

DEMOCRATIZANDO O JUST-IN-TIME: AUTOMAÇÃO ÁGIL DA CADEIA DE SUPRIMENTOS PARA PMES COM PLATAFORMAS LOW-CODE

DEMOCRATIZING JUST-IN-TIME: AGILE SUPPLY CHAIN AUTOMATION FOR SMES WITH LOW-CODE PLATFORMS

DEMOCRATIZANDO EL JUST-IN-TIME: AUTOMATIZACIÓN ÁGIL DE LA CADENA DE SUMINISTRO PARA PYMES CON PLATAFORMAS LOW-CODE

Lelis Tetsuo Murakami¹

Artigo recebido em novembro de 2025

Artigo aceito em fevereiro de 2026

DOI: 10.26853/Refas_ISSN-2359-182X_v12n03_05

RESUMO

Pequenas e médias empresas enfrentam limitações estruturais que dificultam a digitalização, a integração de sistemas e a coordenação operacional. A literatura mostra que dados fragmentados, baixa maturidade digital, recursos limitados e ausência de governança reduzem a previsibilidade e ampliam a variabilidade, comprometendo respostas rápidas. Com base nessas evidências, este artigo tem como objetivo propor e estruturar um modelo de automação ágil para pequenas e médias empresas (PMEs), combinando plataformas low-code, integração via Integration Platform as a Service (iPaaS), mecanismos de governança digital adaptada e evolução da maturidade digital, com o propósito de reduzir variabilidade operacional e aproximar os processos organizacionais da lógica do Just-in-Time. A literatura analisada indica que soluções digitais acessíveis permitem reduzir atrasos informacionais, eliminar incompatibilidades entre sistemas e ampliar padronização, criando condições para fluxos mais estáveis. A governança digital fortalece coerência e reduz riscos, enquanto a maturidade orienta o ritmo de adoção. A análise integrada mostra que essa combinação possibilita operações mais previsíveis e alinhadas à lógica da sincronização contínua, configurando um caminho viável e estruturalmente consistente para que PMEs avancem na digitalização e aproximem seus processos dos princípios do Just-in-Time.

Palavras-chave: Automação ágil; Low-code; Integração digital; PMEs.

¹ Doutorado em Computação e Sistemas Digitais pela Escola Politécnica USP. Professor na Fatec Zona Sul e Universidade Metropolitana de Santos. E-mail: lelis.mura@lechare.com.br. Lattes: <http://lattes.cnpq.br/9366522628827235>. OrcId: 0009-0007-7515-1523.

ABSTRACT

Small and medium-sized enterprises face structural constraints that hinder digitalization, system integration, and operational coordination. The literature shows that fragmented data, low digital maturity, limited resources, and the absence of governance reduce predictability and increase variability, compromising rapid responses. Based on this evidence, this article aims to propose and structure an agile automation model for small and medium-sized enterprises (SMEs), combining low-code platforms, integration through Integration Platform as a Service (iPaaS), adaptive digital governance mechanisms, and the evolution of digital maturity, with the purpose of reducing operational variability and aligning organizational processes with the logic of Just-in-Time. The literature analyzed indicates that accessible digital solutions enable the reduction of informational delays, the elimination of system incompatibilities, and the expansion of standardization, creating conditions for more stable flows. Digital governance strengthens coherence and reduces risks, while maturity guides the pace of adoption. The integrated analysis shows that this combination enables more predictable operations aligned with the logic of continuous synchronization, configuring a viable and structurally consistent path for SMEs to advance in digitalization and bring their processes closer to Just-in-Time principles.

Keywords: Agile automation; Low-code; Digital integration; SMEs.

RESUMEN

Pequeñas y medianas empresas enfrentan limitaciones estructurales que dificultan la digitalización, la integración de sistemas y la coordinación operativa. La literatura muestra que los datos fragmentados, la baja madurez digital, los recursos limitados y la ausencia de gobernanza reducen la previsibilidad y amplían la variabilidad, comprometiendo respuestas rápidas. Con base en estas evidencias, este artículo tiene como objetivo proponer y estructurar un modelo de automatización ágil para pequeñas y medianas empresas (PYMES), combinando plataformas low-code, integración mediante Integration Platform as a Service (iPaaS), mecanismos de gobernanza digital adaptada y evolución de la madurez digital, con el propósito de reducir la variabilidad operativa y aproximar los procesos organizacionales a la lógica del Just-in-Time. La literatura analizada indica que las soluciones digitales accesibles permiten reducir retrasos informacionales, eliminar incompatibilidades entre sistemas y ampliar la estandarización, creando condiciones para flujos más estables. La gobernanza digital fortalece la coherencia y reduce riesgos, mientras que la madurez orienta el ritmo de adopción. El análisis integrado muestra que esta combinación posibilita operaciones más previsibles y alineadas con la lógica de la sincronización continua, configurando un camino viable y estructuralmente consistente para que las PYMES avancen en la digitalización y aproximen sus procesos a los principios del Just-in-Time.

Palabras clave: Automatización ágil; Low-code; Integración digital; PYMES.

1 INTRODUÇÃO

Pequenas e médias empresas convivem com rotinas caracterizadas por instabilidade, variações de demanda e limitações estruturais que afetam o fluxo produtivo. A pressão sobre prazos e sobre a capacidade de manter níveis reduzidos de estoque intensificou-se nos últimos anos. A busca por maior fluidez operacional tem aproximado as questões sobre negócios dos princípios do Just-in-Time, cujo foco está na produção sincronizada com o ritmo real de consumo e na eliminação de interferências (WOMACK; JONES, 2003). Essa lógica depende de processos estáveis, dados confiáveis e coordenação contínua, condições nem sempre presentes em empresas de pequeno porte.

A adoção dessa abordagem exige maior atenção ao fluxo de materiais, especialmente quando há poucos recursos para absorver a variabilidade. Análises sobre operações em empresas metalmeccânicas mostram que ajustes simples na organização interna podem gerar fortalecimento do fluxo, redução de esperas e melhor equilíbrio entre etapas consecutivas (FLÓREZ-CÁCERES et al., 2022). Esses resultados ocorrem em contextos marcados por pouca margem de armazenagem, alta sensibilidade a atrasos e dependência intensa do desempenho de fornecedores. Em situações nas quais as entregas sustentam o funcionamento diário, pequenas alterações na programação influenciam diretamente o atendimento de pedidos (GHERGHEA et al., 2021). Esse comportamento dialoga com o argumento de que estabilidade operacional é pré-requisito para sincronização, conforme apontado por WOMACK E JONES (1996).

A digitalização passou a desempenhar papel relevante nesse cenário. Recursos digitais destinados ao relacionamento com clientes e ao acompanhamento de demandas tornaram-se ferramentas importantes para reduzir incertezas informacionais. A “visibilidade operacional”, conceituada em abordagens da Indústria 4.0, envolve captura, conectividade e atualização contínua de dados (GILCHRIST, 2016). Pesquisas sobre pequenas empresas mostram que esse tipo de instrumento contribui para previsões mais realistas e programação mais alinhada ao comportamento da demanda (RAMÍREZ MARTÍNEZ et al., 2023). Esse movimento reduz parte das interferências que surgem quando informações chegam de forma tardia, dispersa ou pouco estruturada.

A digitalização também fortalece rotinas internas. Iniciativas relacionadas à produção enxuta digitalizada indicam que tecnologias acessíveis favorecem uma programação mais consistente, o controle de tempos e identificação de atrasos recorrentes. A visibilidade ampliada decorrente da conectividade permite ajustes mais rápidos, reforçando a lógica de ciclos curtos e respostas frequentes associada às práticas *Lean* (IYER et al., 2020). Essa concepção é coerente com a perspectiva defendida por GILCHRIST (2016), segundo a qual dados atualizados sustentam decisões imediatas e influenciam diretamente a estabilidade do fluxo.

A utilização de dados operacionais para reorganizar tarefas e equilibrar responsabilidades também aparece como componente decisivo. Quando informações são atualizadas em ciclos mais curtos, torna-se mais simples identificar gargalos, redistribuir trabalho e evitar acúmulos que desestabilizam o ritmo produtivo. Em empresas menores, que frequentemente operam com margens estreitas e flexibilidade limitada, a previsibilidade é um elemento fundamental para manter continuidade e evitar interrupções (REYES et al., 2021).

Mesmo diante das barreiras enfrentadas por pequenas e médias empresas, há evidências de que a integração entre práticas Just-in-Time e recursos digitais acessíveis oferece caminhos para ampliar fluidez, reduzir desperdícios e acompanhar a demanda com maior precisão. Esse processo não depende de sistemas avançados ou investimentos significativos. A literatura reforça que ferramentas simples, padronização mínima e conectividade essencial já permitem ganhos significativos. A convergência entre princípios enxutos e digitalização dialoga tanto com as bases teóricas do Lean (WOMACK; JONES, 2003) quanto com os fundamentos da Indústria 4.0 (GILCHRIST, 2016), criando um campo de possibilidades particularmente adequado ao contexto das Pequenas e Médias Empresas (PMEs).

Além disso, a adoção de soluções digitais requer alguma forma de coordenação interna. Em ambientes menores, mecanismos de controle simplificados, processos de validação e clareza nas responsabilidades influenciam diretamente o sucesso das iniciativas. Observou-se que as abordagens de governança de TI destacam que decisões estruturadas e bem distribuídas aumentam coerência interna e melhoram o uso de recursos tecnológicos (WEILL; ROSS, 2004). A necessidade desse alinhamento também se faz presente em PMEs, onde a falta de coordenação pode amplificar a variabilidade e comprometer os resultados.

Diante desse contexto, o objetivo deste artigo é propor um modelo conceitual de automação ágil voltado às PMEs, integrando princípios do Just-in-Time, digitalização progressiva, plataformas low-code, integração via iPaaS, governança digital adaptada e maturidade organizacional. Busca-se demonstrar como essa articulação pode reduzir variabilidade operacional e ampliar previsibilidade, criando condições para fluxos mais sincronizados e alinhados ao consumo real.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O Just-in-Time (JIT) é tradicionalmente associado à redução de estoques, à eliminação de atividades sem valor e à sincronização das etapas do fluxo. Essas práticas derivam da filosofia descrita por WOMACK E JONES (1996), cuja ênfase recai sobre estabilidade, fluxo contínuo e resposta rápida a interferências. A literatura mostra que esses princípios só funcionam plenamente quando há processos padronizados, dados confiáveis e apoio estratégico consistente. Uma revisão que analisou 42 fatores críticos relacionados ao JIT identificou dependência direta entre os resultados e a articulação entre dimensões organizacionais, humanas e tecnológicas. Entre os fatores recorrentes aparecem a confiabilidade logística, a integração com fornecedores, a capacidade de planejamento e a qualificação da força de trabalho. Os autores observam que sete desses fatores surgem de forma repetida, sugerindo que empresas que negligenciam esses elementos apresentam maior dificuldade para consolidar sistemas puxados (HUSSEIN; ZAYED, 2021).

É importante destacar que os princípios Lean e o Just-in-Time não operam de forma isolada, dependendo de um sistema estruturado de gestão da qualidade para sustentar estabilidade, padronização e melhoria contínua. A literatura clássica do Lean associa a redução de variabilidade à padronização de processos, controle estatístico e disciplina operacional, elementos intrinsecamente vinculados à gestão da qualidade. Sem bases mínimas de controle e monitoramento, a sincronização tende a gerar instabilidade em vez de fluidez.

Também foram identificadas diferenças entre economias desenvolvidas e contextos emergentes. Em ambientes com menor infraestrutura tecnológica, fatores como disciplina operacional, comprometimento da gestão e integração interna ganham peso. A falta de recursos, por sua vez, amplia a necessidade de reduzir a variabilidade antes da adoção de mecanismos puxados — princípio que coincide com a argumentação de WOMACK E JONES (1996), para quem a estabilidade operacional é pré-requisito para o fluxo sincronizado.

A discussão sobre variabilidade aparece com profundidade em análises que comparam sistemas puxados e empurrados. Um modelo quantitativo integrou JIT e *Material Resource Planning* (MRP) em uma estrutura formal para planejamento em cadeias produtivas com múltiplos níveis hierárquicos. O objetivo foi reduzir instabilidades decorrentes do efeito chicote e melhorar desempenho em ambientes com demanda incerta. A estrutura considera simultaneamente previsão e pedidos firmes, permitindo efetuar ajustes flexíveis ao comportamento da demanda. Os resultados apontam redução de oscilações nos níveis de estoque e maior uma precisão no atendimento, além da incorporação de elementos de sustentabilidade ao processo de planejamento (REYES; MULA; DÍAZ-MADROÑERO, 2024). Esse tipo de combinação reforça o argumento de que sistemas puxados dependem de informações atualizadas e de coordenação contínua, que constituem os elementos que ganham força com as tecnologias digitais emergentes.

A digitalização tem papel decisivo nessa temática. A literatura dedicada à integração entre Lean e tecnologias de monitoramento destaca que a qualidade dos dados determina precisão e velocidade de resposta. A ausência de informações confiáveis prejudica a detecção de perdas e limita a efetividade das práticas enxutas. Pesquisas propõem o uso de sensores, plataformas *Industrial Internet of Things* (IIoT), painéis unificados e *digital twins* para elevar visibilidade e permitir ajustes imediatos. Esses mecanismos convergem com o argumento de GILCHRIST (2016), segundo o qual conectividade, captura estruturada e fluxo contínuo de dados constituem a base da Indústria 4.0. Em ambientes onde informações dependem de registros manuais, a defasagem temporal reduz previsibilidade, enquanto a digitalização facilita intervenções em tempo hábil e aumenta estabilidade das operações (IYER et al., 2023).

Evidências aplicadas mostram como a estabilidade operacional influencia a adoção do JIT em pequenas e médias empresas. Em uma PME peruana do setor metalmecânico, a implantação de *5S*, *Single Minute Exchange of Die* (SMED) e práticas de manutenção gerou um aumento de 10% na produtividade, uma elevação de 23,8% na eficiência e uma redução de 32,04% no tempo de setup. A reorganização do ambiente e a padronização eliminaram as interferências, reduziram as movimentações desnecessárias e facilitaram as transições entre etapas (FLÓREZ-CÁCERES et al., 2024). Esses resultados ilustram a ideia de que práticas enxutas fortalecem as bases estruturais para o fluxo puxado — uma noção alinhada ao entendimento de WOMACK E JONES (1996).

Outra análise comparou processos tradicionais de usinagem com operações baseadas em Controle Numérico Computadorizado (CNC). O tempo total de *cross-docking* caiu de 4060 para 1167 segundos, uma redução superior a 70%. Os autores atribuem essa diferença ao aumento de precisão, eliminação de ajustes manuais e redução de tempos perdidos. Quando máquinas substituem atividades altamente variáveis, o fluxo se torna mais constante e previsível (GHERGHEA; BUNGAU; NEGRAU, 2019). Essa diminuição da variabilidade está alinhada aos princípios de estabilidade operacional defendidos no Lean.

No caso de empresas que atuam em cadeias mais sensíveis, como setores dependentes de insumos importados, as limitações logísticas evidenciam as fragilidades no fluxo. Durante períodos de instabilidade, pequenos negócios mexicanos do setor odontológico precisaram reorganizar seus processos internos, digitalizar o relacionamento com clientes e adotar práticas derivadas do JIT para responder ao aumento da demanda e às restrições de fornecimento (RAMÍREZ MARTÍNEZ et al., 2025). A digitalização permitiu maior previsibilidade no recebimento de pedidos e reforçou a capacidade de sincronizar reposição com necessidade real, que é exatamente a lógica de fluxo puxado discutida por WOMACK E JONES (1996).

A distinção conceitual entre sistemas puxados e estratégias puramente reativas também é abordada em análises teóricas que diferenciam a produção sob pedido e o controle de fluxo. O JIT está associado ao controle do estoque em processo e à limitação de variabilidade, não apenas ao ponto de disparo da demanda. Quando o trabalho em processo é limitado e o ritmo é coordenado, o sistema torna-se mais previsível e quando a variabilidade aumenta, o desempenho cai (HOPP; SPEARMAN, 2004). Essa lógica fundamenta a necessidade de reduzir interferências antes de adotar mecanismos puxados, reforçando que a previsibilidade é condição essencial para sincronização.

Essas discussões mostram que a adoção do JIT depende de bases estruturais, estabilidade e dados confiáveis. Em PMEs, essas necessidades se intensificam devido à carência de recursos e à menor capacidade de absorver variabilidade. Tecnologias e práticas da Indústria 4.0, como aquelas descritas por GILCHRIST (2016), oferecem alternativas para ampliar a visibilidade e reduzir atrasos informacionais. Em paralelo, princípios de governança de TI mostram que decisões estruturadas e alinhadas ampliam a efetividade das iniciativas digitais

(WEILL; ROSS, 2004), o que reforça a importância de coordenação interna mesmo em ambientes com equipes reduzidas.

Em síntese, a fundamentação teórica integra princípios Lean, mecanismos digitais e elementos de governança, mostrando que a sincronização contínua depende de estabilidade, conectividade e coordenação. A combinação entre práticas enxutas, digitalização progressiva e arranjos organizacionais simples cria condições viáveis para PMEs avançarem em direção a operações mais previsíveis e compatíveis com a lógica do JIT.

3 MÉTODO

A construção do modelo proposto fundamentou-se em uma investigação teórico-conceitual estruturada a partir de análise de conteúdo de artigos científicos, livros e documentos de referência relacionados ao Just-in-Time, digitalização de processos, Indústria 4.0, plataformas low-code, integração via iPaaS, governança digital e maturidade organizacional. A pesquisa adota natureza qualitativa, com enfoque descritivo-analítico, uma vez que busca compreender como tecnologias acessíveis podem apoiar PMEs na construção de fluxos sincronizados e mais previsíveis.

A seleção das referências envolveu mapeamento de trabalhos publicados entre 2018 e 2025, complementados por obras clássicas que sustentam conceitos estruturantes, como *Lean Thinking*, governança de TI e estudos sobre operacionalização da sincronização produtiva. Foram incluídos artigos que apresentassem ao menos um dos seguintes critérios: (a) descrição de mecanismos de redução de variabilidade; (b) análise de práticas digitais aplicadas a PMEs; (c) aplicação de low-code, integração ou governança adaptada; (d) avaliação de maturidade digital; ou (e) resultados mensuráveis relacionados à estabilidade operacional.

Em seguida, procedeu-se à categorização das evidências em cinco dimensões recorrentes na literatura: captura digital de dados, integração entre sistemas, automação visual, governança digital e maturidade organizacional. Essa categorização permitiu identificar convergências conceituais e lacunas, servindo de base para a formulação da arquitetura integrada apresentada no artigo.

O método também incluiu análise comparativa entre diferentes contextos e estruturas organizacionais, buscando compreender como cada dimensão se articula para sustentar sincronização operacional em empresas com recursos limitados. As observações extraídas da literatura foram interpretadas de forma integrada, permitindo estabelecer relações entre fundamentos clássicos do JIT e abordagens contemporâneas de digitalização em pequena escala.

A partir dessa análise, elaborou-se o modelo conceitual de automação ágil, estruturado em camadas que organizam captura de dados, integração, automação, governança e maturidade digital. O rigor metodológico foi garantido pelo uso consistente da técnica autor-data, pela seleção cuidadosa das fontes e pela triangulação entre diferentes abordagens teóricas. O delineamento descrito fornece subsídios para avaliação e discussão dos resultados apresentados nas seções seguintes.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

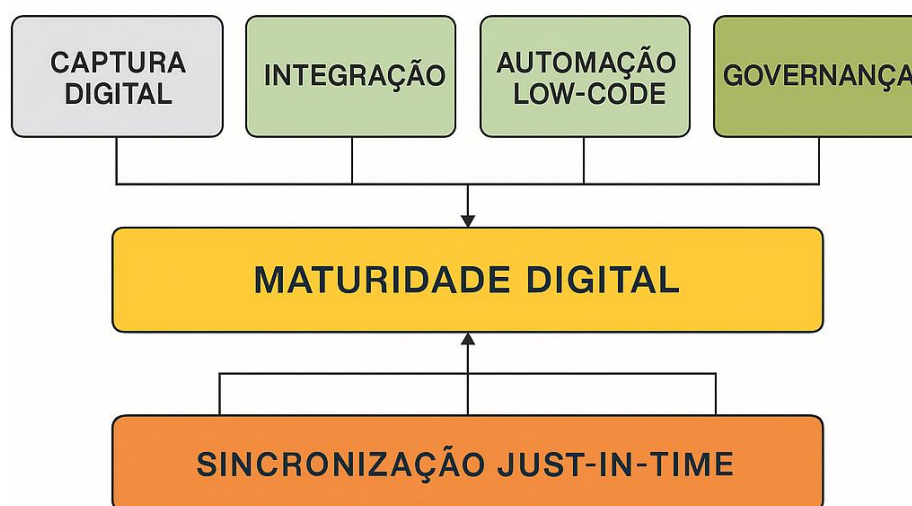
Iniciam-se os resultados e discussão pela proposta de automação.

4.1 Proposta de Automação Ágil para PMEs Baseada em Plataformas Low-Code

O avanço das tecnologias digitais e o desenvolvimento de plataformas low-code vêm ampliando as possibilidades de digitalização para PMEs que enfrentam limitações estruturais. Essas plataformas reduzem a dependência de equipes especializadas, simplificam fluxos de desenvolvimento e aceleram a criação de aplicações, contribuindo para maior autonomia operacional (ROKIS; KIRIKOVA, 2024). A lógica utilizando recursos visuais facilita a construção de processos sem a complexidade da programação tradicional, tornando-se um recurso adequado para empresas em estágios iniciais de maturidade digital (SÁ et al., 2023). Esse movimento corrobora com o princípio de eliminação de desperdícios defendido no Lean, em que simplificação e padronização são instrumentos essenciais para manter fluxo previsível (WOMACK; JONES, 2003).

A integração ocupa papel fundamental dentro dessa proposta. Plataformas iPaaS funcionam como camadas intermediárias capazes de conectar diversos sistemas, abstraindo complexidades técnicas e viabilizando fluxo contínuo entre aplicações. Essa capacidade de conectar sistemas heterogêneos é particularmente relevante em PMEs, onde coexistem softwares isolados, bases de dados fragmentadas e estruturas manuais que dificultam visibilidade. O conceito formal de *enterprise* iPaaS descreve esses mecanismos como facilitadores de interoperabilidade, atuando sobre APIs, formatos divergentes e limitações de infraestrutura (HYRYNSALMI, 2020). A redução de ruídos informacionais oferecida por esse modelo está alinhada com argumentos da Indústria 4.0, nos quais conectividade e integração constituem a base para tomada de decisão em ciclos curtos (GILCHRIST, 2016).

Figura 1 – Arquitetura do Modelo de Automação Ágil para PMEs



Elaborado pelo Autor

A adoção dessas ferramentas requer suporte organizacional. Plataformas low-code tendem a permitir que usuários de áreas de negócio criem soluções próprias, fenômeno conhecido como *citizen development*. Esse processo amplia a flexibilidade, mas também aumenta o risco de duplicações, inconsistências e a perda de controle. A literatura dedicada ao tema aponta que a governança deve equilibrar a autonomia e a supervisão, com políticas claras de padronização, fluxos de aprovação e mecanismos de rastreamento (VILJOEN et al., 2023). Essa necessidade coincide com fundamentos de governança de TI que destacam a importância de decisões estruturadas e mecanismos de coordenação para garantir coerência no uso da tecnologia (WEILL; ROSS, 2004). Em PMEs, onde equipes são menores e as responsabilidades se sobrepõem, esse direcionamento torna-se ainda mais relevante.

A maturidade digital influencia todas essas dinâmicas. Pesquisas mostram que pequenas empresas apresentam níveis heterogêneos de preparo para transformação digital. Em uma avaliação com 506 PMEs na Malásia, indicadores de liderança e alinhamento estratégico apresentaram média de 0,81 (escala 0–4), enquanto a competência da força de trabalho registrou 0,35, revelando defasagens significativas (TECHANAMURTHY; IQBAL; RAHIM, 2025). Na Europa, avaliações de maturidade mostram que empresas menores enfrentam lacunas similares quanto a habilidades, infraestrutura e estratégia formal, o que limita sua capacidade de digitalizar processos de modo consistente (KLJAJIĆ BORŠTNAR; PUCIHAR, 2021). Essas observações reforçam que iniciativas low-code e integrações via iPaaS se tornam particularmente relevantes para empresas que não possuem recursos técnicos avançados, permitindo que evolução digital ocorra de forma progressiva e alinhada ao ritmo organizacional.

Em paralelo, a literatura sobre Indústria 4.0 indica que a digitalização industrial enfrenta barreiras típicas, como restrições financeiras, falta de conhecimento técnico, resistência cultural e ausência de visão estratégica (STENTOFT et al., 2018; KUMAR; DUTTA; PHANDEN, 2022). Essas limitações fazem com que PMEs iniciem a digitalização por meio de intervenções simples, ou seja, por meio de digitalização mínima, automatização de rotinas manuais e padronização de registros, antes mesmo de avançarem para soluções mais amplas. GILCHRIST (2016) destaca que visibilidade operacional depende tanto de infraestrutura tecnológica quanto de clareza na estruturação dos dados, argumento que reforça a importância de criar bases digitais sólidas mesmo em ambientes com recursos limitados.

A governança digital aparece como elemento indispensável dentro desse processo. A literatura mostra que estruturas adaptadas, baseadas em frameworks como o COBIT 2019, permitem que pequenas empresas alinhem tecnologia, estratégia e operação mesmo com equipes reduzidas (UTOMO et al., 2022). Em contraste, organizações que carecem de governança tendem a enfrentar problemas como fragmentação de sistemas, decisões desconexas, riscos não monitorados e planejamento inconsistente (MAHOHOMA, 2021). A presença de mecanismos estruturados de decisão se alinha diretamente com o argumento de WEILL E ROSS (2004), segundo o qual empresas obtêm melhores resultados quando distribuem autoridade de forma clara e estabelecem modelos de responsabilização.

A maturidade digital atua como eixo estruturante que determina o ritmo de evolução do modelo. Comparações internacionais mostram que empresas em níveis iniciais apresentam menor integração, uso limitado de dados, dependência de controles manuais e visão reativa. Em níveis intermediários, as práticas de análise, a padronização e a integração emergem de forma mais consistente. Os estágios avançados são caracterizados por sistemas mais autônomos, promovendo decisões baseadas em dados e capacidades dinâmicas de adaptação (NORTH et al., 2018). Essa evolução não é linear, mas depende de fatores técnicos, culturais e estratégicos.

Em PMEs, essa progressão tende a ser gradual, o que reforça a importância de uma abordagem que combine tecnologias de baixo custo com coordenação organizacional.

Em síntese, plataformas low-code e iPaaS funcionam como instrumentos que conectam limitações estruturais às exigências de digitalização. Elas reduzem barreiras técnicas, aumentam interoperabilidade e permitem que empresas com baixa maturidade avancem em direção à padronização e à automação. Quando combinadas a mecanismos de governança e modelos de maturidade, formam um ambiente propício para evoluir em direção a fluxos digitais responsivos e sincronizados, compatíveis com a lógica do JIT. Os princípios Lean apresentados por WOMACK E JONES (1996) e os fundamentos da Indústria 4.0 descritos por GILCHRIST (2016) convergem para essa abordagem, reforçando que estabilidade do fluxo, conectividade e coordenação constituem a base de operações previsíveis e alinhadas ao consumo real.

4.2 Arquitetura do Modelo Proposto

A automação ágil baseada em plataformas low-code e mecanismos de integração cria condições para que pequenas e médias empresas avancem na digitalização mesmo com recursos limitados. O modelo proposto organiza essa transformação em uma estrutura contínua que articula dados, integração, automação visual, governança e maturidade digital, combinando elementos dos referenciais recentes com fundamentos clássicos de gestão do fluxo. Essa articulação se adere aos princípios de *Lean Thinking*, que enfatizam eliminação de desperdícios, redução de variabilidade e sincronização do trabalho ao ritmo da demanda, mostrando que a digitalização pode fortalecer a criação de fluxos mais estáveis e previsíveis quando utilizada de maneira integrada.

O primeiro eixo diz respeito à coleta recorrente de informações sobre operações, estoques, ordens e atendimento ao cliente. A literatura contemporânea sobre Indústria 4.0, bem como análises consolidadas em obras como *Industry 4.0* de GILCHRIST, indicam que a transformação digital depende da capacidade de registrar dados de forma estruturada, substituindo os controles manuais que favorecem atrasos informacionais e perda de precisão. Em contextos de baixa infraestrutura, uma captura mínima já reduz incertezas e permite intervenções mais rápidas, algo fundamental para empresas que operam com pouca margem para absorver variabilidade.

O segundo eixo envolve a integração entre aplicações, setores e parceiros externos. Plataformas iPaaS atuam como intermediárias capazes de unificar dados, abstrair APIs e padronizar fluxos. Isso reduz incompatibilidades internas e facilita a coordenação operacional e a integração contínua se torna essencial quando a empresa depende de informações que circulem lentamente ou permanecem isoladas entre departamentos. Em ambientes com baixa maturidade técnica, a padronização proporcionada pela integração permite superar limitações estruturais e contribui para maior fluidez das operações, em linha com a lógica de fluxo defendida em *Lean Thinking*.

A automação visual constitui o terceiro eixo em que plataformas low-code permitem às empresas desenvolverem aplicativos, rotinas e painéis internos mesmo sem equipes de TI especializadas. Essa característica reduz custo, acelera a obtenção de resultados e democratiza a criação de soluções, na medida em que a automação visual substitui partes repetitivas do processo, amplia padronização e reduz dependência de intervenções manuais, o que contribui para diminuir flutuações operacionais. Em PMEs, essa possibilidade torna a digitalização mais acessível e incentiva o aprendizado organizacional incremental.

A governança digital sustenta o quarto eixo do modelo e neste caso, a adoção de ferramentas de integração e low-code só gera resultados consistentes quando há mecanismos que garantem coerência, controle e alinhamento. A obra *IT Governance on One Page*, de Weill e Ross, destaca que a governança deve assegurar que decisões tecnológicas apoiem objetivos organizacionais e que riscos sejam monitorados de forma contínua. Esse princípio se aplica diretamente ao ambiente das PMEs, no qual estruturas reduzidas frequentemente acumulam funções e decisões. A coordenação das ações, a definição de papéis e os mecanismos de supervisão reduzem inconsistências e impedem a formação de soluções isoladas que fragilizem o sistema.

O quinto eixo diz respeito à maturidade digital, onde se observa que a evolução das capacidades internas, sejam elas tecnológicas, humanas e estratégicas, determina até onde a organização pode avançar no uso de integrações e automações. Avaliações de maturidade mostram que empresas pequenas apresentam lacunas significativas em competências técnicas, estratégia formal e infraestrutura, o que exige uma caminhada gradual. A maturidade digital orienta o ritmo da evolução e estabelece condições mínimas para que as demais camadas funcionem de maneira adequada. Obras metodológicas, como *Case Study Research* de Robert Yin, reforçam que ambientes complexos e heterogêneos evoluem por trajetórias diferentes, o que indica que a construção do modelo deve respeitar contextos específicos e capacidades reais.

Quando esses eixos funcionam de forma articulada, surge uma estrutura capaz de reduzir atrasos, ampliar previsibilidade e criar operações mais sincronizadas. A coleta digital gera visibilidade e a integração por sua vez reduz fragmentações. Por outro lado, a automação visual agiliza rotinas, a governança garante alinhamento, e a maturidade digital define o ritmo possível de transformação. Essa combinação proporciona às empresas as condições operacionais necessárias para incorporar elementos associados ao JIT, sobretudo a estabilidade do fluxo, a redução de desperdícios e a resposta rápida às mudanças da demanda.

A arquitetura proposta, portanto, integra princípios estabelecidos em *Lean Thinking* com abordagens contemporâneas de digitalização, governança e desenvolvimento ágil, oferecendo um caminho apropriado à realidade das PMEs. Ao organizar dados, tecnologias e práticas gerenciais em um único arranjo contínuo, o modelo fornece uma base conceitual e prática que permite avançar rumo a operações mais conectadas, previsíveis e responsivas.

4.3 Mecanismos de Governança Adaptada para Sustentação do Modelo

A operacionalização do modelo de automação ágil exige que os elementos estruturais apresentados anteriormente funcionem de maneira integrada. A dinâmica operacional se apoia em fluxos de dados que percorrem captura, integração, automação visual e governança. Esse movimento cria condições para que PMEs desenvolvam processos mais responsivos e alinhados à lógica do JIT, especialmente em ambientes sujeitos à variabilidade. A literatura confirma que empresas desse porte precisam estruturar mecanismos simples, acessíveis e graduais para transformar dados dispersos em ações coordenadas (NORTH et al., 2018).

A base dessa operacionalização está na circulação contínua de informações e as análises sobre digitalização mostram que a visibilidade operacional depende de registros que substituem controles manuais e reduzam falhas de comunicação. Pesquisas apontam que PMEs sofrem com ausência de sistemas integrados, dependência de planilhas e baixa confiabilidade das informações (ŠKORIĆ, 2021; MISHRIF; KHAN, 2023). A coleta digital permite acompanhar estoques, ordens e tempos de execução, possibilitando ajustes rápidos. Quando os dados são atualizados de forma fragmentada, a variabilidade aumenta e compromete o ritmo operacional

e a captura estruturada cria a base para reduzir essa oscilação e conduz a empresa a um comportamento mais previsível.

O fluxo segue para mecanismos de integração que conectam dados provenientes de diferentes fontes. Desta forma, as plataformas iPaaS atuam como elementos fundamentais desse movimento ao estabelecer ligações entre sistemas e organizar fluxos digitais que substituem a troca manual de arquivos. Esses mecanismos eliminam as incompatibilidades técnicas ao oferecer conectores pré-configurados e rotinas de padronização, permitindo que informações circulem com menor atrito (HYRYNSALMI, 2020). A integração reduz atrasos e evita divergências que dificultam a tomada de decisão. Em PMEs com estrutura limitada, esse papel é fundamental para a formação de qualquer forma de sincronização.

Com os dados conectados, as automações visuais criadas em plataformas low-code transformam eventos operacionais em ações práticas. Esses ambientes permitem configurar regras que respondem automaticamente a mudanças nos dados, acionando alertas, instruções ou rotinas específicas. Relatos mostram que empresas de pequeno porte utilizam o low-code para criar aplicações internas, fluxos de aprovação e ferramentas de acompanhamento sem necessidade de desenvolvimento tradicional (ROKIS; KIRIKOVA, 2024; SÁ et al., 2023). A automação visual reduz tarefas repetitivas, amplia padronização e melhora o tempo de resposta. Em estruturas enxutas, essas plataformas ampliam a capacidade operacional e permitem evoluir de forma gradual.

Pesquisas apontam que o uso de plataformas low-code sem supervisão resulta em fragmentação, vulnerabilidades e soluções desconectadas (VILJOEN et al., 2023). Ao aprofundar as pesquisas, observamos que em PMEs, onde equipes pequenas acumulam responsabilidades, esse risco é ainda maior. A aplicação de princípios adaptados de governança melhora a capacidade de priorizar iniciativas, mitigar riscos e garantir confiabilidade dos fluxos (UTOMO et al., 2022). A presença desses mecanismos reduz erros e aumenta previsibilidade ao modelo, impedindo que iniciativas isoladas comprometam a operação.

A maturidade digital é quem orienta o ritmo dessa operacionalização. Analisando as avaliações internacionais, percebe-se que empresas de pequeno porte apresentam limitações significativas em competências internas, infraestrutura tecnológica e cultura de inovação (KLJAJIĆ BORŠTNAR; PUCIHAR, 2021; TECHANAMURTHY; IQBAL; RAHIM, 2025). A evolução ocorre em estágios, começando por iniciativas simples de visibilidade, passando pela integração progressiva e depois pela automação sincronizada. A adoção gradual permite consolidar práticas, reduzir resistência e aumentar a confiabilidade. Pesquisas sobre transformação digital reforçam que PMEs avançam por passos incrementais, conforme ampliam conhecimento, habilidade e alinhamento estratégico (CHONSAWAT; SOPADANG, 2020).

A dinâmica de sincronização emerge, portanto, da combinação dessas camadas. Quando dados são capturados em tempo hábil, integrados de forma padronizada e tratados em automações visuais, a empresa reduz atrasos e evita oscilações que normalmente comprometem o fluxo produtivo. A visibilidade permite reagir rapidamente a desvios, corrigir ordens, ajustar prioridades e reposicionar recursos. Essa lógica aparece em estudos que relacionam digitalização e desempenho operacional, mostrando que empresas mais preparadas respondem com mais agilidade e reduzem impactos de variabilidade (KUMAR; DUTTA; PHANDEN, 2022; ŠKORIĆ, 2021).

O modelo operacional se fortalece à medida que a maturidade digital aumenta e percepções coletadas em diferentes contextos mostram que empresas com maior preparo conseguem reorganizar processos, adotar práticas mais consistentes e utilizar dados de forma

estratégica (NORTH et al., 2018). Em estágios avançados, surgem capacidades que permitem reconfigurar fluxos em função de demandas externas, criando sistemas mais resilientes. Isso se conecta à proposta do JIT, que depende de informações atualizadas e de operações regidas por ritmo coordenado.

A aplicação prática do modelo deve ocorrer de forma gradual. Desta forma, o ponto inicial se caracteriza pela digitalização inicial dos processos e registros. Em seguida, a integração reduz desconexões internas e facilita a circulação de informações e, desta forma, a automação visual passa a executar atividades repetitivas, enquanto mecanismos de governança estabilizam práticas e evitam decisões isoladas. Por fim, a maturidade digital orienta a expansão do modelo e permite que a empresa avance em direção a operações mais sincronizadas, reduzindo a variabilidade e aumentando a previsibilidade.

A operacionalização proposta oferece então, um caminho acessível para empresas que enfrentam restrições técnicas e organizacionais. A combinação entre captura digital, integração contínua, automação visual, governança adaptada e maturidade incremental cria um ambiente capaz de sustentar decisões rápidas e fluxos mais estáveis. Essa estrutura direciona pequenas empresas para a lógica de sincronização baseada em dados, permitindo práticas alinhadas às evidências encontradas na literatura sobre automação, digitalização e evolução tecnológica.

4.4 Avaliação, Implicações e Robustez do Modelo Proposto

A aplicação integrada de low-code, iPaaS, governança adaptada e mecanismos de evolução da maturidade digital cria um ambiente favorável para PMEs que buscam maior visibilidade, redução de variabilidade e sincronização operacional. A avaliação do modelo envolve benefícios esperados, implicações práticas e teóricas e as condições necessárias ao seu funcionamento. As referências analisadas mostram que soluções incrementais, estruturadas em camadas e sensíveis às limitações de empresas menores produzem avanços consistentes na digitalização e sustentam fluxos mais estáveis.

A primeira implicação prática está na ampliação da visibilidade operacional, ou seja, as análises sobre digitalização mostram que PMEs apresentam lacunas significativas na coleta e no tratamento dos dados. A fragmentação informacional, a dependência de registros manuais e a falta de padronização reduzem a previsibilidade e dificultam ajustes rápidos (ŠKORIĆ, 2021; MISHRIF; KHAN, 2023). A estruturação de mecanismos de captura contínua reduz incertezas internas e fornece a base para decisões alinhadas ao ritmo real da demanda. Em ambientes com restrições de recursos, esse ganho de visibilidade contribui para diminuir gargalos e aumentar a estabilidade.

Outro efeito relevante surge da integração entre sistemas. Plataformas iPaaS reduzem incompatibilidades e consolidam fluxos de dados que, de outra forma, permaneceriam dispersos. Essa integração diminui atrasos de comunicação, evita divergências e impede ações isoladas entre setores. Em PMEs, a ausência de conectividade interna compromete o desempenho e amplia erros (KUMAR; DUTTA; PHANDEN, 2022). No entanto, o modelo proposto mitiga esse problema ao estabelecer uma camada de integração que reduz ruídos e facilita a sincronização.

A automação visual via low-code amplia a capacidade operacional, o que remete à construção de fluxos automatizados que elimina tarefas repetitivas e amplia a padronização. Evidências mostram que PMEs conseguem desenvolver aplicações internas, painéis de monitoramento e rotinas digitais sem equipes de desenvolvimento dedicadas (ROKIS; KIRIKOVA, 2024; SÁ et al., 2023). Essa autonomia reduz custos e torna a digitalização mais

acessível. A automação também diminui a dependência de ações manuais, frequentemente identificadas como fontes de variabilidade e inconsistência.

A governança digital fortalece a coerência do modelo, visto que as pesquisas apontam que o uso isolado de ferramentas digitais pode gerar fragmentação e comprometer desempenho organizacional (VILJOEN et al., 2023). Em PMEs, onde a estrutura é reduzida, a ausência de governança está associada a falta de prioridades claras, aumento de vulnerabilidades e decisões desconectadas (MAHOHOMA, 2021). A incorporação de princípios inspirados no COBIT 2019 permite estruturar papéis, responsabilidades e práticas de supervisão mesmo em empresas pequenas, reduzindo riscos e aumentando confiabilidade.

A maturidade digital, por sua vez, condiciona os resultados do modelo, observando que avaliações em diferentes contextos mostram que PMEs apresentam níveis heterogêneos de preparo, com lacunas em competências técnicas, infraestrutura, cultura organizacional e alinhamento estratégico (KLJAJIĆ BORŠTNAR; PUCIHAR, 2021; TECHANAMURTHY; IQBAL; RAHIM, 2025). Essa condição torna indispensável a evolução gradual, com avanços progressivos nas capacidades internas. Ajustar o ritmo de implementação ao estágio de maturidade aumenta probabilidade de adoção bem-sucedida.

Além dos efeitos práticos, o modelo contribui para ampliar compreensão teórica sobre digitalização e automação em empresas de menor porte. A literatura descreve que a evolução digital depende da combinação entre tecnologia, capacidades organizacionais e mecanismos de controle, mas ainda há poucas abordagens que integrem esses elementos em um único arcabouço. O modelo proposto preenche essa lacuna ao articular cinco componentes principais — dados, integração, automação, governança e maturidade — em uma estrutura coesa e alinhada às limitações identificadas nas referências.

A robustez do modelo pode ser avaliada pela capacidade de reduzir a variabilidade e capacitar a empresa na sincronização associada ao Just-in-Time. Atrasos informacionais aparecem como uma das principais fontes de instabilidade (ŠKORIĆ, 2021) e a captura contínua de dados e a integração via iPaaS reduzem essas defasagens. Por outro lado, a automação visual diminui tempos perdidos, padronizando respostas e a governança impede ações desconexas. A maturidade digital por sua vez, amplia a capacidade de ajustar processos e os componentes atuam de forma interativa para criar um fluxo mais previsível, conforme apontam análises sobre desempenho operacional e disponibilidade digital (NORTH et al., 2018; STENTOFT et al., 2018).

Apesar dos benefícios, o modelo possui limitações, sendo a primeira o nível inicial de maturidade digital, isto é, empresas com capacidades muito reduzidas podem enfrentar dificuldades até mesmo na implementação de etapas básicas. Barreiras como infraestrutura precária, baixa qualificação e resistência cultural podem retardar adoção (CHONSAWAT; SOPADANG, 2020). Outra limitação envolve a disponibilidade de conectividade e ferramentas digitais. Em ambientes com acesso restrito à internet ou equipamentos obsoletos, as automações podem ficar comprometidas. Além disso, o uso do low-code pode gerar riscos se não houver supervisão adequada, como apontado nas referências (VILJOEN et al., 2023).

Limitações financeiras também surgem como obstáculo. Levantamentos efetuados mostram que PMEs encontram dificuldade em investir de forma contínua em tecnologia (MISHRIF; KHAN, 2023; KUMAR; DUTTA; PHANDEN, 2022). Embora o modelo utilize ferramentas acessíveis, algum nível de investimento ainda é necessário. Outro ponto diz respeito ao tempo para desenvolver competências internas, uma vez que as capacidades digitais e culturais se formam gradualmente, exigindo alinhamento estratégico e envolvimento da liderança (KLJAJIĆ BORŠTNAR; PUCIHAR, 2021).

Essas limitações não diminuem relevância do modelo, mas evidenciam condições necessárias para seu funcionamento. A literatura revela que a adoção tecnológica depende de liderança comprometida, treinamento básico, visão estratégica e disposição para reorganizar processos (NORTH et al., 2018). Em paralelo, a supervisão é essencial para garantir coerência e reduzir riscos (UTOMO et al., 2022). Além disso, a padronização técnica, por sua vez, é indispensável para que fluxos digitais funcionem sem inconsistências (HYRYNSALMI, 2020). Dessa forma, o modelo requer condições organizacionais e técnicas compatíveis com seus objetivos.

Em conjunto, as evidências mostram que a proposta oferece um caminho realista para promover automação ágil em PMEs. A combinação entre digitalização, integração, automação, governança e maturidade proporciona ganhos de previsibilidade, redução de desperdícios e maior alinhamento ao ritmo operacional. A adoção progressiva permite consolidar práticas, reduzir riscos e ampliar capacidades. A solidez teórica e prática do modelo advém do alinhamento entre as referências e a estrutura integrada apresentada, fornecendo uma base consistente para empresas que buscam evoluir em direção a operações mais conectadas e sincronizadas.

4.5 Direções futuras e agenda de pesquisa

A evolução do modelo proposto depende de avanços que envolvem práticas organizacionais, capacidades digitais e aprofundamento empírico. A literatura mostra que PMEs apresentam grande heterogeneidade em maturidade, recursos e cultura, o que significa que a aplicação do modelo pode seguir trajetórias distintas. A agenda de pesquisa precisa considerar essas diferenças e explorar formas de adaptar a proposta a realidades específicas. Análises sobre *readiness* digital indicam que fatores estruturais, culturais e estratégicos influenciam a velocidade da adoção tecnológica e afetam diretamente os resultados (KLJAJIĆ BORŠTNAR; PUCIHAR, 2021; NORTH et al., 2018). Essa constatação reforça a necessidade de entender como diferentes perfis de empresas respondem à automação ágil.

Uma direção futura envolve examinar mais profundamente os efeitos da integração digital em contextos de baixa infraestrutura. Muitas PMEs enfrentam limitações de conectividade, equipamentos obsoletos e recursos financeiros restritos (MISHRIF; KHAN, 2023; STENTOFT et al., 2018). Esses fatores afetam diretamente a capacidade de implementar rotinas automatizadas e mecanismos de sincronização. Investigar soluções de baixo custo, alternativas híbridas e arranjos progressivos de integração pode oferecer caminhos mais adequados para empresas com restrições severas. A literatura sugere que o sucesso da digitalização depende do ajuste das tecnologias ao contexto local, reduzindo complexidade e aumentando acessibilidade.

Outra frente relevante para pesquisas está na governança digital aplicada a organizações de pequeno porte. As referências indicam que a governança consistente reduz riscos e amplia coerência entre iniciativas, mas também mostram que excesso de controles pode gerar resistência e impacto negativo na adoção (VILJOEN et al., 2023; MAHOHOMA, 2021). Em empresas menores, onde as estruturas são enxutas e funções acumuladas, são necessários modelos mais simples e flexíveis. Novos trabalhos podem explorar quais combinações de supervisão, padrões de desenvolvimento e autonomia oferecem equilíbrio entre segurança e agilidade, inclusive avaliando ajustes inspirados no COBIT 2019 adaptados à realidade de equipes reduzidas.

A prática do *citizen development* também representa uma área promissora para investigação. As plataformas low-code permitem que funcionários criem soluções internas, mas

há riscos de fragmentação, duplicidade e perda de controle (VILJOEN et al., 2023). Pesquisas futuras podem analisar como essa prática evolui dentro de PMEs, quais políticas ampliam sua eficácia e como capacidades internas se desenvolvem ao longo do uso contínuo. Avaliar a relação entre autonomia tecnológica e cultura organizacional pode ajudar a entender como equipes assimilam transformações digitais e como esses processos influenciam a operação sincronizada.

As evidências sobre maturidade digital mostram que empresas avançam por estágios nos quais capacidades tecnológicas, humanas e estratégicas se desenvolvem progressivamente (TECHANAMURTHY; IQBAL; RAHIM, 2025; CHONSAWAT; SOPADANG, 2020). Esse avanço não ocorre de forma linear, o que abre espaço para estudos longitudinais capazes de observar evolução ao longo do tempo. Pesquisas desse tipo podem identificar fatores que aceleram ou retardam transformação digital, além de esclarecer a relação entre maturidade e adoção da automação ágil. Também é possível investigar se existem pontos de inflexão nos quais integrações mais avançadas, automações complexas ou mecanismos de governança passam a fazer sentido para PMEs.

Outra direção promissora envolve mensurar o impacto da automação na redução da variabilidade operacional. A literatura mostra que atrasos informacionais, falhas de comunicação e falta de padronização ampliam instabilidades e dificultam sincronização (ŠKORIĆ, 2021; KUMAR; DUTTA; PHANDEN, 2022). Pesquisas quantitativas podem avaliar como fluxos integrados e automações afetam indicadores como lead time, níveis de estoque, taxa de erros e eficiência operacional. Essas medições seriam valiosas para validar empiricamente o efeito do modelo e identificar ajustes necessários para diferentes segmentos empresariais.

As diferenças setoriais também merecem atenção. Há variações importantes entre manufatura, varejo, serviços especializados e setores regulados em relação a capacidades digitais, requisitos operacionais e barreiras à transformação (STENTOFT et al., 2018; MISHRIF; KHAN, 2023). Avaliações comparativas podem revelar adaptações indispensáveis do modelo e estabelecer padrões específicos para cada segmento, aumentando precisão e aplicabilidade.

Outra área que merece investigação envolve arranjos híbridos de digitalização. Muitas PMEs operam com processos manuais combinados a ferramentas digitais simples (ŠKORIĆ, 2021; STENTOFT et al., 2018). Pesquisas futuras podem analisar como essa combinação afeta a automação ágil, quais funções são priorizadas para digitalização e como fluxos sincronizados podem emergir mesmo quando parte do processo não é automatizada. Esse tipo de abordagem ajudaria a compreender caminhos gradativos de transformação digital.

Também é relevante aprofundar o entendimento sobre fatores humanos e culturais. Liderança, alinhamento estratégico e cultura de inovação afetam diretamente adoção tecnológica (NORTH et al., 2018). Investigações fornecem análises de como gestores percebem ferramentas low-code, como equipes reagem à automação e quais práticas fortalecem confiança na digitalização. Isso pode orientar estratégias de capacitação e facilitar a implantação do modelo.

Outra vertente envolve desenvolver variações do modelo alinhadas a diferentes níveis de maturidade digital. Empresas em estágios iniciais exigem abordagens simplificadas e foco em infraestrutura mínima. Empresas em níveis intermediários podem avançar para integrações estruturadas e automações moderadas. Empresas mais avançadas podem explorar fluxos complexos e governança ampliada. Modelos adaptativos podem orientar decisões sobre onde iniciar e como priorizar esforços.

Por fim, combinar diferentes métodos de pesquisa pode consolidar o modelo como referência. Abordagens qualitativas permitem captar percepções e desafios das equipes; análises quantitativas podem medir impacto operacional; estudos longitudinais podem acompanhar evolução; comparações setoriais podem definir padrões; e experimentações controladas podem validar componentes específicos.

Em conjunto, essas direções apontam que o modelo proposto oferece uma base sólida para futuras investigações sobre automação ágil, digitalização e sincronização operacional em PMEs. A agenda de pesquisa abre caminhos para ajustes, validações e ampliações que podem fortalecer impacto e tornar o modelo ainda mais aplicável a diferentes realidades organizacionais.

4.6 Discussão

A análise integrada das referências mostra que pequenas e médias empresas enfrentam limitações persistentes na adoção de tecnologias digitais, na organização de processos e na coordenação interna. A digitalização avança de forma desigual e a maior parte dessas empresas opera com baixa maturidade digital, infraestrutura reduzida e fluxos fragmentados, o que cria barreiras para a sincronização das operações. O modelo proposto assume essas fragilidades ao combinar tecnologias acessíveis com práticas organizacionais compatíveis com a realidade das PMEs, criando uma estrutura que possibilita maior previsibilidade e maior clareza no fluxo de trabalho.

A captação estruturada de dados aparece como um ponto crítico a ser monitorado. Registros inconsistentes, atualizações manuais e informações que circulam de forma irregular reduzem confiabilidade e afetam decisões operacionais (ŠKORIĆ, 2021; MISHRIF; KHAN, 2023). A proposta de adotar captura digital contínua responde a esse problema ao reduzir atrasos informacionais e aumentar transparência, criando um fluxo mais alinhado ao comportamento real da demanda. A integração via iPaaS reforça esse movimento ao eliminar incompatibilidades técnicas e unificar dados que antes permaneciam dispersos entre setores, diminuindo ruídos que afetam diretamente o ritmo das operações.

A automação visual por meio de plataformas low-code surge como alternativa viável para empresas com recursos limitados. Essas ferramentas ampliam a autonomia das equipes, reduzem dependência de especialistas e encurtam ciclos de implementação (ROKIS; KIRIKOVA, 2024; SÁ et al., 2023). Ao reorganizar tarefas, padronizar rotinas e substituir etapas manuais repetitivas, o low-code contribui para reduzir oscilações que normalmente prejudicam a estabilidade do fluxo produtivo. Essa característica é particularmente importante em PMEs que precisam evoluir sem dispor de estruturas completas de TI.

A governança digital é outro elemento essencial neste contexto. A adoção desordenada de soluções tecnológicas tende a gerar fragmentação, perda de controle e vulnerabilidades (VILJOEN et al., 2023). Em empresas de pequeno porte, onde funções são acumuladas e decisões são descentralizadas, mecanismos simples de supervisão, papéis definidos e padrões mínimos de desenvolvimento tornam-se indispensáveis. A literatura sobre governança adaptada ao contexto das PMEs mostra que princípios derivados do COBIT 2019 melhoram coerência e reduzem riscos (UTOMO et al., 2022). A presença desses mecanismos impede que iniciativas isoladas comprometam o funcionamento do modelo.

A relação entre maturidade digital e capacidade de implementação configura o binômio importante para decisões. Empresas com baixa maturidade enfrentam dificuldades mais acentuadas para adotar tecnologias, integrar sistemas e padronizar processos (KLJAJIĆ

BORŠTNAR; PUCIHAR, 2021; TECHANAMURTHY; IQBAL; RAHIM, 2025). A evolução ocorre de maneira progressiva. Em primeiro lugar pela digitalização inicial dos registros, depois pela integração dos fluxos e, por fim, pela automação sincronizada. Esse movimento incremental é reforçado pela literatura que analisa disponibilidade digital e transformação em PMEs, mostrando que avanços dependem tanto de condições técnicas quanto de fatores culturais e estratégicos.

Há forte convergência entre os desafios identificados na digitalização industrial e os requisitos para funcionamento de sistemas sincronizados inspirados no Just-in-Time. Atrasos informacionais, inconsistências de dados e falhas na comunicação aumentam variabilidade e reduzem previsibilidade (KUMAR; DUTTA; PHANDEN, 2022; ŠKORIĆ, 2021). A integração digital reduz essas defasagens; a automação visual diminui tempos perdidos; a governança evita desalinhamentos; e a maturidade digital fortalece a capacidade de adaptação. Esses elementos, quando articulados, aproximam o funcionamento das operações da lógica JIT, que depende de dados confiáveis e fluxos coordenados.

A interação entre tecnologia e fatores organizacionais também se destaca. Liderança, alinhamento estratégico e cultura de inovação influenciam diretamente a adoção de novas práticas (NORTH et al., 2018). Em PMEs, a percepção de valor das tecnologias desempenha papel decisivo, pois decisões costumam ser tomadas por poucos gestores. O modelo proposto incorpora essa dimensão ao favorecer iniciativas internas que fortalecem aprendizado, participação e entendimento das equipes sobre os benefícios da automação.

A análise revela ainda tensões inerentes à transformação digital. As PMEs precisam reduzir complexidade e custos, mas ao mesmo tempo necessitam integrar sistemas e fortalecer governança. Por outro lado, buscam autonomia, mas precisam evitar fragmentação. Têm como objetivo digitalizar processos, mas enfrentam limitações técnicas e culturais. O modelo integra essas demandas ao combinar recursos acessíveis, mecanismos de supervisão e evolução gradual, reduzindo riscos e promovendo avanços contínuos.

Outro ponto relevante é a necessidade de considerar diferenças setoriais e contextuais. O ritmo de adoção digital varia entre manufatura, varejo, serviços especializados e setores regulados (STENTOFT et al., 2018; MISHRIF; KHAN, 2023). Embora o modelo seja flexível, sua aplicação precisa respeitar condições específicas de cada segmento, ajustando prioridades e critérios de implementação sempre que necessário.

Em síntese, o bloco de discussão evidencia que o modelo proposto conecta-se com a literatura, responde às lacunas identificadas e cria uma estrutura realista para PMEs que precisam avançar na direção da sincronização operacional. A integração entre dados, tecnologias acessíveis, governança e maturidade digital forma uma base consistente para reduzir variabilidade, aumentar previsibilidade e fortalecer capacidade de resposta. Assim, o modelo oferece um caminho viável para pequenas e médias empresas evoluírem em direção a processos mais coordenados e alinhados à lógica do Just-in-Time.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As referências mostram que pequenas e médias empresas convivem com limitações estruturais que dificultam a adoção de tecnologias digitais, a integração de sistemas e a coordenação de processos. A fragmentação das informações, a baixa maturidade digital e a

escassez de recursos reduzem previsibilidade e ampliam variabilidade, comprometendo a capacidade de operar de forma sincronizada em ambientes que exigem resposta rápida. O modelo apresentado reúne essas evidências e estrutura uma abordagem integrada que combina tecnologias acessíveis com práticas organizacionais adequadas ao contexto das PMEs.

A proposta articula captura digital, mecanismos de integração, automação visual, governança e evolução da maturidade digital. A digitalização de registros amplia visibilidade e reduz atrasos informacionais; a integração via iPaaS elimina incompatibilidades e facilita coordenação; a automação visual simplifica rotinas e diminui dependência de ações manuais; a governança garante coerência e confiabilidade das soluções; e a maturidade digital orienta o ritmo da evolução e fortalece capacidades internas. Essa organização em camadas cria condições para avançar de forma progressiva, mesmo com restrições de pessoal, orçamento e infraestrutura.

Os resultados apontados na literatura indicam que a automação ágil baseada em low-code e integração oferece um caminho realista para PMEs que buscam aumentar desempenho operacional. Ao reduzir defasagens informacionais, retrabalho e inconsistências, o modelo aproxima as operações do comportamento necessário para práticas sincronizadas e alinhadas à lógica do Just-in-Time. A visibilidade gerada pela digitalização, somada à padronização e à conectividade, reduz variabilidade e melhora a resposta às oscilações da demanda, criando ambiente mais estável para tomada de decisão.

Ao mesmo tempo, as limitações observadas reforçam que a evolução precisa ser gradual. Empresas com maturidade digital reduzida devem iniciar por ações simples, evoluindo para integrações mais amplas e somente depois incorporando automações complexas. Além disso, fatores culturais, características setoriais e disponibilidade de recursos influenciam diretamente a velocidade de adoção, o que exige adaptações específicas. Esse reconhecimento amplia a viabilidade prática do modelo e reforça sua flexibilidade.

A análise integrada mostra que o modelo fornece base consistente para evolução digital de PMEs e amplia o entendimento sobre como tecnologias acessíveis podem apoiar sincronização operacional. A combinação entre elementos tecnológicos e organizacionais, articulados de maneira coerente, oferece um caminho viável para transformar dados dispersos em decisões rápidas e fluxos mais previsíveis. Isso resulta em maior estabilidade, redução de desperdícios e maior capacidade de resposta — benefícios fundamentais para empresas que buscam operar com eficiência e alinhamento à de fluxos contínuos inspirados no Just-in-Time.

6 REFERÊNCIAS

CAI, First Z. et al. A case study: Digitalization of business processes of SMEs with low-code method. IFAC-PapersOnLine, v. 55, n. 10, p. 1840-1845, 2022.

CHONSAWAT, Nilubon; SOPADANG, Apichat. Defining SMEs' Industry 4.0 readiness indicators. 2020.

FLÓREZ-CÁCERES, Rocio Mercedes et al. Improving productivity in an SME in the metalworking sector. 2024.

GHERGHEA, Ion Cosmin; BUNGAU, Constantin; NEGRAU, Mauriciu. Lead time reduction and increasing productivity by implementing CNC technologies. 2019.

- GILCHRIST, Alasdair.** *Industry 4.0: The Industrial Internet of Things*. Apress, 2016.
- HOPP, J. Wallace; SPEARMAN, L. Mark.** To pull or not to pull: what is the question? *Manufacturing & Service Operations Management*, 2004.
- HUSSEIN, Mohamed; ZAYED, Tarek.** Critical factors for successful implementation of Just-in-Time. 2021.
- HYRYNSALMI, Sonja M.** Definition of the enterprise integration platforms as a service. 2020.
- KLJAJIĆ BORŠTNAR, Mirjana; PUCIHAR, Andreja.** Multi-attribute assessment of digital maturity of SMEs. 2021.
- KUMAR, Ravinder; DUTTA, Gautam; PHANDEN, Rakesh Kumar.** Digitalization adoption barriers in manufacturing SMEs. 2022.
- LEVSTEK, Aleš et al.** Towards an adaptive strategic IT governance model for SMEs. 2021.
- MAHOHOMA, Tinaye.** Assessing the impact of corporate governance principles on small and medium enterprises. 2020.
- MISHRIF, Ashraf; KHAN, Asharul.** Technology adoption as a survival strategy for small and medium enterprises. 2023.
- NORTH, Klaus et al.** Promoting digitally enabled growth in SMEs: a framework proposal. 2018.
- RAMÍREZ MARTÍNEZ, Lucía et al.** Navigating the new normal: digital proximity and JIT in small businesses. 2025.
- REYES, John; MULA, Josefa; DÍAZ-MADROÑERO, Manuel.** Quantitative insights into the integrated JIT–MRP planning environment. 2024.
- ROKIS, Karlis; KIRIKOVA, Marite.** Exploring low-code development: a comprehensive review. 2024.
- RUPEIKA-APOGA, Ramona et al.** Digital transformation of small and medium enterprises. 2020.
- SÁ, Daniel et al.** Low-code approach for business analytics. 2023.
- ŠKORIĆ, Tanja.** Digital transformation and Industry 4.0 and its impact on SME business. 2021.
- SOLA-MORALES, Oriol et al.** Data governance for real-world data management. 2022.
- STENTOFT, Jan et al.** Drivers and barriers for Industry 4.0 readiness and practice: empirical evidence. 2018.
- TAKAWIRA, Blessing; POOE, David.** SME readiness for Industry 5.0: a systematic literature review. 2024.
- TECHANAMURTHY, Umawathy; IQBAL, Muhammad Saqib; ABDUL RAHIM, Zulhasni.** Digital readiness of manufacturing SMEs: assessment and challenges. 2025.
- UTOMO, Diana et al.** Leveraging COBIT 2019 to implement IT governance in SME context. 2022.
- VILJOEN, Altus et al.** Governing citizen development to address low-code platform challenges. 2023.

WEILL, Peter; ROSS, Jeanne W. *IT Governance on One Page: A Simple Approach to Effective Governance*. MIT Sloan School of Management, 2004.

WOMACK, James P.; JONES, Daniel T. *Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation*. 2. ed. New York: Free Press, 2003.

YIN, Robert K. *Case Study Research and Applications: Design and Methods*. 6. ed. Thousand Oaks: SAGE Publications, 2018.