

Lean 4.0 E Kaizen Digital Na Prática: Maturidade, Cultura E Inovação Operacional

Douglas Rodarte Moreno

Pós-Graduação Em Engenharia De Produção Da Faculdade Anhanguera De Campinas,

Resumo:

O presente artigo analisa a convergência entre os princípios do Lean Manufacturing e as tecnologias emergentes da Indústria 4.0, com foco na ressignificação da melhoria contínua no ambiente produtivo digitalizado. A pesquisa adotou abordagem qualitativa, exploratória e bibliográfica, estruturada por meio de revisão sistemática da literatura e análise documental de estudos de caso técnico-científicos publicados entre 2010 e 2024. O objetivo foi compreender como o Kaizen, enquanto prática clássica de aperfeiçoamento incremental, é reinterpretado à luz de soluções como Internet das Coisas (IoT), Digital Twin e sistemas analíticos em tempo real. Os resultados evidenciam que o Lean 4.0 representa uma evolução operacional do modelo enxuto, potencializada por tecnologias que ampliam a velocidade, a precisão e a autonomia das decisões produtivas. Contudo, a efetividade dessa transição depende diretamente da maturidade digital das organizações e de sua capacidade de promover mudanças culturais, estruturais e comportamentais. Conclui-se que a integração bem-sucedida entre Lean e Indústria 4.0 exige liderança adaptativa, alinhamento estratégico e uma base sólida de práticas enxutas já internalizadas. O estudo também identifica a escassez de investigações aplicadas a médias empresas latino-americanas, sugerindo caminhos para pesquisas futuras sobre adaptação local do Kaizen Digital.

Palavras-chave: Lean 4.0; Kaizen Digital; Indústria 4.0; Digital Twin; Análise de Conteúdo.

Date of Submission: 27-04-2025

Date of Acceptance: 07-05-2025

I. Introdução

A busca por eficiência, flexibilidade e competitividade tem levado organizações industriais a reavaliar suas estratégias produtivas diante das transformações tecnológicas contemporâneas. Nesse cenário, o Lean Manufacturing — consolidado como uma filosofia de gestão centrada na eliminação de desperdícios, padronização e foco no cliente — permanece relevante, mas passa a coexistir com os desafios impostos pela digitalização dos processos. A Indústria 4.0, ao integrar automação inteligente, conectividade avançada e análise de dados em tempo real, reconfigura o ambiente fabril e promove novas possibilidades de articulação entre práticas enxutas e tecnologias emergentes.

Entre essas práticas, destaca-se o Kaizen, cuja essência reside na melhoria contínua por meio da participação colaborativa dos trabalhadores. Com o avanço tecnológico, essa lógica passou a incorporar ferramentas digitais, como Internet das Coisas (IoT), Digital Twin e sistemas de análise preditiva, originando o que se tem denominado Kaizen Digital — uma abordagem em que ciclos de melhoria são conduzidos com base em dados operacionais e decisões automatizadas.

A relevância deste estudo reside na necessidade de compreender como os fundamentos clássicos do pensamento enxuto estão sendo ressignificados no contexto da Indústria 4.0. A investigação propõe uma contribuição teórica, ao revisar criticamente os conceitos envolvidos, e prática, ao reunir evidências que possam orientar empresas em processo de transformação digital. O objetivo central consiste em analisar de que modo os princípios do Lean Manufacturing e do Kaizen estão sendo integrados às tecnologias emergentes, com vistas à sustentação de processos produtivos mais ágeis, responsivos e orientados à geração de valor.

II. Método

Tipo de Pesquisa

Este estudo adota abordagem qualitativa, exploratória e bibliográfica. A pesquisa qualitativa permite interpretar fenômenos complexos com base em evidências documentais (Godoy, 1995). Em termos de finalidade, caracteriza-se como exploratória, uma vez que investiga uma área em expansão — a integração entre o Lean Manufacturing e as tecnologias da Indústria 4.0 — cuja literatura nacional ainda carece de sistematização (Gil, 1996).

A base de sustentação é bibliográfica, conforme Hart (1998), fundamentando-se na análise de livros, artigos científicos, documentos técnicos e estudos de caso disponíveis em bases indexadas de alta relevância acadêmica.

Procedimentos Metodológicos

Revisão Sistemática da Literatura

A revisão foi conduzida com base nas diretrizes de Kitchenham (2004), priorizando rigor metodológico e transparência na triagem. As buscas foram realizadas em 10 de março de 2025, nas seguintes bases: *ScienceDirect*, “Emerald Insight”, *Web of Science*, “Google Scholar” e o Portal de Periódicos da *CAPES*.

Strings de busca aplicadas: ("Lean 4.0" OR "Digital Kaizen") AND ("Industry 4.0" OR "Indústria 4.0") AND ("case study" OR "estudo de caso" OR "empirical") AND (2010–2024).

Tabela 1: Etapas e Resultados do Processo de Seleção

| Etapa | Quantidade de Documentos |
|--------------------------------------|--------------------------|
| Identificação inicial nas bases | 234 |
| Após triagem de títulos e resumos | 96 |
| Selecionados após leitura completa | 42 |
| Duplicatas removidas com Mendeley | 18 |
| Total final de documentos analisados | 42 |

Fonte: Elaborado pelo autor com base em dados obtidos em *ScienceDirect*, “Emerald Insight”, *Web of Science*, *Google Scholar* e Portal *CAPES* (busca realizada em 10 mar. 2025).

Tabela 2: Quebra por Base de Dados

| Base Consultada | Documentos Inicialmente Retornados |
|-----------------------|------------------------------------|
| <i>ScienceDirect</i> | 80 |
| “Emerald Insight” | 50 |
| <i>Google Scholar</i> | 60 |
| <i>Web of Science</i> | 30 |
| Portal <i>CAPES</i> | 14 |

Fonte: Dados obtidos a partir da aplicação da string de busca nas respectivas bases de dados científicas (busca realizada em 10 mar. 2025).

Tabela 3: Critérios de Inclusão e Exclusão

| Critério | Inclusão | Exclusão |
|---------------------|---|--|
| Período | Publicações entre 2010 e 2024 | Antes de 2010 |
| Idioma | Português e Inglês | Outros idiomas |
| Tipo de estudo | Revisões sistemáticas, estudos de caso empíricos e artigos teóricos | Relatos de opinião, white papers sem base empírica |
| Relevância temática | Foco em Lean 4.0, Kaizen Digital ou tecnologias aplicadas ao Lean | Artigos genéricos sobre Indústria 4.0 sem enfoque Lean |

Fonte: Adaptado da metodologia de Kitchenham (2004), aplicada às buscas conduzidas em bases científicas no período de 10 mar. 2025.

A gestão das referências, extrações e remoção de duplicatas foi realizada com o software Mendeley (versão 2024), garantindo rastreabilidade e organização do corpus.

Análise Documental

Foram analisados 20 documentos técnicos e estudos de caso secundários, obtidos de relatórios empresariais e publicações institucionais confiáveis. A análise documental seguiu os critérios de Cellard (2008), considerando:

- Autenticidade: origem institucional e credibilidade das fontes;
- Representatividade: aderência ao contexto latino-americano e ao setor industrial;
- Coerência interna: articulação lógica entre objetivos, métodos e resultados apresentados.

Estudo Comparativo

A partir da base consolidada (42 artigos + 20 documentos técnicos), foi realizada uma comparação entre:

1. Modelos clássicos de Lean Manufacturing (Ohno, 1997; Imai, 1986);
2. Abordagens contemporâneas de Lean 4.0 (Kolberg & Zühlke, 2015; Buer et al., 2018).

A análise comparativa identificou convergências conceituais, mudanças de foco operacional e impactos gerenciais decorrentes da integração com tecnologias digitais.

Análise de Conteúdo com MAXQDA

A etapa final consistiu na análise de conteúdo temática, conforme Bardin (2016), com apoio do software MAXQDA (versão acadêmica 2024). Todos os textos selecionados foram codificados com base em quatro categorias analíticas, definidas conforme os objetivos da pesquisa:

Tabela 4: Categorias Analíticas do MAXQDA

| Código | Categoria | Descrição |
|--------|-------------------------|--|
| C1 | Fundamentos Lean | Referências a 5S, Kanban, SMED, Kaizen, TPM e princípios enxutos clássicos |
| C2 | Tecnologias 4.0 | Ocorrências de IoT, Digital Twin, Big Data, IA e sistemas ciber-físicos |
| C3 | Desafios de Integração | Barreiras culturais, maturidade digital, resistência à mudança |
| C4 | Resultados Operacionais | Dados sobre OEE, tempo de setup, lead time, redução de falhas |

Fonte: Categorização elaborada com base na análise de conteúdo segundo Bardin (2016), utilizando o software MAXQDA (versão acadêmica 2024).

O uso do MAXQDA possibilitou tanto a análise qualitativa de significados quanto a quantificação de frequência temática por tipo de documento.

Delimitações da Pesquisa

O estudo concentrou-se em publicações sobre Lean Manufacturing, Indústria 4.0 e Lean 4.0, no período de 2010 a 2024, priorizando produções em português e inglês com enfoque no contexto industrial latino-americano. Não foram coletados dados primários (entrevistas, formulários ou observações diretas).

Limitações da Pesquisa

- A dependência de fontes secundárias limitou o acesso a contextos operacionais internos das organizações;
- Não houve realização de entrevistas com gestores ou especialistas, o que poderia enriquecer a interpretação prática dos resultados;
- O recorte temporal e temático seguiu critérios definidos, mas pode não abranger estudos mais recentes ainda em fase de publicação.

Essas limitações reforçam a importância de estudos futuros com abordagem empírica direta, incluindo entrevistas semiestruturadas e estudos de caso longitudinal, especialmente em empresas de médio porte no Brasil e na América Latina.

III. Referencial Teórico

Lean Manufacturing e Kaizen: Fundamentos Clássicos

O Lean Manufacturing surgiu a partir do Sistema Toyota de Produção (STP), desenvolvido no Japão no período pós-Segunda Guerra Mundial, como resposta à escassez de recursos e à necessidade de máxima eficiência (Ohno, 1997). Popularizado no Ocidente por Womack, Jones e Roos (1990), o termo "lean" passou a designar um modelo de gestão orientado à eliminação de desperdícios (muda), à melhoria contínua e à geração de valor com base nas necessidades do cliente. Essa filosofia é sustentada por uma visão sistêmica dos fluxos produtivos, pelo envolvimento dos trabalhadores na resolução de problemas e por práticas padronizadas que viabilizam a estabilidade operacional. Imai (1986) destacou o Kaizen como um dos pilares desse pensamento, definindo-o como um processo de aperfeiçoamento incremental, contínuo e participativo. Para Shingo (1996), é fundamental distinguir operação (atividade local) de processo (fluxo total), a fim de promover intervenções alinhadas à lógica enxuta.

A aplicação do Lean ocorre por meio de ferramentas que operacionalizam seus princípios em nível do chão de fábrica. Entre as mais difundidas, destacam-se o **5S**, voltado à organização do ambiente; o **Kanban**, que regula o fluxo de produção com base na demanda real; e o **TPM** (Total Productive Maintenance), que integra equipes à manutenção preventiva dos equipamentos. Essas ferramentas estruturam o cotidiano produtivo, fortalecem a padronização e facilitam a detecção precoce de desvios.

Quadro 1 – Ferramentas Lean selecionadas

| Ferramenta | Finalidade principal |
|------------|--|
| 5S | Organização e padronização do ambiente de trabalho |
| Kanban | Controle visual e puxado do fluxo produtivo |
| TPM | Manutenção produtiva total e prevenção de falhas |

Fonte: Adaptado de Marchwinski e Shook (2007); Shingo (1996).

Além de suas aplicações operacionais, o Lean Manufacturing consolidou-se como uma filosofia estratégica voltada à geração de valor sistêmico, flexibilidade diante das variações da demanda e sustentabilidade

competitiva. Essa abordagem pressupõe liderança engajada, padronização inteligente e uso contínuo de indicadores para embasar decisões. Shingo (1996) argumenta que a eficácia do Lean depende da distinção entre operação — o que é executado por pessoas e máquinas — e processo — o fluxo completo de materiais e informações.

Melhorar a produção, portanto, exige intervenções articuladas nesses dois níveis. Com o avanço das tecnologias digitais, os limites tradicionais dessas categorias têm sido tensionados, evidenciando a necessidade de compreender como o pensamento enxuto pode ser ressignificado e ampliado em ambientes produtivos conectados e orientados por dados.

Indústria 4.0: Conceitos e Tecnologias Emergentes

Com o avanço das tecnologias digitais, o ambiente produtivo passa por uma reconfiguração profunda, caracterizada pela convergência entre automação, conectividade e análise de dados. A expressão Indústria 4.0 foi formalizada em 2011, em uma iniciativa estratégica do governo alemão, e passou a ser utilizada internacionalmente para designar a quarta revolução industrial, marcada pela integração de sistemas físicos e digitais em ambientes fabris (Kagermann et al., 2013).

Entre as tecnologias centrais dessa nova fase produtiva, destaca-se a Internet das Coisas (IoT), que permite a interconexão entre máquinas, sensores e dispositivos, viabilizando a coleta contínua de dados diretamente do chão de fábrica. Esses dados são processados em tempo real, promovendo respostas rápidas e ajustando dinamicamente os processos produtivos.

Outro conceito fundamental é o de Digital Twin, definido por Lee et al. (2015) como uma réplica digital de ativos físicos. Essa tecnologia permite a simulação, o monitoramento contínuo e a análise preditiva de sistemas industriais, otimizando a tomada de decisões e antecipando falhas operacionais.

Complementarmente, o uso de analytics em tempo real potencializa a eficiência fabril ao transformar grandes volumes de dados operacionais em insights acionáveis. Conforme Ghobakhloo (2020), a capacidade de prever gargalos, ajustar estoques e programar manutenções de forma preditiva resulta em ganhos expressivos de produtividade e qualidade.

A Indústria 4.0, portanto, não substitui os fundamentos da filosofia Lean, mas promove sua expansão por meio da inteligência digital. Nesse contexto, delinea-se o conceito de Lean 4.0, no qual os princípios enxutos são ressignificados à luz das tecnologias emergentes e da cultura orientada por dados.

Lean 4.0: Integração entre Filosofia Enxuta e Digitalização

A consolidação da Indústria 4.0, com seus sistemas produtivos inteligentes e tecnologias de análise preditiva, tem modificado profundamente a forma como os princípios do Lean Manufacturing e do Kaizen são aplicados no ambiente industrial contemporâneo. Essa convergência é conceituada na literatura como Lean 4.0 — abordagem que articula os fundamentos da manufatura enxuta com os recursos digitais da quarta revolução industrial (Kolberg; Zühlke, 2015; Buer; Strandhagen; Chan, 2018).

Diferentemente de uma ruptura, o Lean 4.0 representa uma evolução operacional. Os princípios originais, como eliminação de desperdícios e foco na melhoria contínua, são preservados, mas operacionalizados com base em tecnologias como sensores conectados, análise de dados em tempo real e automação descentralizada. Sony e Naik (2020) ressaltam que essa integração permite superar limitações clássicas do Lean tradicional, como a baixa capacidade de monitoramento em tempo real e a dependência de observação humana.

A estrutura híbrida do Lean 4.0 permite que ferramentas clássicas — como Kanban, SMED ou VSM — sejam combinadas a gêmeos digitais, painéis de controle automatizados e sistemas baseados em machine learning. Um exemplo prático é apresentado por Tortorella et al. (2021), em estudo de caso de uma indústria farmacêutica, onde a instalação de sensores inteligentes nos pontos críticos da cadeia logística reduziu perdas operacionais e aumentou a precisão no controle de inventário. Resultados semelhantes também foram observados por Kamble et al. (2022), que destacam ganhos em OEE com o uso de Digital Twin em linhas de montagem automatizadas.

Além dos ganhos técnicos, a adoção do Lean 4.0 exige uma reconfiguração cultural. O processo decisório deixa de ser exclusivamente humano e passa a depender de sistemas preditivos e interfaces digitais, exigindo das equipes novas competências em gestão de dados e atuação colaborativa. O papel do Kaizen é ampliado, não como substituição de pessoas, mas como evolução da participação ativa em ambientes conectados.

Essa transição, entretanto, apresenta desafios importantes: baixa maturidade digital, resistência à automação e dificuldade de integração entre sistemas legados e plataformas emergentes. Superar esses obstáculos depende da capacidade organizacional de alinhar tecnologia, processos e pessoas. Quando conduzida de forma estratégica e participativa, essa transformação revela-se sustentável e alinhada à lógica de criação contínua de valor.

Modelos de Maturidade Digital

A transição para o Lean 4.0 exige não apenas investimento tecnológico, mas também o diagnóstico do grau de prontidão digital das organizações. Para isso, diversos frameworks de maturidade têm sido desenvolvidos, com destaque para o Smart Industry Readiness Index (SIRI), criado pelo governo de Singapura em parceria com o World Economic Forum. O modelo foi adotado internacionalmente por sua abordagem objetiva e aplicável a diferentes setores industriais.

O SIRI estrutura a avaliação da maturidade digital em três pilares centrais — tecnologia, processo e organização — desdobrados em oito dimensões e avaliados em cinco níveis de evolução, do estágio inicial até a operação autônoma. Esse referencial permite mapear lacunas, estabelecer metas realistas e orientar a integração progressiva de tecnologias da Indústria 4.0 em consonância com os princípios do pensamento enxuto.

Embora existam outras abordagens, como o framework de Schneider et al. (2021), que enfatizam a maturidade digital sob a ótica da cultura organizacional, tais modelos apresentam menor aplicabilidade prática em ambientes industriais. Por isso, optou-se por adotar o modelo SIRI como referência principal para esta análise, dada sua estrutura mais aderente à lógica operacional do Lean 4.0.

O modelo SIRI (Smart Industry Readiness Index) tem sido amplamente utilizado para mensurar o grau de prontidão digital das empresas. Para fins de síntese, pode-se agrupar os estágios de maturidade em três categorias-chave, conforme apresentado a seguir:

A seguir, apresenta-se a estrutura resumida do modelo SIRI:

Quadro 2 – Níveis de maturidade digital segundo o modelo SIRI

| Nível | Descrição |
|-----------|---|
| Iniciante | Automação pontual, sem integração entre sistemas |
| Integrado | Sistemas conectados e análise de dados em tempo real |
| Autônomo | Processos autoajustáveis com uso de IA e previsão de falhas |

Fonte: Adaptado de World Economic Forum (2022).

O estágio **Iniciante** representa empresas que adotam tecnologias de forma isolada, sem integração entre sistemas ou uso estruturado de dados. O nível **Integrado** descreve organizações que alcançaram interconectividade entre processos e utilizam informações em tempo real para orientar decisões. Já o estágio **Autônomo** representa o patamar mais avançado, no qual sistemas são capazes de executar ajustes de forma preditiva e autônoma, com apoio de inteligência artificial.

Desafios de Implementação e Mudança Cultural

A integração entre os princípios do Lean Manufacturing e as tecnologias da Indústria 4.0 demanda mais do que mudanças técnicas — requer uma profunda transformação cultural. Esse processo desafia rotinas arraigadas, práticas hierárquicas e percepções de controle que predominam em muitas organizações industriais. Mesmo em contextos tecnologicamente preparados, a resistência à mudança, especialmente entre operadores e gestores intermediários, emerge como um dos principais entraves à implementação efetiva do Lean 4.0.

A transição para o digital frequentemente desperta sentimento de insegurança, vinculados à perda de autonomia ou à ideia de vigilância reforçada por sensores, dashboards e sistemas analíticos. Para mitigar esses efeitos, é necessário adotar estratégias de gestão da mudança que atuem tanto sobre aspectos racionais quanto emocionais do engajamento organizacional.

O modelo proposto por **Kotter (1996) oferece** uma estrutura consolidada para condução de processos transformacionais, baseada em oito etapas interdependentes. No contexto do Lean 4.0, destacam-se como práticas-chave: o estabelecimento de um senso coletivo de urgência, a construção de coalizões internas capazes de sustentar o processo e a geração de pequenas vitórias que reforcem o comprometimento ao longo do tempo. Essas ações favorecem a internalização das mudanças, reduzindo resistências e promovendo alinhamento entre metas tecnológicas e comportamentos operacionais.

Complementando essa perspectiva, Bomber (2020) enfatiza a necessidade de desenvolver uma cultura organizacional voltada à alfabetização digital, à aprendizagem contínua e à inteligência emocional como competências estruturantes para a adaptação em ambientes fabris conectados. O desenvolvimento de lideranças inspiradoras, capazes de comunicar sentido e criar espaços de escuta ativa, torna-se elemento decisivo para a sustentabilidade das transformações.

No caso específico do Kaizen Digital, esse novo ambiente exige que a melhoria contínua seja conduzida com base em dados, ciclos curtos de retroalimentação e equipes com autonomia interpretativa. Esse perfil pressupõe a superação de modelos verticais rígidos e o fortalecimento da confiança entre setores. Sem essa adaptação cultural, os avanços tecnológicos correm o risco de permanecer subutilizados, restringindo a efetividade do Lean 4.0.

Lacunas da Literatura

A revisão teórica sobre Lean Manufacturing, Indústria 4.0 e Lean 4.0 permitiu identificar avanços importantes no entendimento conceitual e na aplicação de tecnologias digitais em ambientes produtivos. No entanto, persiste uma lacuna crítica na literatura: a escassez de estudos empíricos voltados às médias empresas latino-americanas. A maior parte das investigações concentra-se em grandes corporações localizadas na Europa, nos Estados Unidos ou na Ásia, o que compromete a representatividade dos achados para contextos marcados por limitações estruturais, baixa automação e culturas organizacionais menos digitalizadas.

Essa ausência é particularmente preocupante, considerando que as médias empresas constituem parcela expressiva da atividade industrial na América Latina e enfrentam desafios específicos na transição para o Lean 4.0 — como a baixa maturidade digital, a dificuldade de acesso a tecnologias de ponta e a escassez de políticas públicas de apoio à inovação. Compreender como essas organizações internalizam princípios enxutos e integram soluções digitais é essencial para delinear estratégias realistas e inclusivas de transformação produtiva.

Além dessa lacuna prioritária, observa-se ainda a ausência de um framework estruturado para o Kaizen Digital e a pouca articulação entre aspectos culturais e tecnológicos na literatura sobre transformação digital industrial — elementos que, embora relevantes, permanecem marginalizados nas investigações atuais.

IV. Análise Comparativa Das Abordagens Lean E Lean 4.0: Convergências E Desafios Atuais

A análise comparativa entre o modelo tradicional do Lean Manufacturing e sua vertente digitalizada, conhecida como Lean 4.0, evidencia um processo de continuidade conceitual com significativa transformação operacional. Embora ambos compartilhem fundamentos como a eliminação de desperdícios, a melhoria contínua e o foco no cliente, divergem quanto aos meios empregados para alcançar tais objetivos.

No Lean clássico, a gestão é baseada em observação empírica, indicadores visuais e ferramentas operacionais como 5S, Kanban e SMED. A atuação dos operadores é direta, com envolvimento ativo na resolução de problemas por meio da experiência e da gestão visual. Já no Lean 4.0, os princípios se mantêm, mas os processos são automatizados, orientados por sensores, algoritmos e análise de dados em tempo real, reduzindo a subjetividade e aumentando a precisão.

Essa digitalização transforma o papel do operador, que deixa de ser apenas executor para tornar-se intérprete de dados e agente de melhoria conectada. As decisões passam a ser fundamentadas em evidências analíticas, o que exige maturidade digital e capacidade de integração entre tecnologia e pensamento enxuto. A seguir, apresenta-se a síntese comparativa:

Quadro 3 – Comparativo entre Lean Tradicional e Lean 4.0

| Dimensão | Lean Tradicional | Lean 4.0 |
|----------------------|---|--|
| Base de decisão | Observação empírica e indicadores visuais | Análise preditiva e dados em tempo real |
| Ferramentas | 5S, Kanban, SMED | IoT, Digital Twin, Big Data, dashboards |
| Papel do operador | Executor e observador direto | Intérprete de dados e agente de melhoria digital |
| Gestão da informação | Coleta manual e periódica | Coleta automatizada, contínua e integrada |

Fonte: Adaptado de Kolberg e Zühlke (2015); Buer et al. (2018); Schneider et al. (2021); Tortorella et al. (2021).

Estudos empíricos, como o de Tortorella et al. (2021), confirmam que empresas com cultura Lean consolidada alcançam melhores resultados ao adotar tecnologias digitais. Em contrapartida, a inserção isolada de soluções 4.0, sem estrutura enxuta de base, tende a gerar “desperdícios digitais”, como baixa produtividade e processos redundantes (Sony; Naik, 2020). Esses achados reforçam a ideia de que a eficácia do Lean 4.0 depende de maturidade organizacional, alinhamento cultural e gestão estratégica da transformação digital.

V. Discussão Dos Resultados

A análise desenvolvida neste estudo evidencia que a transição do Lean tradicional para o Lean 4.0 não rompe com os fundamentos da filosofia enxuta, mas redefine seus mecanismos de execução. O princípio da melhoria contínua mantém-se central, mas passa a ser operacionalizado com base em dados em tempo real, automação descentralizada e inteligência analítica. Essa mudança de paradigma amplia a escalabilidade dos ciclos de Kaizen, reduz a subjetividade das decisões e favorece respostas mais rápidas frente às variações do processo produtivo.

Contudo, os dados analisados demonstram que a efetividade do Lean 4.0 está diretamente condicionada ao grau de maturidade digital das organizações. Empresas com baixa integração de sistemas, ausência de cultura analítica ou resistência à mudança tendem a enfrentar o que a literatura denomina “desperdícios digitais” — situações em que tecnologias são implementadas sem alinhamento estratégico com os princípios enxutos, gerando complexidade e consumo de recursos sem retorno tangível. Modelos como o Smart Industry Readiness Index

(SIRI) reforçam essa constatação ao indicar que os estágios iniciais de maturidade exigem ações estruturantes antes da digitalização plena. A combinação entre pensamento Lean e infraestrutura digital, portanto, exige planejamento gradual e sinergia entre tecnologia, processo e cultura organizacional.

A segunda implicação refere-se à ressignificação do papel humano nos ambientes industriais conectados. Operadores e gestores deixam de atuar apenas como executores e passam a assumir funções interpretativas e decisórias baseadas em dados. Essa nova configuração demanda o desenvolvimento de competências digitais, inteligência contextual e capacidade de adaptação contínua. Mais do que adotar tecnologias, as organizações precisam fomentar lideranças transformadoras, fortalecer a confiança entre equipes e consolidar uma cultura de aprendizagem ativa e participação descentralizada.

Essas implicações sugerem que o avanço do Lean 4.0 depende menos da sofisticação tecnológica em si, e mais da coerência entre estratégia, cultura e capacidade de absorção organizacional. O diferencial competitivo, nesse contexto, será alcançado por empresas que consigam transformar dados em ação, mantendo a lógica do fluxo contínuo e a centralidade do valor entregue ao cliente.

VI. Considerações Finais

Este estudo teve como objetivo analisar as convergências e os desafios da integração entre os fundamentos do Lean Manufacturing e as tecnologias da Indústria 4.0, fenômeno abordado na literatura como Lean 4.0. Com base em uma abordagem qualitativa, exploratória e bibliográfica, foram examinados artigos científicos e documentos técnicos publicados entre 2010 e 2024, priorizando contribuições teóricas, estudos de caso e estruturas de maturidade digital.

Os achados confirmam que o Lean 4.0 não configura uma ruptura com os princípios da produção enxuta, mas uma ampliação operacional mediada por tecnologias digitais. A melhoria contínua é ressignificada por meio de coleta automatizada de dados, análises preditivas e sistemas de apoio à decisão em tempo real. A comparação entre abordagens clássicas e digitais evidenciou que os benefícios da Indústria 4.0 só se concretizam plenamente quando sustentados por uma cultura Lean consolidada, lideranças capacitadas e elevado grau de maturidade digital.

Como contribuição teórica, a pesquisa promoveu uma articulação entre os pilares conceituais do Lean, as possibilidades das tecnologias emergentes e os desafios culturais associados à transformação digital. No campo prático, oferece direcionamentos para gestores industriais avaliarem sua prontidão digital e evitarem investimentos desassociados do pensamento enxuto, reforçando a necessidade de integração entre visão estratégica e execução operacional.

Entre as limitações do estudo, ressalta-se a ausência de investigação empírica direta, o que restringe a análise a fontes secundárias de circulação predominantemente internacional. Recomenda-se, para estudos futuros, a realização de pesquisas em médias empresas latino-americanas, a formulação de um framework específico para o Kaizen Digital e o aprofundamento das relações entre cultura organizacional e inovação contínua no contexto do Lean 4.0.

Referências Bibliográficas

- [1] BARDIN, Laurence. *Análise De Conteúdo*. São Paulo: Edições 70, 2016.
- [2] BOMBER, Stephen. *Digital Transformation And Change Management: How Culture Shapes Technology Adoption*. New York: Harper Business, 2020.
- [3] BUER, Sven V.; STRANDHAGEN, Jan Ola; CHAN, Felix T. S. The Link Between Industry 4.0 And Lean Manufacturing: Mapping Current Research And Establishing A Research Agenda. *International Journal Of Production Research*, V. 56, N. 8, P. 2924–2940, 2018.
- [4] CELLARD, André. A Análise Documental. In: POUPART, Jean Et Al. *A Pesquisa Qualitativa: Enfoques Epistemológicos E Metodológicos*. Petrópolis: Vozes, 2008. P. 295–316.
- [5] GHOBAKHLOO, Morteza. Industry 4.0, Digitization, And Opportunities For Sustainability. *Journal Of Cleaner Production*, V. 252, P. 119869, 2020.
- [6] GIL, Antonio Carlos. *Métodos E Técnicas De Pesquisa Social*. 6. Ed. São Paulo: Atlas, 1996.
- [7] GODOY, Arilda Schmidt. Introdução À Pesquisa Qualitativa E Suas Possibilidades. *Revista De Administração De Empresas*, São Paulo, V. 35, N. 2, P. 57–63, Mar./Abr. 1995. Disponível Em: <https://www.scielo.br/J/Rae/A/6r4pf9sgzvlp5gj813nrrzf/?Lang=Pt>. Acesso Em: 17 Abr. 2025.
- [8] HART, Chris. *Doing A Literature Review: Releasing The Social Science Research Imagination*. London: SAGE, 1998.
- [9] HERMANN, Mario; PENTEK, Tobias; OTTO, Boris. Design Principles For Industrie 4.0 Scenarios. In: *Proceedings Of The 49th Hawaii International Conference On System Sciences*, 2016.
- [10] IMAI, Masaaki. *Kaizen: A Estratégia Para O Sucesso Competitivo*. São Paulo: IMAM, 1986.
- [11] KAGERMANN, Henning Et Al. Recommendations For Implementing The Strategic Initiative INDUSTRIE 4.0: Final Report Of The Industrie 4.0 Working Group. Frankfurt: Acatech, 2013.
- [12] KITCHENHAM, Barbara. Procedures For Performing Systematic Reviews. Joint Technical Report, Keele University (TR/SE-0401) And National ICT Australia Ltd. (0400011T.1), 2004.
- [13] KOLBERG, Dennis; ZÜHLKE, Detlef. Lean Automation Enabled By Industry 4.0 Technologies. *IFAC-Papersonline*, V. 48, N. 3, P. 1870–1875, 2015.
- [14] KOTTER, John P. *Leading Change*. Boston: Harvard Business Review Press, 1996.
- [15] LASI, Heiner Et Al. Industry 4.0. *Business & Information Systems Engineering*, V. 6, N. 4, P. 239–242, 2014.

- [16] LEE, Jay; BAGHERI, Behrad; KAO, Hung-An. A Cyber-Physical Systems Architecture For Industry 4.0-Based Manufacturing Systems. *Manufacturing Letters*, V. 3, P. 18–23, 2015.
- [17] MARCHWINSKI, Chet; SHOOK, John. *Lean Lexicon: A Graphical Glossary For Lean Thinkers*. Cambridge: Lean Enterprise Institute, 2007.
- [18] OHNO, Taiichi. *O Sistema Toyota De Produção: Além Da Produção Em Larga Escala*. Porto Alegre: Bookman, 1997.
- [19] SCHNEIDER, Petra Et Al. Digital Transformation Readiness Framework: Assessing Maturity In Industrial Settings. *Journal Of Manufacturing Systems*, V. 59, P. 206–219, 2021.
- [20] SHINGO, Shigeo. *Sistema Toyota De Produção: Do Ponto De Vista Da Engenharia De Produção*. Porto Alegre: Bookman, 1996.
- [21] SONY, Michael; NAIK, Satish. Key Ingredients For Evaluating Industry 4.0 Readiness For Organizations: A Literature Review. *Benchmarking: An International Journal*, V. 27, N. 7, P. 2213–2232, 2020.
- [22] TORTORELLA, Guilherme Luz Et Al. Lean Manufacturing Implementation: Evidence Of Sustainability Practices In Developing Countries. *Sustainable Production And Consumption*, V. 25, P. 569–578, 2021.
- [23] WORLD ECONOMIC FORUM. *Global Lighthouse Network: Unlocking Sustainability Through 4IR Technologies*. Geneva: WEF, 2022. Disponível Em: <https://www.weforum.org>. Acesso Em: 17 Abr. 2025.
- [24] WOMACK, James P.; JONES, Daniel T. *A Mentalidade Enxuta Nas Empresas*. Rio De Janeiro: Campus, 2004.
- [25] WOMACK, James P.; JONES, Daniel T.; ROOS, Daniel. *A Máquina Que Mudou O Mundo*. Rio De Janeiro: Campus, 1990.