

FOTOGRAMETRIA DO PATRIMÔNIO: DA DOCUMENTAÇÃO À REALIDADE AUMENTADA

HERITAGE PHOTOGRAMMETRY: FROM DOCUMENTATION TO AUGMENTED REALITY

  **Pedro Henrique Gonçalves**
Universidade Federal de Goiás, Cidade de Goiás - GO, Brasil
pedrogoncalves@ufg.br

  **Fabiolla Xavier Rocha Ferreira Lima**
Universidade Federal de Goiás, Goiânia - GO, Brasil
fabiolla_lima@ufg.br

  **Sarah Yasmin Pereira Marques**
Universidade Federal de Goiás, Cidade de Goiás - GO, Brasil
sarahyasminmarques@gmail.com

  **Sandra Schmitt Soster**
Universidade de São Paulo, São Carlos - SP, Brasil
soster.heritage@gmail.com

Resumo

Este artigo trata do uso da fotogrametria na documentação e divulgação do patrimônio edificado. A técnica vem se consolidando cada vez mais nesse campo de atuação, tendo sido popularizada devido à facilidade de uso: basta um celular para tomada de fotografias e um dos softwares livres para a produção e renderização dos modelos 3D. Tendo em vista esse cenário cada vez mais promissor, além de apresentar a técnica, este artigo analisa a contribuição dos modelos digitais gerados por meio de fotogrametria para outras aplicações. Dessa forma, são apresentados alguns produtos oriundos do seu uso nas pesquisas do Laboratório do Ambiente (LabAm), grupo de pesquisa da Universidade Federal de Goiás (UFG), e outros que são de interesse do grupo para futuras pesquisas.

Palavras-chave: Patrimônio Cultural. Fotogrametria. Realidade Aumentada. Gamificação. Impressão 3D.

Abstract

This article analyses the use of photogrammetry for the documentation and dissemination of built cultural heritage. This technique has been more and more consolidated in this field of knowledge, and it has been popularized due to its ease of use: one only needs a cell phone for taking pictures and a free software for the production and rendering of 3D models. Due to this increasingly promising scenario, this article presents the technique and also analyzes the contribution of digital models generated by photogrammetry for other applications. Therefore, this paper presents some examples in use in the Laboratory of the Environment (LabAm), a research group at the Federal University of Goiás (UFG), and other examples that the group believes are interesting for future researches.

Keywords: Cultural heritage. Photogrammetry. Augmented reality. Gamification. 3D printing.

Introdução

A Documentação do Patrimônio Cultural é uma atividade fundamental para a preservação de edificações históricas, em especial para a realização de obras de manutenção e restauração. Segundo Dezen-Kempton,

A documentação arquitetônica desempenha um papel essencial no processo de preservação do patrimônio histórico construído, pois apoia tanto as tomadas de decisão em projetos de intervenção, restauro e reabilitação, como as ações de conservação preventiva. A necessidade de produção de documentação detalhada e precisa da edificação torna-se um fator decisivo na preservação e manutenção do bem patrimonial.

(Dezen-Kempton, 2021, p. 2)

Dentre os trabalhos envolvidos, está o levantamento físico-arquitetônico da edificação (BRASIL, 2002), cujos três métodos mais comuns são apresentados no Quadro 1.

A essência do ensino de projeto é a criação e proposição de exercícios cuja realização permitirá ao estudante desenvolver a habilidade de projetar. Ao longo desses exercícios o professor apresentará aos estudantes modos possíveis de solução dos problemas projetuais a eles propostos, geralmente apoiado em casos exemplares. Isso vale tanto para os aspectos formais/ organizacionais do projeto quanto para os técnico-construtivos. O aprendizado de projeto se dá por repetição, reiteração de um processo que envolve muitas idas e vindas, tentativa e erro, precisando se repetir muitas vezes ao longo do curso de arquitetura para ser efetivo. (MAHFUZ, 2009)

Dentre os trabalhos envolvidos, está o levantamento físico-arquitetônico da edificação (BRASIL, 2002), cujos três métodos mais comuns são apresentados no Quadro 1.

Quadro 1 - Características dos três tipos de levantamento físico-arquitetônico.

Método	Instrumentos utilizados	Condições e requisitos para o levantamento	Produto do levantamento
Direto (longimétrico)	Trenas, fitas métricas, níveis, prumo etc.	Todas as medidas devem ser fisicamente acessíveis	Desenhos 2D não-automatizados
Instrumental (topográfico)	Teodolito, taquímetro, estação total etc.	Todas as medidas devem ser visíveis com os instrumentos de levantamento	Desenhos 2D não-automatizados
Indireto (fotogramétrico)	Máquina fotográfica, drone, programas de desenho técnico e de fotomodelagem	Todo o plano a ser levantado deve estar visível e enquadrado na fotografia (fotograma)	Modelo 3D automatizado e desenhos 2D não-automatizados

Fonte: Adaptado de CONSERVAFAU, s.d., s.p.

Os levantamentos direto e instrumental são realizados com auxílio de instrumentos cujos manuseios necessitam de ao menos duas pessoas. No caso específico de edificações históricas, as grandes alturas geralmente são um problema (mesmo que possam ser medidas, em parte, com trena eletrônica) e o levantamento preciso de detalhes arquitetônicos rebuscados é praticamente impossível. Enquanto isso,

A Fotogrametria Digital é um processo óptico e numérico que permite extrair das fotografias de um objeto a sua geometria: formas e dimensões, com a qualidade e precisão requeridas. [...] cujos resultados podem ser modelos tridimensionais do objeto ou imagens ortogonais em escala, restituições ou desenhos em CAD, com ou sem curvas de nível ou pontos cotados, sobre os quais se podem fazer medições de alta precisão.

(ARRUDA, 2013, p.100-101)

A Técnica

Os avanços e o acesso às tecnologias digitais possibilitaram um aumento gradual no desenvolvimento de modelos 3D no campo do patrimônio edificado, incrementando a documentação patrimonial, ampliando não só as possibilidades de visualização, mas também servindo, por exemplo, como base para a realização de pesquisas científicas, para a criação de jogos e para modelos de gestão de uso e manutenção da própria edificação. Por muito tempo, utilizaram-se ferramentas como scanners a laser e sistemas de iluminação específicos para a realização dos levantamentos acurados das edificações, que continuam sendo formas muito dispendiosas. Em relação a tal cenário, hoje há a possibilidade de criação de modelos digitais das edificações com o uso de câmeras fotográficas ou vídeos, que é o caso da fotogrametria.

A fotogrametria é uma tecnologia fundamentalmente democrática, pois pode ser feita por qualquer pessoa com uma câmera de telefone e acesso a um *software* de fotogrametria. No entanto, para produzir o tipo de modelo 3D de alta resolução que captura com precisão a geometria e os detalhes da superfície de um objeto, é necessário um alto nível de habilidade para gravação e processamento de dados. Em geral, quanto melhor o sensor da câmera e a capacidade de resolução da lente, melhores serão os dados.

Cintra e Gonçales (2019) exemplificam a aerofotogrametria com o uso do drone. A técnica tem os mesmos princípios que a fotogrametria com o uso de câmera fotográfica, porém

[...] O usuário faz o planejamento do voo marcando a área de interesse sobre um produto de tipo cartográfico (imagem do Google, por exemplo) e o programa calcula as faixas de voo e as superposições longitudinais e transversais para cobrir toda a área e obter a imagem de cada região em pelo menos duas fotos, para, assim, possibilitar a estereoscopia e a visão 3D, como no processo clássico. A programação do voo é transmitida (via rádio) para o drone, que executa o voo programado e retorna ao ponto de origem. O GPS fornece a posição da câmara no instante de cada foto, caracterizando o que se chama voo apoiado. Por meio da correlação de imagens e outras técnicas de reconhecimento de padrões e visão computacional, o programa identifica pontos comuns em fotos vizinhas, na mesma faixa de voo e nas laterais e consegue calcular as altitudes de cada ponto do objeto, formando um modelo digital do terreno e das construções e árvores sobre ele. [...] (CINTRA; GONÇALES, 2019, p. 17).

Como toda técnica de levantamento, a fotogrametria possui alguns requisitos para a criação de um bom modelo tridimensional. A habilidade do operador, a qualidade e o número de imagens capturadas, e a distância do sensor da câmera até a superfície do objeto desempenham um papel importante na determinação da resolução e dos detalhes dos dados 3D. Sob condições ideais, a fotogrametria pode gravar dados 3D de uma superfície com uma resolução de 100 *mícrons*, a par de outros sistemas de gravação 3D de curto alcance disponíveis hoje. A Figura 1 exemplifica o *workflow* de uma reconstrução digital 3D utilizando a fotogrametria:

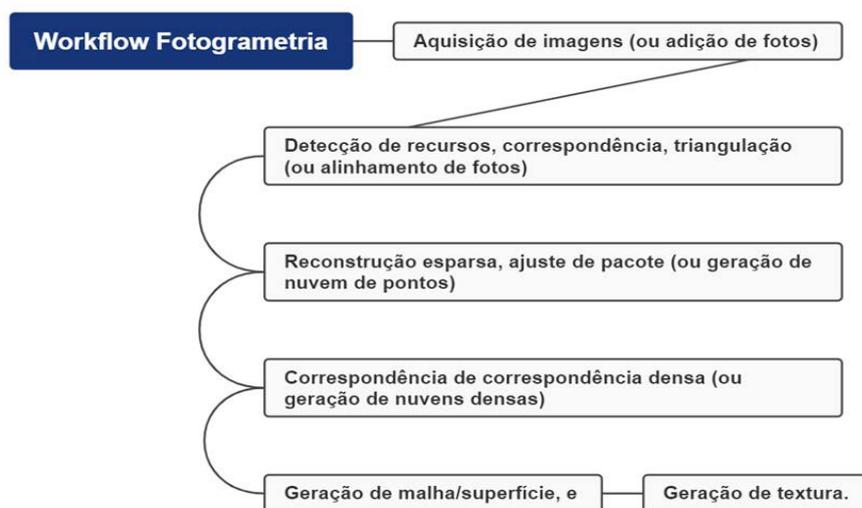


Figura 1- Fluxograma do processo de fotogrametria.
Fonte: Elaborado pelos autores.

Como já mencionado, a base da fotogrametria é a gravação de diversas imagens em torno de um objeto ou superfície. A Figura 2 exemplifica este processo, onde foram tiradas dezenas de fotografias sobrepostas de um objeto em muitos ângulos diferentes, posteriormente processadas dentro de software específico para a formação da nuvem de pontos e da nuvem densa, e para a construção das malhas e a inserção das texturas sobre elas.

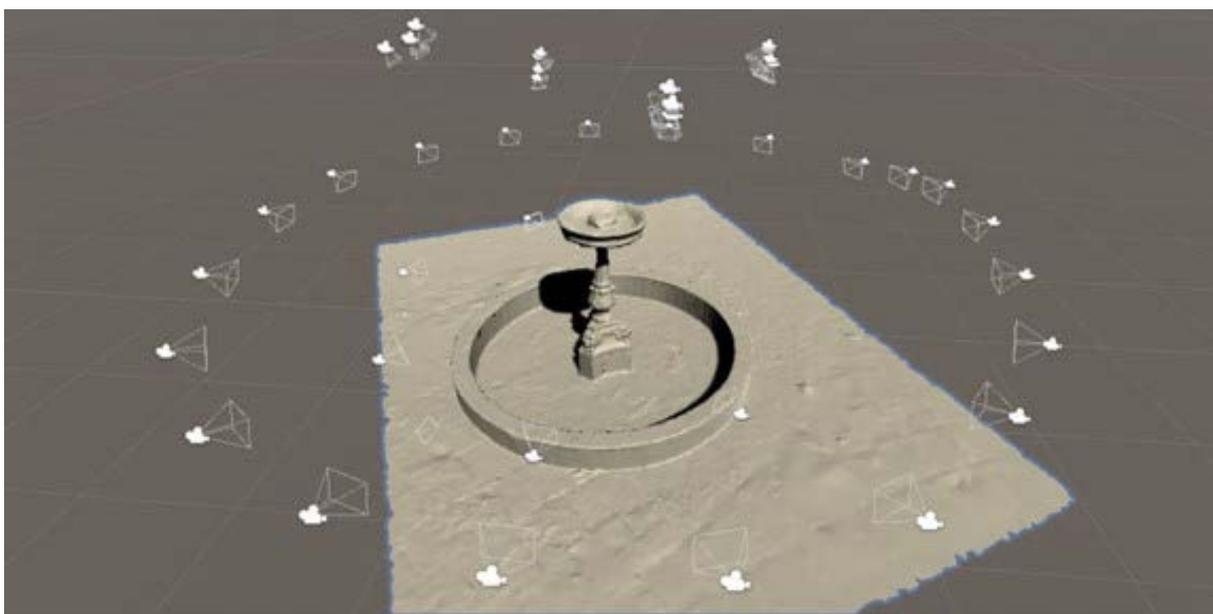


Figura 2 - Etapas de digitalização e criação da Fonte da Praça do Coreto em ambiente virtual: o software identifica as posições da câmera nos momentos das fotografias.

Fonte: Acervo de pesquisa.

Para a etapa de processamento, existem vários *softwares* disponíveis no mercado. De acordo com Rahaman e Champion (2019), os softwares determinam as propriedades geométricas dos objetos a partir de imagens fotográficas, identificando características comuns na superfície de um objeto em várias imagens. Cada uma dessas 'características' pode ser descrita no espaço 3D por uma série de coordenadas (x, y, z). Esse processo requer a comparação de pontos de referência ou *pixels* correspondentes em uma série de fotografias. Uma determinada qualidade e número específico de fotografias são necessários para permitir que a superfície processe, combine e triângule recursos visuais e gere ainda mais nuvens de pontos 3D.

Os pontos da nuvem são triangulados (conectados uns aos outros por linhas) e unidos com planos para produzir um modelo 3D – uma ‘malha geométrica’ composta por vértices, arestas e planos. Ao aplicar métodos de gerenciamento digital de cores durante uma sessão de gravação, também é possível obter simultaneamente informações 3D e de cores precisas sobre a superfície de um objeto. A Figura 3 ilustra estes processos.

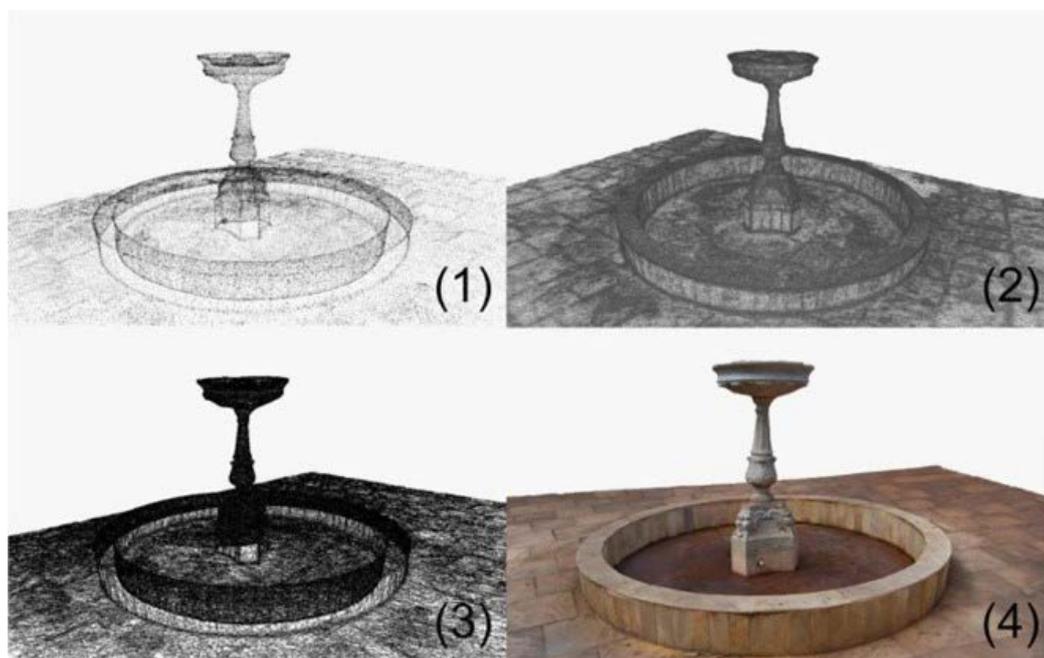


Figura 3 - Etapas de digitalização e criação da Fonte da Praça do Coreto em ambiente virtual.
Fonte: Acervo de pesquisa.

Boa parte destes softwares utilizam a técnica de *Structure from Motion* (SfM), pois ela permite a captura de imagens de forma rápida e fácil, criando modelos de alta qualidade por meio de imagens não calibradas, sem exigir nenhum hardware especializado ou condições de iluminação cuidadosamente projetadas.

Os autores Rahaman e Champion (2019) fizeram um quadro comparativo (Quadro 2) entre as capacidades e os desempenhos de alguns softwares. Percebe-se que os *softwares* comerciais normalmente oferecem o sistema completo de construção digital (a ser instalado e rodando no computador do usuário) e também a possibilidade de processamento em nuvem (que demanda máquina do usuário com menor capacidade de processamento), como no caso do *software Metashape*. Já os *softwares* gratuitos são limitados a apenas algumas etapas, havendo a necessidade

de um segundo *software* para a criação da malha e a texturização do modelo, como por exemplo, o *software open source Blender*.

Quadro 2- Comparação entre softwares de processamento de imagens no campo da Fotogrametria.

Software	Licença	Formato de exportação	Nuvem de Pontos	Nuvem densa	Malha	Textura	Edição
Metashape	Comercial	.obj; .3da; .dae; .ply; .stl; .dxf; .fbx; .wrl; .pdf; .u3d	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
COLMAP	Open source	.ply; .nvm; .out; .vrml	Sim	Sim	Sim	Não	Não
Python Photogrammetry -Toolbox	Open source	ply; .out	Sim	Sim	Não	Não	Não
VisualSfM	Open source	ply; .out	Sim	Sim	Não	Não	Não
Regard3D	Open source	.ply; .obj; .pcd	Sim	Sim	Sim	Sim	Não

O processo de fotogrametria pode ser considerado simples, porém a curva de aprendizagem para o uso destas novas possibilidades é acentuada, requerendo uma considerável quantidade de tempo e esforço, principalmente em se tratando de softwares livres, que normalmente possuem uma interface menos amigável para o usuário. Outra questão importante que se identifica na literatura é a necessidade de construção de um fluxo ou de uma metodologia eficiente sobre as melhores práticas, para uso do público em geral, pois tal técnica é barata, acessível e, se bem organizada, pode ser de fácil utilização. Porém existem diferentes escalas de modelos, tipologias de câmeras e *softwares*, o que pode dificultar o processo.

Realidade Aumentada

Um dos usos testados pelo LabAm para os modelos virtuais criados por fotogrametria compreende o projeto ReRealidade. A Realidade Aumentada (RA) visa viabilizar interações do usuário no ambiente onde se localiza, com os conteúdos digitais em tempo real; sendo aplicada nas mais diversas áreas do conhecimento. Segundo Not et al. (2009 apud Mallir et al., 2019), a RA complementa a realidade e não a substitui, expondo o ambiente real com a adição de variados conteúdos desenvolvidos por computadores, que passam a coabitar. A ampla difusão dessa tecnologia foi proporcionada pelas evoluções tecnológicas e pelo barateamento das mesmas: dispositivos móveis pessoais com *hardwares* e *softwares* cada vez mais aprimorados trouxeram ainda mais oportunidade de propagação a baixo custo.

No patrimônio, a aplicação da RA aparece na condução de experiência em visitas nos locais culturais e para educação patrimonial, com adição de novas informações (textos, sobreposição de fotos, modelos 3D etc.), visualização de reconstrução de bens não mais existentes etc. A fotogrametria tornou-se uma aliada no desenvolvimento de modelos mais realistas, já que incorpora na superfície os dados extraídos das matrizes digitais.

Esta nova geração tecnológica está modificando a forma como nos relacionamos com o patrimônio, levando a uma ampliação do conhecimento, uma melhoria na compreensão dos bens culturais, um maior grau de acessibilidade global e um aumento nas abordagens e metodologias com as quais podemos interagir com o patrimônio. (IBAÑEZ-ETXEBERRIA et al., 2020, tradução nossa¹)

O aplicativo ReRealidade foi desenvolvido no âmbito do projeto “Monitoramento e divulgação do patrimônio histórico brasileiro: o uso de inovações tecnológicas na Cidade de Goiás”, com o objetivo de exemplificar o uso da tecnologia de Realidade

1 Do original em inglês: “This new technological generation is modifying the way we relate to heritage, leading to a broadening of knowledge, an improvement in the understanding of cultural assets, a greater degree of global accessibility, and an increase in approaches and methodologies with which we can interact with heritage.” (IBAÑEZ-ETXEBERRIA et al., 2020).

Aumentada. A primeira etapa deste estudo (ver Figura 4) foi a formulação de modelos digitais experimentando técnicas de levantamento indiretas (scanner a laser para pequenos objetos e a fotogrametria para objetos maiores) na construção de modelos tridimensionais genéricos. Após a análise dos produtos iniciais, passou-se a adotar a fotogrametria para a elaboração de modelos dos patrimônios. Uma série de campanhas fotográficas foi realizada na Cidade de Goiás, em diversos pontos de interesse da cidade, em dias e horários distintos. Depois da aquisição, as imagens foram processadas em *software* específico, gerando modelos digitais integrados.

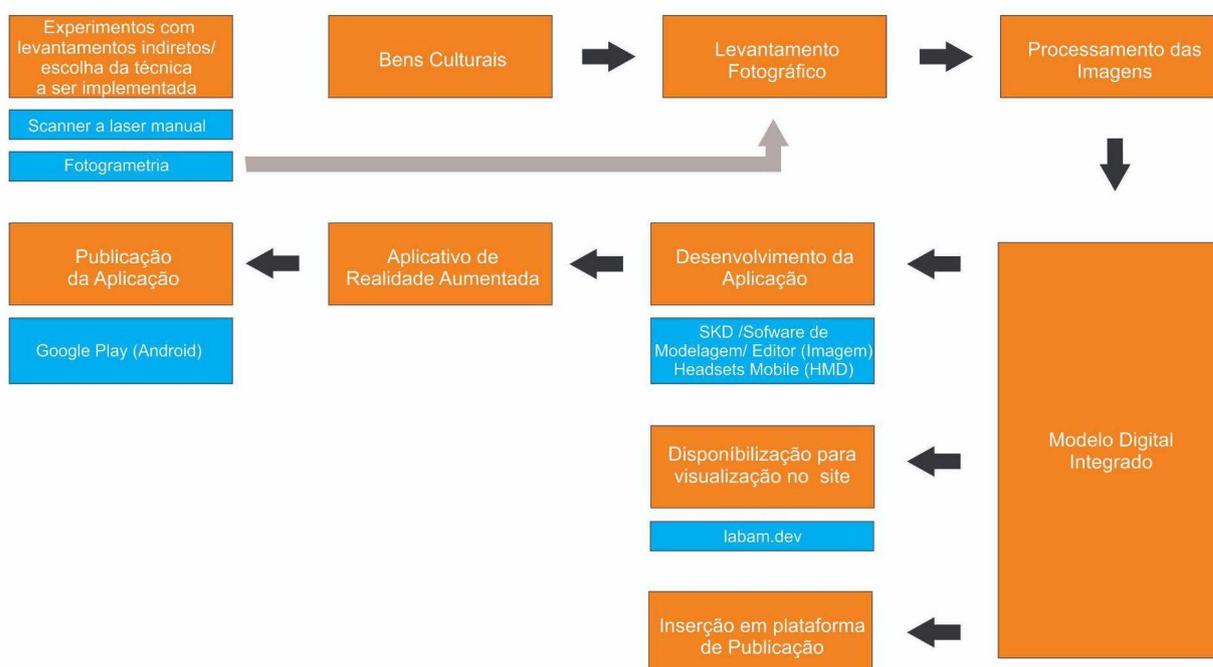


Figura 4 - Etapas do experimento ReRealidade.
Fonte: Elaborado pelos autores.

Na fase de construção da aplicação de RA, os modelos integrados passaram a ser editados em *softwares* de modelagem e posteriormente inseridos no *Unity*. *Unity* é um motor de jogos que possibilita exportações para múltiplas plataformas, “A integração com o Vuforia levou esse *software* a ser de longe o mais fácil e completo de usar para a implementação de aplicativos de realidade aumentada” (BARRILE et al., 2019, tradução nossa). Segundo Jo e Kim (2016), a arquitetura do sistema de Realidade Aumentada contém duas camadas: a primeira trata-se do servidor, que realiza a identificação dos objetos relacionados aos padrões de reconhecimento

presentes no banco de dados; já a segunda é o aplicativo cliente que interage com o usuário. Ferramentas de edição de imagens também foram utilizadas para o desenvolvimento do modelo (*mockup*) da interface; e dos padrões de reconhecimento adicionados ao banco de dados do kit de desenvolvimento de *software* (SDK) Vuforia. Aos modelos foram acrescentados botões tridimensionais, que ao serem acionados demonstram informações sobre os bens culturais (Figura 5).



Figura 5 - Modelo digital com botões no Unity.
Fonte: Elaborado pelos autores.

Após a análise do funcionamento em alguns dispositivos móveis, a aplicação foi exportada (*Android*) e publicada na *Google Play* (Figura 6). Os modelos fotogramétricos também foram adicionados à plataforma Sketchfab (Figura 7), e ao banco de dados do *web site* do grupo de pesquisa LabAM (Figura 8).

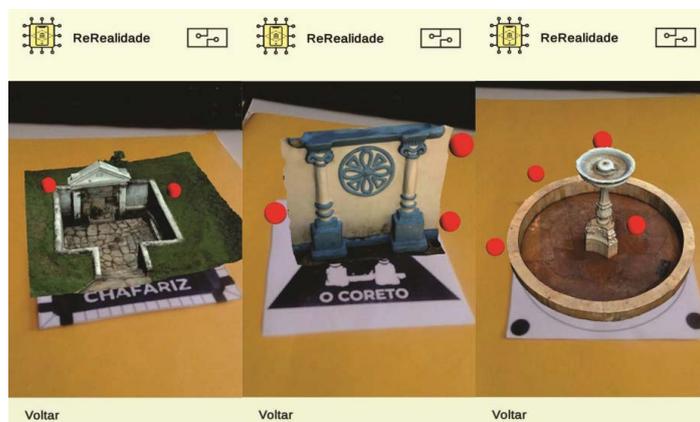


Figura 6 - Visualização de alguns dos modelos em RA do aplicativo disponibilizado via Google Play.

Fonte: Elaborado pelos autores.

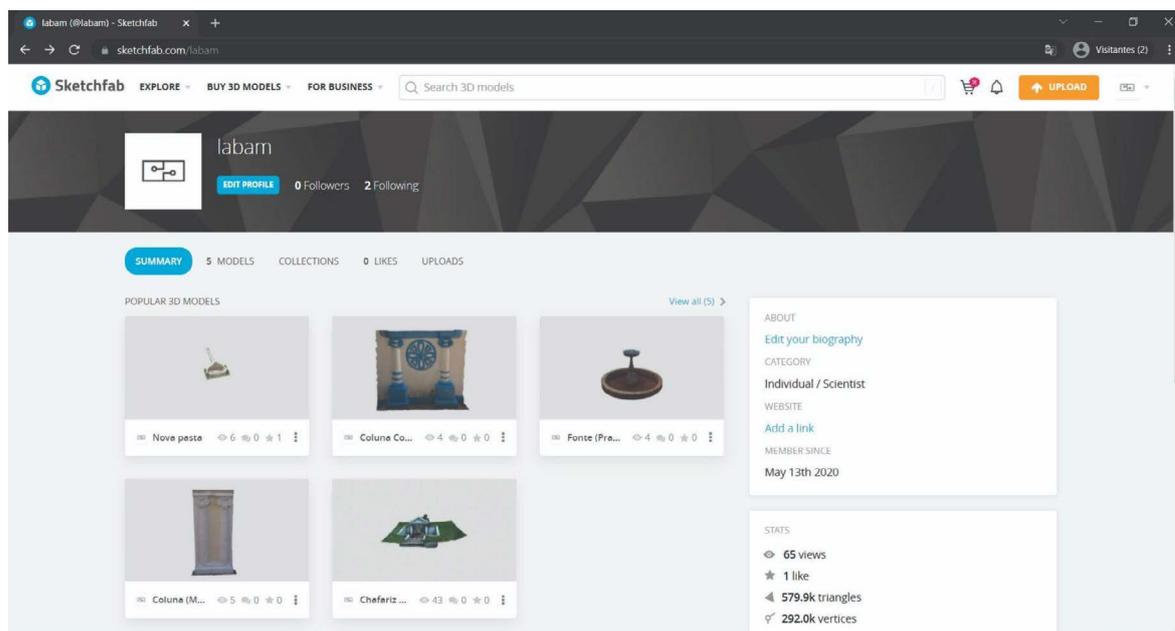


Figura 7 - Plataforma de publicação (<https://sketchfab.com/>).
Fonte: Elaborado pelos autores.



Figura 8 - Página ReDigital do website do LabAm (<https://labam.dev/Goyaz%20Digital/redigita/chafariz/>).
Fonte: Elaborado pelos autores.

Outros Usos Possíveis

Considerando ainda a fotogrametria, técnica que permite replicar objetivos do mundo real através de fotografias para modelos virtuais idênticos, como um processo

de criação de *assets*² digitais de alta qualidade e realismo, sua aplicabilidade pode ser expandida para diversos fins além do uso em realidade virtual (RV) ou realidade aumentada (RA) e na modelagem de informação de edifícios históricos (HBIM), como por exemplo, em ambientes de jogos ou ambientes interativos gamificados, na impressão 3D e em diversas soluções que potencializam a acessibilidade aos bens culturais. A seguir, são apresentados alguns exemplos práticos para elucidação.

Aplicações em jogos e gamificação

O uso da fotogrametria em jogos e gamificação de espaços interativos, traz como exemplo o jogo criado a partir de levantamentos de alta precisão chamado *Assassin's Creed*. Este vem servindo como base de dados para a reconstrução da Catedral de *Notre Dame*, em Paris, parcialmente destruída por um incêndio em 15 de abril de 2019.

13

O *Assassin's Creed* da *Ubisoft*® (2020) é uma famosa série de jogos do tipo *Role-Playing Game* (RPG) e funciona por meio de suportes tecnológicos digitais como computadores, consoles e dispositivos móveis. A série combina acontecimentos e figuras históricas a eventos e personagens de ficção, tendo como enredo a rivalidade entre duas sociedades secretas: os Assassinos e os Templários. Uma de suas características do jogo é o grau de realismo e a imersão que são proporcionados pela qualidade gráfica. Compreende-se que a documentação de conjuntos arquitetônicos e urbanísticos é um dos seus maiores benefícios ao patrimônio cultural, ainda que esta não tenha sido a intenção original. Nesse sentido, Barbara (2020, p. 3) menciona o *Assassin's Creed* como um exemplo de utilização de representações virtuais de edifícios e contextos existentes do mundo real, dado o seu grau de realismo, e cita a utilização destas representações na reconstrução da Catedral. Romero (2019) também pondera sobre a potência do jogo, pelo seu caráter “histórico”, e ressalta

2 No ambiente digital, desenvolvimento web ou no design, um “asset” é um tipo de recurso disponível, desde fontes, imagens, animações e modelos até exemplos completos de projetos e extensões. É utilizado para designar tudo o que complementa o conteúdo de um website, software ou aplicativo. Dentro do universo dos jogos digitais, refere-se aos recursos produzidos ou comprados para sua implementação, por exemplo, um objeto, uma personagem, um cenário ou uma textura (COSTA, 2020).

a fidelidade representacional como suporte digital para a preservação cultural para futuras gerações.

Batista, Mesquita e Gaspar (2018) desenvolveram um simulador 3D, seguindo alguns princípios do *framework DPE*³ e usando as mesmas ferramentas e processos de um jogo digital. Pôde ser verificado como ferramenta de apoio, pela gamificação do método, no qual o usuário poderia fazer uma visita virtual pela Fábrica de Sal, uma estrutura construída em 1898, porém desativada desde os anos 1990, localizada em Ribeirão Pires – SP. O objetivo foi apresentar o desenvolvimento de um simulador de realidade virtual (RV), para experiências imersivas gamificadas, aplicado à educação patrimonial. Algumas das etapas do trabalho foram o levantamento fotográfico, por meio da fotogrametria, a reconstrução digital dos espaços a partir da modelagem tridimensional, o mapeamento de texturas e o desenvolvimento do jogo interativo. Com a solução desenvolvida foi possível perceber o potencial da junção entre a RV e a gamificação como instrumento de aprendizagem voltada à educação patrimonial.

14

Outro exemplo da aplicação de jogos voltados à temática educacional e patrimonial é o jogo MUBAN de exploração e inteligência, envolvendo o cenário do Museu das Bandeiras (MUBAN) em uma divertida dinâmica de *scape room*. O jogo está sendo desenvolvido no *Roblox*, uma plataforma MMORPG (*Massive Multiplayer Online Role-Playing Game*) e MMOSG (*Massively Multiplayer Online Social Game*) baseada em mundo aberto, multiplataforma e simulação do multiverso (ROBLOX, 2016).

A ideia do jogo é permitir a divulgação dos bens históricos e culturais de maneira imersiva e acessível para a comunidade, contribuindo para avanços dessa tecnologia no meio educacional. O Museu das Bandeiras está localizado na Cidade de Goiás, sediado no antigo edifício da Câmara e Cadeia e foi construído em 1766 (CÂMARA, 2022). De autoria do grupo de pesquisa Laboratório do Ambiente (LabAm), da Universidade Federal de Goiás (UFG), o jogo será lançado no evento Patrimônio

3 DPE, desenvolvimento de jogos digitais (do inglês Design, Play, and Experience) onde o conhecimento é transmitido pelo entretenimento.

4.0: Conectando dimensões da realidade, que acontecerá de 24 a 26 de março de 2022.

Com respeito à preexistência urbana, os autores Andrade, Poplin e Sena (2020) exploraram o potencial do ambiente de jogo do *Minecraft*, desenvolvido pela empresa sueca *Mojang* (2020), em uma escola pública na cidade de Tirol - ES. Neste caso, o *Minecraft* foi empregado como ferramenta inovadora para lidar com a falta de engajamento e envolvimento de crianças e adolescentes no planejamento urbano. Induzidos pelos questionamentos sobre como os jogos poderiam ajudá-los a co-projetar sua cidade ou que valores de herança eles conseguiriam representar no ambiente do jogo, os autores realizaram dois experimentos: “*Playtesting*” e “Redescobrimo o Tirol”, com a utilização de acervo fotográfico e documentação, modelagem, confecção de assets a partir do reconhecimento da paisagem para o planejamento e construção de uma nova realidade, e ainda, com uso da realidade aumentada e da realidade virtual. Além dos ambientes interativos, foram criados edifícios com materiais relacionados ao local, como madeira e pedra, parques infantis com equipamentos para atividades lúdicas, um lago com cascata, uma caverna, uma praça em frente à escola e à igreja, árvores, vegetação, jardins com flores e animais, um *playground* com vagas para bicicleta e local para patinação.

Os resultados apontados pelo estudo revelaram o potencial do *Minecraft* para resgatar valores relacionados ao reconhecimento do patrimônio existente e como planejar e recriar esses “novos” lugares, para que sejam mais interativos e integrativos.

Aplicações em impressão 3D

Na preservação do patrimônio cultural e seus acervos históricos, as técnicas de impressão 3D permitem produzir réplicas objetivas, não só de esculturas e elementos artísticos, como também de elementos estruturais e decorativos da própria edificação. Inúmeras experiências levaram à criação de cópias em pequena e grande escala, principalmente, para fins expositivos e educacionais (BONORA et al. 2021).

Bonora e colaboradores (2021) enumeram algumas aplicações, beneficiadas pela cópia em grande escala, da técnica da fotogrametria: (a) integração de áreas ausentes ou quebradas de artefatos ou componentes arquitetônicos; (b) produção de embalagens que servem ao transporte de artefatos patrimoniais, como recipientes adaptados em 3D impressos para os empacotar e proteger; (c) confecção de moldes para reprodução em outros materiais; (d) proposição de novas modalidades de interação entre público e coleções em exposições e museus, para pessoas com dificuldades de aprendizagem, crianças, deficientes visuais e outras situações relacionadas à acessibilidade; (e) reintegração ou reconstrução de objetos perdidos ou parcialmente perdidos; (f) aprimoramento para o engajamento e a conscientização do público sobre o patrimônio cultural em risco, pela reconstrução de artefatos destruídos, dentre outros.

Hellman e Lahti (2018) assinalam que os museus procuram otimizar as exposições ultrapassando limitações de espaço, enquanto a capacidade de armazenamento não acompanha o mesmo ritmo, assim, as exposições podem ser fotografadas, convertidas em objetos virtuais 3D e mostradas ao público online por fotogrametria 3D em *cibermuseus* ou em museus virtuais.

Ultrapassando a questão de espaços das exposições museológicas, é utilizada também na preservação em arquivo de documentação digital 3D, mapeamento e dinamização educacional, tendo por exemplo a reconstrução do complexo do Fórum de Pompeia, que permitiu a preservação digital do local (Figura 9). Segundo Remondino (2011), os resultados da modelagem 3D do complexo do sítio arqueológico do fórum, na Itália, foram realizados integrando imagens terrestres, escaneamento TOF⁴ de longo alcance e imagens aéreas.

4 TOP, tempo de voo (do inglês time of flight), tipo de escaneamento a laser de objeto ou ambiente, onde os sensores são capazes de emitir centenas de milhares de pulsos por segundo. Os sensores jogam feixes de luz como um radar, medindo o tempo que leva para a luz retornar e então julgar o quão distante um objeto está, mapeando a cena em três dimensões.

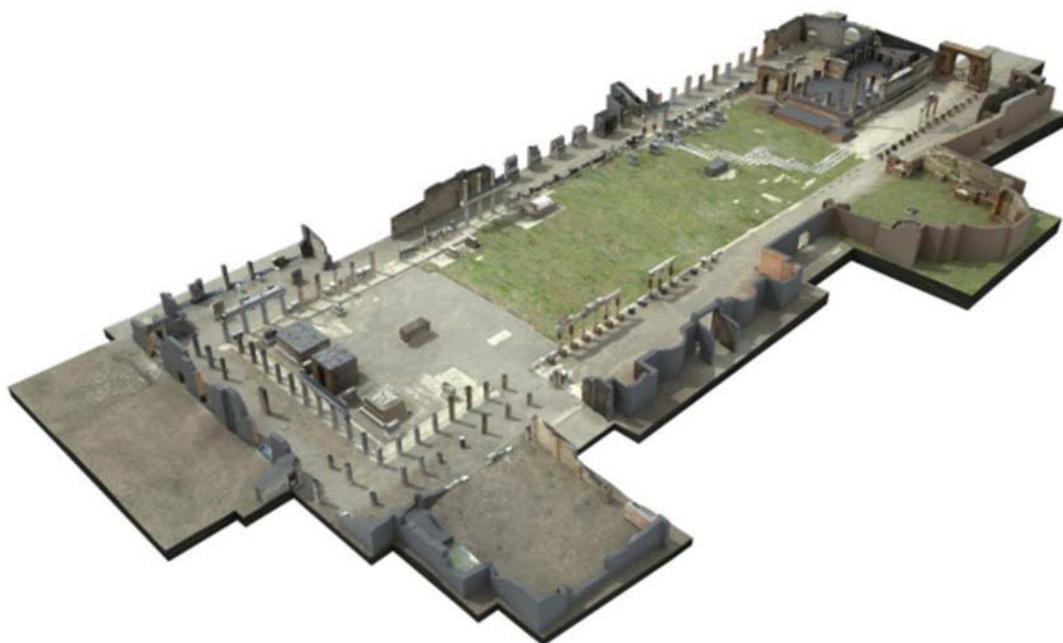


Figura 7 - Modelagem 3D do sítio arqueológico do Fórum de Pompeia, Itália.
Fonte: REMONDINO, 2011.

Outros usos

17

De forma geral, a aplicação da fotogrametria nas áreas de arquitetura, urbanismo e engenharias afins permite representações, com dados planialtimétricos, de estruturas e cidades em três dimensões, para uso em modelagens e maquetes cada vez mais realistas. Estas facilitam a rápida atualização e manutenção dos dados, atendendo assim ao planejamento urbanístico; auxiliam na construção dos edifícios e, ainda, no mapeamento topográfico de mapas e zonas. Com o uso de drones tornou-se mais completa a varredura na captação de imagens, o que possibilitou custos de projetos e expandir áreas de acesso. Drones de pequenas dimensões conseguem obter imagens em lugares onde outros meios aéreos não conseguiriam acessar.

Segundo Valença, Júlio e Araujo (2008), a técnica pode ainda servir para o controle de deformações em grandes obras, monitorando o comportamento das estruturas ainda na fase de ensaios laboratoriais.

Considerações Finais

As tecnologias digitais vêm facilitando a documentação arquitetônica, pois mantêm a precisão de métodos manuais, mas são realizadas em menor tempo e com grandes vantagens para medições em altura e para detalhes rebuscados, tais como os existentes em fachadas de edificações de estilo eclético ou de igrejas barrocas-rococós. Além disso, os modelos digitais criados possibilitam a disseminação do patrimônio cultural sem o limite físico-geográfico (podem ser acessados de qualquer parte do mundo) e em formatos interativos e, por isso, mais atrativos que as plantas arquitetônicas e outras representações 2D. A tendência é de que as possibilidades sejam cada vez mais fáceis de realizar e seus produtos sejam mais imersivos.

Referências

ANDRADE, B.; POPLIN, A.; SENA, Í. S. 2020. Minecraft as a tool for engaging children in urban planning: a case study in Tirol town, Brazil. **ISPRS Internacional Journal of Geo-Information**. v. 9, n. 3/170. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ijgi9030170>. Acesso em: 22 nov. 2021.

ARRUDA, A. K. T. **Preservação e gestão do patrimônio construído**: a contribuição do Heritage Information System. Tese (Doutorado) - Arquitetura Urbanismo, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2013.

BARBARA, Jonathan. **Classification of Gameplay Interaction in Digital Cultural Heritage**. 2020. Disponível em: http://www.digra.org/wp-content/uploads/digital-library/DiGRA_2020_paper_142.pdf. Acesso em: 22 nov. 2021.

BARRILE, V.; FOTIA, A.; BILOTTA, G.; CARLO, D. Integration of geomatics methodologies and creation of a cultural heritage app using augmented reality. **Virtual Archaeology Review**, v. 10, p. 40-51, 2019.

BATISTA, H. R.; MESQUITA, P. R. B.; GASPAR, M. A. Simulador de Realidade Virtual Aplicado à Educação Patrimonial para Experiências Imersivas Gamificadas. **RENOTE - Revista Novas Tecnologias na Educação**, v. 16, n. 2, 2018. Disponível em: <https://seer.ufrgs.br/renote/article/view/89262>. Acesso em: 23 nov. 2021.

BONORA, V.; TUCCI, G.; MEUCCI, A.; PAGNINI, B. Photogrammetry and 3D Printing for Marble Statues Replicas: Critical Issues and Assessment. **Sustainability**, v. 13, n. 2, 2021. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/13/2/680/htm>. Acesso em: 24 nov. 2021.

BRASIL - Ministério da Cultura. **Inventário Nacional de Bens Imóveis**: Sítios urbanos tombados. Manual de preenchimento. Brasília: IPHAN | DID, 2002.

CÂMARA da Cidade de Goiás. **Museu da Bandeira**. Disponível em: https://camaragoias.gov.br/sing_turismo/museu-das-bandeiras/. Acesso em: 23 nov. 2021.

CINTRA, J. P., GONÇALES, R. Aplicações das tecnologias Laser Scan e aerofotogrametria por drone para museus. **Anais Do Museu Paulista: História E Cultura Material**, v. 27, p. 1-28, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1982-02672019v27e25d1>. Acesso em: 23 nov. 2021.

CONSERVAFAU. **O levantamento métrico-arquitetônico na conservação do patrimônio**. São Paulo: FAU-USP, [s.d.] [online]

COSTA, Gonçalo Filipe Correia da. **Fotogrametria 3D no Design de Jogos Digitais**: Estudo de caso da concepção de assets fotorrealistas em ambientes amadores.

Relatório de Projeto para obtenção do Grau de Mestre em Design e Desenvolvimento de Jogos Digitais. Artes e Letras, Universidade da Beira Interior. Covilhã, 2020.

DEZEN-KEMPTER, E. **Ferramentas digitais para documentação da arquitetura e do patrimônio**. [apresentação de slides] *In: SEMINÁRIO IBERO-AMERICANO ARQUITETURA E DOCUMENTAÇÃO*, 7., 6-8 out. 2021, online.

HELLMAN, T.; LAHTI, M. **Photogrammetric 3D Modelling for virtual Reality**. Seinäjoki, Finland, 2018. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/327227913_photogrammetric_3d_modeling_for_virtual_reality. Acesso em: 24 nov. 2021.

IBAÑEZ-ETXEBERRIA, A.; GÓMEZ-CARRASCO, C. J.; FONTAL, O.; GARCÍA-CEBALLOS, S. Virtual Environments and Augmented Reality Applied to Heritage Education. An Evaluative Study. **Applied Science**, v. 10, n. 7, p. 1-20, 2020. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2076-3417/10/7/2352>. Acesso em: 18 jul. 2021.

JO, D.; KIM, G. J. ARIoT: Scalable Augmented Reality Framework for Interacting with Internet of Things Appliances Everywhere. **IEEE Transactions on Consumer Electronics. on Consum**, v. 62, n. 3, 28, p. 334-340, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/TCE.2016.761320>. Acesso em: 22 set. 2021.

MALLIR, A.; SIOUNTRI, K.; SKONDRAS, E.; VERGADOS, D. D.; ANAGNOSTOPOULOS, C. N. The Enhancement of Underwater Cultural Heritage Assets using Augmented Reality (AR). **The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, v. XLII-2/W10, p. 119-125, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XLII-2-W10-119-2019>. Acesso em: 2 ago. 2021.

MOJANG©. **Minecraft Education Edition**. 2020. Disponível em: <https://education.minecraft.net/>. Acesso em: 20 nov. 2021.

RAHAMAN, H.; CHAMPION, E. To 3D or Not 3D: Choosing a Photogrammetry Workflow for Cultural Heritage Groups. **Heritage**, n. 2, p. 1835-1851, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/heritage2030112>. Acesso em: 23 nov. 2021.

REMONDINO, F. Heritage Recording and 3D Modeling with Photogrammetry and 3D Scanning. **Remote Sensing**, v. 3, n. 6, p. 1104-1138, 2011. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2072-4292/3/6/1104>. Acesso em: 24 nov. 2021.

ROBLOX Corporation©. **Roblox**. Lançado em 1 de setembro de 2006. Disponível em: <https://www.roblox.com/>. Acesso em: 23 nov. 2021.

ROMERO, Jose Enrique Ocaña. El videojuego como herramienta para la conservación y restauración del patrimonio artístico: la Notre-Dame digital de Assassin 's Creed Unity. *In: GKA ARTS - CONGRESO INTERNACIONAL DE ARTES Y CULTURAS*, 2019. **Anales...** Disponível em: <https://conferences.eagora.org/index.php/artes/ARTS2019/paper/view/10204>. Acesso em: 23 nov. 2021.

UBISOFT©. **Assassin's Creed**. 2020. Disponível em: <https://www.ubisoft.com/pt-br/game/assassins-creed>. Acesso em: 23 nov. 2021.

VALENÇA, J.; JÚLIO, E. N. B. S.; ARAUJO, H. J. Aplicações de Fotogrametria, Laser-Scanning e Análise Multi-Espectral no Levantamento Geométrico e de Anomalias em Estruturas. **Construção Magazine**, p. 6-10, 2008. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/268802149>. Acesso em: 24 nov. 2021.

NOTAS

Publisher

Universidade Federal de Goiás. Faculdade/Instituto/Escola. Programa de Pós-graduação Projeto e Cidade. Publicação no Portal de Periódicos UFG.

As ideias expressadas neste artigo são de responsabilidade de seus autores, não representando, necessariamente, a opinião dos editores ou da universidade.

RECEBIDO EM: 16/10/ 2021

APROVADO EM: 29/11/2021

PUBLICADO EM: 31/12/2021