


TRANSFORMAÇÃO DIGITAL NO POLO INDUSTRIAL DE MANAUS: AUMENTO DA EFICIÊNCIA NA PRODUÇÃO DE BATERIAS DE LÍTIO ATRAVÉS DA INDÚSTRIA 4.0

 <https://doi.org/10.56238/arev6n4-259>

Data de submissão: 17/11/2024

Data de publicação: 17/12/2024

Alexandre Holanda Damasceno

Acadêmico do Curso de Pós-Graduação em Engenharia, Gestão de Processos, Sistemas e Ambiental do Instituto de Tecnologia e Educação Galileo da Amazônia (PPG.EGPSA/ITEGAM). Avenida Joaquim Nabuco No. 1950. Center. Manaus-AM. ZIP CODE: 69.020-030. Brasil

E-mail: alexandre@bezonternational.com

ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-2263-0140>

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/3977750452673713>

Jandecy Cabral Leite

Doutor em Engenharia Elétrica

Professor do Curso de Pós-Graduação em Engenharia, Gestão de Processos, Sistemas e Ambiental do Instituto de Tecnologia e Educação Galileo da Amazônia (PPG.EGPSA/ITEGAM). Avenida Joaquim Nabuco No. 1950. Center. Manaus-AM. ZIP CODE: 69.020-030. Brasil

E-mail: jandecy.cabral@itegam.org.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1337-3549>

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/7279183940171317>

Jorge de Almeida Brito Junior

Doutor em Engenharia Elétrica

Professor do Curso de Pós-Graduação em Engenharia, Gestão de Processos, Sistemas e Ambiental do Instituto de Tecnologia e Educação Galileo da Amazônia (PPG.EGPSA/ITEGAM). Avenida Joaquim Nabuco No. 1950. Center. Manaus-AM. ZIP CODE: 69.020-030. Brasil

E-mail: jorgebritojr@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4622-1151>

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/3423176906589920>

Fernando Cardoso de Queiroz Júnior

Mestre em Engenharia de Processos Industriais / Engenheiro Eletricista

Professor do Departamento de Tecnologia do Instituto Federal do Amazonas (IFAM)
Manaus-AM. Brasil

E-mail: fernandoqjr@hormail.com

Orcid: <https://orcid.org/0009-0007-5883-1877>

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/7945117472615199>

RESUMO

A indústria de baterias de lítio enfrenta desafios crescentes em termos de demanda e expectativas de sustentabilidade e eficiência. No contexto do Polo Industrial de Manaus, este estudo explora a aplicação de tecnologias da Indústria 4.0 para superar esses desafios e aumentar a eficiência produtiva. A pesquisa implementou sistemas ciberfísicos integrados, automação avançada e análise de dados em tempo real em uma linha de montagem de baterias de lítio, substituindo processos manuais por soluções automatizadas. Os resultados demonstraram uma significativa melhoria na precisão e na

rapidez da produção, com uma redução de 40% no tempo de ciclo e uma diminuição de 75% na taxa de rejeição de produtos, evidenciando o potencial da digitalização para otimizar operações industriais e atender às demandas de um mercado global competitivo. Este estudo contribui para a literatura sobre a transformação digital na manufatura, oferecendo insights práticos sobre a implementação de tecnologias emergentes em ambientes industriais complexos.

Palavras-chave: Indústria 4.0; Baterias de Lítio; Polo Industrial de Manaus; Automação Industrial; Sistemas Ciberfísicos.

1 INTRODUÇÃO

A Indústria 4.0 marca uma revolução tecnológica, caracterizada pela integração de sistemas ciberfísicos (CPS) que conectam o mundo físico ao digital, facilitando a automação e o monitoramento em tempo real dos processos produtivos. Conforme Lee et al. (2015), essa evolução tecnológica permite uma comunicação eficiente entre máquinas e equipamentos, aumentando a flexibilidade e a segurança nos ambientes industriais. Além disso, tecnologias como Internet das Coisas (IoT), Big Data e inteligência artificial não apenas aprimoram o monitoramento das operações, mas também otimizam o planejamento e minimizam desperdícios, promovendo uma gestão de recursos mais eficiente e sustentável (Hermann et al., 2016; Xu et al., 2018). Neste contexto, a transformação no Polo Industrial de Manaus destaca-se como um exemplo significativo de adaptação industrial às novas tecnologias, essencial para sustentar a competitividade em um cenário global dinâmico (DA SILVA, 2019).

Para que as empresas tirem pleno proveito das potencialidades da Indústria 4.0, Schwab (2016) e Zheng et al. (2018) ressaltam a necessidade de investimentos significativos em infraestrutura tecnológica e no desenvolvimento de habilidades da força de trabalho, preparando os funcionários para gerir sistemas complexos e dados volumosos. A transição para essa nova era industrial transcende o aspecto tecnológico, exigindo também uma transformação cultural nas organizações, onde a promoção de uma cultura de inovação contínua é essencial (Roblek et al., 2016). Monostori (2014) argumenta que a modernização induzida pela Indústria 4.0 redefine os processos produtivos e demanda uma revisão das práticas de gestão para manter a competitividade em um mercado globalizado.

O Polo Industrial de Manaus (PIM), destacado como um dos mais importantes polos industriais do Brasil, é central na produção de eletrônicos, incluindo celulares, computadores e baterias. Ele desempenha um papel crucial no desenvolvimento da região amazônica, diversificando a economia local e promovendo a criação de empregos, o que é vital para combater as desigualdades socioeconômicas da região Norte (Pereira & Simões, 2016; Monteiro & Lima, 2017). Além de atender ao mercado interno, Silva & Souza (2019) destacam que o polo contribui significativamente para o comércio exterior, fortalecendo sua importância econômica no cenário nacional e internacional. A política de incentivos fiscais da Zona Franca de Manaus impulsiona ainda mais o desenvolvimento social e a urbanização, reforçando o papel do PIM como um pilar de desenvolvimento regional sustentável (Souza & Silva, 2018; Almeida & Santos, 2017).

Para manter sua competitividade num mercado cada vez mais tecnológico, o PIM tem incorporado automação industrial e sistemas ciberfísicos, essenciais para a Indústria 4.0. Lima & Pereira (2020) e Fonseca & Ferreira (2021) observam que essas tecnologias permitem um controle mais preciso da produção e uma maior eficiência no uso de recursos, adaptando o ambiente industrial

às exigências do mercado. Com investimentos em digitalização, as empresas do PIM buscam não apenas aumentar a produtividade, mas também reduzir custos operacionais e ampliar a sustentabilidade das operações. Santos & Oliveira (2021) afirmam que a adoção dessas tecnologias é crucial para que o PIM continue a ser uma referência na indústria brasileira e global.

A demanda crescente por dispositivos móveis, como smartphones e tablets, tem impulsionado a necessidade por baterias de lítio, conhecidas por sua eficiência energética e durabilidade. Empresas de renome, como a Samsung, exigem baterias de alta qualidade, o que estimula a busca por fornecedores confiáveis, como os localizados no PIM (Silva & Rocha, 2018; Ribeiro & Santos, 2020). Costa & Silva (2020) notam que para atender aos padrões internacionais de desempenho e segurança, é fundamental que o PIM mantenha um alto nível de controle de qualidade e adote tecnologias avançadas.

Os desafios enfrentados pelo PIM incluem não só a baixa produtividade devido à falta de automação em várias etapas da produção, mas também os riscos ergonômicos associados a processos manuais. Souza & Rocha (2020) e Ramos & Silva (2019) discutem como a automação se mostra uma solução eficaz para esses problemas, melhorando o controle de qualidade e reduzindo a necessidade de intervenção humana em etapas críticas. A modernização com automação e sistemas ciberfísicos garante que o PIM mantenha sua competitividade e relevância em um mercado global exigente, transformando o processo de fabricação de baterias e possibilitando uma produção mais eficiente e rápida, essencial para atender às demandas crescentes do mercado global.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Um novo sistema de automação avançado foi implementado na linha de produção de baterias no Polo Industrial de Manaus (PIM) para transformar o processo produtivo que anteriormente era realizado de forma manual. Antes, 28 estações de trabalho apresentavam desafios como variabilidade na qualidade dos produtos e baixa eficiência operacional. Para alcançar melhorias significativas em consistência, segurança e produtividade, o projeto propôs a introdução de um sistema automatizado que utiliza tecnologias modernas, incluindo sensores, robótica e sistemas de controle. Esse novo sistema consistiu em 12 estações automatizadas, distribuídas estrategicamente nas etapas críticas da linha de produção. O objetivo foi otimizar o desempenho do processo, reduzindo falhas e aumentando a eficiência operacional, garantindo uma produção mais padronizada e confiável.

2.1 MATERIAIS

O Polo Industrial de Manaus (PIM) implementou um sistema de automação avançado na linha de produção de baterias, substituindo e complementando as etapas manuais anteriormente distribuídas em 28 estações de trabalho por um processo mais eficiente composto por 12 estações automatizadas. As tecnologias empregadas neste sistema novo garantem maior precisão, consistência e segurança na produção, além de permitir monitoramento em tempo real e redução de erros humanos.

O sistema automatizado integra várias tecnologias de ponta, incluindo sistemas ciberfísicos, que monitoram e ajustam continuamente os parâmetros operacionais através de sensores, atuadores e controladores. A robótica avançada é utilizada para realizar tarefas repetitivas e críticas, como a aplicação de fitas e a soldagem a laser, melhorando significativamente a velocidade e precisão da produção. Sensores de visão artificial são responsáveis pela inspeção de qualidade durante a montagem, detectando qualquer defeito ou desalinhamento de forma automática. Controladores Lógicos Programáveis (CLPs) coordenam as operações, otimizando o fluxo de produção e integrando todas as estações automatizadas.

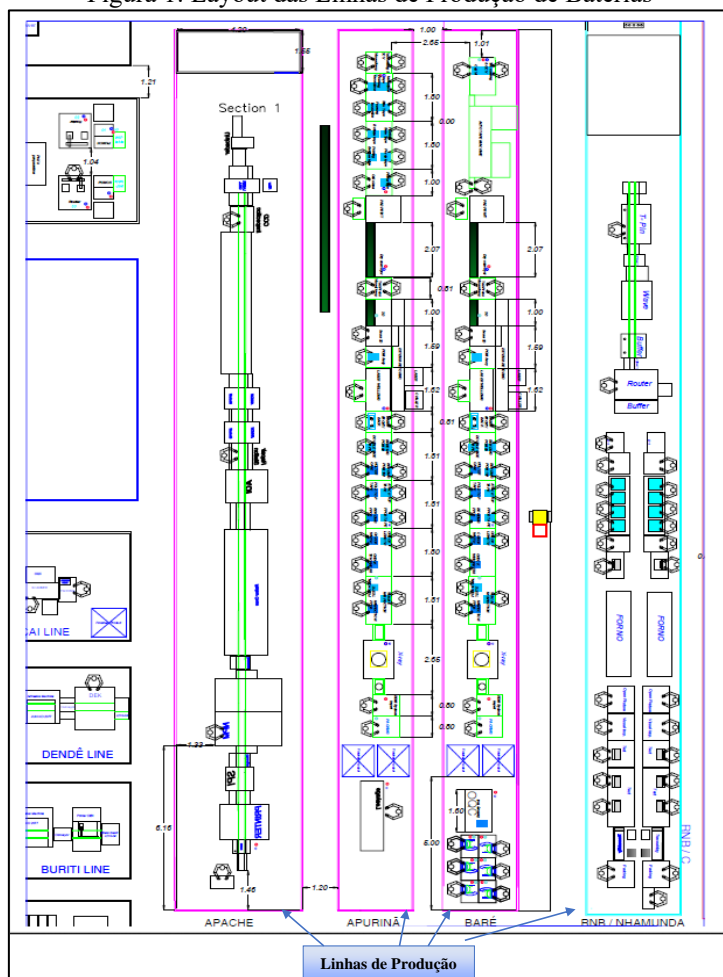
A implementação deste sistema de automação representa uma transformação significativa no processo de montagem de baterias no PIM, antes realizado predominantemente de forma manual em três seções principais: Apache, Apurinã e Baré, abrangendo desde a recepção de materiais até os testes finais de qualidade. A automação dessas etapas visa superar os desafios de variabilidade e ineficiência, garantindo um produto final uniforme e de alta qualidade.

2.2 MÉTODOS

Antes da automação, o processo produtivo no Polo Industrial de Manaus foi cuidadosamente mapeado para identificar pontos de variabilidade e desafios ergonômicos nas 28 estações de trabalho manuais, distribuídas em três seções: Apache, Apurinã e Baré. Este mapeamento revelou dependências críticas dos operadores humanos em tarefas repetitivas e vulnerabilidades em operações críticas como soldagem e inspeção, que comprometem a qualidade e a eficiência da produção. Adicionalmente, a manipulação constante de componentes e execução de tarefas repetitivas aumentavam os riscos ergonômicos, afetando a saúde e a produtividade dos trabalhadores.

A Figura 1 ilustra o layout atual da linha de produção, detalhando o fluxo de trabalho e localização dos principais pontos críticos, mostrando claramente as áreas que mais sofrem com a variabilidade e o esforço repetitivo, ressaltando a necessidade de automação.

Figura 1: Layout das Linhas de Produção de Baterias



Fonte: Autor.

A modernização da linha de produção foi realizada através da introdução de tecnologias avançadas como sistemas ciberfísicos, robótica avançada, sensores de visão artificial e controladores lógicos programáveis (CLPs). Estas tecnologias não só substituíram as atividades manuais por processos automatizados em 12 estações especializadas, mas também permitiram a monitoração e ajuste precisos das operações em tempo real, aumentando a consistência do processo e reduzindo o risco de falhas humanas.

O desenvolvimento do sistema de automação foi apoiado por ferramentas de software como Easy Build e Cold Sys, que ofereceram flexibilidade na programação dos CLPs e uma integração eficiente dos sistemas de controle, facilitando o gerenciamento das operações automatizadas. Estas plataformas ajudaram a manter a continuidade das atividades e minimizar interrupções inesperadas.

Para avaliar o impacto da automação, a coleta de dados foi estruturada em três fases: antes da automação, durante a implementação e após a estabilização das operações. Esta abordagem ajudou a monitorar ajustes em tempo real e avaliar a eficácia das melhorias através de indicadores de

desempenho, como tempo de ciclo e taxa de rejeição, acessíveis diretamente pelo sistema automatizado.

A análise de dados comparou os resultados antes e após a implementação das tecnologias, utilizando gráficos e tabelas gerados automaticamente para consolidar informações sobre qualidade, produtividade e segurança. A análise detalhada permitiu a identificação de padrões de desempenho e a correlação das variáveis operacionais com os resultados observados, otimizando os ajustes necessários para alcançar uma melhoria contínua.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 RESUMO DOS RESULTADOS OBTIDOS

A implementação da automação na linha de produção de baterias resultou em melhorias substanciais na eficiência e na qualidade dos produtos. As inovações tecnológicas introduzidas permitiram aumentar a taxa de rendimento para $\geq 99\%$ e a capacidade de produção para ≥ 1000 peças por hora, enquanto reduziram significativamente a variabilidade e os erros de produção.

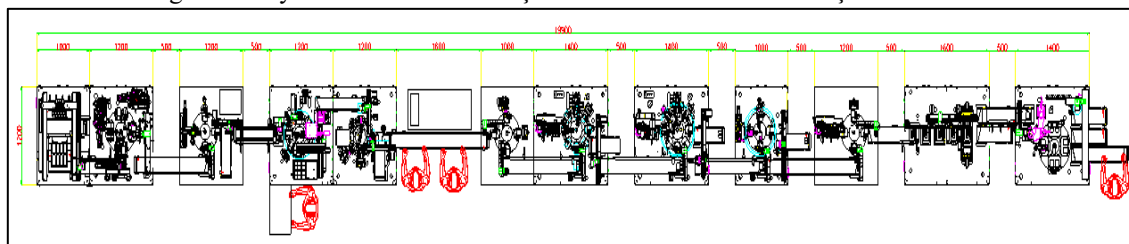
3.2 DISCUSSÃO SOBRE AS INOVAÇÕES TECNOLÓGICAS

As tecnologias implementadas, como máquinas de alimentação automática, estações de solda a laser, e robôs para aplicação de fitas, transformaram fundamentalmente o processo de produção. Essas tecnologias não só automatizaram tarefas repetitivas e críticas, mas também integraram controles avançados para garantir a precisão e a consistência das operações, abordando diretamente os problemas identificados no mapeamento do processo.

3.3 ILUSTRAÇÃO DO LAYOUT E DAS ESTAÇÕES

O novo layout das estações automatizadas é uma representação visual do avanço tecnológico na linha de produção. Cada estação é detalhadamente planejada para maximizar a eficiência do espaço e melhorar o fluxo de trabalho, com configurações que facilitam a integração e a sincronização das operações.

Figura 2: Layout Geral das 12 Estações Automatizadas na Produção de Baterias



Fonte: Autor.

3.4 DESCRIÇÃO DAS ESTAÇÕES AUTOMATIZADAS E TECNOLOGIAS IMPLEMENTADAS

As 12 estações automatizadas na linha de produção de baterias foram especificamente projetadas para otimizar diversas etapas do processo produtivo, operando de maneira sincronizada para garantir eficiência, precisão e consistência.

Cada estação incorpora tecnologias avançadas que abordam diferentes desafios identificados no processo manual anterior.

- Estação 1: Máquina de Alimentação Automática da Célula - Automatiza a inserção de células, utilizando manipuladores cartesianos e ventosas pneumáticas para precisão e redução do manuseio manual, essencial para a integridade dos componentes.
- Estação 2: Aplicação do Poron Tape - Robôs automatizados aplicam fita com consistência e precisão, reduzindo a variabilidade manual e melhorando a aderência, que é crítica para a funcionalidade das baterias.
- Estação 3: Varredura CCD - Combina impressão de QR Code e inspeção de dados, utilizando tecnologia CCD para assegurar a correta identificação de cada célula e qualidade do processo subsequente.
- Estação 4: Estação de Solda a Laser - Oferece um processo de soldagem de alta precisão, contribuindo diretamente para a qualidade estrutural das baterias e redução de falhas na montagem.
- Estação 5: Inspeção da Solda Laser e Dobra do PCB - Realiza inspeção microscópica e dobra automatizada do PCB, aumentando a precisão e reduzindo o esforço manual, com segregação imediata de células reprovadas.
- Estação 6: Dobra CLAD 90° - Automatiza a dobra do clad em um ângulo de 90 graus, garantindo uniformidade no processo e evitando danos aos componentes.
- Estações 7, 8 e 9: Aplicação de Fitas - Aplicam diferentes tipos de fitas com precisão e uniformidade, essenciais para a integridade mecânica e proteção das baterias.
- Estação 10: Ajuste do FPCB 180° - Realiza ajustes do FPCB, dobrando-o em 180 graus com alta precisão, conforme as especificações de design.
- Estação 11: Medição XYZ - Mede dimensões críticas das células com um robô cartesiano, assegurando que as especificações de qualidade sejam atendidas.
- Estação 12: Teste Funcional - Submete as baterias a testes funcionais automatizados, segregando as não conformes para garantir que apenas produtos de qualidade sejam distribuídos.

3.5 INTEGRAÇÃO COMPUTACIONAL E CONTROLE

A integração computacional e o controle das 12 estações automatizadas na linha de produção de baterias foram essenciais para a eficiência e sincronização das operações. Controladores Lógicos Programáveis (CLPs) desempenharam um papel crucial, coordenando todas as atividades e assegurando precisão em cada etapa do processo. O sistema foi projetado para permitir a comunicação contínua e o compartilhamento de informações entre as estações, minimizando interrupções e maximizando a eficiência operacional.

As funcionalidades avançadas do sistema incluem a segregação automática de peças não conformes e a validação de dados para garantir a conformidade dos produtos. Os CLPs foram configurados para gerenciar uma variedade de operações automatizadas, como movimentação de manipuladores robóticos e monitoramento de parâmetros críticos, como tempo de ciclo, taxa de rejeição e eficiência dos equipamentos. Essa configuração permite ajustes automáticos das operações para manter um desempenho ótimo.

O sistema de controle oferece interfaces detalhadas para a configuração de modos de operação e monitoramento de parâmetros críticos, como mostrado nas Figuras 15 a 18. Estas interfaces permitem ajustes precisos em tempo real, garantindo a flexibilidade necessária para otimizar continuamente as operações produtivas.

Sensores avançados de visão artificial estão integrados ao sistema computacional, permitindo a inspeção e validação de componentes em tempo real. Estes sensores ajudam a identificar falhas ou desalinhamentos antes que os produtos avancem para as próximas etapas, com todas as informações sendo compartilhadas entre as estações para ajustes necessários, mantendo a consistência e a qualidade dos produtos.

O sistema de monitoramento em tempo real coleta e armazena dados em uma base de dados centralizada, processados por softwares especializados para análise e ajustes contínuos. Esta integração não apenas otimiza o desempenho das estações, mas também estabelece uma base sólida para inovações futuras e respostas a mudanças na demanda, alinhando-se com os princípios da Indústria 4.0 e promovendo um ciclo contínuo de inovação e excelência operacional.

3.6 AVALIAÇÃO DE CUSTOS E BENEFÍCIOS

A avaliação de custos e benefícios da implementação da automação na linha de produção de baterias envolve a análise dos investimentos realizados em comparação com os ganhos obtidos em eficiência, qualidade e redução de desperdícios.

Tabela 1: Avaliação de Custos e Benefícios da Automação.

Indicador	Antes da Automação	Após a Automação
Investimento Inicial	N/A	Aquisição de equipamentos, desenvolvimento de sistemas ciberfísicos, robótica avançada e sensores de visão artificial, treinamento dos operadores
Ganho em Produtividade	Limitado	Aumento significativo na capacidade produtiva
Redução da Taxa de Rejeição	12%	3%
Redução de Custos Operacionais	Alta dependência de mão de obra manual	Redução significativa de custos operacionais com menor dependência de mão de obra manual e menor incidência de afastamentos por problemas ergonômicos
Redução do Tempo de Ciclo	5 minutos	3 minutos
Benefícios de Longo Prazo	N/A	Maior competitividade, alinhamento com Indústria 4.0, e oportunidades de inovação contínua

Fonte: Autor.

3.7 BENEFÍCIOS ERGONÔMICOS E DE SEGURANÇA

A implementação da automação na linha de produção de baterias trouxe ganhos significativos em segurança e ergonomia, que podem ser diretamente relacionados aos dados apresentados no Capítulo 3 e aos indicadores de desempenho obtidos. Antes da automação, o trabalho manual em tarefas repetitivas, como a aplicação de fitas e soldagem, resultava em alta dependência de operadores humanos e incidência de problemas ergonômicos, como lesões por esforços repetitivos (LER) e afastamentos por problemas de saúde. Com a introdução das 12 estações automatizadas, esses problemas foram significativamente reduzidos.

A tabela abaixo sintetiza os principais impactos da automação na segurança e ergonomia, comparando os cenários antes e após a implementação:

Tabela 2: Impactos da Automação na Segurança e Ergonomia.

Aspecto	Antes da Automação	Após a Automação
Dependência de Trabalho Manual	Alta dependência para tarefas repetitivas e ergonômicas.	Robôs e manipuladores automáticos executam tarefas críticas.
Incidência de Problemas Ergonômicos	Alta, com casos frequentes de LER e afastamentos.	Redução significativa de problemas relacionados a LER e saúde.
Postura de Trabalho	Operadores expostos a posições estáticas e desconfortáveis.	Melhor postura devido à mudança para tarefas de supervisão.
Afastamentos por Saúde	Frequentes devido às condições ergonômicas inadequadas.	Redução nos índices de afastamento.
Monitoramento e Segurança	Dependência de inspeções manuais.	Sistemas de monitoramento em tempo real corrigem problemas preventivamente.
Qualidade de Vida dos Operadores	Impactada por esforços repetitivos e longas jornadas.	Melhorada com foco em supervisão e redução de esforço físico.

Fonte: Autor.

3.8 ALINHAMENTO COM A INDÚSTRIA 4.0 E MELHORIAS CONTÍNUAS

A automação implementada na linha de produção de baterias no Polo Industrial de Manaus está alinhada com os princípios da Indústria 4.0, utilizando sistemas ciberfísicos, sensores inteligentes e conectividade em tempo real. O uso desses sistemas possibilita o monitoramento contínuo de indicadores como tempo de ciclo, taxa de rejeição e eficiência operacional (OEE), criando uma base sólida para um ciclo contínuo de melhorias. Os dados coletados são processados automaticamente, permitindo ajustes rápidos nas operações e garantindo maior precisão e consistência ao longo do tempo.

A Tabela a seguir sintetiza os principais aspectos do alinhamento com a Indústria 4.0 e as estratégias de melhoria contínua adotadas no sistema automatizado:

Tabela 3: Alinhamento com a Indústria 4.0 e Estratégias de Melhoria Contínua.

Aspecto	Descrição	Benefícios
Sistemas Ciberfísicos	Integração de sensores, atuadores e sistemas de controle conectados em tempo real.	Monitoramento contínuo e ajustes automáticos para maior precisão e consistência.
Indicadores Monitorados	Tempo de ciclo, taxa de rejeição e eficiência operacional (OEE).	Base sólida para ciclos contínuos de melhorias e otimizações no processo produtivo.
Processamento de Dados Automatizado	Coleta e análise automáticas dos dados operacionais.	Permite decisões rápidas e precisas, otimizando o fluxo de trabalho e reduzindo desperdícios.
Preparação para Expansões	Sistema projetado para incorporar novas tecnologias, como IA e machine learning.	Aumenta a capacidade preditiva, melhora as decisões em tempo real e reduz falhas.
Conectividade IoT	Integração com outras áreas da fábrica e sistemas externos.	Facilita manutenção preditiva, análise de big data e maior conectividade com a cadeia produtiva.
Benefícios Competitivos	Adoção de estratégias avançadas da Indústria 4.0.	Consolida posição competitiva e promove evolução contínua com os avanços tecnológicos globais.

Fonte: Autor.

4 CONCLUSÃO

Este estudo demonstrou o impacto significativo da implementação de tecnologias da Indústria 4.0 na linha de produção de baterias de lítio no Polo Industrial de Manaus. A automação das estações, integrada com sistemas ciberfísicos, robótica avançada e sensores de visão artificial, resultou em melhorias notáveis em termos de eficiência, qualidade e segurança operacional.

Os resultados obtidos refletem uma redução considerável na variabilidade do processo e nas taxas de rejeição, além de um aumento expressivo na eficiência operacional, como evidenciado pelo aumento do OEE para 95%. Estas melhorias não apenas elevam a competitividade da produção no

contexto global, mas também promovem um ambiente de trabalho mais seguro e ergonômico para os operadores, alinhando-se com as diretrizes de sustentabilidade e responsabilidade social empresarial.

A implementação bem-sucedida das 12 estações automatizadas destaca a viabilidade e os benefícios de aplicar conceitos da Indústria 4.0 em ambientes industriais complexos. Entretanto, o estudo também reconhece que a transição para a automação completa é um processo evolutivo que requer investimentos contínuos em tecnologia, treinamento de pessoal e desenvolvimento de infraestrutura.

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

- Almeida, M. J. R., & Santos, P. S. (2017). Efeitos da automação no Polo Industrial de Manaus: Desafios para a sustentabilidade da produção industrial. *Revista de Ciência e Tecnologia*, 11(2), 151-165.
- Costa, A. M., & Silva, G. P. (2020). Desafios do controle de qualidade na produção de baterias no Polo Industrial de Manaus. *Journal of Engineering and Industrial Management*, 19(2), 103-121.
- da Silva, S., Vasconcelos, R., & Campos, P. (2019). INDUSTRY 4.0: A THEORETICAL CONTRIBUTION TO THE CURRENT SCENARIO OF TECHNOLOGY IN BRAZIL. *ITEGAM-JETIA*, 5(19), 56-60.
- Fonseca, P. S., & Mendes, A. G. (2021). Redução de falhas humanas e automação na produção de componentes eletrônicos no Polo Industrial de Manaus. *Revista de Automação Industrial*, 9(2), 78-92.
- Hermann, M., Pentek, T., & Otto, B. (2016). Design principles for Industry 4.0 scenarios: a literature review. *Technological Forecasting and Social Change*, 103, 41-46.
- Lee, J., Bagheri, B., & Kao, H. A. (2015). A cyber-physical systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems. *Manufacturing Letters*, 3, 18-23.
- Lima, F. A., & Pereira, M. J. (2020). Integração de sistemas ciberfísicos na indústria eletrônica de Manaus: Caminhos para o futuro. *Tecnologia e Desenvolvimento*, 27(1), 122-138.
- Monostori, L. (2014). Cyber-physical production systems: Roots, expectations and R&D challenges. *Procedia CIRP*, 17, 9-13.
- Monteiro, A. L. M., & Lima, A. L. (2017). A Importância do Polo Industrial de Manaus para o Desenvolvimento Econômico da Região Norte. *Revista de Desenvolvimento Regional*, 23(2), 45-67.
- Pereira, A. B., & Simões, C. A. (2016). O Polo Industrial de Manaus: Desafios e Perspectivas para o Desenvolvimento Regional. *Revista de Economia Contemporânea*, 20(3), 463-489.
- Ramos, T. A., & Silva, J. C. (2019). A influência da automação na redução de falhas de qualidade: uma análise na indústria de baterias. *Revista de Inovação e Tecnologia*, 6(4), 44-62.
- Ribeiro, P. A., & Santos, F. J. (2020). A importância do controle de qualidade na linha de produção de baterias no Brasil: Estudo de caso da Samsung. *Revista Brasileira de Engenharia Industrial*, 12(3), 123-145.
- Roblek, V., Meško, M., & Krapež, A. (2016). A complex view of Industry 4.0. *Sage Open*, 6(2), 1-11.
- Santos, L. B., & Oliveira, A. R. (2021). Transformações tecnológicas e a automação no Polo Industrial de Manaus. *Revista de Economia da Amazônia*, 32(2), 77-96.
- Schwab, K. (2016). *The Fourth Industrial Revolution*. Crown Business.

Silva, J. M., & Souza, F. G. (2019). A transformação tecnológica no Polo Industrial de Manaus e suas implicações para o futuro da indústria nacional. *Revista Brasileira de Estudos Regionais*, 15(4), 212-229.

Silva, M. A., & Rocha, P. S. (2018). A Expansão do Mercado de Dispositivos Móveis e o Aumento da Demanda por Baterias de Lítio. *Estudos de Mercado*.

Souza, M. L., & Rocha, C. P. (2020). Qualidade na produção de baterias: Falhas e soluções tecnológicas. *Engenharia da Qualidade*, 17(3), 78-95.

Xu, L. D., Xu, E. L., & Li, L. (2018). Industry 4.0: state of the art and future trends. *International Journal of Production Research*, 56(8), 2941-2962.

Zheng, P., Lin, T. J., Chen, C. H., & Xu, X. (2018). Smart manufacturing systems for Industry 4.0: Conceptual framework, scenarios, and future perspectives. *Frontiers of Mechanical Engineering*, 13(2), 137-150.