www.revistaft.com.br

Revista FT | ISSN 1678-0817 | v.30, n.164, 2026 | DOI: 10.69849/cysm8f31

O uso do lean construction aliado com IA no canteiro de obras

The use of lean construction combined with AI on construction sites

Carlos Eduardo Pereira Cavalcanti

João Lucas Jun Ichi Godoi Sagae

Victor Zompiero (Orientador)

RESUMO

A construção civil apresenta desafios relacionados ao controle de custos, cumprimento de prazos, produtividade, desperdícios e utilização adequada dos recursos disponíveis no canteiro de obras. Nesse contexto, o Lean Construction apresenta princípios e ferramentas voltados à redução de atividades que não agregam valor, melhoria dos fluxos de trabalho e busca pela melhoria contínua. Paralelamente, a Inteligência Artificial (IA) vem sendo utilizada como recurso tecnológico capaz de analisar dados, identificar padrões, auxiliar na previsão de problemas e apoiar a tomada de decisões. O presente trabalho teve como objetivo analisar como o uso da Inteligência Artificial associado aos princípios e ferramentas do Lean Construction pode contribuir para a melhoria dos processos no canteiro de obras. A pesquisa foi desenvolvida por meio de abordagem qualitativa, com caráter exploratório e fundamentação bibliográfica, considerando estudos relacionados ao Lean Production, Lean Construction, Inteligência Artificial, gestão de processos e redução de desperdícios. Foram abordados conceitos e ferramentas como Just in Time, Kanban, Jidoka, Takt Time, Kaizen, PDCA, 5S, 5 Porquês e Diagrama de Causa e Efeito. Os resultados da análise indicam que a integração entre IA e Lean Construction pode auxiliar na identificação de desperdícios, acompanhamento da produtividade, controle de materiais, identificação de falhas, previsão de possíveis atrasos e melhoria do planejamento e controle das atividades. Conclui-se que a Inteligência Artificial pode atuar como ferramenta complementar aos princípios do Lean Construction, contribuindo para uma gestão mais eficiente e orientada por

dados, sem substituir a participação e a experiência dos profissionais envolvidos no processo construtivo.

Palavras-chave: Inteligência Artificial. Lean Construction. Canteiro de Obras. Construção Civil. Redução de Desperdícios. Produtividade.

ABSTRACT

The construction industry faces challenges related to cost control, compliance with deadlines, productivity, waste, and the proper use of available resources on construction sites. In this context, Lean Construction presents principles and tools aimed at reducing non-value-adding activities, improving workflow, and promoting continuous improvement. At the same time, Artificial Intelligence (AI) has been increasingly used as a technological resource capable of analyzing data, identifying patterns, assisting in problem prediction, and supporting decision-making. This study aimed to analyze how the use of Artificial Intelligence associated with Lean Construction principles and tools can contribute to the improvement of processes on construction sites. The research was developed through a qualitative and exploratory approach, based on a bibliographic review of studies related to Lean Production, Lean Construction, Artificial Intelligence, process management, and waste reduction. Concepts and tools such as Just in Time, Kanban, Jidoka, Takt Time, Kaizen, PDCA, 5S, Five Whys, and Cause-and-Effect Diagram were addressed. The analysis indicates that the integration of AI and Lean Construction can assist in identifying waste, monitoring productivity, controlling materials, detecting failures, predicting possible delays, and improving the planning and control of construction activities. It is concluded that Artificial Intelligence can act as a complementary tool to Lean Construction principles, contributing to more efficient and data-driven management while maintaining the importance of the participation and experience of professionals involved in the construction process.

Keywords: Artificial Intelligence. Lean Construction. Construction Site. Civil Construction. Waste Reduction. Productivity.

1. INTRODUÇÃO

A construção civil possui importante participação no desenvolvimento econômico e social, porém ainda apresenta desafios relacionados à produtividade, desperdícios, custos, prazos e organização dos processos. Nesse contexto, a busca por métodos capazes de melhorar o desempenho dos empreendimentos tem aumentado, especialmente diante da necessidade de utilizar os recursos de maneira mais eficiente.

Entre as metodologias aplicadas ao setor destaca-se o **Lean Construction**, ou Construção Enxuta, baseado nos princípios da Produção Enxuta desenvolvidos no sistema Toyota de produção. Koskela (1992) foi um dos principais responsáveis pela adaptação desses conceitos à construção civil, propondo uma visão voltada à redução de perdas, melhoria dos fluxos de trabalho e aumento das atividades que agregam valor ao empreendimento.

No canteiro de obras, os princípios do Lean Construction podem contribuir para reduzir desperdícios de materiais, tempo, mão de obra e equipamentos, além de favorecer o planejamento e a melhoria contínua dos processos. Entretanto, a complexidade das atividades e a necessidade de acompanhamento constante tornam importante a utilização de novas tecnologias que auxiliem na tomada de decisões.

Nesse cenário, a **Inteligência Artificial (IA)** apresenta possibilidades de aplicação associadas ao Lean Construction. Por meio da análise de dados, identificação de padrões, previsão de problemas e apoio ao planejamento, a IA pode auxiliar no controle da produtividade, na identificação de desperdícios, no gerenciamento de recursos e na antecipação de possíveis atrasos no canteiro de obras.

A integração entre IA e Lean Construction representa uma possibilidade de modernização dos processos construtivos, combinando a redução de desperdícios e a melhoria contínua com recursos tecnológicos capazes de analisar informações e apoiar decisões. Dessa forma, este trabalho busca abordar o uso da Inteligência Artificial associada aos princípios do Lean Construction no canteiro de obras,

destacando suas possíveis contribuições para a produtividade, redução de perdas e melhoria do gerenciamento dos processos.

2. QUESTÃO DA PESQUISA

A questão de pesquisa deste trabalho pode ser representada pela seguinte pergunta: **como o uso da Inteligência Artificial, associado aos princípios e ferramentas do Lean Construction, pode contribuir para a melhoria dos processos no canteiro de obras, especialmente na redução de desperdícios, no aumento da produtividade e no melhor aproveitamento de recursos durante a execução de empreendimentos da construção civil?**

3. OBJETIVOS DA PESQUISA

Os objetivos deste trabalho estão classificados em objetivo principal e objetivos secundários, apresentados a seguir.

3.2.1 Objetivo Principal

O objetivo principal deste trabalho é analisar como a aplicação da Inteligência Artificial associada aos princípios e ferramentas do Lean Construction pode contribuir para a melhoria dos processos no canteiro de obras, visando aumentar a produtividade, reduzir desperdícios e otimizar o uso de recursos.

3.2.2 Objetivos Específicos

Como objetivos secundários, o trabalho pretende:

a) **Identificar** as principais aplicações da Inteligência Artificial relacionadas aos princípios do Lean Construction no canteiro de obras;

b) **Analisar** como a utilização da IA pode auxiliar na identificação de desperdícios, falhas, atrasos e atividades que não agregam valor ao processo construtivo;

c) **Verificar** as possíveis contribuições da integração entre Inteligência Artificial e Lean Construction para a produtividade, planejamento e gerenciamento dos recursos no canteiro de obras;

d) **Apresentar** os principais benefícios e desafios relacionados à utilização da Inteligência Artificial como ferramenta de apoio à aplicação do Lean Construction na construção civil.

4 METODOLOGIA

Esta seção detalha a metodologia aplicada na investigação acerca da aplicação da Inteligência Artificial em conjunto com as diretrizes e instrumentos do Lean Construction no ambiente de construção. Serão pormenorizados os métodos empregados para coletar, estruturar e examinar os dados pertinentes a essa temática.

O estudo será realizado através de um levantamento bibliográfico, fundamentado em obras literárias, periódicos científicos, monografias e textos técnicos que abordam Inteligência Artificial, Lean Construction, administração produtiva, eficiência e diminuição de perdas no setor construtivo.

O exame do material coletado visa entender como a Inteligência Artificial serve de suporte aos preceitos Lean, com foco particular no reconhecimento de ineficiências, monitoramento do rendimento, programação de tarefas, gestão de insumos e otimização das etapas de execução.

Nesse sentido, as informações obtidas passarão por uma avaliação qualitativa, visando conectar as bases teóricas com as chances reais de implementar a IA nas obras. A finalidade é determinar as vantagens, formas de uso e obstáculos inerentes à fusão entre a Inteligência Artificial e o Lean Construction.

4.1 DESCRIÇÃO DO MÉTODO DA PESQUISA

Conforme postulado por Yin (2010, p. 22), a seleção da metodologia investigativa deve estar intrinsecamente vinculada à problemática examinada e às especificidades do objeto de estudo. Consequentemente, a abordagem adotada precisa viabilizar a coleta e o exame de dados de forma congruente com as metas delineadas.

O presente estudo fundamenta-se em uma abordagem qualitativa de cunho exploratório, operacionalizada por meio de uma revisão bibliográfica. Tal opção metodológica justifica-se pelo propósito de elucidar os mecanismos de integração da

Inteligência Artificial aos fundamentos e instrumentos do Lean Construction no ambiente de execução de obras.

O levantamento bibliográfico compreenderá o exame de monografias, periódicos científicos, produções acadêmicas, dissertações, teses e documentos técnicos pertinentes à engenharia civil, Lean Construction, Inteligência Artificial, administração de processos, eficiência produtiva e mitigação de perdas.

Segundo a perspectiva de Gil (2019), a pesquisa bibliográfica estrutura-se a partir de fontes preexistentes, permitindo ao investigador consolidar diversas perspectivas teóricas acerca de uma temática específica. Nesse contexto, serão triadas referências significativas para compreender a trajetória do Lean Construction e as potencialidades do emprego da Inteligência Artificial na indústria da construção.

A interpretação dos dados ocorrerá sob uma ótica qualitativa, visando diagnosticar as modalidades preponderantes de aplicação da IA no âmbito do Lean Construction, bem como suas eventuais vantagens e restrições. Serão avaliados fatores como a diminuição de desperdícios, índices de produtividade, programação, gestão de insumos, detecção de anomalias, monitoramento operacional e suporte aos processos decisórios.

Deste modo, o procedimento metodológico escolhido favorecerá a sistematização e a análise do arcabouço teórico disponível sobre a convergência entre Inteligência Artificial e Lean Construction, oferecendo um panorama sobre as viabilidades de implementação na administração e realização de tarefas nos canteiros de obras.

> “Em geral, os estudos de caso representam a estratégia preferida quando se colocam questões do tipo ‘como’ e ‘por que’, quando o pesquisador tem pouco controle sobre os eventos e quando o foco se encontra em fenômenos contemporâneos inseridos em algum contexto da vida real” (YIN, 2010, p. 22)

Consequentemente, a metodologia selecionada para esta investigação consiste no estudo de caso, visto que tal abordagem viabiliza um exame empírico e minucioso das dinâmicas referentes à aplicação da Inteligência Artificial em conjunto com o Lean Construction no ambiente de construção civil. Tal opção metodológica favorece a observação do objeto de estudo em seu cenário autêntico, facilitando o

entendimento sobre o modo como as inovações tecnológicas e os instrumentos Lean corroboram o aprimoramento das atividades construtivas.

De acordo com Yin (2010), a modalidade de estudo de caso fundamenta-se na utilização de variadas origens de evidências, o que permite a interpretação integrada dos dados obtidos para o enfrentamento da problemática da pesquisa. O emprego de diversos mananciais informacionais favorece uma percepção mais abrangente do objeto analisado e viabiliza o confronto analítico entre os distintos dados colhidos ao longo do processo investigativo.

Conforme preconizado por Yin (2010, p. 124), existem diretrizes fundamentais que devem ser observadas durante a etapa de levantamento de dados:

a) **Múltiplas fontes de evidências:** utilização de duas ou mais fontes que permitam comparar e relacionar as informações obtidas;

b) **Banco de dados do estudo de caso:** organização sistemática dos dados coletados durante a pesquisa;

c) **Encadeamento de evidências:** estabelecimento de uma relação entre as questões de pesquisa, os dados obtidos e as conclusões desenvolvidas.

No âmbito desta pesquisa, o corpus de evidências poderá abranger documentação e registros pertinentes ao ciclo de edificação, diálogos estruturados com os especialistas participantes e o monitoramento presencial das tarefas executadas no ambiente de construção. Tais dados servirão de base para o exame da implementação das diretrizes Lean, bem como para a investigação do potencial da Inteligência Artificial no diagnóstico de perdas, supervisão do rendimento laboral e na gestão e planejamento das operações.

O processamento dessas variadas fontes viabilizará a correlação dos dados coletados com os pressupostos estabelecidos na revisão bibliográfica. O objetivo central reside na compreensão dos benefícios e dos obstáculos inerentes à convergência entre a Inteligência Artificial e a Lean Construction no cenário prático dos canteiros de obras.

5 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo expõe o embasamento conceitual relativo à aplicação da Inteligência Artificial (IA) articulada às diretrizes e instrumentos do Lean Construction no ambiente de obras. De início, examinam-se as definições fundamentais da Construção Enxuta, abrangendo sua gênese e a implementação de seus preceitos na indústria edilícia. Em seguida, trata-se da Inteligência Artificial e suas potencialidades de uso no ramo construtivo, focando em funcionalidades como o processamento de dados, antecipação de falhas, programação e monitoramento de tarefas. Concluindo a seção, debate-se a convergência entre IA e Lean Construction, enfatizando como essa união pode colaborar para a diminuição de perdas, ganho de eficiência, aproveitamento máximo de insumos e evolução no gerenciamento das etapas de execução.

5.1 LEAN PRODUCTION

A Lean Production, ou Produção Enxuta, teve origem no Sistema Toyota de Produção, desenvolvido no Japão após a Segunda Guerra Mundial. A proposta surgiu como uma alternativa à produção em massa, buscando fabricar com mais qualidade, menor custo e melhor aproveitamento dos recursos disponíveis.

Taiichi Ohno foi um dos principais responsáveis pela consolidação desse sistema. Segundo Ohno (1997), sua base está na identificação e eliminação sistemática de desperdícios, como estoques excessivos, esperas, movimentações desnecessárias, defeitos e atividades que não agregam valor, associada à melhoria contínua dos processos.

Na construção civil, esses princípios deram origem ao Lean Construction, que adapta a lógica enxuta às particularidades dos canteiros de obras. Sua aplicação busca reduzir perdas de materiais e tempo, organizar os fluxos de trabalho, aumentar a produtividade e promover o aperfeiçoamento contínuo das atividades construtivas.

5.1.1. Origem do Lean

O Lean surgiu no Japão, a partir do Sistema Toyota de Produção, desenvolvido na década de 1950 sob a liderança de Taiichi Ohno. Diante das limitações do período pós-guerra, a Toyota estruturou um modelo voltado à redução de estoques e desperdícios, à organização do fluxo de trabalho e à melhoria da

qualidade, priorizando atividades que agregassem valor ao produto (SHINGO, 1996; OHNO, 1997).

Posteriormente, esse modelo ganhou projeção internacional com a denominação Lean Production e passou a ser aplicado em diferentes setores. Na construção civil, seus fundamentos foram adaptados por Koskela (1992), dando origem ao Lean Construction, abordagem que considera os fluxos de materiais, informações e mão de obra para reduzir perdas e tornar os processos construtivos mais eficientes.

5.1.2 Lean Thinking

O Lean Thinking, ou Pensamento Enxuto, sistematiza os fundamentos da Produção Enxuta com o objetivo de maximizar o valor entregue ao cliente e reduzir atividades que consomem recursos sem contribuir para o resultado final. Conforme Womack e Jones (1998), essa filosofia propõe uma análise integrada dos processos, orientada pela eliminação de desperdícios e pela melhoria contínua.

Os cinco princípios do Lean Thinking são: **definir valor** segundo as necessidades do cliente; **identificar o fluxo de valor**, distinguindo as etapas que agregam valor daquelas que geram perdas; **estabelecer fluxo contínuo**, evitando interrupções, esperas e gargalos; **implantar a produção puxada**, executando ou fornecendo apenas o que é solicitado, no momento necessário; e **buscar a perfeição**, por meio do aperfeiçoamento contínuo dos processos (WOMACK; JONES, 1998).

5.2 LEAN CONSTRUCTION

A Construção Enxuta, ou Lean Construction, corresponde à adaptação dos princípios da Produção Enxuta às características da construção civil. Conforme Koskela (1992), a produção deve ser compreendida não apenas como transformação de insumos, mas como um sistema que também envolve fluxos de materiais, informações, equipamentos e mão de obra.

No canteiro de obras, essa abordagem orienta o planejamento integrado, a organização das equipes, o controle dos materiais e a continuidade das atividades. Ao observar as relações entre as etapas, torna-se possível identificar esperas,

deslocamentos, estoques excessivos, retrabalhos e outros fatores que comprometem o desempenho do empreendimento.

Assim, o Lean Construction busca aumentar o valor entregue ao cliente, reduzir desperdícios e melhorar continuamente a produtividade, a qualidade e o cumprimento dos prazos. Sua aplicação exige participação das equipes, padronização, acompanhamento dos processos e decisões baseadas em informações confiáveis.

5.2.1. Origem do Lean Construction

O Lean Construction surgiu da adaptação dos princípios da Produção Enxuta às particularidades da construção civil. Em 1992, Lauri Koskela publicou o estudo *Application of the New Production Philosophy to Construction*, no qual propôs uma nova forma de compreender a produção na construção, considerando não apenas a transformação de insumos, mas também os fluxos de materiais, informações e mão de obra (KOSKELA, 1992).

Essa abordagem ampliou a visão tradicional, que se concentrava principalmente nas etapas de conversão, ao destacar a necessidade de controlar esperas, deslocamentos, estoques e outras atividades que não agregam valor. Dessa forma, o trabalho de Koskela (1992) estabeleceu as bases para um planejamento mais integrado, orientado à redução de perdas, à continuidade dos fluxos e à melhoria do desempenho dos empreendimentos.

5.2.2. Conceitos e Definições do Lean Construction

A Construção Enxuta, referida também como Lean Construction, consiste na transposição dos preceitos da Produção Enxuta para o setor da engenharia civil, visando o reconhecimento e a mitigação de tarefas que não conferem valor ao procedimento produtivo. De acordo com as perspectivas de Coelho (2009) e Reis (2004), tal metodologia favorece o decréscimo de perdas e o aprimoramento sistêmico, abrangendo desde a etapa de concepção até a finalização do empreendimento.

Segundo a proposição de Koskela (1992), a estrutura produtiva é constituída por processos de conversão e dinâmicas de fluxo. Enquanto as operações de conversão são responsáveis pela transmutação de matérias-primas em bens ou

serviços finais, os fluxos compreendem ações de logística, períodos de latência, deslocamentos e verificações de qualidade. Apesar de demandarem cronograma e insumos, nem todas essas fases resultam em valor agregado, o que demanda a detecção e o controle de ações que ocasionam ineficiências.

No ambiente de execução, o Lean Construction objetiva otimizar a circulação de insumos, mão de obra e dados, atenuando obstruções, tempos ociosos e desperdícios. Sob essa ótica, a Inteligência Artificial pode atuar como ferramenta de suporte no processamento de informações, reconhecimento de tendências, diagnóstico de pontos de retenção e antecipação de eventuais retardos, colaborando para uma gestão e supervisão mais eficazes das etapas de edificação.

5.2.3. Princípios do Lean Construction

Conforme postulado por Formoso (2002), a Construção Enxuta distancia-se dos modelos administrativos tradicionais ao analisar não somente as tarefas de transformação, mas igualmente as correntes de suprimentos, dados, força de trabalho e maquinário. Tal abordagem visa o reconhecimento e a mitigação de ações que falham em incorporar valor ao ciclo de edificação.

Segundo a perspectiva de Koskela (1992), os fundamentos basilares dessa metodologia compreendem a eliminação de etapas improdutivas, a regulação da instabilidade, a contração da duração dos ciclos operacionais, a facilitação dos métodos, a ampliação da visibilidade dos fluxos, a criação de valor e o aperfeiçoamento constante. A aplicação desses preceitos auxilia na contenção de períodos de inatividade, deslocamentos desnecessários, acúmulos de inventário, erros e outras formas de ineficiência.

Nesse cenário, a Inteligência Artificial apresenta-se como um recurso subsidiário ao Lean Construction, colaborando na supervisão do rendimento laboral, na detecção de desperdícios, no exame das sequências produtivas e na antecipação de cronogramas excedidos. Consequentemente, a sinergia entre as tecnologias de IA e a filosofia Lean pode favorecer deliberações mais assertivas e a otimização incessante das operações no ambiente da construção civil.

Dentre os preceitos formulados por Koskela (1992), sobressaem-se:

1. Minimização de tarefas desprovidas de valor agregado: consiste no reconhecimento e na mitigação de operações que, embora demandem recursos, não geram benefícios diretos ao projeto.

2. Atenuação da variabilidade: objetiva-se alcançar uma consistência superior e maior previsibilidade operacional por meio da redução de discrepâncias injustificadas no desempenho das funções.

3. Compressão do tempo de ciclo: refere-se à abreviação do período requerido para a finalização de cada fluxo de trabalho, priorizando a eliminação de períodos de inatividade e gargalos.

4. Racionalização de fluxos: busca a simplificação sistêmica através da redução do volume de fases e subtarefas indispensáveis para a entrega de uma prestação específica.

5. Ampliação da transparência: fundamenta-se na democratização de dados precisos acerca dos procedimentos, visando otimizar o monitoramento e a detecção precoce de anomalias.

6. Maximização do valor do produto: envolve a incorporação rigorosa das demandas e expectativas do consumidor final durante as etapas de concepção e implementação da obra.

7. Incremento da flexibilidade: propicia a reconfiguração dinâmica dos métodos produtivos para que estes se ajustem às exigências variáveis tanto do empreendimento quanto do contratante.

8. Promoção da melhoria contínua: incentiva a investigação permanente por avanços qualitativos nos sistemas de trabalho, integrando ativamente o capital humano diversificado que compõe a organização (KOSKELA, 1992).

A aplicação desses princípios pode ser fortalecida pelo uso da Inteligência Artificial, principalmente na coleta e análise de informações do canteiro. A IA pode

auxiliar na identificação de desperdícios, acompanhamento da produtividade, previsão de atrasos e reconhecimento de padrões nos processos. Dessa forma, a tecnologia pode atuar como ferramenta de apoio à aplicação do Lean Construction e à melhoria contínua da gestão das obras.

5.2.4 Ferramentas Lean

As metodologias fundamentadas no pensamento enxuto visam o reconhecimento e a mitigação de perdas, o aprimoramento da fluidez laboral e a maximização da eficiência produtiva no setor da construção civil (OHNO, 1997). Dentre os instrumentos predominantes, sobressaem-se o 5S, o Just in Time (JIT), o Kanban, o Last Planner System (LPS), a gestão visual e a filosofia Kaizen.

O método 5S colabora para a estruturação do espaço de trabalho, enquanto o JIT visa assegurar o fornecimento de insumos conforme a demanda imediata; simultaneamente, o Kanban atua no monitoramento visual e o LPS auxilia na programação e regulação produtiva. Adicionalmente, o Kaizen foca no aperfeiçoamento constante das etapas operacionais.

A Inteligência Artificial possui potencial para potencializar tais mecanismos através do processamento de informações relativas ao desempenho, recursos e prazos, facilitando o diagnóstico de ineficiências, a antecipação de gargalos e a fundamentação de escolhas estratégicas. Consequentemente, a convergência entre a Lean Construction e a IA pode promover uma administração mais assertiva e a otimização dos fluxos de trabalho nos canteiros.

5.2.4.1 Just In Time (JIT)

O Just In Time (JIT), um dos pilares do Sistema Toyota de Produção e da filosofia Lean, consiste em disponibilizar materiais e recursos no momento, quantidade e local necessários, reduzindo estoques, desperdícios e atrasos (OHNO, 1997). Na construção civil, sua aplicação contribui para melhorar a logística, evitar excesso ou falta de materiais e organizar o fluxo de atividades. Segundo Shingo (1996), sua eficiência depende do planejamento e do acompanhamento contínuo dos processos. Nesse contexto, a Inteligência Artificial pode auxiliar na análise de dados sobre consumo, prazos e produtividade, permitindo prever demandas de materiais e identificar possíveis faltas ou excessos, contribuindo para uma gestão mais eficiente dos recursos no canteiro de obras.

5.2.4.2 Kanban (Sistema de Cartões)

Derivada do Sistema Toyota de Produção, a metodologia Kanban constitui um instrumento de monitoramento visual fundamentado na lógica da produção puxada, empregado tanto para indicar a demanda por insumos quanto para monitorar a evolução dos processos operacionais (ARANTES, 2008; LIKER, 2005). No setor da construção civil, essa técnica favorece a regulação de suprimentos, o ordenamento de tarefas e a mitigação tanto de inventários sobressalentes quanto da escassez de recursos. Segundo a perspectiva de Ohno (1997), o Kanban atua como um mecanismo de comunicação elementar e objetivo dentro do fluxo produtivo. Ao ser associado à Inteligência Artificial, as informações geradas permitem o reconhecimento de tendências de consumo, a antecipação de demandas de reabastecimento e o suporte à programação das atividades, promovendo uma otimização superior na administração do canteiro de obras.

5.2.4.3 Jidoka (Automação)

O conceito de Jidoka, definido como a automação dotada de independência para reconhecer desvios, baseia-se na pausa imediata da produção ao se notar qualquer falha, o que possibilita a avaliação e o ajuste do erro antes que a tarefa prossiga (ARANTES, 2008; OHNO, 1997). No ambiente das construções, tal método auxilia no monitoramento qualitativo de etapas como a aplicação de revestimentos, montagem de alvenarias, instalações e lançamentos de concreto, diminuindo a ocorrência de imperfeições, perdas materiais e a necessidade de refazer atividades. Nesse cenário, o uso da Inteligência Artificial serve como suporte ao Jidoka, processando registros visuais e informações da execução da obra para apontar irregularidades potenciais e notificar os gestores, o que agiliza as intervenções de correção e o aprimoramento dos fluxos de trabalho.

5.2.4.4 Kaizen

O conceito de Kaizen constitui uma abordagem filosófica de origem japonesa fundamentada no aprimoramento incessante dos fluxos operacionais, demandando a participação de diversas instâncias organizacionais no diagnóstico de lacunas e na elaboração de resoluções incrementais (SLACK et al., 2008; IMAI, 1994). No âmbito da indústria da construção civil, a implementação dessa metodologia favorece a mitigação de perdas, o incremento da eficiência produtiva, a estruturação das tarefas e a retificação de gargalos atinentes a insumos, cronogramas e à operacionalização

das frentes de trabalho. Quando articulado ao ciclo PDCA, o Kaizen viabiliza a sistematização do planejamento, execução, monitoramento de desempenho e calibração constante das atividades (GHINATO, 2000). Dentro dessa perspectiva, a Inteligência Artificial atua como um recurso suplementar a essa filosofia, processando dados provenientes do canteiro de obras para detectar padrões e determinantes de anomalias, gerando, assim, subsídios informacionais que corroboram a gestão decisória e a otimização processual.

5.2.4.5 Ciclo PDCA

O Ciclo PDCA constitui uma metodologia voltada ao aperfeiçoamento constante, segmentada nas fases de Planejar, Executar, Verificar e Agir, a qual viabiliza o diagnóstico de adversidades, a aplicação de resoluções, a mensuração de desfechos e o ajuste de desvios (CAMPOS, 1992). No contexto da Construção Enxuta, o emprego dessa técnica auxilia no monitoramento de tarefas e na detecção de desperdícios, erros, descumprimentos de prazos e obstruções no fluxo produtivo. A Inteligência Artificial atua de forma suplementar ao PDCA ao processar volumes de dados, confrontar métricas de desempenho e sinalizar irregularidades, oferecendo suporte substancial especialmente nos estágios de planejamento e controle. Consequentemente, a convergência entre o PDCA, o Lean Construction e a IA pode fundamentar a gestão estratégica em evidências quantitativas, promovendo a evolução sistemática das metodologias de construção.

5.2.4.6 Os 5 Sensos (5S)

O 5S constitui um instrumento da metodologia Lean direcionado à estruturação, higienização, normatização e rigor comportamental no contexto laboral, colaborando para a mitigação de desperdícios e o incremento da produtividade (ISHIKAWA, 1993). Tal método é composto por cinco preceitos fundamentais: Seiri (Utilização), Seiton (Ordenação), Seisou (Limpeza), Seiketsu (Padronização) e Shitsuke (Autodisciplina). No âmbito da construção civil, a implementação desta técnica otimiza o arranjo de insumos, maquinários e áreas físicas, resultando em processos operacionais dotados de maior eficácia e segurança. Adicionalmente, a Inteligência Artificial apresenta potencial para integrar-se ao 5S através de mecanismos de vigilância e processamento de imagens, facilitando o reconhecimento de desarranjos, componentes deslocados e demais irregularidades que demandem intervenções corretivas.

6. CONCLUSÃO

A presente investigação examinou a implementação da Inteligência Artificial em conjunto com os preceitos e instrumentos do Lean Construction no ambiente de execução de obras. Por meio de um levantamento bibliográfico, demonstrou-se que o setor da construção civil lida com obstáculos pertinentes a perdas produtivas, eficiência, despesas, cronogramas e aproveitamento de insumos, ao passo que a filosofia Lean visa mitigar tarefas desprovidas de valor agregado e fomentar o aperfeiçoamento constante.

Sob essa ótica, a Inteligência Artificial serve como um mecanismo de suporte para o processamento de dados, detecção de desperdícios, monitoramento do rendimento laboral, gestão de suprimentos, antecipação de retardos cronológicos e auxílio em deliberações estratégicas. A convergência entre IA e Lean Construction possui o potencial de favorecer fluxos de trabalho mais estruturados e eficazes, ainda que o envolvimento e o conhecimento técnico dos especialistas permaneçam imprescindíveis para a decodificação de dados e o estabelecimento de medidas pertinentes.

Adicionalmente, foram reconhecidas barreiras ligadas ao aporte financeiro, à qualificação da mão de obra, à integridade das informações, à assimilação tecnológica pelos colaboradores e à interoperabilidade sistêmica. Consequentemente, a incorporação da IA deve levar em conta as particularidades e demandas específicas de cada projeto. Depreende-se que a sinergia entre Inteligência Artificial e Lean Construction demonstra capacidade para diminuir ineficiências, elevar a produtividade e otimizar a gestão e o planejamento das construções, sendo sugerida a condução de pesquisas empíricas que mensurem sua viabilidade em variados modelos de empreendimentos.

REFERÊNCIAS

ALVAREZ, Roberto dos Reis; ANTUNES JÚNIOR, José Antônio Valle. Takt-time: conceitos e contextualização dentro do Sistema Toyota de Produção. *Gestão & Produção*, São Carlos, v. 8, n. 1, p. 1-18, 2001.

ARANTES, Paulo César Fonseca. *Lean Construction: filosofia e metodologias*. 2008. Dissertação (Mestrado) – Universidade do Porto, Porto, 2008.

BARROS NETO, José de Paula; ALVES, Thaís da Costa Lago. *Análise do processo de planejamento de empreendimentos habitacionais*. 2008.

CAMPOS, Vicente Falconi. *TQC: controle da qualidade total (no estilo japonês)*. 8. ed. Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni, 1992.

CAMPOS, Vicente Falconi. *Gerenciamento pelas diretrizes*. 4. ed. Belo Horizonte: INDG Tecnologia e Serviços, 2004.

CHIAVENATO, Idalberto. *Administração nos novos tempos*. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2004.

COELHO, Henrique Otávio. *Diretrizes e requisitos para implantação do sistema de planejamento e controle da produção em micro e pequenas empresas de construção civil*. 2009.

DAVIS, Mark M.; AQUILANO, Nicholas J.; CHASE, Richard B. *Fundamentos da administração da produção*. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.

FORMOSO, Carlos Torres. *Lean Construction: princípios básicos e exemplos*. Porto Alegre: NORIE/UFRGS, 2002.

GHINATO, Paulo. *Produção & competitividade: aplicações e inovações*. Recife: Editora da UFPE, 2000.

HOWELL, Gregory A. What is Lean Construction? *Proceedings of the 7th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, Berkeley, 1999.

IMAI, Masaaki. *Kaizen: a estratégia para o sucesso competitivo*. 5. ed. São Paulo: Instituto IMAM, 1994.

ISHIKAWA, Kaoru. *Controle de qualidade total: à maneira japonesa*. Rio de Janeiro: Campus, 1993.

ISATTO, Eduardo Luis et al. *Lean Construction: diretrizes e ferramentas para o controle de perdas na construção civil*. Porto Alegre: SEBRAE/RS, 2000.

KOSKELA, Lauri. *Application of the new production philosophy to construction*. Stanford: CIFE, Stanford University, 1992. Technical Report n. 72.

KOSKELA, Lauri. An exploration towards a production theory and its application to construction. 2000. Thesis (Doctor of Technology) – Helsinki University of Technology, Espoo, 2000.

LIKER, Jeffrey K. *O modelo Toyota: 14 princípios de gestão do maior fabricante do mundo*. Porto Alegre: Bookman, 2005.

OHNO, Taiichi. *O sistema Toyota de produção: além da produção em larga escala*. Porto Alegre: Bookman, 1997.

PICCHI, Flávio Augusto. Oportunidades da aplicação do Lean Thinking na construção. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 4, n. 1, p. 7-23, 2004.

REIS, Paula Cristina. *Aplicação dos princípios da construção enxuta em uma empresa de construção civil*. 2004.

SARCINELLI, Wanessa Tatagiba. *Construção enxuta através da padronização de tarefas e projetos*. Vitória: Universidade Federal do Espírito Santo, 2008.

SHINGO, Shigeo. *O sistema Toyota de produção: do ponto de vista da engenharia de produção*. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 1996.

SLACK, Nigel; CHAMBERS, Stuart; JOHNSTON, Robert. *Administração da produção*. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

WOMACK, James P.; JONES, Daniel T. *A mentalidade enxuta nas empresas: elimine o desperdício e crie riqueza*. Rio de Janeiro: Campus, 1998.

WOMACK, James P.; JONES, Daniel T.; ROOS, Daniel. *A máquina que mudou o mundo*. 11. ed. Rio de Janeiro: Campus, 2004.

YIN, Robert K. *Estudo de caso: planejamento e métodos*. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2010.