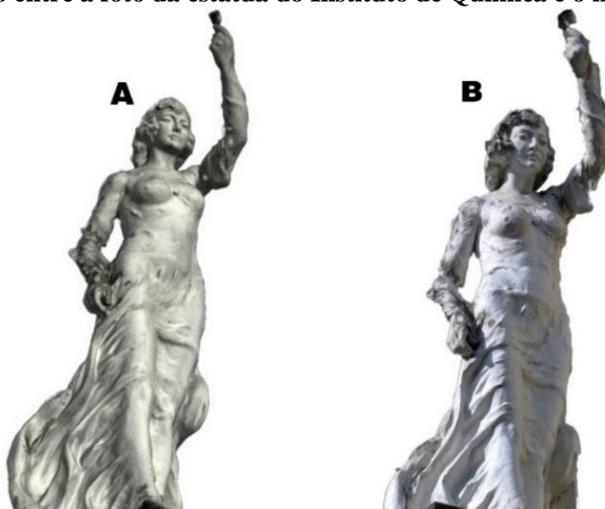
Parâmetros	Modelo em alta resolução (arquivo original)	Modelo em baixa resolução (visualização online)
Tipo de modelo		
Nº de vértices	6.910.038	57.118
Tipo de faces	Triângulos	Triângulos
Nº de faces	13.699.335	114.240
Tamanho da malha	668 MB (.stl)	7,43 MB (.obj)
Mapa de textura/cor (tamanho e resolução)	–	2,83 MB (4K)
Mapa de normais	–	1,01MB (4K)

Fonte: próprio autor.

Nota: organização dos dados técnicos da digitalização tridimensional da estátua do Instituto de Química Industrial da UFRGS.

A comparação entre o modelo 3D resultante da digitalização que é exibido no repositório e a foto do modelo real pode ser vista na figura abaixo.

Figura 61: Comparação entre a foto da estátua do Instituto de Química e o modelo 3D



Nota: comparação entre o modelo 3D resultante da digitalização tridimensional exibido pelo repositório 3D: (A) Modelo virtual em 3D e (B) foto do modelo real.

A tabela 10 apresenta o resumo dos dados relativos das quatro digitalizações tridimensionais realizadas para serem disponibilizadas através do repositório 3D.

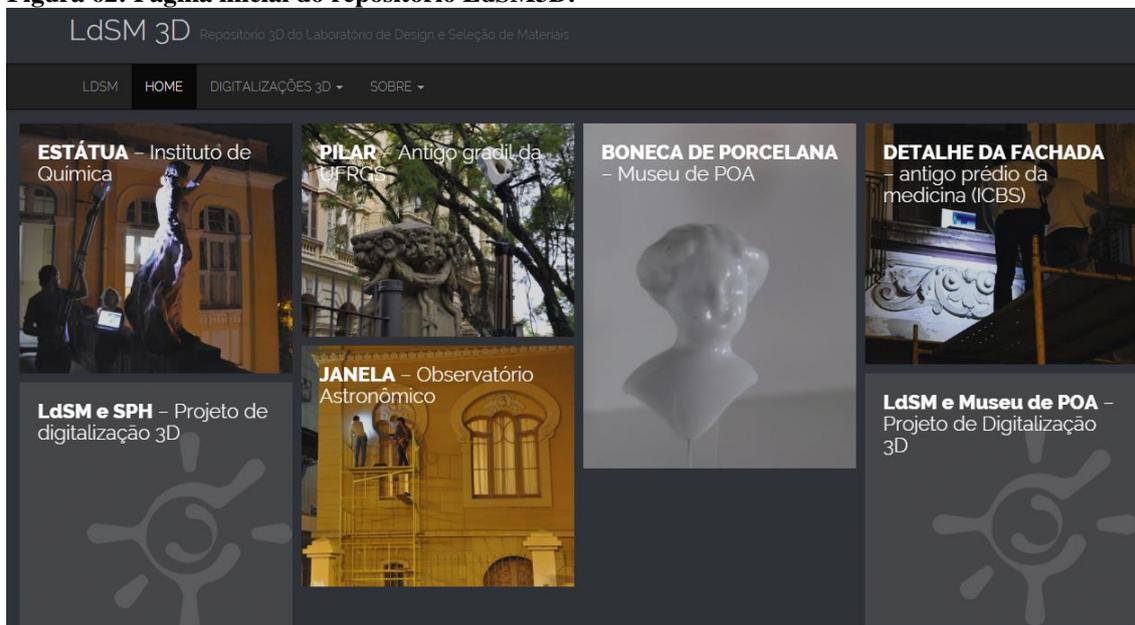
Tabela 10 - Resumo dos dados gerados a partir das digitalizações dos elementos de fachada dos prédios históricos

Objeto	Sessões de escaneamento (dias)	Tamanho do arquivo (obj)	Nº de triângulos	Nº de capturas	Observações
Janela do prédio da medicina (ICBS)	1	84MB	91.1722	6345	Devido a forma e dimensões, foi o objeto mais simples de escanear e que menos demandou tempo de processamento. A montagem de andaime fez-se necessária para o escaneamento.
Estátua química. Instituto de Química	2	669MB	136.99.355	16016	Foi necessário fazer mais uma seção de escaneamento pois faltou parte dos dados da cabeça e da mão da estátua. O uso do tripé foi necessário para o escaneamento.
Janela do Observatório Astronômico	2	980MB	19.999.860	19963	Foram 2 dias de escaneamento. A altura da janela foi fator complicador do escaneamento. A montagem de andaime e uso de tripé foram necessários para o escaneamento.
Pilar do prédio da economia	1	359MB	718.051	9444	Os testes externos com o <i>Artec</i> foram iniciados neste objeto. O pilar apresenta geometria complexa, o que dificultou o escaneamento. O uso de tripé e escada foram necessários para o escaneamento.

4.2 Construção do repositório 3D

Como resposta ao problema de pesquisa proposto – Como facilitar e ampliar o acesso do público não especializado aos conteúdos em formato tridimensional? – foi criado o repositório 3D. Nele, são exibidos os modelos 3D digitalizados, diretamente do navegador, sem a necessidade de programas específicos ou instalação de *plug-ins*. Tendo como base o *Wordpress*, o repositório faz uso da biblioteca *three.js* para a exibição dos modelos 3D e usa o *JSC3D* para a visualização em modo de compatibilidade. Para efeito de testes, encontra-se hospedado nos servidores da UFRGS e pode ser acessado através do endereço: www.ufrgs.br/ldsm/3d.

Figura 62: Página inicial do repositório LdSM3D.



Nota: imagem da página inicial do projeto Repositório 3D.

Os fatores levados em consideração para a escolha do *Wordpress* como base para o gerenciamento de conteúdo do repositório 3D foram: formato aberto; grande comunidade de desenvolvedores, que garante bom suporte técnico; e, sistema “enxuto”, mas que pode ser expandido por meio dos diversos *plug-ins* disponíveis.

Quanto a hospedagem dos modelos digitalizados, havia dois caminhos a serem tomados. Poderia optar-se pela utilização de serviços de repositórios 3D de terceiros como o *Sketchfab*, *p3D.in* e afins, ou hospedar os arquivos diretamente nos próprios servidores da UFRGS.

A adoção de serviços de terceiros facilitaria a construção do repositório, pois eliminaria a necessidade de programação, eliminando o uso do *three.js* e do JSC3D para a visualização do conteúdo em 3D. Bastaria realizar o *upload* dos objetos digitalizados nestes serviços, incorporando-os a uma página que agruparia todos os outros modelos 3D. A desvantagem principal da adoção deste caminho é que o mesmo não permite controle sobre o material digitalizado (visto que ficam hospedado em servidor externo). Também poderia haver o custo mensal cobrado por alguns desses serviços. Desta maneira, optou-se pela segunda opção: construção de visualizador próprio, de forma que a hospedagem dos modelos tridimensionais ficasse em servidores próprios da UFRGS. Tal solução apresenta as seguintes vantagens:

- Controle dos arquivos digitalizados, propiciando maior proteção da propriedade intelectual;
- Sem necessidade do pagamento de mensalidades;
- Diminuição do tempo necessário de *upload* dos arquivos, por estarem armazenados no servidor da UFRGS;
- O repositório pode ser utilizado para outras aplicações de conteúdo em 3D.

A escolha do *three.js* para a visualização dos modelos 3D deu-se devido as constantes atualizações, boa documentação de exemplos de uso⁹⁹, relativa facilidade de implementação, boa compatibilidade com dispositivos móveis e suporte a diversos recursos que melhoram a qualidade de exibição dos modelos como: *bump*, *normal* e *displacement maps*. Durante os testes realizados, a biblioteca JSC3D apresentou compatibilidade com as mais diversas configurações de dispositivos móveis. Desta maneira, a mesma foi implementada no repositório como modo de compatibilidade de visualização 3D, funcionando como alternativa caso o dispositivo utilizado não seja compatível com o *three.js*.

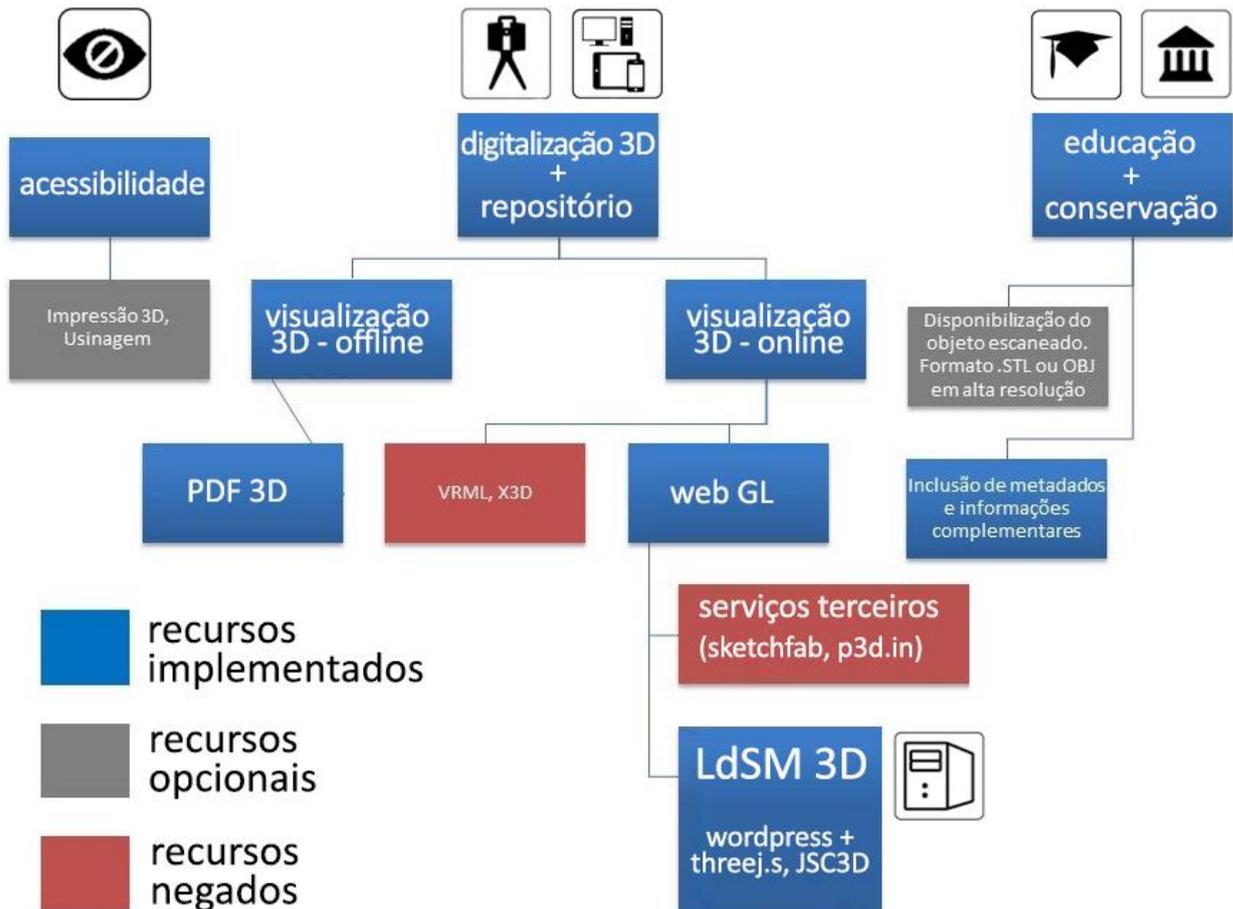
Para facilitar a visualização dos recursos que foram analisados para inclusão no repositório, foi elaborado o fluxograma a seguir (figura 60).

Em termos de acessibilidade, é possível disponibilizar a malha poligonal do objeto digitalizado, para que seja reproduzido, por meio de técnicas de prototipagem rápida (impressão 3D e/ou usinagem) para que pessoas com deficiência visual possam tocá-lo.

⁹⁹ Disponíveis no em <www.threejs.org/examples>.

Quanto à educação e conservação do patrimônio, é possível elaborar material didático a respeito das obras digitalizadas e disponibilizá-los por meio do repositório. O repositório também pode servir como banco de dados, podendo ser utilizado como fonte para eventuais restauros, caso ocorra algum dano nas obras que foram digitalizadas.

Figura 63: Fluxograma de tomada de decisão dos recursos analisados



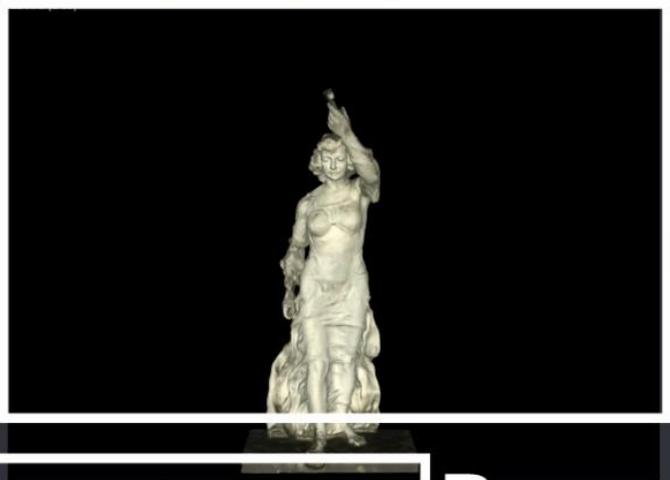
Nota: Fluxograma de tomada de decisão dos recursos analisados: implementados (azul), opcionais (cinza) ou negados (vermelho) no repositório 3D.

Para visão Geral do repositório 3D, é exibida abaixo a captura de tela, de forma a demonstrar todos os recursos presentes no projeto (figura 63).

Figura 64: Visão geral da disposição dos recursos do repositório 3D

LDSM HOME DIGITALIZAÇÕES 3D SOBRE

ESTÁTUA – Instituto de Química



A

Tela Cheia Ajuda Audiodescrição

Digitalização 3D de estátua do Antigo Prédio do Instituto de Química da UFRGS

B

Descrição:

Modelo 3D visualizado com o plugin "ldsm3d", seleciona automaticamente o script three.js ou o jsc3d.

C

Galeria de fotos:



D

Localização do modelo:



E

Dados técnicos:

	modelo em baixa resolução (visualização online)	modelo em alta resolução (arquivo original)
Nº de vértices	57.118	6.010.028

F

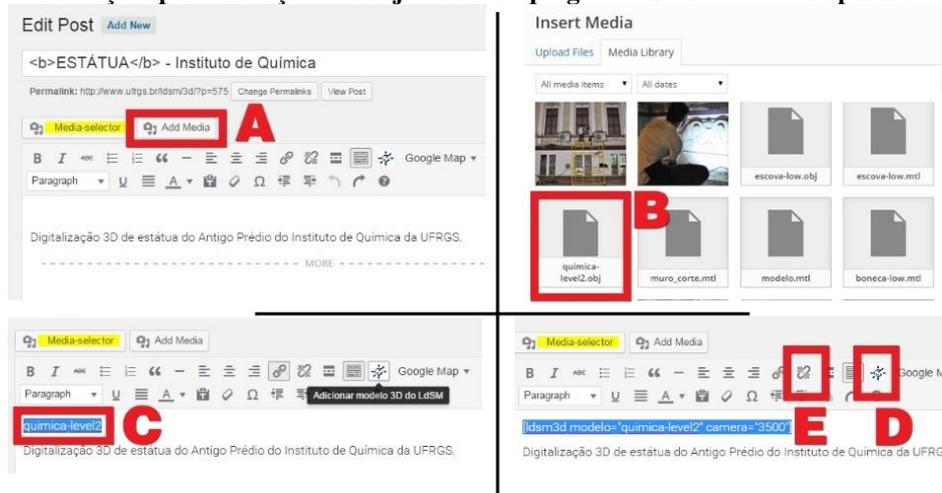
Nota: área do modelo 3D (A), botões de funcionalidades complementares (B), espaço para texto a respeito da obra (C), galeria de fotos (D), localização da obra através do serviço do *google maps* (E), tabela com dados técnicos da digitalização (F).

4.2.1 Criação do *plug-in* do repositório 3D para *Wordpress*

A adoção e popularização de determinado padrão de mídia depende de diversas variáveis, tais como facilidade de uso, custo e suporte. Com base nas análises do capítulo dois (2.4 Tecnologias para exibição de conteúdo em 3D), constatou-se que não há alternativas simples, gratuitas e/ou de qualidade para incorporar conteúdo 3D em servidores próprios. Baseado nisso, foi desenvolvido um *plug-in* para *Wordpress* no qual o usuário pode inserir o conteúdo 3D de forma simplificada. O *plug-in* automatiza funções do *three.js* e do *JSC3D*, ou seja, ao invés do usuário ter que escrever linhas de comando para a exibição do objeto 3D o *plug-in* o faz automaticamente, eliminando a necessidade de conhecimento de programação. Para tal, basta o usuário criar um novo *post* no painel de controle do *Wordpress* e seguir cinco passos (figura 62):

- 1) Realiza-se o *upload* do arquivo 3D .OBJ juntamente com texturas e seu arquivo .MTL (caso haja textura) (A);
- 2) Após, será aberta outra tela com o *upload* do arquivo (no caso, o arquivo da estátua do Instituto de Química Industrial da UFRGS, nomeado no sistema de “química-level2.obj”). Seleciona-se o arquivo (B) através de duplo clique. E, então, será inserido no *post*;
- 3) Seleciona-se o arquivo que está inserido no *post* (C);
- 4) Com o arquivo selecionado, basta clicar no ícone do *plug-in* do LdSM, localizado na barra de comandos de edição do *post* (D);
- 5) Remover o *link* do texto através do botão “remove link” (E).

Figura 65: Instruções para inserção dos objetos 3D do *plug-in* LdSM3D em cinco passos



Nota: (A) Inserção do arquivo, (B) seleção e inserção do arquivo no post (C), seleção do *plug-in* no texto inserido no post (D) e remoção do link do texto (E).

Após estas etapas, basta publicar o *post* e o modelo 3D será exibido corretamente no repositório, como pode ser observado na figura a seguir.

Figura 66: Modelo 3D exibido no repositório 3D



Nota: modelo 3D será exibido corretamente no repositório após a publicação do *post*.

Ressalta-se que, atualmente, este *plug-in* é compatível apenas com o formato .OBJ. Seria possível ampliar a compatibilidade para outros formatos, entretanto como o .OBJ é um dos formatos de arquivo 3D mais populares, não há necessidade imediata de que o *plug-in* seja compatível com outros tipos de arquivos 3D.

Outra forma de adicionar o modelo 3D para exibição é digitando o seguinte comando no *post*: [ldsm3d modelo= “**nome do arquivo 3D**”].

Alterar área da visualização: É possível alterar a distância da câmera em relação ao objeto 3D adicionando um comando ao *post*.

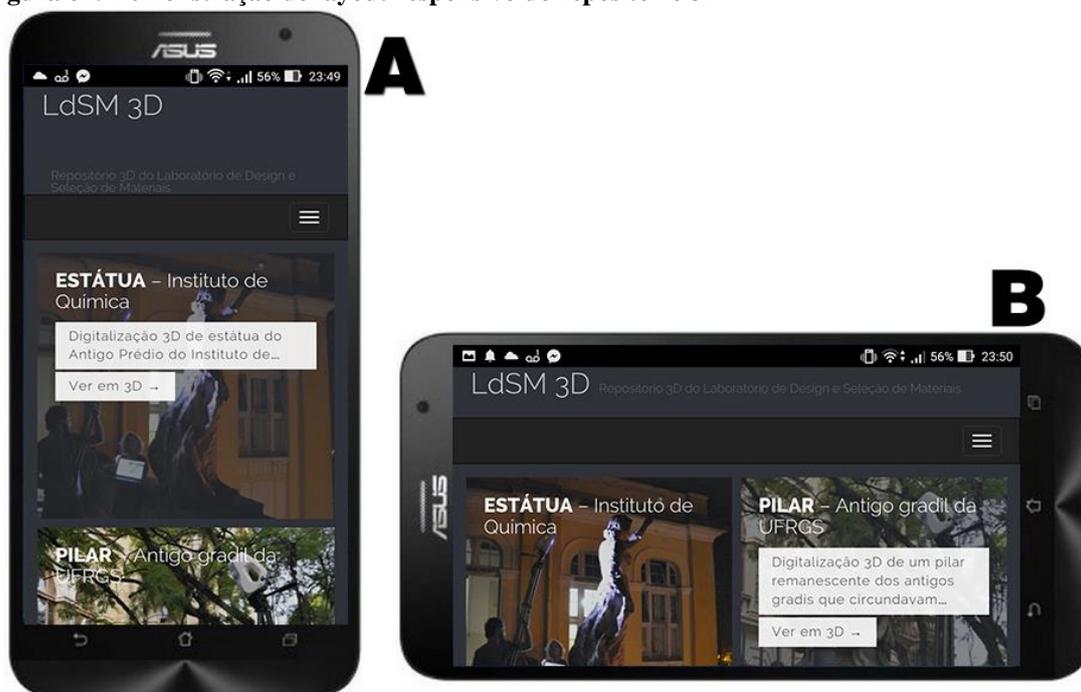
Exemplo:

Para alterar a distância da câmera do objeto 3D, basta adicionar o comando “camera=X” dentro do *post*. Funciona da seguinte maneira: [ldsm3d modelo= “nome do arquivo” **camera= X**]. Onde X é a distância da câmera (sem unidade de medida definida). Quanto maior o valor de X, mais afastada fica a câmera do objeto 3D. Esta alteração de parâmetros é válida somente para o *three.js*. No modo de compatibilidade, (JSC3D) não é possível fazer tal alteração.

4.2.2 Compatibilidade com dispositivos móveis.

A compatibilidade com dispositivos móveis é um dos aspectos fundamentais que foram considerados durante a fase de elaboração do projeto. Entretanto, as inúmeras configurações de *hardware* e os diferentes tamanhos de tela destes dispositivos mostraram-se um empecilho para o desenvolvimento. Sendo assim, adaptou-se o tema¹⁰⁰ do *Wordpress* chamado *Destin Basic*. Uma das características que justifica a escolha por este tema é a função responsiva, ou seja, se “auto ajusta” conforme o tamanho e/ou a disposição da tela do dispositivo como pode ser visto na figura 67.

Figura 67: Demonstração do layout responsivo do repositório 3D

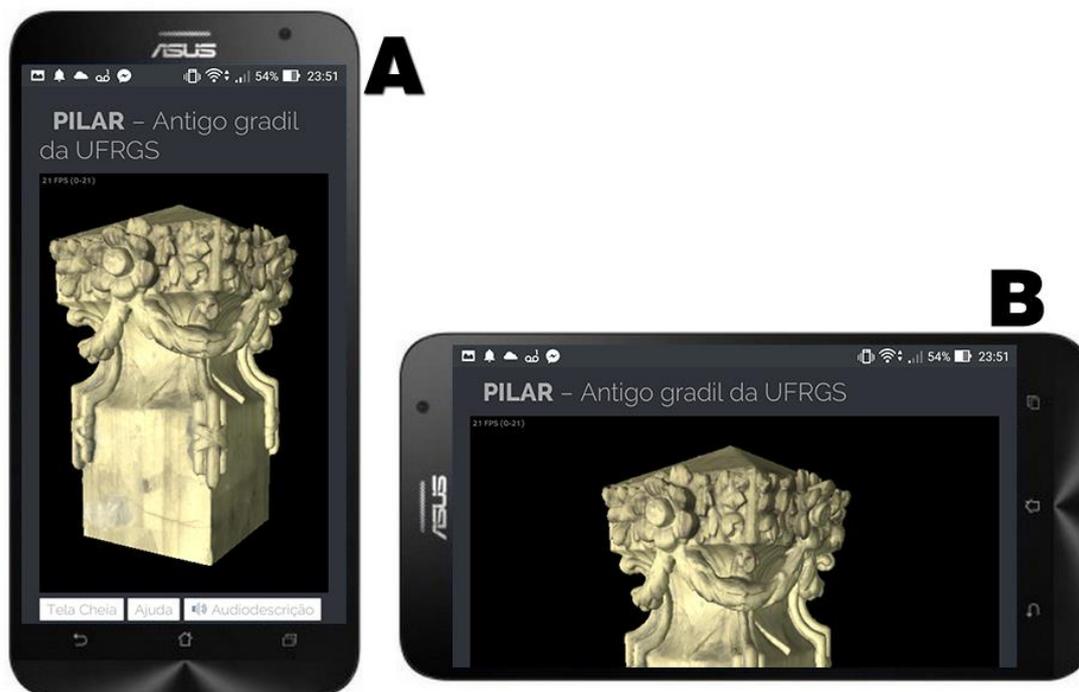


Nota: Os elementos se “auto organizam” de acordo com a posição do dispositivo móvel. Orientação padrão retrato (A) e orientação padrão paisagem (B).

Do mesmo modo, foi necessário implementar a função de “auto-ajuste” (figura 65), no *plug-in*, de modo que o modelo 3D fosse exibido corretamente tanto na posição retrato (A) quanto na paisagem (B).

¹⁰⁰ Tema quando aplicado a lógica do *Wordpress*, diz respeito a aparência do site. É como se dá a disposição dos elementos visuais, tipografia, imagens, espaçamento. Há diversos temas disponíveis para *download* no site oficial do *Wordpress* (nota do autor).

Figura 68: Demonstração da funcionalidade de “auto-ajuste” do modelo 3D no repositório 3D



Nota: Orientação padrão retrato (A) e orientação padrão paisagem (B).

Também foi realizada a implementação de comandos *touch* para a manipulação do objeto 3D com funções de *zoom*, deslocamento e rotação.

4.2.3 Funcionalidades complementares

Afim de complementar as informações de exibição do modelo 3D, foram incluídas outras funcionalidades no repositório. As mesmas, estão localizadas abaixo do modelo 3D, e são acionadas através de seus respectivos botões.

Figura 69: Botões de funcionalidades complementares do repositório 3D



Nota: (A) exibe tela cheia do modelo 3D, (B) abre as instruções para interação com o modelo tridimensional. (C) audiodescrição do modelo.

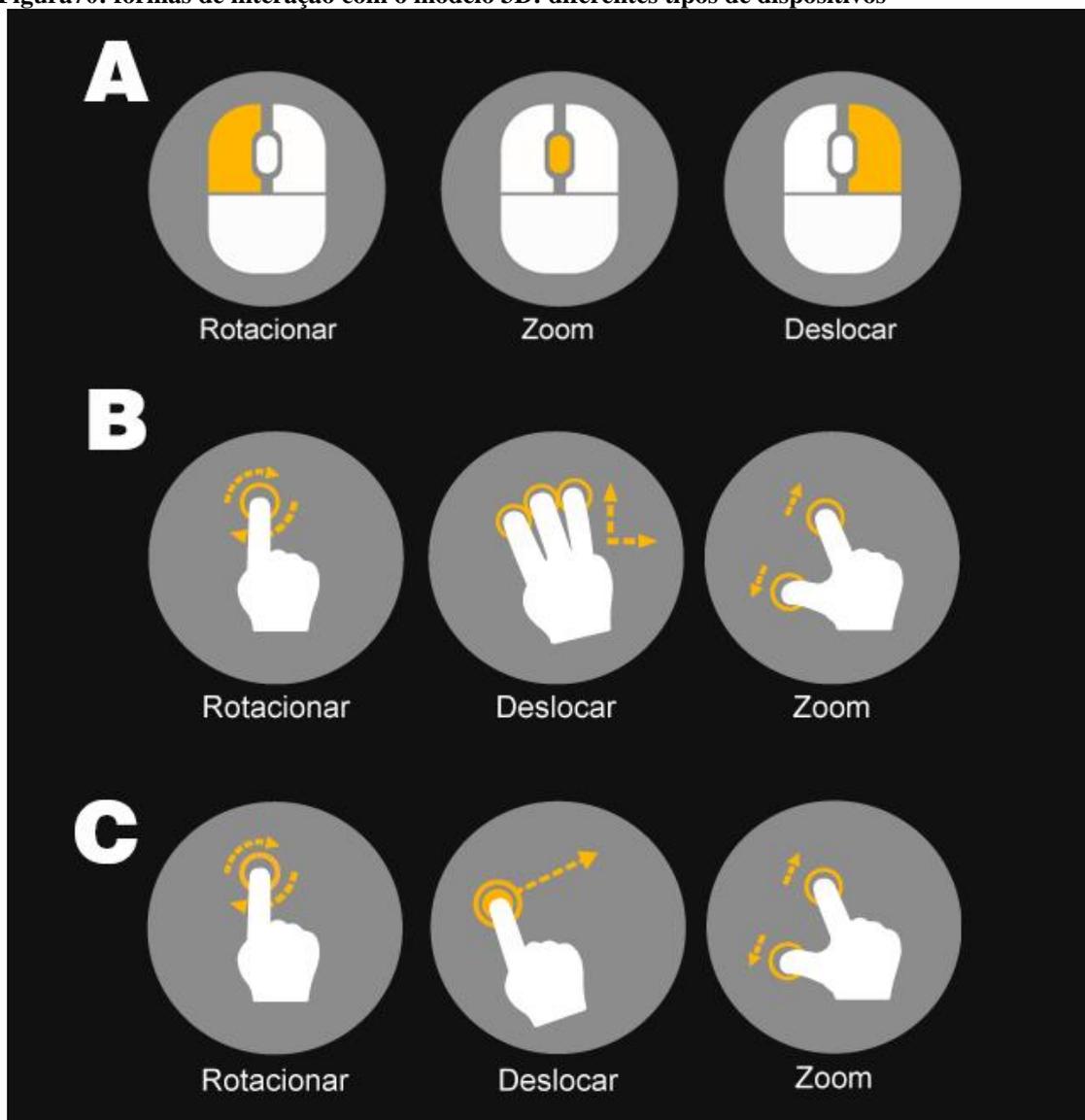
Descrições das funções complementares:

- Tela cheia: exibe o modelo 3D em tela cheia (A);

- Ajuda: detecta automaticamente se o usuário está acessando o repositório por meio de um *desktop*, dispositivo móvel compatível com WebGL (*three.js*) ou dispositivo móvel sem suporte a WebGL (JSC3D) e retorna com as instruções específicas de interação com o modelo 3D de cada um (B);
- Audiodescrição: esta funcionalidade transforma o texto do repositório em áudio. Foi implementada com o intuito de adicionar audiodescrição ao modelo 3D (C).

As formas de interação com o modelo 3D exibidas no botão de ajuda, no menu de funcionalidades do repositório, podem ser observadas na figura 70.

Figura70: formas de interação com o modelo 3D: diferentes tipos de dispositivos



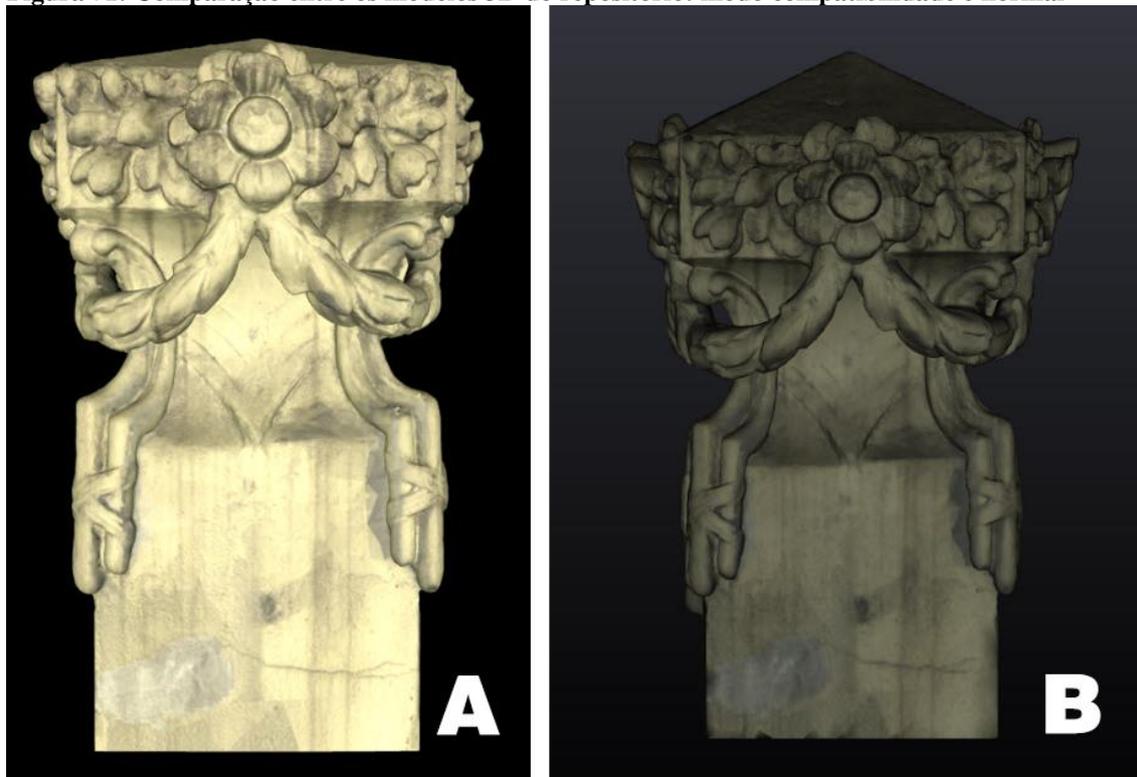
Nota: interação em dispositivos desktop (A), interação em dispositivos móveis compatíveis com WebGL (*three.js*) (B), interação com dispositivos sem suporte a WebGL (modo de compatibilidade, JSC3D) (C).

4.2.4 Modo de compatibilidade

A renderização de modelos 3D demanda razoável poder computacional. Para computadores atuais do tipo *desktop*, isto não é um problema. Entretanto, o mesmo não se pode dizer com relação aos dispositivos móveis de médio-baixo e baixo custo, que correspondem a grande parcela do total. Geralmente tais dispositivos apresentam pouco poder de processamento 3D. Para esses, foi criado um modo de compatibilidade. Funciona da seguinte maneira: o *plug-in* do repositório 3D detecta se o dispositivo móvel possui suporte a WebGL, pois, geralmente apenas *hardwares* com mais recursos são compatíveis com esta API. Em caso positivo de compatibilidade, é utilizada a biblioteca *three.js*. Caso negativo, é acionado o JSC3D. O modo de compatibilidade não possui suporte a mapa de normais e a qualidade da imagem é inferior comparada a do *three.js*.

Para efeito de análise, a figura 61 mostra o mesmo modelo sendo renderizado no repositório 3D em modo normal (A) e em modo de compatibilidade (B).

Figura 71: Comparação entre os modelos 3D do repositório: modo compatibilidade e normal



Nota: modelo sendo renderizado no repositório 3D em modo normal (A) e em modo de compatibilidade (B).

4.2.5 Navegadores e dispositivos testados

Em sistemas *desktop*, em âmbito geral, o repositório apresentou compatibilidade total com todos os navegadores recentes. No *Internet Explorer* 11 apenas o recurso “tela-cheia” não funcionou corretamente.

Tabela 11 - Teste de compatibilidade do repositório 3D com os principais navegadores para sistemas desktop

Navegador	Compatibilidade (total, parcial, incompatível)	Observações
Internet Explorer 11	Parcial	O modelo 3D não é redimensionado quando é acionado o botão “tela-cheia”.
Chrome ver.45	Total	-
Safari 5.1	Total	-
Edge 20.1	Total	-
Firefox ver.41	Total	-

Nota: organização dos dados de compatibilidade do repositório 3D com os principais navegadores para sistemas *desktop*.

Observou-se que a compatibilidade dos dispositivos móveis com o repositório depende de variáveis, tais como: sistema operacional, navegador utilizado e hardware. Como o ecossistema de dispositivos móveis é enorme, os esforços dos testes foram concentrados nos três principais sistemas operacionais que dominam o mercado: *iOS*, *Windows Phone* e *Android*. Foi analisado o comportamento dos sistemas, se funcionaram em modo normal ou de compatibilidade (tabela 12). Dos nove dispositivos testados, apenas dois não funcionaram em modo normal: o *Lumia* 530 e o 620; ambos modelos de entrada e, utilizam o sistema operacional *Windows Phone* 8.1. No modo de compatibilidade, todos os sistemas testados funcionaram. De modo geral, os dispositivos mais recentes e/ou com *hardware* mais potente não apresentaram problemas de compatibilidade. Os botões de “tela-cheia”, “ajuda” e “audiodescrição” não funcionaram corretamente na versão *mobile* do navegador *Safari*. Nos demais navegadores em versão *mobile*, *Chrome* e *Firefox*, funcionaram sem dificuldades.

Tabela 12 - Teste de compatibilidade do repositório 3D com dispositivos móveis

Dispositivo / sis. operacional.	Modo normal	Modo de compatibilidade	Observações
iPod touch (3 ^o geração)	Não	Sim	Apenas o modelo do ICBS carregou a textura de cor.
iPhone 5 / iOS	Sim	Sim	Os botões localizados embaixo do modelo 3d não funcionaram com o navegador Safari.
iPhone 6 iOS	Sim	Sim	Os botões localizados embaixo do modelo 3d não funcionaram com o navegador Safari.
Galaxy tab 10.1 / Android	Sim	Sim	Modo normal funcionou apenas no Firefox.
Galaxy tab 7.1 / Android	Sim	Sim	-
Moto X (1 ^o geração) / Android	Sim	Sim	-
Galaxy s4 / Android	Sim	Sim	-
Lumia 530 / Windows Phone 8.1	Não	Sim	-
Lumia 620 / Windows Phone 8.1	Não	Sim	-
zenphone 5 / Android	Sim	Sim	Modo normal funcionou apenas no Firefox.

Nota: Foi analisado o comportamento dos sistemas operacionais em modo normal ou de compatibilidade para dispositivos móveis: *tablet's* e *smartphones*.

Figura 72: teste do repositório em dispositivos móveis.



Nota: (A) modelo iPhone 6 e (B) modelo Galaxy Tab 7.1.

4.2.6 Geração de PDF'S 3D para visualização off-line.

Caso não seja possível acessar o repositório, ou então deseje-se visualizar os objetos 3D em modo *offline*, foram criados PDF'S3D dos modelos digitalizados (figura 69). Além do suporte a objetos 3D, os PDF'S 3D apresentam recursos como vistas personalizadas, suporte a imagens e vídeos. Entretanto, para dispositivos móveis, foi encontrado apenas um aplicativo para *Android* e *iOS* compatível com este tipo de arquivo: O PDF 3D *Reader*, gratuito. Para sistemas *desktop*, o programa *Adobe Reader* (também gratuito) oferece suporte completo aos arquivos PDF'S 3D.

Figura 73: PDF'S 3D gerados a partir das digitalizações



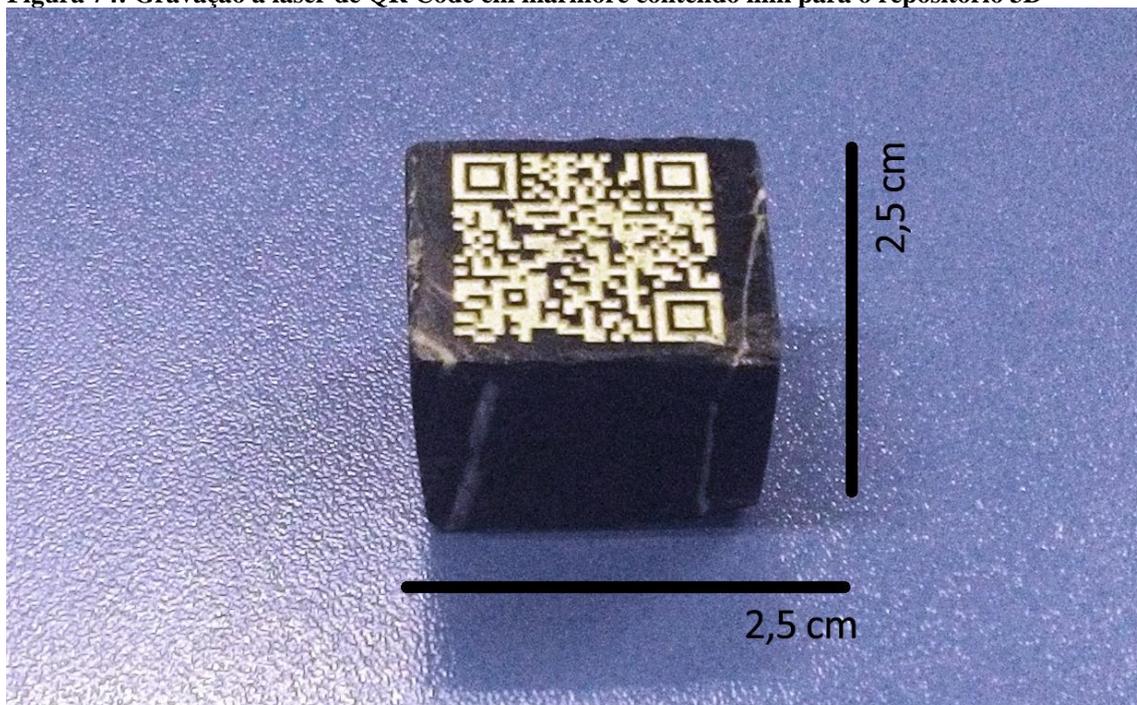
Nota: PDF'S 3D gerados a partir das digitalizações (A) ICBS, (B) Estátua do Instituto de Química (C) Pilar do antigo gradil do Instituto Ginásial Julio de Castilhos (D) janela do Observatório Astronômico da UFRGS.

4.2.7 Sugestão de outras funcionalidades: expandindo o alcance do repositório 3D, gravação a laser de QR code em granito

O repositório 3D foi concebido como plataforma 3D versátil, capaz de agregar novas funcionalidades com o passar do tempo.

Para demonstrar como o repositório pode ser utilizado unindo o ambiente virtual com o objeto físico em questão, foi gravado a *laser* um *QR Code*¹⁰¹ em mármore, contendo o *link* que direciona automaticamente para o modelo 3D da janela do Observatório Astronômico da UFRGS. A sugestão de intervenção é aplica-lo diretamente ou próximo a fachada do prédio para que qualquer pessoa com um *smartphone* possa fazer a leitura do *QR Code* e, assim, saber mais informações históricas a respeito do Observatório.

Figura 74: Gravação a laser de QR Code em mármore contendo link para o repositório 3D



Nota: Gravação a laser de QR Code em mármore contendo o link da janela do Observatório Astronômico da UFRGS do repositório 3D.

¹⁰¹ Código QR (sigla do inglês *Quick Response*) é um código de barras bidimensional que pode ser facilmente escaneado usando a maioria dos telefones celulares equipados com câmera. Esse código é convertido em texto (interativo), um endereço URI, um número de telefone, uma localização georreferenciada, um e-mail, um contato ou um SMS (nota do autor).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Cerca de 50 anos atrás, o *Sketchpad* dava importante passo para o desenvolvimento de aplicações gráficas através dos computadores. Hoje em dia, o poder de processamento destas máquinas são milhares de vezes mais potentes do que os computadores da época do *Sketchpad*. Tal evolução propiciou a criação de gráficos 3D ultrarrealistas de modo que, atualmente, em alguns casos, é difícil fazer a distinção entre o modelo 3D e o real. Questões a respeito do limite possível a ser alcançado quanto a verossimilhança entre os modelos 3D e os modelos reais e, o tamanho do impacto que estas aplicações ainda terão nas mais diversas áreas, são questões em aberto.

Como demonstrado através da criação do repositório 3D, a tecnologia pode ser uma aliada para a conservação do patrimônio, facilitando e estimulando o aprendizado de maneira inovadora, através da representação em 3D.

Observa-se que o poder de processamento demandado por este tipo de mídia é um obstáculo que está sendo contornado pela constante evolução tecnológica e pela diminuição de preço dos dispositivos móveis e PC's. A experiência obtida no repositório indica que o *hardware*, atualmente, não é mais fator crítico para a reprodução de conteúdo em 3D. Entretanto, no campo da digitalização tridimensional, aplicações que demandam equipamentos de alto nível de precisão ainda apresentam custo elevado, tanto em termos de *software* como de *hardware*.

Tendo em mente o problema de pesquisa: **Como facilitar e ampliar o acesso do público não especializado ao conteúdo 3D**, foi realizada a implementação do repositório, configurando-se em tentativa prática da integração entre tecnologia e arte em prol da conservação do patrimônio histórico. Através da junção da pesquisa histórica e da digitalização tridimensional, reunidas no repositório 3D, é possível testar as práticas que são recomendadas por Remondino e Rizzi (2010) e do ICOMOS as quais versam a respeito da necessidade da integração entre diversos tipos de mídia para trabalhar em prol da conservação do patrimônio histórico.

A escolha do *three.js* e do *Wordpress* para a construção do repositório, mostraram-se adequadas, tanto em termos de performance como de compatibilidade e de administração de conteúdo.

Nos testes de compatibilidade, o repositório apresentou ótimo desempenho em sistemas *desktop* e boa compatibilidade com dispositivos móveis. Com a constante evolução de poder de processamento destes dispositivos, acredita-se que, em breve, o

hardware não será fator limitador para a exibição de conteúdo 3D. O uso do *three.js* como *framework* de exibição dos modelos escolhidos, mostrou-se satisfatório para sistemas *desktop* e dispositivos móveis de médio/alto poder de processamento.

Levando em consideração questões logísticas, de acesso e de tempo de digitalização dos objetos, o uso do escâner *Artec Eva* cumpriu sua função. Entretanto, a técnica mostrou-se no limite durante a etapa do processamento de dados, que duraram mais de 24 horas para objetos de grande volume, como a janela do Observatório Astronômico e a estátua do Observatório de Química. Durante as digitalizações o *Artec EVA* demonstrou grande versatilidade. A autonomia de bateria foi satisfatória (mais de 2 horas) e peso reduzido, quando comparado a outros modelos de escâneres, facilitou a digitalização de partes complexas e/ou de difícil acesso.

Localidades que exigiram o uso do andaime, como a janela do prédio do Observatório Astronômico e o elemento de fachada da janela do prédio do ICBS, conseqüentemente demandaram o uso de equipamentos de segurança. Por isto, o planejamento prévio foi importante. O *notebook* utilizado para as digitalizações mostrou poder computacional suficiente. Entretanto, conforme o tempo de digitalização passa, mais memória RAM é consumida. Quando atinge o limite, para evitar possíveis travamentos, o ideal é parar a digitalização, salvar o arquivo e continuar a partir do ponto no qual se estava. Tal procedimento demanda tempo. Desta forma seria indicado aumento da memória para no mínimo 16 GB, de forma a aumentar o tempo de digitalização ininterrupta. Outro ponto a ser observado é a autonomia da bateria do *notebook*, também fator limitador de tempo de digitalização.

O pós-processamento dos dados mostrou-se grande obstáculo. O registro global da estátua do prédio da química, por exemplo, demandou dois dias inteiros de processamento ininterrupto. Caso o computador, no qual estão sendo processados os dados, possuisse configuração menos robusta, seria necessário adotar outra técnica de digitalização, ou então reduzir o número de capturas de pontos, afim de otimizar o tempo do processo.

A modificação dos arquivos brutos, a fim de serem exibidos *online* no repositório, apresentou camada extra de complexidade que não fora prevista no início do estudo. É uma etapa complexa e laboriosa, porém fundamental.

No que tange à divulgação do conteúdo 3D, o *plug-in* criado para o repositório cumpre a função. Entretanto, a fase de produção de conteúdo ainda apresenta grande nível de complexidade e necessita ser desenvolvida.

Novas alternativas na direção de tornar a criação de conteúdo mais acessível ocorreram com outras mídias. As fotos, com a criação de serviços como o *Flicker*, *Google Photos*, o áudio com o *Napster*, *iTunes* e afins, e vídeos com o *Youtube*, *Periscope* entre outros. Agora, o mesmo está acontecendo com o 3D. As inovações que estão sendo criadas com relação ao ecossistema 3D serão peça chave para popularizar ainda mais este tipo de mídia.

Entre vinte mil e cinquenta mil anos (dependendo do estudo) separam os primeiros desenhos primitivos das imagens hiper-realistas produzidas em 3D na atualidade. Ao que tudo indica, independente dos meios tecnológicos utilizados, do carvão aos escâners tridimensionais, a necessidade de retratar e registrar o mundo ao redor é parte intrínseca do homem.

6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- 1) Suporte para dispositivos de realidade virtual – *google cardboard* e *oculus VR*;
- 2) Utilização do repositório em disciplinas relacionadas com o objetivo de medir a eficácia da mídia 3D como ferramenta pedagógica;
- 3) Análise das métricas geradas pelos visitantes do repositório: número de visualizações, tempo médio de visita, tempo médio gasto em cada página, locais de acesso e afins;
- 4) Aperfeiçoamento do protótipo do repositório de acordo com os itens abaixo:
 - Criação de comandos dinâmicos para a alteração de elementos da cena 3D, a fim de substituir a manipulação dos mesmos através do arquivo .MTL. Algumas variáveis a serem implementadas neste modelo: iluminação ambiente, cor do modelo, índice de reflexão;
 - Padronização do *plug-in* do repositório 3D para que possa ser distribuído gratuitamente;
 - Diminuir o número de etapas para a incorporação do modelo 3D ao site;
 - Padronizar os comandos *touch* de forma que sejam iguais, tanto no modo normal como no modo de compatibilidade;
 - Incluir a opção de vistas pré-determinadas para o modelo 3D;
 - Incluir suporte a outros idiomas no repositório;
 - Suporte para dispositivos móveis que utilizam o navegador *Safari* para as funcionalidades de “tela-cheia”, “ajuda” e “audiodescrição”;
 - Ampliar o acervo do repositório 3D de modo que outros Institutos da Universidade possam utilizá-lo para a hospedagem de modelos 3D.

REFERÊNCIAS

Adobe® Supplement to the ISO 32000 BaseVersion: 1.7 – disponível em:
<<http://www.images.adobe.com/content/dam/Adobe/en/devnet/pdf/pdfs/adobe_supplement_iso32000.pdf>> acessado em: 03/09/2014.

A. EVANS, M. ROMEO, A. BAHREHMAND, J. AGENJO, J. BLAT - *COMPUTERS AND GRAPHICS: 3D graphics on the web: A survey* - Interactive Technologies Group, Universitat Pompeu Fabra, Barcelona, Espanha 2014

BAPTISTA. M. M., *Desenvolvimento e utilização de animações em 3D no ensino de química*. – Tese (doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Química. Campinas, SP: [s.n.], 2013.

BAUER, M. W. G., George (org.). *Pesquisa qualitativa com texto, imagem e som: um manual prático*. 3ed. Petrópolis, RJ: Vozes. 2002

BEACHAM, DENARD e NICCOLUCCI *The evolution of Information Communication and Technology in Cultural Heritage* 2006.

BEETHAM. H; SHARPE, *Rethinking Pedagogy for a Digital Age: Designing for 21st century learning*. Routledge, second edition, 2013.

BLOG OFICIAL DO CHROMIUM. Disponível em:
<<<http://blog.chromium.org/2014/11/the-final-countdown-for-ntpapi.htm>>>. Acessado em 02/08/2015.

BROWN J. B, RUSINKIEWICZ. S. *Global Non-Rigid Alignment of 3-D Scans* (2007) Princeton University Princeton University

CARVALHAL, Tania Franco; ACHUTTI, Luiz Eduardo Robinson; FONSECA, Joaquim da. *Os Prédios Históricos da UFRGS: Atualidade e Memória*. Porto Alegre: UFRGS, 1998.

CATALANO. C.E, M., SPAGNULO, B. FALCIDIENO – *Semantics 3D media: Currente issues and perspectives* Instituto di Matematica Applicata e Tecnologie Informatiche, Consiglio Nazionale delle Ricerche Genova, Italy – 2011.

CARDOSO, Rafael. Design para um mundo complexo. São Paulo: Cosac Naify, 2012. 264p.

COMPUTER History Musseum – the first object scanned in 3D: Disponível em: <http://www.computerhistory.org/revolution/computer-graphics-music-and-art/15/206> acessado em: 12/07/2014.

_____. <http://www.computerhistory.org/revolution/computer-graphics-music-and-art/15/206/560>

Conferência Mundial Sobre Políticas Culturais – ICOMOS disponível em: <<<http://portal.iphan.gov.br/portal/baixaFcdAnexo.do?id=255> >> acessado em: 06/09/2014.

CURLESS. B. , 3D Photogray, *Tech. rep., Special Interest Group on Graphics and Interative Techniques*, Course Notes, (2000). Disponível em: <<<http://mesh.brown.edu/en193s08-2003/refs/sg2000courses/19/19.pdf>>> acessado em: 20/08/2015

Da SILVA. J.C, *Visualização de Modelos vtk utilizando webgl: Um estudo Experimental Universidade Tecnológica Federal Do Paraná – Programa de Pós-Graduação Em Projeto e Desenvolvimento de Sistemas Baseados em objetos para ambiente da internet*, (monografia de especialização) Paraná, Medianeira 2011.

DIAS, C.; FERNANDES, Denise. *Pesquisa e método científicos*. 2000. Disponível em: <<<http://www.reocities.com/claudiaad/pesquisacientifica.pdf>>>. Acessado em: 10/10/2011.

DIRKSEN. J. Learning Three.js – the JavaScript 3D Library for WebGL - Second Edition. Pg.3 Distilled Packt Publishing Ltd, 2015 ISBN: 1784391026.

FLORES, A. B. *Design, Território e Tecnologia 3D na Preservação Cultural em Suporte Material Sustentável: Estudo de Caso do Monumento “O Laçador”* Dissertação (Mestrado em Design), PGDESIGN, UFRGS, Porto Alegre, (2012).

FREITAS. L, MORIN. E. NICOLESCU. B. Carta da Transdisciplinaridade apresentada no Primeiro Congresso Mundial de Transdisciplinaridade - Convento da Arrábida, 6 de novembro de 1994. Fonte: O Manifesto da Transdisciplinaridade. Basarab Nicolescu – São Paulo: TRIOM, 1999

FUNDAÇÃO DE APOIO AO COLÉGIO JÚLIO DE CASTILHOS. Disponível em: <<<http://fundacaojulinho.wix.com/>>>. Acessado em 03/08/2015.

GERSHON DUBLON, LAUREL S. PARDUE, BRIAN MAYTON, NOAH SWARTZ, NICHOLAS JOLIAT, PATRICK HURST E JOSEPH A. PARADISO - *DoppelLab: Tools for Exploring and Harnessing Multimodal Sensor Network Data* - Responsive Environments Group, MIT Media Lab, Cambridge, 2011.

GIRARD. W. – *at al Microscopia eletrônica, – Tecnologias 3D: desvendando o passado, modelando o futuro* / Santos R.L. ... [et al.] – 1. Ed. – Rio de Janeiro: Lexikon, 2013 ISBN 978-85-8300-003-7.

GOMES. S. R, et al *Objetos de Aprendizagem Funcionais e as Limitações dos Metadados Atuais* P. 204 Coordenações de Informática – Centro Federal de Educação Tecnológica do Amazonas (CEFET-AM) – Workshop em Informática na Educação (sbie) 2005 XVI Simpósio Brasileiro de Informática na Educação - SBIE - UFJF – 2005.

GONÇALES. R, Dispositivo de Varredura a Laser 3D: e suas aplicações na engenharia, com ênfase meem túneis (mestrado em engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo 2009.

GUARNIERI. A. PIROTTI. F, VETTORE. A - *Cultural heritage interactive 3D models on the web: An approach using open source and free software* - Interdepartment Research Center for Geomatics, University of Padova, Viale dell'Università 16, 35020 Legnaro (PD), Italy 2010.

HECKBERT, PAUL S. Survey of Texture Mapping. Computer Graphics and Applications, IEEE 6.11 (1986): 56-67.

INSTITUTO DE CIÊNCIAS BÁSICAS (ICBS) – HISTÓRICO. WEBSITE DO ICBS, 2015. Disponível em: <<<http://www.ufrgs.br/icbs/historico.html>>>. Acessado em 01/09/2015.

INTRODUCTION to XML: disponível em: <<http://www.w3schools.com/xml/xml_what_is.asp>>. Acessado em: 12/08/2014.

ISO Standard Catalogue. Disponível em: <<www.iso.org/iso/iso_catalogue/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=51502>> - acessado em: 08/10/2014.

Jornal da Unicamp. *Animações em 3D tornam o ensino de química mais efetivo e prazeroso*. Campinas, 11 de novembro de 2013 a 24 de novembro de 2013 – ANO 2013 – Nº 583 - Disponível em: <<<http://www.unicamp.br/unicamp/ju/583/animacoes-em-3D-tornam-ensino-de-quimica-mais-efetivo-e-prazeroso>>>. Acessado em: 27/06/2014.

KINDLEIN JR. W, O Brilho do Olhar da Pós-Graduação, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. - Estudos em Design | Revista (online). Rio de Janeiro: v. 22 | n. 3 (2014 a), p. 115 – 129 | ISSN 1983-196X.

_____., O Tempo e o Design (in) Sustentável (p.31 – 41), Design, Resíduo & Dignidade / - São Paulo: Editora Olhares, 2014 b.Vários autores. ISBN 978-85-62114-35-9.

Konika Minolta Sensig, Inc. Non-contact 3D Digitizer Vivid 9i. Instruction Manual Japan, 2006 disponível em: <<http://www.konicaminolta.com/instruments/download/instruction_manual/3D/pdf/vivid-910_vi-910_instruction_eng.pdf>> p.56 – Acessado em 21/06/2015.

KONSTANTINOV.O., KOVATCHEVA. E, FOL. V, NIKOLOV R. *Digital Presentation and Preservation of Cultural and Scientific Heritage Vol II - Discover the Thracians – An Approach for use of 2D and 3D Technologies for Digitization of Cultural Heritage in the Field of E-learning* - State University of Library Studies and Information Technologies, Sofia, Bulgaria 2012. Curless Anestis. *Performance evaluation of a multi-image 3D reconstruction software on a low-feature artefact* - ISSN 0305440. 2013.

KOUTSOUDIS. Performance evaluation of a multi-image 3D reconstruction software on a low-feature artefact - Anestis Koutsoudis a,*, Bla z Vidmar b, Fotis Arnaoutoglou 2013.

KRISHNAMURTHY .V, Levoy .M - *Fitting Smooth Surfaces to Dense Polygon Meshes*, Proc. SIGGRAPH '96. Disponível em <<<https://graphics.stanford.edu/papers/surfacefitting/>>>. Acessado em 23/04/2014.

LABORATÓRIO InterDisciplinar Interativo; disponível em: <<<http://coral.ufsm.br/labinter/>>>. Acessado em: 22/06/2014.

GOMES, Leonardo; BELLON Olga Regina Pereira; SILVA, Luciano. 3D *Reconstrution methos for digital preservation of cultural heritage: A survey*. (2014).

LEVOY .M, PULLI .K CURLESS .B, RUSINKIEWICZ .S, KOLLER. D PEREIRA .L, GINZTON .M, ANDERSON .S DAVIS .J, GINSBERG .J SHADE .J, FULK .D. *The Digital Michelangelo Project: 3D Scanning of Large Statues*. Siggraph 2000. Disponível em << <http://graphics.stanford.edu/papers/dmich-sig00/dmich-sig00-nogamma-150dpi-comp-low.pdf>>>. Acessado em: 20/04/2014

LONDON CHARTER principles: disponível em: << http://www.londoncharter.org/fileadmin/templates/main/docs/london_charter_2_1_en.pdf>> acessado em: 12/10/2014.

M. Aubert, A. Brumm, M. Ramli, T. Sutikna, E. W. Saptomo, B. Hakim, M. J. Morwood, G. D. van den Bergh, L. Kinsley & A. Dosseto. *NATURE PLEISTOCENE*

CAVE ART FROM SULAWESI, INDONESIA 514, 223–227 (09 October 2014) doi: 10.1038/nature13422. Disponível em: <<<http://www.nature.com/nature/journal/v514/n7521/full/nature13422.html>>>. Acessado em: 05/04/2015

MCKAY, NEIL .D *Pattern Analysis and Machine Intelligence*, IEEE Transactions on (Volume:14 , Issue: 2) Page(s): 239 – 256 - ISSN :0162-8828 INSPEC Accession Number:4139387 DOI:10.1109/34.121791 Date of Current Version :06 Agosto 2002 Issue Date :Feb 1992 Publisher: IEEE.

MEANS, B. *Technology and Education Change: Focus on Student Learning*. JRTE, vol 42, No 3: 285-307, 2010

MEIRA, A.L. *O Passado no Futuro da Cidade: políticas públicas e participação popular na preservação do patrimônio cultural de Porto Alegre*. Porto Alegre: Ed. UFRGS, 2004.

MIT Doppellab: disponível em: <<<http://doppellab.media.mit.edu/>>>. Acessado em 20/09/2014.
Newsletter for the Alumni and Friends of the University of Utah School Of Computing p.7, 2003 – Disponível em: <<<http://www.cs.utah.edu/news/teapot/archives/fall03.pdf>>> Acessado em: 10/06/2014.

NORMAL MAP ONLINE: Disponível em (<http://cpetry.github.io/NormalMap-Online/>). Acessado em: 10/08/2015.

OBSERVATÓRIO DA UFRGS – HISTÓRIA. WEBSITE DO OBSERVATÓRIO DA UFRGS, 2015. Disponível em: <<http://www.ufrgs.br/observastro/historia/>>. Acessado em: 02/09/2015.

OLIVEIRA, A. M.; REIS, SCHAF, F. S. *Labinter: Connecting and Creating Interdisciplinary Interactive E-Learning Projects*. IADIS International Conference e-Learning 2012:457, 2012.

ORTIZ Sixto Jr., "Is 3D Finally Ready for the Web?", *Computer*, vol.43, no. 1, pp. 14-16, January 2010, doi:10.1109/MC.2010.15

PAVLIDIS, G. *et al. Methods for 3D digitization of Cultural Heritage*. Journal of Cultural Heritage 8: 93-98, 2007.

PONS R. A - A Interoperabilidade Como Estratégia Para Ampliação Do acesso A Acervos Digitais: Um estudo sobre a base de dados do Arquivo Fotográfico Memória. Dissertação de mestrado. UFPel. Pelotas. (2011)

PORTUGAL, C; SOUZA C, Rita Maria de. *Reflexões sobre Design, Cultura Visual e Educação na Pós Modernidade*. **Actas de Diseño y Comunicación**, pp. 31-234, 2011.

POTENZIANI MARCO, CALLIERI MARCO, DELLEPIANE MATTEO, CORSINI MASSIMILIANO, SCOPIGNO ROBERTO; *3Dhop: 3d Heritage Online Presenter*. *Computers and Graphics* (manuscrito) - 2015-PII: S0097-8493(15)00104-1 DOI: <http://dx.doi>.

PRODANOV, C. C. *Metodologia do trabalho científico* [recurso eletrônico]: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico / Cleber Cristiano Prodanov, Ernani Cesar de Freitas. – 2. ed. – Novo Hamburgo: Feevale, 2013.

RAMEY.D, R.LINDA E TYERMAN.L. Mtl Material Format (Lightwave, Obj), Alias|Wavefront, Inc., 1995. Disponível em (<http://paulbourke.net/dataformats/mtl/>). Acessado em:11/08/2015.

REMONDINO F, RIZZI. F - *Reality-based 3D documentation of natural and cultural heritage sites — techniques, problems, and examples* (2010) Trento - Italy.

RUTHENSTEINER. B., Hess. M. *Embedding 3D Models of Biological Specimens in PDF Publications* - *Microscopy Research and Technique* p.71:778–786 - Munchen, Germany (2008).

SCHOOL OF COMPUTING – UNIVERSITY OF UTAH WEBSITE. Disponível em (<http://www.cs.utah.edu/about/history/#phong-ref>). Acessado em 10/09/2015.

SILVA F. P, L. C. DUARTE, L. ROLDO, KINDLEIN. JR. W. *A Digitalização Tridimensional Móvel e sua aplicação no Design de Produto*, Design e Tecnologia 01: 6 – 64, 2010.

SILVA, C. R. O. *Metodologia do trabalho científico*. Fortaleza: Centro Federal de Educação Tecnológica do Ceará, 2004.

SILVA. F. P, *Usinagem de Espumas de Poliuretano e Digitalização Tridimensional para Fabricação de Assentos Personalizados para Pessoas com Deficiência*. Tese (doutorado) Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, UFRGS, Porto Alegre: 46, 2011.

SMITHSONIAN X 3D; disponível em: <<<http://3D.si.edu/about>>>. Acessado em 29/06/2014.

SUTHERLAND, E.I – *Sketchpad: A man-machine graphical communication system*. Massachusetts Institute of Technology – Massachusetts - January, (1963) ISSN 1476-2986.

TAKAI, *et al* *Introdução a banco de dados*. DCC-IME-USP – São Paulo – SP, 2005.
Three.js. Manual. Disponível em: <<three.js/readme>>. Acessado em: 06/2014.
Unicamp, treinamentos - Disponível em <<<ftp://ftp.unicamp.br/pub/apoio/treinamentos/vrml/vrml-about.html>>>. Acessado em: 24/06/2014.

WEB 3D CONSORTIUM: disponível em: <<<http://www.web3D.org/x3D/what-x3D>>> acessado em: 12/08/2014.

WEB GL WIKIPÉDIA, Enciclopédia Livre. Disponível em: <<<https://pt.wikipedia.org/wiki/WebGL>>>. Acessado em: 23/05/2015.

M. Levoy, K. Pulli, B. Curless, S. Rusinkiewicz, D. Koller, L. Pereira, M. Ginzton, S. Anderson, J. Davis, J. Ginsberg, J. Shade, and D. Fulk, “The Digital Michelangelo Project: 3D Scanning of Large Statues,” in ACM SIGGRAPH, 2000, pp.131–144.

ANEXO A - Significado das variáveis no formato de arquivo .MTL

Ns = Phong specular component. Ranges from zero to 1000. (I have seen various statements about this range (see below))

Kd = Diffuse color weighted by the diffuse coefficient.

Ka = Ambient color weighted by the ambient coefficient.

Ks = Specular color weighted by the specular coefficient.

d = Dissolve factor (pseudo-transparency). Values are from 0-1. 0 is completely transparent, 1 is opaque.

Ni = Refraction index. Values range from 1 upwards. A value of 1 will cause no refraction. A higher value implies refraction.

illum = (0, 1, or 2) 0 to disable lighting, 1 for ambient & diffuse only (specular color set to black), 2 for full lighting (see below)

sharpness = ? (see below)

map_Kd = Diffuse color texture map.

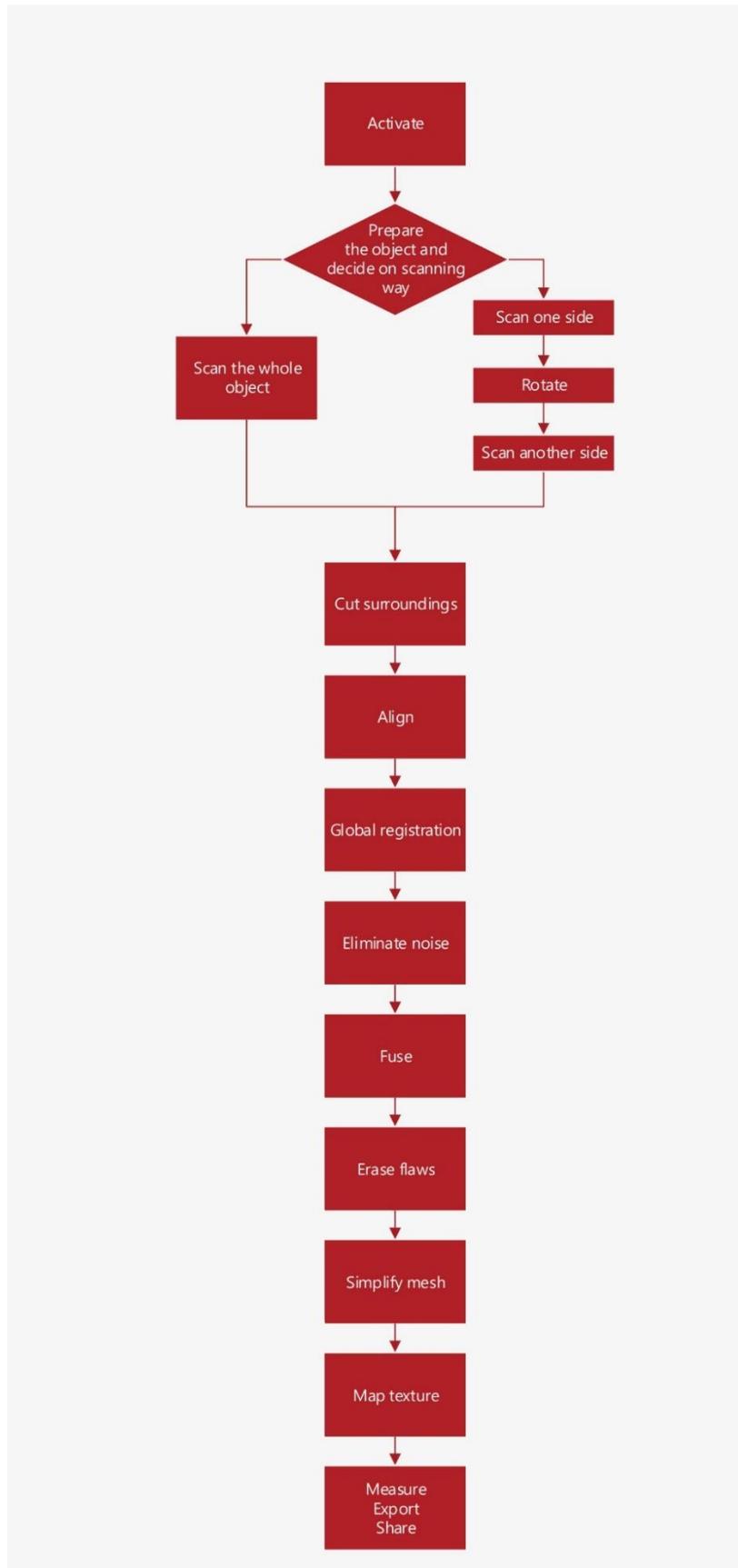
map_Ks = Specular color texture map.

map_Ka = Ambient color texture map.

map_Bump = Bump texture map.

map_d = Opacity texture map.

refl = reflection type and filename (?)

ANEXO B - Workflow das etapas de digitalização 3d do Artec Eva

APÊNDICE A - Resumo das fases realizadas para a etapa de geração de conteúdo do repositório 3D dos elementos de fachada dos prédios históricos da UFRGS

- 1) A pedido da Secretaria do Patrimônio Histórico da UFRGS, realizar o escaneamento em 3D de partes específicas dos edifícios históricos da Universidade;
- 2) Análise dos locais nos quais se encontram os objetos (facilidade de acesso, posição solar, etc.);
- 3) Análise das características físicas dos objetos. (Material, forma, dimensões, textura, cor);
- 4) Com base nas análises anteriores, seleção do(s) método(s) mais adequados de escaneamento;
- 5) Sessões de digitalização;
- 6) Processamento dos dados obtidos a partir do escaneamento;
- 7) Construção da malha triangular, fechamento de eventuais buracos e texturização;
- 8) Redução do modelo digitalizado para exibição web;
- 9) Incorporação do modelo 3D no repositório LdSM3D.

APÊNDICE B - Resumo dos objetivos da pesquisa

O projeto do repositório 3D foi inicialmente concebido de acordo com o resumo abaixo:

Tema: repositórios de conteúdo 3D – como disseminar o conteúdo 3D para o público não especializado? → Qual a melhor plataforma/ serviço?

Delimitação do tema: criação de repositório 3D (seleção de um conjunto de ferramentas) para os elementos de fachada dos prédios históricos da UFRGS. (Objetivos: educacionais, de preservação e divulgação);

Problema de pesquisa: há aumento da produção de conteúdo 3D. Quais as plataformas disponíveis para a divulgação? Como facilitar o acesso a este conteúdo;

Hipótese: dentre as tecnologias disponíveis, apresenta-se como melhor alternativa a WebGL. (Tecnologia completa, em termos de compatibilidade é abrangente, apresenta menor custo);

Objetivo: pesquisar possibilidades de ampliação e facilitação do uso da tecnologia 3D para fins educacionais e de preservação histórica e, por meio deste levantamento, construir um repositório 3D para os elementos de fachada dos prédios históricos da UFRGS, digitalizados;

Objetivos Secundários: definição dos métodos de escaneamento. Definição da escolha dos critérios da tecnologia 3D a ser utilizada no repositório. (WebGL, vml, pdf3D, etc.). Definição do conjunto de ferramentas (CMS) para a criação e administração do conteúdo repositório (*Wordpress/ joomla/ drupal*). Pesquisa para a criação de conteúdo relacionado as obras digitalizadas. Levantamento de *cases* de ferramentas 3D aliadas a prática pedagógica;

Justificativa: Trabalho pioneiro em termos nacionais. Abre caminho para outras aplicações que envolvam a produção/divulgação de conteúdo 3D. É uma solução que será implementada devido a demanda global crescente e, em âmbitos locais, podendo servir para outras finalidades com propósitos educacionais na própria universidade;

Metodologias utilizadas

Vertentes: Abordagem → hipotético dedutivo / percepção da lacuna de conhecimentos – formula-se a hipótese e pelo processo dedutivo, testa a predição da ocorrência de fenômenos;

Experimental: Construção do repositório;

Análise comparativa: Comparação das tecnologias de reprodução de conteúdo 3D na *web*;

Análise de conteúdo: (possibilidade de interpretar e caracterizar as tecnologias de reprodução 3D *web* disponíveis). Tal metodologia de análise permite que sejam identificados padrões e mudanças de forma comparativa. É de grande valia quando se trata de serviços com a mesma finalidade (reprodução de arquivos 3D) porém de maneiras distintas.