

revista **IPT**

TECNOLOGIA E INOVAÇÃO

25

v. 8, n. 25, abr., 2024



ENSAIOS SÍSMICOS

Investigação do solo
no Edifício Copan

BOAS PRÁTICAS DE FABRICAÇÃO

Diretrizes para
medicamentos estéreis

CONSTRUÇÃO CIVIL

Uso do checklist para
escolha de soluções técnicas

ipt[•]
INSTITUTO DE
PESQUISAS
TECNOLÓGICAS

ENSINO TECNOLÓGICO



revista **IPT**

TECNOLOGIA E INOVAÇÃO

v.8, n.25, abril, 2024

Quadrimestral

Editores-chefes

Eduardo Luiz Machado

Andreia Longuinho da Silva

José Maria de Camargo Barros

Conselho Editorial

Eduardo Luiz Machado

Silas Derenzo

Assistentes Editoriais

Denis Martins Lemos

Flavio Sergio Jorge de Freitas

João Antonio Rodrigues Garcia

Mariana Mesa Varon

ISSN 2526-5830

Copyright© IPT. Todos os direitos reservados. Todos os textos, imagens, gráficos, e outros materiais são protegidos por direitos autorais e outros direitos de propriedade intelectual pertencentes ao IPT. A reprodução dos textos da Revista IPT somente será permitida para fins didáticos e de pesquisa, desde que com a citação deste material. Proibida a reprodução total ou parcial, com intuito de lucro direto ou indireto, por qualquer meio ou processo.

Créditos técnicos

DIAGRAMAÇÃO E ARTE:

Silvia Megumi Mizoguti Padovani

REVISÃO:

Eduardo Luiz Machado

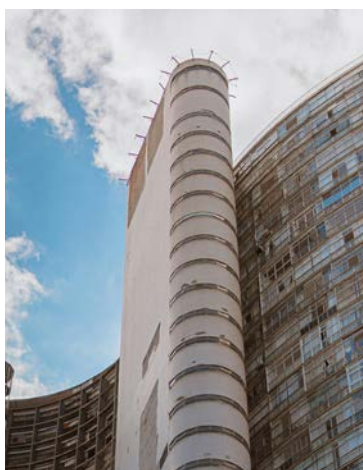
José Maria de Camargo Barros

sapiens.ipt.br

revista@ipt.br

Av. Prof. Almeida Prado, 532
Cidade Universitária - Butantã
05508-901 - São Paulo - SP

ISSN 2526-5830



na capa
Foto de Gláuber Sampaio
na Unsplash

revista IPT
TECNOLOGIA E INOVAÇÃO

#25

revista IPT
T E C N O L O G I A E I N O V A Ç Ã O

SUMÁRIO

artigos técnicos

06

Levantamento de dados de terreno mediante aeronave remotamente pilotada: comparação entre voos com trajetos simples e cruzados.

Autores: Felipe Augusto Zaganini Bento, Omar Yazbek Bitar

21

Ensaio sísmico MASW como método de investigação complementar do solo: o caso do Edifício Copan em São Paulo.

Autores: Daniel Farias da Silva Bernardo, Fabiana Lopes de Oliveira, Otávio Coaracy Brasil Gandolfo, Gisleine Coelho de Campos

43

Fabricação de Medicamentos Estéreis: Diretrizes para Controle de Contaminação

Autores: Andrea Luchi, Maria Filomena de Andrade Rodrigues, Nathalia da Silva Couvo, Patricia Léo

62

Gestão de Restrições e Monitoramento Remoto de Obras com Imagens 360°

Autores: Juliano Egydio, Hylton Olivieri, Sandra Haruna Hashizume

92

Utilização de checklist estruturado para seleção de sistemas construtivos industrializados em empreendimentos logísticos.

Autores: Gabriella Rodrigues Santana, Sandra Haruna Hashizume, Hylton Olivieri

CHÃO FIRME & SAÚDE

A vigésima quinta edição da 'Revista IPT, Tecnologia e Inovação' chega aos leitores acompanhada de notícias quentes sobre tremores e terremotos em lugares tão distintos como Japão, Indonésia, Ilhas Salomão e Nova York, entre outros. O que isto tem a ver com a presente edição da revista? Muito! Nela há cinco artigos selecionados, quatro com foco em solo e subsolo, um em fármacos.

Esta edição começa com "Levantamento de dados de terreno mediante aeronave remotamente pilotada: comparação entre voos com trajetos simples e cruzados". Seus autores são Felipe Augusto Zaganini Bento, do Mestrado Profissional em Habitação: Planejamento e Tecnologia do IPT e CNFB/Guarulhos; e Omar Yazbek Bitar, docente deste Mestrado e pesquisador da unidade CIMA/IPT. O artigo sintetiza estudo que avalia a influência de voo com trajeto em geometria cruzada, para levantar e processar dados numa área.

"Ensaio sísmicos MASW como método de investigação complementar do solo: o caso do Edifício Copan em São Paulo" vem a seguir. São seus autores Daniel Farias da Silva Bernardo, da FAUUSP; Fabiana Lopes de Oliveira, da FAUUSP; Otávio Coaracy Brasil Gandolfo; e Gisleine Coelho de Campos, ambos da unidade CIMA/IPT. O ensaio avalia a rigidez dos materiais sob a superfície do terreno do edifício, para identificar locais com maiores ou menores valores. O método é indireto e não-destrutivo em áreas urbanas.

Na sequência, "Fabricação de medicamentos estéreis: diretrizes para controle de contaminação" de Andrea Luchi e Nathalia da Silva Couvo, do Mestrado Profissional em Processos Industriais do IPT; Patricia Léo, docente deste Mestrado, e Maria Filomena de Andrade Rodrigues, ambas pesquisadoras da unidade Bionanomanufatura/IPT. As autoras descrevem diretrizes de Boas Práticas de Fabricação (BPF) para medicamentos estéreis no Brasil, pela Instrução Normativa 35/2019, e alterações em diretrizes da Comissão Europeia.

"Gestão de restrições e monitoramento remoto de obras com Imagens 360°" discute o desempenho do sistema em casos reais, com e sem imagens 360° móveis, em construções industrializadas e equipes distintas. O uso combinado da ferramenta proporciona melhorias nas atividades do canteiro de obras. Seus autores: Juliano Egydio e Hylton Olivieri, ambos docentes do Mestrado em Habitação: Planejamento e Tecnologia do IPT; e Sandra Haruna Hashizume, docente convidada deste Mestrado.

Fecha esta edição "Utilização de 'checklist' estruturado para seleção de sistemas construtivos industrializados em empreendimentos logísticos". Seus autores – Gabriella Rodrigues Santana, do Mestrado Profissional em Habitação: Planejamento e Tecnologia do IPT; Sandra Haruna Hashizume; e Hylton Olivieri, ambos docentes deste Mestrado – informam que o checklist foi aplicado em estudo de um centro de galpões industriais em concreto pré-moldado. Permite selecionar a melhor opção ainda na concepção do projeto.

Boa leitura!

*Eduardo
L. Machado*

Eduardo Luiz Machado
Diretor Técnico em Ensino Tecnológico



Artigo Técnico

Levantamento de dados de terreno mediante aeronave remotamente pilotada: comparação entre voos com trajetos simples e cruzados.

Terrain data survey through remotely piloted aircraft: Comparison between simple and crossed flight routes.

Felipe Augusto Zaganini Bento^{ab*},
Omar Yazbek Bitar^{cd}

^a Mestrado em Habitação:
Planejamento e Tecnologia
- Instituto de Pesquisas
Tecnológicas do Estado de São
Paulo – IPT - São Paulo/SP.

^b CNFB – Guarulhos/SP.

^c Docente do Mestrado
Profissional em Habitação:
Planejamento e Tecnologia
- Instituto de Pesquisas
Tecnológicas do Estado de São
Paulo – IPT - São Paulo/SP.

^d Seção de Planejamento
Territorial, Recursos Hídricos,
Saneamento e Florestas /
Cidades, Infraestrutura e
Meio Ambiente - Instituto
de Pesquisas Tecnológicas
do Estado de São Paulo
- IPT - São Paulo/SP.

*e-mail:
engenheiro_bento@hotmail.com

Palavras-chave: aerolevramento;
aeronave remotamente pilotada;
voo simples; voo cruzado.

*Keywords: aerial survey; remotely piloted
aircraft; simple flight; cross flight.*

Resumo

Aeronaves remotamente pilotadas são crescentemente utilizadas em atividades de sensoriamento remoto, mostrando ampla variedade de aplicações. Em estudos de saneamento, podem-se variar os valores de diversos parâmetros de voo durante a execução de levantamentos de campo, de modo a melhorar sua qualidade e efetividade no conhecimento do terreno. Nesse contexto, o presente artigo sintetiza estudo desenvolvido com o objetivo de avaliar a influência da realização de voo com trajeto em geometria cruzada, tendo em vista o levantamento e processamento de dados referentes a uma determinada área. Foram executados quatro voos, cada qual com diferente geometria de trajeto e diferente sobreposição. Após o processamento das imagens foram gerados produtos que puderam ser comparados entre si quanto a qualidade das coordenadas, ortofotos e quantidade de pontos obtidos, além de tempo e espaço para a execução do levantamento e do processamento de dados. Os resultados sugerem que voos com trajeto cruzado apresentam melhor qualidade, enquanto os voos com geometria simples, embora apresentem resultado um pouco menos exato, podem ser também indicados, a depender do objetivo, devido à agilidade na execução e no processamento de imagens.

Abstract

Remotely piloted aircrafts are increasingly used in remote sensing operations, showing a wide variety of applications. In sanitation studies, several flight parameters can be varied during the execution of the surveys, in order to improve their quality and effectiveness in the knowledge of the terrain. In this context, this article synthesizes a study developed with the objective of evaluating the influence of performing a cross flight, owing to observe the survey and the data processing, referring to a certain area. Four flights were performed, each with different geometry and overlapping. After processing the images, products were generated, that could be compared with each other in terms of quality of coordinates, orthophotos, number of points obtained in the cloud, as well as the time and space needed for flight and processing execution. The results suggest that flights with a crossed path provides better quality, while flights with simple geometry, although presenting a slightly less accurate result, may be the most indicated, depending on the objective, due to the agility in the flight and in the processing of the images.

1 Introdução

A utilização de Aeronave Remotamente Pilotada (ARP) em levantamentos de campo para aquisição de dados de terreno apresenta grande potencial de crescimento no Brasil, assim como tende a contribuir cada vez mais em estudos aplicados a distintas áreas de conhecimento, principalmente utilizando-se de variados tipos de sensores (TEIXEIRA *et al.*, 2016). Sua aplicação possibilita o aerolevanteamento de informações que podem ser utilizadas para a elaboração de projetos de engenharia, como em drenagem urbana para fins de saneamento básico, com elevada produtividade e alto nível de detalhes (MELLO, 2020), além de facilitar o processo de elaboração de orçamento (PICANÇO e PARENTE, 2019).

Nesse tipo de aerolevanteamento de terreno é possível utilizar valores diferentes para os parâmetros usuais de voo por meio de ARP, como velocidade, altura, sobreposição de imagens, ângulo das fotos e geometria do trajeto a ser percorrido num determinado estudo. Tais parâmetros vêm sendo abordados e discutidos pela comunidade científica (UDIN e AHMAD, 2014; DANDOIS *et al.*, 2015 e DOMINGO *et al.*, 2019), de modo a propiciar alta eficiência na obtenção de resultados, com prazos e custos reduzidos.

Entre as principais motivações para um uso diversificado desses parâmetros, salienta-se a variedade nas características da área a ser sobrevoada (variações na topografia, formato e área total), assim como nas características de ARPs e no desconhecimento sobre quais valores de parâmetros podem ser considerados ótimos na execução de cada tipo de voo, com base no resultado almejado.

Dessa forma, conduziu-se o presente trabalho com o objetivo de avaliar a influência da execução de voos com características distintas, em parâmetros como quantidade de fotos obtidas, tempo de voo, qualidade da ortofoto gerada, quantidade de pontos obtidos durante o processamento e tempo de processamento, considerando-se a variação da geometria do trajeto de voo em simples ou cruzada.

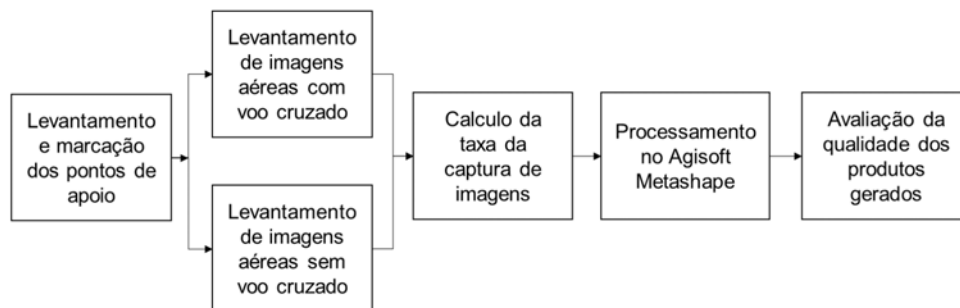
2 Materiais e Procedimentos metodológicos

Os equipamentos empregados para a execução desse trabalho em campo foram um GPS geodésico modelo HI-TARGET V30, uma estação total Horizon R400, um ARP DJI MAVIC 2 PRO equipado com câmera RGB de série (Hasselblad L1D-20c 28 mm, com sensor CMOS de 1" de 20MP e abertura de obturador ajustável) e um smartphone com sistema operacional iOS 14.4 utilizando o programa DroneDeploy versão 4.50.1.

Além disso, para o processamento das imagens, foi utilizado o programa Agisoft Metashape, disponibilizado em laboratório do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT) para a elaboração do trabalho.

O método de abordagem adotado na realização do trabalho é o experimental, baseando-se em levantamentos testados em campo e processamento de imagens em laboratório. Um fluxograma contendo as principais atividades e procedimentos encontra-se representado na **FIGURA 1**.

Figura 1 – Fluxograma contendo as principais atividades e procedimentos desenvolvidos no trabalho.



Fonte: Bento (2022)

Primeiramente, foram levantadas as coordenadas dos pontos de apoio no campo utilizando o GPS e a estação total. Tais coordenadas foram utilizadas como pontos de amarração para a obtenção de coordenadas no processamento das imagens. Logo após, foram executados sobrevoos da área de interesse, sendo dois com trajeto em geometria simples e dois em geometria cruzada, com diferentes sobreposições, de acordo com a **TABELA 1**.

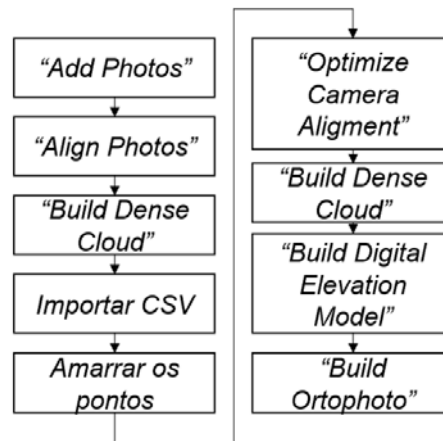
Tabela 1 – Parâmetros-chave e respectivos valores adotados nos voos executados.

Voo	Geometria do trajeto	Sobreposição Longitudinal	Sobreposição Lateral
Voo 1	Simples	80%	60%
Voo 2	Cruzado	80%	60%
Voo 3	Simples	80%	80%
Voo 4	Cruzado	80%	80%

Fonte: Bento (2022)

Na sequência, os tempos de sobrevoo e a quantidade de fotos foram organizados em tabelas e relacionados analiticamente. Então, foi executado o processamento de cada conjunto de imagens obtidas pelos diferentes voos. Os produtos gerados pelo processamento de imagens foram em seguida avaliados e comparados. A **FIGURA 2** apresenta um fluxograma das atividades específicas realizadas para a execução do processamento das imagens.

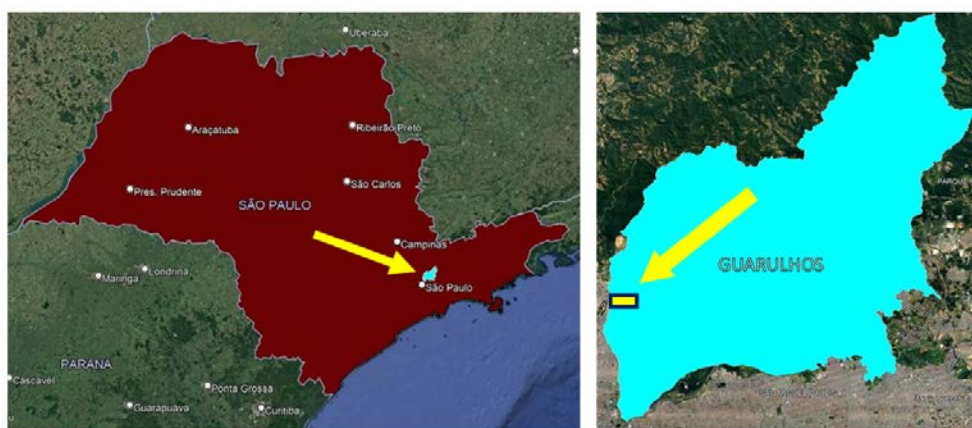
Figura 2 – Fluxograma com as principais atividades realizadas para o processamento de imagens por meio do Agisoft Metashape.



Fonte: Bento (2022)

A área de estudo selecionada para os trabalhos de levantamento de dados de campo se localiza na porção oeste do município de Guarulhos, Estado de São Paulo (FIGURA 3). A delimitação da área de estudo selecionada em campo encontra-se apresentada na FIGURA 4, compreendendo uma gleba com perspectiva de ocupação e de provável elaboração futura de projeto de engenharia para fins de instalação de sistema de drenagem urbana.

Figura 3 – Localização do município de Guarulhos no contexto do Estado de São Paulo (ilustração à esquerda) e da área de estudo na porção oeste da cidade (ilustração à direita), indicadas por setas amarelas.



Fonte: adaptado de Maxar Technologies (2021)

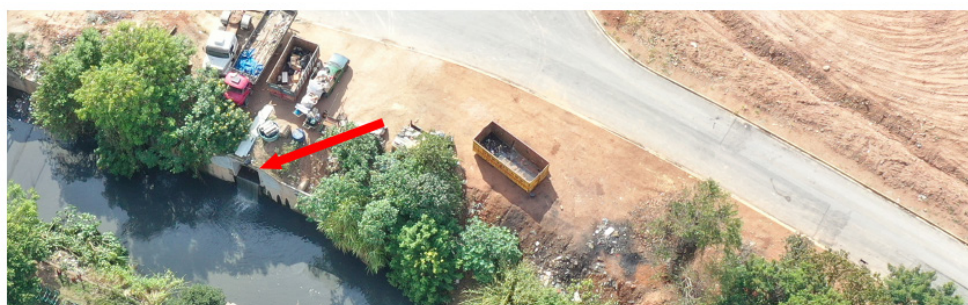
Figura 4 – Delimitação da área de estudo para levantamento de dados de campo (polígono em cor magenta).



Fonte: adaptado de Maxar Technologies (2021)

Trata-se de uma área próxima ao Rio Cabuçu de Cima, com viabilidade de acesso a locais que propiciariam a realização dos levantamentos pretendidos com segurança. A área foi escolhida também por apresentar uma baixa densidade de imóveis, bem como por seu relevo predominantemente plano e, ainda, por abranger um setor de fundo de vale onde há um curso d'água canalizado, conforme se pode notar na **FIGURA 5**.

Figura 5 – Saída de água do afluente canalizado do Rio Cabuçu de Cima, indicada pela seta vermelha.



Fonte: elaborado pelos autores

3 Resultados e discussão

Após o levantamento de campo utilizando o GPS e a estação total, foram obtidas as coordenadas de localização dos pontos de apoio e controle escolhidos. A **TABELA 2** apresenta as coordenadas de cinco pontos de apoio e um de controle, conforme definidos em campo.

Tabela 2 – Coordenadas obtidas pelo levantamento de campo.

Ponto	Latitude	Longitude	Altitude (m)
Apoio 1	23° 26' 23,4242"	46° 33' 53,5333"	738,87
Apoio 2	23° 26' 19,6082"	46° 33' 49,322"	742,46
Apoio 3	23° 26' 20,2061"	46° 33' 41,4723"	749,03
Apoio 4	23° 26' 18,8412"	46° 33' 43,9533"	745,81
Apoio 5	23° 26' 16,5183"	46° 33' 37,8403"	745,49
Controle 1	23° 26' 20,6493"	46° 33' 46,4655"	744,38

Fonte: Bento (2022)

A porcentagem de baterias utilizadas em cada sobrevoo foi considerada no levantamento. Entretanto, é importante salientar que critérios como as condições de vento, a distância entre o ponto de decolagem e o ponto da primeira captura e o deslocamento feito pela aeronave exclusivamente para a troca de baterias são critérios variáveis, com influência direta sobre a quantidade de bateria gasta. Portanto, embora haja influência dos diferentes tipos de voo na utilização da bateria, não é possível comparar esses critérios de forma exata, sendo mais indicado observar o tempo de voo para atender tal finalidade. A **TABELA 3** apresenta os gastos de bateria constatados durante os quatro voos executados, cujas geometrias estão ilustradas na **FIGURA 6**.

Tabela 3 - Quantidade percentual de carga de bateria utilizada ou gasta em cada voo.

Voo	Voo 1	Voo 2	Voo 3	Voo 4
Geometria do trajeto	Simples	Cruzado	Simples	Cruzado
Gasto de bateria	98%	139%	150%	255%

Fonte: elaborado pelos autores

Nota: os valores apresentados nesta tabela referem-se ao somatório das capacidades de bateria utilizadas. Mesmo no voo 1, único a não superar os 100%, foi necessário efetuar a troca da bateria, devido à incapacidade de efetuar voos com baixa carga.

Figura 6 - Capturas de tela com a geometria do trajeto em cada um dos quatro dos voos executados (1 a 4).



Fonte: adaptado de Bento (2022)

Após a coleta e organização das imagens obtidas por meio de ARP, compararam-se as variações no tempo de voo e na quantidade de imagens obtidas. Tais resultados foram divididos por voo e pela orientação da câmera durante a captura das imagens. Os dados apresentados como capturados com câmera na orientação nadir (ponto situado na vertical sob a perspectiva do observador), referem-se à parte do voo realizada com a câmera apontando imediatamente abaixo da ARP, enquanto a captura de 45° refere-se a um voo perimetral da área de interesse, com a câmera deslocada 45° em relação à orientação nadir. Na **TABELA 4**, onde os resultados dos quatro voos estão apresentados de forma resumida, pode-se observar as diferenças quanto aos dados obtidos, bem como distinguindo as características de cada voo executado.

Tabela 4 – Resultados obtidos com os voos realizados.

Dados	Voo 1	Voo 2	Voo 3	Voo 4
Data do levantamento das imagens	03/07/2021	05/07/2021	06/07/2021	16/07/2021
Horário do início da captura das imagens	11:27:54	11:19:48	11:02:26	11:05:44
Geometria do trajeto de voo	Simples	Cruzado	Simples	Cruzado
Sobreposição longitudinal	80%	80%	80%	80%
Sobreposição lateral	60%	60%	80%	80%
Velocidade programada de voo (m/s)	4	4	4	4
Tempo de captura das imagens em orientação Nadir (s)	816	1.640	1.540	3.000
Tempo de captura das imagens em orientação 45° (s)	340	342	502	550
Tempo total de captura das imagens (s)	1.156	1.982	2.042	3.550
Quantidade de imagens obtidas em orientação nadir	279	562	566	1.105
Quantidade de imagens obtidas em orientação 45°	103	103	204	226
Quantidade total de imagens úteis obtidas	382	665	770	1.331
Tempo entre imagens na orientação Nadir (s)	2,92	2,92	2,72	2,71
Tempo entre imagens na orientação 45° (s)	3,30	3,32	2,46	2,43
Tempo entre imagens (s)	3,03	2,98	2,65	2,67

Fonte: adaptado de Bento (2022)

Concluído o processamento das imagens, bem como obtidas as ortofotos, pode-se observar uma diferença de aproximadamente 10% no parâmetro *Ground Sample Resolution* (GSD), que avalia a qualidade das ortofotos obtidas e, ainda, uma diferença de cerca 20% na dimensão das imagens, avaliadas pela quantidade de pixels.

A avaliação desses parâmetros se relaciona com os aspectos de qualidade e nível de detalhamento a alcançar, que tendem a influenciar na identificação de zonas onde os sistemas de saneamento básico precisem de manutenção, conforme discutido em Mello (2020). A **TABELA 5** apresenta os resultados obtidos após o processamento das ortofotos.

Tabela 5 – Comparação das ortofotos obtidas de acordo com os voos realizados.

Voo	Características	GSD (cm/Pixel)	Largura (Pixel)	Altura (Pixel)	Quantidade de Pixel (Megapixel)
Voo 1	Simples 80/60	1,56	29.416	14.807	435
Voo 2	Cruzado 80/60	1,43	32.081	16.149	518
Voo 3	Simples 80/80	1,53	29.994	15.098	452
Voo 4	Cruzado 80/80	1,42	32.171	16.194	521

Fonte: Bento (2022)

Após se comparar as ortofotos obtidas por cada processamento, observa-se a diferença na qualidade do GSD, aspecto diretamente relacionado com uma melhor identificação dos tipos de revestimento do solo e suas áreas de abrangência, aspectos que tendem a ser relevantes na elaboração de orçamentos e prazos para execução de serviços de aerolevante de dados em campo referentes ao planejamento e instalação de sistemas de saneamento básico, corroborando-se o preconizado em Picanço e Parente (2019).

Durante o processamento para obtenção do modelo tridimensional, foi possível observar uma variação na quantidade de pontos apresentados na nuvem. A **TABELA 6** apresenta a quantidade de pontos obtidos após o processamento na *Sparse Cloud* e *Dense Cloud*.

Tabela 6 – Quantidades de pontos obtidos durante o processamento de imagens no Agisoft Metashape.

Voo	Características	Quantidade de Imagens Utilizadas	Quantidade de Pontos na Sparse Cloud	Quantidade de Pontos na Dense Cloud
Voo 1	Simples 80/60	382	260.390	178.380.535
Voo 2	Cruzado 80/60	665	395.218	210.017.244
Voo 3	Simples 80/80	770	279.199	198.934.195
Voo 4	Cruzado 80/80	1.331	527.669	241.910.271

Fonte: Bento (2022)

Conforme apontado por Dandois *et al.* (2015), uma maior sobreposição resulta numa maior quantidade de pontos de amarração. Entretanto, diante das sobreposições escolhidas no presente trabalho, nota-se que a execução de um voo cruzado se mostrou mais eficiente na geração de pontos de amarração no processamento de imagens.

Após o processamento de imagens, foram obtidas as coordenadas do ponto do controle resultantes de cada um dos voos, conforme se observa na TABELA 7.

Tabela 7 – Coordenadas obtidas em cada voo para o ponto de controle após o processamento de imagens no Agisoft Metashape.

Voo	Características	Latitude	Longitude	Altitude(m)
Voo 1	Simples 80/60	23° 26' 20,65"	46° 33' 46,47"	745,065
Voo 2	Cruzado 80/60	23° 26' 20,64"	46° 33' 46,47"	745,051
Voo 3	Simples 80/80	23° 26' 20,65"	46° 33' 46,47"	745,061
Voo 4	Cruzado 80/80	23° 26' 20,64"	46° 33' 46,47"	745,049

Fonte: Bento (2022)

O tempo de processamento de imagens para cada um dos diferentes levantamentos realizados em campo foi também considerado, estando apresentado na **TABELA 8**.

Tabela 8 - Tempo de processamento no Agisoft Metashape.

Voo	Voo 1	Voo 2	Voo 3	Voo 4
Tempo	2:00:49	3:27:55	4:53:24	7:38:38
Gasto de bateria	98%	139%	150%	255%

Fonte: Bento (2022)

O tempo de levantamento e o tempo de processamento estão diretamente relacionados com o custo. Esse impacto tende a ser ainda maior quando se considera a necessidade de levantamentos periódicos, com a finalidade de avaliar áreas frequentemente diagnosticadas com problemas relacionados ao estado de conservação do objeto mapeado, conforme destacado por Mello (2020).

Ao final, pode-se observar variações consideráveis em relação aos seguintes critérios:

- bateria utilizada durante o voo (até um gasto 260% maior);
- tempo dispendido para a captura das imagens (até 310% maior);
- quantidade de imagens obtidas (até 350% mais imagens);
- quantidade de segundos média entre as capturas de imagem (até 15% mais rápido);
- qualidade das ortofotos obtidas após o processamento (até 10% mais precisas);
- quantidade de pontos obtidos durante o processamento na nuvem de pontos (até 200% mais pontos);
- tempo de processamento (até 380% mais lento).

Entretanto, notou-se que houve pouca variação nas coordenadas obtidas após o processamento, mesmo com a quantidade de variações consideráveis nos critérios citados anteriormente.

Além disso, pode-se observar que a execução do voo cruzado obteve uma maior influência sobre a qualidade dos produtos quando comparado a apenas uma maior quantidade de imagens capturadas. Com isso, quando uma melhor qualidade do produto for desejada, pode-se recomendar a execução de levantamento de campo adotando-se o voo com trajeto em geometria cruzada.

Dessa forma, tendo em conta as discussões apresentadas em Udin e Ahmad (2014), Dandois *et al.* (2015) e Domingo *et al.* (2019), no sentido de que se deve sempre buscar melhores condições de velocidade, altura, sobreposição de imagens, ângulo das fotos e, ainda, geometria do trajeto a ser percorrido, de modo a aprimorar a eficiência dos levantamentos de campo por meio de ARP, com prazos e custos reduzidos, pode-se considerar que os voos executados no presente trabalho mostraram algumas variações entre si quanto aos resultados obtidos, havendo tanto aspectos favoráveis quanto desfavoráveis em relação a cada uma das geometrias avaliadas.

4 Conclusões e Recomendações

Todos os voos realizados geraram resultados que podem ser considerados satisfatórios. No entanto, considera-se que a escolha para a execução de um voo com base em determinados critérios deve partir do objetivo pretendido quanto ao produto a ser gerado, o que pode conduzir a distintas alternativas quanto à geometria do trajeto.

Observa-se que a quantidade de fotos adquiridas não se mostra diretamente relacionada à obtenção de uma melhor qualidade dos produtos finais. Nesse sentido, tende a ser mais vantajosa a execução de voo com trajeto em geometria cruzada, para a obtenção dos melhores resultados, ao invés de se aumentar a quantidade de fotos por meio de sobreposição.

Em caso de obtenção de coordenadas ou na geração de ortofotos de boa qualidade, poderia ser recomendado um voo com geometria de trajeto simples, seguindo-se os critérios adotados neste trabalho. Nesse caso, o tempo de levantamento de dados em campo, a quantidade de imagens obtida e o tempo de processamento seriam aprimorados, proporcionando também um resultado de boa qualidade.

Por outro lado, caso pretenda-se elaborar um modelo tridimensional com o máximo de fidelidade possível ou caso seja necessário gerar uma ortofoto com o menor GSD possível (que corresponderia a um produto com melhor qualidade), pode-se aconselhar a execução de um voo com trajeto em geometria cruzada.

Por fim, pode-se acrescentar, ainda, a recomendação de se utilizar levantamentos de campo com ARPs também devido à capacidade destes em sobrevoar locais de difícil acesso, além de propiciar a geração de modelos de produtos cartográficos digitais, viabilizando a elaboração de projetos computadorizados por meio de ferramentas como *Building Information Modeling* (BIM) e outras modelagens tridimensionais.

5 Referências

BENTO, F. A. Z. **Aquisição de dados planialtimétricos por meio de Aeronave Remotamente Pilotada**: análise comparativa de resultados em voos simples e cruzados com diferentes sobreposições. 2022. (107 p.) Dissertação (mestrado) – Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo – IPT.

DANDOIS, J. P.; OLANO, M.; ELLIS, E. C. Optimal altitude, overlap, and weather conditions for computer vision UAV estimates of forest structure. **Remote Sensing**, v. 7, n. 10, p. 13895–13920, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/rs71013895>. Acesso em: 20 mai. 2023.

DOMINGO, D.; ØRKA, H. O.; NÆSSET, E.; KACHAMBA, D.; GOBAKKEN, T. Effects of UAV image resolution, camera type, and image overlap on accuracy of biomass predictions in a tropical woodland. **Remote Sensing**, v. 11, n. 8, p. 948, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/rs11080948>. Acesso em: 21 mai. 2023.

MAXAR TECHNOLOGIES. Imagem de satélite. 2022. **Google Earth Website**.

MELLO, C. C. S. **Aerofotogrametria com vant: aplicações no monitoramento operacional de aterros sanitários**. 2020. 134 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2020. Disponível em: <https://abesnacional.com.br/XP/XP-EasyArtigos/Site/Uploads/Evento41/TrabalhosCompletoPDF/I-006.pdf>. Acesso em: 13 jun. 2022.

PICANÇO, A. P.; PARENTE, D. C. **Utilização de veículo aéreo não tripulado no levantamento de serviços para orçamentação de redes coletoras de esgoto e de abastecimento de água**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 30., 2019, Natal. Anais [...] . Natal: Abes, 2019. p. 1-6. Disponível em: <https://abesnacional.com.br/XP/XP-EasyArtigos/Site/Uploads/Evento45/TrabalhosCompletoPDF/I-064.pdf>. Acesso em: 13 jun. 2022.

TEIXEIRA, B. E.; CHIACCHIO, S.; OLIVEIRA, M. E.; TECH, A. R. Um estudo sobre o desenvolvimento e utilização de um quadricóptero para aplicações referentes ao clima de uma área cultivada. In: SIMPÓSIO DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DA ENGENHARIA AMBIENTAL, 15., 2016, São Carlos. **Anais eletrônicos do XV Simpósio do Programa de Pós-Graduação em Ciências da Engenharia**. São Carlos: Eesc Usp, 2016. p. 1-8. Disponível em: <http://soac.eesc.usp.br/index.php/PPGSEA/PPGSEA/paper/viewFile/270/203>. Acesso em: 22 mar. 2021.

UDIN, W. S.; AHMAD, A. Assessment of photogrammetric mapping accuracy based on variation flying altitude using unmanned aerial vehicle. In: **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, v. 18, p. 012027, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/18/1/012027>. Acesso em: 21 mai. 2023.

10.29327/2202814.7.25-2



Artigo Técnico

Ensaio sísmico MASW como método de investigação complementar do solo: o caso do Edifício Copan em São Paulo.

MASW seismic tests as a complementary soil investigation method: the case of the Copan Building in São Paulo.

Daniel Farias da Silva Bernardo^a, Fabiana Lopes de Oliveira^a, Otávio Coaracy Brasil Gandolfo^b, Gisleine Coelho de Campos^{c*}

^a Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo (FAUUSP).

^b Seção de Investigações, Riscos e Gerenciamento Ambiental/ Cidades, Infraestrutura e Meio ambiente do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (SIRGA/CIMA IPT).

^c Seção de Obras Cívicas/ Cidades, Infraestrutura e Meio ambiente do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (SOC/CIMA IPT).

*e-mail: gisleine@ipt.br

Palavras-chave: ensaios sísmicos MASW; patrimônio histórico; Edifício Copan.

Keywords: seismic tests; MASW; historical heritage; Copan Building.

Resumo

No presente artigo, são apresentados os resultados dos ensaios sísmicos de *Multichannel Analysis of Surface Waves* (MASW) realizados no subsolo do Edifício Copan, ícone arquitetônico e marco referencial da arquitetura paulistana. O objetivo do ensaio foi avaliar a rigidez dos materiais em subsuperfície ao longo do terreno de embasamento do edifício, tentando identificar os locais onde estes apresentam maiores ou menores valores. Este método indireto e não destrutivo, por fornecer uma alta razão sinal/ruído, é adequado para ser usado em áreas urbanas, onde é comum a presença de pouco espaço livre, com diferentes pisos, pavimentos e elevado nível de ruídos ambientais, principalmente vibrações. Dos seis pontos investigados, cinco forneceram resultados que puderam ser interpretados. Dos dois pontos que apresentaram os melhores resultados, pôde ser estabelecida uma relação com o que se sabia, a partir de fontes primárias e bibliográficas, da área sob o edifício Copan.

Abstract

In this article, the results of the Multichannel Analysis of Surface Waves (MASW) seismic tests carried out in the underground of the Copan Building, icon of architecture in the city of São Paulo, are presented. The objective of the test was to assess the stiffness of subsurface materials along the building's foundation ground, aiming to identify areas where they exhibit higher or lower values. This indirect method, as it provides a high signal/noise ratio, is suitable for working in urban areas, urban areas where limited space, different floors, pavements, and high levels of environmental noise, particularly vibrations, are common. Out of the six investigated points, five provided interpretable results. From the two points that yielded the best results, a relationship could be established with what was known from primary and bibliographic sources about the area beneath the Copan Building.

1 Introdução

Os trabalhos de conservação de uma Construção Histórica (CH) exigem determinados cuidados que estão primordialmente relacionados à compreensão exata da realidade destes bens, os quais costumam apresentar o comportamento estrutural de seus sistemas construtivos e as características de seus materiais pouco conhecidas. O diagnóstico das condições em que se encontram estas construções deve ser baseado em informações históricas e em abordagens qualitativas e quantitativas. Estas últimas estão apoiadas em ensaios específicos e modelos matemáticos, como aqueles utilizados na engenharia moderna. Costuma-se ser necessária a formação de equipes multidisciplinares para análise das condições destes bens, a variar de acordo com as ações incidentes. Dentre estas, de forma indireta, estão os deslocamentos do terreno de fundação que são as mais perigosas e exigem acompanhamento de seu desenvolvimento (ICOMOS, 2003).

Considerando que qualquer diagnóstico deve ser dirigido à raiz das causas que provocam as manifestações patológicas e partindo-se da necessidade de se evitar ensaios invasivos à materialidade das CH, os métodos geofísicos, não-destrutivos e não-invasivos, representam um suporte científico interessante na caracterização do subsolo de fundação de edificações antigas. O MASW (*Multichannel Analysis of Surface Waves*) - ensaio sísmico baseado na propagação de ondas de superfície - é um exemplo de ensaio geofísico com potencial de utilização nestas situações.

Uma das grandes vantagens dos métodos que utilizam ondas de superfície, como o MASW, é o fato destas ondas fornecerem um sinal de grande amplitude, possibilitando sua aplicação em locais onde outros métodos geofísicos não seriam eficientes, como em áreas urbanas onde é elevado o nível de ruídos que causam vibrações, prejudiciais à qualidade de diversos outros ensaios sísmicos, como o método da refração, por exemplo.

Este trabalho consistiu na realização do ensaio sísmico MASW, visando a determinação do perfil de velocidade da propagação da onda de cisalhamento (V_s) em função da profundidade, em pontos do piso do segundo subsolo, no interior da garagem do Edifício Copan. O intuito do ensaio foi avaliar a rigidez dos materiais em subsuperfície ao longo do terreno de embasamento do edifício, tentando identificar os locais onde estes apresentam maiores ou menores valores. A área de implantação do edifício é caracterizada por ser densamente edificada e populosa e, conseqüentemente com a presença de elevado nível de ruído (vibrações) devido ao intenso tráfego local existente (veículos e linha de Metrô).

2 O caso histórico dos recalques do Edifício Copan e sua correlação com a geotecnia local: o estudo de caso

O Edifício Copan, construído entre 1952 e 1972, está localizado na avenida Ipiranga, no centro da cidade de São Paulo, onde há algum tempo já se sabe da ocorrência das camadas de argilas variegadas, dispostas irregularmente, sobrepondo as chamadas “areias basais”. As características geológico-geotécnicas dessas areias foram amplamente estudadas ao longo de décadas, também pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - IPT, na ocasião da construção de edifícios altos na cidade de São Paulo no início do século XX e, posteriormente, nas investigações geotécnicas para execução da linha norte-sul do Metrô de São Paulo (VARGAS, 1980).

Segundo Feliciani (1989), as “areias basais” encontram-se naturalmente em estados de compacidade muito variados, dispostos erráticamente tanto na direção vertical como horizontal, apresentando-se, de forma geral, como fofas ou pouco compactas. Vargas, Pinto e Marinho (1998) também destacam a grande heterogeneidade destas areias, que podem ocorrer tanto no estado fofo (com NSPT baixos, entre de 2 a 6), como mais compacto (com NSPT de até 36). Teixeira (1970) afirma que essas areias argilosas do centro de São Paulo, apesar de possuírem um baixo teor de argila, apresentam características de deformação semelhantes àquelas de solos predominantemente argilosos. Segundo o autor, fundações profundas apoiadas nestas areias argilosas recalcam lentamente com o tempo e para tensões de 7 a 8 kg/cm² aplicadas ao solo, resultam em grandes recalques totais e diferenciais.

Pelos projetos das fundações do Copan, nota-se que a lâmina do edifício foi executada em fundações profundas do tipo caixões cravados a ar comprimido, os quais foram assentados entre 5 e 7 m abaixo do nível do segundo subsolo, sobre as tais “areias basais”. Ensaio de simples reconhecimento mostraram um solo que foi considerado fofo para suportar as tensões em torno de 8 kg/cm² aplicadas pelos caixões e, desta forma, decidiu-se pelo melhoramento da camada mais superficial da areia pela cravação de um reticulado de estacas de compactação no nível da base dos caixões, previamente à sua execução. Estas estacas são de concreto armado, têm 8 metros de comprimento e estão espaçadas de um metro. Não se sabe ao certo a localização destas estacas, mas acredita-se, por meio de indícios dos projetos e bibliografia sobre o assunto, que estejam, aproximadamente, sob a projeção da lâmina do edifício (com o formato sinuoso característico em “S”).

Durante as fases iniciais da construção do Copan, o IPT foi contratado com o objetivo de monitorar o comportamento das fundações especiais do edifício, incumbência esta que se estende até os dias atuais, uma vez que o edifício apresenta recalques de longo prazo, identificados por meio destas medições. No entanto, os atuais deslocamentos, embora não tenham atingido total estabilização, reduziram-se de maneira drástica em termos de intensidade. Os mais expressivos recalques ocorreram durante a construção da lâmina e ocupação inicial do edifício - comportamento esperado durante essa etapa, considerando o incremento de carga sobre as fundações. Entretanto, a magnitude de tais deslocamentos apresentou-se excessivamente elevada, de tal forma que no ano de 1962, diante da constatação de recalques diferenciais e deformações angulares críticas, foi tomada a decisão de reforçar uma parte das fundações do edifício (**FIGURA 1**), priorizando a área com maiores recalques (BERNARDO; OLIVEIRA; CAMPOS, 2022).

Figura 1 – Reforços de fundação do Edifício Copan.

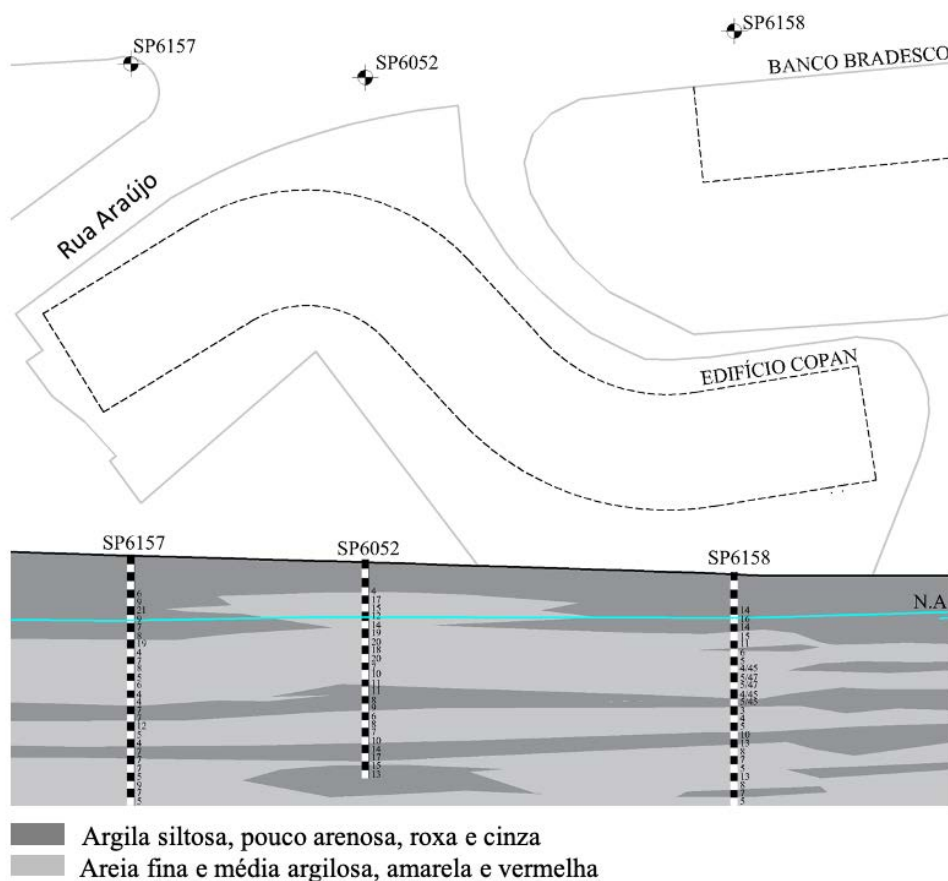


Foto: Daniel Bernardo (2021)

Os deslocamentos diferenciais das fundações do Edifício Copan ao longo dos anos levantam questões sobre suas prováveis causas: estariam eles relacionados à conhecida heterogeneidade destas areias basais, à ineficiência da execução das estacas de melhoramento de solo ou ao sistema solo-fundações como um todo? Sondagens de simples reconhecimento foram executadas pela Geotécnica S.A. no início da construção do edifício, em 1952, por todo o terreno do edifício e pelo IPT em 1954, apenas na porção superior, próximo à Rua Araújo. Infelizmente os resultados das sondagens executadas pela Geotécnica não foram encontrados para uso nesta pesquisa, sobrando apenas os resultados das sondagens do IPT, insuficientes para traçar o perfil geotécnico do terreno e atestar, por exemplo, sobre as diferentes compacidade do solo em cada uma das extremidades do edifício.

Por outro lado, têm-se notícias da existência de relatórios de *Standard Penetration Test* (SPT) realizados na Avenida Ipiranga em frente ao Edifício Copan, por conta da construção da linha amarela da Companhia do Metropolitano de São Paulo - Metrô em 2008, sendo possível conhecer, aproximadamente, o perfil das camadas do solo que ocorrem na área (FIGURA 2).

Figura 2 - Seção geológico-geotécnica relativa às sondagens realizadas pelo Metrô.



Autor: Daniel Bernardo (2023).

3 Princípios do método sísmico MASW

Os métodos que utilizam as ondas de superfície se baseiam fundamentalmente nas propriedades da dispersão (velocidade variando em função da frequência). O fenômeno da dispersão ocorre em um meio estratificado, verticalmente heterogêneo, que apresente diferentes valores de velocidades de propagação das ondas sísmicas com a profundidade, situação bastante comum em ambientes de investigação rasa. Devido às mudanças das propriedades elásticas com a profundidade em um meio não homogêneo, comprimentos de ondas longas dependerão das propriedades das maiores profundidades, se comparados aos comprimentos de ondas curtas e, assim sendo, diferentes comprimentos de onda propagam-se com diferentes valores de velocidades.

A energia (ou amplitude) das ondas de superfície decai exponencialmente com o aumento da profundidade. Grandes comprimentos de onda (longos períodos/baixas frequências) propagam-se em maiores profundidades e fornecem informações das velocidades das camadas mais profundas. De maneira contrária, pequenos comprimentos de onda (curtos períodos/altas frequências) propagam-se mais próximas à superfície e são influenciadas pelas velocidades das camadas mais rasas. A relação entre velocidade de fase e a frequência (ou comprimento de onda) é denominada de curva de dispersão.

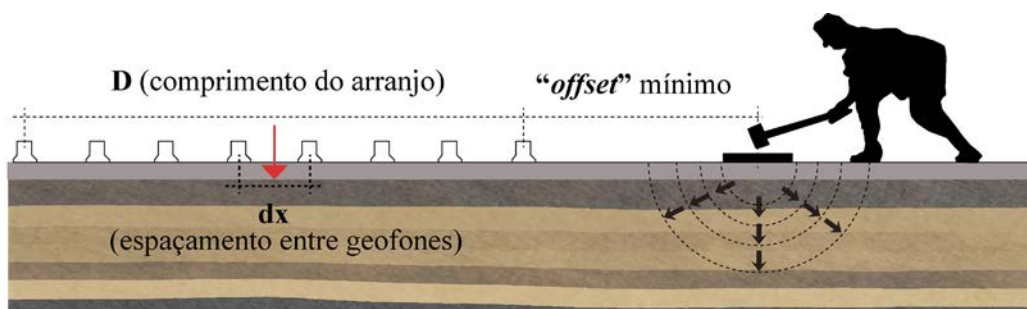
O método utiliza principalmente as ondas do tipo *Rayleigh* – “ondas de superfície” que se propagam ao longo da interface entre duas camadas de diferentes propriedades elásticas, neste caso, a superfície do terreno e as camadas subsuperficiais. Nos ensaios de campo de MASW é feito o registro da onda *Rayleigh* e, por processamento dos dados, podem ser obtidas informações sobre a velocidade da onda cisalhante (V_s).

Em geotecnia, o conhecimento de V_s é importante devido a algumas de suas características, tais como a sua relação direta com o módulo de cisalhamento dinâmico ($G_{\max} = \rho V_s^2$) e a sua insensibilidade à presença de fluídos no maciço terroso.

As ondas de superfície podem ser geradas por uma fonte do tipo “ativa”. As mais utilizadas são as fontes impulsivas (marretas ou queda de pesos) que têm a vantagem de criar com o impacto uma ampla faixa de frequências. O impacto de uma marreta contra uma base posicionada sobre a superfície do terreno constitui uma boa fonte de ondas de superfície, a um razoável custo/benefício e com geração de energia suficiente para investigações rasas.

Os ensaios são concebidos para se detectar este tipo de onda e, após o processamento e a inversão dos dados, obter-se um perfil da variação de V_s com a profundidade em um determinado ponto. Dentre alguns ensaios, destaca-se o MASW (*Multichannel Analysis of Surface Waves*). O método MASW (PARK *et al.*, 1999; XIA *et al.*, 1999), assim como qualquer método que utilize ondas de superfície, está fundamentado no caráter dispersivo das ondas *Rayleigh* em meios estratificados. É realizado utilizando um arranjo de geofones alinhados e pequeno espaçamento entre eles ($dx \cong 1$ m). O local de geração de energia é externo ao arranjo e a distância deste ponto ao primeiro geofone é denominada “*offset*” mínimo (FIGURA 3).

Figura 3- Arranjo de campo de um ensaio MASW

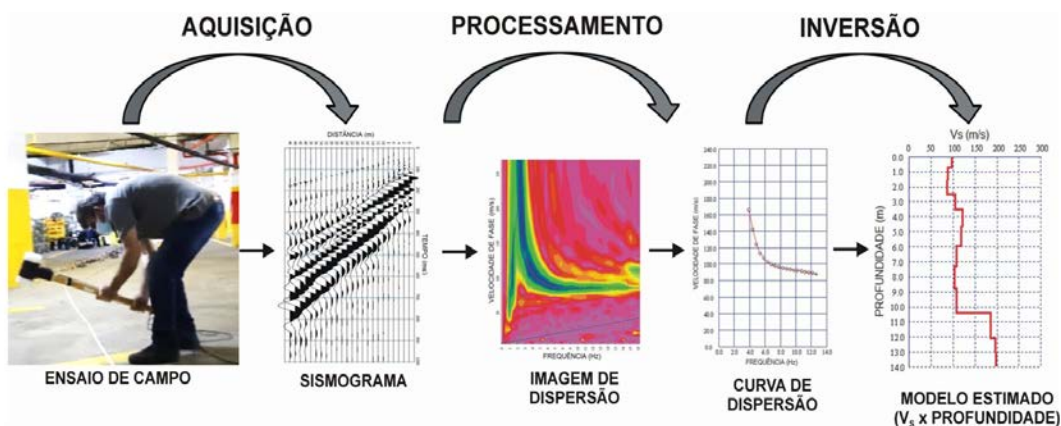


Fonte: elaborado pelos autores.

Como regra prática, a máxima profundidade investigada equivale à metade do comprimento do arranjo ($1/2D$). Para o registro dos dados é utilizado um sismógrafo, sendo aconselhável que este tenha pelo menos 24 canais. Os geofones são de componente vertical e, em geral, de baixa frequência (4,5 Hz). Na obtenção de cada registro, três impactos de marreta, em geral, são suficientes para aquisição de um dado com boa qualidade em termos de razão sinal/ruído.

Os sismogramas adquiridos em campo, um registro apresentado no domínio tempo-distância, são posteriormente transformados para o domínio frequência-número de onda (f - K), por meio da aplicação sucessiva de duas transformadas de Fourier. O domínio f - K , que mostra as propriedades dispersivas das ondas de *Rayleigh*, apresenta uma imagem de dispersão da qual pode ser obtida uma curva de dispersão (velocidade de fase em função da frequência), identificando-se os máximos de energia para cada frequência. Por meio de processos matemáticos de inversão da curva de dispersão, finalmente pode ser obtido um perfil 1D da variação de velocidade da onda cisalhante (V_s) com a profundidade, informação atribuída ao centro do arranjo de geofones. A FIGURA 4 ilustra as etapas de um levantamento de MASW, desde a aquisição dos dados de campo até o resultado final fornecido.

Figura 4 - Etapas de um levantamento de MASW



Fonte: os autores (2022).

4 Aquisição de dados

Para a realização dos ensaios foram utilizados os seguintes equipamentos:

- Sismógrafo *Geode* marca *Geometrics* de 24 canais;
- 24 geofones de componente vertical com frequência natural de 4,5 Hz;
- Marreta de 5 kg para geração das ondas sísmicas.

Foi utilizado um espaçamento de 1 m entre geofones e o "offset" - distância entre o ponto de impacto da fonte de ondas sísmicas (marreta) e a posição do primeiro geofone no arranjo linear - foi definido em cada um dos pontos ensaiados, avaliando-se a qualidade do sinal obtido nos diferentes locais. A **FIGURA 5** mostra a execução do ensaio MASW no segundo subsolo do Edifício Copan.

Figura 5 - Ensaio MASW sendo executado no Copan

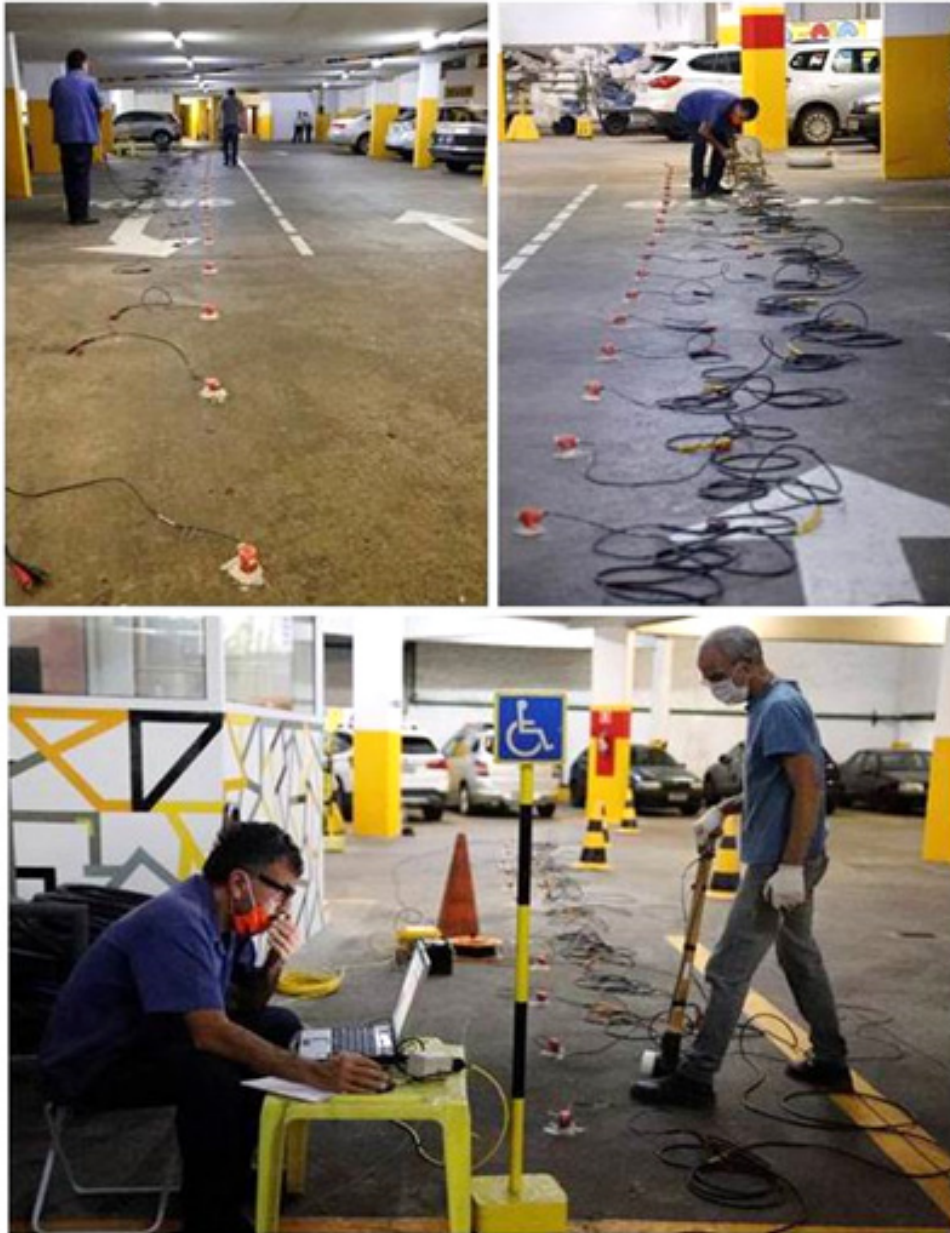
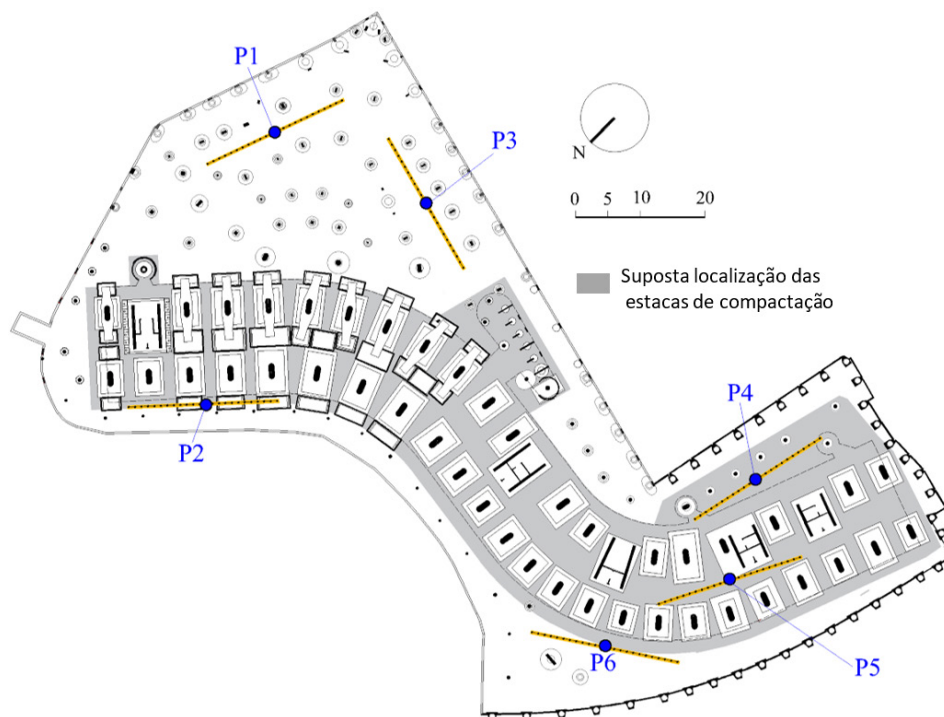


Foto: Daniel Bernardo (2022).

Com o intuito de facilitar a compreensão do ensaio realizado, a **FIGURA 6** exibe uma planta das fundações do Edifício Copan (referente ao pavimento 2º subsolo) e destaca a localização dos pontos em que os ensaios foram conduzidos.

Figura 6- Pontos onde foram realizados os ensaios MASW

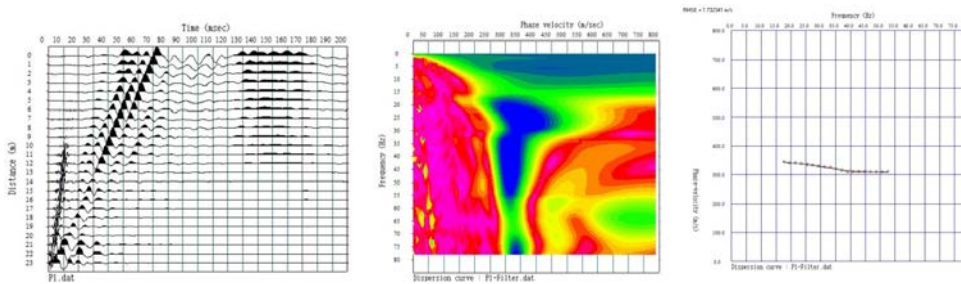


Fonte: modificado de Bernardo (2023), Bernardo; Oliveira (2023) e Bernardo (2024).

5 Processamento e inversão

No processamento dos dados, foi utilizado o *software SeisImager/SW*. Os dados obtidos nos ensaios de campo são apresentados da seguinte forma: sismograma; imagem de dispersão; e curva de dispersão obtida da imagem de dispersão. Os perfis de V_s versus profundidade obtidos pela inversão da curva de dispersão são apresentados posteriormente. As **Figuras 7, 8, 9, 10 e 11** apresentam os resultados obtidos, respectivamente, nos pontos P1, P3, P4, P5 e P6.

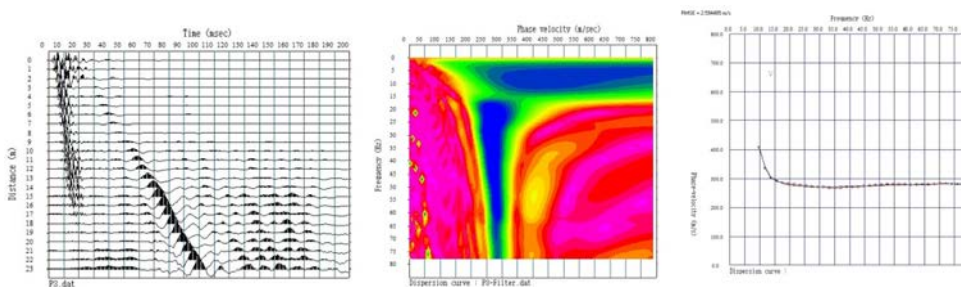
Figura 7 - Sismograma (esquerda), imagem de dispersão (centro) e curva de dispersão (direita) obtida no ponto P1.



Fonte: elaborado pelos autores.

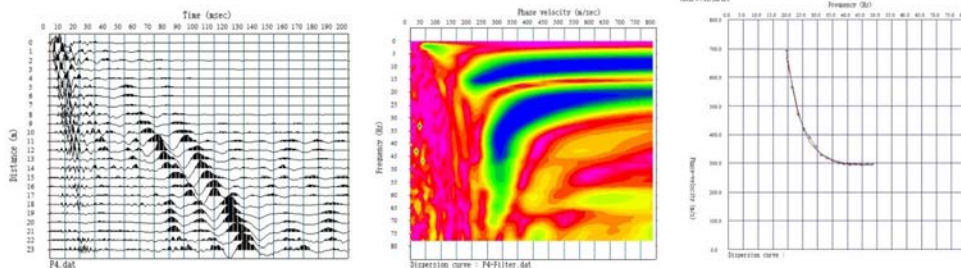
O dado adquirido no ponto P2 apresentou uma qualidade insatisfatória e não permitiu a obtenção da curva de dispersão necessária para a determinação do perfil de velocidade, devido ao aspecto ruim da imagem de dispersão. Conseqüentemente, nenhuma informação pode ser obtida neste local.

Figura 8 - Sismograma (esquerda), imagem de dispersão (centro) e curva de dispersão (direita) obtida no ponto P3.



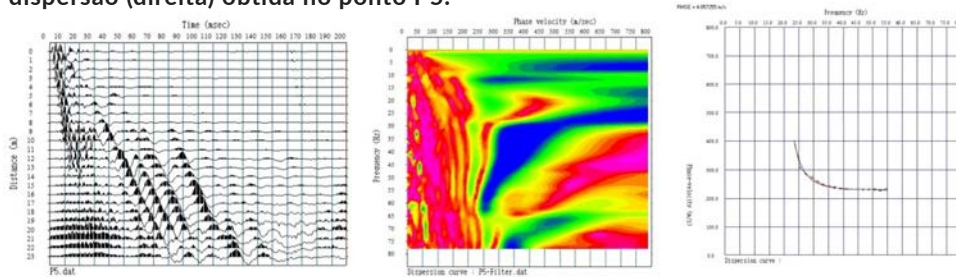
Fonte: elaborado pelos autores.

Figura 9 - Sismograma (esquerda), imagem de dispersão (centro) e curva de dispersão (direita) obtida no ponto P4.



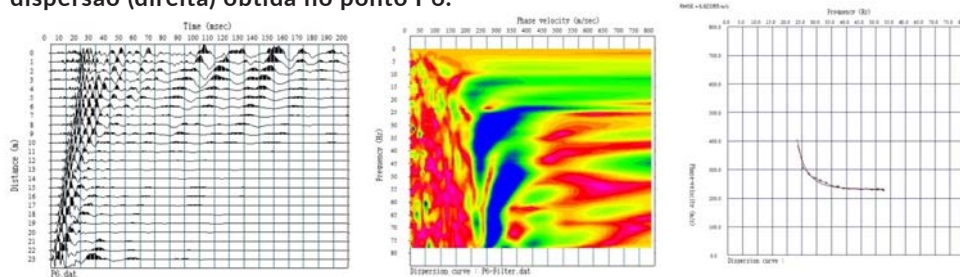
Fonte: elaborado pelos autores.

Figura 10 - Sismograma (esquerda), imagem de dispersão (centro) e curva de dispersão (direita) obtida no ponto P5.



Fonte: elaborado pelos autores.

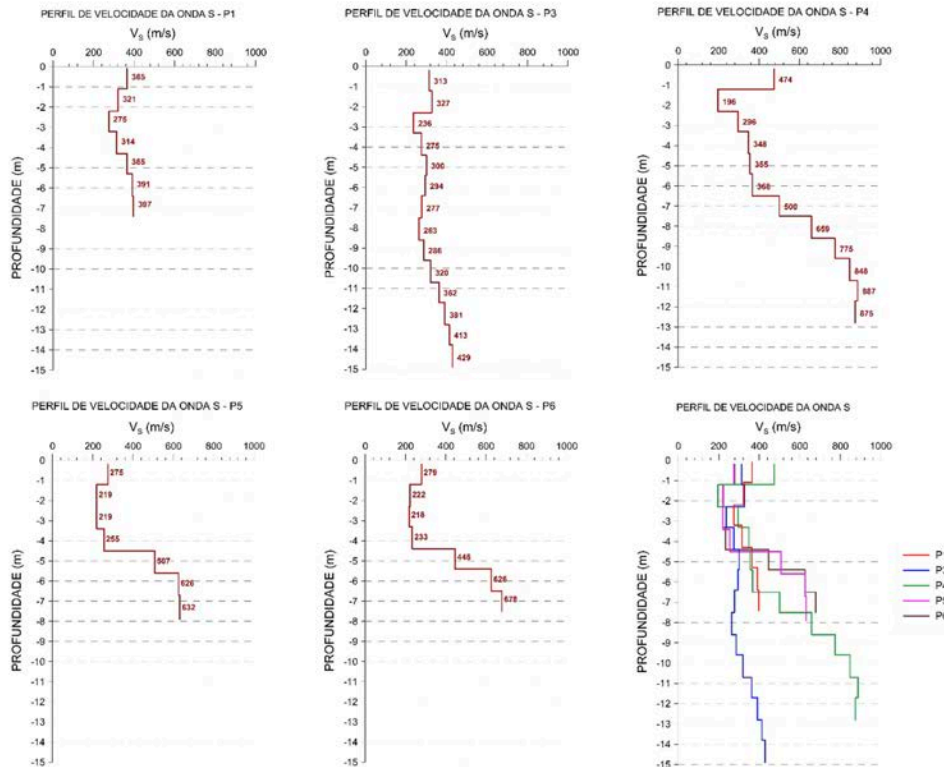
Figura 11 - Sismograma (esquerda), imagem de dispersão (centro) e curva de dispersão (direita) obtida no ponto P6.



Fonte: elaborado pelos autores.

A inversão das curvas de dispersão produziu os modelos de velocidades da onda de cisalhamento (V_s) em função da profundidade, apresentados na **FIGURA 12**.

Figura 12 - Modelos de V_s versus profundidade, obtidos nos pontos dos ensaios MASW.



Fonte: elaborado pelos autores.

6 Discussão

Os ensaios realizados nos pontos P1, P5 e P6 atingiram menores profundidades de investigação do que os ensaios realizados nos pontos P3 e P4. Esse resultado se deve às características da área analisada do terreno, como possivelmente a proximidade com os elementos da infraestrutura do edifício, tais como blocos de fundação e vigas de travamento em concreto armado, e não às questões na aquisição de dados e/ou ao desempenho dos equipamentos.

Nos quatro primeiros metros, os valores de V_s variaram de 200 m/s a 360 m/s em todos os perfis. Nos pontos P4, P5 e P6 observa-se um aumento pronunciado de velocidades a partir das profundidades entre 4 e 7 m. Devido à perda de resolução

com a profundidade, os valores de velocidade dos modelos nestes pontos podem estar superestimados, embora este aumento de V_s em relação à porção superior esteja evidente nos dados obtidos. Não se observou um aumento acentuado de V_s nos pontos P1 e P3 a partir das profundidades entre 4 e 7 m. Essa característica observada está de acordo com o previsto, uma vez que nesta área, de acordo com relatos e indícios documentais históricos, não foi realizado o estaqueamento para melhoramento da compacidade das areias sob as fundações.

Uma interpretação mais assertiva foi feita com base nos resultados dos pontos onde o dado de MASW apresentou uma imagem de dispersão de melhor qualidade – pontos P3 e P4. Nestes locais, o perfil de V_s forneceu informações até profundidades maiores, se comparado aos outros pontos dos ensaios. Os pontos P3 e P4 estão localizados em extremidades opostas do edifício e representam áreas distintas do terreno do Copan. O ponto P3 está localizado próximo à região do edifício onde, historicamente, o monitoramento da estrutura mostrou os maiores recalques e onde os reforços das fundações foram executados. O ponto P4 situa-se em uma área do edifício que o monitoramento mostrou menores recalques.

Para fins comparativos, foi calculado um valor médio de V_s para cada um dos pontos, dado pela seguinte equação:

$$V_s = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{V_{si}}} \quad \text{equação (1)}$$

Onde,
 V_{si} = velocidade da onda S na i-ésima camada (m/s)
 d_i = espessura da i-ésima camada (m)
 i = índice que representa uma camada do modelo entre 1 e n

No ponto P3, V_s médio resultou em um valor de 311 m/s e no ponto P4, o valor de 440 m/s.

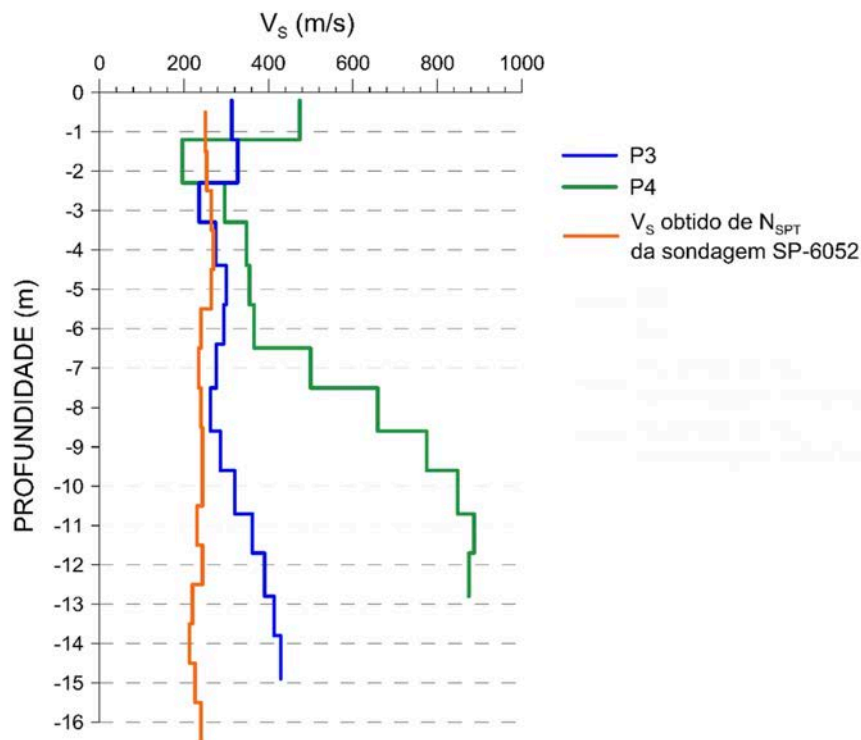
Outra análise que pode ser feita é com base em informações disponíveis de sondagens com ensaio SPT. Há uma notável e comprovada correspondência, respaldada por inúmeras correlações empíricas extraídas da literatura, entre o parâmetro V_s (velocidade da onda de cisalhamento, obtida pelos ensaios sísmicos) e o N_{SPT} (obtido dos ensaios de SPT nas sondagens a percussão).

Para a análise utilizando estes dois parâmetros, foi considerada a informação da sondagem SP6052 realizada pelo Metrô no entorno do Copan (FIGURA 2, apresentada anteriormente). Supondo-se que o piso do segundo subsolo do edifício esteja a 5 m abaixo do topo da SP6052, foram considerados os valores dos N_{SPT} abaixo de 5 m desta sondagem. Foi utilizada uma relação empírica obtida para areias siltosas (Pitikilas *et al.*, 1992 apud. Pedrini, 2012) (equação 2):

$$V_s = 162,0 \cdot N_{SPT}^{0,17} \quad \text{equação (2)}$$

O gráfico da FIGURA 13 mostra os perfis de V_s versus profundidade, obtidos nos pontos P3 e P4, e o perfil teórico de V_s calculado a partir do NSPT da sondagem SP 6052, utilizando a equação 2. Como resultado, verifica-se que o perfil de V_s calculado a partir do N_{SPT} apresenta uma boa correlação com o perfil de V_s do ponto P3 até aproximadamente 9 m de profundidade.

Figura 13 - Perfis de V_s versus profundidade.

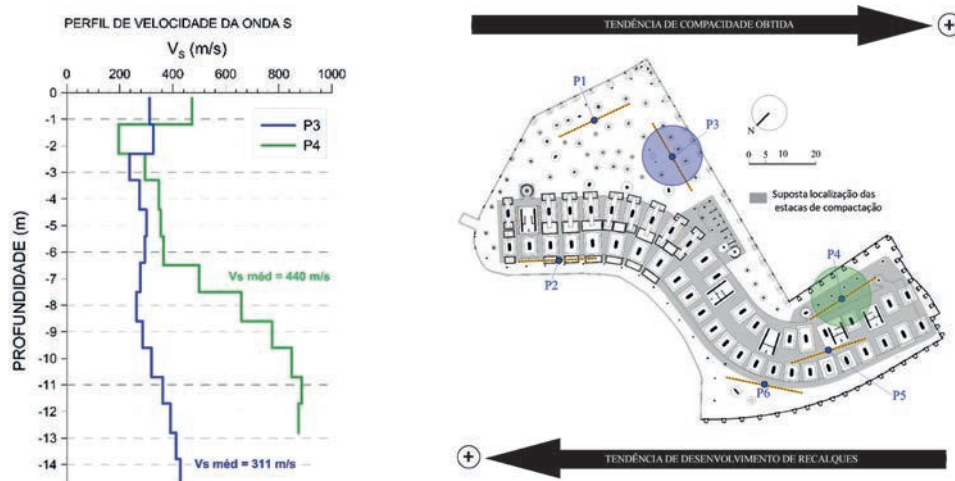


Fonte: elaborado pelos autores.

Os perfis de V_s versus profundidade podem levar, no mínimo, a duas linhas de análise:

- i. O perfil de velocidade do ponto P4 apresenta um valor de V_s médio maior (440 m/s) e camada subjacente com aumento acentuado de velocidades, sendo que ponto P4 está posicionado na porção do edifício apoiado em areia de maior compactação e que menos recalçou ao longo do tempo. Já o ponto P3, com menor valor de V_s médio (311 m/s), corresponde ao local onde foram observados os maiores recalques e onde o edifício está apoiado, supostamente, em material arenoso de compactação menor (FIGURA 14).

Figura 14 - Correlação dos resultados do ensaio sísmico de MASW (pontos P3 e P4) e a variação da compactação das areias no subsolo do terreno do Edifício Copan



Fonte: elaborado pelos autores.

- ii. O ponto P4 está, possivelmente, posicionado na porção do edifício apoiado sobre estaca de compactação, o que explicaria o aumento de velocidade V_s a partir da profundidade de 6 m. Já o ponto P3 está localizado conhecidamente onde não foram cravadas estacas de compactação abaixo das fundações.

7 Conclusões

No Edifício Copan foram realizados ensaios de MASW em seis pontos, sendo que em um deles a qualidade do dado não permitiu a obtenção de nenhuma informação, possivelmente por estar localizado sobre densas e profundas estruturas de fundação de concreto armado. Nos outros cinco pontos, a interpretação pode ser realizada em apenas dois destes (pontos P3 e P4), que apresentaram melhor qualidade e permitiram resultados mais assertivos e confiáveis.

A análise destes dois pontos mostrou resultados bem distintos do modelo de velocidade da onda de cisalhamento versus a profundidade, sendo verificado no ponto P4 um valor médio de V_s superior ao observado no ponto P3 (respectivamente, 440 m/s e 311 m/s). No ponto P4 foi ainda verificado um aumento acentuado de V_s a partir de 6 m de profundidade, aproximadamente, o que não foi verificado no ponto P3.

O número de pontos que geraram resultados com boa qualidade pode ser considerado pequeno para uma conclusão mais precisa. Os resultados obtidos, contudo, estão em conformidade com algumas das características esperadas para o terreno de fundação do Edifício Copan. Eles indicam que a compacidade do material superficial predominantemente arenoso, que ocorre no subsolo do edifício, é menor no ponto P3 e maior no ponto P4, o que condiz com o sentido de desenvolvimento de recalques do edifício. Além disso, aparentemente, o aumento das velocidades por volta de 6 metros de profundidade pode estar relacionado à existência das estacas de concreto armado utilizadas no adensamento do terreno abaixo da cota das fundações.

Não se observou um aumento acentuado de V_s nos pontos P1 e P3 a partir das profundidades entre 4 e 7 m, o que está de acordo com as hipóteses do estudo, uma vez que nesta área, de acordo com relatos e indícios documentais históricos, não foi realizado o estaqueamento para melhoria da compacidade das areias sob as fundações.

8 Considerações finais

Ensaio sísmico realizados em áreas urbanas, caracterizadas por ocorrência de um elevado nível de ruído (vibrações), limitação de espaço físico e presença de pisos de concreto e/ou pavimentos, que dificultam a instalação de sensores dos equipamentos, comumente utilizados para operar em terrenos constituídos por solos, são um grande desafio. Estas características foram verificadas no local onde os ensaios foram realizados, no segundo subsolo do Edifício Copan, no centro da cidade de São Paulo. Entretanto, o método sísmico MASW, que utiliza as ondas de superfície para a investigação do subsolo, pôde ser utilizado neste tipo de ambiente pelo fato de ser alta a razão sinal/ruído que ele proporciona.

No âmbito do estudo de construções históricas, a aquisição de informações sobre a infraestrutura e a superestrutura requer o uso de métodos não invasivos e não destrutivos à materialidade destas edificações. A partir desta premissa fundamental, explorar as ferramentas e métodos disponíveis nas áreas das engenharias e da física aplicada pode ser uma solução para suprir as lacunas de informações técnicas relacionadas a esses bens patrimoniais, resultando em efeitos positivos para as atividades de investigação, monitoramento e manutenção. O método MASW possui o potencial de contribuir com a investigação das características do solo superficial do terreno de embasamento de uma edificação histórica, antes de se recorrer a métodos mais invasivos, como as sondagens a percussão. Isso possibilita, por exemplo, uma melhor compreensão de situações de ocorrência de recalques diferenciais, principalmente em casos de fundações mais superficiais.

No caso apresentado, a utilização do MASW auxiliou na compreensão de algumas hipóteses levantadas anteriormente, como a existência de elementos de fundação superficial em determinados locais, diferença de compactação das areias superficiais entre as extremidades do edifício e a existência das estacas de compactação em regiões abaixo da cota das fundações em caixões. Os indícios obtidos, porém, não foram suficientes para confirmações destas hipóteses, muito devido à amostragem escolhida, limitando-se à função de dados auxiliares.

É evidente, portanto, que a utilização desse método exige um planejamento adequado, garantindo uma amostragem de tamanho e localização adequados para obtenção de resultados de qualidade que possam comprovar as informações desejadas. Nesse sentido, é recomendável a execução de contraprovas, de forma a se validar os resultados obtidos e isentar-se de qualquer falha executiva e/ou possíveis interferências físicas ocul-

tas presentes no local. Além disso, antes de conduzir os ensaios sísmicos MASW, uma opção interessante é a utilização simultânea de outros métodos geofísicos de varredura superficial, como o *Ground Penetrating Radar* - GPR, de forma a investigar possíveis obstáculos ocultos sob o piso e obter uma compreensão mais abrangente do local.

9 Agradecimentos

À CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), pela bolsa de estudos concedida – processo: 88887.512030/2020-00.

Ao condomínio do Edifício Copan, na figura do síndico Sr. Affonso Celso Prazeres de Oliveira, por permitir o desenvolvimento da pesquisa e por toda a ajuda despendida.

Ao Programa de Apoio à Pós-Graduação (PROAP) pelo financiamento dos ensaios.

10 Referências

BERNARDO, D. F. S.; OLIVEIRA, F. L.; CAMPOS, G. C. Monitoramento dos recalques do edifício Copan. In: 5º CONGRESSO BRASILEIRO DE PATOLOGIA DAS CONSTRUÇÕES, 2022, Gramado. **Anais...** ALCONPAT Brasil: Gramado, 2022. p. 825-834.

_____. **Documentação e monitoramento estrutural do patrimônio arquitetônico moderno: os recalques do Edifício Copan.** Relatório das atividades realizadas no ano de 2023. Orientação: Profa. Fabiana Lopes de Oliveira (FAUUSP) e Profa. Dra. Gisleine Coelho de Campos (IPT). Bolsa de mestrado concedida pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2023.

_____. **Documentação e monitoramento do patrimônio arquitetônico moderno: os recalques do Edifício Copan.** Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2024.

_____; OLIVEIRA, F. L. A tecnologia de 3D scanning em apoio à documentação técnica do edifício Copan. In: 4º WORKSHOP DE TECNOLOGIA DE SISTEMAS E PROCESSOS CONSTRUTIVOS, agosto 2023, Porto Alegre. **Anais...** ANTAC, 2023.

FELICIANI, M, R. **Resistência e compressibilidade das areias basais do terciário de São Paulo.** 1989. 193 p. Dissertação (Mestrado em engenharia civil) – Departamento de Engenharia de Estruturas e Fundações da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1989.

ICOMOS. Icomos Charter- Principles for the analysis, conservation, and structural restoration of architectural heritage. In: INTERNATIONAL COUNCIL ON MONUMENTS AND SITES. **Proceedings...** Thessalonik, 2003.

PARK, C. B., MILLER, R. D., XIA, J. Multichannel analysis of surface waves. **Geophysics**, v. 64, n.3, p. 800-808, 1999.

PEDRINI, R. A. A. **Desenvolvimento de sistema para sísmica up-hole em conjunto com o Ensaio SPT.** 2012. 127 p. Dissertação (Mestrado em engenharia civil e ambiental) - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2012.

TEIXEIRA, A. H. Alguns aspectos do comportamento de areias argilosas de baixa compacidade como apoio de fundações. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA, 1970, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: ABMS, 1970. Vol.I, Tomo, p. 29-36.

VARGAS, M. Geotecnia do terciário de São Paulo. In: ASPECTOS GEOLÓGICOS E GEOTÉCNICOS DA BACIA SEDIMENTAR DE SÃO PAULO, 1980, São Paulo, Mesa Redonda. **Anais...** São Paulo: Publicação Especial da ABGE e SBG: 1980. p. 37-45.

_____; PINTO, C. S.; MARINHO, F. A. M. As areias basais de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA, 11., 1998, Brasília. **Anais...** Brasília: ABMS, 1998. Vol. II, p. 721-728.

XIA, J.; Xia, J.; MILLER, R.D.; PARK, C.B. Estimation of near-surface shear-wave velocity by inversion of *Rayleigh* waves. **Geophysics**, v.64, n.3, p.691-700, 1999.

10.29327/2202814.7.25-3



Artigo Técnico

Fabricação de Medicamentos Estéreis: Diretrizes para Controle de Contaminação

Manufacture of Sterile Medicines: Guidelines for Contamination Control

Andrea Luchi^a, Maria Filomena de Andrade Rodrigues^b, Nathalia da Silva Couvo^a, Patricia Léo^{bc*}

^a Mestrado Profissional em Processos Industriais do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A., São Paulo-SP, Brasil Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A., São Paulo-SP, Brasil

^b Laboratório de Biotecnologia Industrial do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A., São Paulo-SP, Brasil.

^c Docente do Mestrado Profissional em Processos Industriais do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A., São Paulo-SP, Brasil Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A., São Paulo-SP, Brasil

*e-mail:
patrileo@ipt.br

Palavras-chave: BPF; diretrizes; estéreis; contaminação; riscos.

Keywords: GMP; guidelines; sterile; Contamination; risks.

Resumo

Este artigo tem como objetivo descrever brevemente as diretrizes de Boas Práticas de Fabricação (BPF) para medicamentos estéreis no Brasil (Instrução Normativa IN 35/2019), e fazer uma breve explanação comparada com as alterações já definidas nas diretrizes do EU GMP Anexo 1 da Comissão Europeia e PIC/s. De acordo com a Comissão Europeia foi necessária a revisão das diretrizes (EU GMP Anexo 1 – Fabricação de Medicamentos Estéreis) para atendimento regulatório e desenvolvimento tecnológico, alinhado com o ICH Q9 (Gerenciamento de Riscos da Qualidade), e ICH Q10 (Sistema de Qualidade Farmacêutica). As novas diretrizes permitem que os fabricantes de produtos estéreis tenham como base ferramentas para avaliação e melhorias do processo, eliminando ambiguidades e inconsistências. Em agosto de 2022, a Comissão Europeia lançou a revisão da norma EU GMP Anexo 1 e concedeu o prazo de um ano para entrar em vigência (25 de agosto de 2023), sendo que para o item relacionado a liofilização artigo 8.123 concedeu até 25 de agosto de 2024 para implementação. O intuito do EU GMP Anexo 1 é fornecer orientação para projetos e controle de instalações, equipamentos, sistemas, e procedimentos, aplicando os princípios de *Quality Risk Management* (QRM). Ressalta ainda a necessidade de implementar um *Contamination Control Strategy* (CCS) para minimizar a contaminação microbiana, particulados e endotoxina/pirogênio, sendo que os pontos considerados críticos devem ser controlados e monitorados.

Abstract

This article aims to briefly describe the Good Manufacturing Practices (GMP) guidelines for sterile drugs in Brazil (Normative Instruction IN 35/2019), and write a brief explanation compared with the changes that are already defined in the EU GMP Annex 1 guidelines of European Commission and PIC/s. According to the European Commission, it was necessary to review the guidelines (EU GMP Annex 1 - Manufacture of Sterile Medicines) for regulatory compliance and technological development, aligned with ICH Q9 (Quality Risk Management), and ICH Q10 (Quality System pharmaceutical). The new guidelines allow manufacturers of sterile products to take as a basis on tools for evaluating and improving the process, eliminating ambiguities and inconsistencies. In August 2022, the European Commission launched the revision of the EU GMP Annex 1 standard and granted a period of one year to enter effect (August 25, 2023), and for the item related to freeze-drying, Article 8123 granted until August 25 August 2024 for implementation. The intent of the EU GMP Annex 1 is to provide guidance for the design and control of facilities, equipment,

systems, and procedures, applying the principles of Quality Risk Management (QRM). It also emphasizes the need to implement a Contamination Control Strategy (CCS) to minimize microbial contamination, particulates, and endotoxin/pyrogen, considering that the points considered critical must be controlled and monitored.

1 Introdução

As mais antigas fontes escritas referentes às práticas medicinais são provenientes da Mesopotâmia e Egito, sendo que o mais antigo registro farmacêutico conhecido como “Tabuinha Suméria” continha mais de 15 receitas medicinais datada de 3.500 a.C. Para a história da farmácia, o Papiro de Erbes que data de 1.550 a.C. é considerado o de maior relevância, e foi estudado por Georg Erbes que deu o seu próprio nome ao documento em 1875, **FIGURA 1**. Nesse registro estão documentadas mais de 7.000 substâncias medicinais incluídas em mais de 800 fórmulas (MENEZES, 2005).

Figura 1- Papiro de Erbes.



Fonte: Museu do Universo da Farmácia, 2022.

Em um período de mais de três milênios, há poucos registros de conhecimentos inovadores. Nesse longo período, para tratamento de enfermidades, prevaleceu a combinação de conhecimentos de medicina, religião e bruxaria. No século XX, entre os anos de 1945 e 1965 foi considerada a “Idade dourada das descobertas” quando inúmeros fármacos foram obtidos por diferentes processos tecnológicos. Entre 1960 e 1970 novos regulamentos foram elaborados para disciplinar a produção de medicamentos (MORETTO, 2016).

Tanto a tecnologia farmacêutica quanto a regulamentação sofreram evolução ao longo dos anos. E em 2020 o mundo teve o impacto da pandemia COVID-19 e, com isso a indústria farmacêutica teve um destaque em fornecer medicamentos tanto para o “Kit intubação” quanto na fabricação de vacinas em tempo recorde. A população recebeu a informação de como conceber um medicamento e a existência de normas que regulamentam a indústria farmacêutica.

O entendimento das Boas Práticas de Fabricação necessita de uma avaliação do histórico de problemas com medicamentos. Nas décadas de 1930 e 1960 alguns problemas na qualidade de medicamentos ocasionaram problemas graves de saúde e mortes. Nos Estados Unidos da América (EUA), em 1937, destaca-se a morte de mais de 100 crianças devido à utilização do elixir sulfanilamida contendo como veículo o dietilenoglicol que possui efeitos tóxicos (MELO, *et. al.*, 2006). Em 1950, na França, por um erro na fabricação de um talco infantil contendo o antisséptico hexaclorofeno, em concentração dez vezes superior ao valor adequado, resultou na morte de dezenas de crianças (SANTOS, 2008).

O caso mais famoso ocorreu em 1961 na Alemanha Oriental, onde mais de 10.000 crianças nasceram com deformidades dos membros devido ao uso de talidomida pelas gestantes para minimizar os sintomas de náuseas e vômitos matutinos (KAWANO *et. al.*, 2006).

Em 1963, as Boas Práticas de Fabricação (BPF) surgiram por uma recomendação do *Food and Drugs Administration* (FDA), órgão responsável pelo controle sanitário nos EUA com caráter de recomendação, sem efeito legal. Somente em 1968, a OMS aprovou documento equivalente, que se difundiu em todos os seus países membros (FIOCCHI *et. al.*, 2003).

O Brasil também foi cenário de problemas relacionados com a qualidade de medicamentos. No ano de 1998 ocorreu o caso do contraceptivo oral *Microvlar*®, na época chamado de “pílulas de farinha”, resultado de um teste realizado na

máquina embaladora do laboratório, onde foram fabricados comprimidos anti-concepcionais sem o insumo farmacológico ativo (IFA), e erroneamente foram liberados para vendas. Há relatos de que 600 mil comprimidos sem o IFA chegaram ao mercado, resultando em dezenas de gravidezes não planejadas (MESSA, *et. al*, 2003). Outro fato ocorreu em 2003 com o medicamento *Celobar*[®], que possuía como IFA o sal Sulfato de Bário, o qual foi indevidamente substituído pelo sal tóxico Carbonato de Bário, ocasionando a morte de mais de 20 pessoas (TUBINO e SIMONI, 2007).

As Boas Práticas de Fabricação foram introduzidas no Brasil com a publicação da Portaria Nº 16, de 6 de março de 1995 que instituiu a necessidade de implementar a fiscalização, e a inspeção nas indústrias farmacêuticas. A fiscalização seguia um roteiro de perguntas e, de acordo com as respostas, havia uma classificação de atendimento de BPF.

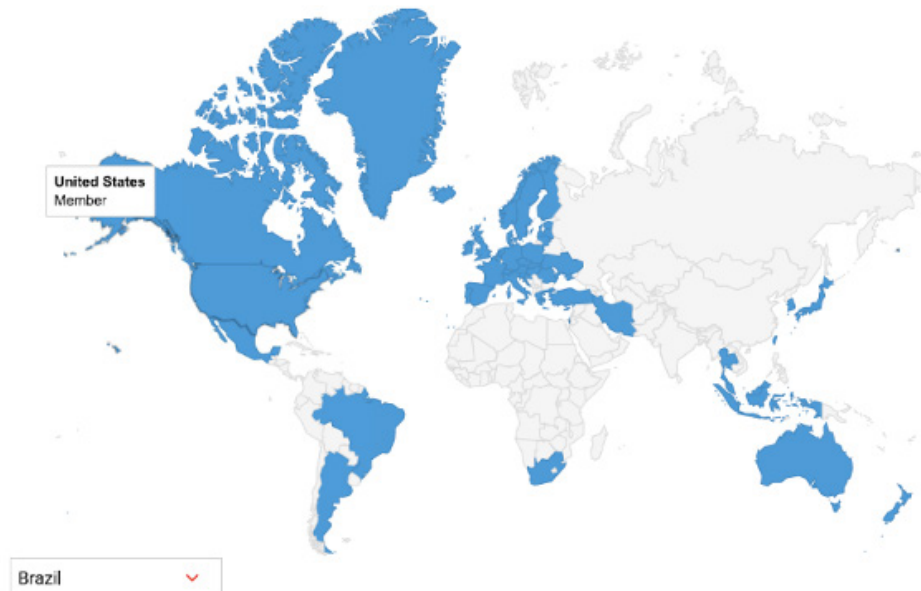
Após 6 anos, a Agência Nacional de Vigilância Sanitária - ANVISA publicou a Resolução da Diretoria Colegiada – RDC 134, de 13 julho de 2001. Ainda nesta diretriz se manteve um roteiro a ser seguido para avaliação dos estabelecimentos produtores de medicamentos.

Com o intuito de atualizar a norma, a ANVISA publicou a Resolução – RDC nº 210 de 04 de agosto de 2003 que se estendeu até a publicação da RDC 17 de 16 de abril de 2010. As diretrizes sempre buscaram a harmonização com as normas internacionais, porém somente em 2019 foi publicada a RDC 301, de 21 de agosto de 2019, oficializando a harmonização com o PIC/S – *Pharmaceutical Inspection Co-operation Scheme*. O PIC/S é um acordo cooperativo informal aberto às autoridades sanitárias que possuem sistema de inspeção de Boas Práticas de Fabricação similar. Além de harmonizar os procedimentos, o PIC/S possibilita a formação de uma rede de autoridades sanitárias, assegurando a confiança mútua (PIC/S, 2022). A ANVISA tornou-se membro do PIC/S em janeiro de 2021, conforme publicação apresentada na **FIGURA 2**.


Figura 2 - ANVISA membro do PIC/S

Members

LIST OF PIC/S PARTICIPATING AUTHORITIES



By alphabetical order of the country / entity of each Participating Authority

	Brazil
	National Health Surveillance Agency (ANVISA) Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA)
	SIA, Trecho 5, Área Especial 57 BR - 71205-050 Brasília - Distrito Federal

Accession to PIC Scheme January 2021

Fonte: PIC/S, 2022.

Com a RDC 301/2019 também foram publicadas as Instruções Normativas divididas por assuntos específicos. Para a produção de medicamentos estéreis foi publicada a IN 35, de 21 de agosto de 2019, que dispõe sobre as Boas Práticas de Fabricação complementares a Medicamentos Estéreis. Em 2022, a ANVISA publicou a RDC 658, de 30 de março de 2022 que dispõe sobre as Diretrizes Gerais de Boas Práticas de Fabricação de Medicamentos em substituição à RDC 301/2019 e também atualizou algumas Instruções Normativas (IN), sendo que a diretriz para medicamentos estéreis, IN 35/2019, permaneceu sem revisão, aguardando a oficialização das diretrizes do EU GMP Anexo 1. Para abranger os atuais desenvolvimentos regulatórios e tecnológicos na fabricação de medicamentos estéreis, a Comissão da União Europeia e o Comitê PIC/S revisaram

o EU GMP Anexo 1 “Fabricação de Medicamentos Estéreis”, especificamente a integração com as diretrizes do ICH Q9 (Gestão de Risco de Qualidade) e Q10 (Sistema de Qualidade Farmacêutica).

O documento EU GMP Anexo 1 foi publicado pela Comissão Europeia em 22 de agosto de 2022 (*European Commission, 2022*) e pelo PIC/S em 09 de setembro de 2022 conforme a **FIGURA 3**, e entrará em vigência em 25 agosto de 2023 (exceto o item 8.123, referente liofilização que deverá entrar em vigor em 25 de agosto de 2024, o qual não foi abordado nesse artigo).

Figura 3 - Publicação do Anexo 1 pelo PIC/S e pela Comissão Europeia



Fonte: PIC/S, 2022 e European Commission, 2022

2 Procedimento metodológico

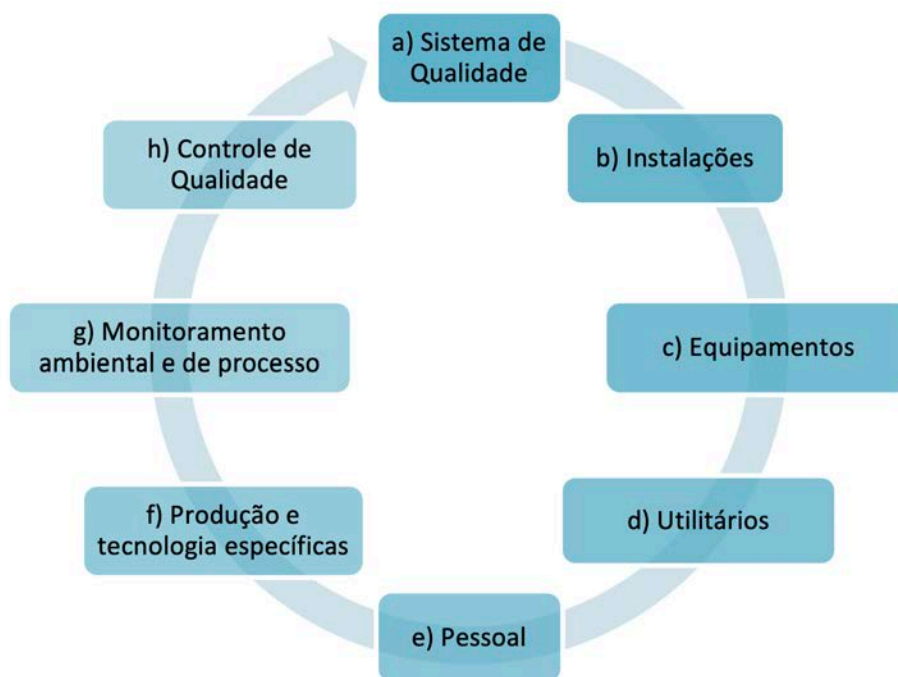
Para condução do conteúdo deste artigo foi realizada uma avaliação das diretrizes existentes no Brasil, IN 35/2019 e RDC 658/2022, e comparadas às alterações e/ou inclusões descritas no EU GMP Anexo 1 da Europa, que detalha as diretrizes para Fabricação de Medicamentos Estéreis com intuito de minimizar os possíveis riscos de contaminação.

3 Resultados e discussão

A Instrução Normativa IN 35/2019 apresenta requisitos de qualidade consistentes, como monitoramento contínuo de partículas aos processos críticos em área Grau A, embasados em GRQ (Gerenciamento de Riscos da Qualidade), processos críticos assépticos, racional de posições de amostragem, qualidade do vapor (desempenho: fração de secura do vapor/ vapor superaquecido/ porcentagem de gases não condensáveis), integridade da embalagem de recipientes fechados por fusão, entre outros quesitos. Entretanto, com a revisão do EU GMP Anexo 1 (PIC/S, 2022), os itens para atendimento e manutenção de área limpa reflete as mudanças nos ambientes regulatórios e de fabricação, alinhado com o ICH Q9 (Gerenciamento de Riscos da Qualidade), e ICH Q10 (Sistema de Qualidade Farmacêutica) como o próprio documento afirma.

A estrutura do documento EU GMP Anexo 1 foi dividida em tópicos, e assim foi possível avaliar com compreensibilidade cada requisito. Estes tópicos estão descritos na **FIGURA 4** e serão discorridos ao longo do texto.

Figura 4 - Diretrizes para produção de medicamentos estéreis de acordo com o EU GMP Anexo I.



Fonte: elaborado pelas autoras

De acordo com o detalhamento do EU GMP Anexo 1, a produção de medicamentos isentos de contaminação abrange um ciclo de processos para garantir a segurança dos medicamentos, e para isso deve ser aplicado o *Quality Risk Management* (QRM). Este gerenciamento deve incluir um projeto apropriado de instalações, equipamentos e processos, seguido de um programa de monitoramento bem estruturado para comprovar que foram bem implementados e que continuam tendo um bom desempenho. A *Contamination Control Strategy* (CCS) deve ser implementada para definir os pontos críticos de controle e avaliar sua eficácia. Embora normas cite a preocupação com as fontes de contaminação em área limpa, principalmente vindas de pessoal que acessa a área limpa, o EU GMP Anexo 1 já introduz a automação para evitar contaminações sempre que possível.

a) Sistema da Qualidade

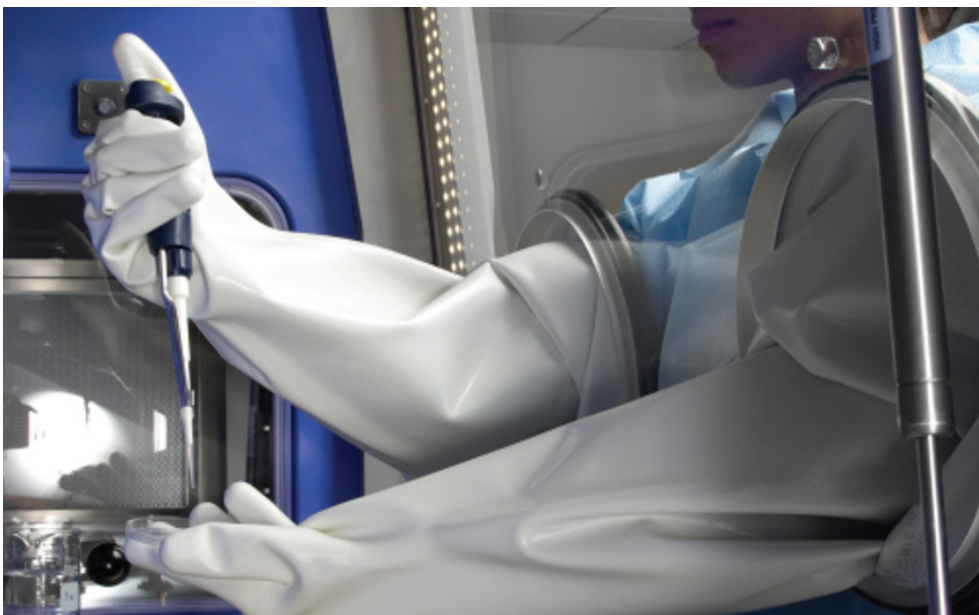
Nas normas que regem a indústria farmacêutica de medicamentos estéreis, principalmente a RDC 658/2022 e IN35/2019, os requisitos apresentam-se distribuídos nesses documentos. No EU GMP Anexo 1, os assuntos apresentam-se organizados em seções e indicam a necessidade de um Sistema de Qualidade robusto para garantir a qualidade dos medicamentos, devido à complexidade na fabricação dos mesmos. Para atingir o controle das atividades deve-se ter o conhecimento de todo o processo, garantir um gerenciamento de risco eficaz com a participação da alta gestão, a qualificação de pessoal, o controle de contaminação e se houver desvios, uma análise da causa raiz.

b) Instalações

Na norma vigente (IN 35/2019), a contenção de contaminação é um item destacado e determina a necessidade de ter salas destinadas a paramentação para ingresso nas áreas limpas e estas devem ser projetadas sob a forma de antecâmaras. Além disso, devem ser usadas de forma a permitir a separação física dos diferentes estágios da paramentação e, assim minimizar a contaminação microbiana e contaminação por partículas.

Enquanto no documento EU GMP Anexo 1, a grande alteração foi o detalhamento de utilização de tecnologia de barreiras, separando o ambiente Grau A de salas ao redor. O sistema *Restricted Access Barrier Systems* (RABS), exemplificado na **FIGURA 5**, deve ser considerado e quaisquer outra abordagem alternativa ao uso dessa barreira deve ser justificada.

Figura 5 – Sistema de barreira de acesso restrito (RABS)



Fonte: Ansell, 2022.

A qualificação de área limpa e monitoramento ambiental de rotina foram tratados de forma distinta no EU GMP Anexo 1. A classificação da área limpa faz parte da qualificação, e é um método de avaliação do nível de limpeza do ar, sendo medido a concentração total de partículas. Os limites para partículas $\geq 5 \mu\text{m}/\text{m}^3$ não estão especificados e devem ser determinados pelo CCS ou através de análise de tendência, TABELA 1. Para grau D os limites de partículas $\geq 0,5 \mu\text{m}/\text{m}^3$ e $\geq 5 \mu\text{m}/\text{m}^3$ devem ser determinados pela empresa fabricante de medicamentos estéreis.

Tabela 1 - Concentração total de partículas máxima permitida para classificação das áreas limpas

Classe	Limite máximo para partículas totais $\geq 0,5 \mu\text{m}/\text{m}^3$		Limite máximo para partículas totais $\geq 5,0 \mu\text{m}/\text{m}^3$	
	Em operação	Em repouso	Em repouso	Em operação
A	3.520	3.520	Não especificado	Não especificado
B	3.520	352.000	Não especificado	2.930
C	352.000	3.520.000	2.930	29.300
D	3.520.000	Não predeterminado	29.300	Não predeterminado

Fonte: PIC/S, 2022

O número mínimo de locais de amostragem e seu posicionamento podem ser encontrados na ISO 14.644-1 (2019), sendo que áreas críticas devem ser avaliadas e devem ser consideradas amostragens adicionais.

Outro ponto de destaque refere-se ao nível de contaminação microbiana, devendo ser determinada na qualificação da área limpa, e desenvolver uma abordagem contínua de monitoramento ambiental. Além disso, os pontos de amostragem devem ser definidos através de uma análise de risco, obtida de uma avaliação minuciosa da estrutura da área.

Houve outra alteração em relação ao nível máximo de contaminação permitido para Grau A, sendo que pela IN 35/2019 se permitia < 1 UFC para amostragem ativa do ar (UFC/m³), exposição de placas de sedimentação (UFC/4 horas), placas de contato (UFC/placa), e com a revisão do EU GMP Anexo 1 a especificação foi atualizada para “nenhum crescimento”, **TABELA 2**.

Tabela 2 - Nível máximo de contaminação microbiana permitido durante a qualificação

Grau	Amostra de ar UFC/m ³	Placas 90 mm UFC/4 horas	Placas de contato 55 mm UFC/ placa
A	Nenhum crescimento		
B	10	5	5
C	100	50	25
D	200	100	50

Fonte: PIC/S, 2022

No EU GMP Anexo 1, o intervalo máximo para requalificação das áreas Grau A e B é de 6 meses, e para Grau C e D é de 12 meses, enquanto pela IN 35/2019 esse intervalo não é especificado.

Tanto no EU GMP Anexo 1, quanto na IN 35/2019, há uma preocupação com o controle de contaminação da área limpas e deve-se cumprir um programa de sanitização com o uso de desinfetantes de amplo espectro, ativos contra bactérias e fungos, incluindo esporicidas. Para evitar resistência microbiana é exigido o rodízio de desinfetantes.

c) Equipamentos

Embora a IN 35/2019 explique os requisitos para qualificação de equipamentos, no EU GMP Anexo 1, é ressaltado que, sempre que possível, novos projetos devem prever

condições para que os equipamentos e acessórios tenham a sua manutenção realizada em ambientes fora da área limpa. O EU GMP Anexo 1 também aborda a necessidade de um programa de validação de limpeza para redução de resíduos químicos, particulados físicos e biológicos da superfície.

d) Utilitários

Os requisitos para utilidades estão descritos no EU GMP Anexo 1 detalhadamente, e na IN 35/2019, com descrição mais simplificada.

Em conformidade com o EU GMP Anexo 1, as utilidades devem ser avaliadas através de uma análise de risco, e documentada como parte de um plano de controle de contaminação, sendo algumas considerações descritas na **TABELA 3**.

Tabela 3 - Utilidades e considerações

Utilidades	Considerações
Tubos e ductos	Não devem estar presentes em área limpa
Água	Especificação de acordo com a monografia vigente Efeito da variação sazonal Fluxo turbulento para evitar aderência microbiana
Água WFI	Temperatura acima de 70°C Produzida por destilação ou por processo de purificação equivalente. Osmose Reversa acoplada a outras técnicas, como EDI, ultrafiltração ou nanofiltração Integridade dos filtros dos tanques Monitoramento químico e microbiológico constante Reavaliação periodicamente os níveis de alerta Monitoramento contínuo de TOC e condutividade
Vapor	Condensado deve atender a monográfica de WFI Avaliação dos gases não condensáveis, valor de segura e superaquecimento
Gases e sistema de vácuo	Avaliação da qualidade química, microbiana e particulados Avaliação de teor de óleo e água Filtrados em 0,22 µm no ponto de uso Integridade dos filtros Monitoramento microbiano dos gases periodicamente Sistema que evite refluxo

Fonte: elaborada pelas autoras

e) Pessoal

A IN 35/2019 aborda os requisitos para qualificação de pessoas que trabalham em área limpa quanto às regras de higiene e vestimentas, enquanto o EU GMP Anexo 1, detalha a necessidade de treinamento e qualificação das pessoas com conceitos de microbiologia, higiene, controle de contaminação, técnicas assépticas, vestimenta asséptica, conceitos de produtos estéreis, mantendo um programa de reciclagem e avaliação periódica anual. Além disso, deve-se determinar o número máximo de pessoas permitido dentro de uma área limpa, uma vez que pessoas são fontes de contaminação.

f) Produção e tecnologias específicas

- **Esterilização**

Tanto a IN 35/2019 quanto o EU GMP Anexo 1, citam a necessidade de preparação do material que deve ser realizada pelo menos em Grau D para limitar o risco de contaminação microbiana, endotoxina/pirogênica e de outros particulados. Para produtos que não suportam a esterilização terminal, deve-se estudar a possibilidade de tratamento térmico, seguida de processamento asséptico. Os testes que compõe a validação de filtração esterilizante encontram-se descritos na **TABELA 4**.

O EU GMP Anexo 1 pormenoriza os diferentes tipos de esterilização tais como: por calor seco ou úmido, por irradiação e por óxido de etileno, sendo que a irradiação ultravioleta não é um método aceitável.

Tabela 4 - Teste para avaliação de filtros esterilizantes

Teste para Filtro	Considerações
Integridade de filtro	Teste para confirmar que um filtro mantém suas propriedades retentivas e não foi danificado durante o processo
Compatibilidade	Compatibilidade do produto quando em contato com o filtro
Adsorção	Adsorção dos componentes do produto
Lixiviáveis	Elementos químicos que migram da superfície quando exposta a um solvente em condições normais durante o uso ou armazenamento
Extraíveis	Elementos químicos que migram da superfície quando exposta a um solvente em condições extremas
Desafio bacteriano	Teste realizado para validar que um filtro pode reter bactérias de um gás ou líquido. O teste geralmente é realizado utilizando microrganismo padrão, como <i>Brevudimonas diminuta</i> na concentração de 107 UFC/cm ²

Fonte: elaborada pelas autoras

- **Processamento asséptico.**

Para o processamento asséptico, o EU GMP Anexo 1 recomenda o uso de equipamentos RABS (Sistema e Barreira de Acesso Restrito), isoladores ou outros sistemas para reduzir a necessidade de intervenção críticas no Grau A e minimizar o risco de contaminação.

A IN 35/2019 enfatiza a importância do teste de integridade em 100% dos recipientes fechados por fusão, porém no EU GMP Anexo 1 são apresentadas tratativas diferentes de acordo com o volume dos recipientes fechados por fusão. A exigência de teste de integridade em 100 % é para recipiente de pequenos volumes (≤ 100 mL), enquanto para recipientes de volume > 100 mL, a amostragem pode ser reduzida, desde que justificada cientificamente.

g) Monitoramento ambiental e de processo

No EU GMP Anexo 1 há um capítulo específico para monitoramento ambiental e de processo, em que são fornecidas informações adicionais para que as avaliações de risco sejam concluídas com o estabelecimento de um programa de monitoramento eficaz.

Os limites para monitoramento ambiental foram alterados em relação a IN35/2019, sendo esta alteração relacionada à concentração de partículas $\geq 5,0 \mu\text{m}/\text{m}^3$. A especificação atualizada encontra-se na **TABELA 5**.

Tabela 5 - Concentração total de partículas máxima permitida para monitoramento

Classe	Limite máximo para partículas totais $\geq 0,5 \mu\text{m}/\text{m}^3$		Limite máximo para partículas totais $\geq 5,0 \mu\text{m}/\text{m}^3$	
	Em operação	Em repouso	Em repouso	Em operação
A	3.520	3.520	29	29
B	3.520	352.000	29	2.930
C	352.000	3.520.000	2.930	29.300
D	3.520.000	Não predeterminado	29.300	Não predeterminado

Fonte: PIC/S, 2022

Os limites de contaminação microbiana no monitoramento de rotina em Grau A foram alterados de <1 UFC (IN 35/2019) para “sem crescimento”. Este é um reflexo claro de que nenhum microrganismo deve ser recuperado de um ambiente de Grau A conforme TABELA 6. O uso de tendências de dados históricos também é esperado para estabelecer limites de monitoramento ambiental para viáveis e não viáveis de outras áreas classificadas de forma que tendências adversas possam ser detectadas precocemente.

Tabela 6 – Limites máximos de ação para contaminação de partículas viáveis no monitoramento

	Amostra de ar UFC/m ³	Placas 90 mm UFC/4 horas	Placas de contato 55 mm UFC/ placa	Impressão de luvas Incluindo 5 dedos em ambas as mãos UFC/luva
A	Nenhum crescimento			
B	10	5	5	5
C	100	50	25	-
D	200	100	50	-

Fonte: PIC/S, 2022

Ainda dentro do assunto monitoramento da EU GMP Anexo 1, é apontada a necessidade de identificação até o nível de espécie quando os microrganismos forem detectados em Grau A e B, e para Grau C e D quando os limites de alerta e ação forem excedidos, ou ainda após o isolamento de microrganismos que podem indicar a perda de controle e do conceito de limpeza, ou que sejam difíceis de controlar como fungos e microrganismos formadores de esporos.

- **Simulação de processo asséptico**

De acordo com o EU GMP Anexo 1 e com a IN35/2019, a verificação da eficácia dos controles implementados para processamento asséptico deve incluir uma simulação, usando um meio nutriente estéril em substituição ao produto. O EU GMP Anexo 1 também determina “crescimento zero”, ou seja, nenhum frasco contaminado, independentemente do tamanho de lote, enquanto na IN35/2019 existe tolerância de número de frascos contaminados a depender do tamanho de lote.

h) Controle de Qualidade

No quesito Controle de Qualidade, a diferença entre a IN 35/2019 e o EU GMP Anexo 1 é que este último enfatiza a importância da capacitação da equipe analítica, a qual deve abranger conhecimentos sólidos em microbiologia que possam dar o suporte necessário em assuntos relacionados às atividades de fabricação em área limpa, como monitoramento ambiental, esterilidade e qualquer evento ligado a segurança do produto estéril.

4 Conclusões

A evolução dos medicamentos e das diretrizes que rege a indústria farmacêutica sempre esteve relacionada ou ao aparecimento de novas doenças, sendo a mais recente a COVID-19, ou a um desvio de qualidade detectado em produtos que ocasionou doenças graves e mortes. A concepção de um novo fármaco necessita seguir várias legislações até que se alcance finalmente o processo produtivo. Em se tratando de um produto estéril, as normas são rígidas para garantir a segurança e manutenção de sua esterilidade. No Brasil, a ANVISA estabelece a RDC 658/2022 que dispõe as diretrizes gerais de Boas Práticas de Fabricação (BPF) e algumas Instruções Normativas, sendo a IN 35/2019 específica para produtos estéreis. Com a revisão e publicação do EU GMP Anexo 1, da Comissão Europeia em agosto de 2022, os fabricantes de medicamentos estéreis voltaram a avaliar e adequar os seus processos, uma vez que este documento enfatiza a Gestão de Riscos da Qualidade (QRM) e a importância da estratégia de Controle de Contaminação (CCS).

A norma europeia (EU GMP Anexo 1) estabelece procedimentos mais rígidos em relação a todas as etapas de fabricação de produtos estéreis, em comparação com a norma brasileira IN35/2019. Com a entrada da ANVISA no PIC/S em 2021 e publicação do EU GMP Anexo 1 em 2022, deverá haver uma nova harmonização das normas colocando o Brasil num patamar de controle de qualidade internacional, aumentando a credibilidade dos produtos estéreis fabricados em solo nacional e com perspectivas de impulsionar as exportações nesta área.

5 Agradecimentos

Agradecemos à Instituição de Pesquisas Tecnológicas - IPT, curso de Mestrado Profissional em Processos Industriais, em especial ao corpo docente, direção e administração que foram essenciais para a formação profissional.

6 Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO 14.644-1**: Salas limpas e ambientes controlados associados - Parte 1: Classificação da limpeza do ar por concentração de partículas. 2º edição, Rio de Janeiro, 2019.

ANSELL. Sistemas de barreiras para acesso restrito. **Advances in Glovebox Gloves Enable Greater Protection and Increased Longevity**. Disponível em: <ansell_isolator_box-whitepaper_final.ashx>. Acesso em: 14 dez. 2022.

ANVISA. AGENCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. **Instrução Normativa IN Nº35, de 21 de agosto de 2019**. Disponível em: <http://antigo.anvisa.gov.br/documents/10181/5389382/IN_35_2019_COMP.pdf/bf4ab3da-b130-43ab-913d-243fd2efb86f> . Acesso em: 21 nov. 2022.

ANVISA. AGENCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. **Resolução da diretoria colegiada - RDC Nº 134, de 13 julho de 2001**. Disponível em: <http://antigo.anvisa.gov.br/documents/10181/2718376/RDC_134_2001_COMP.pdf/9ebc39ff-3852-4277-860d-3c5b238b3224>. Acesso em: 21 nov. 2022.

ANVISA. AGENCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. **Resolução da diretoria colegiada - RDC Nº 210, de 04 de agosto de 2003**. Disponível em: <http://antigo.anvisa.gov.br/documents/10181/2718376/RDC_210_2003_COMP.pdf/71ef9340-8008-4f6d-a71a-0b941c62815a>. Acesso em: 21 nov. 2022.

ANVISA. AGENCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. **Resolução da diretoria colegiada - RDC Nº 17, de 16 de abril 2010**. Disponível em: http://antigo.anvisa.gov.br/documents/10181/2718376/%282%29RDC_17_2010_COMP.pdf/019625fc-aeb6-4c20-832a-8a859505fb22. Acesso em: 21 nov. 2022.

ANVISA. AGENCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. **Resolução da diretoria colegiada - RDC Nº 301, de de 21 agosto de 2019.** Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/resolucao-rdc-n-301-de-21-de-agosto-de-2019-211914064>. Acesso em: 01 ago. 2021.

ANVISA. AGENCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. **Resolução da diretoria colegiada - RDC Nº 658, 30 de março de 2022.** Disponível em: http://antigo.anvisa.gov.br/documents/10181/6415119/RDC_658_2022_.pdf/aff5cdd7-4ad1-40e8-8751-87df566e6424. Acesso em: 21 nov. 2022.

European Commission: **EU GMP ANNEX 1: Manufacture of Sterile Medicinal Products.** Disponível em: <https://www.gmp-compliance.org/guidelines/gmp-guideline/eu-gmp-annex-1-manufacture-of-sterile-medicinal-products>. Acesso em: 21 nov. 2022

FIOCCHI, C.C.; MIGUEL, P. A. C. As dificuldades para a implantação de um Sistema da Qualidade baseado nas boas práticas de fabricação (BPF) em uma empresa de médio porte do setor farmacêutico: um estudo de caso exploratório. **RXII SIMPEP – Simpósio de Engenharia de Produção GEPROS**, Ano 1, nº 2, p. 163-182, abr/2006.

ICH. **Q10 - Pharmaceutical Quality System**, 2008. Disponível em: https://www.ema.europa.eu/en/documents/scientific-guideline/international-conference-harmonisation-technical-requirements-registration-pharmaceuticals-human_en.pdf. Acesso em: 21 nov. 2022

ICH. **Q9 - Quality Risk Management**, 2006a. Disponível em: https://www.ema.europa.eu/en/documents/scientific-guideline/international-conference-harmonisation-technical-requirements-registration-pharmaceuticals-human-use_en-3.pdf. Acesso em: 21 nov. 2022

KAWANO, D.F.; PEREIRA, L. R. L; UETA, J. M.; FREITAS, O. Acidentes com Medicamentos: como minimizá-los? **Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas**, v. 42, n. 4, out/dez., 2006.

MELO, D.O.; RIBEIRO, E.; STORPIRTIS, S. A importância e a história dos estudos de utilização de medicamentos. **Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas**, v. 42, n. 4, out/dez., 2006.

MENEZES, R. F. **Da história da farmácia e dos medicamentos.** Disponível em: <https://pt.calameo.com/books/0048690445fff7c422cee> . Acesso em: 06 de dez. 2022.

MESSA, Fábio; CABALLERO, Nicolas; SCARDUELLI Paulo. Estudo de caso: **Micro-
vlar, o anticoncepcional de farinha da Schering**, 2003. Disponível em: <[http://
www.erudito.fea.usp.br/PortalFEA/repositorio/157/documentos/MICROVLAR%20
2003.doc](http://www.erudito.fea.usp.br/PortalFEA/repositorio/157/documentos/MICROVLAR%202003.doc)> . Acesso em: 06 de dez. 2022.

MORETTO, L.D.; BRANDÃO, D. C. A história dos medicamentos. A fantástica
evolução. **UPpharma**, Ano 39, nº 162, p. 8-10, jul/ago/2016.

MUFA. **Museu do Universo da Farmácia**. Disponível em: <[https://museudouni-
versodafarmacia.com.br/acervo/linha-do-tempo/tabua-de-nippur/](https://museudouniversodafarmacia.com.br/acervo/linha-do-tempo/tabua-de-nippur/)> Acesso em: 20
Dez. 2022.

PIC/s. PHARMACEUTICAL INSPECTION CO-OPERATION SCHEME. **Guide to good
manufacturing practice for medicinal products**. Disponível em: [https://picscheme.
org/docview/4737](https://picscheme.org/docview/4737). Acesso em: 21 nov. 2022.

PORTARIA SVS/MS Nº16., de 06 de março de 1995. Guia de Boas Práticas de
Fabricação para Indústrias Farmacêuticas. Disponível em: [http://www.pharmanet.
com.br/legisla/port16.htm](http://www.pharmanet.com.br/legisla/port16.htm)>. Acesso em 21 de novembro de 2022.

SANTOS, H. Toxicologia: a garantia de cosméticos seguros. **Cosmetics & Toiletries**
(Brasil) www.cosmeticsonline.com.br <Cosmetogua - Toxicologia: a garantia de
cosméticos seguros> Vol. 20. Matéria de Capa. p. 20, mar/abr/2008.

TUBINO, M.; SIMONI, J. A. Refletindo sobre o caso *Celobar*®. **Química nova**, v.
30, n. 2, p. 505-506, 2007.

WHO. WHO good manufacturing practices for pharmaceutical products: main
principles. **WHO Technical Report Series**, v. 986, n. Annex 2, p. 78–135, 2014.

10.29327/2202814.7.25-5



Artigo Técnico

Gestão de Restrições e Monitoramento Remoto de Obras com Imagens 360°

Restrictions Management and Remote Monitoring of Works with 360° Images

Juliano Egydio^{ab*}, Hylton Olivieri^b,
Sandra Haruna Hashizume^c

^a Mestrado em Habitação:
Planejamento e Tecnologia
- Instituto de Pesquisas
Tecnológicas do Estado de São
Paulo – IPT - São Paulo/SP.

^b Docente do Mestrado
Profissional em Habitação:
Planejamento e Tecnologia
- Instituto de Pesquisas
Tecnológicas do Estado de São
Paulo – IPT - São Paulo/SP.

^c Docente Convidada do
Mestrado Profissional em
Habitação: Planejamento
e Tecnologia - Instituto de
Pesquisas Tecnológicas
do Estado de São Paulo
- IPT - São Paulo/SP

*e-mail:
julianoegydio1001@gmail.com

Palavras-chave: gestão de obras;
monitoramento remoto; Last
Planner System; câmera 360°.

Keywords: *construction management;; remote
monitoring; Last Planner System; cam 360°.*

Resumo

Nos últimos anos, a construção civil vem passando por uma transformação digital, visando processos mais eficientes e colaborativos dentro e fora do canteiro de obras. O *Last Planner System* (LPS), sistema com origem na filosofia *lean construction*, é uma abordagem que se destaca por eliminar restrições e gargalos, bem como antecipar soluções, permitindo a execução contínua das atividades. Alinhado a essa abordagem, o monitoramento remoto de obras com câmeras 360° oferece uma perspectiva imersiva no canteiro de obras, independentemente da localização da equipe de gestão. Este artigo é baseado na pesquisa desenvolvida no Programa de Mestrado Profissional em Habitação do IPT, que propôs um sistema que combina a gestão de remoção de restrições com o monitoramento remoto, usando câmeras 360° móveis. O estudo exploratório analisou o desempenho do sistema em casos reais, com e sem imagens 360° móveis, de obras com tecnologias construtivas industrializadas e equipes distintas. Além de apresentar as diretrizes para a implantação do sistema, os resultados demonstram que a combinação da gestão de restrições com o monitoramento remoto de obras por imagens 360° móveis proporciona melhorias na coordenação e na organização das atividades no canteiro de obras, promovendo maior eficiência e mais colaboração.

Abstract

In recent years, the construction industry has undergone a digital transformation, aiming for more collaborative processes both on and off the construction site. The Last Planner System (LPS) stands out as an approach that excels at eliminating bottlenecks and anticipating solutions, enabling the seamless execution of activities. In alignment with this approach, remote construction site monitoring using 360° cameras offers an immersive perspective, irrespective of the team's location on the site. This article is based on research conducted in the Professional Master's Degree in Housing at IPT, which proposed a system that combines constraint removal management with remote monitoring, using mobile 360° cameras. The exploratory study analyzed the system's performance in real cases, with and without mobile 360° images, involving construction technologies and different teams. In addition to presenting guidelines for implementing the system, the results demonstrate that the combination of constraint management with remote monitoring of construction sites through mobile 360° images brings about improvements in coordination and organization of activities on the construction site, promoting greater efficiency and collaboration.

1 Introdução

O setor industrial está passando por uma revolução profunda, impulsionado tanto pela disponibilidade de novas tecnologias digitais quanto pelas novas abordagens de gestão e ferramentas para aprimoramento contínuo. Essa transformação é conhecida como a quarta revolução industrial ou Indústria 4.0 e tem fortalecido as bases para tomadas de decisões gerenciais mais assertivas e pragmáticas (Rosin *et al.*, 2019).

Nesse cenário de transformação cultural e digital, a indústria da construção civil também está imersa no processo de evolução tecnológica. O uso de tecnologias como drones (k *et al.*, 2015; Kim *et al.*, 2019; (Tugay *et al.*, 2019; Gupta; Nair, 2020); sensores (Lin *et al.*, 2013; Kim *et al.*, 2022; (Rao *et al.*, 2022); equipamentos robotizados e a adoção do *Building Information Modeling* (BIM) (Etges *et al.*, 2020; Abbas *et al.*, 2020) têm ganhado uma crescente importância nas obras.

A integração dessas tecnologias permite a interconexão de dados em nuvem, sistemas de gestão integrados, *Internet das Coisas* (IoT) e a incorporação de sensores, câmeras de monitoramento, robôs e drones nos canteiros de obras. Essas interações, coletivamente conhecidas como Construção 4.0, não apenas melhoram a comunicação, a transparência e a integração, mas também contribuem para o aprimoramento do processo produtivo (Rosin *et al.* 2019; You; Feng, 2020; Shahin, M. *et al.*, 2020).

Uma das ferramentas dessa revolução é a captura da realidade por meio de câmeras. Isso permite o monitoramento remoto das obras em tempo real, utilizando recursos como drones, pontos fixos de captação de imagens para vídeos em *timelapse* (Abeid Neto, 2002), câmeras incorporadas nos capacetes dos colaboradores (Construct In, 2019) e, mais recentemente, robôs (Boston Dynamics, 2022).

Dentre as diversas tecnologias disponíveis, a utilização de câmeras 360° incorporadas nos capacetes dos trabalhadores da equipe de gestão emerge como uma alternativa acessível para a implantação de monitoramento remoto nas obras de construção civil. Esta tecnologia oferece a captura de imagens de alta qualidade, armazenamento em nuvem e acesso remoto para as partes interessadas, facilitando o processo de tomada de decisão. De maneira simplificada, essa tecnologia permite uma visita virtual ao local da obra, tornando mais fácil para os envolvidos, no empreendimento, compreender as atividades em andamento (Construct In, 2019).

Para implementar a tecnologia de câmeras 360° nas obras é necessário estabelecer uma programação regular de inspeções, considerando a introdução de um membro da equipe responsável por utilizar uma câmera acoplada ao capacete, capaz de capturar as imagens

de alta qualidade. Esse colaborador desempenha um papel ativo na avaliação das inspeções, fornecendo informações valiosas aos envolvidos.

Sob o ponto de vista cultural, construtoras, incorporadoras e profissionais do setor de construção buscam alternativas de gestão que possam dar mais transparência, eficiência e fluxo aos processos. Neste sentido, a implementação da filosofia *lean construction* (Koskela, 1992) a pelo menos duas décadas vem ganhando espaço nos canteiros de obra. O *Last Planner System* (LPS) (Ballard, 2000) é um sistema colaborativo, oriundo da filosofia *lean*, que visa a eliminação de gargalos, a geração de fluxo contínuo e o envolvimento das equipes de obra nas rotinas de planejamento e controle. Uma de suas principais funções é a ferramenta de análise e remoção de restrições, que permite, com bastante antecedência, identificar as restrições inerentes ao processo de produção e removê-las, permitindo que as atividades sejam desenvolvidas sem interrupções.

Em um estudo recente, Mchugh, Koskela e Tezel (2021) afirmam que a tecnologia de câmeras 360°, combinada com abordagens de construção enxuta, mesmo à distância, possibilitou a reintegração de membros da equipe que não podiam estar fisicamente presentes na obra, destacando a qualidade das imagens que melhoraram o envolvimento das partes interessadas do projeto.

Neste contexto, este artigo aborda a utilização de câmeras 360° incorporadas em capacetes, aliadas a uma ferramenta de gestão focada na identificação e eliminação de restrições no cronograma de obras. A abordagem consiste na identificação de impedimentos e gargalos que são frequentemente observados durante a execução da obra. Esses obstáculos devem ser tratados antes do início da programação da atividade, visando reduzir impactos significativos no cronograma, evitando atrasos no início das atividades ou até mesmo impedindo sua execução eficaz.

O objetivo da pesquisa desenvolvida foi responder à seguinte pergunta: como implantar um sistema de monitoramento remoto de obras, em conjunto com o gerenciamento de restrições, durante o processo de controle da execução de obras? Dessa forma, buscou-se estabelecer diretrizes para a implementação desse sistema em empresas de construção, contribuindo assim para o conhecimento da tecnologia e para melhorias de processos voltados para o planejamento e controle das obras, principalmente quando da adoção de sistemas industrializados em obras rápidas, ou seja, com prazos relativamente curtos em relação aos convencionalmente praticados.

No que diz respeito aos aspectos éticos, este estudo foi submetido à Plataforma Brasil, sob o número CAAE: 70204423.9.0000.0083, e recebeu aprovação em 04/12/23. A pesquisa levou em consideração a preservação da identidade dos participantes nas imagens divulgadas no trabalho, bem como a coleta da opinião dos participantes de forma anônima.

2 Procedimento metodológico

No início da pesquisa foi realizada uma revisão bibliográfica abrangente, que incluiu fontes como livros, artigos científicos, jornais e documentos relacionados à Construção Civil, especialmente aqueles relacionados ao gerenciamento de restrições em obras e às tecnologias de monitoramento remoto.

Foram conduzidos quatro estudos de caso em uma empresa do setor da construção civil, conforme exposto na **TABELA 1**. Dois desses estudos envolveram a integração do sistema proposto pela pesquisa, combinando uma ferramenta de monitoramento remoto com uma abordagem de mapeamento de restrições (estudos de caso 1 e 2). Isso viabilizou a análise das oportunidades de aplicação do sistema de gerenciamento de restrições e monitoramento remoto em obras. Os outros dois estudos de caso utilizaram exclusivamente a ferramenta de gerenciamento de restrições, sem a integração das câmeras de monitoramento 360° (estudos de caso 3 e 4). O objetivo foi possibilitar uma comparação entre os diferentes métodos e abordagens.

Tabela 1 – Estudos de caso desenvolvidos ao longo da pesquisa

Tipo de restrição	Estudo de caso 1 (1)	Estudo de caso 2 (1)	Estudo de caso 3	Estudo de caso 4
Local	Aquiraz / CE	São Paulo / SP	Uberlândia / MG	Parati / RJ
Tipo de Obra	Industrial	Hospitalar	Industrial	Residencial
Modalidade	Linha de Produção	Unidade de Tratamento	Base de Equipamento	Alto Padrão
Tamanho	6.755 m ²	3.410 m ²	1.266 m ²	626 m ²
Prazo	9 meses	7 meses	6 meses	7 meses
Nº de Capturas de imagens ao longo da obra	97	72	-	-
Coleta	01/05/2022 a 21/06/2022	06/05/2022 a 29/06/2022	27/02/2022 a 17/04/2022	05/07/2022 a 27/09/2022

Fonte: elaborado pelos autores (2023)

Nota:(1) Estudos com a utilização de câmeras 360°.

Durante o período de coleta, ocorreram reuniões para eliminar restrições, onde equipes de obra, suprimentos, engenharia e apoio remoto estiveram envolvidas com o objetivo de remover tais gargalos. Nestes encontros de gestão das restrições, os estudos de caso foram registrados através de relatórios, e-mails e planilhas específicas para controle. Após analisar a quantidade de restrições identificadas nessas reuniões, foram verificadas possíveis duplicidades de informações e classificadas de acordo com os temas abordados na pesquisa, proposta por indicadores.

Com base nos resultados preliminares, foram apresentadas diretrizes iniciais a seis profissionais, propondo um sistema para o monitoramento remoto e gestão de restrições. Por meio de entrevistas semiestruturadas, com perguntas abertas, validou-se a relevância do tema, contribuindo para o desenvolvimento das diretrizes. Os profissionais que participaram das entrevistas eram especialistas em planejamento e gestão de obras, com experiência tanto na área acadêmica quanto em empresas privadas, apresentando uma diversidade de perfis, desde profissionais mais novos até os mais experientes.

As entrevistas desempenharam um papel fundamental ao abordar aspectos mais abrangentes do tema, incorporando percepções não previamente consideradas na elaboração das diretrizes inicialmente propostas.

3 Monitoramento Remoto com Imagens de 360°

Atualmente, a utilização de tecnologias voltadas para o monitoramento remoto de obras está ganhando destaque nos ambientes de construção. Essas abordagens permitem que equipes distantes tenham a capacidade de realizar visitas virtuais no ambiente da obra, além de possibilitar o armazenamento organizado das imagens na nuvem por meio de um banco de dados.

Algumas das tecnologias atuais para equipes de obra incluem o uso de equipamentos aéreos, como drones, **FIGURA 1 (a)**; utilização de robôs para diversas finalidades, como inspeções ou suporte em operações de construção, **FIGURA 1 (b)**; e, até mesmo, a incorporação de equipamentos na vestimenta do colaborador, **FIGURA 1 (c)**. Isso ocorre em consonância com a interface do ambiente construído com a tecnologia (BIM) e a realidade da obra.

Figura 1 - Tecnologias voltadas para a construção civil 4.0



Fonte (a) e (b): Kimura (2022); (c): Trimble (2022)

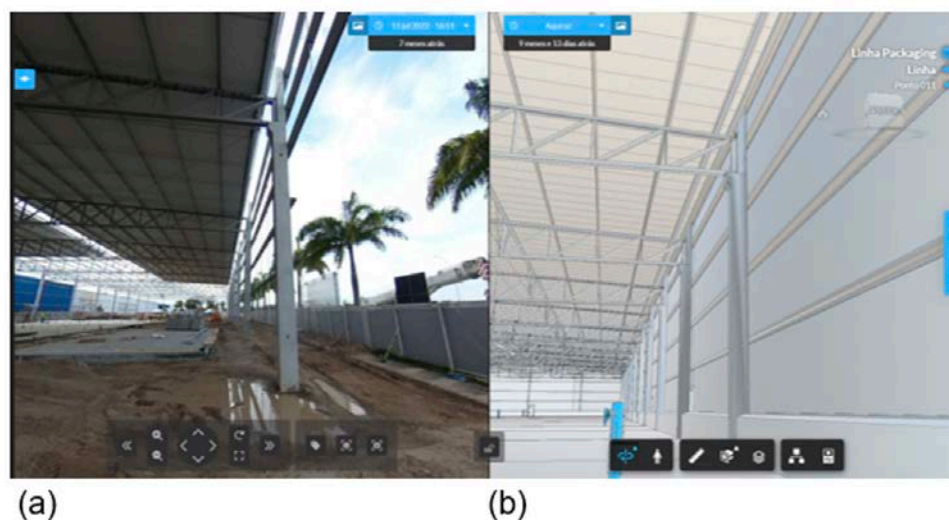
Dentre as tecnologias atualmente disponíveis e acessíveis para uso em construtoras, a utilização do monitoramento remoto de obras por meio de imagens em 360° representa uma alternativa viável técnica e financeiramente, quando comparada às outras tecnologias relacionadas ao monitoramento remoto.

Essa tecnologia possibilita: a) a criação de imagens de alta qualidade, considerando a sua localização, em relação aos projetos de referência; e b) a formação de um banco de dados com armazenamento em nuvem. Além disso, oferece acesso remoto a todas as partes envolvidas, nas tomadas de decisão, e a capacidade de acompanhar a evolução das diferentes fases da obra através do histórico de imagens.

Outra aplicação viável nas obras é a capacidade de comparar as imagens capturadas com os modelos em BIM, possibilitando uma avaliação entre o que foi projetado por meio do designer e o que foi efetivamente executado no ambiente, conforme **FIGURA 2**. Isso possibilita identificar interferências e a necessidade de ajustes nos projetos.

É possível verificar, na **FIGURA 2**, a imagem do ambiente construído (a), considerando as estruturas pré-moldadas, sistemas de coberturas e pisos; e (b) o modelo em BIM, levando em conta os fechamentos laterais, estruturas de cobertura e pisos em concreto.

Figura 2 - Imagem do monitoramento remoto x Modelo BIM



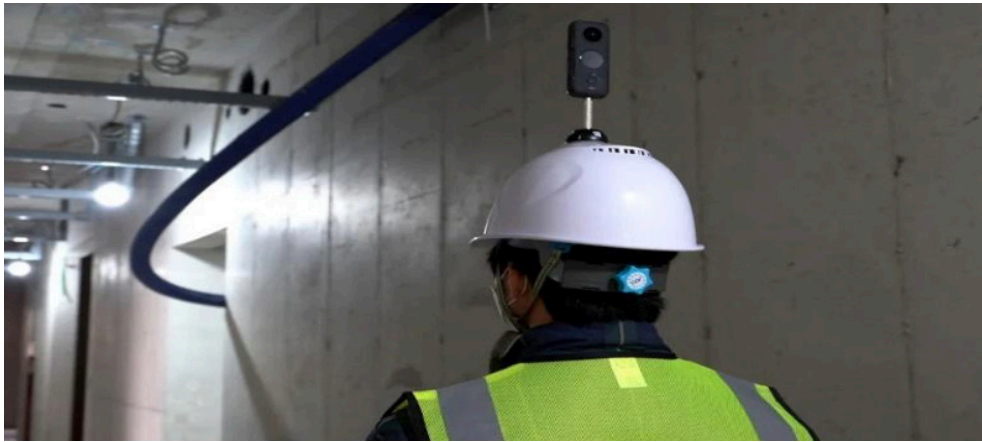
Fonte: elaborado pelos autores (2023)

No que diz respeito à aplicação dos modelos em BIM para monitorar o progresso no canteiro de obras no âmbito do planejamento, é necessário o uso de sistemas que incorporem a programação das atividades ao longo do tempo. Esse procedimento, diferente do que foi apresentado nesse trabalho, requer a correlação dos modelos com os cronogramas estabelecidos, o qual é viabilizado por meio de sistemas de planejamento em BIM, conhecido como BIM 4D quando é associado o planejamento também em BIM.

Para empregar a tecnologia de monitoramento remoto por meio de imagens em 360°, é essencial estabelecer um protocolo de inspeções programadas. Nesse contexto, é estabelecida uma rotina de captura considerando os locais nos quais será realizado o acompanhamento do progresso da obra, juntamente com uma programação de acompanhamento ajustada à necessidade de atualização da obra, podendo ocorrer semanalmente ou até duas vezes por semana em certos casos.

Um membro da equipe de obra, munido do equipamento de captura de imagens, deve estar presente, no local, durante o processo de captura, utilizando uma câmera de alta resolução, para garantir a qualidade das imagens (FIGURA 3).

Figura 3 – Câmera 360 ° e colaborador

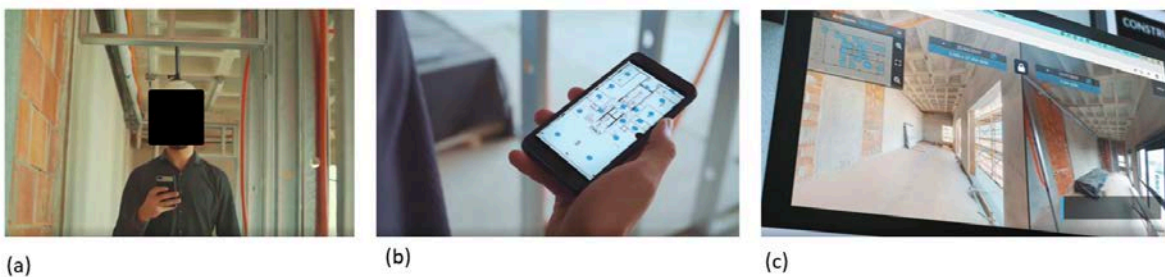


Fonte: Cupix (2022)

O colaborador designado pode atuar ativamente, na avaliação da inspeção, liberando às partes interessadas a possibilidade de identificar ações e analisar pontos restritivos e de melhorias nas rotinas e locais físicos. A câmera é colocada em um capacete de trabalho, conforme (FIGURA 3).

Cabe mencionar que é possível criar uma planta digital do empreendimento, utilizando uma plataforma de trabalho, na nuvem. Por exemplo, com a captura de imagens com o auxílio de um smartphone, FIGURA 4 (a) e (b), é viável transmitir a imagem para um ambiente de acompanhamento digital, FIGURA 4 (c).

Figura 4 – Processo de captura de imagens e visualização



Fonte (a), (b), (c): Construct In (2019)

É importante destacar que, com a inclusão e organização das imagens, na nuvem, proprietários, arquitetos, empreiteiros e subcontratados podem realizar o monitoramento de seus empreendimentos, mesmo a distância, e analisar a evolução da obra ou inspeções de rotinas.

4 Last Planner System (LPS)

O *Last Planner System* (LPS) é um método colaborativo de planejamento de obras que permite às equipes de construção planejar as atividades levando em conta as limitações e restrições do projeto. Além disso, o LPS contribui para a melhoria do fluxo de trabalho e a alocação mais eficiente de recursos, potencialmente reduzindo os custos e aumentando a qualidade do projeto.

Com o LPS, é possível planejar as atividades de construção de maneira mais eficiente, assegurando a entrega do projeto no prazo estipulado e reduzindo os custos. Conforme considerado por Olivieri *et al.* (2019), o LPS, em comparação com o tradicional método CPM (*Critical Path Method*) ou método do caminho crítico, apresenta características que incluem: melhor controle de produção, redução de incertezas, tratamento de restrições e melhoria de fluxos de trabalho e recursos.

Ao dividir o planejamento em três horizontes (longo prazo, médio prazo e curto prazo), o LPS busca otimizar a eficiência das atividades produtivas, conforme descrito por Ballard *et al.* (2002).

4.1 Cronograma de longo prazo (Cronograma master e cronograma de fase)

O cronograma master, ou plano mestre, é desenvolvido nas fases iniciais do planejamento do projeto, representando um cronograma de longo prazo. Este cronograma é menos detalhado, delineando o tempo das diversas fases pelas quais o projeto passará. Ele é principalmente dividido por função, área ou produto, abrangendo todo o projeto e refletindo marcos estabelecidos pelo projeto, restrições e objetivos (Ballard; Hamzeh; Tommelein, 2007).

Assim como o cronograma master, o cronograma de fase é também um cronograma de longo prazo, responsável por conectar a estruturação dos trabalhos delineados no cronograma master com o controle de produção. Durante sua elaboração, ocorre a integração e coordenação das operações das atividades por meio do planejamento colaborativo (Ballard, 2000).

Conforme considerado por Ballard (2000), o objetivo do cronograma de fase é permitir que os envolvidos no projeto elaborem coletivamente um plano de trabalho capaz de coordenar ações e estabelecer metas para antecipação de prazos.

4.2 Cronograma de médio prazo (Cronograma de antecipação ou *Look-Ahead Planning*)

O cronograma de antecipação, também conhecido como '*look ahead schedule*', representa uma etapa crucial no planejamento do LPS, onde o foco recai na antecipação das atividades. Este planejamento é considerado de médio prazo e envolve a equipe na definição dos principais aspectos:

a) Elaboração da sequência e definição do fluxo de trabalho; b) Relacionamento entre o fluxo de trabalho e a capacidade de trabalho; c) Manutenção de uma lista de pendências de trabalho pronta (lista de trabalho viável); d) Desenvolvimento de planos detalhados sobre como o trabalho deve ser executado (desenho de operações). As ferramentas e técnicas empregadas nesta etapa incluem o mapeamento e análise das restrições, bem como estudos de primeira execução (Ballard *et al.*, 2002).

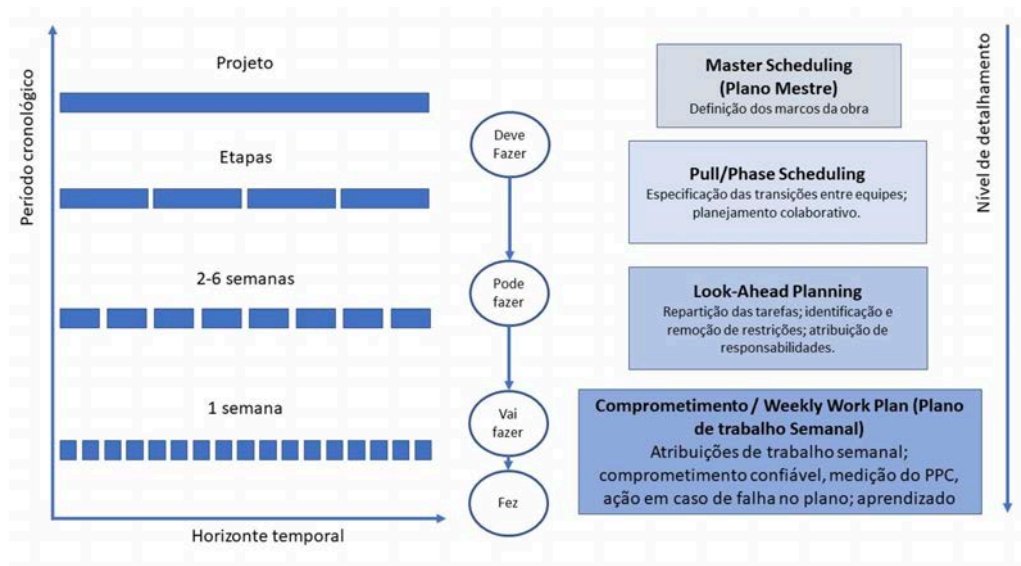
4.3 Planejamento semanal de trabalho (*Weekly Work Plan*)

O planejamento semanal de trabalho é o mais detalhado plano de trabalho. Ele é feito com a participação dos projetistas, engenheiros, responsáveis por suprimentos, técnicos de segurança do trabalho, encarregados de obra, mestres de obra e os demais colaboradores que são responsáveis por realizar as atividades das fases construtivas.

Os planos são discutidos em *workshops* semanais com o intuito de cumprir com as metas de trabalho, melhorar a produtividade e garantir a continuidade do fluxo de trabalho. Ao longo da semana, o planejamento é acompanhado pela equipe e comparado entre o previsto e o realizado. (Ballard; Hamzeh; Tommelein, 2007).

A FIGURA 5 a seguir ilustra o processo idealizado por Ballard, o qual considera as diferentes fases do planejamento colaborativo executado por meio do LPS. Esta representação também abarca o gerenciamento de restrições destacado na etapa do cronograma de antecipação ou *Look-Ahead Planning*.

Figura 5 – Processo de elaboração de planejamento através do LPS



Fonte: elaborado pelos autores.

No contexto deste trabalho, optou-se por empregar, nos estudos de caso, especificamente a ferramenta de gerenciamento de restrições. As abordagens de controle, como o PPC não foram utilizadas nesse contexto.

5 Integração de restrições ao monitoramento remoto de obras

Uma restrição é algo que limita um sistema para atingir o desempenho previsto, no caso o prazo previsto e a produtividade prevista. Para Goldratt (1997), as restrições podem ser: físicas, como: máquinas com baixa capacidade produtiva e baixo efetivo de produção; ou não físicas: derivadas de políticas adotadas pela organização da empresa, posturas comportamentais e culturais.

De acordo com Koskela (1999; 2000), as principais restrições, impostas aos cronogramas de obras, pré-condições ou condições de início, podem estar relacionadas à falta de informações, recursos ou eventos que envolvam: a) projetos; b) materiais; c) espaço; d) mão de obra; e) atividades predecessoras do cronograma; f) equipamentos; g) condições externas; e h) informações do processo. Olivieri (2021) traz outras restrições que podem estar relacionadas a questões operacionais como: a) segurança do trabalho; b) qualidade; c) logística; d) meio ambiente; e e) planos preliminares de serviços. Alguns exemplos de restrições podem ser observados no **Quadro 1**.

Quadro 1 - Exemplos de restrições

ORIGEM	EXEMPLOS
Projetos	Desenhos errados, falta de detalhes ou aprovação
Componentes	Material faltando, danificados ou errado
Mão de obra	Falta de efetivo por doença, férias ou compromisso
Equipamentos	Equipamento avariado, faltando ou errado
Ambiente	Ambiente inseguro, sem acesso ou lotado
Condições gerais	Retrabalho ou dependente de término de uma atividade
Condições climáticas	Chuva, clima ou condição de solo inesperada

Fonte: Lindhard e Wandahl (2012)

A análise das restrições, no LPS, começa com a verificação do cronograma das próximas semanas que, geralmente, abrange um período de quatro a seis semanas.

Nesse processo, em conformidade com Ballard *et al.* (2002), a equipe avalia a possibilidade de antecipação dos prazos, considerando as atividades previstas no cronograma. A partir daí, todas as restrições que possam impedir o início ou o bom andamento das atividades são identificadas e discutidas em equipe.

Uma vez identificadas as restrições, elas são organizadas em um formulário, contendo uma lista de atribuições, classificadas por grau de importância. Estabelece-se, então, um responsável para a sua remoção, considerando prazos para a conclusão. Ballard *et al.* (2002) asseveram que esse processo de análise de restrições deve ser tratado em reunião periódica, frequentemente, semanal, na qual ocorre o monitoramento das listas

de restrições até que o assunto seja resolvido e, finalmente, possibilite a programação da execução da atividade.

O **Quadro 2** é um exemplo de identificação de restrições a partir da análise de gargalos, levantados através de reuniões de monitoramento remoto, utilizando imagens 360°. Uma regra importante no processo de análise de restrições, no LPS, é que nenhuma atividade deve manter sua data programada, a menos que os planejadores estejam confiantes de que as restrições possam ser removidas a tempo.

Quadro 2 – Exemplos de quadro de levantamento de restrições

Restrição	Data Limite	Responsável
Verificação de interferências de fachada entre a construção existente e a adição da nova estrutura.	02/07/2023	Coordenador de Projeto
Condições de acesso relacionadas às entregas dos elementos de fundação.	15/07/2023	Comprador
Avaliação dos aspectos de segurança relacionados à organização da obra, utilização de equipamentos de proteção coletiva e análise das necessidades específicas para a demolição das estacas, em conformidade com as normas de segurança.	20/07/2023	Técnico de Segurança do Trabalho

Fonte: elaborado pelos autores (2023).

Ainda, Ballard *et al.* (2002) afirmam que seguir essa regra áurea garante que os problemas sejam identificados mais cedo, e que as questões que não possam ser resolvidas, no processo de programação, não sejam impostas ao nível de produção, seja nas fases de projeto, fabricação ou construção.

Em outros termos, a análise de restrições no LPS é um processo rigoroso que busca identificar e remover as barreiras para o sucesso do projeto. Ao estabelecer um processo contínuo de avaliação e monitoramento das restrições, a equipe é capaz de evitar atrasos e garantir a entrega do produto final dentro do prazo.

A implementação de dois estudos de caso voltados para o monitoramento remoto através de imagens 360° e o gerenciamento de restrições possibilitou a observação de oportunidades de aplicação do sistema. A partir desses estudos, foi possível estabelecer um framework (**Quadro 3**) que considera as etapas e rotinas necessárias para a eliminação de restrições por meio do monitoramento remoto através das imagens.

Quadro 3 – Framework de gestão para eliminação de gargalos por meio do monitoramento remoto de obras

O Ciclo de operação do sistema consiste em um processo com quatro etapas básicas de operação a ser incluídas no processo de monitoramento e controle de obra, considerando:

- 1) Levantamento de restrições considerando a verificação das atividades que iniciarão nas próximas 4 a 6 semanas.



- 2) Realização de reunião de gerenciamento de restrições com as equipes remotas e de obra;



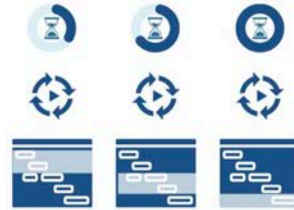
- 3) Verificação do andamento das atividades (Imagens 360°) e Verificação da análise das restrições;



- 4) Realização da implementação de ações.



Este ciclo se repete até o final das atividades do cronograma de obra.



Além disso, é possível aplicar em conjunto ao gerenciamento de restrições + monitoramento remoto 360°, as ferramentas utilizadas pela empresa no sistema de gestão, com o intuito de identificar possíveis pontos de gargalo, ou apoiar decisões.



Fonte: Lindhard e Wandahl (2012)

É importante ressaltar que o monitoramento remoto por meio de imagens em 360° oferece uma oportunidade para integrar equipes remotas em obras, permitindo a verificação do progresso das atividades e a organização das informações na nuvem.

6 Resultados e discussão

Com a realização da revisão de literatura e a implementação de estudos de caso, tornou-se possível estabelecer uma conexão entre os resultados obtidos e as informações coletadas, o que permitiu a compilação de dados e a elaboração de um quadro para apresentação dos resultados (**Quadro 4**).

O processo de correlação de dados é um passo crucial para a análise de informações coletadas, em diferentes fases de uma pesquisa. Por conseguinte, o **Quadro 4** apresenta-se como uma ferramenta para a identificação de tendências e padrões relevantes, possibilitando uma análise crítica dos resultados obtidos, nas fases de estudo de caso e revisão de literatura.

Quadro 4 – Resultados relacionados aos estudos de casos e revisão de literatura (Continua)

Resultados	Revisão de Literatura	Estudo de Caso 1	Estudo de Caso 2
<p>Comunicação: Melhoria da comunicação entre as equipes; Imersão no ambiente de obra de forma remota.</p>	<p>(RIBEIRO; COSTA, 2018); (LINDHARD; WANDAHL, 2012); (MCHUGH; KOSKELA; TEZEL, 2021).</p>	<p>Abordagem imersiva através de imagens 360°, Reunião via conferência, Melhoria da comunicação</p>	<p>Abordagem imersiva através de imagens 360°; Reunião via conferência, Melhoria da comunicação</p>
<p>Material Identificação de acesso ou logísticas; Identificação de necessidades ou postergação de entregadas para auxílio ao <i>Just-in-time</i>.</p>	<p>(KOSKELA, 1992); (LINDHARD; WANDAHL, 2012)</p>	<p>Análise da condição de acesso para a realização da atividade de montagem através das imagens.</p>	<p>Análise da condição de entrega de áreas para a continuidades de atividades sucessoras.</p>
<p>Projetos Necessidades de entrega de projetos; Possibilidade de identificação de interferências e questões de execução através de imagens x BIM.</p>	<p>(LINDHARD; WANDAHL, 2012). (KOSKELA, 1992)</p>	<p>Visualização de modelos BIM e comparativo com a realidade capturada. Necessidade de aprovação de amostras e materiais.</p>	<p>Visualização da realidade capturada e análise da execução de atividades; Análise de necessidades de entregas de áreas e projetos.</p>
<p>Qualidade Registro fotográfico da execução das atividades de obra; Organização de atividades para o acompanhamento de <i>checklist</i> de entrega de áreas.</p>	<p>(KOSKELA, 1992).</p>	<p>Necessidade de identificação de peças das estruturas metálicas.</p>	<p>Necessidade de finalização de atividades terminalidade.</p>

Resultados	Revisão de Literatura	Estudo de Caso 1	Estudo de Caso 2
<p>Planejamento Registro para o monitoramento do avanço de atividades; Registro para a verificação do histórico de obras e banco de dados; Suporte para análise de produtividade.</p>	<p>(BALLARD, 2000); (SHEWHART; DEMING,1986).</p>	<p>Alinhamento de revisão de cronogramas em função de reprogramações.</p>	<p>Programação de entrada das empresas terceiras, na fase de montagem.</p>
<p>Segurança do trabalho Registro do uso de equipamentos de proteção individual pelos colaboradores; Registro da situação de organização e limpeza dos ambientes de trabalho.</p>	<p>(LINDHARD; WANDAHL, 2012);</p>	<p>Definição da execução de redes de proteção para trabalhos simultâneos.</p>	<p>Identificação da utilização de sistemas de proteção de uso coletivo e individual; Registros da organização e limpeza do ambiente de trabalho.</p>
<p>Gestão estratégia e portfólio Análise de ações emergenciais;</p>	<p>(PONS ACHELL <i>et al.</i>, 2019); (SHARMA; TRIVEDI, 2021).</p>	<p>Verificação de projeções de trabalho, indicação de prioridades de</p>	<p>Verificação de projeções de trabalho, indicação de prioridades de ação e concentração de esforços</p>
<p>Organização de estratégias e esforços de sinergia.</p>		<p>ação e concentração de esforços</p>	
<p>Gestão de riscos Registro do andamento físico real para acompanhamento de seguros e contábil; Apoio para a verificação do andamento de contingências.</p>	<p>(PONS ACHELL <i>et al.</i>, 2019).</p>	<p>Identificação de riscos e melhoria do processo de decisão. Verificação dos relatórios de avanços enviados pelos responsáveis da obra.</p>	<p>Identificação de riscos e melhoria do processo de decisão. Verificação dos relatórios de avanços enviados pelos responsáveis da obra.</p>

Fonte: elaborado pelos autores.

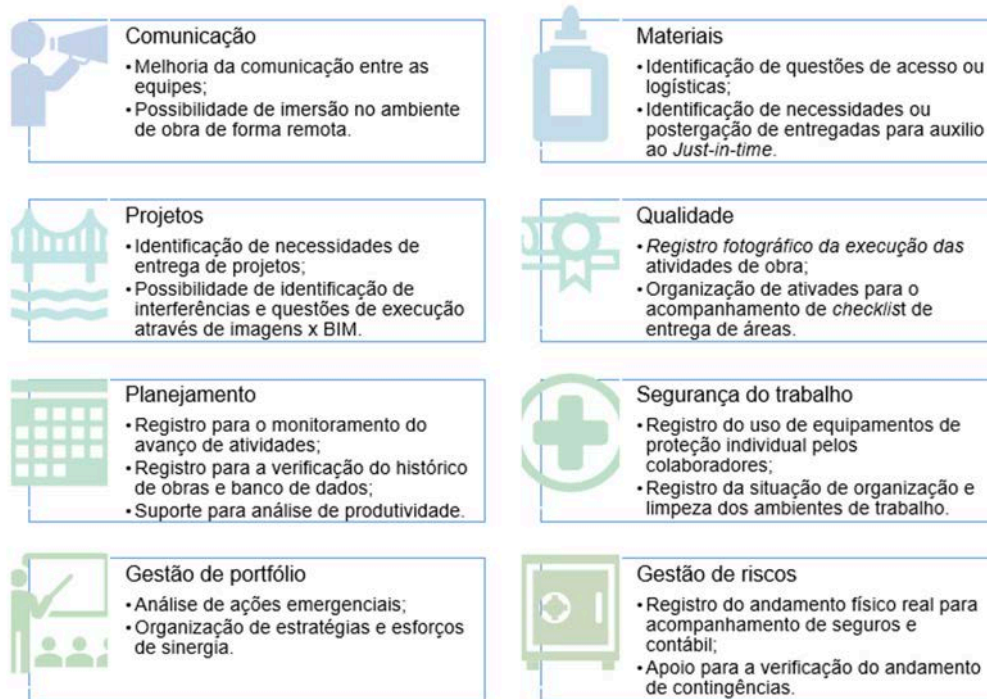
Analisando os dados do **Quadro 4**, foi investigado o contexto das tendências identificadas durante o desenvolvimento dos estudos de caso, com ênfase em uma visão mais ampla. Para isso foi realizado a análise qualitativa dos resultados obtidos, esse processo de identificação permitiu avaliar as oportunidades de utilização do sistema, conforme representado na **FIGURA 6**.

Durante a elaboração dos estudos de caso houve reuniões de mapeamento das restrições, atribuiu-se à equipe de planejamento da obra a responsabilidade de: organizar as informações em uma planilha de gestão de restrições; informar os prazos das restrições; delegar responsabilidades; informar o status das atividades e definir ações, em conjunto com os gestores. Nesse momento, a equipe buscou realizar o mapeamento de restrições, considerando uma projeção das atividades e considerando a utilização das imagens 360°.

As principais restrições impostas aos cronogramas de obras foram consideradas no Quadro 4 e, conseqüentemente, na **FIGURA 6**. Isso foi feito levando em conta a organização das restrições realizadas pela equipe, seguida pela classificação dos eventos que envolvem: comunicação, material, projetos, qualidade, planejamento e segurança do trabalho, os quais são pré-condições bastante típicas e amplamente citadas na revisão de literatura. Além disso, foram acrescentados alguns aspectos relacionados à gestão de obras em nível estratégico para riscos e portfólio, representando uma oportunidade de utilização mais recente.

Temas como mão de obra ou equipamentos, devido à limitação imposta pelas rotinas de atualização dos ciclos de captura das imagens, que nos estudos foram realizados considerando capturas semanais, não apresentaram resultados significativos durante a elaboração das análises e, portanto, não foram considerados nos resultados.

Figura 6 – Oportunidades da utilização do sistema de remoção de restrições e monitoramento remoto de obras



Fonte: elaborado pelos autores (2023).

Ao revisar os dados coletados, foi possível observar como a utilização da tecnologia permitiu considerar aspectos mais abrangentes, nos estudos de caso, que em seguida possibilitaram a classificação de contextos que puderam ser quantificados.

Um desses estudos pode ser verificado a partir dos dados considerados na análise dos estudos de caso 1 e 2, no período correspondente mencionado (TABELA 1), as restrições identificadas somente foram analisadas em razão da utilização das imagens em 360°. Essa avaliação visou compreender de que maneira a utilização das imagens em 360° contribuiu para identificar e abordar as restrições enfrentadas, nos estudos de caso em questão.

Tabela 1 – Quantidade de restrições levantadas em dois meses de gerenciamento de restrições

Tipo de restrição	Estudo de caso 1 (1)	Estudo de caso 2 (1)	Estudo de caso 3	Estudo de caso 4
Suprimentos/Materiais	18	54	27	41
Qualidade	19	59	1	0
Projetos	21	8	13	21
Gestão de Riscos	11	32	3	1
Comunicação	10	24	2	3
Planejamento	5	9	4	2
Segurança do Trabalho	3	9	1	0
Gestão estratégica de Portfólio	2	3	0	0
Total	89	198	51	68

Fonte: elaborado pelos autores (2023)

Nota:(1) Estudos com a utilização de câmeras 360°.

Ao examinar a quantidade de restrições identificadas e expressas, na **TABELA 1**, observa-se uma predominância maior de restrições, nos estudos de caso 3 e 4, relacionadas aos aspectos de suprimentos, materiais e projetos. Já os estudos de caso 1 e 2 apresentam uma maior diversidade de questões, abrangendo temas como qualidade, gestão estratégica¹, comunicação e riscos.

Na **TABELA 2**, a seguir, apresenta-se uma comparação entre a quantidade total de restrições levantadas e a quantidade de restrições identificadas exclusivamente por meio da utilização das câmeras 360°. Os benefícios obtidos, em cada estudo de caso, relacionados a essas restrições, podem ser visualizados no **Quadro 5**.

Mediante a utilização das câmeras 360°, foi possível identificar e abordar restrições de forma mais eficiente e precisa, o que proporcionou uma série de benefícios significativos para cada caso (vide **Quadro 5**).

1 Gestão estratégica é o conjunto de ações coordenadas e concentradas, realizadas pela alta direção de uma empresa.

Tabela 2 – Comparação de restrições identificadas

Estudo de caso	Total de restrições Identificadas	Restrições identificadas Câmera 360°	Percentual
Estudo de caso 1	89	14 (1)	15,73%
Estudo de caso 2	198	27 (2)	13,64%
Total	287	41	14,28%

Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Notas: (1) Quantidade de restrições registradas no anexo - Estudo de Caso 1 - Restrições Identificadas através do Uso da Câmera 360°. (2) Quantidade de restrições registradas no anexo - Estudo de Caso 2 - Restrições Identificadas através do Uso da Câmera 360°.

Quadro 5 – Benefícios obtidos exclusivamente com a utilização das câmeras 360° (Continua)

Benefícios	
Estudo de caso 1	Estudo de caso 2
<p><u>Materiais</u>: identificação de questões de acesso;</p> <p><u>Projetos</u>: identificação de necessidades de entrega de projetos;</p> <p><u>Planejamento</u>: registro para o monitoramento do avanço de atividades;</p> <p><u>Segurança do trabalho</u>: registro da situação de organização e limpeza dos ambientes de trabalho;</p> <p><u>Gestão de portfólio</u>: análise de ações emergenciais;</p> <p><u>Gestão de riscos</u>: apoio para a verificação do andamento de contingências.</p>	<p><u>Materiais</u>: identificação de necessidades ou postergação de entregadas para auxílio ao Just-in-time.</p> <p><u>Qualidade</u>: organização de atividades para o acompanhamento de checklist de entrega de áreas.</p> <p><u>Planejamento</u>: registro para o monitoramento do avanço de atividades;</p> <p><u>Segurança do trabalho</u>: registro da situação de organização e limpeza dos ambientes de trabalho;</p> <p><u>Gestão de riscos</u>: registro do andamento físico real para acompanhamento de seguros e contábil.</p>

Fonte: elaborado pelos autores (2023)

Observando a TABELA 2 e o Quadro 5, é possível estabelecer uma relação entre o uso das câmeras 360°, nas etapas de gerenciamento de restrições, e a identificação dos benefícios durante a análise dos dados. Essa análise revelou uma melhoria do número de restrições pelo uso de câmeras, variando de 13% a 15%, relacionadas às restrições identificadas. Além disso, foram elencados benefícios referentes a questões de qualidade, riscos, comunicação e outros aspectos gerais (Quadro 5).

Finalmente, realizou-se uma avaliação da quantidade de restrições, eliminadas por meio do sistema de gerenciamento remoto, utilizando imagens em 360° (estudos de caso 1 e

2), comparativamente aos estudos de caso sem o uso dessas imagens (estudos de caso 3 e 4). Essa abordagem teve como meta compreender o potencial de incremento, no número de restrições identificadas, no que concerne aos estudos conduzidos.

A **TABELA 3**, a seguir, retrata a quantidade de restrições removidas em cada estudo de caso e a quantidade de dias.

Tabela 3 – Indicador do número de restrições removidas por dia

	Caso 1 (1)	Caso 2 (2)	Caso 3 (3)	Caso 4 (4)
Quantidade dias	51	54	49	84
Restrições Removidas	76	61	51	65
Total (Restrições/Dia)	1,49	1,13	1,04	0,77

Fonte: elaborado pelos autores (2023)

Notas: (Coleta das amostras) (1) 01/05/2022 a 21/06/2022. (2) 06/05/2022 a 29/06/2022. (3) 27/02/2022 a 17/04/2022. (4) 05/07/2022 a 27/09/2022.

Nos estudos de caso que envolveram a incorporação das imagens em 360° para a gestão de restrições (estudos 1 e 2), constatou-se, respectivamente, um índice de remoção de restrições de 1,49 e 1,13 por dia. No tocante às restrições abordadas nos estudos de caso 3 e 4, foram observados índices de 1,04 e 0,77 remoções de restrições, respectivamente.

A) Diretrizes

Por meio de um processo que envolveu a criação de um material abrangente, contendo informações detalhadas sobre os processos de implantação, o contexto do sistema, exemplos e outros elementos pertinentes, foram fornecidas diretrizes na forma de um compêndio a seis profissionais que participaram de entrevistas sobre o sistema. A análise dos resultados permitiu considerar as melhorias propostas pelos participantes durante as entrevistas, com ênfase em atender às necessidades identificadas.

Com o intuito de apresentar as características dos entrevistados, concernentes aos tópicos discutidos e, ao mesmo tempo, proporcionar uma base comparativa entre os temas abordados, nas entrevistas, elaborou-se um quadro-resumo que considera as suas principais percepções (**Quadro 6**).

Para fazer esse resumo, foram elaboradas algumas categorias como: foco de atuação; gestão de restrições/importância; gestão de restrições/percepções de uso; câmera 360º/ utilização; câmera 360º/benefícios; manual/avaliação; sistema/avaliação; sistema/melhorias; e desafios/implantação. Insta mencionar a complexidade que foi categorizar as percepções dos entrevistados², a fim de construir esse quadro-resumo (**Quadro 6**).

Quadro 6 – Principais percepções dos entrevistados a respeito do Manual (Compêndio)

	E. 1	E. 2	E. 3	E. 4	E. 5	E. 6
Foco de atuação	Produção	Planejamento	Planejamento	Administração contratual	Corporativo	Academia
Gestão de restrições	Média	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta
Importância						
Gestão de restrições	Pré-planejamento	Análise e monitoramento	Caminho crítico	Análise e monitoramento	Análise e monitoramento	Estabilidade básica
Percepção do uso						
Câm. 360º	Alta	Baixa	Baixa	Média	Baixa	Baixa
Utilização						
Câm. 360º	Visão do todo	Velocidade da informação	Confiança na informação	Redução	Segurança do trabalho	Registro
Benefício						
Manual	Validado	Validado	Validado	Validado	Validado	Sugestões de melhorias
Avaliação						
Sistema	Visão Ampla	Eliminação de custos	Otimizar trabalho	Eliminação de custos	-	Foco no monitoramento
Avaliação						
Sistema	Treinamentos	Automatização	Automatização	Automatização e treinamentos	Democratização	Integração BIM
Melhorias						
Desafio	Cultura	Cultura	Aspecto Humano	Cultura	Baixa colaboração e atraso do setor	Utilização remota
Implantação						

Fonte: elaborado pelos autores (2023)

Pode-se compreender, verificando o quadro-resumo acima, o grau de percepção dos participantes da entrevista, em relação ao tema do gerenciamento de restrições. Pelos dados obtidos por meio da entrevista, categorizados, apresentados nesse **Quadro 6**, fica evidenciado o grau de importância do tema, considerado como um elemento integrante do processo de planejamento. O que vem a corroborar o resultado da análise dos dados, recolhidos a partir dos estudos de caso, apresentados neste trabalho.

2 Os entrevistados, nesse **Quadro 6**, estão identificados com a letra E, seguida de um numeral (E. 1, E. 2 e, assim, sucessivamente até E. 6).

As opiniões, relacionadas ao aspecto do sistema, foram incorporadas às limitações do trabalho, visando futuros aprimoramentos, em virtude de que há oportunidades de melhoria não só na utilização como também nos aspectos de desenvolvimento. Por outro lado, as sugestões referentes aos aspectos do compêndio foram listadas, na revisão final do documento, e consideradas nas principais diretrizes finais.

A grande maioria dos entrevistados considera os fatores humanos o principal desafio na implantação. Nesse aspecto, sugerem desde o processo de convencimento da alta direção, treinamentos e democratização da tecnologia, até o compartilhamento de boas práticas entre empresas e a melhoria de aspectos, utilizando processos mais automatizados e rompendo paradigmas.

Devido à necessidade de apresentar de forma clara as principais diretrizes propostas para o sistema e fortalecer as estratégias de gestão para superar gargalos por meio do monitoramento remoto de obras, a entrega final deste trabalho consiste em estabelecer as principais diretrizes para a implementação do sistema, conforme exposto no **Quadro 7**.

Para definir as diretrizes propostas, foi necessário estabelecer relação entre o contexto dessas diretrizes aos referenciais desenvolvidos nesta pesquisa, incluindo entrevistas, revisão bibliográfica e os benefícios do sistema. Isso visa dar respaldo às diretrizes e também sugerir ações para a implementação do sistema.

As Diretrizes para Implantação da Gestão de Remoção de Restrições, aliadas ao Monitoramento Remoto de Obras, representam o resultado final desse trabalho. Seu objetivo principal é oferecer um método de implantação que facilite a adoção dessa tecnologia no dia a dia das empresas. Este documento foi elaborado com base em estudos de caso realizados ao longo da pesquisa, incorporando as sugestões dos profissionais entrevistados para enriquecer o conteúdo com suas valiosas contribuições.

Quadro 7 - Diretrizes de implantação do sistema (continua)

Diretriz	Sugestão
Engajar as lideranças da empresa a apoiar a implementação do sistema, enfatizando as oportunidades como parte central da estratégia.	- É crucial o respaldo da alta direção na implantação, realçando as oportunidades do sistema e reconhecendo a necessidade de mudanças culturais para atingir os objetivos.
Os desafios culturais e as barreiras na implementação podem impactar o progresso, destacando a importância de recursos adequados, equipe comprometida e procedimentos de controle e supervisão.	- Equipe comprometida e equipada, supervisionada por rotinas de controle, visando promover uma cultura transparente no processo.

Diretriz	Sugestão
Treinar equipes de construção em gestão de restrições, <i>Last Planner System</i> (LPS), pensamento enxuto na construção civil e captura de imagens 360°.	- Realizar treinamentos direcionados aos usuários, com suporte de especialistas para a implantação do sistema. Incluir treinamentos para conscientizar a equipe sobre o pensamento enxuto na construção civil.
Desenvolver um plano de implementação do sistema alinhado aos objetivos da organização, com metas de cronograma e orçamento. Estabelecer um plano de acompanhamento e avaliação técnica das ferramentas de controle de restrições e monitoramento remoto de obras.	- Alinhamento das metas de implantação com estratégias organizacionais, estabelecimento de prazos e custos, criação de um plano de monitoramento do processo de implantação, e equalização técnica para escolha de ferramentas de gerenciamento e monitoramento remoto de obras.
Integrar o ciclo operacional do sistema para alinhar as ferramentas empresariais que suportam o funcionamento do projeto.	- O processo de desenvolvimento do sistema ocorre em etapas: identificação de restrições para atividades futuras, reuniões sobre restrições com equipes remotas e de obra, acompanhamento do progresso das atividades com imagens 360°, implementação de ações corretivas e integração de dados de vários sistemas para análise da equipe.
Implementar o monitoramento remoto de obras com imagens em 360°, designando um responsável pela captura e concedendo acesso às partes envolvidas.	- Designar um responsável pela captura das imagens 360°; - Implantar a tecnologia de monitoramento remoto de obras através das imagens 360°; - Orientar a equipe e fornecer acesso aos registros.
Implementar a ferramenta de gerenciamento de restrições, integrando o monitoramento remoto com imagens em 360°, estabelecendo responsabilidades e práticas para um desenvolvimento eficaz.	- Designar um responsável pela implantação, reservar um tempo semanal na rotina da obra para a identificação de restrições, utilizar a técnica de conscientização para identificar restrições futuras, envolver equipe interna e externa, registrar as restrições em uma lista compartilhável, estabelecer prazos em conjunto com a equipe e capturar imagens pelo menos uma vez por semana.
Promover um ambiente colaborativo entre equipes de engenharia e construção, destacando a transparência dos procedimentos com base nos princípios <i>Lean</i> .	- Criar um ambiente colaborativo; - Promover a transparência dos processos de obra.
Criar um ambiente de aprimoramento contínuo do sistema, adotando tecnologias emergentes e promovendo sua disseminação na indústria.	- Estabelecer <i>feedback</i> com a equipe, melhorar constantemente o sistema com novas tecnologias (BIM 3D, BIM 4D, nuvem de pontos, novos modelos de câmera, sistemas automatizados, inteligência artificial, etc.) e colaborar para democratizar o setor por meio do <i>benchmarking</i> .

Fonte: elaborado pelos autores (2023)

7 Conclusões

A pesquisa introduziu um sistema de monitoramento remoto de obras com imagens 360° e foco na remoção de restrições. O objetivo foi alcançado ao estabelecer diretrizes para sua implementação na engenharia civil, evidenciando melhorias na comunicação, gestão de projetos e planejamento.

Com base nos estudos de caso, verificou-se eficiência, no sistema, nos indicadores relacionados à diversidade de restrições, registradas nos estudos de caso com a utilização das câmeras. Além disso, constatou-se um aumento, no número total de restrições capturadas, exclusivamente, pelas câmeras 360°, dando validade ao trabalho, foram considerados também os indicadores que identificam os índices de remoção de restrições por dia, sendo um importante indicador para validar a eficiência do sistema.

Embora os estudos de caso 1 e 2 mostrem uma melhoria em relação às restrições removidas, quando comparados aos estudos de caso 3 e 4, é prematuro correlacionar a abordagem de monitoramento remoto por imagens 360° e as práticas do *Last Planner System* (LPS) no contexto da pesquisa, uma vez que nem todos os elementos do *Last Planner System* foram aplicados durante os estudos. São necessários estudos mais abrangentes para confirmar essa relação. No entanto, observa-se uma tendência positiva, sustentada pelo aumento das restrições identificadas exclusivamente pelo sistema e pela percepção de engajamento da equipe e maior transparência do sistema.

Para pesquisas futuras, recomendam-se estudos mais amplos para validar os resultados, envolvendo diferentes empresas e participantes. Sugere-se aprimorar o planejamento por meio de indicadores de desempenho, como o PPC (Percentual de Planejamento Concluído), a integração dos procedimentos administrativos, a implementação de ferramentas automatizadas, a elaboração do planejamento em BIM 4D, a exploração de tecnologias como inteligência artificial e práticas Lean na gestão remota de obras.

As limitações incluem a necessidade de testes em diferentes tipos de obras, como infraestrutura e obras pesadas, considerando limitações das câmeras utilizadas, e sugerem investigações sobre outras tecnologias, como drones, para um monitoramento mais eficaz. Concluem reforçando a importância de estudos para compreender os efeitos das câmeras no cotidiano das obras, destacando implicações positivas e questões de segurança e privacidade a serem abordadas.

8 Agradecimentos

Agradecemos à empresa Brasil ao Cubo S/A e ao IPT Instituto de Pesquisas do Estado de São Paulo pelo apoio dedicado a esta pesquisa. Sua contribuição foi fundamental para o desenvolvimento e sucesso.

9 Referências

ABBAS, R.; WESTLING, F.; SKINNER, C.; HANUS-SMITH, M.; HARRIS, A. KIRCHNER, N. BuiltView: integrating lidar and bim for real-time quality control of construction projects. In: 37th International Symposium on Automation and Robotics in Construction, 37., 2020, Kitakyushu. **Proceedings** [...]. Kitakyushu: International Association on Automation and Robotics in Construction, 2022. p. 233-239.

ABEID NETO, J. Monitoramento computadorizado de obras como ferramenta de controle no gerenciamento da construção. **Revista Mackenzie de Engenharia e Computação**, v. 3, n. 3, 2002. p. 87-101.

BALLARD, H.; G. TOMMELEIN, H.; KOSKELA, L.; HOWELL, G. Lean construction tools and techniques. In: BEST, R.; VALENCE, G. **Design and construction: building in value**. London: Routledge, 2002. p. 227-255.

BALLARD, H. G.. **The last planner system of production control**. 2000. 192 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia, Faculty of Engineering, University of Birmingham, Birmingham, 2000.

BALLARD, H. G.; HOWELL, G. A. An update on last planner. In: 11 th Annual Conference of the International Group for Lean Construction - Virginia, USA - 2003, 11., 2003. **Proceedings** [...]. Virginia: Igic, 2003. p. 1-13.

BOSTON DYNAMICS. [Fotografia Robô]. **BOSTON DYNAMICS**, [2022?]. Disponível em: <https://www.bostondynamics.com>. Acesso em: 10 dez. 2022.

CONSTRUCT IN. Construct In desenvolvimento e licenciamento de programas para computador Ltda. **CONSTRUCT IN**, 2019. Disponível em: <https://constructin.com.br/>. Acesso em: 10 dez. 2022.

CUPIX Build Smart. Smart Build Construção e Administração de Obras Ltda. Câmera 360°, **CUPIX**, 2022. Disponível em: <https://www.cupix.com/>. Acesso em: 10 dez. 2022.

ETGES, B. M. B. S.; RECK, R. H.; BOMBEIRO, M.; RODRIGUES, J. L. ISATTO, E. L. Using BIM with the Last Planner® System to Improve Constraints Analysis. In: 28th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC28), 28., 2020. **Proceedings** [...]. Berkeley: Iglc, 2020. p. 493-504.

GOLDRATT, E. M. **Critical Chain**: A business novel. Great Barrington MA: The North River Press, 1997.

GUPTA, S.; NAIR, S. Challenges in Capturing and Processing UAV based Photographic Data from Construction Sites. In: 37th International Symposium on Automation and Robotics in Construction, 37., 2020. **Proceedings** [...]. Kitakyushu: International Association on Automation and Robotics in Construction, 2020. p. 911-918.

KIM, D.; LIU, M.; LEE, S. H.; KAMAT, V. R. Remote proximity monitoring between mobile construction resources using camera-mounted UAVs. **Automation in Construction**. Amsterdam, v. 99, 2019. p. 168-182.

KIM, H.; PARK, Sehwan; YEOM, M.; HAKBO, S.; PARK, Soonjeon; KIM, J. Bluetooth Load-Cell-Based Support-Monitoring System for Safety Management at a Construction Site. **Sensors**. Basel, v. 22, n. 10, 2022. p. 3955-1-29

KIMURA, S. **Robots take on key roles at this Yokohama construction site**. 2022. Elaborado por. Disponível em: <https://www.asahi.com/ajw/articles/photo/35451470>. Acesso em: 04 dez. 2022.

KOSKELA, L. **An exploration towards a production theory and its application to construction**. 2000. Dissertation for the degree of Doctor of Technology. VTT Technical Research Centre of Finland, 2000.

KOSKELA, L. Management of production in construction: a theoretical view. In: 7th Annual Conference of the International Group for Lean Construction N, 7., 1999. **Proceedings** [...]. Berkeley: Iglc, 1999. p. 241-252.

LIN, P.; LI, Q.; FAN, Q.; GAO, X. Real-time monitoring system for workers' behaviour analysis on a large-dam construction site. **International Journal of Distributed Sensor Networks**. London, v. 9, n. 10, 2013. p. 509423-1-11.

LINDHARD, S.; WANDAHL, S. Improving the making ready process - exploring the preconditions to work tasks in construction. In: 20 th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, 20., 2012. **Proceedings** [...]. San Diego: Iglc, 2012. p. 1-10. Disponível em: <https://iglcstorage.blob.core.windows.net/papers/attachment-16f18285-0c8c-45d0-b0a1-73e63b5bf3a1.pdf>. Acesso em: 13 nov. 2022.

MCHUGH, K.; KOSKELA, L.; TEZEL, A. Reality Capture Connecting Project Stakeholders. In: 29 th Annual Conference of the International. Group for Lean Construction IGLC **Proceedings** [...]. Lima, Peru: Iglc, 2021. p. 737-746.

OLIVIERI, H. PGP-017 - **Planejamento e controle da produção de obras de construção civil: Ips** - planejamento de médio prazo. São Paulo: Ipt Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 2021. 15 slides, color.

PONS ACHELL, J.; RUBIO PÉREZ, I. **Lean Construction y la planificación colaborativa**. Metodología del Last Planner® System. Consejo General de la Arquitectura Técnica de España, Madrid, 2019.

RAO, A.; RADANOVIC, M.; LIU, Y.; HUC, S.; FANG, Y.; KHOSHELHAM, K.; PALANISWAMI, M.; NGO, T. S.; Real-time monitoring of construction sites: Sensors, methods, and applications. **Automation in Construction**. Amsterdam, v. 136, p. 104099, 2022.

RIBEIRO, F. S.; COSTA, D. B. Implementation and evaluation with focus on the phase schedule. In: 26th annual Conference of the international Group for Lean Construction (IGLC), 26., 2018. **Proceedings** [...]. Chennai: Iglc, 2018. p. 702-712.

ROSIN, F.; FORGET, P.; LAMOURI, S.; PELLERIN, S. Impacts of Industry 4.0 technologies on Lean principles. **International Journal of Production Research**, London. 58, 2019. p. 1-18.

SHAHIN, M.; CHEN, F. F.; BOUZARY, H.; KRISHNAIYER, H. Integration of Lean practices and Industry 4.0 technologies: smart manufacturing for next-generation. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, German, 28 mar. 2020. p. 2927-2936.

SHARMA, A.; TRIVEDI, J. Application of information Theory in Last Planner® System for work plan reliability. In: 29th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC29), 29., 2021. **Proceedings** [...]. Lima: Iglc, 2021. p. 727-735.

SHEWHART, W. A.; DEMING, W.E. **Statistical method from the viewpoint of quality control**. Courier Corporation, 1986.

TRIMBLE. Trimble XR10 com HoloLens 2. **Trimble Construction Field Technology**, 2022. Disponível em: <https://fieldtech.trimble.com/en/products/mixed-reality/trimble-xr10-with-hololens-2>. Acesso em: 04 dez. 2022.

TUGAY, O. A.; ZELTSER, R.; KOLOT, M.; PANASIUK, I. Organization of Supervision over Construction Works Using Uavs and Special Software. **Science and Innovation**, Kanimekh District. v. 15, n. 4, p. 23-32, 2019.

YOU, Z.; FENG, L. Integration of Industry 4.0 Related Technologies in Construction Industry: a framework of cyber-physical system. **Ieee Access**, [S.l.], v. 8, p. 122908-122922, 2020. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1109/access.2020.3007206>. Acesso em: 07 jan. 2023.

ZINGONI, A.; DIANI, M.; CORSINI, G.; MASINI, A. Real-time 3D reconstruction from images taken from an UAV. In: International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, ISPRS Geospatial Week 2015. International Society for Photogrammetry and Remote Sensing, La Grande Motte. **Proceedings** [...]. Göttingen, 2015. p. 313-319.

10.29327/2202814.7.25-4



Artigo Técnico

Utilização de *checklist* estruturado para seleção de sistemas construtivos industrializados em empreendimentos logísticos.

Using structured checklist for the selection of industrialized construction systems in logistics projects.

Gabriella Rodrigues Santana^{a*}, Sandra Haruna Hashizume^b, Hylton Olivieri^c

^a Mestrado em Habitação, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A., São Paulo-SP, Brasil.

^b Docente do Mestrado Profissional em Habitação: Planejamento e gestão de projetos, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo SA., São Paulo-SP, Brasil.

^c Docente do Mestrado Profissional em Habitação: Planejamento e gestão de projetos, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo SA., São Paulo-SP, Brasil

*e-mail: gabriellarsantana@hotmail.com

Palavras-chave: sistema construtivo; seleção tecnológica; planejamento; *checklist*.

Keywords: construction system; technological selection; planning; checklist.

Resumo

Na busca pela evolução da construção civil brasileira rumo a um cenário competitivo, a comunidade técnica e científica vem se deparando com a necessidade de obras que utilizem recursos de forma eficiente e que atendam as normas técnicas. Neste aspecto, os sistemas industrializados ganham destaque. O objetivo deste trabalho é identificar os requisitos que influenciam o processo de escolha de um sistema construtivo e propor um *checklist*, que auxilie o responsável por essa definição a escolher qual solução técnica se adequa ao seu cenário. Para a verificação dos requisitos, foram realizadas entrevistas com profissionais atuantes no mercado da construção civil, especializados em construções que utilizam sistemas industrializados. O *checklist* foi aplicado a um estudo de caso de um centro logístico de galpões industriais, executado em sistema pré-moldado de concreto. Os resultados obtidos demonstram que o *checklist*, além de ter preenchimento rápido, permite a identificação das interferências e impactos que o sistema construtivo escolhido possa ter no empreendimento em análise, auxiliando o responsável técnico a selecionar a melhor solução para o projeto ainda na etapa de concepção.

Abstract

In the search for the evolution of Brazilian civil construction towards a competitive scenario, the technical and scientific community has been faced with the need for works that use resources efficiently and that meet technical standards. In this respect, industrialized systems gain prominence. The objective of this work is to identify the requirements that influence the process of choosing a constructive system and to propose a checklist, which helps the person responsible for this definition to choose which technical solution fits their scenario. To verify the requirements, interviews were conducted with professionals working in the civil construction market, specialized in constructions that use the industrialized systems. The checklist was applied to a case study of a logistics center of industrial warehouses, executed with precast concrete. The results show that the checklist, in addition to being quick to complete, allows the identification of interferences and impacts that the chosen construction system may have on the project under analysis, helping the technical manager to select the best solution for the project still in the conception stage.

1 Introdução

A construção civil necessita da implementação de novas tecnologias que sejam capazes de suprir as atuais deficiências em relação aos aspectos de produtividade e mão de obra (HANDA; FONTANINI, 2019). No Brasil, de forma geral, ainda predominam os processos artesanais, com excesso de atividades manuais (VIVAN, 2016), que impactam fatores como produtividade e prazos do produto acabado. Por outro lado, nos últimos anos diversas iniciativas vêm sendo implementadas por construtores e incorporadores com o intuito de mudar este cenário.

Neste sentido, uma das soluções adotadas é a industrialização dos processos, com aumento na capacidade produtiva e deslocamento de boa parte dos processos artesanais para a fábrica (LINNER; BOCK, 2012). Esse processo de industrialização pode ser encontrado em sistemas estruturais, como por exemplo o pré-moldado de concreto e o steel frame, que adotam, em sua concepção, materiais pré-fabricados, métodos ágeis de montagem com modulações ou painéis, além da baixa geração de resíduos de obras (KOSINSKI; CAMARGO; CAPRARO, 2016). Exemplo de aplicação destes sistemas são apresentados na **FIGURA 1**.

Figura 1 – Sistemas Construtivos industrializados



Fonte: elaborado pelos autores (2023).

Dentre as principais características dos sistemas industrializados, pode-se destacar a redução dos prazos de construções (KOSINSKI; CAMARGO; CAPRARO, 2016), diminuição da quantidade de mão de obra alocada no canteiro de obras (OLIVIERI *et al.*, 2017), aumento dos aspectos de qualidade do produto, maior eficiência na utilização de recursos (OLIVIERI *et al.*, 2017), necessidade de equipamentos com maior capacidade de carga nos canteiros, potencial aumento nos custos (BERNARDES *et al.*, 2012)

e necessidade de definições antecipadas na fase de concepção dos projetos, que devem ser gerados incorporando a utilização destes sistemas.

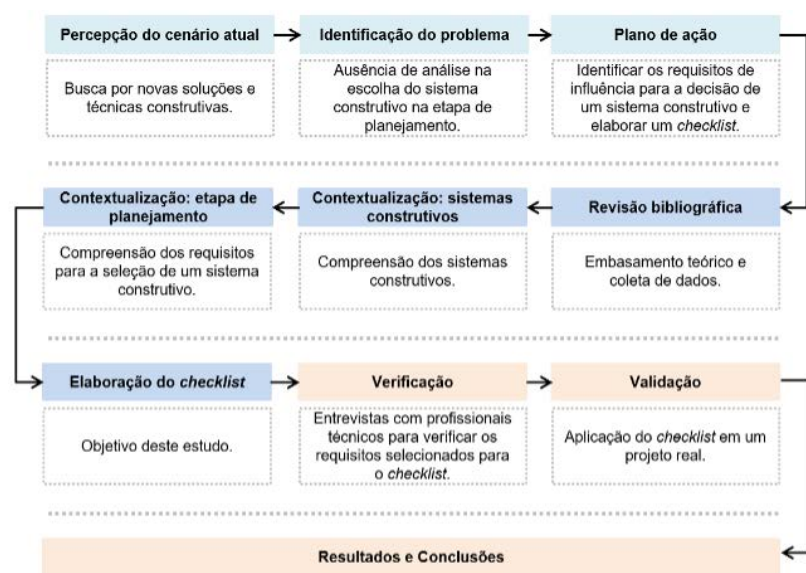
Entretanto, a utilização de sistemas construtivos industrializados ainda encontra barreiras por parte de usuários e construtores, causadas dentre outras pela falta de preparo e de conhecimento técnico de parte dos profissionais atuantes no mercado da construção civil (HANDA; FONTANINI, 2019). Como exemplo, uma barreira comum é a falta de critérios, parâmetros e ferramentas que possam auxiliar os profissionais do setor no processo de decisão em relação à qual sistema utilizar.

O objetivo deste trabalho é identificar os fatores que influenciam o processo de seleção tecnológica de um sistema construtivo para o desenvolvimento de um empreendimento logístico e propor um *checklist* que auxilie os responsáveis por essa decisão, durante a etapa de concepção.

2 Procedimento metodológico

O estudo consiste em um método de pesquisa qualitativa, com embasamento em estudos e artigos técnicos a respeito da temática desta pesquisa, além da aplicação de entrevistas e de um estudo de caso. O estudo foi dividido em 10 etapas, conforme ilustrado na FIGURA 2.

Figura 2 – Método de pesquisa.



Fonte: elaborado pelos autores (2023).

Diversos trabalhos abordam roteiros para implementação de novas tecnologias no mercado de construção civil (BARBOSA, 2023; SOUZA, 2003). Entretanto, um dos principais problemas identificados é a falta de critérios e requisitos estabelecidos que sirvam de suporte para o processo de decisão em relação ao sistema construtivo industrializado a ser utilizado em determinado empreendimento. Em busca de compreender o processo que precede a escolha de um sistema construtivo, o plano de ação foi identificar estes requisitos e elaborar um documento, denominado *checklist*, para auxiliar o profissional durante o processo de decisão.

Com a revisão bibliográfica, foi possível identificar os requisitos que influenciam na tomada de decisão por um sistema construtivo durante a etapa de concepção e com esses dados elaborou-se um *checklist* para auxiliar o profissional responsável por essa definição.

Para a verificação dos requisitos, foram realizadas entrevistas com profissionais especializados em sistemas construtivos industrializados. Para a validação, optou-se pela escolha do Light Steel Frame (LSF), por ser um sistema consolidado e utilizado em canteiros de obras de forma recorrente. Em relação às entrevistas, foi elaborado um roteiro fundamentado pela revisão bibliográfica, com 19 questões dissertativas que tinham por objetivo identificar se os requisitos aplicados ao *checklist* são, de fato, necessários. Dessa forma, as entrevistas endossam, ou não, o que a teoria já havia apresentado.

Nota: as entrevistas foram realizadas entre maio/2021 à dezembro/2021, período em que a norma ABNT NBR 16970 estava em desenvolvimento, com publicação oficial em maio/2022.

Para a escolha dos entrevistados, adotou-se a premissa que deveriam ter capacidade para debater tecnicamente os questionamentos, estar ativos no mercado da construção civil e trabalhar diretamente com o sistema LSF por no mínimo 10 anos.

Por fim, o *checklist* foi aplicado a um estudo de caso, um projeto em execução pela construtora onde um dos autores trabalha, com acesso a todos os dados pertinentes ao preenchimento do *checklist*. O objetivo foi validar sua utilização, e verificar a necessidade de algum ajuste para refinar e manter cada vez mais assertiva a análise para auxiliar o responsável técnico a tomar a decisão quanto ao uso de um sistema construtivo industrializado em um projeto novo.

3 Requisitos influenciadores para análise e escolha de um sistema construtivo

Por meio da etapa de revisão bibliográfica, foram identificados inicialmente onze requisitos, a serem analisados durante o processo de definição de um sistema construtivo industrializado, sendo:

- i. **Localização do projeto** (ARAUJO; JUNIOR, 2017): identificação dentro das cinco regiões do território nacional (norte, nordeste, centro-oeste, sudeste e sul), especificação da zona (rural, urbana e litorânea) e especificação da cidade.
- ii. **Terreno** (VIVAN, 2011): configuração do terreno (plano, aclive e declive) e tipo de solo (mole e duro).
- iii. **Clima regional** (CORTEZ *et al.*, 2017): classificação da agressividade ambiental (fraca, moderada, forte, muito forte) e a tendência do clima (quente, frio, chuvoso, úmido e seco).
- iv. **Tipologia** (CBCA, 2021): definição do principal uso da edificação: residencial, comercial e industrial.
- v. **Pavimentos** (SINAT, 2016): número total de pavimentos desde a fundação até os pavimentos técnicos.
- vi. **Impacto ambiental** (OLIVIERI *et al.*, 2017): volume de resíduos e recursos utilizados;
- vii. **Prazo** (ABDI, 2015): número total de meses necessário para a execução do projeto.
- viii. **Custo global** (SOUZA, 2014): valor estimado para a execução da obra.
- ix. **Material** (HANDA; FONTANINI, 2019): identificar se a localização dos fornecedores do sistema escolhido atende a região do projeto e conseqüentemente em caso de maiores deslocamentos, identificar a facilidade quanto a logística do transporte dos elementos.

- x. **Mão de obra** (INACIO; KAWAMOTO; GOMIDES, 2015): identificar a disponibilidade de equipe local e em caso negativo, avaliar a logística quanto ao deslocamento de equipes externas. Além das considerações citadas, verificar a existência de treinamentos para capacitação dos profissionais.
- xi. **Norma** (CALDAS; RODRIGUES, 2016): identificação de norma específica nacional e/ou diretrizes.

Após a identificação dos onze requisitos, foi realizada a etapa de entrevistas, onde foi constatada a necessidade de se acrescentar mais cinco requisitos, sendo: i) padrão de acabamento especificado pelo cliente; ii) especificações de projetos quanto a flexibilidade, cargas e vãos; iii) capital disponível para desembolso inicial; iv) necessidade de atender os requisitos das instituições financeiras para acionar financiamentos e v) manutenção e suas garantias pós-obra. O resumo dos dados obtidos nas entrevistas, estruturado em dezesseis requisitos, é apresentado na **FIGURA 3**.

Figura 3 – Resumo das entrevistas.

		PROFISSIONAL				
		A	B	C	D	E
Formação		Engenheiro civil	Engenheiro civil + químico	Engenheiro civil	Técnico elétrica e mecânica	Arquiteto e técnico em edificações
Tempo experiência profissional		Mais de 40 anos	31 anos	35 anos	Aproximadamente 10 anos	27 anos
Ramo da atual empresa		Consultoria e pericia	Fábrica - Tintas e revestimentos	Instituições de ensino	Fornecedor e fabricante	Construtora
Cargo		Consultora e perita	Fundador	Gerente de projetos e planejamento	Sócio	Fundador
1. Localização do projeto	-	Impacta	Não Impacta	Impacta	Não impacta	Não impacta
2. Terreno	-	Impacta	Não citado	Não citado	Impacta	Impacta
3. Clima Regional	-	Impacta	Impacta	Não citado	Não citado	Impacta
4. Tipologia	Residencial	Sem restrição	Alto padrão	Sem restrição	Acima de 400m ²	Sem restrição
	Comercial	Sem restrição	Sem restrição	Sem restrição	Sem restrição	Sem restrição
5. Pavimentos	-	Impacta	Impacta	Impacta	Impacta	Não impacta
6. Impacto Ambiental	Consumo de água	Baixo	Não citado	Não citado	Baixo	Baixo
	Resíduos	Baixo	Não citado	Não citado	Baixo	Baixo
7. Prazo	-	Curto	Curto	Curto	Curto	Curto
8. Custo global	-	Alto	Médio	Alto	Alto	Alto
9. Material	Logística / Transporte	Difícil	Fácil	Fácil	Fácil	Fácil
	Fornecedor	Longe	Todas regiões	Fácil	Difícil	Fácil
10. Mão-de-obra	Disponibilidade	Fácil	Difícil	Difícil	Difícil	Difícil
	Capacitação / Treinamentos	Difícil de encontrar	Difícil de encontrar	Difícil de encontrar	Fornecedores / fabricantes	Fornecedores / fabricantes
11. Norma	Relevância	Média	Alta	Alta	Baixa	Média
	Alternativa	Norma estrangeira	Manual fabricantes / fornecedores	DATec	Manual fabricantes / fornecedores	Manual fabricantes / fornecedores
12. Padrão Cliente	-	Impacta	Impacta	Impacta	Impacta	Impacta
13. Projeto	-	Sem restrição	Não citado	Sem restrição	Sem restrição	Sem restrição
14. Desembolso	-	Alto	Não citado	Alto	Não citado	Alto
15. Financiamento	-	Difícil	Não citado	Difícil	Não citado	Difícil
16. Manutenção	Grau de dificuldade	Baixo	Baixo	Não citado	Não citado	Baixo

Fonte: elaborado pelos autores (2024).

Em relação ao padrão, para efeitos deste trabalho, adotamos a nomenclatura utilizada pelo Núcleo de *Real Estate* da Poli (NRE-POLI, 2023), que classifica os empreendimentos logísticos em quatro categorias, considerando o ponto de vista dos usuários e de acordo com os principais atributos prediais: AAA, A, B e C, sendo que AAA é o topo da escala, com empreendimentos de mais alta qualidade e o C de qualidade construtiva mínima e muito vulneráveis.

4 Elaboração do Checklist

Com base nos dezesseis requisitos identificados, foi elaborado um *checklist*, conforme FIGURA 4, para ser preenchido e analisado ainda na etapa de concepção de um projeto durante a seleção de um sistema construtivo.

Figura 4 – Checklist – Base.

CHECKLIST							
Sistema construtivo a ser avaliado							
Requisitos	Impacto do Requisito	Impacto do Requisito			Características	Auxiliar - Características	Verificação Sistema Construtivo
		Baixo	Médio	Alto			
PROJETO	1. Localização do projeto	1.1 Região				Norte, Nordeste, Centro-oeste, Sudeste e Sul	
		1.2 Zona				Rural, Urbana e Litorânea	
		1.3 Cidade				Nome da cidade	
	2. Terreno	2.1 Configuração do terreno				Plano / Aclive / Declive	
		2.2 Tipo de solo				Mole / Duro	
	3. Clima regional	3.1 Agressividade ambiental				Fraca, Moderada, Forte e Muito Forte	
		3.2 Clima				Quente / Frio / Chuvoso / Úmido / Seco	
	4. Padrão	4.1 Categoria				AAA / A / B / C	
	5. Tipologia	5.1 Uso destinado ao empreendimento				Residencial / Comercial / Industrial	
	6. Projeto	6.1 Especificações				Vãos livres grandes / Aberturas grandes / Alta sobrecarga	
		6.2 Flexibilidade				Design diferenciado / Possibilidade de modificações	
	7. Pavimentos	7.1 Número de pavimentos				Total de pavimentos	
8. Impacto ambiental	8.1 Expectativa de geração de resíduos em obra				Alto / Baixo		
	8.2 Impacto físico				Alto / Médio / Baixo		
9. Prazo	9.1 Prazo de execução de obra				Total de meses		
10. Custo global	10.1 Estimativa de custo				Valor estimado para a obra		
11. Desembolso	11.1 Fluxo de caixa				Pico no início / Contínuo / Pico no fim		
12. Financiamento	12.1 Necessidade de financiamento				Sim / Não		
SIST. CONSTRUTIVO	13. Material	13.1 Disponibilidade				Localização dos fornecedores	
		13.2 Logística				Facilidade em transporte	
	14. Mão de obra	14.1 Disponibilidade				Equipe local	
		14.2 Logística				Deslocamento de equipe	
		14.3 Capacitação / Treinamentos				Existência de treinamentos	
	15. Norma	15.1 Existência de norma específica nacional				-	
15.2 Existência de diretrizes					-		
16. Manutenção	16.1 Manutenção - garantia				-		

Fonte: elaborado pelos autores (2024).

O *checklist* é composto por quatro colunas principais: “Impacto do requisito”, “Características”, “Auxiliar - Características” e “Verificação - Sistema construtivo”, porém apenas a “Auxiliar - Características” não será preenchida durante o processo, pois ela é parte da base do documento.

No *checklist*, a coluna “Impacto do requisito” e “Características” é única para cada empreendimento, já a coluna “Verificação - Sistema construtivo” varia conforme o sistema em estudo para o projeto apresentado. Logo, para um mesmo projeto, o responsável técnico terá um *checklist* em cada opção de sistema escolhido, para compará-los e posteriormente tomar a decisão adequada ao cenário exposto.

Primeiramente, será preenchida a coluna com a definição (baixo, médio e alto) do impacto de cada requisito conforme a opinião e experiência do profissional ou do grupo responsável pelo planejamento de um projeto.

Em seguida, será preenchida a coluna “características”, que representa os dados do cenário escolhido durante a etapa de concepção. Com o objetivo de limitar as possibilidades e auxiliar na análise, a coluna denominada “Auxiliar - Características”, é a base para que o profissional preencha as características do projeto dentro de um universo de respostas específicas e suficientes para a análise adequada de cada produto.

Por fim, é preenchida a coluna da verificação do sistema construtivo em relação a cada requisito. Essa verificação será preenchida com apenas duas opções, “atende” e “não atende” que significam respectivamente, quando o sistema escolhido atende as características do projeto preenchidas anteriormente e quando não atende.

Os requisitos são avaliados de forma individual, como se cada um fosse o principal catalisador da decisão para a escolha do sistema estrutural na etapa de concepção.

5. Validação – Estudo de caso

A validação do *checklist* ocorreu por meio de sua aplicação em um estudo de caso, conforme ilustrado na **FIGURA 5**. O projeto escolhido trata-se de um complexo logístico com dois galpões industriais (composto por 37 módulos) e um prédio administrativo comum a todos.

Figura 5 – Ilustração do estudo de caso – Complexo logístico.



Fonte: autores (2023).

Para compreensão do cenário e do tipo de empreendimento analisado, seguem os dados:

- Terreno = 110.095m²;
- Área construída = 64.861m²;
- 37 módulos com tamanhos entre 1.141m² até 2.831m² por módulo;
- Cada módulo contém dois pavimentos, térreo e mezanino.
- Docas para carga e descarga de carretas e caminhões;
- Pé direito: 12m;
- Piso de alta resistência: 6 ton;
- 2 Portarias;
- Prédio administrativo: restaurante, auditório, áreas de convivência, ambulatório, escritório;
- Estacionamento: 126 vagas para carretas e caminhões (carga e descarga), 532 vagas de veículos regulares, 360 para bicicletas, 110 de motos, 29 vagas de idosos e 12 para PNE.

Para este projeto o sistema construtivo industrializado avaliado é o pré-moldado de concreto, presente na estrutura e no fechamento da edificação, que já foi utilizado pela construtora em outros empreendimentos com resultados positivos, sendo tecnicamente conhecido pelos envolvidos.

Para o preenchimento do *checklist*, as construções dos anexos não foram analisadas, pois não interferem no funcionamento dos galpões visto que a entrega do empreendimento é parcial, portanto, o foco está na execução dos módulos que serão para fins de locação.

O *checklist* foi apresentado ao arquiteto responsável pelo projeto desse empreendimento e seu preenchimento, conforme **FIGURA 6**, foi acompanhado pela autora para observar quais seriam as possíveis dificuldades durante este processo. Os resultados foram analisados e discutidos por ambos.

Figura 5 - Ilustração do estudo de caso - Complexo logístico.

CHECKLIST								
Sistema construtivo a ser avaliado		Pré-moldado de concreto						
Requisitos	Impacto do Requisito	Impacto do Requisito			Características	Auxiliar - Características	Verificação Sistema Construtivo	
		Baixo	Médio	Alto				
PROJETO	1. Localização do projeto	1.1 Região				Sudeste	Norte, Nordeste, Centro-oeste, Sudeste e Sul	Atende
		1.2 Zona				Urbana	Rural, Urbana e Litorânea	Atende
		1.3 Cidade				Santo André	Nome da cidade	Atende
	2. Terreno	2.1 Configuração do terreno				Active	Plano / Active / Declive	Atende
		2.2 Tipo de solo				Duro	Mole / Duro	Atende
	3. Clima regional	3.1 Agressividade ambiental				Moderada	Fraca, Moderada, Forte e Muito Forte	Atende
		3.2 Clima				Quente / Úmido	Quente / Frio / Chuvoso / Úmido / Seco	Atende
	4. Padrão	4.1 Categoria				AAA	AAA / A / B / C	Atende
	5. Tipologia	5.1 Uso destinado ao empreendimento				Industrial	Residencial / Comercial / Industrial	Atende
	6. Projeto	6.1 Especificações				Vãos livres grandes / Alta sobrecarga	Vãos livres grandes / Aberturas grandes / Alta sobrecarga	Atende
		6.2 Flexibilidade				Possibilidade de modificações	Design diferenciado / Possibilidade de modificações	Não atende
	7. Pavimentos	7.1 Número de pavimentos				2	Total de pavimentos	Atende
8. Impacto ambiental	8.1 Expectativa de geração de resíduos em obra				Baixo	Alto / Baixo	Atende	
	8.2 Impacto físico				Alto	Alto / Médio / Baixo	Atende	
9. Prazo	9.1 Prazo de execução de obra				25	Total de meses	Atende	
10. Custo global	10.1 Estimativa de custo				R\$ 200.000.000,00	Valor estimado para a obra	Atende	
11. Desembolso	11.1 Fluxo de caixa				Contínuo	Pico no início / Contínuo / Pico no fim	Não atende	
12. Financiamento	12.1 Necessidade de financiamento				Não	Sim / Não	Atende	
SIST. CONSTRUTIVO	13. Material	13.1 Disponibilidade				-	Localização dos fornecedores	Atende
		13.2 Logística				-	Facilidade em transporte	Atende
	14. Mão de obra	14.1 Disponibilidade				-	Equipe local	Atende
		14.2 Logística				-	Deslocamento de equipe	Atende
		14.3 Capacitação / Treinamentos				-	Existência de treinamentos	Atende
	15. Norma	15.1 Existência de norma específica nacional				-	-	Atende
		15.2 Existência de diretrizes				-	-	Atende
	16. Manutenção	16.1 Manutenção - garantia				-	-	Atende

*Atende a ABNT NBR 15 575.

Fonte: elaborado pelos autores (2024).

Com todo o *checklist* preenchido, foi feita a análise final para concluir se o pré-moldado seria uma das soluções viáveis para as expectativas do projeto.

Para este estudo de caso, os requisitos “flexibilidade” e “desembolso” não atenderam a verificação e ambos foram classificados como médio impacto pelo arquiteto responsável pelo projeto. Mesmo com a complexidade na execução, a flexibilidade ainda é uma possibilidade desde que dentro de uma modulação estrutural que para esta tipologia de obra é relativamente grande. Quanto ao desembolso, se identificado ainda nesta etapa de concepção, permite programação reduzindo a tendência a eventuais surpresas.

Segue considerações do arquiteto quanto aos requisitos que não atenderam:

Requisito: Projeto – Flexibilidade. Consideração: *“Para este tipo de projeto é interessante a possibilidade de modificações, porém o pré-moldado não permite essas alterações depois de executado. Em contrapartida, é possível realizar estruturas com grandes vãos e conseqüentemente o interior fica livre para ser realizado com outros materiais que permitam essa flexibilidade”.*

Requisito: Desembolso – Fluxo de caixa. Consideração: *“Com a utilização do pré-moldado de concreto, a empresa fornecedora deste sistema necessita de uma verba inicial para seguir com a produção dos elementos em fábrica, portanto o fluxo de caixa tende a ter um pico de desembolso logo no início da execução”.*

Para este empreendimento, concluiu-se que o pré-moldado é uma escolha viável e para chegar a esta definição, os requisitos de alto impacto como: pavimentos, prazo, material e mão de obra foram atendidos sem ressalvas.

No período de estudo, o principal requisito para a definição do sistema construtivo, de acordo com o arquiteto que estava presente, foi a velocidade de construção que o pré-moldado permite. Este empreendimento é para fins de locação dos galpões, portanto, para a construtora, quanto antes realizar a entrega para os locatários, mais rápido o retorno financeiro do investimento despendido para esta construção.

Em relação ao *checklist*, o arquiteto ressaltou a facilidade e velocidade para o preenchimento completo e também citou os requisitos “configuração do terreno” e “fluxo de caixa” que não foram lembrados no período do estudo deste empreendimento, porém, posteriormente tiveram impacto considerável na execução do projeto e provavelmente, estes impactos seriam reduzidos se discutidos na fase de concepção.

6 Conclusões

Os principais requisitos para o processo de escolha de um sistema construtivo em empreendimentos logísticos foram identificados e apresentados no modelo proposto denominado como *checklist*.

Ao todo foram identificados dezesseis requisitos relevantes ao processo de seleção tecnológica de um sistema construtivo, sendo: i) localização do projeto, ii) terreno, iii) clima regional, iv) padrão, v) tipologia, vi) projeto, vii) pavimentos, viii) impacto ambiental, ix) prazo, x) custo global, xi) desembolso, xii) financiamento, xiii) material, xiv) mão de obra, xv) norma e xvi) manutenção.

Os responsáveis pela tomada de decisão pelo emprego de um sistema construtivo em qualquer tipologia de edificação, são os profissionais que vão utilizar esse *checklist* para a avaliação das características, técnicas ou econômicas.

O profissional técnico precisa enxergar o peso dos requisitos ao se analisar um sistema construtivo e ter a percepção que a etapa de concepção deve ir além do custo e do prazo de execução, portanto, a elaboração do *checklist* é responsável por auxiliar a visualização dos requisitos básicos e necessários durante este processo de seleção.

O *checklist* é uma ferramenta que permite aos técnicos a tentar adotar outras soluções técnicas, como os sistemas industrializados, ou pelo menos a questionar seu uso em um determinado projeto e por isso seu preenchimento é rápido e pode ser feito várias vezes dentro de um cenário, com apenas alteração no sistema construtivo avaliado.

O *checklist* não fornecerá uma resposta única e exata, cabendo aos envolvidos neste processo, analisar criteriosamente todos os requisitos apresentados e identificar dentre as opções de sistemas construtivos escolhidos, qual se enquadra melhor para o projeto em estudo.

Com o objetivo de refinar o *checklist* proposto por este estudo, propõe-se como pesquisas futuras aplicar o *checklist* em cenários distintos com a utilização de outros sistemas construtivos industrializados, para identificar a influência do impacto do requisito neste processo e buscar por outros requisitos que possam avaliar mais pontos críticos e até possíveis inviabilizações do projeto em análise. Indica-se também, analisar requisitos como: desempenho estrutural, desempenho ao fogo e durabilidade.

7 Referências

ABDI, AGENCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL. **Manual da Construção Industrializada**. Vol1, 208 p. Brasília: ABDI, 2015.

ARAUJO, L. L. F.; JUNIOR, C. L. N. Análise da viabilidade econômica de um edifício residencial multifamiliar em João Pessoa-PB. In: ENEGEP – ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO XXXVII, 2017, Joinville – SC. **Anais [...]**. São José dos Campos: ABEPRO, out. 2017.

BARBOSA, I. C. A. **Método para implantação de novas tecnologias e de sistemas construtivos inovadores em empresas construtoras**. 2023. 221f. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2023.

BERNARDES, M. *et al.*, A. Comparativo econômico da aplicação do sistema Light Steel Framing em habitação de interesse social. v. 1, n. 1, pp. 31-40, jan./jun. 2012. **Revista de Arquitetura da IMED**. 2012.

CALDAS, R.B; RODRIGUES, F. C. **Steel Framing**: Engenharia. Série Manual de Construção em aço. 2 ed., 226 p. Rio de Janeiro: IBS/CBCA, 2016.

CBCA, CENTRO BRASILEIRO DE CONSTRUÇÃO EM AÇO (Brasil) (org.). **Cenário dos fabricantes de perfis galvanizados para Light Steel Frame e Drywall 2021**. 8. ed. [S.l]: E8I, 2021. 31 p.

CORTEZ, L. A. R. *et al.* Uso das estruturas de aço no Brasil. **Cadernos de graduação**, Alagoas, v.4, n.2, p. 217-228, nov. 2017.

HANDA, D. K. C.; FONTANINI, P. S. P. Barreiras de implementação do sistema Light Steel Framing no Brasil. In: WORKSHOP DE TECNOLOGIA DE PROCESSOS E SISTEMAS CONSTRUTIVOS, 2., 2019, São Paulo. **Anais [...]**. São Paulo: TECSIC, ago. 2019. 6 p.

INACIO, D. S. A.; KAWAMOTO, M. S.; GOMIDES, M. J. Análise do Sistema Construtivo Empregado em um Edifício na Cidade de Formosa - Goiás. Ano 2015. Artigo. **Revista CTS IFG Luziânia**. Goiás, Vol 1, n1, 2015.

KOSINSKI, E.; CAMARGO, L.; CAPRARO, A. P. B. Análise orçamentária comparativa entre dois métodos construtivos: Light Steel Frame e Alvenaria Convencional com estrutura em concreto armado. Ano 2016. Artigo. **Revista Eletrônica Multidisciplinar** – FACEAR, 2016.

LINNER, T.; BOCK, T. **Evolution of large-scale industrialization and service innovation in japanese prefabrication industry**. Construction Innovation, v. 12, p. 156-178, 2012.

NRE-POLI, 2023. **O sistema de classificação da qualidade**. Disponível em: https://www.realestate.br/site/conteudo/pagina/1,138+O_SISTEMA_DE_CLASSIFICACAO_DA_QUALIDADE.html. Acesso em: 15 nov, 2023.

OLIVIERI, H.; BARBOSA, I. C. A.; ROCHA, A. C.; GRANJA, A. D.; FONTANINI, P. S. P. A utilização de novos sistemas construtivos para a redução no uso de insumos nos canteiros de obras: Light Steel Framing. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 17, n. 4, p. 45-60, out./dez. 2017.

SINAT, SISTEMA NACIONAL DE AVALIAÇÕES TÉCNICAS. **DIRETRIZ SINAT 003 – Revisão 02: Sistemas construtivos estruturados em perfis leves de aço zincado conformados a frio, com fechamentos em chapas delgadas (Sistemas leves tipo “Light Steel Framing”)**. Brasília, 2016. 71 p.

SOUZA, E. L. **Construção Civil e Tecnologia: Estudo do Sistema Construtivo Light Steel Framing**. 2014. 137f. Monografia (Pós-Graduação em Construção Civil). Escola de Engenharia. Departamento de Engenharia de Materiais e Construção. UFMG – Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte: UFMG, 2014.

SOUZA, J. C. S. **Metodologia de avaliação de inovações tecnológicas na construção de edifícios: aplicação para as vedações verticais de gesso acartonado**. 2003. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

VIVAN, A. L. **Projetos para produção de residências unifamiliares em Light Steel Framing**. 209 f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil). UFSCAR – Universidade Federal de São Carlos. São Carlos: UFSCAR, 2011.

VIVAN, A. L. **Linha de montagem para a produção de habitações em Light Steel Frame: Projeto e Otimização**. 2016. 295 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2016.

10.29327/2202814.7.25-1



Para obter mais informações
sobre os mestrados profissionais

Entre em contato com Adilson ou Mary pelo e-mail
mestrado@ipt.br
ou ligue para (11) 3767.4673

Sobre os cursos de especialização,
curta duração e educação corporativa


Entre em contato com Andrea pelo e-mail
cursos@ipt.br
ou ligue para (11) 3767-4226

Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo
Av. Prof. Almeida Prado, 532
Cidade Universitária - São Paulo - SP
CEP 05508-901 - Brasil

Central de Relacionamento com o Cliente
(11) 3767-4102 / 4456 / 4091

Ensino Tecnológico
(11) 3767-4673 | mestrado@ipt.br

 <https://www.instagram.com/iptensinotecnologico/>

 <https://bit.ly/FacebookEnsinoTecnologicoIPT>

 <https://bit.ly/LinkedinEnsinoTecnologicoIPT>

 <https://www.youtube.com/@cursosipt>



sapiens.ipt.br

revista IPT

TECNOLOGIA E INOVAÇÃO

Confira em nosso site todas as edições da revista

<https://bit.ly/revistaIPT>



ipt
INSTITUTO DE
PESQUISAS
TECNOLÓGICAS
ENSINO TECNOLÓGICO

