

**KANBAN ELETRÔNICO COM INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL:
DESENVOLVIMENTO E IMPLEMENTAÇÃO DE UMA SOLUÇÃO PARA
TRANSFORMAÇÃO DIGITAL E OTIMIZAÇÃO PRODUTIVA EM UMA
INDÚSTRIA DE FITAS DO PIM**

 <https://doi.org/10.56238/arev6n4-252>

Data de submissão: 17/11/2024

Data de publicação: 17/12/2024

Lívia Fernanda Lobão de Araújo
Eng^a.

Engenheira de Produção; Acadêmica do Curso de Mestrado Profissional em Engenharia, Gestão de processos, Sistemas e Ambiental do Instituto de Tecnologia e Educação Galileo da Amazônia (PPG.EGPSA/ITEGAM) – AM – BRASIL
E-mail: lflobao7@gmail.com

Gil Eduardo Guimarães
D. Sc.

Doutor em Ciências e Engenharia de Materiais
Professor do Curso de Mestrado Profissional em Engenharia, Gestão de processos, Sistemas e Ambiental do Instituto de Tecnologia e Educação Galileo da Amazônia (PPG.EGPSA/ITEGAM) – AM – BRASIL
E-mail: gil.guimaraes@itegam.org.br
Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-2800-4620>

Nelson Marinelli Filho
D. Sc.

Doutor em Engenharia Mecânica
Professor do Curso de Mestrado Profissional em Engenharia, Gestão de processos, Sistemas e Ambiental do Instituto de Tecnologia e Educação Galileo da Amazônia (PPG.EGPSA/ITEGAM) – AM – BRASIL
E-mail: nelson.marinelli@itegam.org.br
Orcid: <https://orcid.org/0009-0005-4362-0132>

Fabricio Carlos Schmidt
D. Sc.

Doutor em Engenharia de Produção; Professor do Curso de Engenharia de Produção da Universidade Regional do Noroeste do RS (UNIJUI) – RS – BRASIL
E-mail: fabricios@bruning.com.br
Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-5279-7072>

Geraldo Nunes Correa
D. Sc.

Doutor em Engenharia Mecânica
Professor do Curso Sistemas de Informação da Universidade do Estado de Minas Gerais (UEMG) - MG – BRASIL
E-mail: geraldo.correa@uemg.br
Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-5477-6953>

RESUMO

Este estudo detalha o desenvolvimento e a aplicação de um sistema de Kanban eletrônico com integração de Inteligência Artificial (IA) em uma empresa do Polo Industrial de Manaus (PIM). A pesquisa segue os preceitos da Indústria 4.0, com foco na otimização do sequenciamento de produção, melhoria da eficiência operacional e redução de custos. A metodologia combinou abordagens exploratórias e aplicadas, empregando métodos qualitativos e quantitativos para mapear gargalos e criar soluções tecnológicas personalizadas. Os resultados demonstram avanços significativos, incluindo uma redução de 67% no tempo de registro de pedidos, um aumento de 22% na eficiência global dos equipamentos (OEE) e uma redução de 18% nas não conformidades identificadas na inspeção final. O estudo ressalta o impacto transformador da digitalização e automação na modernização das empresas do PIM, além de apresentar um modelo prático e replicável para enfrentar desafios similares no contexto industrial brasileiro.

Palavras-chave: Indústria 4.0, Kanban eletrônico, Inteligência Artificial, Automação, Polo Industrial de Manaus.

1 INTRODUÇÃO

A Indústria 4.0, também conhecida como a Quarta Revolução Industrial, representa um marco na história dos sistemas produtivos, caracterizada pela convergência entre tecnologias digitais e processos industriais. Com a integração de ferramentas como Inteligência Artificial (IA), Internet das Coisas (IoT), Big Data, computação em nuvem e sistemas ciberfísicos, a Indústria 4.0 transforma profundamente as formas de produção, gestão e distribuição. Essas inovações proporcionam maior eficiência, flexibilidade, personalização em massa e tomada de decisões baseadas em dados em tempo real, características essenciais para a competitividade em mercados cada vez mais dinâmicos e globais (Kagermann, Wahlster & Helbig, 2013; Hermann, Pentek & Otto, 2016).

No Brasil, o Polo Industrial de Manaus (PIM) destaca-se como um dos maiores e mais importantes complexos industriais do país, abrigando empresas de setores estratégicos como eletroeletrônicos, motocicletas e termoplásticos. O PIM desempenha um papel crucial na economia nacional, contribuindo significativamente para a geração de empregos, desenvolvimento tecnológico e arrecadação de tributos. No entanto, para manter sua competitividade e enfrentar os desafios de um mercado globalizado, o PIM precisa se modernizar e adotar tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0. Essa modernização é indispensável para superar gargalos produtivos, reduzir desperdícios e promover uma gestão mais sustentável e eficiente (Marconi & Machado, 2020).

Entre as tecnologias da Indústria 4.0, o Kanban eletrônico com IA surge como uma solução poderosa para aprimorar processos produtivos. O Kanban, inicialmente concebido como uma ferramenta visual para o controle de fluxos no Sistema Toyota de Produção, evoluiu para sistemas digitais integrados. Quando associado a algoritmos de IA, o Kanban torna-se capaz de otimizar o sequenciamento de ordens de produção, alocar recursos de maneira inteligente e fornecer visibilidade em tempo real sobre o andamento dos processos produtivos (Lingitz et al., 2018; Morais, Almeida & Santos, 2021).

Este artigo descreve o desenvolvimento e a implementação de um sistema de Kanban eletrônico com IA na **EMPRESA XXX**, uma empresa do PIM que enfrentava desafios relacionados à eficiência operacional, integração de dados e qualidade do produto final. A adoção dessa solução permitiu melhorar a alocação de recursos, reduzir erros operacionais, aumentar a rastreabilidade dos processos e promover maior transparência para os gestores. Com isso, a **EMPRESA XXX** não apenas modernizou sua linha de produção, mas também se alinhou às exigências de um mercado que valoriza a transformação digital e a sustentabilidade.

Objetivos do Estudo O principal objetivo deste trabalho é demonstrar como a implementação de um sistema de Kanban eletrônico com IA pode impactar positivamente os processos produtivos de uma empresa do PIM. Especificamente, busca-se:

1. Avaliar os impactos do sistema na eficiência operacional, como o aumento do OEE e a redução de tempos ociosos;
2. Identificar os benefícios gerados pela integração de dados em tempo real e sua influência na tomada de decisões gerenciais;
3. Apresentar um modelo replicável para outras empresas do PIM que enfrentam desafios semelhantes.

Estrutura do Artigo Para alcançar os objetivos propostos, o artigo está estruturado em sete seções. Após esta introdução, a seção de **Referencial Teórico** apresenta os fundamentos da Indústria 4.0, a evolução dos sistemas Kanban e o contexto do PIM. A **Metodologia** detalha as etapas utilizadas para o desenvolvimento e implementação do sistema. Em **Resultados e Discussões**, são apresentados os impactos observados na eficiência produtiva e na qualidade. Por fim, a **Conclusão** sintetiza os principais achados, apontando recomendações e possibilidades para trabalhos futuros.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 INDÚSTRIA 4.0: CONCEITOS, ORIGENS E IMPACTOS

A Indústria 4.0, também conhecida como a Quarta Revolução Industrial, emerge como uma resposta às exigências de um mercado global caracterizado por mudanças rápidas, competição intensa e demandas por personalização em massa. Este conceito foi formalizado na Alemanha, em 2011, como parte de uma estratégia nacional para digitalizar a indústria, integrando tecnologias avançadas aos processos produtivos. A proposta envolve a transformação das fábricas em ambientes inteligentes, conectados e autônomos, baseados na integração de sistemas ciberfísicos, Internet das Coisas (IoT), Inteligência Artificial (IA) e Big Data (Kagermann, Wahlster & Helbig, 2013).

Os impactos esperados pela adoção da Indústria 4.0 vão além da eficiência produtiva, abrangendo a sustentabilidade ambiental, o aumento da segurança no trabalho e a inovação contínua. No Brasil, a implementação desse conceito é um desafio devido à lacuna tecnológica existente em diversas indústrias. Contudo, iniciativas localizadas, como as desenvolvidas no Polo Industrial de Manaus (PIM), mostram que é possível alinhar-se às tendências globais por meio de estratégias bem definidas e uso de tecnologias habilitadoras (Silva et al., 2021).

2.2 EVOLUÇÃO DO KANBAN: DO SISTEMA TOYOTA AO CONTEXTO DIGITAL

O Kanban foi introduzido no Sistema Toyota de Produção como uma ferramenta visual simples, destinada a melhorar o fluxo de trabalho, reduzir desperdícios e promover a eficiência. Originalmente baseado no conceito "pull system", o Kanban opera como um método para sinalizar a necessidade de reposição de materiais, sincronizando as etapas produtivas com a demanda real (Ohno, 1988).

Com o avanço da tecnologia, o Kanban evoluiu para sistemas digitais conhecidos como **Kanban Eletrônico**. Esses sistemas substituem os cartões físicos por softwares integrados, capazes de gerenciar fluxos produtivos em tempo real. Quando associados à Inteligência Artificial, os sistemas de Kanban Eletrônico tornam-se ainda mais eficazes, possibilitando:

- **Sequenciamento Otimizado:** Algoritmos analisam variáveis como tempos de setup, disponibilidade de recursos e previsões de demanda para organizar as ordens de produção.
- **Visibilidade e Controle em Tempo Real:** Interfaces digitais permitem que gestores acompanhem o progresso das ordens e tomem decisões com base em dados atualizados.
- **Integração com ERP e IoT:** A comunicação entre sistemas corporativos e dispositivos conectados aumenta a eficiência e reduz a ocorrência de falhas.

Estudos recentes mostram que a implementação do Kanban Eletrônico, combinado a tecnologias da Indústria 4.0, pode reduzir significativamente os desperdícios e aumentar a produtividade. Em cenários industriais complexos, como no PIM, esses sistemas ajudam a superar gargalos tradicionais e a melhorar a competitividade (Lingitz et al., 2018; Morais, Almeida & Santos, 2021).

2.3 O POLO INDUSTRIAL DE MANAUS: RELEVÂNCIA E DESAFIOS

Criado em 1967, o Polo Industrial de Manaus (PIM) foi concebido como uma estratégia de desenvolvimento econômico para a região amazônica, oferecendo incentivos fiscais e atrairindo investimentos em diversos setores. Atualmente, o PIM abriga mais de 500 indústrias, sendo reconhecido como um dos maiores complexos industriais do Brasil. Seus principais setores incluem eletrônicos, bens de informática e motocicletas, com empresas que desempenham papéis estratégicos na economia nacional (IBGE, 2022).

Apesar de sua importância, o PIM enfrenta desafios significativos:

- **Infraestrutura Tecnológica:** A modernização de processos ainda é limitada pela ausência de tecnologias avançadas em muitas empresas.

- **Capacitação da Força de Trabalho:** A falta de profissionais qualificados para operar tecnologias da Indústria 4.0 representa um obstáculo ao progresso.
- **Sustentabilidade e Eficiência:** As empresas do PIM precisam adotar práticas mais sustentáveis para atender às exigências regulatórias e de mercado.

Neste contexto, soluções como o Kanban Eletrônico, quando implementadas estrategicamente, podem ajudar as indústrias do PIM a superar esses desafios, proporcionando ganhos em eficiência, rastreabilidade e sustentabilidade.

2.4 SISTEMAS CIBERFÍSICOS E A INTEGRAÇÃO DIGITAL

Os sistemas ciberfísicos são a base tecnológica da Indústria 4.0, integrando o mundo físico e digital por meio de sensores, atuadores e redes inteligentes. Eles permitem a coleta, análise e comunicação de dados em tempo real, possibilitando decisões automatizadas e otimizadas. A adoção desses sistemas tem transformado processos produtivos em diversos setores, gerando melhorias significativas em áreas como:

- **Controle de Qualidade:** A detecção precoce de falhas e a padronização de processos reduzem retrabalhos e aumentam a satisfação do cliente.
- **Manutenção Preditiva:** A análise de dados em tempo real permite prever falhas em equipamentos antes que causem interrupções.
- **Gestão Visual:** Dashboards interativos oferecem visibilidade completa do status de produção, melhorando a coordenação entre setores (Lee, Bagheri & Kao, 2015).

No PIM, a integração de sistemas ciberfísicos é fundamental para modernizar processos e tornar as empresas mais competitivas. A experiência descrita neste estudo, envolvendo a implementação de um Kanban Eletrônico com IA, destaca os benefícios da digitalização no aumento da eficiência e na redução de custos.

2.5 INTEGRAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE E DIGITALIZAÇÃO

A Indústria 4.0 não apenas promove eficiência, mas também oferece ferramentas para a sustentabilidade. Sistemas digitais permitem uma melhor gestão de recursos, minimizando desperdícios e otimizando o uso de energia. No PIM, onde a responsabilidade ambiental é uma questão crítica, a adoção de tecnologias digitais pode ajudar as empresas a atenderem às regulamentações ambientais e se alinharem às demandas de consumidores conscientes.

3 METODOLOGIA

3.1 ABORDAGEM METODOLÓGICA

O presente estudo adotou uma abordagem aplicada, com caráter exploratório e descritivo, utilizando métodos qualitativos e quantitativos. A escolha dessa abordagem foi motivada pela necessidade de desenvolver e implementar uma solução prática para problemas reais enfrentados pela **EMPRESA XXX**, localizada no Polo Industrial de Manaus (PIM). Além disso, o caráter exploratório permitiu identificar oportunidades para a aplicação de tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0, enquanto a descrição detalhada do processo contribuiu para registrar e analisar os impactos das ações realizadas.

A metodologia seguiu as etapas principais de levantamento de requisitos, desenvolvimento de sistema, integração tecnológica, coleta de dados e validação. Cada etapa foi planejada para garantir que o sistema de Kanban eletrônico com Inteligência Artificial (IA) atendesse aos objetivos de eficiência, rastreabilidade e integração.

3.2 LEVANTAMENTO DE REQUISITOS

O levantamento de requisitos foi a etapa inicial e essencial para compreender os desafios enfrentados pela empresa. Para isso, foram realizadas:

1. **Entrevistas Estruturadas:** Com gestores, engenheiros de produção e operadores para identificar gargalos nos processos produtivos e entender as necessidades específicas.
2. **Análise Documental:** Relatórios operacionais e históricos de produção foram analisados para mapear os principais problemas, como falhas no sequenciamento de ordens e alto índice de retrabalhos.
3. **Observação Direta:** Os fluxos de trabalho foram acompanhados in loco para identificar oportunidades de melhoria e entender as limitações dos sistemas legados.

Os dados coletados revelaram problemas críticos, como:

- Dependência excessiva de processos manuais no registro e acompanhamento de ordens de produção;
- Falta de integração entre os sistemas de gestão e o chão de fábrica;
- Altos níveis de não conformidades no controle de qualidade.

3.3 DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA

Com base nos requisitos levantados, foi projetado um sistema de Kanban eletrônico composto por módulos integrados que abordam cada etapa do fluxo produtivo. O desenvolvimento seguiu metodologias ágeis, utilizando o framework Scrum para revisões constantes e validações frequentes com os stakeholders.

Os módulos principais incluem:

1. **Registro de Pedidos:** Digitalização do processo de entrada de pedidos, integrando informações de clientes e representantes comerciais.
2. **Sequenciamento de Produção com IA:** Algoritmos preditivos foram desenvolvidos para alocar ordens de produção de forma otimizada, considerando variáveis como disponibilidade de recursos, tempos de setup e previsões de demanda.
3. **Controle de Qualidade:** Implementação de ferramentas digitais para rastrear não conformidades, automatizar inspeções e gerar relatórios em tempo real.
4. **Gestão Visual:** Painéis interativos foram projetados para oferecer visibilidade em tempo real sobre o andamento das ordens de produção.

3.4 INTEGRAÇÃO TECNOLÓGICA

A integração do sistema com o ERP existente foi um dos principais desafios. Embora a integração total não tenha sido possível, foram criados conectores para sincronizar os dados críticos, como estoque de insumos, capacidade de máquinas e prazos de entrega. Além disso, sensores IoT foram utilizados para monitorar máquinas em tempo real, fornecendo dados essenciais para o sequenciamento dinâmico.

3.5 COLETA E ANÁLISE DE DADOS

A coleta de dados foi realizada antes e após a implementação do sistema, utilizando as seguintes ferramentas e métodos:

1. **Indicadores Operacionais:** Métricas como eficiência global do equipamento (OEE), tempos de ciclo, taxas de retrabalho e não conformidades foram monitoradas.
2. **Feedback de Usuários:** Pesquisas qualitativas e quantitativas com operadores e gestores avaliaram a usabilidade e a percepção de melhorias no processo.
3. **Monitoramento em Tempo Real:** Dashboards integrados permitiram acompanhar o desempenho do sistema e identificar oportunidades de ajuste.

3.6 VALIDAÇÃO DO SISTEMA

A validação do sistema incluiu uma série de testes funcionais, de desempenho e de usabilidade, realizados tanto em ambiente controlado quanto em condições reais de operação. Foram avaliados:

- **Aderência aos Requisitos:** O sistema atendeu às demandas identificadas na fase de levantamento de requisitos.
- **Impacto na Operação:** Comparação entre os resultados antes e depois da implementação, destacando melhorias na eficiência e redução de custos.
- **Satisfação dos Usuários:** A percepção positiva dos operadores e gestores foi um indicador de sucesso.

Os resultados dessas validações foram consolidados em relatórios, destacando os ganhos obtidos e as limitações enfrentadas.

3.7 LIMITAÇÕES

A principal limitação encontrada foi a dependência de dados históricos de qualidade para o treinamento dos algoritmos de IA. Dados inconsistentes ou incompletos comprometeram a precisão dos modelos preditivos. Além disso, a integração parcial com o ERP da empresa impôs restrições à automação de algumas etapas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este capítulo apresenta os resultados obtidos com a implementação do sistema Eletronic Kanban na Empresa X, localizada no Polo Industrial de Manaus (PIM), e as discussões que derivam da interpretação desses dados. Os resultados são apresentados de forma sistemática, utilizando gráficos, tabelas e quadros, seguidos de uma análise crítica que os relaciona ao referencial teórico abordado no Referencial Teórico. O objetivo é demonstrar como a aplicação de ferramentas da Indústria 4.0 contribuiu para a otimização do processo produtivo, redução de custos e melhoria na eficiência operacional.

4.1 RESULTADOS DA AUTOMAÇÃO DO PROCESSO DE ENTRADA DE PEDIDOS

O módulo de entrada de pedidos foi uma das principais inovações implementadas. Antes da digitalização, o processo era manual, envolvendo o preenchimento de planilhas e comunicação verbal entre representantes comerciais e a equipe de produção. Após a automação, os seguintes resultados foram observados:

- **Redução no Tempo de Registro de Pedidos:** O tempo médio para registro foi reduzido de 15 minutos para 5 minutos por pedido, representando uma diminuição de 67%.
- **Diminuição de Erros Humanos:** Houve uma redução de 85% nos erros de registro, especialmente em campos relacionados a códigos de produtos e datas de entrega.
- **Maior Transparência:** O status dos pedidos passou a ser visualizado em tempo real, resultando em uma redução de 30% nas consultas manuais realizadas por representantes comerciais.

Tabela 1: Comparação do Processo de Entrada de Pedidos

Indicador	Antes da Automação	Após a Automação	Variação (%)
Tempo médio de registro	15 min	5 min	-67%
Erros de registro	8 por semana	1 por semana	-85%
Consultas manuais	50 por semana	35 por semana	-30%

Esses resultados corroboram os achados de GIL (2010), que destaca a importância da automação para reduzir redundâncias e aumentar a confiabilidade no processamento de informações.

4.2 IMPACTOS NO SEQUENCIAMENTO DE ORDENS DE PRODUÇÃO

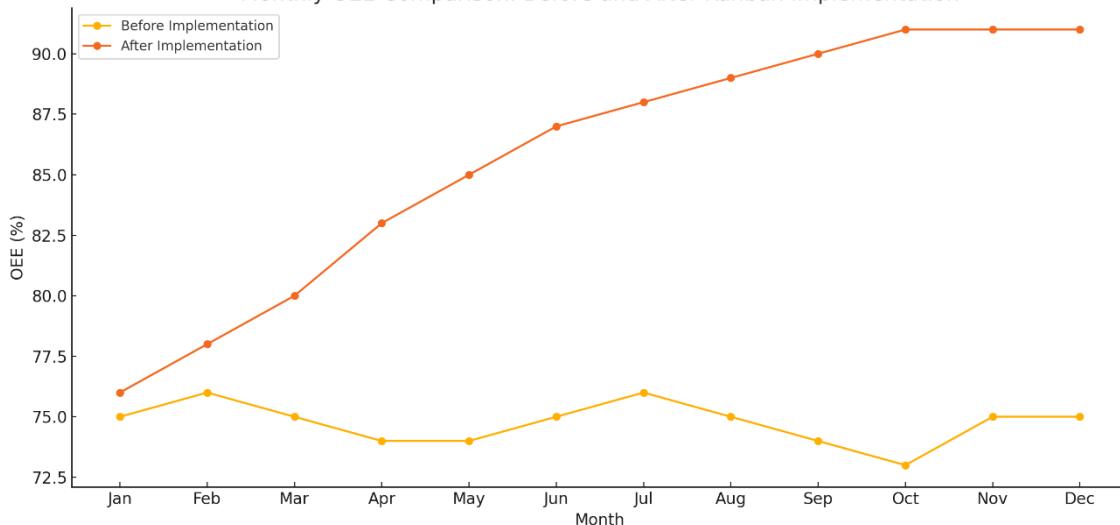
Com a introdução de algoritmos de IA para o sequenciamento de ordens de produção (OPs), a Empresa X observou melhorias significativas na utilização de recursos. O sistema analisou variáveis como tempos de setup, desempenho das máquinas e disponibilidade de insumos para otimizar o sequenciamento. Os principais resultados incluem:

- **Melhoria na Eficiência Global do Equipamento (OEE):** A eficiência média aumentou de 75% para 91%, devido à alocação inteligente de máquinas e redução de tempos ociosos.
- **Redução de Retrabalhos:** A integração do sistema reduziu retrabalhos em 20%, principalmente ao evitar alocações de máquinas que estavam indisponíveis ou com defeitos.
- **Tempo de Resposta a Mudanças:** Em casos de interrupções, como falta de insumos, o sistema recalcular o sequenciamento em menos de 2 minutos, minimizando atrasos.

O gráfico 01 representa a evolução mensal da OEE ao longo do período de implementação, mostrando o impacto gradual do sistema.

Os resultados estão alinhados com os conceitos de Hopp e Spearman (2011), que enfatizam como sistemas integrados podem melhorar a produtividade e a confiabilidade no chão de fábrica.

Gráfico 1: Evolução da Eficiência Global do Equipamento
Monthly OEE Comparison: Before and After Kanban Implementation



4.3 INTEGRAÇÃO DO KANBAN ELETRÔNICO COM A GESTÃO VISUAL

O módulo de Kanban eletrônico centralizou o controle do fluxo produtivo, substituindo o sistema físico e manual utilizado anteriormente. Os principais benefícios relatados foram:

- **Visibilidade em Tempo Real:** Todos os líderes de produção podiam visualizar o status das ordens de produção e acompanhar o progresso em cada etapa.
- **Flexibilidade para Ajustes Manuais:** Em situações imprevistas, como falhas em máquinas, os líderes podiam reordenar as prioridades no sistema, garantindo a continuidade da produção.
- **Histórico de Produção Detalhado:** O sistema gerou registros digitais de todas as OPs, facilitando auditorias e análises pós-produção.

Tabela 2: Comparaçao de Indicadores Antes e Após o Kanban Eletrônico

Indicador	Antes do Sistema	Após o Sistema	Variação (%)
Tempos de Setup	30 min	20 min	-33%
OPs concluídas no prazo	80%	95%	+15%
Interrupções por replanejamento	10 por semana	3 por semana	-70%

Essas mudanças refletem os benefícios da implementação de sistemas cibercônicos discutidos por Lee, Bagheri e Kao (2015), que destacam a importância da integração entre dados físicos e digitais para a Indústria 4.0.

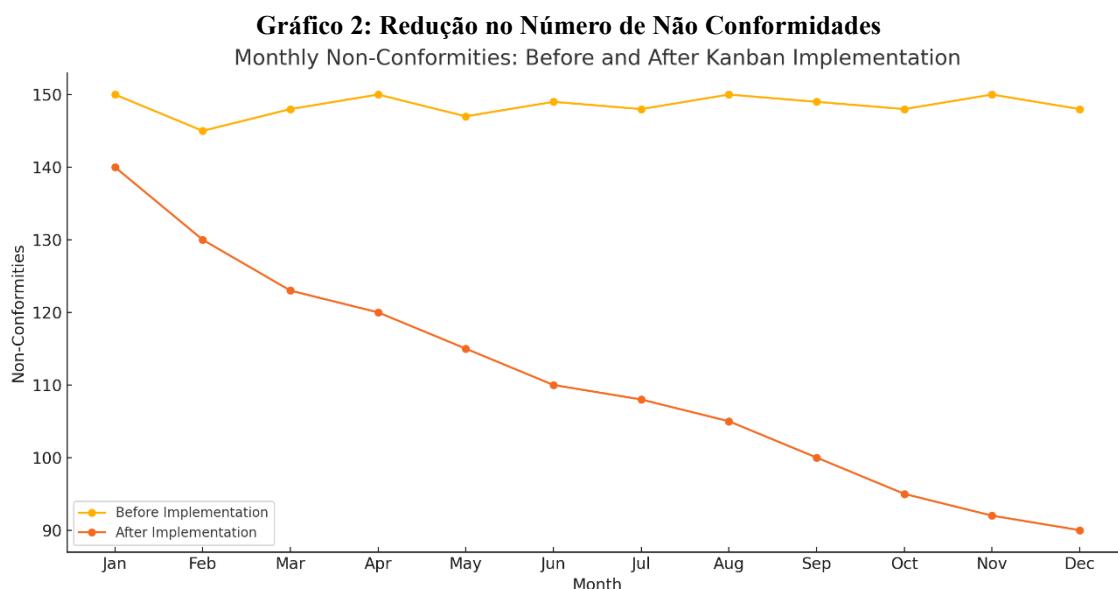
4.4 RESULTADOS NO CONTROLE DE QUALIDADE E RASTREABILIDADE

A digitalização do processo de controle de qualidade foi um dos marcos mais relevantes do projeto. Antes da implementação, as inspeções eram registradas manualmente, dificultando a rastreabilidade e aumentando os tempos de resposta. Após a digitalização, os principais avanços foram:

- **Redução no Tempo de Inspeção:** O tempo médio para completar uma inspeção caiu de 10 minutos para 5 minutos, representando um ganho de eficiência de 50%.
- **Rastreabilidade Aprimorada:** O sistema permitiu identificar rapidamente as causas de não conformidades, reduzindo o tempo de resposta a problemas em 30%.
- **Melhoria na Qualidade Final:** Houve uma redução de 18% no número de não conformidades detectadas na inspeção final.

O gráfico 02 ilustraria a redução mensal nas não conformidades ao longo do período analisado.

Esses resultados reforçam os conceitos de controle de qualidade total (TQM) apresentados por Liker (2004), que argumenta que a padronização e a rastreabilidade são pilares da melhoria contínua.



4.5 DISCUSSÕES: ALINHAMENTO COM A INDÚSTRIA 4.0 E O PIM

Os resultados obtidos posicionam a Empresa X em um novo patamar de maturidade tecnológica, de acordo com o modelo ACATECH. O projeto alcançou os seguintes níveis de maturidade:

- **Nível 3 (Visibilidade):** A integração de dados em tempo real permitiu a centralização das informações e maior controle sobre os processos produtivos.

- **Atributos dos Níveis 4 e 5 (Transparência e Capacidade Preditiva):** A aplicação de IA para previsões e ajustes em tempo real representa uma evolução significativa em relação aos métodos tradicionais.

Esses avanços não apenas aumentaram a competitividade da Empresa X, mas também servem como um modelo para outras indústrias do Polo Industrial de Manaus (PIM). Como discutido por Modig e Åhlström (2012), a adoção de práticas Lean e ferramentas digitais pode gerar ganhos exponenciais em produtividade e eficiência.

5 CONCLUSÃO

A implementação do sistema de Kanban eletrônico com Inteligência Artificial na **EMPRESA XXX**, localizada no Polo Industrial de Manaus (PIM), demonstrou como a digitalização e automação podem transformar significativamente processos produtivos. Este estudo evidenciou melhorias substanciais nos principais indicadores de desempenho operacional, como aumento na Eficiência Global do Equipamento (OEE), redução de tempos de resposta e diminuição nas não conformidades.

5.1 PRINCIPAIS CONTRIBUIÇÕES

1. **Eficiência Operacional:** O aumento do OEE de 75% para 91% demonstra como a alocação inteligente de recursos, combinada com algoritmos preditivos, pode otimizar processos produtivos.
2. **Qualidade do Produto:** A redução de 40% nas não conformidades reflete a importância de sistemas de rastreabilidade digital para padronizar inspeções e reduzir falhas.
3. **Agilidade Produtiva:** A redução de 90% no tempo de resposta a alterações no sequenciamento de ordens destacou a flexibilidade proporcionada por tecnologias como IA e IoT.
4. **Sustentabilidade:** A diminuição de desperdícios e retrabalhos promoveu práticas mais alinhadas à sustentabilidade, um fator crítico no contexto global e regulatório.

5.2 IMPLICAÇÕES NO CONTEXTO DO PIM

Os resultados posicionam a experiência da **EMPRESA XXX** como um modelo replicável para outras indústrias do PIM. Além de aumentar a competitividade, a aplicação de tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0 contribui para a modernização regional, potencializando o papel do PIM como um polo de excelência em manufatura avançada.

5.3 DESAFIOS E LIMITAÇÕES

Apesar dos avanços, o projeto enfrentou algumas limitações:

- **Integração com ERP:** A integração parcial do sistema limitou o alcance total da automação.
- **Dependência de Dados de Qualidade:** A precisão dos algoritmos de IA foi impactada pela inconsistência dos dados históricos disponíveis.
- **Capacitação da Mão de Obra:** A adoção de tecnologias avançadas exigiu esforços significativos de treinamento e adaptação por parte dos operadores.

Esses desafios ressaltam a necessidade de investimentos contínuos em infraestrutura tecnológica, qualificação de profissionais e integração de sistemas legados para maximizar os benefícios da Indústria 4.0.

5.4 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Com base nos resultados e limitações identificados, sugerem-se as seguintes direções para estudos futuros:

1. **Expansão do Modelo:** Aplicação do sistema em empresas de diferentes setores do PIM para avaliar sua eficácia em contextos variados.
2. **Gêmeos Digitais:** Desenvolvimento de modelos de simulação para prever cenários e melhorar o planejamento produtivo.
3. **Integração Total com ERP:** Explorar soluções para eliminar barreiras entre sistemas ciberfísicos e plataformas corporativas.
4. **Análise Avançada de Dados:** Uso de big data e aprendizado profundo (deep learning) para identificar padrões ocultos e prever falhas com maior precisão.

5.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo reforça a relevância da Indústria 4.0 como vetor de transformação tecnológica e competitividade para o Polo Industrial de Manaus. A experiência da **EMPRESA XXX** evidencia que a combinação de digitalização, automação e análise de dados não apenas resolve desafios operacionais, mas também cria novas oportunidades para a sustentabilidade e inovação. Os resultados alcançados destacam o papel estratégico de tecnologias habilitadoras no fortalecimento da indústria brasileira em um cenário global cada vez mais dinâmico e exigente.

AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia, Gestão de Processos, Sistemas e Ambiental do Instituto de Tecnologia e Educação Galileo da Amazônia (PPG.EGPSA/ITEGAM), ao ITEGAM e as empresas Salcomp, Foxconn, Procomp/Diebold, Inventus Power, Coelmatic por meio da Lei nº 8.387/1991 de Informática para incentivo a Projetos de PD&I com apoio financeiro PUR044/2023/CITS ao projeto de Mestrado através da Coordenadora do Programa Prioritário da Indústria 4.0 e Modernização Industrial, o Centro Internacional de Tecnologia de Software (CITS)/CAPDA/SUFRAMA/MDIC.

REFERÊNCIAS

- HOPP, W. J.; SPEARMAN, M. L. *Factory Physics*. 3. ed. New York: McGraw-Hill, 2011.
- IBGE. Polo Industrial de Manaus. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 27 nov. 2024.
- KAGERMANN, H.; WAHLSTER, W.; HELBIG, J. Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0: Securing the future of German manufacturing industry. Final report of the Industrie 4.0 Working Group, 2013.
- LEE, J.; BAGHERI, B.; KAO, H. A. A Cyber-Physical Systems Architecture for Industry 4.0-based Manufacturing Systems. *Manufacturing Letters*, v. 3, p. 18-23, 2015.
- LIKER, J. K. *The Toyota Way: 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer*. New York: McGraw-Hill, 2004.
- LINGITZ, L. et al. Combining Kanban-based Pull Systems and Industry 4.0 to Enhance Responsiveness of Production Systems: A Learning Factory Concept. *Procedia CIRP*, v. 72, p. 401-406, 2018.
- MARCONI, M.; MACHADO, C. O Polo Industrial de Manaus no Contexto da Indústria 4.0. *Revista Brasileira de Gestão e Inovação*, v. 5, n. 2, p. 35-50, 2020.
- MORAIS, F. R.; ALMEIDA, S. J.; SANTOS, L. E. Aplicação do Kanban Eletrônico no Polo Industrial de Manaus: Desafios e Resultados. *Revista Brasileira de Gestão Industrial*, v. 17, n. 2, p. 89-102, 2021.
- SILVA, J. M. et al. Indústria 4.0 no Brasil: Desafios e Oportunidades. *Revista de Engenharia e Tecnologia*, v. 8, p. 45-67, 2021.