

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.

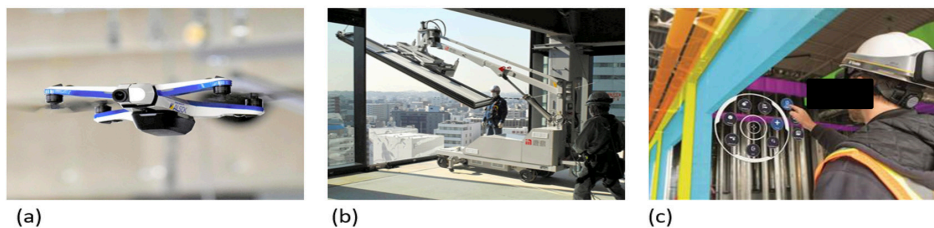
As entrevistas desempenharam um papel fundamental ao abordar aspectos mais abrangentes do tema, incorporando percepções não previamente consideradas na elaboração das diretrizes inicialmente propostas.

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)

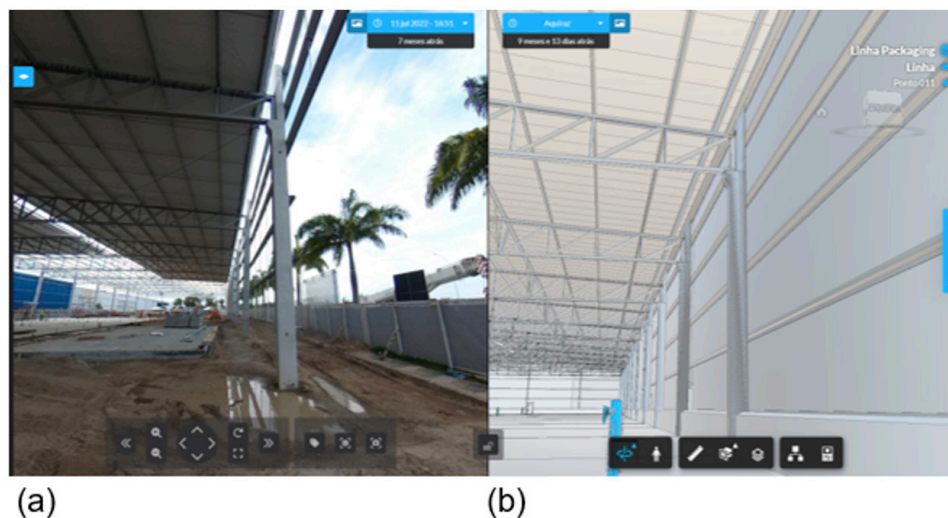
Dentre as tecnologias atualmente disponíveis e acessíveis para uso em construtoras, a utilização do monitoramento remoto de obras por meio de imagens em 360° representa uma alternativa viável técnica e financeiramente, quando comparada às outras tecnologias relacionadas ao monitoramento remoto.

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



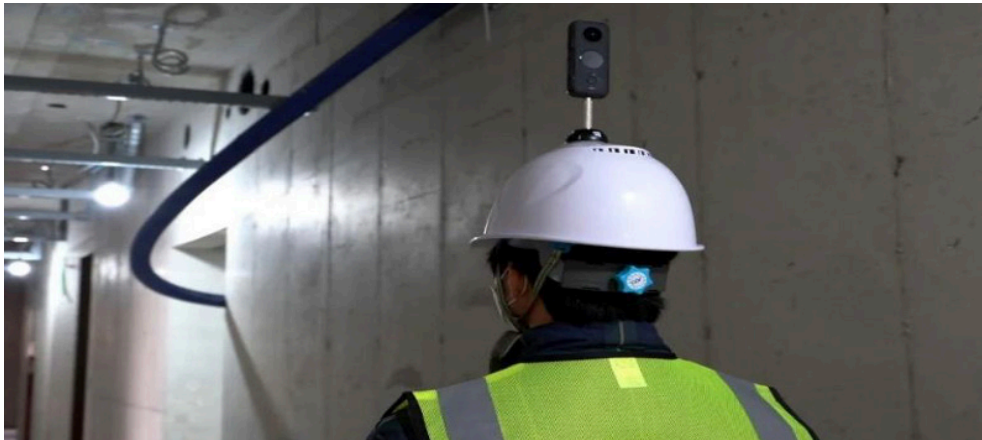
Fonte: elaborado pelos autores (2023)

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

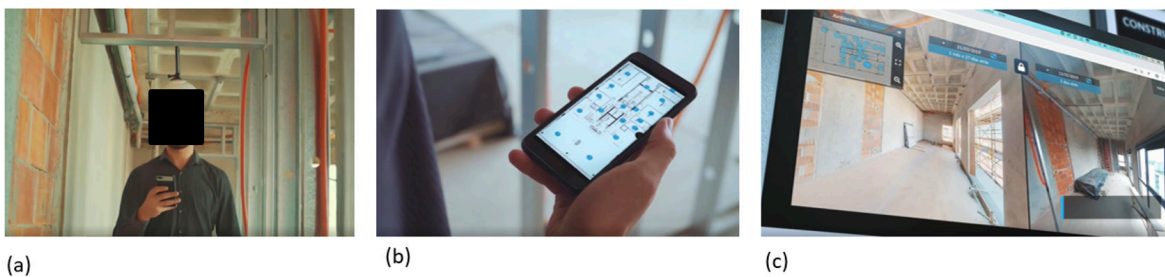


Fonte: Cupix (2022)

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).

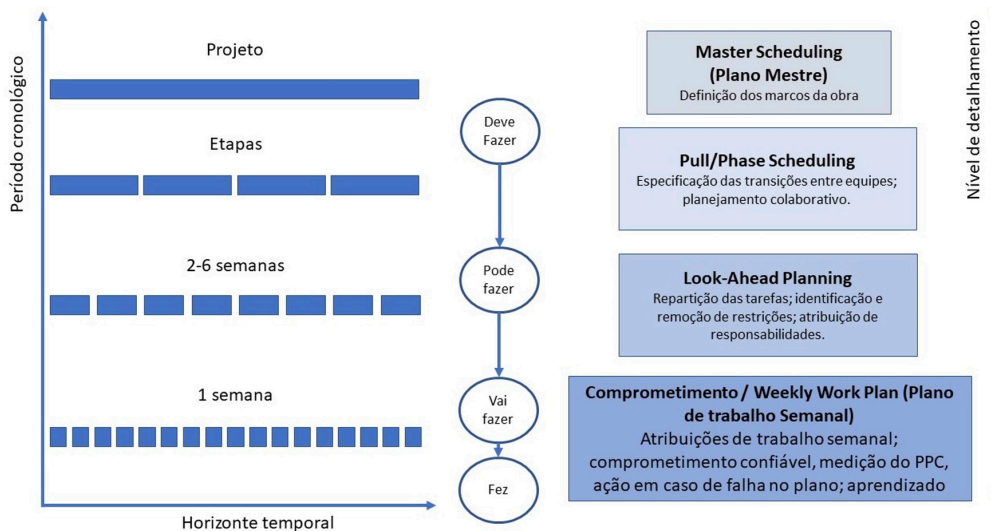
4.3 Planejamento semanal de trabalho (*Weekly Work Plan*)

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;



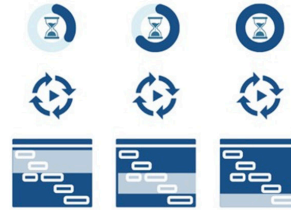
- 3) Verificação do andamento das atividades (Imagens 360°) e Verificação da análise das restrições;



- 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.

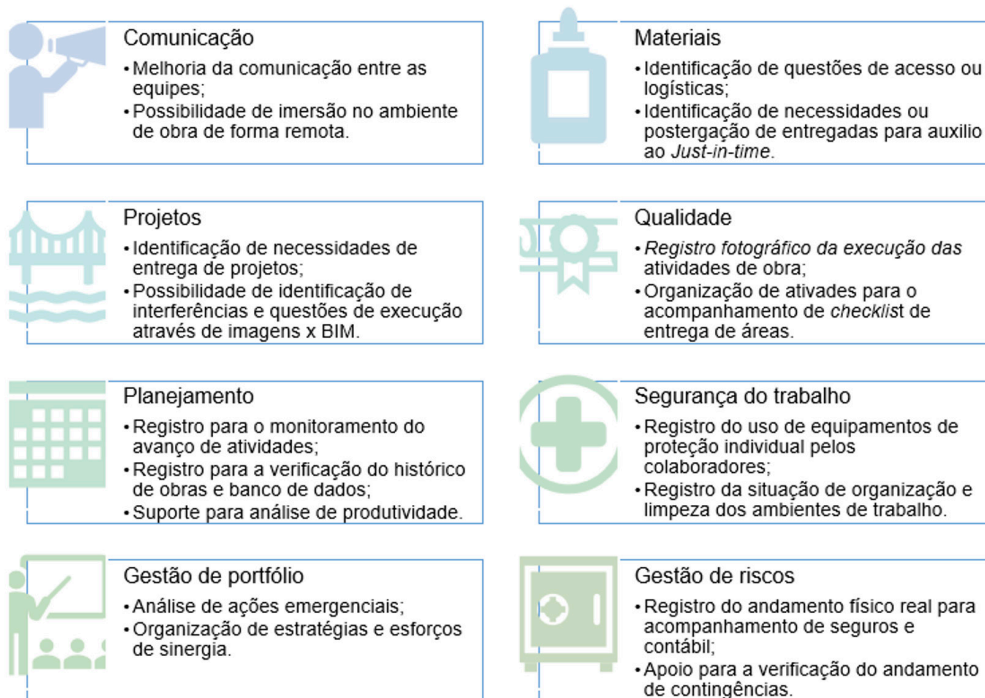
Analisando os dados do **Quadro 4**, foi investigado o contexto das tendências identificadas durante o desenvolvimento dos estudos de caso, com ênfase em uma visão mais ampla. Para isso foi realizado a análise qualitativa dos resultados obtidos, esse processo de identificação permitiu avaliar as oportunidades 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>Materiais: identificação de questões de acesso;</p> <p>Projetos: identificação de necessidades de entrega de projetos;</p> <p>Planejamento: registro para o monitoramento do avanço de atividades;</p> <p>Segurança do trabalho: registro da situação de organização e limpeza dos ambientes de trabalho;</p> <p>Gestão de portfólio: análise de ações emergenciais;</p> <p>Gestão de riscos: apoio para a verificação do andamento de contingências.</p>	<p>Materiais: identificação de necessidades ou postergação de entregadas para auxílio ao Just-in-time.</p> <p>Qualidade: organização de atividades para o acompanhamento de checklist de entrega de áreas.</p> <p>Planejamento: registro para o monitoramento do avanço de atividades;</p> <p>Segurança do trabalho: registro da situação de organização e limpeza dos ambientes de trabalho;</p> <p>Gestão de riscos: 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 Administracao de Obras Ltda. Câmera 360º, **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

