

Comparação de três equipamentos distintos baseados em LiDAR para levantamento de edifícios existentes

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.77.40>

**Leonardo Mulè¹, Filipe Finco², José Granja³,
Andressa Oliveira⁴, Nuno Moreira⁵, Luís Santos⁶, Miguel Azenha⁷**

¹ *Universidade de Bolonha, Bolonha, Itália, ORCID 0000-0002-3662-3088*

² *Universidade do Minho, ISISE, Guimarães, Portugal, ORCID 0000-0001-5507-1437*

³ *Universidade do Minho, ISISE, Guimarães, Portugal, ORCID 0000-0002-0858-4990*

⁴ *Universidade do Minho, ISISE, Guimarães, Portugal, ORCID 0000-0002-2541-0212*

⁵ *TopArcos, Arcos de Valdevez, Portugal*

⁶ *Leica Geosystems, Lda, Lisboa, Portugal*

⁷ *Universidade do Minho, ISISE, Guimarães, Portugal, ORCID 0000-0003-1374-9427*

Resumo

O sucesso de uma modelação 3D detalhada e fidedigna de edifícios existentes para aplicação em projetos BIM (*Building Information Modeling*), requer uma caracterização fiel do ativo de forma a identificar e respeitar as irregularidades geométricas inerentes ao seu processo de construção. Para verificar esta necessidade tem sido crescente a utilização da tecnologia LiDAR (*Light Detection And Ranging*) através de leitura Laser (*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*), conhecida por *Laser Scanning*, nos levantamentos para obtenção de nuvens de pontos com elevado detalhe e rigor geométrico. As novas soluções *Laser Scanning* para captura de nuvens de pontos baseadas em equipamentos móveis, de onde se destacam os transportados na mão, tais como o *Leica BLK2GO*, o *GeoSLAM ZEB REVO* e ainda os mais recentes smartphones equipados com sensores LiDAR (como o *iPhone 12/13 Pro*), trouxeram maior flexibilidade e produtividade quando comparadas com equipamentos tradicionais estáticos. Este artigo reporta algumas abordagens na aquisição de nuvens de pontos, explorando múltiplas possibilidades e identificando as limitações da utilização desta tecnologia, partindo de uma revisão da literatura sobre o assunto. São apresentados os resultados obtidos na comparação de nuvens de pontos capturadas pelos seguintes equipamentos: (i) *LEICA P20* (*laser scanner* estático); (ii) *Leica BLK2GO* e (iii) *iPhone 12 Pro*. Foi selecionado como caso de estudo o edifício da Cantina do Campus de Azurém da Universidade do Minho (UMinho), localizado em Guimarães. Foi avaliada a qualidade geométrica das nuvens de pontos capturadas e a respetiva aplicabilidade na modelação 3D em contexto BIM.

1. Introdução

A criação de um modelo 3D preciso é etapa fundamental em muitas aplicações profissionais na área da engenharia, principalmente na área do HBIM (*Heritage Building Information Modeling*). Para a criação de modelos tridimensionais de edifícios patrimoniais onde o rigor geométrico é importante, tem sido cada vez mais comum a utilização da tecnologia *Laser Scanning*. Tendo em conta as diferentes soluções que o mercado oferece no âmbito desta tecnologia, importa definir um conjunto de parâmetros que permita aferir da qualidade das nuvens capturadas. Existem vários trabalhos na bibliografia sobre comparação de nuvens de pontos obtidas a partir de diferentes equipamentos *Laser Scanning*, seguindo três abordagens metodológicas principais [2]:

- A “abordagem de ponto de controlo” consiste em escolher dois pontos de referência reconhecíveis no primeiro varrimento de cada nuvem de pontos, calcular a distância euclidiana entre eles e comparar com as distâncias calculadas nas restantes. Esta abordagem foi utilizada por Jung et al [3] que avaliaram os erros euclidianos em comparação com os padrões BIM ditados no ‘*BIM Guide*’ dos Serviços Gerais de Administração (GSA) dos Estados Unidos [4]. Ortiz-Coder et al [5] e Thoeni et al [6] também utilizam esta abordagem e Huttenloche et al [7] introduz outros métodos baseados na distância de Hausdorff, utilizando o “*nearest neighbor distance*” (distância do vizinho mais próximo) no *software CloudCompare* (CC).
- A segunda abordagem é baseada na extração manual de um subconjunto de pontos a partir das nuvens e na realização de análises nesse subconjunto, como demonstrado por Sirmacek et al. [8]. Visto que este método se baseia na medição de múltiplos pontos ao invés de poucos pontos de controle, este pode ser considerado mais confiável do que a abordagem anterior.
- A “abordagem de nuvem de pontos completa” considera duas nuvens de pontos completas e realiza cálculos comparativos com uma métrica escolhida. Essa abordagem é a mais extensa e faz a comparação de nuvens diferentes como um todo, sendo os algoritmos usados para avaliar a distância entre as duas nuvens responsáveis pela quantificação da diferença para cada método proposto. Um dos aplicativos mais utilizados para este tipo de abordagem é o *CloudCompare* (CC) [8, 9]. Lehtola [2] propõe avaliar duas nuvens de pontos diferentes na sua totalidade, alinhando-as e realizando uma comparação entre elas, com um conjunto específico de equações e algoritmos propostos.

A revisão da bibliografia permitiu identificar lacunas ao nível da comparação do desempenho de dispositivos móveis de levantamento com seus homólogos mais tradicionais, sendo que os estudos encontrados não utilizam mais de dois dispositivos na comparação. Este estudo tem como objetivo uma comparação sistemática de três sensores LiDAR diferentes: (i) LEICA P20 (*laser scanner* estático); (ii) BLK2GO (*laser scanner* móvel de mão) e (iii) iPhone 12 Pro (*smartphone* equipado com LiDAR). As análises combinarão diferentes abordagens mencionadas acima, mas também novas abordagens baseadas em análises estatísticas e metroológicas. O estudo permitirá

entender o quão confiáveis são cada um destes equipamentos e até que ponto estes podem ser utilizados na criação de um modelo BIM/HBIM de um edifício existente. Foram seleccionadas três diferentes tipos de análises comparativas a serem aplicadas às nuvens de pontos oriundas dos diferentes dispositivos:

- Uma análise sobre a distância relativa entre diferentes nuvens recorrendo ao CC, *software* de edição e processamento de nuvens de pontos 3D, com uma estrutura *octree* específica dedicada à comparação metrológica direta entre nuvens de pontos [1].
- Uma análise da exatidão das diferentes nuvens de pontos por comparação com as dimensões reais de objetos com geometria simples, para inferir os erros entre as diferentes metodologias e o quão próximos podem ser da realidade.
- Uma análise focada na precisão das diferentes nuvens realizada por amostragem de uma série de subconjuntos das nuvens originais (amostras de 20×20 cm oriundas de diferentes porções de paredes), analisados estatisticamente a fim de inferir informações de desempenho e comparar cada um dos equipamentos. Além disso, a precisão foi analisada através da criação de múltiplas seções no CC, escolhidas de forma que pontos de referência específicos e fixos estivessem presentes, como cantos de uma série de paredes que foram então utilizados para interpolar a posição ideal das paredes seleccionadas.

2 Análises realizadas

O edifício escolhido como caso de estudo para o desenvolvimento do presente trabalho é a cantina da UMinho do campus de Azurém, em Guimarães, em que a zona a ser analisada é o café do referido edifício. Na Figura 1 podemos ver a planta do piso térreo da edificação e, realçada em amarelo, está a zona do estudo. Os pontos vermelhos representam o posicionamento aproximado dos estacionamentos realizados com o LEICA P20 e as setas verdes o caminho percorrido com os equipamentos móveis BLK2GO e iPhone 12 Pro.

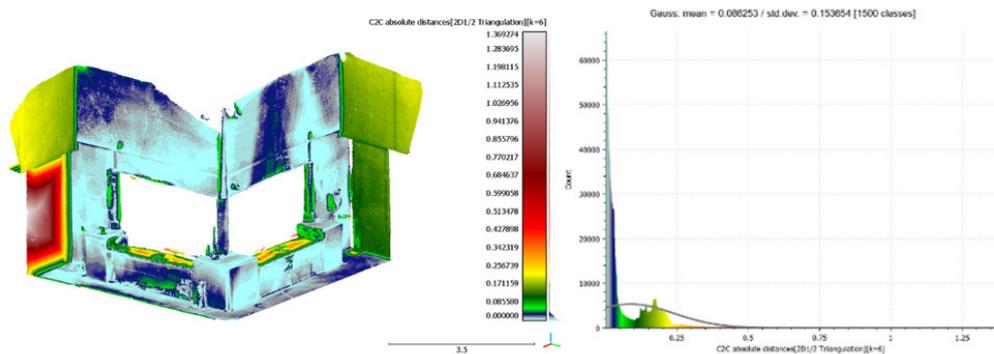


Figura 1
Planta do R/C da cantina com destaque da zona de estudo e fotos da zona durante os levantamentos.

2.1. Análise da distância relativa

Realizada de forma simples através do CC, a abordagem utilizada é a chamada "distância nuvem-nuvem". Para cada ponto da nuvem a ser comparada o algoritmo procura o ponto mais próximo numa nuvem utilizada como referência, calculando a sua distância euclidiana. A nuvem utilizada como referência deve abranger a mesma área da nuvem a comparar, ter maior densidade e melhor rigor posicional, tendo sido definida a nuvem de pontos do LEICA P20 para este fim. A comparação realizada é do tipo "abordagem de nuvem de pontos completa" por utilizar a totalidade das nuvens, mas também contém elementos da "abordagem de ponto de controlo", já que essa é a natureza do algoritmo utilizado para calcular as distâncias. A Figura 2 apresenta a comparação entre o LEICA P20 e o iPhone 12 Pro, onde é possível observar que, embora fosse esperado que a nuvem de pontos obtida pelo iPhone não fosse tão precisa, os resultados encontrados apresentaram um grau de semelhança muito interessante. Com uma distância média calculada para a da nuvem de referência de 8,62 cm e um desvio padrão de 15,4 cm, a nuvem do iPhone 12 Pro apresenta algumas flutuações significativas, especialmente em regiões mais afastadas do sensor LiDAR e em todas as superfícies que não são facilmente alcançáveis, como as superfícies horizontais da bancada. Durante os varrimentos houve o cuidado de manter a posição dos equipamentos móveis o mais próxima e ortogonal possível às superfícies capturadas, com uma distância aproximada de 2 (+/- 0.5) m. Por vezes foi necessário efetuar múltiplas capturas de um mesmo local para obtenção da imagem completa. Estas múltiplas passagens evidenciaram distorções significativas, como é visível no balcão em ambos os lados do pilar central. A distribuição gaussiana ajustada relativa à comparação das nuvens feita no CC, comporta-se como esperado: a distribuição dos valores em si é bastante irregular e a curva gaussiana correspondente é plana, assimétrica e com um pico baixo. Apesar dos resultados obtidos, foram excedidas as baixas expectativas iniciais para o *smartphone*.

Figura 2
Resultados da comparação no CC entre LEICA P20 e iPhone 12 Pro (esquerda), escala de cores indicando a distância relativa (m) e distribuição Gaussiana dos pontos (direita).



Por outro lado, os resultados da comparação entre o LEICA P20 e o BLK2GO são ilustrados na Figura 3. A nuvem de pontos obtida com o BLK2GO revelou-se muito semelhante à nuvem de pontos de referência, com resultados homogêneos em todas as regiões e distorções muito pequenas. Estas distorções podem ser atribuídas à

forma como os varrimentos foram realizados, visto algumas superfícies serem mais difíceis de capturar.

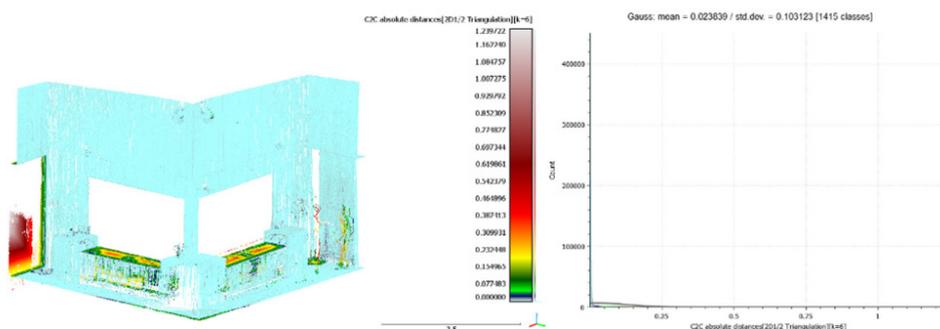


Figura 3
Resultados da comparação no CC entre LEICA P20 e BLK2GO (esquerda), escala de cores indicando a distância relativa (m) e distribuição Gaussiana dos pontos (direita).

Dada a natureza do dispositivo (móvel, cuja experiência de manuseamento pelo operador é fundamental), utilizadores diferentes podem obter resultados distintos em termos de rigor posicional, de acordo com sua experiência. A distribuição Gaussiana resultante já era esperada dada a estreita semelhança das duas curvas, o que faz com que as distâncias calculadas estejam próximas de zero e nenhuma curva de distribuição real possa ser calculada, gerando uma curva plana e quase inexistente. O valor médio da distância calculada é de 2,8 cm e o desvio padrão igual a 10,3 cm. Estes resultados, nativamente obtidos no CC, revelam uma boa exatidão destas nuvens, que será alvo de análises adicionais de seguida.

2.2. Análise da exatidão

Esta análise comparou medições obtidas a partir das três nuvens de pontos e medidas reais obtidas no local, com uma fita milimétrica, para uma bancada prismática (ver Figura 4). É realizada uma comparação direta entre as três medições obtidas pelas nuvens e a medição no local. As medições das nuvens de pontos são obtidas com o CC, escolhendo o mesmo ponto como vértice para as medições a fim de assegurar leituras consistentes. Foram escolhidas três arestas da bancada para garantir bons pontos de referência para as medições no CC. A representação gráfica das medições e o contexto geométrico dos objetos são mostrados na Figura 4.

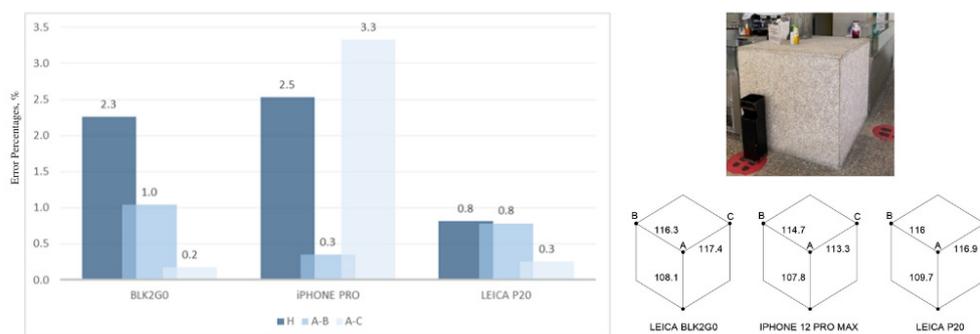


Figura 4
Bloco central – gráfico das percentagens de erro entre as medidas reais e as medidas por equipamento obtidas pelo CC (esquerda), fotografia e medições no local (direita).

Adicionalmente, foram efetuadas comparações análogas para as bancadas laterais da zona do café em estudo, apresentadas respetivamente na Tabela 1.

Tabela 1
Resultados das medições para os demais blocos, em (cm).

Bloco Direito	Medição no Local	LEICA BLK2GO	Erro (%)	iPhone 12 PRO MAX	Erro (%)	LEICA P20	Erro (%)
H	110,6	109,8	0,7	106,6	3,6	109,7	0,8
A-B	92,9	75	19,3	76,1	18,1	90,1	3,0
A-C	82,5	79,5	3,6	79,6	3,6	81,9	0,7
C-D	71,3	70,8	0,7	67,6	5,2	71,4	0,1
Bloco Esquerdo	Medição no Local	LEICA BLK2GO	Erro (%)	iPhone 12 PRO MAX	Erro (%)	LEICA P20	Erro (%)
H	110,6	108,9	1,5	108,8	1,6	110	0,5
A-B	74,8	74,5	0,4	70,7	5,5	69,3	7,4
A-C	80,5	79,6	1,1	79,6	4,8	79,3	1,5
C-D	92	77,5	15,8	0	2,0	91,3	0,8

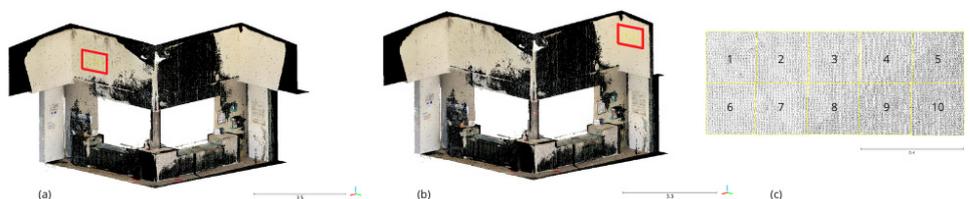
Os resultados mostram uma percentagem de erro bastante homogénea e baixa em todos os três blocos para o LEICA P20, apresentando uma percentagem média de erro de cerca de 1.5%. Em contrapartida, os resultados do BLK2GO e do iPhone 12 Pro são menos homogéneos, com erro médio de 4.2% e 4.8%, respetivamente. Se compararmos estes resultados com o Guia de Especificação do Nível de Exatidão USIBD [11], obtemos que o erro médio para o LEICA P20 é de 11mm, como um LOA30; para o BLK2GO o erro é de 48mm, classificando-o como LOA20 e o iPhone apresenta um erro de 55mm que é classificado como LOA10.

2.3. Análise da precisão

Esta análise incide na precisão das medições das três diferentes nuvens de pontos e pode ser classificada como "abordagem secundária" ou "abordagem de subconjunto". Foram escolhidas duas superfícies diferentes que, idealmente, deveriam ter sido detetadas como planas, definidas aqui como duas paredes paralelas. Foi estudado depois, de forma estatística, como os pontos levantados pelos equipamentos se distribuem em torno do plano ideal, permitindo inferir informações sobre a precisão dos referidos levantamentos. Para tal, foi selecionado um conjunto de 10 diferentes regiões quadradas com dimensões de 20×20 cm cada parede, totalizando 20 regiões - ver Figura 5. Estas regiões foram isoladas no CC e as suas coordenadas exportadas para Excel e estudadas do ponto de vista da distribuição gaussiana dos valores que foram detetados por cada levantamento.

Figura 5

Regiões selecionadas: (a) Levantamento paralelo (A) e (b) levantamento ortogonal (B). Em (c) é apresentada o arranjo das regiões selecionadas.



Após as transformações matemáticas necessárias, os resultados obtidos em cada região foram representados graficamente através da distribuição gaussiana dos pontos para cada dispositivo. Algumas das distribuições Gaussianas obtidas são mostradas na Figura 6. Uma vez que o valor médio representa o valor ideal para o qual cada levantamento tenderia (representando a parede), o comportamento dos pontos em torno deste valor pode prover informações úteis. A distribuição Gaussiana do LEICA P20 (Figura 6a) tem espectro bem concentrado, com pontos próximos à média, apresentando uma curva simétrica e um único pico alto e estreito. A curva comportou-se como previsto e as suas características são indicação de uma boa precisão. A distribuição do BLK2GO é muito semelhante à do LEICA P20, como observado nas figuras 6a e 6b. A distribuição do iPhone 12 Pro (Figura 6c) mostrou-se mais errática, gerando uma curva achatada e indicando resultados menos confiáveis. A relação entre a posição do dispositivo LEICA P20 e o ângulo de incidência do equipamento em relação às paredes também foi analisada, uma vez que a localização do estacionamento e o ângulo de incidência entre o raio laser e a superfície serem conhecidos.

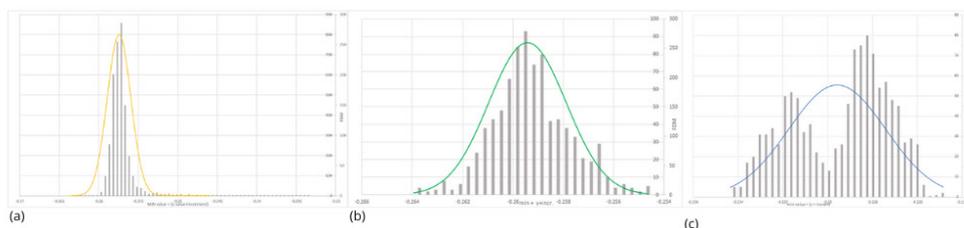


Figura 6
Distribuições obtidas estatisticamente para uma região isolada, sendo (a) P20, (b) BLK2GO e (c) iPhone Pro.

O estacionamento estava localizado próximo da esquina do balcão central, pelo que a perpendicularidade da incidência do raio laser às superfícies analisadas variada consideravelmente (ver Figura 7). A captura vai ocorrendo em condições progressivamente mais favoráveis da região 1 à região 5, onde o arranjo das regiões pode ser observado no diagrama (c) da Figura 5. Em contrapartida, da região 1 a 5 ficam progressivamente piores. Estas considerações foram apoiadas pelos resultados estatísticos apresentados nos gráficos da Figura 7.

Em sequência, como apresentado na Figura 8, as curvas foram normalizadas em torno do valor de pico do LEICA P20. As distribuições para cada região foram então deslocadas no eixo X de acordo com o desvio de pico medido. A variação inicial aplicada foi de +0,2 cm para o BLK2GO para a parede (A) e de +0,13 cm para parede (B). No caso do iPhone 12 Pro, a variação aplicada foi de -2,8 cm para (A) e de -17 cm para (B).

O deslocamento foi então representado para todas as regiões na Figura 9. É possível observar que o BLK2GO apresenta deslocamentos muito mais homogêneos e o iPhone 12 Pro deslocamentos bastante erráticos. Isto se deve à natureza do sensor do iPhone que, como já referido, realiza múltiplas capturas da mesma área para obter uma imagem completa, levando a um comportamento mais inconsistente, além dos problemas anteriormente descritos.

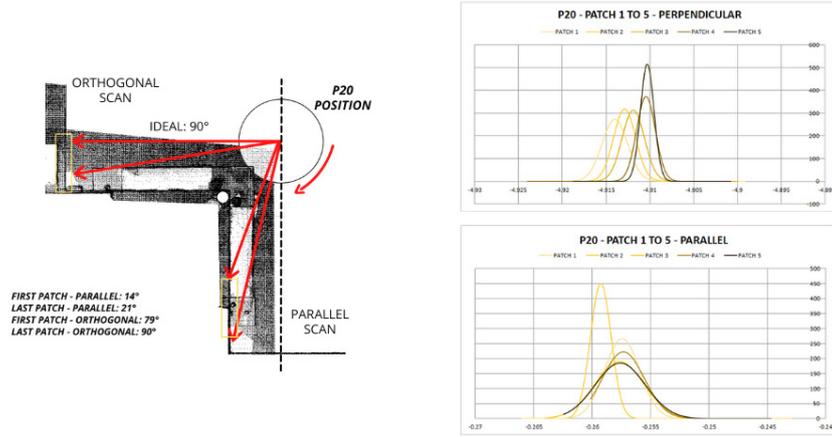


Figura 7
Representação esquemática do contexto do levantamento (esquerda) e comparação das distribuições entre todas as regiões (direita).

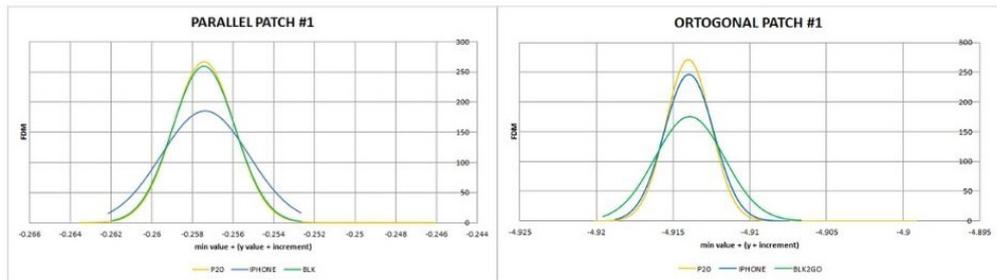


Figura 8
Distribuições Gaussianas normalizadas das medições realizadas para a região #1.

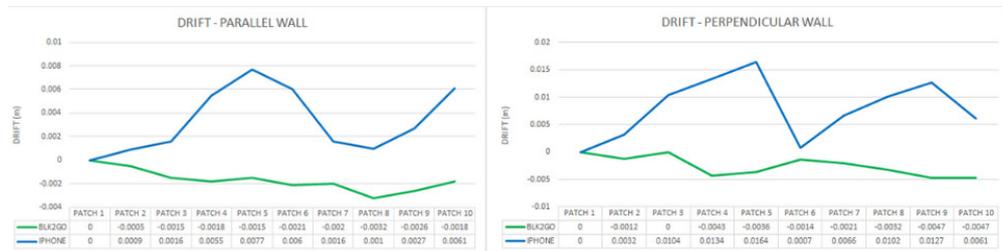


Figura 9
Deslocamentos das distribuições em torno do valor de referência para todas as regiões analisadas.

Outra forma de analisar o desempenho dos dispositivos foi extrair secções da parede superior da área analisada e compará-las. A Figura 10 ilustra como a secção do LEICA P20 é muito mais linear, sem limiares desgastados ou representação irregular da parede "ideal", comportamento contrário ao observado na nuvem derivada do iPhone 12 Pro. A Figura 10 também permitir perceber a proximidade das secções do BLK200 e do LEICA P20.

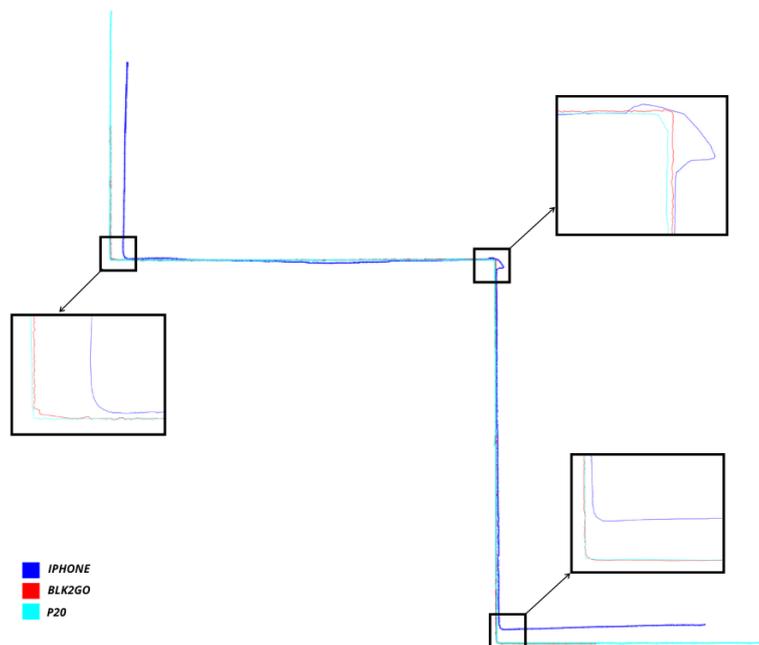


Figura 10
Comparação das secções.

Equipamento	Vantagens	Desvantagens	Uso recomendado	Erro médio	Precisão	Outras observações
Laser Scanner estático	Precisão e detalhe	Velocidade de aquisição e tempo de registo	Levantamentos detalhados	1.5%	+/- 1.5cm	A captura de informação RGB (fotografia) é facultativa, podem diminuir um pouco mais o tempo de aquisição
Laser Scanner móvel de mão	Velocidade de aquisição e facilidade de utilização	Detalhe da nuvem de pontos	Levantamentos de referência e complementares	4.2%	+/- 3.0cm	Requer um percurso de levantamento organizado
Laser Scanner do Telemóvel	Barato e fácil de usar	Precisão e detalhe	Levantamentos rápidos de auxílio	4.9%	+/- 15cm	Consegue levantar áreas limitadas, talvez necessite reiniciar o levantamento

Tabela 2
Conclusões e usos recomendados de cada tipo de equipamento analisado.

3. Conclusões

Através destas análises foi possível concluir que o *laser scanner* estático tem melhor desempenho que os *laser scanners* móveis. Entretanto, apesar da diferença de performance significativa em termos de precisão e exatidão, os scanners móveis podem ser utilizados como complemento pois o desempenho avaliado foi melhor que a expectativa inicial. É possível inferir que um telemóvel equipado com um sensor LiDAR não pode ser utilizado como ferramenta principal para obtenção de nuvens de pontos completas. No entanto, o equipamento pode ser válido e muito útil como um auxiliar em diferentes situações, cabendo a avaliação da sua utilidade ao contexto de utilização. Um levantamento com telemóvel poderia, por exemplo, complementar uma captura realizada com equipamento estático em situações onde, por motivos operacionais ou financeiros, não existem condições para se realizar um levantamento

de determinados detalhes adstritos a regiões muito concretas. Já existem soluções no mercado que permitem este tipo de complementaridade, permitindo num pós processamento a integração direta de nuvens de pontos obtidas com *Smartphones* com as recolhidas pelos equipamentos estáticos.

Já os resultados obtidos para a solução BLK2GO permite considerar a sua utilização como um complemento em situações nas quais a precisão geométrica não seja uma prioridade, como descrito na Tabela 2, uma vez que em geral os resultados se aproximam satisfatoriamente dos obtidos pelos *scanners* estáticos. Por fim, se forem necessários resultados precisos, como por exemplo LAO30 ou mais alto, a captura com *laser scanners* móveis não deverá ser equacionada.

4. Agradecimentos

Este trabalho foi parcialmente financiado pela FCT/MCTES através de fundos nacionais (PIDDAC) sob a unidade de P & D do Instituto para Sustentabilidade e Inovação em Engenharia Estrutural (ISISE), com referência UIDB / 04029/2020. Agradece-se também o apoio financeiro providenciado pelo projeto Cognitive CMMS – Cognitive Computerized Maintenance Management System (POCI-01-0247-FEDER-033574), financiado pelos programas COMPETE2020, Portugal2020 e FEDER.

Bibliografia

- [1] D. Girardeau-Montaut, “Introduction to ClodCompare,” 13 12 2021. [Online]. Available: <https://www.cloudcompare.org/doc/wiki/index.php?title=Introduction> .
- [2] V.V. Lehtola, “Comparison of the Selected State-Of-The-Art 3D Indoor Scanning and Point Cloud Generation Methods”, *MDPI*, 2017.
- [3] J. Jung, S. Yoon, S. Ju and J. Heo, “Development of Kinematic 3D Laser Scanning System for Indoor Mapping and As-Built BIM Using Constrained SLAM”, *MDPI*, 2015.
- [4] U. General Services Administration, Bim Guide for 3D Imaging, ver. 1.0, 2009.
- [5] Ortiz-Coder and Sanchez-Rios, “A self-assembly portable mobile mapping system for archeological reconstruction based on vslam-photogrammetric algorithm”, *MPI*, 2019.
- [6] K. Thoeni, A. Giacomini, R. Murtagh, E. Kniest “A COMPARISON OF MULTI-VIEW 3D RECONSTRUCTION OF A ROCK WALL USING SEVERAL CAMERAS AND A LASER SCANNER”, in *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Riva Del Garda, 2014.

- [7] D. Huttenloche, G. Klanderman and W. Rucklidge, "Comparing images using the Hausdorff Distance", *IEEE*, 1993.
- [8] B. Sirmacek, S. Y., L. R., Z. S. and D. A., "COMPARISON OF ZEB1 AND LEICA C10 INDOOR LASER SCANNING POINT CLOUDS", in *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Prague, Czech Republic, 2016.
- [9] B. Sirmacek, R. C. Lindenbergh and J. Wang, "QUALITY ASSESSMENT AND COMPARISON OF SMARTPHONE AND LEICA C10 LASER SCANNER BASED POINT CLOUDS, focus on urban context", *Research Gate*, 2016.
- [10] B. Sirmacek and R. Lindenbergh, "Accuracy assessment of building point clouds automatically generated from iphone images", *TU Delft*, 2014.
- [11] U. I. o. B. D. USIBD, USIBD Level of Accuracy Specification Guide, 2009.