Indústria 5.0: Oportunidades e Desafios para Arquitetura e Construção

13º Simpósio Brasileiro de Gestão e Economia da Construção e 4º Simpósio Brasileiro de Tecnologia da Informação e Comunicação na Construção

ARACAJU-SE | 08 a 10 de Novembro

[1]AVALIAÇÃO DA EFICÁCIA DA APLICAÇÃO DA AEROFOTOGRAMETRIA NO ASBUILT DE EDIFICAÇÕES PARA VISTORIAS DE LICENCIAMENTO URBANÍSTICO

Validation of the effectiveness in applying aerophotogrammetry of Buildings for municipality licensing inspections

Alexandre Assunção Oliveira Guimarães
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais | Belo Horizonte, Minas Gerais | alexandre.aoliveira@outlook.com.br

Cristina Guimarães Cesar
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais | Belo Horizonte, Minas Gerais | cristinagcesar@gmail.com

Caio César de Sousa Mello
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais | Belo Horizonte, Minas Gerais | caio@cefetmg.br

Raquel Diniz Oliveira
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais | Belo Horizonte, Minas Gerais | raqueldiniz@cefetmg.br

RESUMO

A reconstrução virtual arquitetônica por meio de *drones* tem permitido que vistorias de edificações para diversas finalidades, como o licenciamento urbanístico, ocorram de forma remota. Nesse contexto, a prefeitura da cidade de Belo Horizonte instaurou um procedimento diferenciado para a inspeção das edificações com a finalidade de regularização. O processo de análise das edificações totalmente virtual, baseia-se em modelos tridimensionais, reconstruídos digitalmente a partir do voo de veículos aéreos não tripulados (*drones*), do estado final da construção. Dessa forma, objetivou-se analisar a eficácia da aplicabilidade do modelo de nuvem de pontos obtido por aerofotogrametria a curta distância para as vistorias de licenciamento. Por meio de um estudo de caso, pôde-se investigar a viabilidade de utilizar a nuvem de pontos para a aferição dos parâmetros urbanísticos, a partir de um *checklist* de vistoria proposto. Complementarmente, foram explicitadas as divergências entre os modelos exigidos na portaria que regulamenta a baixa virtual e, posteriormente, foi feita a comparação da modalidade de legalização virtual com a presencial. Assim, concluiu-se que a nuvem de pontos gerada por fotogrametria a curta-distância, representa uma forma eficaz de vistoriar imóveis. Por fim, o presente estudo apresenta as limitações encontradas e as adequações para tornar mais eficazes as análises.

Palavras-chave: Nuvem de Pontos; Reconstrução *3D;* Aerofotogrametria; *Drones,* Licenciamento Urbanístico.

ABSTRACT

The architectural reconstruction of buildings conducted by unmanned aerial vehicles, such as drones, has allowed that Building permit inspections happen remotely. Thus, the Belo Horizonte's municipality has established a new way to proceed with the licensing inspections called the building permit differentiated procedure. This system of approval is based on a total virtual analysis of models that were reconstructed by a drone once the construction is finished. Therefore, this research aims to verify the effectiveness in applying the point cloud model obtained by the short distance aerophotogrammetry to building inspections. In addition, an analysis of a study of case was carried out to better understand the viability of checking the parameters for building approval in the models by the municipality's personnel. Hence, the differences between the approved architectural project and the point cloud measurements were compared and the differences amongst the models and the conventional procedure. Furthermore, through this research, it was possible to conclude that the point cloud model represents a great and accurate method for the verification of buildings. To conclude, all these limitations and future suggestions were made to expand this idea to other municipalities.

Keywords: Point Cloud; 3D Reconstruction; Aerophotogrammetry; Drones; Building Licensing.

[1]GUIMARÃES, A, A. O.; CESAR, C.G.; MELLO, C.C.S.; OLIVEIRA, R.D. Avaliação da eficácia da aplicação da aerofotogrametria no AsBuilt de edificações para vistorias de licenciamento urbanístico. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GESTÃO E ECONOMIA DA CONSTRUÇÃO, 13, 2023, Aracaju. **Anais [...].** Porto Alegre: ANTAC, 2023.

1 INTRODUÇÃO

Ao longo dos anos, com o desenvolvimento de tecnologias aplicáveis à engenharia civil, como drones para uso comercial e softwares utilizados na reconstrução virtual de edifícios, muitos serviços têm sofrido modificações na forma como eram executados. O momento em que houve o maior impacto e transformação na forma de trabalhos nos últimos tempos foi devido a pandemia de COVID-19 [2] (ESTADO DE MINAS, 2020). Seguindo as diretrizes de teletrabalho estabelecidas pela legislação municipal pertinente, as vistorias de licenciamento urbanístico, também migraram do modo presencial para o virtual, mediante a publicação, pela Secretaria de Política Urbana, da portaria (SMPU) n°011/2021. Essas vistorias de licenciamento têm como objetivo conceder a certidão de baixa de construção, a qual representa o documento que atesta a conformidade da obra executada com o projeto aprovado e o atendimento aos parâmetros urbanísticos previstos na legislação (CMBH, 2010).

Por meio da portaria SMPU n°011/2021, de 1° de março de 2021, as visitas técnicas foram substituídas pela análise de modelos tridimensionais (3D) da construção. Além disso, exigiu-se o envio de relatórios fotográficos e videoconferência com o técnico da prefeitura e o responsável pela edificação. Concomitantemente, os modelos devem ser feitos por veículo aéreo remotamente pilotado (*UAV*) ou tecnologia que permita a recomposição digital da edificação como construída (PBH,2021).

Para a geração de modelos 3D de edificações existem dois métodos principais: a aerofotogrametria e o laser *Scanning* terrestre (TLS/ALS) (NOVAES, 2019). Esses dois métodos permitem a obtenção de pontos 3D que serão processados em software e vão originar a nuvem de pontos densa da construção. Essa nuvem de pontos fornece uma base de dados que tem sido explorada para inúmeros fins, como, por exemplo: de documentação analítica, conservação arquitetônica de patrimônios históricos, inspeções das estruturas de pontes, entre outros (EL-DIN FAWZY, 2019).

Uma nuvem de pontos é um conjunto de dados de pontos dispostos em um sistema de coordenadas (X, Y e Z), o qual contém um ou mais canais de informações (iluminação, oclusão[3], área, intensidade) de cada ponto (MULLER, 2015). As nuvens de pontos geradas mediante varredura do laser scanner aerotransportado ocorrem por meio da combinação do ângulo de varredura do laser e a distância calculada, as quais são convertidas em coordenadas esféricas e, posteriormente, em coordenadas cartesianas que darão origem às nuvens de pontos (GROETELAARS, 2015).

Já a geração da nuvem de pontos por fotogrametria, segundo Pollefeys *et al*. (2002), é composta por cinco etapas. A primeira é a inserção das fotos tiradas no software, a segunda é a correlação das fotografias com a associação automática de pontos-chave, por meio dos algoritmos do sistema. A terceira é a reconstrução geométrica do objeto e da câmera pelo método SfM (*Structure From Motion*), gerando a nuvem de pontos esparsa (*Sparce Cloud*), isto é, aquela que vem do alinhamento das imagens na orientação correta. A quarta é a associação de pixels homólogos, que é o método *Dense Stereo Matching,* criando, assim, uma nuvem de pontos densa (*Dense Point Cloud*) em que as imagens são combinadas e geram profundidade. Por fim, é criado o modelo geométrico, na forma de nuvem de pontos.

A utilização do método *UAV-SfM* para inspeções prediais pode oferecer grandes vantagens quanto ao valor do equipamento, tempo de inspeção, cobertura de dados, mesmo que o *laser scanner* possua melhor acurácia e menor tempo de processamento para geração da nuvem de pontos (CHEN, J., KIRA, Z., & CHO, Y. K., 2019). Na pesquisa conduzida por Lee *et al.* (2019), foi executada uma vistoria de uma edificação na Universidade da Coreia por meio da aerofotogrametria a uma altura de 10 a 15 metros do alvo e o resultado obtido após o processamento foi um modelo confiável com um erro máximo de 1,3% em relação ao real, que é aceitável pelo Código de Obras da Coreia.

Além disso, no estudo de Chen, Kira, & Cho (2019), foi executada a varredura de uma ponte nos métodos de Laser e Aerofotogrametria-*SfM* separadamente. Verificou-se, então, que a nuvem produzida pelo laser Scanner teria maior precisão em comparação a fotogrametria, mas a pesquisa destaca que o *UAV* voando a 10 metros do alvo obteve uma diferença de erro métrico de 0,4%, considerando o laser como referência. Assim, pode-se verificar que o 3D Laser *Scanning* é mais indicado para o levantamento de edificação, tanto no exterior quanto no interior, devido a sua precisão no alinhamento das cenas, enquanto que a fotogrametria

[2] COVID-19 é o agente virótico responsável pela pandemia que se alastrou pelo mundo, tendo o primeiro caso noticiado no Brasil em março de 2020.

[3] Oclusão são obstruções na visibilidade da imagem.

com DSM/*SfM* é mais indicada para levantamentos rápidos e de baixo custo da parte externa de edificações (GROETELAARS, 2015).

Atrelado a esse refinamento das reconstruções, os resultados da pesquisa de El-din Fawzy (2019) verificou que o método híbrido, isto é, a combinação da fotogrametria e o *laser scanner* para a geração da nuvem de pontos produz resultados melhores. Como demonstrado no estudo de caso de sua pesquisa, gerou-se formas mais precisas da reconstrução, com baixo nível de ruído, isto é, pontos fora da superfície e, por conseguinte, redução na perda de dados. Logo, conclui-se que houve um aumento na acurácia máxima de até 66,4% em relação a reconstrução somente com aerofotogrametria.

Dentre os aspectos que justificam a condução do estudo em questão, tem-se o gargalo de aplicação da nuvem de pontos voltada para inspeções com intuito de legalizar edificações. Um estudo que se aproxima dessa vertente foi realizado por Lee *et al.* (2019), enquanto que, grande parte dos demais são voltados para inspeções de segurança, monitoramento de obras, como feito por Rey, De Melo e Costa (2021) ou para documentação de patrimónios históricos, como feito por Ozimek, Ozimek e Skabek (2021).

Neste contexto, é importante que seja realizada uma análise da eficácia da realização das vistorias na modalidade virtual, para que o poder público possa compreender que há outras formas de realizar esse serviço e, assim, evoluir tecnologicamente.

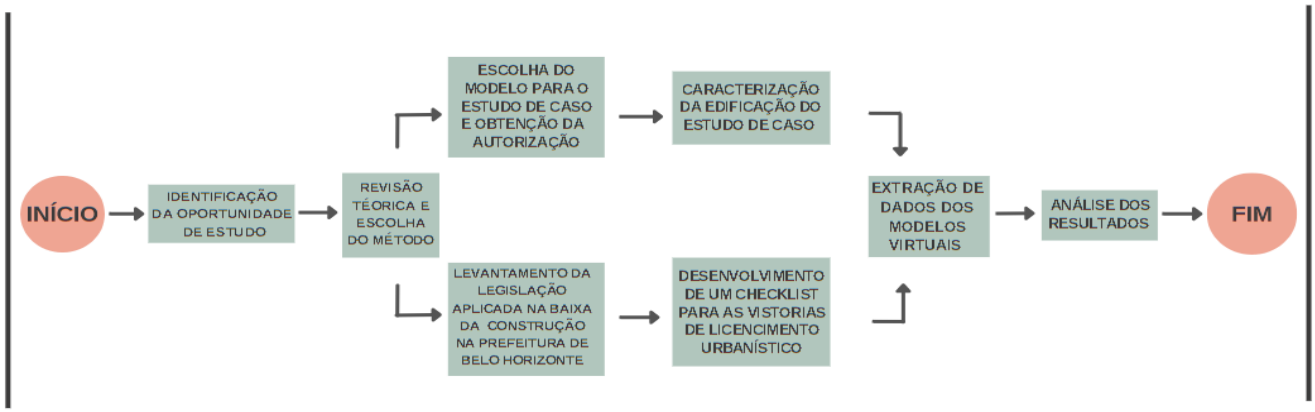
Portanto, a análise do modelo proposto de vistoria por meio do estudo de caso na presente pesquisa tem o objetivo de reunir dados relevantes para a avaliação da eficácia das vistorias de forma remota com nuvem de pontos do AsBuilt de Edificações. Além disso, a presente pesquisa tem foco na identificação de pontos de aprimoramento no processo de vistoria e trouxe proposições de melhorias nas exigências dispostas na portaria SMPU de n° 011/2021, sob a ótica dos resultados obtidos. Por fim, a comparação com a modalidade presencial busca demonstrar aspectos de diferenciação de ambas as modalidades.

METODOLOGIA

Dada as classificações de pesquisa citadas por Silva e Menezes (2001), esta pesquisa se enquadra como aplicada e possui um caráter local, pois as condições de contorno, como por exemplo a legislação urbanística é específica de Belo Horizonte-MG, mas os seus resultados podem ser ampliados para o âmbito global.

De forma a elucidar o fluxo metodológico utilizado, na Figura 1 é apresentada a sequência de etapas da pesquisa. Na revisão teórica, a análise da técnica de aerofotogrametria em curtas distâncias voltada para reconstrução geométrica arquitetônica é resultado da aplicação do instrumento de construção do conhecimento denominado *Knowledge Development Process – Constructivist* (ProKnowC).

Figura 1: Fluxograma da Metodologia



Fonte: Os autores

A seguir, para a etapa de levantamento da legislação aplicada na baixa da construção e no desenvolvimento do *Checklist*, foi necessária a investigação das legislações aplicáveis. Com isso, o checklist de pendências urbanísticas encontradas no *AsBuilt* da edificação foi elaborado no *Microsoft Excel* e visa auxiliar os vistoriadores durante o processo de análise da edificação. Com isso, será colocado nessa planilha se o elemento analisado atende ou qual é a sua medida, de forma a permitir a comparação com o projeto aprovado.

Após isso, foi feita a escolha do estudo de caso e obtenção da autorização da construção. A seleção baseou-se em critérios visuais, isto é, se a nuvem de pontos apresentava distorções e na autorização por parte dos responsáveis pelo prédio juntamente com a assinatura de contrato de confidencialidade de informações da empresa, a qual será denominada como Construtora X. Para a caracterização da edificação foram estudados aspectos gerais e relevantes que podem ser levados em consideração pelo agente vistoriador, como a classificação viária, os zoneamentos, por exemplo, que influenciam nos valores dos afastamentos.

Na extração de dados dos modelos virtuais, o modelo de nuvem de pontos (extensão do arquivo *.LAS*) foi inserido no *software online* gratuito *UsBim - Acca Softwares* e analisado conforme o *checklist*. O modelo digital de elevação (DEM) e a ortofoto foram inseridos no software gratuito QGIS. O modelo tridimensional na extensão *SketchUp* (.SKP) foi inserido no software *SketchUp* online, e o modelo para *Google Earth* (.KMZ) foi inserido no software gratuito *Google Earth Pro.*

Por fim, na análise dos resultados, a nuvem de pontos do estudo de caso foi avaliada primeiramente de forma comparativa com as medidas extraídas do projeto arquitetônico. Após isso, a nuvem de pontos e os outros modelos (*Google Earth, SketchUp,* Modelo digital de Elevação) tiveram suas medidas compiladas em uma tabela para que fosse feita uma comparação entre eles. Após, foram apontadas as vantagens ou benefícios da utilização desse modelo em comparação a uma vistoria executada presencialmente e, finalmente, foram expostas as dificuldades e sugestões para adaptação da legislação de vistoria remota.

1 RESULTADOS E DISCUSSÕES

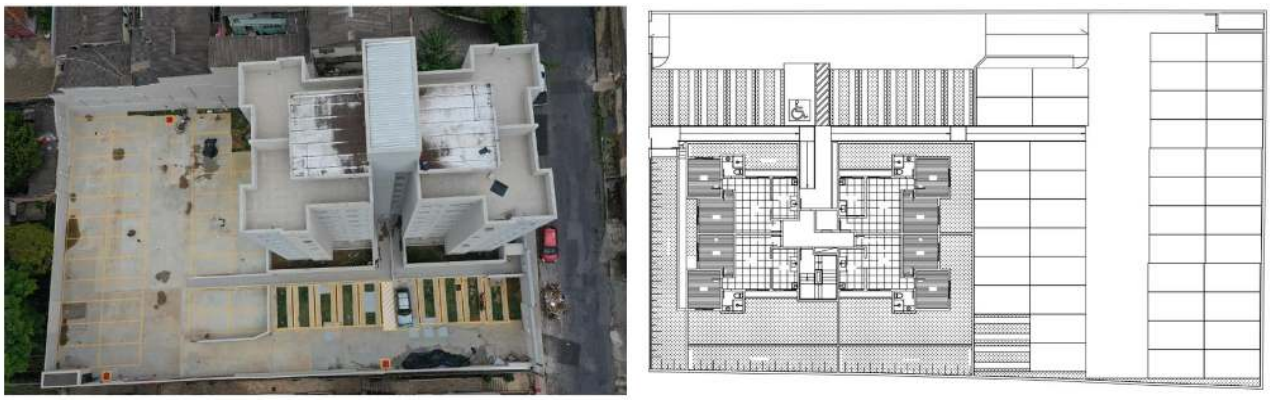
Quando o responsável técnico pela edificação comunica o término da obra, este pode solicitar a modalidade de baixa de construção diferenciada (virtual) ou presencial. Caso opte pela modalidade de baixa de construção por procedimentos diferenciados, além da documentação tradicional e pagamento da taxa, é necessário o envio do modelo digital de elevação, a nuvem de pontos, o modelo *SketchUp*, o modelo GoogleEarth, a posição dos pontos de controle no solo, as fotos aéreas georreferenciadas e o relatório fotográfico.

É importante destacar que o gasto com o profissional que realizará a reconstrução virtual do edifício por meio do drone é inteiramente de responsabilidade do requerente do processo. Assim, a Prefeitura não arca com nenhum custo e exige que seja preenchido um termo de responsabilidade pela veracidade do modelo recebido.

1.1 Caracterização do estudo de caso

O estudo de caso consiste na análise virtual da edificação residencial e multifamiliar apresentada na Figura 2. Tem-se uma área de 1485,00 m², com um bloco e contendo 32 unidades residenciais. Esta edificação não possui pilotis e, por isso, as vagas de garagem são externas. Nesta edificação, não foi executada caixa de captação, há um elevador e a altura máxima da edificação, conforme aprovado pelo Centro Integrado de Defesa Aérea e Controle de Tráfego Aéreo, é de 26,00 metros.

Figura 2 - Edificação do estudo de caso: Fotografia retirada pelo Drone e planta de situação aprovada no Prefeitura



Fonte: Arquivo interno da construtora X – adaptado pelo autor (2022)

1.2 Desenvolvimento dos modelos virtuais e restrições

Os modelos da edificação foram gerados por meio da aerofotogrametria a curta distância. Para isso, foi utilizado um drone que sobrevoou a edificação e capturou as fotos, que foram processadas em um software específico para a geração da nuvem de pontos. Por se tratar de uma empresa terceirizada, contratada pelo responsável pela obra, que faz o serviço de coleta de dados e geração dos modelos digitais, não foi possível consultar informações relativas ao planejamento e ao tempo de voo, e sobre o processo de geração da nuvem de pontos.

1.3 Extração de dados dos modelos virtuais e do relatório fotográfico

O primeiro modelo digital avaliado é aquele que foi extraído do *software* e colocado no *Google Earth*, com extensão *KMZ*. A seguir, foi inserido e analisado no *SketchUp* o modelo SKP. Na Figura 3 é exibido o modelo *Google Earth* (à esquerda) e o *SketchUp* (à direita).

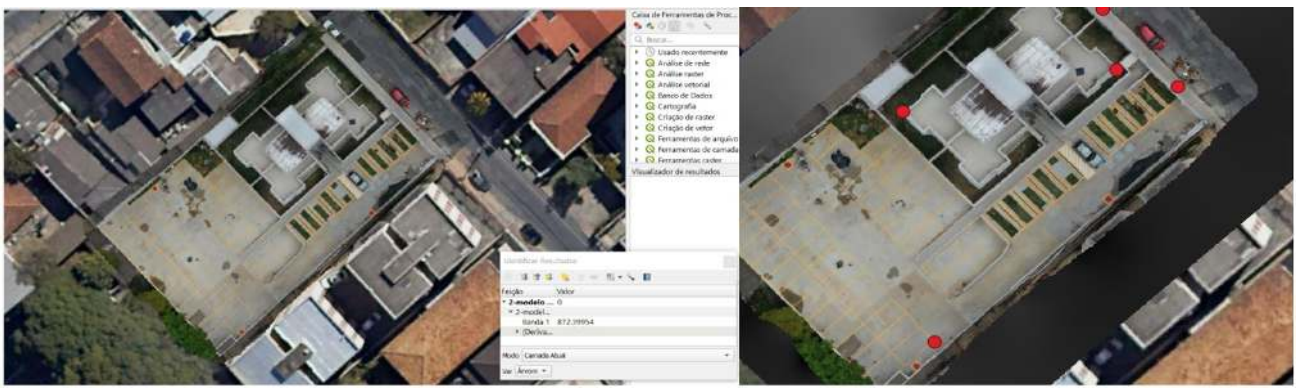
Figura 3 - Modelos *Google Earth* e *SketchUp*



Fonte: o autor (2022)

O modelo digital de elevação, juntamente com uma ortofoto, foram inseridos no programa QGIS e analisados. Além disso, foi inserido também o arquivo que contém os pontos de controle do solo para visualização de sua localização no imóvel, indicados com pontos vermelhos (Figura 4).

Figura 4 - Modelo Digital de Elevação com ortofoto inserido no software QGIS



Fonte: o autor (2022)

Por último, foi feita a análise da nuvem de pontos em formato (.LAS) por meio do programa *UsBIM point cloud viewer+* (Figura 5).

Figura 5 - Nuvem de pontos inserida no *USBimViewer+*



Fonte: o autor (2022)

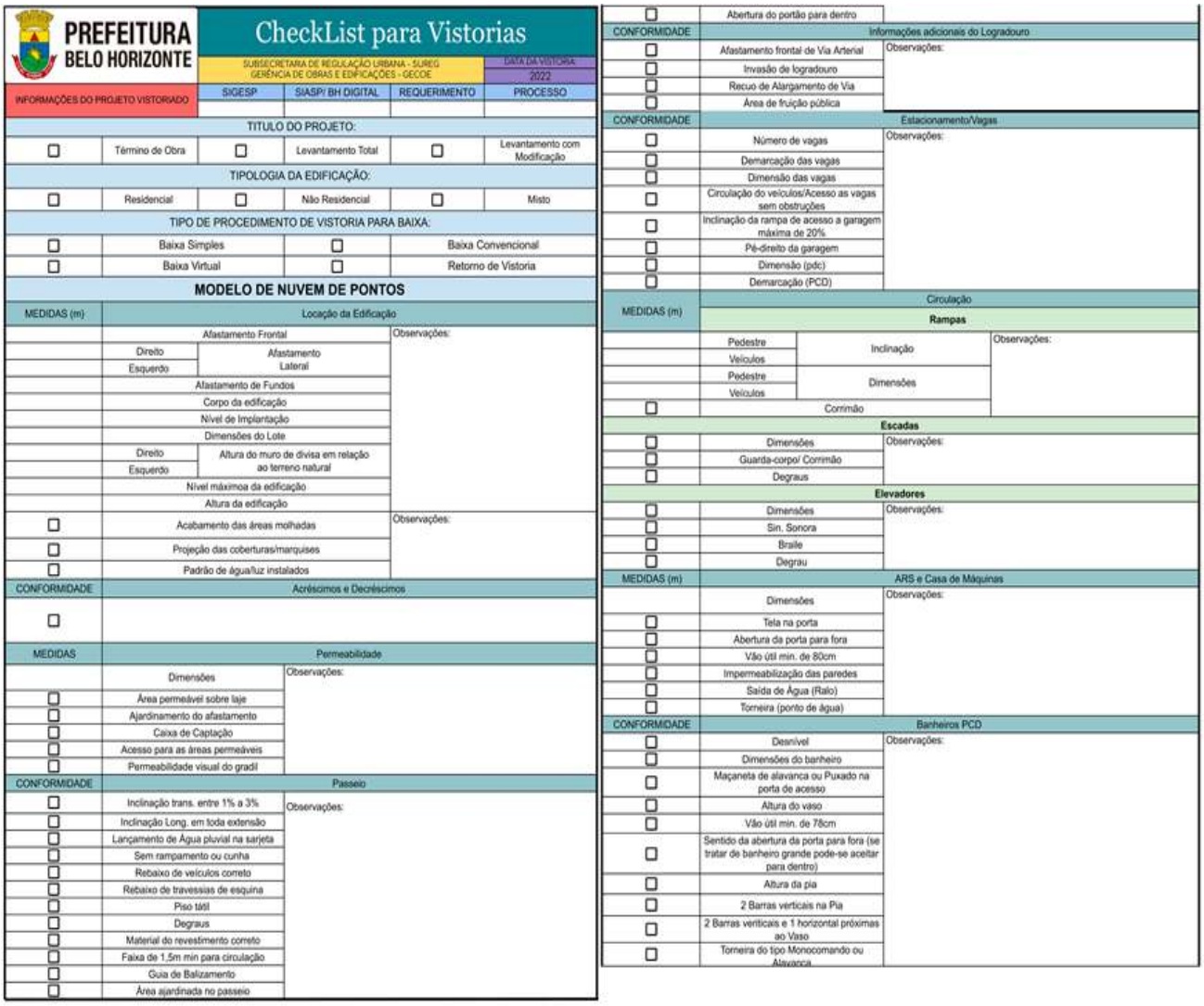
1.4 Comparação das Análises mediante o c*hecklist de vistoria*

O *checklist* de vistoria descrito na metodologia é apresentado na Figura 6. Esse *checklist* foi preenchido para cada um dos modelos durante a sua análise. A partir do preenchimento dos itens durante a vistoria virtual, foi possível comparar os valores entre os modelos mais visualizável e perceptível (Figura 7).

Primeiramente, a análise dos modelos indicou que não houve nenhuma alteração relevante, comparado com projeto arquitetônico aprovado. Ao iniciar a análise pelos afastamentos (frontal, laterais e de fundo), pode-se averiguar que os valores obtidos em quase todos foram bem próximos dos indicados no arquitetônico, sendo a nuvem de pontos, o que mais se aproxima do indicado em projeto, com a diferença máxima de 2 cm. Em se tratando de nível de implantação, houve uma diferença máxima de 57 cm no MDE e de 28cm na Nuvem de pontos com os valores indicados no projeto aprovado. Na avaliação do tamanho do lote, da edificação, das vagas, dos muros de divisa, das rampas e do abrigo de resíduos sólidos identificou-se que o prédio está em conformidade com as medidas e níveis enviados para aprovação na Prefeitura.

Por fim, a permeabilidade visual e o passeio foram analisados, mas a varredura da edificação nesse ponto, não foi suficiente para gerar um modelo que indicasse com maior precisão a forma da permeabilidade visual e do portão e, por isso, impossibilitou a aferição clara desses itens. Portanto, tem-se nesse caso, a necessidade de realizar uma reconstrução também na forma terrestre, utilizando mais fotos ou *laser scanner* ou até combinando *o laser* (*TLS*) com a aerofotogrametria.

Figura 6 - Checklist de vistorias urbanístico



PREFEITURA BELO HORIZONTE

CheckList para Vistorias

SUBSECRETARIA DE REGULAÇÃO URBANA - SUREG
GERÊNCIA DE OBRAS E EDIFICAÇÕES - GECOE

DATA DA VISTORIA: 2022

INFORMAÇÕES DO PROJETO VISTORIADO	SIGESP	SIASP/ BH DIGITAL	REQUERIMENTO	PROCESSO

TITULO DO PROJETO:

☐	Término de Obra	☐	Levantamento Total	☐	Levantamento com Modificação

TIPOLOGIA DA EDIFICAÇÃO:

☐	Residencial	☐	Não Residencial	☐	Misto

TIPO DE PROCEDIMENTO DE VISTORIA PARA BAIXA:

☐	Baixa Simples	☐	Baixa Convencional
☐	Baixa Virtual	☐	Retorno de Vistoria

MODELO DE NUVEM DE PONTOS

MEDIDAS (m)	Locação da Edificação		Observações:
	Afastamento Frontal		
	Afastamento Lateral	Direito	
		Esquerdo	
	Afastamento de Fundos		
	Corpo da edificação		
	Nível de Implantação		
	Dimensões do Lote		
	Altura do muro de divisa em relação ao terreno natural	Direito	
		Esquerdo	
	Nível máximoa da edificação		
	Altura da edificação		

☐	Acabamento das áreas molhadas	Observações:
☐	Projeção das coberturas/marquises	
☐	Padrão de água/luz instalados	

CONFORMIDADE	Acréscimos e Decréscimos
☐	

MEDIDAS	Permeabilidade	
	Dimensões	Observações:
☐	Área permeável sobre laje	
☐	Ajardinamento do afastamento	
☐	Caixa de Captação	
☐	Acesso para as áreas permeáveis	
☐	Permeabilidade visual do gradil	

CONFORMIDADE	Passeio	
☐	Inclinação trans. entre 1% a 3%	Observações:
☐	Inclinação Long. em toda extensão	
☐	Lançamento de Água pluvial na sarjeta	
☐	Sem rampamento ou cunha	
☐	Rebaixo de veículos correto	
☐	Rebaixo de travessias de esquina	
☐	Piso tátil	
☐	Degraus	
☐	Material do revestimento correto	
☐	Faixa de 1,5m min para circulação	
☐	Guia de Balizamento	
☐	Área ajardinada no passeio	

☐	Abertura do portão para dentro	

CONFORMIDADE	Informações adicionais do Logradouro	
☐	Afastamento frontal de Via Arterial	Observações:
☐	Invasão de logradouro	
☐	Recuo de Alargamento de Via	
☐	Área de fruição pública	

CONFORMIDADE	Estacionamento/Vagas	
☐	Número de vagas	Observações:
☐	Demarcação das vagas	
☐	Dimensão das vagas	
☐	Circulação do veículos/Acesso as vagas sem obstruções	
☐	Inclinação da rampa de acesso a garagem máxima de 20%	
☐	Pé-direito da garagem	
☐	Dimensão (pdc)	
☐	Demarcação (PCD)	

MEDIDAS (m)	Circulação		
	Rampas		
	Inclinação	Pedestre	Observações:
		Veículos	
	Dimensões	Pedestre	
		Veículos	
☐	Corrimão		

	Escadas	
☐	Dimensões	Observações:
☐	Guarda-corpo/ Corrimão	
☐	Degraus	

	Elevadores	
☐	Dimensões	Observações:
☐	Sin. Sonora	
☐	Braile	
☐	Degrau	

MEDIDAS (m)	ARS e Casa de Máquinas	
	Dimensões	Observações:
☐	Tela na porta	
☐	Abertura da porta para fora	
☐	Vão útil min. de 80cm	
☐	Impermeabilização das paredes	
☐	Saída de Água (Ralo)	
☐	Torneira (ponto de água)	

CONFORMIDADE	Banheiros PCD	
☐	Desnível	Observações:
☐	Dimensões do banheiro	
☐	Maçaneta de alavanca ou Puxado na porta de acesso	
☐	Altura do vaso	
☐	Vão útil min. de 78cm	
☐	Sentido da abertura da porta para fora (se tratar de banheiro grande pode-se aceitar para dentro)	
☐	Altura da pia	
☐	2 Barras verticais na Pia	
☐	2 Barras verticais e 1 horizontal próximas ao Vaso	
☐	Torneira do tipo Monocomando ou Alavanca	

Fonte: Dos autores

No que tange o modelo KMZ, constatou-se que este é restrito no que diz respeito à capacidade de extração de informações dos modelos. Isso se deve ao fato da interface dele não ser preparada para esse tipo de análise, pois não há, por exemplo, uma forma de medir as distâncias entre pontos com precisão e facilidade. Em se tratando do modelo no *SketchUP*, a superfície da edificação nesse modelo é bastante irregular devido ao processo de triangulação da nuvem de pontos. Assim, tem-se um modelo impreciso, uma vez que não é possível escolher o ponto ideal para realizar as medições.

Ademais, o modelo QGIS mostrou-se bastante eficaz e versátil para avaliar os parâmetros urbanísticos, pois permite a medição de distâncias, áreas, ângulos, níveis, inclinações e outras funções, tais como a colocação de um plano de corte no modelo. O QGIS apresenta até 3 casas decimais depois da vírgula de precisão e, por meio da ortofoto, o vistoriador pode aproximar e ter maior precisão da região na qual a medida está sendo verificada. Além disso, o programa verifica áreas e pode aferir a cota altimétrica de qualquer ponto, o que os modelos anteriores não permitem.

Por último, foi feita a análise da nuvem de pontos em formato (.LAS) por meio do programa *UsBIM point cloud viewer+*. Além de ser um programa gratuito, a interface para o usuário é muito intuitiva. Dessa forma, além de ter a capacidade de análise do QGIS, a nuvem de pontos possui o componente essencial, que é a visão tridimensional.

Portanto, é possível verificar que, por mais que os modelos derivem da nuvem de pontos, a aferição de parâmetros e medidas não se tornam tão precisas quando comparadas à nuvem. Pode-se perceber, alguns

ruídos, isto é, pontos aleatórios que não fazem parte de algum elemento e geralmente são provenientes da vegetação do lote vizinho.

Figura 7 - Compilado das análises dos modelos virtuais

ANÁLISES DOS MODELOS VIRTUAIS						
	PARÂMETRO URBANÍSTICO	MEDIDAS DO PROJETO ARQUITETÔNICO	NUVEM DE PONTOS	MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO	MODELO SKETCH UP (SKT)	MODELO GOOGLE EARTH (KMZ)
1	AFASTAMENTO FRONTAL (m)	3,00	2,978	2,875	3,07	x
2	AFASTAMENTO LATERAL DIREITO (m)	11,29	11,35	11,04	11,04	x
3	AFASTAMENTO LATERAL ESQUERDO (m)	4,80	4,77	4,81	4,76	x
4	AFASTAMENTO DOS FUNDOS (m)	25,21	25,17	25,20	25,43	x
5	NÍVEL DE IMPLANTAÇÃO	872,08	872,36	872,65	x	x
6	ALTURA MÁXIMA DO MURO DE DIVISA DIREITO EM RELAÇÃO AO TERRENO NATURAL (m)	2,20	2,13	2,14	2,00	x
7	ALTURA MÁXIMA DO MURO DE DIVISA ESQUERDO EM RELAÇÃO AO TERRRENO NATURAL (m)	2,20	2,3	2,16	2,19	x
8	DIMENSÕES DO LOTE (m)	29,64 x 49,90	29,50 x 49,91	29,33 x 49,93	30,01 x 49,80	x
9	NÍVEL MÁXIMO DA EDIFICAÇÃO (m)	899,00	900,07	900,04	x	x
10	ALTURA DA EDIFICAÇÃO (m)	26,90	27,58	27,54	27,45	x
11	DIMENSÕES DA EDIFICAÇÃO (m)	12,25 x 21,24	12,30 x 21,13	12,303 x 21,296m	12,27 x 21,28	x
12	ÁREA PERMEÁVEL (m)	298,58	285,72	270,616	x	x
13	PERMEABILIDADE VISUAL	SIM	x	x	x	x
14	CAIXA DE CAPTAÇÃO	NÃO APRESENTA	NÃO APRESENTA	NÃO APRESENTA	NÃO APRESENTA	x
15	INCLINAÇÃO DAS RAMPAS	Rampa veículo: 19,39% Rampa pedestre: 8,33%	Rampa veículo: 12,13% Rampa pedestre: 9,50%	Rampa veículo: 12,4% Rampa pedestre: 6,08%	x	x
16	LARGURA DAS RAMPAS (m)	Rampa veículo: 3,35 m Rampa pedestre: 1,25 m	Rampa veículo: 3,55m Rampa pedestre: 1,14m	Rampa veículo: 3,56m Rampa pedestre: 1,07m	Rampa veículo: 3,37m Rampa pedestre: 1,04m	X
17	VAGAS DEMARCADAS	OK	OK	OK	OK	OK
18	NÚMERO DE VAGAS	54,00	54	54	54,00	OK
19	DIMENSÃO DAS VAGAS (m)	4,50 X 2,30	4,50 x 2,30	4,48 x 2,24	4,48 x 2,32	x
20	DIMENSÕES DO ARS (m)	4,04 x 1,454	1,46 x 4,02	3,94 x 1,50 m	4,07 x 1,51	x
21	INCLINAÇÃO DO PASSEIO (%)	17,13%	15,61%	15,14%	x	x
22	PISO TÁTIL E REVESTIMENTO	DISPENSADO	DISPENSADO	DISPENSADO	DISPENSADO	DISPENSADO
23	LARGURA MÍNIMA DO PASSEIO	1,45	1,49	1,37 m	1,42	x
24	REBAIXOS DE VEÍCULOS	SIM	SIM	OK	x	x
25	LANÇAMENTO DE ÁGUA PLUVIAL CORRETAMENTE	SIM	SIM	OK	x	x

Fonte: o autor (2022)

1.5 Comparação com a vistoria presencial

Comparada com a vistoria presencial, pode-se destacar algumas diferenças em relação à baixa de construção virtual. A primeira delas é que alguns parâmetros como: a altimetria máxima, o nível de implantação, a área permeável e o tamanho do lote são facilmente medidos nos modelos virtuais, mas dificilmente mensuráveis durante uma vistoria.

Fatores como a impossibilidade de medir a altura de um edifício, ou o risco de realizar essas medições em determinados casos, representam motivos que tornam necessário o uso dos modelos virtuais. Outra questão, é a impossibilidade de mensurar áreas, como as permeáveis e do lote, o que exigiria um cálculo mais elaborado e mais tempo e, por isso, não é feito na vistoria presencial.

A análise de um modelo virtual, como o do estudo de caso desta pesquisa, foi feita em uma hora. Dessa forma, um turno de vistoria presencial avaliaria duas edificações enquanto que um turno de vistoria virtual por análise de modelos poderia analisar, no mínimo, quatro. Logo, seriam viabilizadas duas vistorias a mais por turno.

A última distinção entre as duas modalidades de vistoria é o custo envolvido do serviço para o requerente. Enquanto que em uma vistoria de baixa convencional é cobrado o valor de R$254,42 do requerente, na modalidade virtual, além desse valor caso haja videoconferência, os responsáveis devem arcar com o custo da geração dos modelos virtuais, que geralmente são feitos por uma empresa terceirizada.

Para fins comparativos, obteve-se os custos médios da reconstrução arquitetônica por uma empresa terceirizada. O serviço incluiu desde o voo do drone até a elaboração de todos os modelos virtuais e do relatório fotográfico completo. O valor total requisitado pela empresa, no ano de 2021, para execução desse serviço foi de aproximadamente R$3800,00[4]. Assim, o valor de baixa convencional representa 6,7% do valor empregado para a execução da varredura por uma empresa terceirizada.

1.6 Melhorias na portaria da baixa de construção da PBH

Quanto ao exigido pela Prefeitura de Belo Horizonte, podemos realizar algumas proposições. Primeiramente, os modelos ideais para as vistorias seriam: o modelo de nuvem de pontos em arquivo LAS/LAZ/XYZ e, não em .TXT, e a obrigatoriedade de envio de uma ortofoto junto ao MDE. A segunda sugestão para melhoria na Portaria SMPU n° 011/2021 visa a incluir a possibilidade de o escaneamento ser feito com *Laser Scanning* (ALS) tanto da parte exterior quanto de um apartamento específico, uma vez que a lei permite conferir as medidas por amostragem.

Por fim, a última sugestão é que seja criada uma fila específica de análise para o requerente que optar pela baixa da construção por procedimentos virtuais e diferenciados. Por se tratar de uma fila à parte, o projeto nessa modalidade tramitaria de forma mais rápida que os demais, ou seja, teria sua análise e resposta final em um prazo menor pela Prefeitura de Belo Horizonte. Dessa forma, apesar do requerente arcar com um gasto maior devido a contratação de um profissional que faz a reconstrução virtual do edifício, ele teria maior agilidade em sua legalização.

2 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em suma, com o desenvolvimento de um estudo de caso da nuvem de pontos de uma edificação aprovada, foi possível extrair uma série de parâmetros urbanísticos exigidos na análise de uma vistoria. Assim, foi possível constatar que a utilização de modelos virtuais de nuvem de pontos do *AsBuilt* no licenciamento urbanístico representa uma forma eficaz de avaliar a construção com a finalidade de concessão da certidão de baixa da construção.

Além disso, por meio do *checklist* de parâmetros urbanísticos elaborado pelo autor para análise dos modelos virtuais, listou-se os principais itens a serem considerados durante a vistoria. A partir dessa lista produzida no trabalho em questão, percebeu-se que grande parte dos itens são averiguados com uma análise externa

[4] O valor apresentado refere-se a uma edificação de outra construtora, da qual o autor teve acesso às informações e que se assemelha à área e ao número de blocos do empreendimento abordado do estudo de caso em questão.

da implantação da edificação. Ademais, as aferições dos parâmetros, quando comparadas ao projeto arquitetônico aprovado, estão muito próximas, o que indica a precisão do modelo geométrico gerado.

Atrelado a isso, o modelo de nuvem de pontos foi o que obteve os melhores resultados dentro todos requisitados pela Portaria emitida pela prefeitura. Dessa forma, esse modelo apresenta todo os itens necessários para as vistorias e de forma precisa e completa.

Conforme apresentado na literatura, a aerofotogrametria a curta distância tem sido largamente utilizada para reconstrução arquitetônica e representa um método com boa acurácia. Nesse sentido, no que tange a legislação municipal que trata a baixa virtual, foram descritas três ponderações com intuito de melhorá-la. Sugere-se a utilização de um modelo híbrido, isto é, com o emprego da nuvem de pontos provenientes de laser scanner e fotogrametria combinados geram melhores resultados e a criação de uma fila específica de análise dos modelos virtuais, para que seja viabilizado rapidamente a liberação das edificações para o uso.

A respeito dos obstáculos do uso do modelo de nuvem de pontos, quando comparado com a baixa de construção presencial, pode-se citar o valor gasto pelo requerente para a contratação de um profissional para realizar a reconstrução arquitetônica e o fato do escaneamento dos edifícios ser apenas externo na aerofotogrametria. Todavia, existem parâmetros que são avaliados somente de forma virtual, como a altura da edificação, e, somado a isso, há a redução do tempo gasto no inspeção, o que permite a realização do dobro de vistorias no mesmo turno.

Portanto, como contribuição da presente pesquisa, buscou-se comprovar que a reconstrução digital do empreendimento se mostra uma forma eficaz e facilitadora para viabilizar a extração de informações pertinentes para os órgãos da administração pública.

Como sugestão de trabalhos futuros, pode-se destacar as seguintes linhas de pesquisa:

I) Aplicação do modelo virtuais obtidos por reconstrução arquitetônica para fins de legalização por meio do método de varredura Híbrido, isto é, com fotogrametria e Laser Scanner;

II) Análise interna e externa de uma edificação para fins de vistoria por meio da varredura de Laser Scanner;

REFERÊNCIAS

CMBH. Decreto n° 13.842/2010, de 11 de janeiro de 2010. Regulamenta a lei nº 9.725/09, que contém o código de edificações do município de Belo Horizonte. **Câmara Municipal de Belo Horizonte**, Belo Horizonte, 11 de janeiro de 2010. Disponível em: https://leismunicipais.com.br/codigo-de-obras-belo-horizonte-mg. Acesso em: 12 de nov. de 2022.

CHEN, J., KIRA, Z., & CHO, Y. K. (2019). Deep Learning Approach to Point Cloud Scene Understanding for Automated Scan to 3D Reconstruction**. Journal of Computing in Civil Engineering**, 33(4), 04019027. Disponível em: <https://doi.org/10.1061/(asce)cp.1943-5487.0000842> . Acesso em: 22 abr. 2023.

EL-DIN FAWZY, H. 3D laser scanning and close-range photogrammetry for buildings documentation: A hybrid technique towards a better accuracy. **Alexandria Engineering Journal**, v. 58, n. 4, p. 1191–1204, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1110016819301061>. Acesso em: 22 de abril de 2023.

ESTADO DE MINAS. **Pandemia acelera demanda por drones**. Belo Horizonte, 2020. Disponível em: https://www.em.com.br/app/noticia/economia/2020/06/15/internas_economia,1156611/pandemia-acelera-demanda-por-drones.shtml. Acesso em: 15 de nov. de 2022. Sem autor.

GROETELAARS, N. J. Criação de modelos BIM a partir de "nuvens de pontos": estudo de métodos e técnicas para documentação arquitetônica. Orientador: Prof. Dr. Arivaldo Leão de Amorim. **Tese (Doutorado)** – Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal da Bahia, 2015. Disponível em: <https://repositorio.ufba.br/bitstream/ri/20220/1/T_Natalie%20Groetelaars.pdf>. Acesso em: 22 de abril de 2023.

LEE, S. H.; WOO, S. H.; RYU, J.R.; CHOO, S.Y. Automated building occupancy authorization using BIM and UAV-based spatial information: photogrammetric reverse engineering. **Journal of Asian Architecture and Building Engineering**, v. 18, n. 2, p. 154–161, 2019. Disponível em:

<https://www.researchgate.net/publication/333983891_Automated_Building_Occupancy_Authorization_Using_BIM_and_UAV_based_Spatial_Information_Photogrammetric_Reverse_Engineering.> Acesso em: 22 de abril de 2023.

NOVAES, M. V. F. A tecnologia e seu lugar na metodologia de restauro: Os 3D Laser Scanning como forma de documentação arquitetônica e sua aplicação no restauro do Palacete Tereza Lara em São Paulo. 2019. **Biblioteca Digital de Teses e Dissertações da Universidade de São Paulo**, São Paulo, 2019. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/16/16133/tde-09012019-094046/>. Acesso em: 29 de out. 2022.

OZIMEK, A.; OZIMEK, P.; SKABEK, K. Digital Modelling and Accuracy Verification of a Complex Architectural Object Based on Photogrammetric Reconstruction**. Buildings**, v. 11, p. 1–19, 2021. Disponível em: < https://www.mdpi.com/2075-5309/11/5/206>. Acesso em: 22 de abril de 2023.

PBH. Portaria SMPU nº 011/2021, de 01 de março de 2021. Dispõe sobre procedimento temporário de emissão de certidão de baixa de construção de edificação junto à Subsecretaria de Regulação Urbana - Sureg, a ser adotado enquanto vigorar o Decreto nº 17.298, de 17 de março de 2020**. Diário Oficial do Município**, Belo Horizonte, 04 de março de 2021. Disponível em: http://portal6.pbh.gov.br/dom/iniciaEdicao.do?method=DetalheArtigo&pk=1241100. Acesso em: 13 dez. 2021.

POLLEFEYS, Marc *et al*. Video-to-3D. In: photogrammetric computer vision - International archive of photogrammetry and remote sensing, 2002, [S.l.]. Proceedings...[S.l.]: **ISPRS**, 2002. Disponível em: < https://www.academia.edu/download/1621869/5qa5krhytc1m7p31.pdf>. Acesso em 12 nov. de 2022.

REY, R. O.; DE MELO, R. R. S.; COSTA, D. B. Design and implementation of a computerized safety inspection system for construction sites using UAS and digital checklists – Smart Inspecs. **Safety Science**, v. 143, n. July, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0925753521002745>. Acesso em: 22 de Abril de 2023.

SILVA, E. L. DA; MENEZES, E. M. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação.** Florianópolis: UFSC, 2001. 3. ed., rev. Atual. Disponível em: <https://cursos.unipampa.edu.br/cursos/ppgcb/files/2011/03/Metodologia-da-Pesquisa-3a-edicao.pdf> . Acesso em: 22 de abril de 2023.