

O modelo tridimensional e a Arquitetura: do físico ao digital

Simone Helena Tanoue Vizioli,
Giulia Ravanini Silva*

Resumo A representação e a linguagem são um par indissociável no campo da Arquitetura. Desenhos e modelos também caminham juntos desde vários séculos, ocupando papéis similares: registros da realidade, projetos de ideias, documentação da história. Este artigo destaca algumas potencialidades dos modelos tridimensionais: discute sobre aspectos históricos, discute também novas tecnologias de mapeamento digital 3D e por fim, apresenta uma experiência prática didática – workshop “Fotogrametria + Patrimônio”. Ele foi realizado pelo Núcleo de Apoio à Pesquisa em Estudos de Linguagem em Arquitetura e Cidade do Instituto de Arquitetura e Urbanismo da USP (n.elac/ iau usp) e teve como objetivo a aplicação da técnica da fotogrametria no estudo da Fazenda do Pinhal, São Carlos, SP.

Palavras-chave: modelo tridimensional, documentação, fotogrametria.

El modelo tridimensional y la arquitectura: de lo físico a lo digital

Resumen Representación y lenguaje son una pareja inseparable en el campo de la Arquitectura. Los dibujos y las maquetas también han caminado juntos durante varios siglos, desempeñando roles similares: registros de la realidad, proyectos de ideas, documentación de la historia. Este artículo destaca algunas potencialidades de los modelos tridimensionales: discute aspectos históricos, también discute nuevas tecnologías para el mapeo digital 3D y finalmente, presenta una experiencia didáctica práctica - taller “Fotogrametría + Patrimonio”. Fue realizado por el Centro de Apoyo a la Investigación de Estudios de Idiomas en Arquitectura y Ciudad del Instituto de Arquitectura y Urbanismo de la USP (n.elac / iau usp) y tuvo como objetivo aplicar la técnica de la fotogrametría en el estudio de Fazenda do Pinhal, São Carlos, SP.

Palabras clave: modelo tridimensional, documentación, fotogrametría.

The three-dimensional model and architecture: from physical to digital

Abstract Representation and language form an inseparable pair in the field of Architecture. Drawings and models also walked together for several centuries, playing similar roles: records of reality, projects of ideas, historical documentation. This article highlights some potentialities of three-dimensional models: it discusses historical aspects, it also discusses new technologies for 3D digital mapping and, finally, it presents a practical didactic experience - “Photogrammetry + Heritage” workshop. It was carried out by the Research Center for Language in Architecture and City of the Institute of Architecture and Urbanism at USP (n.elac / iau usp) and aimed to apply the technique of photogrammetry in the study of Fazenda do Pinhal, São Carlos, SP.

Key words: three-dimensional model, documentation, photogrammetry.

Pensar o tema Desenho, obriga-nos a pensar a Linguagem em seu campo ampliado e assim, discutir entre os vários tópicos, a representação tridimensional, os modelos, visto que eles acompanham a evolução do homem ao longo de sua história. Vivemos hoje o que chamamos de “quarta revolução industrial”, ou “Indústria 4.0”, cujo conceito foi desenvolvido pelo alemão Klaus Schwab, diretor e fundador do Fórum Econômico Mundial. Esta nova fase não é apenas um avanço tecnológico, é uma mudança no modo de vida do ser humano, na forma como nos relacionamos com o mundo. Ela se sobrepõe à terceira revolução industrial (revolução informacional) caracterizada pelo desenvolvimento dos eletrônicos, tecnologia da informação e das telecomunicações. Assim, a quarta revolução se apresenta como a união da tecnologia com os sistemas digitais inteligentes.

Pretende-se neste artigo retomar alguns conceitos dos modelos analógicos, a evolução dos modelos digitais e apresentar uma experiência didática de um mapeamento digital 3D. Assim, o texto divide-se em uma breve revisão sobre o tema, apresenta as tecnologias de mapeamento digital 3D e descreve o workshop “Fotogrametria + Patrimônio” ocorrido em 2019, no IAU USP.

Iniciamos com um panorama dado por Flusser (2008): para ele, a história pode ser dividida em quatro momentos: o primeiro gesto pelo qual o homem se tornou sujeito do mundo, foi o da mão estendida; o segundo, o da visão reveladora de contextos; o terceiro, o da explicação conceitual de visões, estabelecadora de processos e finalmente, o quarto gesto, aquele que liberou o homem para a criação, descrito por ele pelo gesto do apertar teclas. É inegável que a relação entre o homem e o objeto se alterou significativamente nas últimas décadas; em relação à linguagem gráfica, os primeiros traços foram esculpidos em pedras como registro histórico, registro da memória; posteriormente o homem descobriu meios de transferir o mundo real para o papel e os aperfeiçoou com a invenção do desenho perspectivo. Hoje, é possível se viver por meio da realidade virtual.

* Simone Helena Tanoue Vizioli é Arquiteta e Urbanista, Professora do Instituto de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, membro fundadora do Núcleo de Apoio à Pesquisa em Estudos de Linguagem em Arquitetura e Cidade (N.ELAC - IAU.USP), ORCID <<https://orcid.org/0000-0002-7057-6836>>. Giulia Ravanini Silva é Graduada do Curso de Arquitetura e Urbanismo do Instituto de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, pesquisadora do Núcleo de Apoio à Pesquisa em Estudos de Linguagem em Arquitetura e Cidade (N.ELAC - IAU.USP).

Ainda discorrendo brevemente sobre essa evolução tecnológica, segundo Carpo (2017), nos anos 1990, é possível afirmar que as novas máquinas digitais (não mais “novas”) eram usadas para implementar a velha ciência que se conhecia, isto é, toda a ciência era transferida para as novas plataformas computacionais que estavam sendo descobertas. Hoje, pelo contrário, os computadores podem funcionar melhor e mais rapidamente se, a eles, for permitido seguir um método diferente, não humano e pós-científico. Carpo afirma ainda que em um sentido metafórico, os computadores estão agora desenvolvendo sua própria ciência - um novo tipo de ciência. Nos anos 1990 havia uma certa falta de dados computacionais e hoje, lida-se com um excesso de dados. Há ainda uma outra relação, aquela na qual o homem não mais controla os dados do computador, a simbiose homem-computador é dominada pela máquina, e se o homem assim o permitir, a máquina caminhará sozinha para a sua própria concepção (VIZIOLI, 2019).

Nesta evolução histórica e tecnológica é preciso definir não mais o papel da máquina, mas sim, o papel do homem. O homem já atravessou grandes revoluções e está vivenciando a Revolução Digital, que vem proporcionando mudanças na sociedade e em seu modo de vida. A Revolução Digital (RIGHI; CELANI 2008) incluiu os computadores e a internet nas atividades mais básicas dos seres humanos proporcionando uma mudança nos modos de produção e de desenvolvimento de produtos, ampliando as fronteiras de conhecimento e aumentando exponencialmente a capacidade de processamento e de resolução de tarefas complexas. Consequentemente, a Arquitetura acompanhou essas revoluções e foi diretamente influenciada por elas.

Veloso (2011) compara os sistemas de criação produtiva que seriam responsáveis por gerar duas posturas para o labor do arquiteto: o “arquiteto-ferramenta” e o “arquiteto-aparelho eletrônico”, estabelecendo novas perspectivas para o desenho arquitetônico auxiliado por computador. Na postura “arquiteto-ferramenta” o homem tem posição central no processo criativo, quando ele projeta, a imagem mental é produzida com o auxílio de representações manuais, estabelecendo o ciclo do projeto em torno de si. Com o surgimento das novas tecnologias digitais, estabeleceram-se novas perspectivas para o desenho arquitetônico auxiliado por computador, o “arquiteto-aparelho eletrônico”. Usando-se aparelhos eletrônicos para esse fim, o ciclo, descrito na primeira postura, sofre rupturas e o papel do homem é descentralizado, gerando uma nova postura, na qual a produção se torna uma simbiose de dois agentes, um pensante e outro que processa informações, colocando em pauta um novo ciclo de projeto, o que demanda novas formas de diálogos e interações.

O modelo tridimensional como ferramenta no processo projetivo arquitetônico

As chamadas maquetes, assim como as representações bidimensionais, desenhos, atuam de modo diverso, dependendo dos objetivos a que se propõem. Segundo Mills (2007), podem ser divididas em dois grupos: maquetes primárias – as produzidas no estágio de evolução de projeto, com conceitos mais abstratos e de caráter de exploração - e maquetes secundárias – as que se referem a detalhamento e situações mais específicas do projeto. No primeiro grupo podem ser elencadas: maquete preliminar; maquete de diagrama, maquete de conceito, maquete de volumes, maquete de cheios e vazios, maquete de desenvolvimento, maquete de apresentação ou maquete com acabamento; e no grupo das maquetes secundárias, encontram-se: maquete do sítio, com relevo, maquete do contexto ou maquete de urbanismo, maquete de paisagismo ou cobertura vegetal, maquete de interiores, maquete de seção, maquete de fachadas, maquete da trama ou estrutura, maquete de detalhe ou conexão.

As maquetes chamadas convencionais foram um recurso bastante popular durante o Renascimento e, segundo Farrelly (2011 apud CAMPOS, 2018), muitas vezes eram o único meio empregado para a representação de uma ideia arquitetônica, visto que os desenhos só se tornaram o principal método de representação em Arquitetura durante o período *Beaux-Arts* (final do século XIX e início do século XX). Entretanto, a partir do século passado, muitos arquitetos começaram a perceber as potencialidades das maquetes como meio de linguagem, expressão e representação física de suas ideias. Antonio Gaudí (1852-1926) foi um arquiteto conhecido por utilizar maquetes de gesso para o desenvolvimento de suas complexas formas estruturais.

O modelo tridimensional opera com alguns princípios presentes na feitura do desenho, como a percepção, cognição, representação, porém, vai além, permite a compreensão espacial da ideia. O modelo tridimensional pode ser usado como uma ferramenta a serviço de uma representação mais específica, não necessariamente como um modo de apresentação finalizado, mas como objeto de estudo de um desenho arquitetônico (BASSO, 2005).

Dessa maneira, coloca-se em discussão o uso do modelo tridimensional no processo projetivo com caráter operativo, em contraponto com o modo utilitário. O primeiro trata-se da transformação que se dá no projeto, o fazer-se pensar e repensar, gerando uma maior complexidade compreensiva e com uma grande carga de reflexão; já o caráter utilitário se serve de forma imediata, sem agregar mais possibilidades, esgotando seus efeitos e soluções. (SOLANA, 2007).

Embora este texto pretenda destacar a importância do modelo tridimensional no campo da Arquitetura com ênfase na documentação patrimonial nos dias atuais, faz-se aqui um breve retorno ao passado, resgatando o papel dos modelos, na representação de projetos e no processo projetivo criativo. A história mostra que desde a Antiguidade, as maquetes eram usadas nos processos dos projetos que eram apresentados aos Conselhos. Os modelos tridimensionais de Filippo Brunelleschi (1377-1446) para o Domo de Santa Maria Del Fiore em Florença são considerados referências nos estudos de projetos. Ele utilizou vários modelos e maquetes, alguns em madeira outros em argila, como modelos experimentais no processo de projeto para a construção da cúpula do Domo (SALMASO; VIZIOLI; 2013)

O modelo já possuía várias funções, porém, ainda no Renascimento, o arquiteto Leon Battista Alberti descreveu a sua importância no desenvolvimento da concepção da arquitetura e não somente em sua representação. Ele era a favor de modelos sem elementos decorativos, visto que eles eram capazes de mostrar claramente a simplicidade das partes da obra. Alberti ressaltava o uso do modelo como ferramenta de projeto, deveria sofrer acréscimos, diminuições, alterações, e não simplesmente um produto final para a apresentação da obra. (BASSO, 2005). Mais adiante, no final do século XIX, um arquiteto que se utilizou desse método de projeto, foi o espanhol Antonio Gaudí (1852 – 1926), buscando e testando soluções estruturais e, assim, desenvolvendo uma linguagem arquitetônica. (MILLLS, 2007).

A história dos modelos arquitetônicos é muito antiga, sendo que os mais antigos exemplares conhecidos datam do 6º Milênio, cerca de 5800 a.C., pertencentes a culturas neolíticas do sudoeste europeu. (ROZESTRATEN, 2003). Também foram encontrados modelos das culturas do oriente próximo, modelos egípcios, egeanos (cretenses e cicládicos), cipriotas, gregos, villanovianos e romanos, etc.

A construção dos modelos arquitetônicos parece ter suas origens somente a partir do momento em que a arquitetura se constituiu como “fenômeno cultural permanente e durável” que se associava à memória, ao cotidiano coletivo, aos rituais de conhecimento e da prática construtiva. (ROZESTRATEN, 2003)

O modelo tridimensional físico e alguns arquitetos no Brasil

Seria equivocado ter-se a pretensão de esgotar o tema nestas breves linhas. Pretende-se neste momento, apenas citar alguns exemplos de modelos físicos usados em projetos

arquitetônicos e a passagem para o modelo digital, com suas inovações e aplicabilidades, para então, acrescentar à essa discussão a importância que vem ganhando força nos dias atuais – o modelo como fonte de documentação patrimonial.

Lina Bo Bardi utilizava modelos físicos durante o processo de projeto, a fim de verificar quais decisões seriam tomadas em relação ao projeto. No entanto, nenhuma dessas maquetes foi guardada; apenas os modelos feitos a posteriori, com fins de registro, é que foram preservados e alguns deles podem ser encontrados no acervo do Instituto Lina Bo e P. M. Bardi, na Casa de Vidro.

Paulo Mendes da Rocha, durante seu processo de projeto, produz inúmeras maquetes de papel feitas em poucos minutos, para o diálogo consigo mesmo; acredita que a maquete mostra o raciocínio de projeto, como este foi desenvolvido, e não que o mesmo não foi obtido nem encontrado pelo modelo. (ROCHA, 2007, p.30)

No livro “Maquetes de Papel”, Catherine Otondo e Marina Grinover falam de um “momento mágico” que ocorre durante a elaboração de um projeto de arquitetura, que seria “aquele em que os arquitetos têm que transformar os primeiros rabiscos em algo palpável”, a fim de “aferir a validade dos princípios adotados num primeiro impulso criativo” (ROCHA, 2007, p. 11-12). Para o próprio arquiteto, que considera a maquete como sendo um instrumento de desenho, o modelo tridimensional – no sentido de pequenos modelos simples, que “não é para ninguém ver” – faz parte do processo de trabalho do arquiteto.

Arquitetos contemporâneos também utilizam modelos físicos em seus processos de projeto, a saber: Marcos Acayaba, mais especificamente no projeto do Conjunto Habitacional da Ponte dos Remédios, São Paulo; Andrade Morettin Arquitetos, com destaque para o projeto vencedor do concurso para a nova sede do Instituto Moreira Salles (Figura 1), na Avenida Paulista, em São Paulo; o escritório Bernardes Jacobsen, entre outros. Os modelos tridimensionais físicos colaboram para se ter uma visão geral do projeto, auxilia na tomada de decisões e na compreensão de como o projeto interage com o seu entorno, acessos, etc.

Figura 1: Fotografia das maquetes de estudo da nova sede do Instituto Moreira Salles projetada pelo escritório Andrade Morettin Arquitetos. Fonte: fotografia de VIZIOLI, 2012.



O modelo tridimensional digital

A maquete digital ganhou um grande espaço no ambiente arquitetônico, seja ele acadêmico ou profissional, com o aperfeiçoamento e barateamento de diversos softwares. Uma das grandes qualidades do modelo digital, é que ele facilita operações geométricas que podem transformar as ideias iniciais em possibilidades alternativas, com a vantagem de ser modificado facilmente caso se faça necessário. O uso do computador também facilita e possibilita maior velocidade e precisão à representação, o que permite visualizações mais próximas da realidade, colocando à disposição do arquiteto múltiplas vistas, possibilitando uma melhor análise dos aspectos negativos e positivos de seu projeto (CARVALHO e FONSECA, 2007 apud CAMPOS, 2018). Há vários tipos de modelos, com funções distintas, sejam analógicos ou digitais e nesse contexto, encontram-se as representações digitais ilustrativas e realistas de projetos.

No cenário internacional, estão entre os arquitetos e escritórios contemporâneos que utilizam o modelo no processo projetivo: Morphosis, Eisenman Architects, Norman Foster, Gehry Partners, Richard Meier & Partners, entre outros. Eisenman acredita que haja um “diálogo consciente entre a maquete eletrônica e o modelo tridimensional” (MILLS, 2007, p.192).

Em um primeiro momento, o AutoCAD foi muito utilizado na representação bidimensional e com o avanço da tecnologia, os modelos digitais passaram a ocupar papel de destaque, tanto no processo do projeto quanto na representação final, onde as ferramentas de *rendering* vem contribuindo para a super valorização da imagem realista. Outra inovação é o *Building Information Modeling - BIM: A principal diferença entre maquetes virtuais tridimensionais e um modelo BIM é justamente a possibilidade de inserção da informação contida no BIM.*

Os modelos, sejam físicos ou digitais, sempre tiveram e continuarão tendo seus papéis tanto no processo de projeto como na representação final, realista do objeto. O BIM trouxe uma importante contribuição que se soma a essas funções dos modelos, a informação vinculada. Nesse contexto, outra tecnologia associada aos modelos, o mapeamento digital 3D, vem sendo retomado e amplamente utilizado como instrumento que auxilia a documentação, principalmente de patrimônios culturais.

As técnicas de documentação

As técnicas e tecnologias sempre estiveram presentes na representação da história da humanidade e em cada época são criadas novas possibilidades. Durante a renascença muitas construções greco-romanas foram documentadas em forma de desenhos eram estudadas por arquitetos, como Andrea Palladio e Etienne du Perac, e pintores, como Rafael Sanzio, para terem suas ideais de beleza e proporção reproduzidas em suas obras. Jokilehto (1999) comenta que “estes desenhos e pinturas são importantes documentações, porque geralmente eram ilustrações precisas das condições dos monumentos naquele tempo. Eles também registraram muitos edifícios que mais tarde foram destruídos” (JOKILEHTO, 1999, p.13, tradução nossa)

Também é durante o renascimento que o modelo arquitetônico começa a fazer parte da concepção de arquitetura, adquirindo uma função adicional na comunicação



Figura 2: Moulage de uma construção medieval no Cité de Architecture e Patrimoine. Fonte: foto de SILVA, 2016.

das ideias. Como expressa Adami (2016) o modelo fala uma linguagem fácil de ser compreendida, que se liga à experiência visual do observador. Logo, não há necessidades de regulações especiais ou línguas especializadas, como no desenho arquitetônico.

Segundo Silva e Vizioli (2018), a partir do século XIX, com a intensificação do interesse no estudo do patrimônio, também começam a surgir esforços de reproduzir tridimensionalmente monumentos de interesse histórico-cultural. O método dos *moulages* era extremamente comum na época. Tal técnica consiste na aplicação de argila sobre uma superfície a ser reproduzida: após secagem, a argila gera um negativo que é preenchido com gesso e resulta em uma cópia fiel do elemento de interesse. Um dos principais defensores dessa prática foi Viollet Le Duc que em 1879 criou o Museu de Esculturas Comparativas em Paris (hoje *Cité de Architecture e Patrimoine*), que expõe o método presente em tais fragmentos e com um foco nas *moulages* de edifícios da França medieval (Figura 2).

Com os avanços tecnológicos decorrentes da industrialização, também surgiram novas maneiras de documentar cidades e edifícios, como litografuras e fotografias. Dois casos chamam atenção na metade do século XIX, o de Alfred Guesdon, que se especializou na documentação de monumentos e sítios arqueológicos, produzindo mais de 100 litografuras aéreas de cidades europeias, e o caso de Charles Marville, fotógrafo contratado pelo prefeito parisiense, Haussmann, para documentar a cidade antes e durante de suas grandes reformas urbanas, entre 1853 e 1870.

Nos últimos anos tem sido observada uma crescente importância dada ao patrimônio arquitetônico, contemplada no aumento considerável de material gerado sobre assunto, na criação de órgãos ligados à sua preservação e na elaboração de um aparato legal que se volta para sua proteção. A documentação é o ponto de partida de todos estes processos: com a finalidade de registrar seu estado atual e auxiliar na compreensão das transformações ocorridas ao longo dos anos, a documentação também é essencial para preservação e possíveis intervenções. “A documentação representa uma parte importante e essencial no processo de preservação do patrimônio e da memória, uma vez que qualquer atividade a ser desenvolvida, seja na conservação ou na restauração de sítios e monumentos históricos, requer seu registro o mais completo e preciso possível.” (AMORIM; GROETELAARS, 2008, p.93).

Mapeamento digital 3D

Entre os diferentes métodos de documentação existentes, tem-se destacado nos últimos anos duas tecnologias baseadas na digitalização tridimensional por meio de nuvens de pontos: o *laser scanner* e a fotogrametria. Seja pela rápida aquisição e geração de dados, pela extrema precisão ou pela crescente disponibilidade, ambas têm se mostrado como promissoras técnicas para a digitalização tridimensional de patrimônio edificado. Ao contrário dos softwares usados na criação de modelos e que dependem de desenhos e medidas empíricas, estas tecnologias têm como método a captação de pontos do próprio objeto de estudo, em seu estado atual, gerando um modelo digital preciso que pode revelar tridimensionalmente imperfeições, patologias e camadas de memória.

A importância da documentação digital é reforçada em casos extremos como o do Templo de Bel, em Palmira na Síria, destruído em 2015 em um ato terrorista ou da Catedral de Notre Dame que, em 2019, teve a maior parte de seu telhado destruído por um incêndio. Antes dos danos sofridos ambos monumentos haviam sido mapeados por tecnologias de levantamento digital. O templo por meio da fotogrametria e a catedral por meio do laser scanner. Como Peterson (2019) explica para uma estrutura como a Notre-Dame, construída ao longo de séculos, é quase certo que qualquer desenho ou material sobre sua construção esteja incompleto ou incorreto. Considerando isto, os dados do scanner podem mostrar uma verdade que nenhuma outra fonte mostra.

Atualmente qualquer atividade a ser desenvolvida, seja de documentação ou restauro, deve ter um registro completo e preciso, e as tecnologias de captação remota de pontos se mostram revolucionárias por permitem um monitoramento a longo prazo do objeto. Sobre essa capacidade de análise Maumont (2010) explica que no quadro da conservação e gestão de sítios, elas permitem localizar e medir as alterações de todas as ordens, avaliar suas evoluções e situar todas intervenções, análises e testes. Assim, é possível realizar comparações precisas em escala de milímetros de mudanças no objeto de estudo. (WARDEN, 2009).

O scanner 3D

O Scanner 3D, ou Laser Scanner, mede e registra o formato digital dos objetos através da conversão da geometria espacial para pontos em coordenadas x, y, z num espaço relativo às lentes do scanner. Através de uma estação de scanner posicionada a uma

certa distância do objeto de estudo são geradas matrizes geométricas tridimensionais que auxiliam na produção de maquetes e diagnósticos.

O equipamento surgiu nos anos 1960 e era voltado para as necessidades da engenharia, sendo primeiramente utilizado em levantamentos de pontes, indústrias e encanamentos, porém, a partir dos anos 1990 com o rápido desenvolvimento de computadores seu uso se expandiu para diversas áreas, entre elas: ciência forense, medicina, arqueologia e documentação de patrimônios arquitetônicos. Hughes e Loudon (2005) comentam que aplicações na preservação histórica envolvem o registro das condições existentes e da forma dos edifícios, tanto quanto componentes arquitetônicos e materialidade. O scanner captura informações com um alto nível de precisão para atingir tal nível de documentação.

Sua popularidade se deve principalmente ao emprego de uma instrumentação de fácil uso e cada vez mais portátil, que realiza levantamentos de pontos com precisão milimétrica, gerando um modelo tridimensional virtual em um período razoável de tempo. Este modelo virtual pode ser usado para visualização, documentação e distribuição, e dele podem ser extraídas medidas e imagens 2D. A maior desvantagem é que o laser scanner não fornece um produto colorido ou texturizado, e o processo de adicionar tais depende de imagens do objeto e pode ser bastante complexo. Porém, uma operação bem-sucedida depende de alguns fatores durante sua execução. “A precisão final do produto final depende de diversos fatores, como as capacidades inerentes do instrumento, distância do scanner ao objeto, ângulo de incidência do raio laser em referência à superfície, material da superfície do objeto, etc.” (FASSI; FREGONESE; ACKERMANN; DE TROIA, 2013, p. 74),

No texto de SILVA; VIZIOLI (2018), são apresentados exemplos do uso dessa tecnologia. Com sua disseminação a tecnologia foi utilizada na documentação de importantes monumentos, como o Duomo de Milão e as ruínas de Petra na Jordânia, a digitalização do segundo exemplo ocorreu através estações de scanner em estações estratégicas gerando nuvens de pontos extremamente bem detalhadas.

No Brasil, a técnica de scanner 3D ainda está sendo lentamente difundida, o principal motivo na falta de avanços são os custos elevados dos scanners usados para digitalização de objetos de grande escala e a falta de técnicos especializados. Grupos internacionais que já pesquisam tais tecnologias vêm sendo convidados para difundir a digitalização de patrimônios, como o caso do grupo DIAPreM, baseado na Universidade de Ferrara, Itália, que em parceria com a Leica Geosystems desenvolveu modelos do Pelourinho, em Salvador, da Casa das Canoas, no Rio de Janeiro, e da Casa de Vidro, em São Paulo.

No levantamento do histórico “Casarão 8” em Pelotas, tombado pelo IPHAN, a coleta de dados foi feita em parceria com uma empresa que disponibilizou o laser scanner. Sobre as dificuldades encontradas no processo Borda et al (2016) comentam:

Este estudo tratou-se essencialmente do problema de construir uma cultura, em um contexto acadêmico específico, capaz de perceber a importância e de usufruir imediatamente das potencialidades de uma nuvem de pontos para a representação de uma edificação de interesse patrimonial. Sem uma infraestrutura conceitual e tecnológica suficiente para isto, buscou-se o estabelecimento de uma parceria. (BORDA et al, 2016, p.655)

Num panorama geral, as técnicas de scanner 3d continuam a evoluir e apresentar novas possibilidades, avanços tecnológicos dos equipamentos, menores, mais leves e com um maior alcance, e em softwares que conseguem criar mais rapidamente modelos precisos. “Esta tecnologia une os dois campos, da engenharia e da preservação histórica, ao expandir a habilidade de medir objetos, estruturas e paisagens com uma certa facilidade. O scanner 3D diminui o tempo em campo e aumenta a precisão e segurança”. (HUGHES E LOUDEN, 2005, p.45, tradução nossa). Porém, em alguns estudos, são apontadas as dificuldades no tratamento das cores utilizadas no levantamento por scannerização.

A fotogrametria

A fotogrametria é definida como “Técnica de medição tridimensional que usa fotografia para obter a localização de pontos comuns entre múltiplas fotos, de maneira que ocorra a reconstrução tridimensional de um modelo digital de um objeto” (ROMERO E BUSTAMANTE, 2017, p.17). Os objetos de estudo podem ser complexos e detalhados, como pessoas, conjuntos de edifícios, ou até mesmo monumentos em que o acesso está impossibilitado, porém são visíveis. Seus únicos requerimentos são uma câmera digital de boa resolução, de preferência que possua modo manual, e um software próprio para o processo. Maumont (2010) acredita que a capacidade principal da fotogrametria reside no registro da imagem (logo, o objeto) com todas suas características (topográficas, espaciais e arqueológicas) já que a imagem funciona como arquivo tridimensional, permitindo tratamentos e recuperações posteriores.

Suas origens remontam a meados do século XIX, um dos primeiros casos de que se tem notícia é o do levantamento da catedral de Wetzlar, Alemanha, pelo arquiteto Albrecht Meydenbauer no ano de 1858. Meydenbauer acreditava que o principal uso de sua invenção seria para permitir a documentação do patrimônio construído, de maneira que ele poderia ser reconstruído em caso de guerra (MILETO E VEGAS, 2017, p.33 apud SILVA; VIZIOLI, 2018). A tecnologia foi adotada desde o início do século XX por órgãos militares, principalmente como uma ferramenta de mapeamento aéreo, porém foi apenas no final do século, com os avanços da computação e a sua popularização que a fotogrametria se tornou, ao mesmo tempo, mais sofisticada e mais popularizada. Seu custo é mais baixo que o do Scanner 3D, com os softwares custando em média de U\$S 500, porém o scanner tem uma capacidade de captação de pontos bem mais elevada.

Com a difusão de computadores capazes de gerir uma grande quantidade de dados e com os avanços da computação gráfica houve uma maior possibilidade da execução de levantamentos envolvendo a fotogrametria, contudo as duas fases do processo têm diferentes dificuldades. Fassi et al. (2013) advertem que a fotogrametria é uma ferramenta de medição caracterizada por uma rápida fase de aquisição de dados, porém seguida por uma medição manual consumidora de tempo e um estágio de processamento de dados computacionais. Embora a primeira etapa seja a mais rápida, deve-se tomar certos cuidados sobre as fotografias tiradas, já que deve haver uma cobertura de todas as superfícies do objeto, e duas fotos cobrindo a mesma área devem se sobrepor em pelo menos 60% da área. Não são recomendados objetos muito sombreados ou com superfícies refletivas. As câmeras mais recomendadas para o procedimento são as DSLR de alta resolução.

A segunda fase envolve o *upload* das fotos para um software SfM (*Structure from Motion*), que usa um algoritmo para identificar pontos comuns de todas as fotos e então os posiciona em coordenadas definidas pelo software, gerando uma nuvem tridimensional de pontos baseado nas imagens do objeto. Além da documentação gráfica do objeto de estudo, o software também capta informações contidas em fotografias, como cores e texturas. Romero e Bustamante (2017) dizem que as vantagens de usar um software SfM incluem o baixo custo, novos aprendizados e extrema portabilidade. A maior desvantagem é relacionada à falta de escala dos modelos gerados, sendo necessário combinar o modelo com medidas empíricas ou topográficas do local.

Entretanto, Fassi et al (2013) advertem que a fotogrametria é uma ferramenta de medição caracterizada por uma rápida fase de aquisição de dados, porém seguida por uma medição manual e um estágio de processamento de dados computacionais que consomem muito tempo. Outra característica desvantajosa de seu uso é que ela ainda não é capaz de capturar superfícies transparentes, brilhantes ou de cor uniforme, pois não existe um padrão visual para ser detectado.

Além do custo da fotogrametria tornar-se mais acessível, suas aplicações estão cada vez mais amplas, já que modelos gerados também podem servir de base para objetos impressos tridimensionalmente, também sendo possível no caso do scanner 3D e a tecnologia pode partir também de fotografias já existentes, criando novos horizontes até mesmo para edifícios que não existem mais, como ocorreu no caso de reconstrução de do tempo de Bel em Palmira, na Síria, através de fotos de turistas. O templo, patrimônio mundial da UNESCO, foi destruído pelo Estado Islâmico em 2015, e a pesquisa realizada pela Universidade de Ciências Aplicadas e Artes, na Suíça, e pela Universidade Politécnica de Marche, na Itália, buscou reconstruí-lo contando com duas fontes de imagens, as turísticas de domínio público encontradas na internet e imagens panorâmicas feitas com equipamentos profissionais em 2010. O resultado foi uma reconstrução quase completa do templo, com alto nível de detalhe, sendo possível ver isso nos modelos resultantes da mescla de nuvens de pontos e no texturizado. “Reconstruções virtuais tridimensionais também são uma importante declaração que crimes de guerra podem destruir fisicamente monumentos e artefatos, mas isso não irá erradicar sua representação virtual da memória da humanidade”. (WAHBEH; NEBIKER; FANGI, 2016, p.82, tradução nossa).

No Brasil, a fotogrametria é mais utilizada que o *laser scanner*, devido aos custos consideravelmente mais baixos. Um caso que se destaca é o do Laboratório de estudos avançados em Cidade, Arquitetura e Tecnologias Digitais (LCAD) vinculado à Universidade Federal da Bahia, pioneiro no uso da fotogrametria, que vem desenvolvendo pesquisas relacionadas à aplicação de fotogrametria em patrimônio arquitetônico desde 2003, quando foi iniciada a documentação digital de locais de interesse histórico e patrimonial, como por exemplo a Capela de Nossa Senhora da Escada, em Barueri, patrimônio tombado pelo IPHAN.

Uma experiência prática: do mapeamento digital ao modelo 3D digital

O Núcleo de Apoio à Pesquisa em Estudos de Linguagem em Arquitetura e Cidade do Instituto de Arquitetura e Urbanismo da USP (n.elac/ iau usp) vem desenvolvendo

pesquisas (Projeto FAPESP 2018/18958-0) com o objetivo de se estudar a o mapeamento digital em 3D – fotogrametria, com aplicação em duas frentes: como documentação de patrimônios culturais e como contribuição para a Educação Patrimonial (jogos educativos utilizando modelos digitais).

Em abril de 2019, foi realizada a oficina interdisciplinar “Fotogrametria + Patrimônio”, que teve como objetivo o estudo e a experimentação da técnica de fotogrametria - visando obter um modelo tridimensional que pudesse ser usado tanto para a documentação como para a educação patrimonial. O workshop contou com a participação de dezoito alunos de graduação, oito alunos de pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo do IAU.USP e contou com a presença de Andrea Adami, professor convidado do Politécnico di Milano que ministrou palestra e orientou os estudantes nos exercícios práticos de mapeamento digital. Sua participação foi possível devido ao vínculo desta atividade ao projeto “Estudo de mapeamento digital 3D (fotogrametria) para educação e documentação patrimonial”.

Este workshop pretendeu, além do aprendizado e aplicação da técnica da fotogrametria, somar a questão do patrimônio histórico cultural. Para isso foi selecionada a Fazenda do Pinhal como objeto de estudo e de intervenção. Falar de Patrimônio Histórico e Cultural, apesar de ser um assunto que envolva passados distantes refletidos no presente, ainda é um debate muito recente para a maioria das pessoas, bem como a importância de se manter vivos os bens patrimoniais. Ainda que fundamentada por lei, a preservação do patrimônio cultural encontra-se bastante efêmera, não há o devido reconhecimento do Patrimônio Histórico Cultural como parte importante da história. Assim, a educação patrimonial e a documentação são fundamentais para a proteção dos Patrimônios, museus, monumentos históricos, patrimônios naturais, orais, para evitar a destruição das riquezas arqueológicas, históricas, artísticas e naturais das gerações passadas.

A Casa do Pinhal - foi construída por volta de 1850; a fazenda está diretamente ligada à fundação da cidade, cumprindo um importante papel na história e na memória de São Carlos, além de documentar as transformações da arquitetura rural paulista ocorridas ao longo dos séculos XIX e XX. A Casa foi tombada em 1981 pelo CONDEPHAAT e em 1987 pelo IPHAN. A educação patrimonial é fundamental para a proteção dos patrimônios, museus, monumentos históricos, patrimônios naturais, orais, para evitar a destruição das riquezas arqueológicas, históricas, artísticas e naturais das gerações passadas. As principais ferramentas para a defesa e expansão do conhecimento do patrimônio histórico-cultural, é possibilitar aos indivíduos a capacidade de fazer a leitura do mundo que os rodeiam, uma alfabetização cultural que ocasionará a compreensão do universo sociocultural e temporal na qual a sociedade está inserida, junto à valorização da cultura local e nacional e sua diversidade. (ALMEIDA, SILVA, VIZIOLI, 2019).

Desenvolvimento do workshop

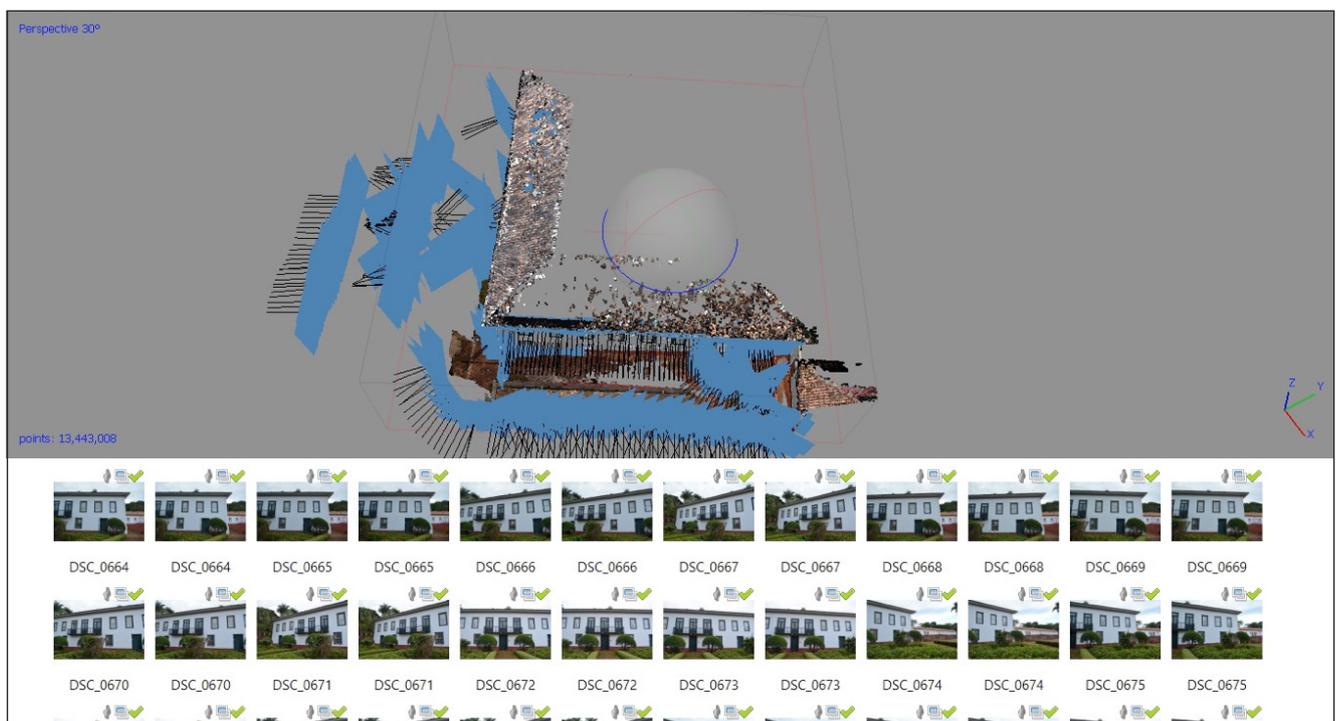
Etapa 1: a etapa de planejamento de campo e de levantamento fotográfico foi extremamente importante e elas influenciam diretamente no produto final; é necessário determinar os recursos a serem usados: para o levantamento dos pontos de controle e para a tomada fotográfica completa do objeto, a quantidade de fotos e os ângulos adequados para a tomada fotográfica.

Figura 3: Workshop no laboratório de informática do IAU USP. Fonte: foto de VIZIOLI, 2019.

Figura 4: Posicionamento das câmeras a partir das fotografias obtidas. Fonte: acervo n.elac, 2019.

Etapa 2: a segunda fase envolveu o *upload* das fotos para um *software SfM (Structure from Motion)*, que usa um algoritmo para identificar pontos comuns de todas as fotos e então os posiciona em coordenadas definidas pelo software, gerando uma nuvem tridimensional de pontos baseado nas imagens do objeto. Além da documentação gráfica do objeto de estudo, o *software* também capta informações contidas em fotografias, como cores e texturas.

No laboratório do IAU USP (Figura 3) foi desenvolvida a etapa 2, com a utilização do software *Agisoft Metashape*. A Figura 4 ilustra o posicionamento das fotos obtidas no levantamento.



A Figura 5 ilustra uma das etapas da construção do modelo, a primeira delas, a criação de um modelo de nuvem de pontos. Na sequência, segue-se para a etapa da geometrização dessa informação e por fim, a geração de um modelo denominado “mesh”, ao qual é aplicada a textura, resultando em um objeto muito realista (Figura 6).

Destaca-se que ficaram claras algumas limitações impostas pela tecnologia durante todo o processo de fotogrametria. Os objetos tridimensionais elaborados (cada grupo foi responsável por uma fachada da fazenda) resultaram em arquivos muito grandes e de difícil operação em computadores comuns. A experiência apontou dificuldades que culminaram em algumas lacunas - que podem ter sido causadas por erros no momento da captura das imagens ou interferência de fatores como a luminosidade e a superfície do objeto fotografado. O levantamento fotográfico não consegue isolar objetos que podem interferir na leitura das fachadas, como por exemplo as árvores. Além disso, as superfícies brancas e lisas são de difícil reconhecimento pelo software. Na Figura 7, o telhado não foi renderizado juntamente com as fachadas pois foi obtido por outro processo, o levantamento fotográfico foi realizado por drone e foi utilizado o software Pix4D para a geração da cobertura.

Figura 5: Criação da *dense cloud* no software *Agisoft Metashape Professional*. Fonte: acervo n.elac, 2019.

Figura 6: *Mesh* criada a partir das imagens das fachadas. Fonte: acervo, n.elac, 2019.



Ilacões

Apesar dos potenciais observados pela pesquisa, certas características como a dificuldade para obtenção de imagens, especialmente de objetos de grande escala como a casa do Pinhal, as falhas e imprecisões apresentadas no processamento das fotos no software e a necessidade de um georreferenciamento de pontos feitos por estações totais, tornam essa prática mais custosa e que demanda mais tempo do que era esperado inicialmente. Além disso a fotogrametria mostrou-se uma técnica que exige uma grande expertise para o pós-processamento dos dados.

Uma das dificuldades no processo, refere-se à interoperabilidade entre os softwares de mapeamento digital e os de geometrização. Em muitos casos, os modelos geometrizados são redesenhados praticamente passo a passo, tendo como base os modelos de faces e/ou nuvem de pontos. Este é um processo em desenvolvimento, espera-se para o final e 2020 um avanço tecnológico nessa inoperabilidade.

Contudo, considerando o leque de suas aplicações e benefícios, espera-se que ocorra uma maior disseminação das tecnologias de mapeamento digital 3D no Brasil, visto que elas se mostram como alternativas mais rápidas e precisas para a documentação de sítios e monumentos históricos se comparadas com métodos tradicionais.

Agradecimentos

Ao IAU.USP, pelo suporte, ao grupo de pesquisa N.ELAC pelo apoio e infraestrutura disponibilizados, ao professor Andrea Adami pela assessoria técnica, ao laboratório HE.SU.TECH e ao Politécnico de Milão – Polo de Mantova, ao Centro de Estudos da Casa do Pinhal pela abertura do espaço para as experimentações práticas, à EESC - STT e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) processo no. 2018/18958-0.

Referências bibliográficas

- ADAMI, A.; BACZYNSKI, G.; BOGONI, B.; BUCCI, F.; FREGONESE, L.; TAFFURELLI, L.; TOGLIANI, C. The Gonzagas' palace: Architecture of time, an interactive application for the discovery of the architectural history of Palazzo Ducale in Mantua. In: 2nd International Conference on Virtual System & Multimedia (VSMM) Kuala Lumpur. *Anais...* Kuala Lumpur: 2016, p. 1-8.
- ALSHAWABKEH, Y. Integration of Laser Scanning and Photogrammetry for Heritage Documentation. *Tese – Institut fur Photogrammetrie der Universitat Stuttgart*. Stuttgart, 2006.
- ALMEIDA, A. C. M. de; SILVA, Giulia R.; VIZIOLI, S. H. T. Fotogrametria como ferramenta de valorização patrimonial: oficina na Casa do Pinhal... In *Anais do I Encontro Brasileiro de Modelagem da Informação da Construção e Patrimônio Cultural*. São Carlos: IAU/USP, 2019.
- AMORIM, A. L.; GROETELAARS, N. A fotogrametria digital na documentação do patrimônio arquitetônico. In: Fórum Patrimônio: ambiente construído e patrimônio sustentável, Belo Horizonte, MG. *Anais...* Belo Horizonte: Vol.2, N.2, 2008, p. 92-105.
- BASSO, A. C. F. A ideia do modelo tridimensional em arquitetura. *Dissertação de Mestrado*. São Carlos: ESC, 2005.
- BATISTA, L. T. *O processo de projeto na era digital: um novo deslocamento da prática profissional*. Belo Horizonte: Escola de Arquitetura da UFMG, 2010.

- BORDA, A. et al. Pontos (de vista) sobre o patrimônio: entre o escaneamento e a fotogrametria. In: *Anais do SIGraDi 2016, XX Congreso de la Sociedad Ibero-americana de Gráfica Digital*, 2016. Buenos Aires, Argentina.
- CAMPOS, F. G.. Linguagens e representação gráfica em projeto: análise do acervo do Concurso Ópera Prima. *Dissertação (Mestrado)*, Instituto de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo. São Carlos: 2018.
- CARPO, M. *The second digital turn: design beyond intelligence*. Cambridge, MA: The MIT Press, 2017.
- FASSI, F.; FREGONESE, L.; ACKERMANN, S.; DE TROIA, V. Comparison between laser scanning and automated 3d modelling techniques to reconstruct complex and extensive cultural heritage area. In: *ISPRS Annals of Photogrammetry*, 2013. *Anais...* Trento: 2013, p. 73-80.
- FLUSSER, V. *O universo imagens técnicas: elogio da superficialidade*. São Paulo: Annablume, 2008.
- HUGHES, K. E.; LOUDEN, E. I. Louden. Bridging the Gap: Using 3-D Laser Scanning in Historic-Building Documentation. *APT Bulletin: The Journal of Preservation Technology*. Vol.36, No. 2/3(2005), pp.37-46.
- JOKILEHTO, J. *A history of architectural conservation*. Conservation and Museology Series. Oxford, Butterworth- Heinemann, 1999.
- MAUMONT, M. L'espace 3D: de la photogrammétrie à la lasergrammétrie. *In Situ (online)*. 2010. Disponível em <<http://insitu.revues.org/6413>> Acessado em: 20 de setembro de 2017.
- MILLS, C. B. *Projetando com maquetes*. Tradução de Alexandre Salvaterra – 2. Ed. – Porto Alegre: Bookman, 2007.
- PETERSON, L. *Laser Scans could help rebuild Notre Dame Cathedral*. The Atlantic, 16 de Abril de 2019. Entrevista concedida a Alexis C. Madrigal. Disponível em <<https://www.theatlantic.com/technology/archive/2019/04/laser-scans-could-help-rebuild-notre-dame-cathedral/587230/>> Acessado em: 08 de Setembro de 2019.
- RIGHI, T. A. F.; CELANI, G. Esboços na era digital: uma discussão sobre as mudanças na metodologia de projeto arquitetônico. Congresso Iberoamericano de gráfica digital SIGRADI. In *Anais...* Havana Cuba 2008.
- ROCHA, P. M. da. *Maquetes de papel: Paulo Mendes da Rocha*. São Paulo: Cosac e Naify, 2007, p. 11-12.
- ROMERO, D.; BUSTAMANTE, A. Photogrammetry as a Tool to Replace Eroded Decorative Architectural Elements. *APT Bulletin: The Journal of Preservation Technology*, Vol. 48, No. 1, SPECIAL ISSUE ON CONCRETE (2017), pp. 15-22.
- ROZESTRATEN, A. S. Estudo sobre a história dos modelos arquitetônicos na antiguidade: origens e características das primeiras maquetes de arquiteto. *Dissertação (Mestrado)* São Paulo: FAUUSP, 2003.
- SALMASO, J.; VIZIOLI, S. H. T.. O uso do modelo físico digital nos processos de projeto da arquitetura contemporânea. In *Anais do 2o. Seminário Internacional 'Representar Brasil 2013: as representações na Arquitetura, Urbanismo e Design'*, 2013. p. 523-536.
- SOLANA, E.. La utilidad frente ao operador en la expresión gráfica arquitectónica. In *EGA – expresión gráfica arquitectónica*, no. 12, ano 12, Valencia, 2007.
- SILVA, G. R.; VIZIOLI, S. H. T.. Documentação patrimonial na era digital: Escola Estadual Dr. Álvaro Guião... In *Anais digitais do V Encontro da Associação Nacional de Pesquisa e Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo: Arquitetura e Urbanismo no Brasil atual: crises, impasses e desafios*. Salvador, 2018.
- VIZIOLI, S. H. T.. Fotogrametria e o modelo de milhões de dados... In *Anais do I Encontro Brasileiro de Modelagem da Informação da Construção e Patrimônio Cultural*. São Carlos: IAU/USP, 2019.

VELOSO, P.. Cultura aumentada ou substituída? Distinções entre o arquiteto-ferramenta e o arquiteto aparelho-eletrônico. In *Anais do XV Congresso Iberoamericano de gráfica digital SIGRADI*. Santa Fé: FADU UNL, 2011.

WAHBEH, W.; NEBIKER, S.; FANGI, G. Combining Public Domain and Professional Panoramic Imagery for the Accurate and Dense 3d Reconstruction of the Destroyed Bel Temple in Palmyra. In: *ISPRS Annals of Photogrammetry, 2016 Anais...* Praga: 2016, p. 81-88.

WARDEN, R. Towards a New Era of Cultural-Heritage Recording and Documentation. *APT Bulletin: The Journal of Preservation Technology*. Vol. 40, No. 3, 2009.

Recebido [Set. 03, 2020]

Aprovado [Nov. 03, 2020]