INTEGRAÇÃO ENTRE LEAN CONSTRUCTION E BIM NO PLANEJAMENTO DA PRODUÇÃO: UMA REVISÃO DE APLICAÇÕES PARA GESTÃO DE RESTRIÇÕES

Ana Flávia Figueiredo da Silva – Universidade Federal do Pará (UFPA)
ana.figueiredo.silva@itec.ufpa.br
Luiz Mauricio Furtado Maués – Universidade Federal do Pará (UFPA)
maues@itec.ufpa.br

RESUMO

A gestão de restrições é uma função central do planejamento de médio prazo, pois condiciona a liberação de pacotes de trabalho à disponibilidade de projetos, materiais, equipamentos, mão de obra, espaço e demais pré-requisitos. O Building Information Modeling (BIM) amplia as possibilidades de representar e relacionar essas condições ao produto e ao processo construtivo, enquanto a Lean Construction, especialmente por meio do Last Planner System (LPS), fornece a lógica de preparação e proteção do fluxo de trabalho. Este artigo analisa como a integração Lean-BIM tem sido aplicada para apoiar a gestão de restrições no planejamento da produção. Foi realizada uma revisão integrativa focalizada, baseada na reanálise de um portfólio sistemático anterior e na inclusão de estudos diretamente relacionados a LPS, lookahead, make-ready, BIM 4D e automação. O corpus final reuniu 14 estudos, examinados segundo a prática Lean, a funcionalidade BIM, o nível de planejamento e o papel desempenhado na gestão de restrições. Os resultados evidenciam quatro funções recorrentes: visualização e comunicação; identificação e análise; integração ao LPS e ao processo make-ready; e digitalização e automação. O BIM apresenta maior aderência às restrições físicas, espaciais, de projeto, equipamentos, segurança e logística, mas depende de fontes complementares e julgamento gerencial para restrições habilitadoras. Conclui-se que o avanço da integração está menos associado ao aumento da complexidade gráfica e mais à continuidade dos dados entre modelos, planos e ciclos de controle.
Palavras-chave: Lean Construction; Building Information Modeling; Last Planner System; gestão de restrições; planejamento da produção.

ABSTRACT

Constraint management is a core function of medium-term planning because work packages should only be released when design information, materials, equipment, labor, workspace, and other prerequisites are available. Building Information Modeling (BIM) expands the possibilities for representing and linking these conditions to the construction product and process, while Lean Construction, especially through the Last Planner System (LPS), provides the logic for making work ready and protecting workflow. This paper analyzes how Lean-BIM integration has been applied to support constraint management in production planning. A focused integrative review was conducted by reanalyzing a previous systematic portfolio and adding studies directly related to LPS, lookahead planning, make-ready, 4D BIM, and automation. The final corpus comprised 14 studies, examined according to Lean practice, BIM functionality, planning level, and role in constraint management. The findings reveal four recurring functions: visualization and communication; identification and analysis; integration with LPS and make-ready; and digitalization and automation. BIM is more directly applicable to physical, spatial, design, equipment, safety, and logistics constraints, but enabling constraints still require complementary information sources and managerial judgment. The study concludes that progress in Lean-BIM integration depends less on increasingly complex graphical models and more on data continuity across models, plans, and production-control cycles.
Keywords: Lean Construction; Building Information Modeling; Last Planner System; constraint management; production planning.

1. Introdução

A construção civil combina elevada fragmentação organizacional, variabilidade operacional e interdependência entre atividades. Nesse ambiente, planos formalmente consistentes podem perder aderência à execução quando as tarefas são liberadas sem que seus pré-requisitos estejam disponíveis. A consequência aparece em interrupções, esperas, improvisações, retrabalho e redução da confiabilidade do fluxo produtivo. O problema, portanto, não se limita à elaboração do cronograma: envolve transformar atividades previstas em pacotes efetivamente prontos para serem executados.

A Lean Construction oferece fundamentos para lidar com esse problema ao compreender a produção como transformação, fluxo e geração de valor e ao enfatizar a redução da variabilidade e das perdas. No Last Planner System (LPS), essa lógica se materializa no planejamento colaborativo, no controle por compromissos e no processo make-ready, pelo qual as atividades são examinadas antes de sua inclusão no plano de curto prazo. A identificação e a remoção de restrições no horizonte lookahead constituem, assim, uma proteção da produção contra a incerteza (BALLARD; TOMMELEIN, 2020).

Em paralelo, o Building Information Modeling (BIM) evoluiu de uma aplicação centrada na representação tridimensional para uma abordagem de gestão integrada de informações. Modelos associados ao tempo, às localizações, aos sistemas construtivos e às propriedades dos elementos permitem visualizar sequências, detectar interferências e relacionar objetos às atividades do cronograma. Essas capacidades convergem com necessidades do LPS, como tornar o estado do trabalho visível, apoiar reuniões de planejamento e antecipar condições que podem impedir a execução (SACKS et al., 2010; SACKS; RADOSAVLJEVIC; BARAK, 2010).

A literatura sobre BIM e Lean Construction cresceu e passou a abranger modelos conceituais, ferramentas digitais, estudos de caso e análises de implementação. Contudo, revisões amplas tendem a agrupar aplicações distintas sob a noção geral de sinergia, sem esclarecer em que parte do ciclo de gestão de restrições o BIM produz suporte efetivo. Também permanece necessário distinguir as condições que podem ser verificadas a partir do modelo daquelas que dependem de informações externas, compromissos organizacionais ou julgamento da equipe.

Diante dessa lacuna, a pergunta que orienta este estudo é: como a integração entre Lean Construction e BIM tem sido aplicada para apoiar a gestão de restrições no planejamento e

controle da produção? O objetivo é analisar as aplicações encontradas na literatura segundo as práticas Lean empregadas, as funcionalidades BIM mobilizadas, o nível de planejamento atendido e o papel exercido na identificação, análise, comunicação, acompanhamento ou remoção de restrições. A contribuição consiste em uma síntese organizada em quatro funções não excludentes desempenhadas pelo BIM na gestão de restrições, sem propor um novo sistema ou modelo operacional.

2. Referencial teórico

2.1 Lean Construction e planejamento da produção

A Lean Construction desloca o foco exclusivo da conversão de insumos em produtos para a gestão simultânea das transformações, dos fluxos e do valor. No planejamento da produção, essa perspectiva exige que a programação represente não apenas quais atividades devem ocorrer, mas também como o trabalho flui entre equipes, locais e frentes de serviço. A estabilidade desse fluxo depende da qualidade das condições disponibilizadas para a execução e da capacidade de aprender com desvios recorrentes.

O LPS organiza o planejamento em níveis articulados. O plano mestre estabelece marcos e diretrizes; o planejamento de fases detalha a lógica de entrega; o lookahead aproxima o horizonte de decisão das condições reais; o planejamento semanal consolida compromissos executáveis; e o acompanhamento mede a realização e as causas de não cumprimento. Nesse encadeamento, o make-ready converte o trabalho que deveria ser realizado em trabalho que pode ser executado, mediante triagem, análise e remoção prévia de impedimentos (BALLARD; TOMMELEIN, 2020).

A contribuição do LPS para a confiabilidade não decorre de prometer mais atividades, mas de restringir os compromissos àquilo que apresenta escopo definido, sequência adequada, recursos disponíveis e condições de execução verificadas. Essa lógica também cria um circuito de aprendizagem: razões de não cumprimento alimentam decisões posteriores, enquanto a transparência dos compromissos favorece coordenação entre os responsáveis.

2.2 Gestão de restrições no Last Planner System

Neste artigo, restrição é entendida como uma condição não atendida capaz de impedir o início, a continuidade ou a conclusão de um pacote de trabalho. Entre os pré-requisitos recorrentes

estão projeto e informações, materiais e componentes, mão de obra, equipamentos, espaço, atividades predecessoras e condições externas. A literatura também distingue restrições físicas, relacionadas a dependências tecnológicas, temporais ou espaciais, de restrições habilitadoras, associadas à disponibilidade de informações, recursos, decisões e autorizações (ETGES et al., 2020).

O planejamento de médio prazo é o espaço privilegiado para essa análise porque oferece antecedência para agir sem perder a proximidade com a execução. Identificar uma restrição, porém, não equivale a removê-la. A gestão envolve reconhecer a condição, classificá-la, atribuir responsabilidade, definir prazo, acompanhar o tratamento e verificar se o impedimento foi efetivamente superado antes da liberação da tarefa. Quando essas etapas são fragmentadas entre planilhas, modelos, atas e sistemas distintos, a equipe pode perder continuidade informacional e reagir tardiamente.

Também é necessário reconhecer que a possibilidade de representar uma restrição varia conforme sua natureza. Interferências geométricas, áreas de armazenamento, acessos, proteções coletivas e compatibilidade entre equipamento e frente de serviço apresentam relação direta com geometria, localização ou atributos do modelo. Em contrapartida, disponibilidade de equipe, aprovação do cliente, regularização contratual, condições climáticas e negociações com fornecedores raramente podem ser verificadas apenas pelo BIM. O valor da integração depende, portanto, da combinação entre representação digital e processo gerencial.

2.3 BIM aplicado ao planejamento da produção

No planejamento da produção, as funcionalidades BIM mais associadas à gestão de restrições são a visualização tridimensional (3D), a simulação que associa os elementos do modelo ao tempo (BIM 4D), a detecção de interferências, a associação entre objetos e atividades, a representação de espaços e fluxos, a extração de informações e a atualização do estado dos elementos. Essas funções podem reduzir ambiguidades, tornar sequências compreensíveis e permitir que diferentes participantes discutam o plano a partir de uma referência comum.

Os primeiros trabalhos sobre a interação Lean-BIM demonstraram que funcionalidades digitais podem reforçar princípios como transparência, redução da variabilidade, fluxo puxado, colaboração e controle visual (SACKS et al., 2010). O conceito KanBIM traduziu parte dessas relações em requisitos para um sistema de gestão da produção que combinasse visualização do

produto e do processo, sinais de fluxo e acesso ao estado do trabalho (SACKS; RADOSAVLJEVIC; BARAK, 2010). Posteriormente, ferramentas como VisiLean e soluções BIM-LPS avançaram na integração entre modelos, planos e informações de campo (DAVE; BODDY; KOSKELA, 2011; HEIGERMOSER et al., 2019).

3. Método de pesquisa

A pesquisa adota uma revisão integrativa focalizada, com finalidade descritiva e analítica. O ponto de partida foi o portfólio de 40 trabalhos de uma revisão sistemática anterior sobre integração BIM-Lean, conduzida pelo método Systematic Search Flow nas bases Scopus e Web of Science, com publicações a partir de 2010 (SILVA et al., 2026). Em vez de repetir sua análise bibliométrica e temática ampla, o presente estudo aplicou uma nova pergunta e uma nova estrutura de codificação voltadas exclusivamente à gestão de restrições no planejamento da produção.

Foram incluídos estudos que: a) abordassem conjuntamente BIM e Lean Construction; b) apresentassem relação explícita com planejamento ou controle da produção; e c) tratassem de pelo menos um dos seguintes elementos: LPS, planejamento lookahead, make-ready, análise de restrições, BIM 4D, fluxo de trabalho ou digitalização do controle da produção. Excluíram-se trabalhos centrados em maturidade organizacional, sustentabilidade, Integrated Project Delivery (IPD), cadeia de suprimentos ou adoção genérica quando não havia conexão direta com a preparação e a liberação de tarefas.

Quadro 1 – Critérios aplicados na revisão focalizada

Tipo	Critério
Inclusão	Integração explícita entre BIM e Lean Construction.
Inclusão	Relação com planejamento ou controle da produção.
Inclusão	Presença de LPS, lookahead, make-ready, restrições, BIM 4D, fluxo ou digitalização do controle.
Exclusão	Adoção, maturidade, sustentabilidade, IPD ou cadeia de suprimentos sem conexão direta com a prontidão das tarefas.
Exclusão	Uso isolado de BIM ou Lean e textos sem descrição de aplicação, requisito ou modelo de integração.

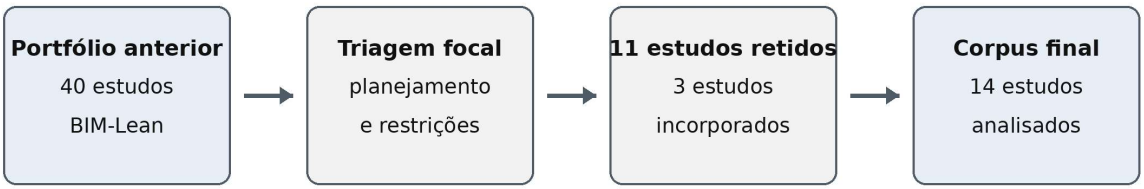
Fonte: elaborado pelos autores.

Os textos completos dos 40 estudos do portfólio anterior foram reavaliados com base nos critérios apresentados no Quadro 1. Essa triagem focal reteve 11 trabalhos diretamente

relacionados ao planejamento e controle da produção. Para atualizar e aprofundar o recorte, realizou-se uma busca complementar focalizada, concluída em setembro de 2026, mediante o rastreamento das referências dos estudos retidos e da bibliografia específica sobre gestão de restrições, BIM 4D e automação do Last Planner System. Foram incorporados três trabalhos: Etges et al. (2020), por analisarem diretamente a possibilidade de modelagem de restrições no planejamento de médio prazo; Silveira e Costa (2024), pela integração entre BIM 4D, planejamento baseado em localização e Last Planner System; e Agrawal et al. (2024), pela sistematização das funcionalidades de automação aplicadas às etapas do Last Planner System. O corpus final reuniu 14 estudos publicados entre 2010 e 2024. A Figura 1 apresenta o fluxo de seleção e análise.

Para cada estudo foram extraídos: ano, tipo de pesquisa, contexto de aplicação, prática Lean, funcionalidade BIM, nível de planejamento, natureza da restrição e função exercida pelo BIM. A codificação considerou quatro funções não excludentes: visualização e comunicação; identificação e análise; integração ao LPS e ao make-ready; e digitalização e automação. A comparação foi qualitativa, buscando padrões de aplicação, limites e lacunas. Por se tratar de uma revisão focalizada de um portfólio preexistente, não se pretende exaustividade sobre toda a produção BIM-Lean, mas profundidade sobre o recorte de gestão de restrições.

Figura 1 - Fluxo de seleção e análise dos estudos



Fonte: elaborado pelos autores.

4. Resultados e discussão

4.1 Caracterização das aplicações

No corpus analisado, observa-se uma trajetória que parte da formulação de sinergias conceituais e alcança aplicações de automação parcial dos processos de planejamento. O corpus inclui referenciais conceituais, propostas de sistema ou protótipo, estudos de caso ou pesquisa-ação e

revisões orientadas à integração de dados e à automação. Como alguns trabalhos combinam mais de uma estratégia, essas categorias não são mutuamente excludentes. A diversidade confirma que o campo articula fundamentos de gestão da produção, representação digital e desenvolvimento de artefatos.

A recorrência do LPS é explicada por sua necessidade de articular compromissos, estado do trabalho e informações de curto e médio prazos. O BIM aparece como meio para tornar condições visíveis, relacionar o plano ao produto e estruturar dados. Entretanto, os estudos não atribuem ao modelo capacidade autônoma de remover restrições. Mesmo nas soluções mais digitalizadas, a remoção depende de responsáveis, decisões e recursos externos. O Quadro 2 sintetiza as aplicações examinadas.

Quadro 2 - Aplicações Lean-BIM no planejamento e na gestão de restrições

Estudo	Contexto ou foco	Prática Lean	Função BIM e relação com restrições
Sacks et al. (2010)	Matriz conceitual de interações Lean-BIM	Princípios Lean gerais	Visualização e transparência como base para antecipar problemas
Sacks, Radosavljevic e Barak (2010)	Requisitos e mock-ups do KanBIM	LPS, fluxo puxado e controle visual	Estado do trabalho, alertas e comunicação do fluxo
Dave, Boddy e Koskela (2011)	Concepção do VisiLean	Gestão Lean da produção	Integração de fontes e visualização de status no modelo
Bhatla e Leite (2012)	Caso de renovação universitária	LPS nos níveis mestre, lookahead e semanal	3D, 4D e clash detection para identificar e discutir impedimentos
Dave, Boddy e Koskela (2013)	Projeto de infraestrutura	Lean e gestão da produção	Integração informacional e desafios de implementação
Toledo, Olivares e González (2016)	Comparação de dois casos	LPS e planejamento colaborativo	Apoio às reuniões, às solicitações de informação, ao PPC e à comunicação do plano
Heigermoser et al. (2019)	Ferramenta BIM-LPS	LPS e melhoria contínua	Vínculo entre modelo, planejamento e controle da execução
Schimanski et al. (2020)	Revisão e modelo conceitual	Processo completo do LPS	Mapeamento de funcionalidades e lacunas de cobertura
Etges et al. (2020)	Cinco estudos de caso	Lookahead e análise de restrições	Modelabilidade de restrições e pacotes de trabalho
Boton et al. (2021)	Pesquisa-ação em construtora	Implementação conjunta BIM-LPS	Barreiras de uso, treinamento, recursos e aderência ao canteiro
Sbiti et al. (2021)	Revisão e recomendações	LPS e integração de dados	Arquitetura para planos, progresso e sistemas externos
Schimanski et al. (2021)	Requisitos e protótipo web	Gestão BIM-Lean da produção	Interoperabilidade, registro e acompanhamento digital
Silveira e Costa (2024)	Design Science Research em duas obras residenciais	Planejamento Baseado em Localização, LPS e controle de ciclos	Automação da geração e atualização de modelos 4D
Agrawal et al. (2024)	Revisão de 112 estudos	Automação das etapas do LPS	Funções automatizáveis e lacunas em restrições e replanejamento

Fonte: elaborado pelos autores com base nos estudos revisados.

4.2 Visualização e comunicação

A visualização constitui a função mais básica e transversal. Ela permite que a equipe compreenda o produto, a sequência e o estado da produção com menor dependência de

interpretações individuais de desenhos e cronogramas. Nos trabalhos seminais, essa capacidade é associada à transparência do processo e ao controle visual (SACKS et al., 2010). No KanBIM e no VisiLean, o modelo também comunica status, locais e pacotes, aproximando a representação do produto das decisões de produção (SACKS; RADOSAVLJEVIC; BARAK, 2010; DAVE; BODDY; KOSKELA, 2011).

Quando utilizada em reuniões de planejamento, a visualização cria uma referência compartilhada para discutir sequência, acessos, interferências e compromissos. Bhatla e Leite (2012) associaram visualização 3D, simulação 4D e detecção de interferências aos níveis mestre, lookahead e semanal do LPS. Toledo, Olivares e González (2016), ao compararem um caso com LPS e outro com integração LPS-BIM, observaram aumento do Percentual de Planos Concluídos (PPC), redução das razões de não cumprimento, menor duração das reuniões e diminuição do número de Solicitações de Informação de projeto (Request for Information – RFI). Esses resultados sugerem que a visualização atua não apenas sobre a percepção espacial, mas sobre a qualidade da comunicação.

Ainda assim, visualização isolada não configura gestão de restrições. Se o modelo é atualizado por um especialista fora da rotina de planejamento, ou se as informações não correspondem ao horizonte discutido, a equipe pode enxergar o problema sem conseguir atribuir responsabilidade ou acompanhar sua solução. A visualização e a comunicação devem, portanto, ser entendidas como uma infraestrutura cognitiva e colaborativa que apoia as demais funções da gestão de restrições.

4.3 Identificação e análise de restrições

Na função de identificação e análise, o BIM é empregado para examinar condições que podem comprometer a execução. A detecção de interferências revela incompatibilidades de projeto; o 4D explicita conflitos de sequência e simultaneidade; e a modelagem de espaços permite avaliar áreas de trabalho, armazenamento, circulação e acesso. Essas aplicações ampliam a capacidade de antecipação no lookahead, sobretudo quando os pacotes são discutidos antes de entrarem no plano semanal.

Etges et al. (2020) analisaram 217 restrições de médio prazo e 1.242 pacotes de curto prazo em cinco obras. O estudo encontrou maior potencial de modelagem para restrições de projeto, equipamentos, segurança e materiais. Entre 80% e 100% das restrições de equipamentos, em

determinados casos, poderiam ser apoiadas por modelagem; já restrições de planejamento ligadas a acessos e fluxos apresentaram potencial mais limitado. Os autores também mostraram que mão de obra, cliente, condições externas e parte das questões de materiais não são diretamente representáveis ou verificáveis por meio do modelo.

Esse resultado delimita a fronteira de utilidade do BIM. Restrições físicas e espaciais apresentam maior observabilidade digital porque se relacionam a objetos, atributos, localizações ou dependências. Restrições habilitadoras dependem de estados organizacionais que precisam ser informados por outros sistemas ou pelos participantes. Assim, uma aplicação robusta deve combinar checagens derivadas do modelo com registros externos, evitando a falsa premissa de que toda condição de prontidão é geometricamente verificável.

4.4 Integração ao LPS e ao processo make-ready

A função de integração ao LPS e ao processo make-ready ocorre quando as informações do modelo deixam de constituir um apoio ocasional e passam a participar dos ciclos de planejamento e controle. Nessa configuração, o BIM participa da elaboração ou revisão do plano de fases, do lookahead e do plano semanal, preservando vínculos entre objetos, pacotes de trabalho e estado da produção. Heigermoser et al. (2019) desenvolveram uma ferramenta BIM-LPS voltada à melhoria da gestão do projeto, enquanto Schimanski et al. (2020) organizaram um modelo conceitual que evidencia a necessidade de cobrir sistematicamente as etapas do LPS.

A integração também exige continuidade entre níveis de planejamento. Uma restrição identificada no lookahead precisa permanecer associada ao pacote correspondente, receber atualização e influenciar a decisão de liberação. Sbiti et al. (2021) observam que as soluções existentes frequentemente apoiam apenas partes do processo, como planejamento colaborativo ou visualização 4D, sem integrar plenamente decomposição de tarefas, compromissos, progresso e sistemas corporativos. A fragmentação reduz a rastreabilidade e favorece duplicação de registros.

As evidências de Boton et al. (2021) reforçam que a integração é sociotécnica. Rotinas digitais pouco ajustadas ao ritmo do canteiro, interfaces complexas ou recursos insuficientes podem gerar resistência e reduzir o uso efetivo. Portanto, integrar BIM e LPS requer compatibilidade

entre granularidade do modelo, estrutura do cronograma, frequência de atualização, papéis da equipe e forma de tomada de decisão.

4.5 Digitalização e automação

Na função de digitalização e automação, os estudos avançam para a estruturação dos dados, a interoperabilidade entre sistemas e a automatização parcial dos processos de planejamento e controle. Schimanski et al. (2021) converteram princípios BIM-Lean em requisitos funcionais e demonstraram um protótipo interoperável para gestão da produção. O ganho principal não decorre de substituir o planejador, mas de reduzir transferências manuais, manter relações entre entidades e disponibilizar informações consistentes ao longo do ciclo de controle.

Silveira e Costa (2024) desenvolveram um método para automatizar a geração e o uso de modelos BIM 4D integrados ao planejamento por localização e ao LPS. Aplicado em dois empreendimentos residenciais, o método automatizou vínculos entre níveis do planejamento e o modelo 3D, acelerando a produção de relatórios e a atualização do acompanhamento. O estudo ilustra a mudança de uma visualização preparada pontualmente para um fluxo de dados recorrente e alinhado aos ciclos de decisão.

A revisão de Agrawal et al. (2024), baseada em 112 estudos, identificou 50 funcionalidades de automação distribuídas pelas etapas do LPS, com maior concentração no lookahead. Ao mesmo tempo, os autores apontam desafios relacionados à gestão de restrições, ao reúso do conhecimento e ao replanejamento dinâmico. A automação permanece parcial porque critérios de prontidão, exceções e negociações dependem do contexto. O caminho mais consistente é automatizar verificações repetíveis e preservar julgamento humano nas decisões ambíguas ou organizacionais.

4.6 Síntese funcional e lacunas

A síntese indica quatro funções recorrentes, apresentadas no Quadro 3: visualização e comunicação; identificação e análise; integração ao LPS e ao processo make-ready; e digitalização e automação. Essas funções não constituem uma escala hierárquica e podem coexistir em uma mesma aplicação. Soluções automatizadas continuam dependendo de visualização, comunicação e participação da equipe, enquanto aplicações tecnologicamente

mais simples podem produzir valor quando incorporadas a uma rotina disciplinada de make-ready.

Quadro 3 – Síntese das funções de aplicação Lean-BIM

Função	Finalidade	Recursos recorrentes	Limite principal
Visualização e comunicação	Tornar produto, sequência e estado compreensíveis	3D, 4D, cores, reuniões visuais	Modelo desatualizado ou dependência de especialista
Identificação e análise	Antecipar incompatibilidades e condições físicas	Clash detection, análise espacial, logística e sequência	Cobertura limitada de restrições habilitadoras
Integração ao LPS e make-ready	Conectar restrições aos pacotes e ciclos do plano	Vínculos objeto-atividade, status e colaboração	Fragmentação de sistemas e granularidade incompatível
Digitalização e automação	Reduzir transferências manuais e repetir verificações	Regras, interoperabilidade, geração 4D e atualização	Exceções, qualidade dos dados e julgamento humano

Fonte: elaborado pelos autores.

Três achados atravessam as quatro funções identificadas. Primeiro, a natureza da restrição determina a aderência ao BIM: quanto maior a relação com geometria, localização, sequência ou atributo do elemento, maior o potencial de apoio direto. Segundo, a utilidade do modelo depende da continuidade informacional entre níveis do plano; modelos desatualizados ou pacotes excessivamente agregados limitam a análise. Terceiro, a integração precisa registrar estados e responsabilidades fora do modelo geométrico, pois a remoção de restrições é um processo gerencial.

As lacunas concentram-se na padronização de estruturas de dados para representar restrições, na rastreabilidade do ciclo entre identificação e verificação da remoção, na interoperabilidade com cronogramas e sistemas de campo, e na avaliação longitudinal dos efeitos sobre a confiabilidade. Também são necessários estudos que diferenciem claramente detecção automática, recomendação e decisão humana, evitando que a automação seja tratada como substituta do planejamento colaborativo.

5. Considerações finais

Este artigo analisou como a integração entre Lean Construction e BIM tem apoiado a gestão de restrições no planejamento da produção. A revisão focalizada mostrou que as aplicações se organizam em quatro funções recorrentes: visualização e comunicação; identificação e análise; integração ao LPS e ao make-ready; e digitalização e automação. No corpus analisado, observa-

se uma passagem de modelos usados como suporte visual para ambientes que relacionam produto, processo, localização, estado e ciclos de controle.

O BIM oferece apoio mais direto às restrições físicas, espaciais, de projeto, equipamentos, segurança e logística. Condições relacionadas a mão de obra, aprovações, contratos, fornecedores, cliente e ambiente externo dependem de fontes complementares e participação ativa dos responsáveis. Assim, a principal contribuição da integração não é tornar todas as restrições modeláveis, mas organizar quais informações podem ser verificadas digitalmente, quando devem ser analisadas e como se conectam aos compromissos de produção.

A síntese também evidencia que a continuidade dos dados é mais decisiva que a sofisticação isolada do modelo. Sem correspondência entre objetos e pacotes, atualização compatível com o ritmo da obra e rotinas claras de uso, a visualização perde valor operacional. Pesquisas futuras devem avaliar estruturas padronizadas para representar e acompanhar restrições, integrações interoperáveis com cronogramas e sistemas de campo, e limites adequados entre automação e julgamento humano.

Como limitação, o estudo reanalisou um portfólio preexistente e incorporou um conjunto focal de referências, não pretendendo esgotar toda a literatura BIM-Lean. Ainda assim, o recorte funcional permite compreender onde o BIM efetivamente contribui para a gestão de restrições e onde permanecem dependências organizacionais. A matriz proposta pode orientar novas revisões e comparações empíricas sem pressupor um único modelo de implementação.

Agradecimentos

Agradecemos à Universidade Federal do Pará (UFPA), ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC), ao Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços (MDIC), à Rede Catarinense de Inovação (RECEPTI) e à Célula BIM UFPA pelo apoio ao desenvolvimento deste trabalho.

Referências

AGRAWAL, A. K.; ZOU, Y.; CHEN, L.; ABDELMEGID, M. A.; GONZÁLEZ, V. A. Moving toward lean construction through automation of planning and control in Last Planner System: a systematic literature review. **Developments in the Built Environment**, v. 18, 100419, 2024. DOI: 10.1016/j.dibe.2024.100419.

BALLARD, G.; TOMMELEIN, I. D. 2020 **Current Process Benchmark for the Last Planner System of Project Planning and Control.** Berkeley: Project Production Systems Laboratory, University of California, 2020.

BHATLA, A.; LEITE, F. Integration framework of BIM with the Last Planner System. In: **ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION**, 20., 2012, San Diego. Proceedings [...]. San Diego: IGLC, 2012.

BOTON, C.; PITTI, Y.; FORGUES, D.; IORDANOVA, I. Investigating the challenges related to combining BIM and Last Planner System on construction sites. **Frontiers of Engineering Management**, v. 8, n. 2, p. 172-182, 2021. DOI: 10.1007/s42524-019-0086-4.

DAVE, B.; BODDY, S.; KOSKELA, L. VisiLean: designing a production management system with Lean and BIM. In: **ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION**, 19., 2011, Lima. Proceedings [...]. Lima: IGLC, 2011. p. 514-524.

DAVE, B.; BODDY, S.; KOSKELA, L. Enabling Lean with IT: challenges and opportunities in implementing Lean and BIM on an infrastructure project. In: **ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION**, 21., 2013, Fortaleza. Proceedings [...]. Fortaleza: IGLC, 2013. p. 60-69.

ETGES, B. M.; RECK, R. H.; FIREMAN, M. T.; RODRIGUES, J. L.; ISATTO, E. L. Using BIM with the Last Planner System to improve constraints analysis. In: **ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION**, 28., 2020, Berkeley. Proceedings [...]. Berkeley: IGLC, 2020. p. 493-504. DOI: 10.24928/2020/0060.

SILVA, A. F. F.; MARIALVA, L. M.; MAUÉS, L. M. F.; CORDEIRO, L. de N. P.; MOREIRA, F. de S. Integração BIM-Lean na indústria da construção: uma revisão sistemática da literatura. In: **ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO**, 21., 2026, Goiânia. Anais [...]. Goiânia: ANTAC, 2026.

HEIGERMOSER, D.; GARCÍA DE SOTO, B.; ABBOTT, E. L. S.; CHUA, D. K. H. BIM-based Last Planner System tool for improving construction project management**. Automation in Construction**, v. 104, p. 246-254, 2019. DOI: 10.1016/j.autcon.2019.03.019.

SACKS, R.; KOSKELA, L.; DAVE, B. A.; OWEN, R. Interaction of Lean and Building Information Modeling in construction. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 136, n. 9, p. 968-980, 2010. DOI: 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000203.

SACKS, R.; RADOSAVLJEVIC, M.; BARAK, R. Requirements for Building Information Modeling based Lean production management systems for construction. **Automation in Construction**, v. 19, n. 5, p. 641-655, 2010. DOI: 10.1016/j.autcon.2010.02.010.

SBITI, M.; BEDDIAR, K.; BELADJINE, D.; PERRAULT, R.; MAZARI, B. Toward BIM and LPS data integration for Lean site project management: a state-of-the-art review and recommendations. **Buildings**, v. 11, n. 5, 196, 2021. DOI: 10.3390/buildings11050196.

SCHIMANSKI, C. P.; MARCHER, C.; MONIZZA, G. P.; MATT, D. T. The Last Planner System and Building Information Modeling in construction execution: from an integrative review to a conceptual model for integration. **Applied Sciences**, v. 10, n. 3, 821, 2020. DOI: 10.3390/app10030821.

SCHIMANSKI, C. P.; PRADHAN, N. L.; CHALTSEV, D.; PASETTI MONIZZA, G.; MATT, D. T. Integrating BIM with Lean Construction approach: functional requirements and production management software. **Automation in Construction**, v. 132, 103969, 2021. DOI: 10.1016/j.autcon.2021.103969.

SILVEIRA, B. F.; COSTA, D. B. Method for automating the processes of generating and using 4D BIM models integrated with location-based planning and Last Planner System. **Construction Innovation**, v. 24, n. 4, p. 1005-1025, 2024. DOI: 10.1108/CI-02-2022-0030.

TOLEDO, M.; OLIVARES, K.; GONZÁLEZ, V. Exploration of a Lean-BIM planning framework: a Last Planner System and BIM-based case study. In: **ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION**, 24., 2016, Boston. Proceedings [...]. Boston: IGLC, 2016. p. 3-12.