



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO
AMAZONAS - IFAM
CAMPUS MANAUS DISTRITO INDUSTRIAL
CURSO BACHARELADO EM ENGENHARIA DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO**

ALAN JUNIOR LOPES GOMES

**AUTOMATIZAÇÃO DO PROCESSO DE PALETIZAÇÃO DE EVAPORADORES DE
CONDICIONADORES DE AR A PARTIR DOS PILARES DA INDÚSTRIA 4.0:
ESTUDO DE UM MODELO**

MANAUS - AM

2024

ALAN JUNIOR LOPES GOMES

**AUTOMATIZAÇÃO DO PROCESSO DE PALETIZAÇÃO DE EVAPORADORES DE
CONDICIONADORES DE AR A PARTIR DOS PILARES DA INDÚSTRIA 4.0:
ESTUDO DE UM MODELO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto Federal do Amazonas – Campus Manaus Distrito Industrial, Curso de Bacharelado em Engenharia de Controle e Automação, como requisito parcial para obtenção de título de Bacharel.

Orientador: Prof. Dr. Ailton Gonçalves Reis

MANAUS-AM

2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

G633a Gomes, Alan Junior Lopes.
Automatização do processo de paletização de evaporadores de condicionadores de ar a partir dos pilares da indústria 4.0: estudo de um modelo / Alan Junior Lopes Gomes. — Manaus, 2024.
48f.: il. color.

Monografia (Graduação) — Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas, *Campus* Manaus Distrito Industrial, Curso de Engenharia de Controle e Automação, 2024.
Orientador: Prof.º Ailton Gonçalves Reis, Dr.

1. Automatização. 2. Evaporadores. 3. Fábrica inteligente. 4. Indústria 4.0. I. Reis, Ailton Gonçalves. II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas. III. Título.

CDD 629.89

Elaborada por Oziane Romualdo de Souza (CRB11/ nº 734)

INSTITUTO FEDERAL DO AMAZONAS
CAMPUS MANAUS DISTRITO INDUSTRIAL
DEPARTAMENTO DE ENSINO SUPERIOR

Aos 29 dias do mês de julho de 2024, às 17:00, por meio do *google meet*: meet.google.com/ujs-vqor-rwm, o discente **ALAN JUNIOR LOPES GOMES** apresentou o seu Trabalho de Conclusão de Curso para avaliação da Banca Examinadora constituída pelos seguintes integrantes: : Prof. Dr. Ailton Gonçalves Reis (docente-orientador), Prof. MSc. Cristóvão Américo Ferreira de Castro (Avaliador 1) e Prof. Esp. Ewerton Andrey Godinho Ribeiro (Avaliador 2). A sessão pública de defesa foi aberta pelo presidente da banca, que apresentou a Banca Examinadora e deu continuidade aos trabalhos, fazendo uma breve referência ao TCC, que tem como título **AUTOMATIZAÇÃO DO PROCESSO DE PALETIZAÇÃO DE EVAPORADORES CONFORME OS PILARES DA INDÚSTRIA 4.0**. Na sequência, o discente teve até 30 minutos para a comunicação oral de seu trabalho. Cada integrante da banca examinadora fez suas arguições após a defesa do mesmo. Ouvidas as explicações do discente, a banca examinadora, reunida em caráter sigiloso, para proceder à avaliação final, deliberou e decidiu pela **APROVADO** com média final 9,0 (nove) do referido trabalho.

Foi dada ciência ao discente que a versão final do trabalho deverá ser entregue até o dia 28/08/2024, com as devidas alterações sugeridas pela banca. Nada mais havendo a tratar, a sessão foi encerrada às 18:00, sendo lavrada a presente Ata, que, uma vez aprovada, foi assinada por todos os membros da Banca Examinadora e pelo discente.

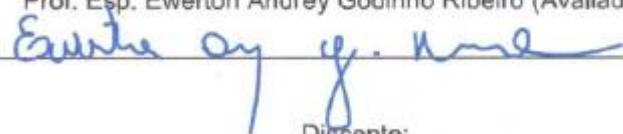
Prof. Dr. Ailton Gonçalves Reis (Orientador/Presidente):

Documento assinado digitalmente
 **AILTON GONCALVES REIS**
Data: 30/07/2024 14:16:42 -0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Prof. MSc. Cristóvão Américo Ferreira de Castro (Avaliador 1):



Prof. Esp. Ewerton Andrey Godinho Ribeiro (Avaliador 2):



Discente:

Documento assinado digitalmente
 **ALAN JUNIOR LOPES GOMES**
Data: 31/07/2024 16:49:58 -0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

À minha família, que sempre me incentivou a ser melhor. Dedico a vocês todos os meus esforços e conquistas.

AGRADECIMENTOS

A Deus, fonte de todas as bênçãos e guia constante em minha jornada, ofereço minha eterna gratidão por me iluminar com fé e esperança, e por estar sempre presente nos momentos de incerteza e nas ocasiões de alegria.

À minha família, alicerce da minha vida, agradeço por cada gesto de amor, cada palavra de encorajamento e pelo suporte incondicional. Vocês são o meu lar, meu refúgio e a força que me impulsiona a seguir em frente, superando desafios e celebrando conquistas.

Aos meus professores, guardiões do conhecimento e inspiradores de sonhos, especialmente, ao meu orientador Prof. Dr. Ailton Gonçalves Reis, minha gratidão é imensa. Obrigado por dedicar tempo, paciência e sabedoria para moldar não apenas a minha educação, mas também o meu caráter.

Aos meus amigos, companheiros de vida, agradeço pela camaradagem, risadas compartilhadas e momentos inestimáveis. A jornada seria muito menos rica sem cada um de vocês ao meu lado.

A todos vocês, minha eterna gratidão!

“A primeira regra de qualquer tecnologia utilizada nos negócios é que a automação aplicada a uma operação eficiente aumentará a eficiência. A segunda é que a automação aplicada a uma operação ineficiente aumentará a ineficiência”.
(Bill Gates, 1995)

RESUMO

O presente estudo tem como objetivo geral descrever o processo de automatização do processo de paletização de evaporadores de uma linha de produção, utilizando as tecnologias dos pilares da Indústria 4.0. A metodologia de pesquisa respeita as características de pesquisa descritiva, com uma abordagem qualitativa. Os resultados evidenciaram que a automatização do processo de paletização de evaporadores, ao adotar tecnologias da Indústria 4.0, trouxe melhorias significativas em eficiência operacional e segurança do trabalho. Foi observada uma redução substancial no tempo de ciclo e aprimoramento na precisão e na consistência dos processos, o que corrobora com a hipótese de que a integração de sistemas avançados de automação e controle, juntamente com interfaces homem-máquina intuitivas, conduz a um aumento de produtividade.

Palavras-chave: Automatização. Evaporadores. Fábrica Inteligente. Indústria 4.0.

ABSTRACT

The general objective of this study is to describe the process of automating the palletizing process of evaporators on a production line, using the technologies from the pillars of Industry 4.0. The research methodology respects the characteristics of descriptive research, with a qualitative approach. The results showed that the automation of the evaporator palletizing process, by adopting Industry 4.0 technologies, brought significant improvements in operational efficiency and work safety. A substantial reduction in cycle time and improvement in process accuracy and consistency were observed, which corroborates the hypothesis that the integration of advanced automation and control systems, together with intuitive human-machine interfaces, leads to an increase in productivity.

Keywords: Automation. Evaporators. Smart Factory. Industry 4.0.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Principais tecnologias aplicadas a Indústria 4.0.....	21
Figura 2 - Máquina de corte das evaporadoras (retirada manual para paletização de evaporadores)	33
Figura 3 - Local onde as evaporadoras eram cortadas e paletizadas	34
Figura 4 - Conceito Inicial do projeto	34
Figura 5 - Vista do mecanismo do protótipo de paletização das evaporadoras	35
Figura 6 - Braço robótico (A) e garra multifuncional (B)	35
Figura 7 - Módulo da esteira de paletização das evaporadoras	36
Figura 8 - Desenvolvimento das Esteiras	38
Figura 9 - Desenvolvimento das Esteiras	39
Figura 10 - Módulo Tombador	39
Figura 11 - Conceito 3D do módulo tombador ilustrando sua operação.....	40
Figura 12 - Base do Braço Robótico.....	41
Figura 13 - Energização do braço robótico.....	41
Figura 14 - Diagrama Elétrico.....	42
Figura 15 - Montagem do Painel Elétrico	43

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Pontos de melhoria e recomendações após a aplicação da automatização do processo de paletização de evaporadores	45
---	----

LISTA DE ABREVIações E SIGLAS

3D	Três Dimensões
CAD	<i>Computer-Aided Design</i> ou Desenho Assistido por Computador
CAE	Engenharia assistida por computador
CLP	Controlador Lógico Programável
ERP	<i>Enterprise Resource Planning</i>
IA	Inteligência Artificial
IHM	Interface Homem-Máquina
IoT	Internet das Coisas
PDM	<i>Product Data Management</i>
RA	Realidade Aumentada

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
2. A AUTOMATIZAÇÃO INDUSTRIAL BASEADA NA INDÚSTRIA 4.0	18
2.1. CARACTERÍSTICAS PRINCIPAIS.....	18
2.2. INDÚSTRIA 4.0	19
2.2.1. Impressão 3D	23
2.2.2. Robótica Avançada	24
2.2.3. Interface homem-máquina (IHM)	25
2.3. AUTOMATIZAÇÃO NO AMBIENTE INDUSTRIAL	26
2.4. SOBRE A ERGONOMIA NO AMBIENTE AUTOMATIZADO	28
2.5. O PROCESSO DE PALETIZAÇÃO	28
2.6. CARACTERIZANDO EVAPORADORES	29
3. METODOLOGIA	31
4. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	33
CONSIDERAÇÕES FINAIS	47
REFERÊNCIAS	49

1. INTRODUÇÃO

Na era da Indústria 4.0, as empresas enfrentam a crescente necessidade de adotar inovações tecnológicas para manter sua competitividade e eficiência operacional. Nesse contexto, uma das áreas-chave, na qual, essas tecnologias têm desempenhado um papel transformador é a automatização industrial, que busca otimizar processos e melhorar a qualidade dos produtos por meio da integração de sistemas inteligentes e da coleta de dados em tempo real.

Sendo assim, esse estudo se concentra em descrever o processo de automatização do processo de paletização de evaporadores de ar-condicionado de uma linha de produção de uma empresa do Polo Industrial de Manaus, utilizando tecnologias pertencentes aos pilares Indústria 4.0, uma vez que, entende-se que a paletização de evaporadores é uma etapa crítica na produção industrial, e a aplicação das tecnologias da Indústria 4.0 promete revolucionar esse processo, tornando-o mais eficiente, preciso e seguro.

A paletização de modo geral é tradicionalmente realizada de forma manual ou semi-automatizada, por ser uma atividade crítica, afeta diretamente a velocidade de produção e a qualidade do produto final (PEREIRA, 2022). Essa automatização não apenas aumenta a produtividade, reduzindo os tempos de ciclo, mas também contribui para melhorar a consistência e a qualidade dos paletes montados, além de reduzir a exposição dos trabalhadores a tarefas repetitivas e desgastantes, levantando questões importantes relacionadas à segurança no local de trabalho e à qualidade do produto (DE SERRA, 2022).

Neste cenário, Marques (2019) enfatiza que, a Indústria 4.0 surge como uma solução promissora, oferecendo a oportunidade de automatizar e aprimorar esse processo, aproveitando tecnologias como Internet das Coisas (IoT), sistemas ciberfísicos e análise de dados em tempo real.

Assim, partimos da seguinte questão norteadora: "De que forma a automatização do processo de paletização de evaporadores, utilizando as tecnologias dos pilares da Indústria 4.0, pode impactar positivamente a eficiência, a qualidade e a segurança na linha de produção de evaporadores?"

Na busca de respostas para tal questionamento, inferimos que a automatização do processo de paletização de evaporadores, baseado nas tecnologias da Indústria 4.0, resultará em melhorias significativas na eficiência da linha de

produção, reduzindo os tempos de ciclo e minimizando erros operacionais. Espera-se que essa automação permita uma produção mais rápida e consistente de evaporadores, aumentando a capacidade de resposta da empresa às demandas do mercado e reduzindo custos operacionais.

Ademais, a implementação da automatização também terá um impacto positivo na qualidade dos evaporadores produzidos, pois a precisão dos processos automatizados reduzirá a variação no produto final. Além disso, espera-se também, que contribua para um ambiente de trabalho mais seguro, minimizando riscos de lesões ocupacionais. Em última análise, a hipótese sugere que a adoção das tecnologias da Indústria 4.0 no contexto da paletização de evaporadores resultará em benefícios tangíveis para a empresa, tanto em termos de eficiência operacional quanto de bem-estar dos trabalhadores.

Partindo dessas premissas, o presente estudo tem como objetivo geral descrever o processo de automatização do processo de paletização de evaporadores de uma linha de produção, utilizando algumas tecnologias pertencentes aos pilares da Indústria 4.0.

Desse objetivo geral decorrem alguns específicos, quais sejam:

- a) Aprofundar os estudos sobre as tecnologias da Indústria 4.0 aplicáveis ao processo de paletização de evaporadores;
- b) Descrever o atual sistema de paletização de evaporadores, suas interfaces elétricas, *software* de automação e controle, e a interface homem-máquina (IHM);
- c) Aplicar a automatização no processo de paletização de evaporadores de ar-condicionado uma linha de produção;
- d) Analisar os resultados encontrados após a aplicação da automatização do processo de paletização de evaporadores de uma linha de produção, considerando os pontos de melhoria e recomendações.
- e) Apresentar os resultados encontrados por meio desse TCC.

O tema justifica-se pela relevância social, acadêmica e profissional. Uma vez que, a automatização de processos industriais, utilizando tecnologias da Indústria 4.0, tem um potencial significativo para melhorar a eficiência e a competitividade das empresas, o que pode levar a uma maior geração de empregos qualificados e ao crescimento econômico. No contexto específico da paletização de evaporadores, essa

automatização não apenas aumentará a produtividade e reduzirá erros, mas também poderá tornar o ambiente de trabalho mais seguro, reduzindo o risco de lesões ocupacionais.

Além disso, a pesquisa contribui para a otimização dos recursos, redução de custos e minimização do impacto ambiental, alinhando-se aos objetivos de sustentabilidade. E por fim, academicamente, esse estudo preenche uma lacuna importante no campo da automação industrial, combinando a aplicação das tecnologias da Indústria 4.0 com a resolução de problemas específicos em um setor industrial real.

Os referenciais teóricos utilizados seguem as ideias de autores que tratam da temática de automatização na Indústria 4., tais como: Baldissarelli e Fabro (2019), Caldas (2020), Cunha (2020), De Serra (2022), Germano et al. (2021), Koh et al. (2019), Marques (2019), Pachchini et al. (2020), Pereira (2022), Rosa (2022), Santos et al. (2021), Silva (2017), Takayama e Panhan (2022), Vinicius et al. (2019), Yamada e Martins (2019) entre outros.

A metodologia utilizada respeita as características da pesquisa descritiva com abordagem qualitativa, pois permite uma investigação aprofundada do processo de paletização de evaporadores em um contexto específico, onde a implementação das tecnologias da Indústria 4.0 é central. A coleta de dados foi realizada por meio de diversas fontes, incluindo observações *in loco*, e entrevistas com trabalhadores envolvidos no processo, bem como análise de documentos e registros relacionados à produção e ao sistema de paletização anterior. E, a abordagem qualitativa permitiu uma compreensão holística do ambiente industrial em questão, incluindo suas nuances operacionais e desafios.

Os resultados mostraram que a automatização do processo de paletização de evaporadores utilizando tecnologias dos pilares da Indústria 4.0 proporcionou melhorias significativas na eficiência e precisão do processo. A integração de robótica avançada, impressão 3D e interface homem-máquina (IHM) permitiu uma melhor posição e qualidade dos evaporadores, garantindo uma distribuição uniforme nos paletes. Além disso, a automação reduziu significativamente o tempo de ciclo e minimizou erros humanos, resultando em um aumento notável na qualidade final do produto. Portanto, podemos afirmar que a automatização trouxe qualidade ao processo de paletização, proporcionando maior consistência e confiabilidade na produção de evaporadores.

Por fim, este TCC está formatado da seguinte forma:

O primeiro capítulo deste TCC apresenta essa própria Introdução ao trabalho, no qual fundamenta-se o tema, delimitação do tema, problema, hipóteses, objetivos, justificativa e breve metodologia da pesquisa.

O segundo capítulo apresenta o referencial teórico que foi utilizado no desenvolvimento dessa pesquisa, abordando a automatização industrial baseada na indústria 4.0, bem como as vertentes da Indústria 4.0 e o processo de paletização.

O terceiro capítulo evidencia a metodologia de pesquisa e descrição quando ao tipo, abordagem e coleta e análise de dados.

O quarto capítulo mostra os principais resultados e discussão sobre o processo de automatização do processo de paletização de evaporadores de uma linha de produção, utilizando as tecnologias dos pilares da Indústria 4.0

E por fim, as Considerações Finais que descreve se os principais objetivos foram alcançados e evidenciam as propostas de estudos futuros.

2. A AUTOMATIZAÇÃO INDUSTRIAL BASEADA NA INDÚSTRIA 4.0

Neste capítulo, exploraremos em detalhes o papel transformador da automatização industrial, identificando tecnologias da Indústria 4.0 aplicáveis ao processo de paletização na indústria e no processo de produção, além das características ergonômicas que resultam da automatização do processo fabril em questão.

2.1. CARACTERÍSTICAS PRINCIPAIS

A automação industrial baseada na Indústria 4.0 representa uma revolução no cenário fabril, impulsionando a eficiência, a produtividade e a competitividade das empresas. Nessa abordagem inovadora, a integração de tecnologias avançadas, como Internet das Coisas (IoT), inteligência artificial (IA), *big data*, computação em nuvem e sistemas ciberfísicos, desempenha um papel fundamental na transformação dos processos de fabricação (SILVA, 2017).

Conforme Pacchini et al. (2020), a Indústria 4.0 tem por objetivo criar ambientes de produção inteligentes, nos quais máquinas, dispositivos e sistemas de informação se comunicam e colaboram de forma autônoma, resultando em um aumento da flexibilidade, adaptabilidade e personalização da produção, permitindo que as fábricas atendam às demandas do mercado de maneira mais eficaz.

Ainda de acordo com os mesmos autores, uma das características marcantes da Indústria 4.0 é a coleta de dados em tempo real de todos os aspectos do processo de produção, em que, equipamentos monitoram o desempenho, a qualidade e a manutenção em tempo real, permitindo uma tomada de decisão mais precisa e proativa, que podem prever falhas e otimizar o processo de produção (PACCHINI et al., 2020).

Logo, a automação industrial baseada na Indústria 4.0 oferece oportunidades efetivas para as empresas melhorarem sua competitividade, eficiência e qualidade, pois ao adotar essa revolução tecnológica, as organizações podem alcançar um maior grau de excelência na produção e se adaptar rapidamente às mudanças do mercado, preparando-se para um futuro cada vez mais conectado e digital (MARTINS, 2021).

Yamada e Martins (2019) enfatizam que, a automação industrial na Indústria 4.0 não se limita apenas à fábrica, mas abrange toda a cadeia de suprimentos, desde

o pedido do cliente até a entrega do produto final, garantindo uma visão completa e transparente de todas as etapas, reduzindo os prazos de entrega, minimiza os estoques e melhora a eficiência logística.

A automatização industrial vai além da simples substituição de mão de obra humana, ela permite que as empresas otimizem seus processos de fabricação de maneira abrangente, possibilitando um monitoramento preciso de todas as etapas da produção, no qual, podem prever falhas, otimizar a alocação de recursos e identificar oportunidades de melhoria (BARBOSA et al., 2020).

Nesse sentido, Santos et al. (2021) afirmam que, a automatização industrial, como um componente essencial da Indústria 4.0, desempenha um papel crucial nessa transformação, envolvendo a substituição ou aprimoramento de tarefas manuais e repetitivas por sistemas automatizados e máquinas inteligentes. Isso não apenas aumenta a eficiência da produção, mas também melhora a qualidade dos produtos, reduzindo erros e aumentando a consistência.

2.2. INDÚSTRIA 4.0

A Indústria 4.0 é um termo que ecoa como um marco na história da manufatura. Representando a Quarta Revolução Industrial, está moldando a maneira como as empresas produzem bens e serviços e está redefinindo o cenário industrial global, convergindo tecnologias avançadas, como a Internet das Coisas (IoT), a inteligência artificial (IA), a análise de *big data* e a automação avançada (KOH et al., 2019; GERMANO et al., 2021).

Essa Revolução é impulsionada pela convergência de tecnologias avançadas, como Internet das Coisas (IoT), *big data*, inteligência artificial, aprendizado de máquina e sistemas ciberfísicos. O resultado é a criação de fábricas e processos altamente automatizados, interconectados e autônomos, capazes de operar com eficiência, precisão e flexibilidade sem precedentes (GERMANO et al., 2021).

A IoT é uma pedra angular da Indústria 4.0, permitindo a conexão de máquinas, sensores e dispositivos em uma rede digital, que de acordo com Takayama; e Panhan (2022), possibilita o monitoramento em tempo real de ativos e processos, o que pode resultar uma tomada de decisão mais precisa e rápida. A IA e o aprendizado de máquina complementam essa capacidade, tornando-se capazes de

analisar dados em larga escala e oferecer *insights* para otimizar a produção, a manutenção e a cadeia de suprimentos.

A automação avançada é outra característica marcante da Indústria 4.0. Robôs e sistemas autônomos colaboram com seres humanos em tarefas complexas e repetitivas, aumentando a eficiência e a qualidade da produção. Essa automatização também se estende à logística, com veículos autônomos e sistemas de gerenciamento de armazéns mais eficientes (TAKAYAMA; PANHAN, 2022).

Ainda de acordo com os mesmos autores, a Indústria 4.0 perpassa a personalização em massa, na qual a produção sob medida é possível a um custo competitivo. Isso é alcançado por meio da digitalização de processos de produção e da flexibilidade de sistemas de manufatura. Como resultado, as empresas podem atender às demandas individuais dos clientes com maior agilidade.

Conforme Tello (2018), para habilitar esse conjunto de funcionalidades, a Indústria 4.0 combina tecnologias herdadas da Terceira Revolução Industrial¹ com elementos de processamento de informações destinados ao armazenamento, processamento e gerenciamento de dados.

Para o mesmo autor, dentro do amplo espectro de tecnologias consideradas para constituir a Indústria 4.0, tais como realidade aumentada, computação em nuvem, sistemas integrados, entre outras, algumas se destacam na arquitetura, incluindo a Internet das Coisas (IoT), o *Big Data*, os Serviços de Internet das Coisas (IoS) e os Sistemas Físicos da Web (CPS), conforme ilustrado na Figura 1.

¹ A Terceira Revolução Industrial, ou Revolução Digital, que começou na segunda metade do século XX, marcou a transição de sistemas mecânicos e analógicos para tecnologias baseadas em computadores e automação, pavimentando o caminho para a digitalização em massa. Caracterizada por avanços significativos em eletrônica, com a invenção do transistor e dos circuitos integrados, esta era testemunhou uma transformação nas telecomunicações, impulsionada pela expansão da Internet, e facilitou a globalização, com impactos profundos na produção, logística e gestão de dados. Essas inovações digitais e infraestruturas estabelecidas durante a Terceira Revolução Industrial formaram a base sobre a qual a Indústria 4.0 foi construída, integrando ainda mais a automatização, o processamento de dados e a conectividade interativa nos ecossistemas industriais modernos. (RODRIGUES et al., 2020)

Figura 1 - Principais tecnologias aplicadas a Indústria 4.0



Fonte: Opticanet (2024).

De acordo com a Figura 1, as tecnologias fundamentais aplicadas na Indústria 4.0 estão intrinsecamente relacionadas à tecnologia, robótica avançada e automação, com o propósito de otimizar e tornar mais eficientes todos os processos de produção. Conforme Vinícius et al. (2019), algumas tecnologias são:

- a) Internet das Coisas (IoT): Representa uma rede de dispositivos interconectados que se comunicam e coletam dados em tempo real, possibilitando o monitoramento e o controle mais eficaz dos processos;
- b) *Big Data* e Análise de Dados: Permitem a coleta, o armazenamento e a análise de volumes significativos de dados gerados pelas operações industriais, viabilizando a identificação de padrões e oportunidades de aprimoramento;
- c) Inteligência Artificial (IA): Inclui algoritmos de aprendizado de máquina, processamento de linguagem natural e visão computacional, habilitando a tomada de decisões autônomas e a otimização de processos;
- d) Realidade Aumentada (RA): Facilita a sobreposição de informações digitais sobre o ambiente real, contribuindo para o aumento da eficiência em operações industriais complexas;
- e) Impressão 3D: Possibilita a produção sob demanda de peças personalizadas e complexas em tempo real, atendendo às necessidades dos clientes e otimizando a eficiência de produção;
- f) Robótica Avançada: Compreende robôs autônomos, colaborativos e móveis capazes de desempenhar tarefas repetitivas e perigosas, reduzindo os riscos de acidentes e aprimorando a eficiência;

- g) **Computação em Nuvem:** Permite o armazenamento e o processamento de grandes volumes de dados, tornando-os acessíveis e seguros em qualquer parte do mundo (VINÍCIUS et al., 2019).

Em se tratando da potencialidade da Indústria 4.0, destaca-se os seguintes pontos:

- a) **Eficiência operacional aumentada:** A Indústria 4.0 permite uma otimização sem precedentes dos processos de produção, pois com a coleta contínua de dados em tempo real, as empresas podem identificar gargalos e ineficiências rapidamente, implementando ajustes e melhorias de forma ágil. Isso resulta em um aumento significativo na eficiência operacional, reduzindo desperdícios de tempo e recursos (TAKAYAMA; PANHAN, 2022);
- b) **Qualidade aprimorada:** A automação avançada e o controle de processos habilitados pela Indústria 4.0 garantem uma qualidade consistente dos produtos, de modo que, a detecção precoce de defeitos e a capacidade de ajustar automaticamente parâmetros de produção contribuem para a redução de produtos defeituosos e para um maior grau de satisfação do cliente (CUNHA, 2020);
- c) **Customização em Massa:** As empresas podem atender às necessidades individuais dos clientes de forma eficiente, produzindo lotes menores e adaptando produtos de acordo com as preferências específicas de cada cliente (ROSA, 2022);
- d) **Manutenção preditiva:** A análise de dados em tempo real e a IoT possibilitam a manutenção preditiva, já que, os equipamentos e máquinas podem ser monitorados quanto a sinais de desgaste e falhas iminentes, permitindo a programação de manutenção antes que ocorra uma parada inesperada, economizando tempo e dinheiro (BALDISSARELLI; FABRO, 2019);
- e) **Maior flexibilidade de produção:** A flexibilidade é uma vantagem competitiva importante na Indústria 4.0, posto que, as linhas de produção podem ser reconfiguradas rapidamente para acomodar mudanças na demanda ou a introdução de novos produtos, oferecendo às empresas a capacidade de

se adaptarem a mercados em constante evolução (GERMANO; MELLO; MOTTA, 2021);

- f) Integração da cadeia de suprimentos: A Indústria 4.0 permite uma integração mais estreita com os fornecedores e clientes, onde a comunicação em tempo real ao longo da cadeia de suprimentos melhora a coordenação, reduz os estoques desnecessários e agiliza a entrega de produtos (SANTOS et al., 2021);
- g) Sustentabilidade: A otimização de processos e a redução de desperdícios promovidas pela Indústria 4.0 contribuem para a sustentabilidade ambiental. Menos resíduos, consumo de energia mais eficiente e uma produção mais enxuta são benefícios que podem ser alcançados (GERMANO et al., 2021).

Logo, a Indústria 4.0 está transformando a forma como as empresas operam e competem em escala global, oferecendo um potencial significativo para aumentar a eficiência, melhorar a qualidade e personalizar produtos, ao mesmo tempo em que impulsiona a inovação e a sustentabilidade. Dentre as várias tecnologias emergentes que desempenham um papel crucial nesta transformação, a impressão 3D se destaca como um vetor de mudança, abrindo caminho para revolucionar os processos de fabricação e design de produtos.

2.2.1. Impressão 3D

A impressão 3D, também conhecida como fabricação aditiva, é uma tecnologia transformadora que está redefinindo os limites da manufatura e do design. Ao permitir a construção de objetos tridimensionais, camada por camada, a partir de um arquivo digital, essa técnica oferece vantagens inovadoras em comparação com métodos de produção tradicionais (BEZERRA et al., 2022).

De acordo com Pinheiro e Salomão (2020), uma das grandes vantagens da impressão 3D é a capacidade de criar produtos altamente personalizados. Do mesmo modo que, acelera o processo de desenvolvimento de produto. Protótipos podem ser produzidos em horas ou dias, em vez de semanas ou meses, permitindo um ciclo de interação rápido que é vital para a inovação. Isso também significa uma redução

significativa no tempo de lançamento de produtos no mercado, o que pode ser um diferencial competitivo importante.

Do ponto de vista ambiental, a impressão 3D pode contribuir para a sustentabilidade. Como a tecnologia é aditiva, há menos desperdício de material em comparação com métodos subtrativos, como o fresamento. Além disso, pode reduzir a necessidade de transporte, já que os itens podem ser impressos localmente, diminuindo as emissões de carbono relacionadas à logística (VERAS et al., 2023).

A longo prazo, Caruzo e Da Silva (2023) enfatizam que, a impressão 3D tem o potencial de democratizar a produção, permitindo que pequenas empresas e até mesmo consumidores individuais projetem e produzam seus próprios produtos. À medida que a tecnologia avança e se torna mais acessível, é provável que vejamos uma maior integração da impressão 3D nos processos de produção, não apenas como uma ferramenta para prototipagem, mas também para a manufatura final de produtos.

Portanto, de acordo com Gabbi, Stelter e Silva (2023) a impressão 3D está no centro da revolução da Indústria 4.0, promovendo uma era de inovação sem precedentes. Seu impacto contínuo na produção, personalização e eficiência está apenas começando a ser sentido, e as possibilidades futuras são tão vastas quanto a imaginação dos designers e engenheiros que a utilizam. Esta convergência de criatividade e tecnologia abre caminho para outras formas de automação inteligente, como a robótica avançada, que representa o próximo passo significativo na transformação dos ambientes de manufatura e além.

2.2.2. Robótica Avançada

A robótica avançada ocorre onde a automação não é apenas integrada, mas também inteligente e adaptável. Trata-se de uma onda de robôs caracterizada por uma maior autonomia, flexibilidade e capacidade de aprendizagem, o que permite que eles realizem tarefas complexas e variadas, muitas vezes superando as limitações dos sistemas robóticos tradicionais (AMARAL; GASPAROTTO, 2021).

Nesse contexto, o que realmente impulsiona a robótica avançada é a sua integração com a inteligência artificial (IA), no qual, robôs equipados com IA podem perceber seu ambiente, tomar decisões em tempo real e aprender com experiências passadas (ZIRONDI; OKADA, 2021).

Outro aspecto crucial da robótica avançada é a capacidade de trabalhar lado a lado com humanos. Os chamados robôs colaborativos ou "cobots" são projetados para operar em estreita colaboração com os trabalhadores humanos, complementando suas habilidades, aumentando a eficiência e reduzindo o risco de lesões no local de trabalho. Eles são equipados com sensores que garantem a segurança, permitindo uma interação intuitiva entre homem e máquina (ZIRONDI; OKADA, 2021).

De acordo com Amaral e Gasparotto (2021), na indústria, a robótica avançada está transformando as linhas de montagem. Robôs com sensores avançados e algoritmos de IA podem se adaptar rapidamente a novas tarefas, o que é ideal para a produção de pequenos lotes e para produtos personalizados. Além do chão de fábrica, a robótica avançada está se expandindo para setores como agricultura, onde podem otimizar a colheita, e para o setor de serviços, melhorando a logística e o atendimento ao cliente.

Everton, Farias e de Castro (2020) discorrem que, a robótica avançada é um elemento chave na quarta revolução industrial, oferecendo oportunidades para aumentar a produtividade, melhorar a qualidade de vida e enfrentar desafios globais complexos. No entanto, aproveitar seu potencial completo requer uma abordagem equilibrada que considere tanto os benefícios quanto os desafios sociais e éticos associados à sua implementação e integração na sociedade. Esse equilíbrio é ainda mais relevante quando consideramos a interação direta entre o homem e as máquinas, um domínio cada vez mais sofisticado alimentado pelo desenvolvimento das Interfaces Homem-Máquina (IHM), que será o foco do nosso próximo tópico.

2.2.3. Interface homem-máquina (IHM)

A Interface Homem-Máquina (IHM) é um campo de estudo e desenvolvimento que se concentra na criação de pontos de interação eficientes e intuitivos entre seres humanos e sistemas computacionais. IHM é fundamental na otimização da comunicação entre o usuário e a máquina, visando aprimorar a experiência do usuário, aumentar a produtividade e minimizar erros (SOUSA et al., 2020).

A evolução das IHMs tem sido notável, partindo de simples terminais de texto para interfaces gráficas avançadas, realidade virtual e aumentada, e agora se

estendendo para interfaces conversacionais como assistentes de voz e *chatbots*². Ademais, interfaces multimodais combinam várias formas de comunicação entre o homem e a máquina, como voz, toque, gestos e até mesmo expressões faciais, para oferecer uma experiência mais natural e eficaz. Isso também desempenha um papel crucial na acessibilidade, permitindo que pessoas com diferentes habilidades e preferências possam interagir com a tecnologia de maneira confortável e produtiva (BARBOSA, 2020).

Segundo Silveira et al. (2022), IHMs são frequentemente equipadas com elementos de inteligência artificial que permitem que o sistema aprenda e se adapte às preferências e comportamentos do usuário. Isso não apenas melhora a eficácia da interface, mas também a torna mais pessoal, criando uma experiência de usuário que é ao mesmo tempo poderosa e agradável.

Deste modo, ainda de acordo com Silveira et al. (2022), a Interface Homem-Máquina é um componente crítico no desenvolvimento tecnológico, servindo como a ponte entre o poder computacional e a inteligência humana. À medida que avançamos em direção a um futuro cada vez mais digitalizado, a importância de desenvolver IHMs que sejam eficazes, seguras e éticas se torna ainda mais premente. As IHMs continuarão a moldar a maneira como interagimos com a tecnologia e, por extensão, como a tecnologia molda a nossa sociedade. À medida que essas interfaces se tornam mais intuitivas e integradas, elas preparam o terreno para uma nova era de automação no ambiente industrial, onde a convergência de várias tecnologias amplifica a eficiência operacional e a inovação.

2.3. AUTOMATIZAÇÃO NO AMBIENTE INDUSTRIAL

A automatização industrial contribui para a melhoria da qualidade dos produtos, pois ao eliminar a influência de fatores humanos, como fadiga ou erros humanos, a qualidade e a uniformidade das saídas são aprimoradas. Os sistemas automatizados podem realizar verificações de qualidade em tempo real, identificando

² *Chatbots* são programas de computador desenvolvidos para simular conversas com usuários humanos, utilizando-se de texto ou voz. Eles são projetados para automatizar a interação com o usuário de forma a imitar o comportamento de um ser humano em uma conversação. Os *chatbots* são amplamente utilizados em diversas aplicações, como atendimento ao cliente, assistentes pessoais, e-commerce, entretenimento e educação (KUYVEN et al., 2018)

e corrigindo problemas de forma imediata, o que resulta em menos defeitos e desperdícios (CALDAS, 2020).

Uma das principais vantagens da automatização é o aumento da eficiência na produção, visto que, máquinas automatizadas são capazes de executar tarefas de forma constante e precisa, 24 horas por dia, sete dias por semana, sem a necessidade de pausas ou descanso, resultando em uma produção mais rápida e consistente, reduzindo significativamente os tempos de ciclo e aumentando a capacidade de produção (SANTOS et al., 2021).

No entanto, é importante observar que a implementação da automatização industrial requer investimentos substanciais em tecnologia e treinamento de pessoal. Além disso, é fundamental garantir a manutenção adequada das máquinas e sistemas automatizados para evitar paralisações não planejadas (CALDAS, 2020).

Assim, ela apresenta-se como um dos pilares da Indústria 4.0 e continua a evoluir, oferecendo às empresas a oportunidade de se destacarem em um ambiente industrial cada vez mais tecnológico e orientado para a automação.

A automatização industrial também tem um impacto significativo na segurança do trabalho. As máquinas automatizadas reduzem a necessidade de intervenção humana em processos que podem ser perigosos, como o manuseio de materiais pesados ou a operação em ambientes com altas temperaturas ou substâncias químicas perigosas. Isso minimiza os riscos de acidentes e lesões no local de trabalho, contribuindo para um ambiente mais seguro e conforme às normas de segurança. Além disso, sistemas automatizados podem ser programados para seguir rigorosamente os procedimentos de segurança, garantindo a aderência consistente às práticas recomendadas e regulamentações (SANTOS et al., 2021).

Outro aspecto relevante da automatização industrial é a sua capacidade de melhorar a sustentabilidade operacional. Sistemas automatizados são frequentemente mais eficientes no uso de recursos, como energia e matéria-prima, do que os processos manuais. Isso se deve à precisão com que as máquinas operam, minimizando o desperdício e maximizando o aproveitamento dos insumos. Empresas que adotam tecnologias de automatização podem, portanto, reduzir seu impacto ambiental e operar de maneira mais sustentável, alinhando-se às crescentes demandas por práticas empresariais ecologicamente responsáveis (CALDAS, 2020).

Por fim, a integração de sistemas de automatização com tecnologias de informação avançadas, como a IoT e a IA, está abrindo novas possibilidades para a

otimização de processos. Essas tecnologias permitem a coleta e análise de grandes volumes de dados em tempo real, facilitando a tomada de decisões baseada em dados e a adaptação rápida a mudanças no ambiente de produção. Com isso, as empresas podem não apenas melhorar a eficiência, mas também se adaptar de forma mais ágil às demandas do mercado e à evolução das preferências dos consumidores, mantendo-se competitivas na era da Indústria 4.0 (SANTOS et al., 2021).

2.4. SOBRE A ERGONOMIA NO AMBIENTE AUTOMATIZADO

A ergonomia visa otimizar o design e a organização dos sistemas, produtos e ambientes, levando em consideração as características, habilidades e limitações das pessoas. No contexto do trabalho, a ergonomia colabora para a promoção da saúde, segurança e eficiência dos trabalhadores, bem como na melhoria do desempenho e da qualidade dos produtos e serviços (GRECCO et al., 2021).

Nesse contexto, a ergonomia abrange os aspectos de: design de postos de trabalho, ferramentas, equipamentos e mobiliário, a organização do trabalho, a interação entre o ser humano e a tecnologia, a segurança no ambiente laboral e a prevenção de lesões musculoesqueléticas e distúrbios ocupacionais. Todavia, ao considerar a ergonomia em um ambiente de trabalho, é possível promover condições que contribuam para o bem-estar físico e mental dos trabalhadores, reduzindo o estresse, a fadiga e os riscos de acidentes e doenças ocupacionais. Além disso, a aplicação dos princípios ergonômicos pode resultar em maior produtividade, qualidade do trabalho e satisfação dos colaboradores (FERREIRA et al., 2019).

De acordo com Karkling et al. (2021), a ergonomia se adapta às mudanças nas tecnologias, nas práticas de trabalho e nas necessidades dos indivíduos, pois ao integrar no ambiente de trabalho, é possível criar condições favoráveis para o desenvolvimento de atividades laborais seguras, saudáveis e eficientes, contribuindo para o bem-estar dos trabalhadores e o sucesso das organizações.

2.5. O PROCESSO DE PALETIZAÇÃO

O processo de paletização refere-se ao método de empilhar e organizar mercadorias sobre um palete para transporte e armazenamento eficientes, melhorando a eficiência no manuseio de cargas, e minimizando os riscos de danos

aos produtos e otimiza o espaço de armazenamento e transporte. Logo, existem vários métodos de paletização, que podem variar de acordo com o tipo de carga, destino e requisitos específicos de manuseio (RIOS; MARCARINI, 2021).

De acordo com Rodrigues (2024), a paletização manual é realizada por trabalhadores e é mais adaptável a cargas irregulares, mas pode ser mais lenta e suscetível a erros e lesões. Por outro lado, a paletização automatizada, realizada por máquinas de paletização ou robôs, oferece uma alta eficiência e consistência, sendo ideal para operações de alto volume e produtos padronizados.

A paletização automatizada utiliza equipamentos como robôs de paletização, sistemas de envolvimento de filme e transportadores para agilizar o processo de empilhamento dos produtos no palete, com sistemas podem ser programados para diferentes padrões de empilhamento, garantindo a estabilidade da carga e a otimização do espaço. Assim, a integração com sistemas de gestão de armazéns (WMS) permite ainda mais eficiência, coordenando a paletização com o estoque e o planejamento de transporte (RODRIGUES, 2024).

Conforme Silva e Grando (2023), ao tornar o processo de carregamento e descarregamento mais rápido e seguro, a paletização beneficia toda a cadeia de suprimentos. Isso resulta em menor tempo de espera para os veículos de transporte, reduzindo custos operacionais. Além disso, a paletização protege melhor os produtos durante o transporte, diminuindo as perdas por danos e melhorando a satisfação do cliente. Contudo, apesar dos benefícios, existem desafios na implementação de sistemas de paletização automatizados, como o investimento inicial em equipamentos e a necessidade de manutenção, além da adaptação dos trabalhadores a novas tecnologias e a integração de sistemas automatizados com processos existentes podem requerer um esforço significativo.

Portanto, a paletização é um processo-chave na otimização logística e, com o avanço da automação e da robótica, está se tornando cada vez mais eficiente e sofisticada na indústrias, uma vez que, melhoram velocidade, precisão e economia, fortalecendo sua posição competitiva da empresa no mercado global (SILVA; GRANDO, 2023).

2.6. CARACTERIZANDO EVAPORADORES

Evaporadores são utilizados nos processos de transferência de calor, sendo divididos em dois tipos principais: os de circulação natural e os de circulação forçada. Os primeiros dependem da diferença de densidade entre o líquido e o vapor para o transporte do líquido a ser evaporado, enquanto os segundos utilizam bombas ou outros meios mecânicos para movimentar o líquido (NAVES, 2022).

Quanto à geometria, destacam-se os evaporadores de tubo e casco, comumente encontrados em aplicações industriais, e os evaporadores de placa, conhecidos por sua eficiência e formato compacto. Assim, os de múltiplo efeito utilizam o vapor gerado em um estágio para evaporar o líquido em outro, aumentando a eficiência energética, enquanto os de único efeito realizam a evaporação em apenas um estágio (NAVES, 2022).

De acordo com Almeida (2021), no que tange o mecanismo de alimentação, os evaporadores podem ser classificados como de alimentação por gravidade, onde a alimentação do líquido é feita por diferenças de pressão, e de alimentação por bomba, onde é utilizada uma bomba ou outro dispositivo mecânico para alimentar o líquido. Todavia, a diversidade de tipos de evaporadores disponíveis possibilita a escolha do mais adequado para cada aplicação, considerando fatores como eficiência energética, custo, espaço disponível e propriedades do fluido a ser evaporado.

3. METODOLOGIA

A metodologia de pesquisa adotada neste estudo é caracterizada como descritiva, com uma abordagem qualitativa. Essa escolha metodológica visa aprofundar a compreensão do processo de paletização de evaporadores em um contexto específico, no qual a implementação das tecnologias da Indústria 4.0 desempenha um papel central.

Entendemos que abordagem qualitativa se coaduna com essa pesquisa, pois o foco principal da pesquisa não é a quantificação de dados, mas sim a exploração e a compreensão dos fenômenos, processos e experiências dos trabalhadores e do ambiente industrial em questão. A pesquisa qualitativa permite uma investigação mais detalhada e aprofundada, proporcionando insights significativos sobre o assunto em estudo (GIL, 2019).

A coleta de dados neste estudo envolveu várias fontes, na qual, foram realizadas observações *in loco*, permitindo que os pesquisadores acompanhassem diretamente o processo de paletização de evaporadores e registrassem informações relevantes. Além disso, foram conduzidas entrevistas com os trabalhadores envolvidos no processo, permitindo a obtenção de perspectivas diretas e experiências individuais. Também foi realizada uma análise de documentos e registros relacionados à produção e ao sistema de paletização anterior, fornecendo dados históricos e contextuais.

A abordagem qualitativa escolhida permitiu uma compreensão holística do ambiente industrial em estudo, levando em consideração suas nuances operacionais e desafios. Isso possibilitou a obtenção de informações ricas e contextualizadas, essenciais para a análise e interpretação dos resultados da pesquisa. Logo, a metodologia utilizada neste estudo combina pesquisa descritiva, abordagem qualitativa e uma variedade de métodos de coleta de dados para oferecer uma visão abrangente e aprofundada do processo de paletização de evaporadores na era da Indústria 4.0.

A análise documental complementou as observações e as entrevistas, envolvendo a revisão de documentos como manuais de operação, registros de manutenção e relatórios de produção. Essa análise proporcionou uma visão histórica e técnica do processo de paletização, permitindo identificar tendências, evoluções e possíveis pontos no fluxo operacional.

Na metodologia foi possível utilizar o software EPLAN. O software EPLAN é uma ferramenta amplamente utilizada na engenharia elétrica e automação industrial, projetada para desenvolver projetos de forma eficiente. Sua interface intuitiva facilita a criação e edição de esquemas elétricos, diagramas de circuitos e layouts de painéis. Com um banco de dados integrado, automatiza tarefas repetitivas e permite a colaboração entre equipes. Além disso, gera documentação técnica detalhada, contribuindo para a precisão e eficiência no desenvolvimento de projetos.

Outro software utilizado nesta pesquisa foi o CREO. O software Creo, desenvolvido pela PTC, é uma poderosa ferramenta de design e engenharia assistida por computador (CAD/CAE) amplamente utilizada em diversos setores da indústria para a criação de produtos complexos em 3D. O Creo oferece uma ampla gama de funcionalidades que permitem aos usuários criar modelos detalhados, simular o comportamento de produtos e otimizar o processo de design.

A combinação dos resultados das observações, entrevistas e análise documental possibilitou vislumbrar o impacto da Indústria 4.0 no processo de paletização de evaporadores. Os resultados foram discutidos à luz da literatura revisada, oferecendo validação para as descobertas e contribuições originais para a área de estudo. A clareza e sistematização dos procedimentos metodológicos adotados pelo pesquisador asseguram a possibilidade de replicação do estudo e a confiabilidade dos resultados apresentados.

4. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Para que possamos compreender o atual processo de paletização das evaporadoras, faz-se necessário vislumbrar como ocorria esse processo *a priori*. Assim, no final da linha de produção dos aparelhos de ar-condicionado havia uma máquina de corte das evaporadoras (paletização de evaporadores) que cortava o conjunto em duas evaporadoras, conforme a Figura 2. Após a realização do corte, um operador tirava as evaporadoras da linha de produção manualmente para a operação de paletização.

Figura 2 - Máquina de corte das evaporadoras (retirada manual para paletização de evaporadores)



Fonte: Dados da Pesquisa (2024).

Na linha de produção, o local destinado à paletização das evaporadoras situava-se logo após a máquina de corte. As unidades, uma vez processadas, eram encaminhadas para o ponto de retirada no final da linha. Ali, o operador era responsável por remover as evaporadoras e executar o empilhamento no palete. Este empilhamento era realizado seguindo um posicionamento específico, visando assegurar uma sustentação mecânica adequada às pilhas de evaporadoras paletizadas, conforme ilustrado na Figura 3.

Figura 3 - Local onde as evaporadoras eram cortadas e paletizadas

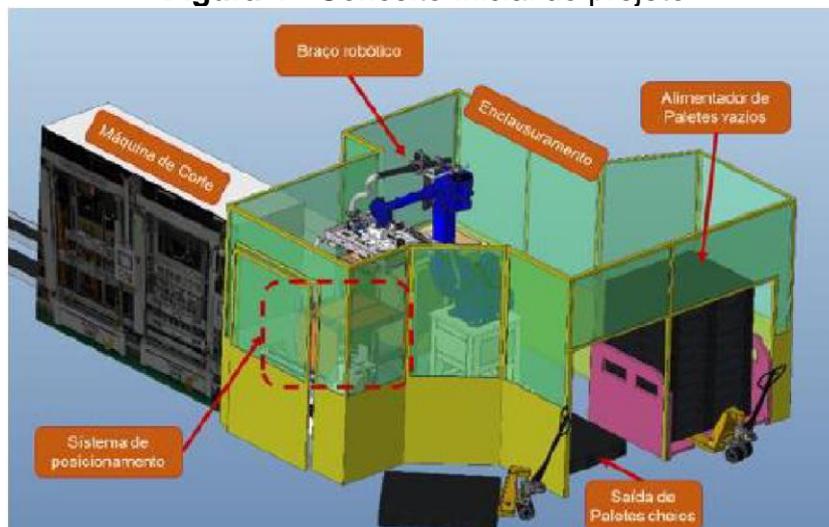


Fonte: Dados da Pesquisa (2024).

Para garantir o volume de produção necessário, o operador necessitava paletizar as duas evaporadoras em 3 segundos, o que equivale a 9 segundos por evaporadora e a 400 operações de empilhamento manual por hora. Considerando 8 horas de trabalho por turno, assim, eram realizadas 3.200 operações de empilhamento por cada operador em um turno de produção.

Diante dessa demanda produtiva, implementou-se um sistema automatizado de paletização de evaporadores. Esse protótipo foi projetado para substituir as operações manuais por um processo mais ágil, diminuindo a carga de trabalho dos operadores e aumentando a eficiência do processo de paletização, vejamos a Figura 4, do conceito inicial do projeto.

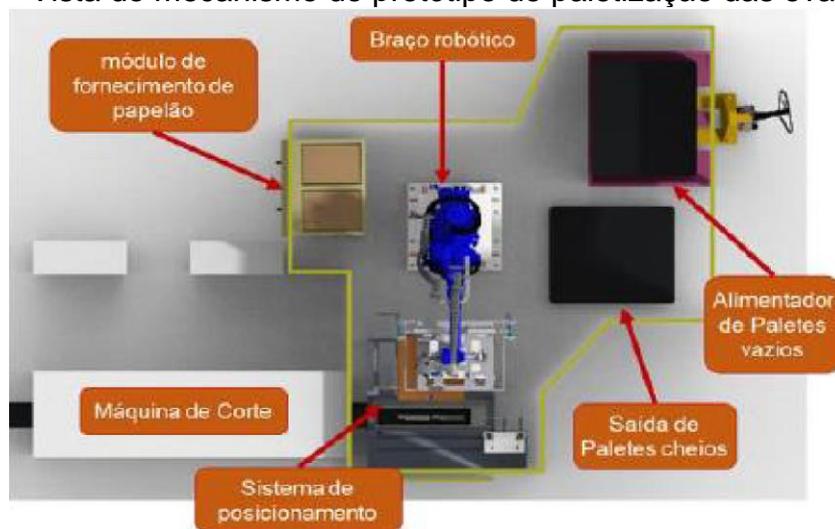
Figura 4 - Conceito Inicial do projeto



Fonte: Dados da Pesquisa (2024).

A Figura 5 apresenta uma visão superior do protótipo de paletização das evaporadoras, detalhando a disposição de cada componente. Nela, é possível observar o módulo de fornecimento de papelão, que insere separadores entre as pilhas de evaporadores, e o alimentador de paletes vazios. Este último é abastecido automaticamente por um braço robótico, que também é responsável por posicionar os paletes cheios manualmente, assim que a pilha de evaporadores paletizados estiver completa.

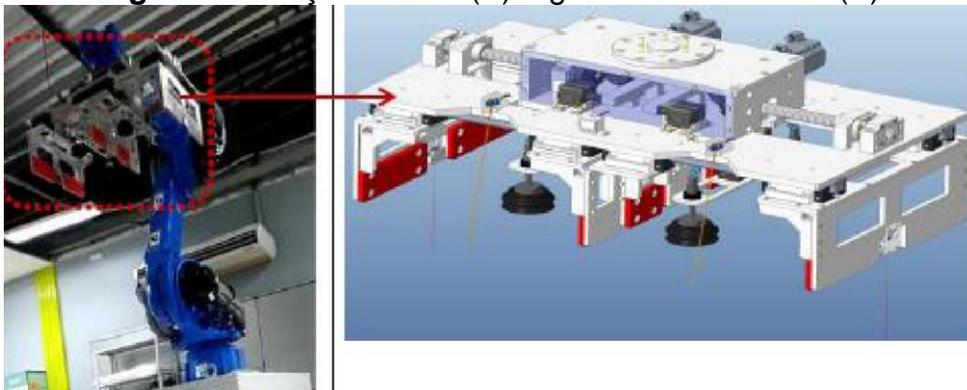
Figura 5 - Vista do mecanismo do protótipo de paletização das evaporadoras



Fonte: Dados da Pesquisa (2024).

A Figura 6 mostra o detalhe do braço robótico e da garra multifuncional responsável pela pegada das folhas de papelão e pela pegada dos evaporadores.

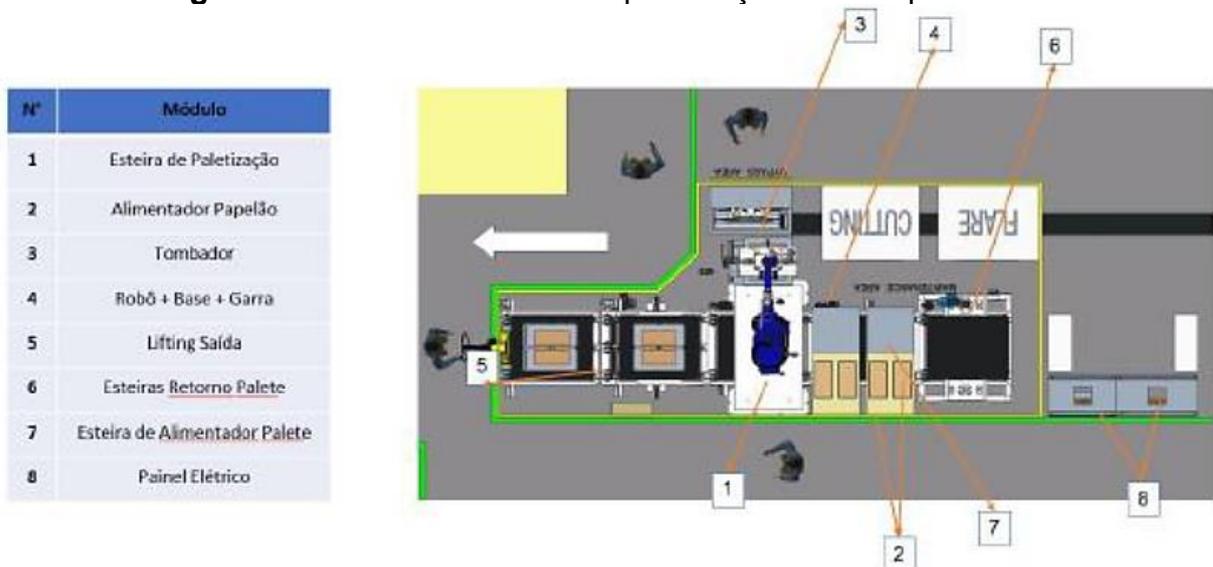
Figura 6 - Braço robótico (A) e garra multifuncional (B)



Fonte: Dados da Pesquisa (2024).

Posteriormente, considerou-se um novo conceito do módulo, que foi abordado em função da necessidade de acrescentar mais módulos a serem ocupados no processo produtivo e a realocação de mão-de-obra. Conforme a Figura 7, foi dividido em oito módulos, sendo: a esteira de paletização (Legenda 1), alimentador de papelão (Legenda 2), tombador (Legenda 3), braço robótico de seis eixos posicionado na base com a garra para pegar evaporadores e papelão (Legenda 4), esteira de entrada e saída de paletes (Legenda 5), esteira de retomo de paletes (Legenda 6), esteira de alimentador de paletes (Legenda 7) e painel elétrico (Legenda 8).

Figura 7 - Módulo da esteira de paletização das evaporadoras



Fonte: Dados da Pesquisa (2024).

Dessa maneira, o atual processo de paletização das evaporadoras foi construído a partir de um software de controle de automação, que gerencia todos os eventos discretos da automação, sequenciando e cadenciando o funcionamento de cada mecanismo, bem como monitorando e controlando a operação automática do protótipo.

O processo de desenvolvimento mecânico do sistema de paletização foi conduzido por meio do *software* PTC CREO®, uma ferramenta de engenharia assistida por computador (CAE), que possibilita a modelagem de sólidos em três dimensões de maneira paramétrica. Essa tecnologia oferece uma plataforma para a criação de modelos complexos e detalhados, permitindo uma manipulação precisa de geometrias e a simulação de montagens, o que é importante para a prevenção de erros de fabricação e para a otimização de designs (REDDY et al., 2022). A

funcionalidade de modelagem 2D do software também é fundamental, pois permite a geração de desenhos técnicos detalhados necessários para a produção e montagem dos componentes mecânicos do sistema.

No aspecto elétrico e pneumático, o software EPLAN Electric® foi a ferramenta escolhida para a elaboração dos esquemas necessários. Conforme Vieira (2022), este software é reconhecido por sua capacidade de criar documentações precisas e detalhadas de engenharia elétrica. EPLAN Electric® oferece uma abordagem integrada para o desenvolvimento de esquemas elétricos, permitindo a automação de tarefas de design, como a geração de listas de materiais, cálculo de dimensões de fios e configuração de componentes de controle. A utilização desse software garante que a paletizadora tenha um sistema elétrico e pneumático confiável e eficiente, o que é essencial para a segurança e o desempenho do sistema de automação.

Quanto ao software de automação, a integração entre o CLP (Controlador Lógico Programável), a IHM (Interface Homem-Máquina) e os componentes elétricos e de automação foi realizada utilizando a linguagem de programação LADDER®. A linguagem LADDER, inspirada em diagramas elétricos de relés, é uma das linguagens mais utilizadas na programação de CLPs devido à sua simplicidade visual e eficácia na implementação de lógicas de controle (DE MELHO et al., 2021; BORBA, 2023). A escolha dessa linguagem permitiu a criação de um software confiável para o controle do sistema de paletização, assegurando operações precisas e facilitando a manutenção e o diagnóstico de falhas.

Essa combinação de ferramentas de software, PTC CREO® para o design mecânico, EPLAN Electric® para a engenharia elétrica e pneumática, e a linguagem LADDER para automação, não só demonstra um investimento significativo na qualidade e na confiabilidade do sistema de paletização como também reflete o compromisso com a utilização de tecnologias avançadas para alcançar os melhores resultados possíveis. A escolha dessas ferramentas especializadas é um testemunho da importância dada à precisão, eficiência e inovação no processo de desenvolvimento do sistema de paletização.

Vale destacar que, o processo de desenvolvimento das esteiras transportadoras foi detalhada em diagramas 2D, que serviram como o esqueleto para todas as etapas subsequentes. Após a conclusão dos desenhos 2D, avançamos para a modelagem 3D utilizando softwares avançados de CAD (Desenho Assistido por Computador). Isso permitiu uma visualização mais concreta e interativa das esteiras

transportadoras, facilitando a identificação e solução de potenciais problemas de design antes da fabricação.

Com os modelos 3D aprovados, iniciou-se o processo de fabricação. As peças foram produzidas com a utilização de equipamentos de corte e moldagem de última geração para assegurar precisão milimétrica. Cada componente foi então inspecionado para garantir conformidade com as exigências do projeto. O resultado deste processo pode ser visualizado na figura 8.

Figura 8 - Desenvolvimento das Esteiras

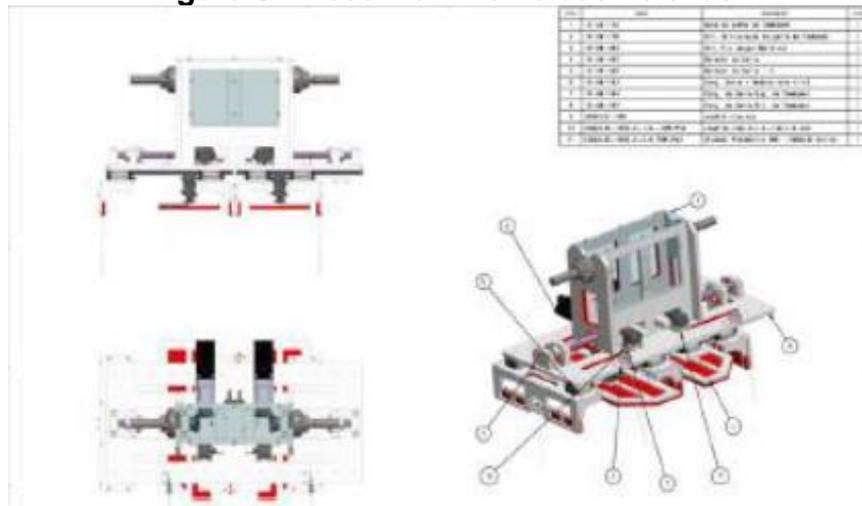


Fonte: Dados da Pesquisa (2024).

Seguindo, a criação da garra do tombador demandou-se um processo de desenvolvimento técnico a partir do detalhamento 2D, onde se desenhou com precisão cada aspecto do componente. Esses desenhos técnicos foram fundamentais para a comunicação clara das dimensões, formas e requisitos de montagem de todas as partes que compõem a garra.

Posteriormente, a transição para a modelagem 3D permitiu visualizar a garra do tombador em um ambiente simulado, observando sua forma e funcionamento de maneira mais tangível. A figura 9 ilustra o modelo tridimensional finalizado, tanto a funcionalidade quanto a segurança no design do equipamento.

Figura 9 - Desenvolvimento das Esteiras

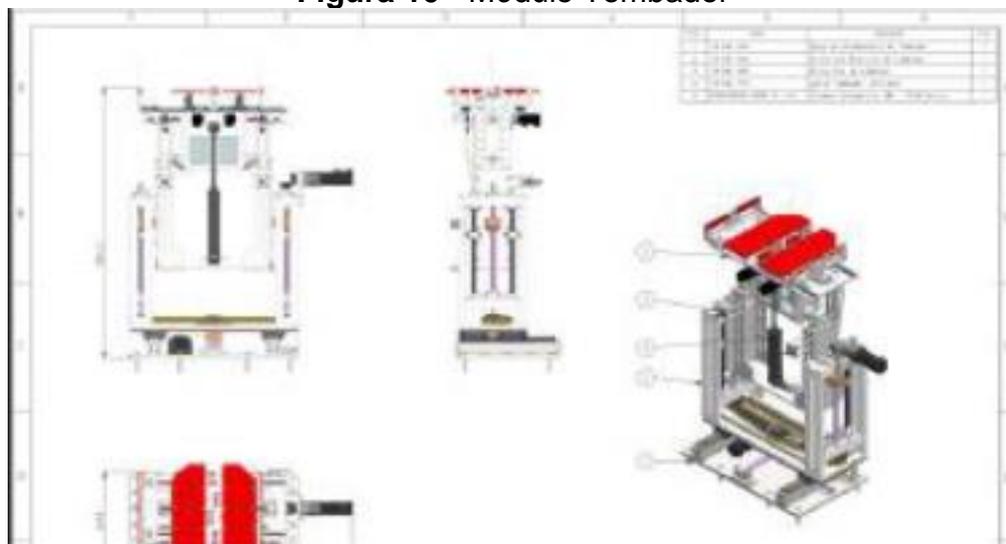


Fonte: Dados da Pesquisa (2024).

No que se refere ao módulo tombador em função do local disponível para o posicionamento da automação (atrás da linha de produção), os evaporadores saem da linha de produção numa posição que precisam ser rotacionado para que possam ser empilhados. Com isso, verificou-se a necessidade de um movimento de rotação dos evaporadores, na posição vertical para horizontal, por meio de um módulo tombador, para a garra do braço robótico, pois é esta terá que pegar os evaporadores na posição horizontal e girar o produto 90° para a linha de produção, de maneira precisa para não criar gargalos no fluxo de processo.

O desenvolvimento do módulo tombador foi realizada por meio do mesmo processo, detalhamento 2D e modelagem 3D, vide Figura 10.

Figura 10 - Módulo Tombador

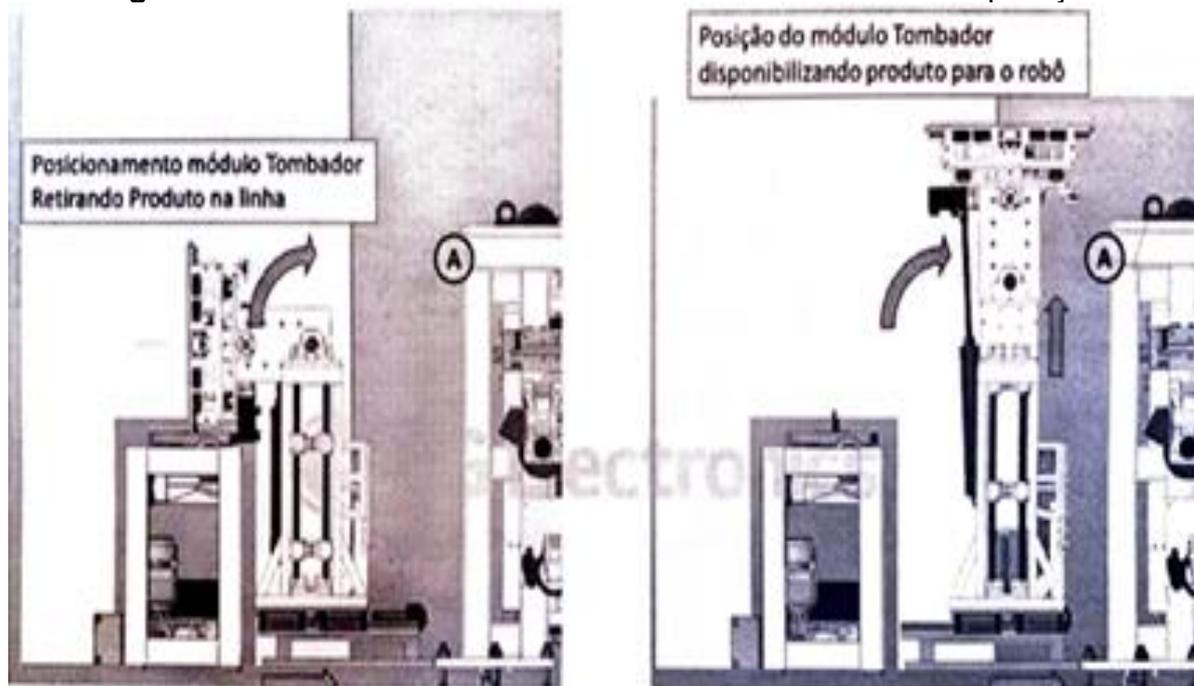


Fonte: Dados da Pesquisa (2024).

O desenho 3D do módulo tombador levou em consideração 3 movimentos básicos para operação: receber o evaporador na posição vertical e fixá-lo por meio de uma garra; realizar um deslocamento linear em direção à base do braço robótico; rotacionar o evaporador em 90° deixando-o na posição horizontal.

A figura 11 ilustra o conceito 3D do módulo tombador, apresentando a operação deste mecanismo. É possível verificar, na imagem à esquerda, o posicionamento do tombador para a retirada do produto da linha. Na sequência, há um deslocamento linear do módulo (representado pela seta horizontal para a direita) em direção à base do elemento robótico (A). Em seguida, o módulo realiza um movimento de giro de 90° juntamente com um movimento vertical de elevação (representado pela seta vertical na figura), disponibilizando o produto na posição oriental do braço robótico.

Figura 11 - Conceito 3D do módulo tombador ilustrando sua operação



Fonte: Dados da Pesquisa (2024).

No desenvolvimento do braço robótico foi realizado o detalhamento 2D, modelagem 3D e processo de fabricação e montagem conforme a figura 12.

Figura 12 - Base do Braço Robótico



Fonte: Dados da Pesquisa (2024).

No que se refere ao processo de energização do Braço robótico envolve a conexão dos cabamentos elétricos necessários para a alimentação de energia. Conforme a Figura 13.

Figura 13 - Energização do braço robótico



A) Energização do joystick



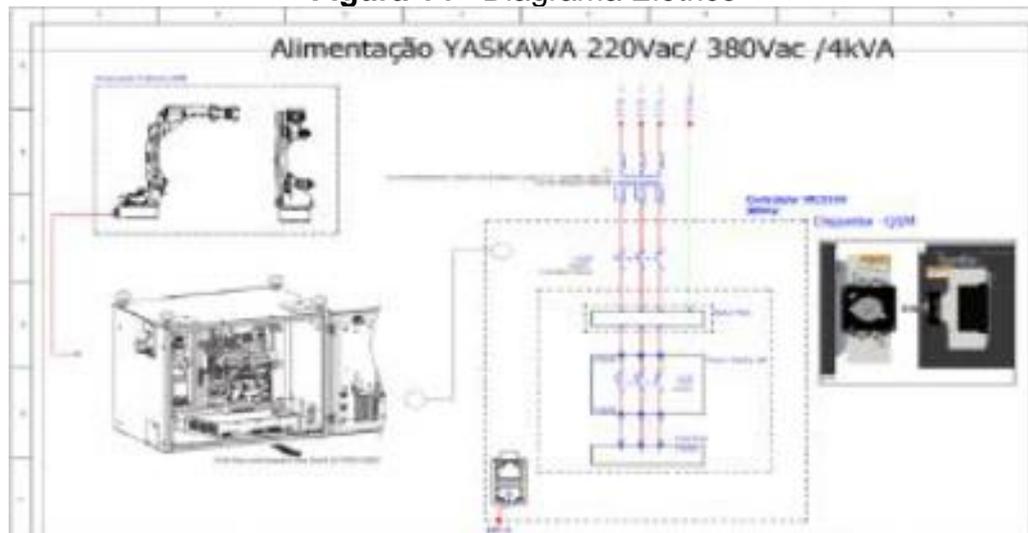
B) Energização Base braço robótico

Fonte: Dados da Pesquisa (2024).

O desenvolvimento dos diagramas elétricos foi facilitado pelo uso do software EPLAN Electric P8®, que se destaca por sua eficiência e precisão no projeto de sistemas de automação e documentação elétrica. Este software de engenharia avançada permite a automação de tarefas repetitivas e oferece uma interface intuitiva, contribuindo para a otimização do tempo e a melhoria da qualidade dos projetos.

Com uma ampla gama de ferramentas, o EPLAN Electric P8® possibilita a integração com outros sistemas CAD e a exportação de dados para softwares de ERP e PDM, facilitando a coordenação entre as diversas áreas da empresa. Além disso, o software conta com um vasto banco de dados de componentes e suporta a documentação em múltiplos idiomas, assegurando a conformidade com normas internacionais de engenharia. A eficácia dessa ferramenta na elaboração dos projetos elétricos pode ser observada na Figura 14.

Figura 14 - Diagrama Elétrico



Fonte: Dados da Pesquisa (2024).

A posteriori, o desenvolvimento do painel elétrico principal envolveu a criação do layout, o processo de fabricação e as montagens iniciais, que são documentadas na figura 15. Este painel é o coração do sistema de automação, pois centraliza o controle e a distribuição da energia elétrica necessária para o funcionamento do braço robótico e de outros componentes associados. A configuração do painel foi projetada para acomodar a tensão de alimentação de 220 VAC, garantindo que o sistema esteja adequadamente equipado para manejar a carga elétrica exigida durante a operação.

Figura 15 - Montagem do Painel Elétrico



Fonte: Dados da Pesquisa (2024).

Com relação ao software do sistema de automação foram aplicados para controlar e monitorar os processos de produção. Assim, para o sistema automatizado de palatização das evaporadoras, considerando os algoritmos de programação dos elementos de automação utilizou-se a programação LADDER em todos os dispositivos de controle de CLP.

Sendo assim, a automação do processo de paletização de evaporadores, empregando as tecnologias associadas aos pilares da Indústria 4.0, pode impactar positivamente a eficiência, a qualidade e a segurança na linha de produção de evaporadores de diversas maneiras, sendo:

- a) A eficiência é aumentada pela redução significativa no tempo necessário para realizar a paletização. O sistema automatizado implementado, conforme descrito, substitui a necessidade de um operador realizar 400 operações de empilhamento manual por hora, otimizando o tempo de ciclo e permitindo que uma maior quantidade de produto seja processada num período mais curto.
- b) Em relação à qualidade, a automação minimiza a ocorrência de erros humanos, como o posicionamento inadequado de evaporadores no palete, garantindo uma uniformidade que pode ser difícil de alcançar manualmente. A precisão do braço robótico e da garra multifuncional assegura que cada evaporador seja colocado corretamente, o que melhora a estabilidade da carga e reduz o risco de danos durante o transporte.

- c) No que tange à segurança, a automatização reduz significativamente a carga de trabalho físico dos operadores, diminuindo o risco de lesões por esforço repetitivo ou acidentes de trabalho associados à manipulação manual de objetos pesados. Com a realocação de operadores para atividades que exigem supervisão e controle, em vez de tarefas repetitivas e desgastantes, o ambiente de trabalho torna-se mais seguro e ergonômico.
- d) Adicionalmente, a integração de softwares de controle de automação e o uso de diagramas 2D e modelagem 3D para o desenvolvimento das esteiras transportadoras representam uma evolução no processo de design e fabricação, permitindo a identificação e correção de problemas potenciais de forma proativa. Isso resulta em um sistema de paletização mais robusto e confiável, contribuindo para a manutenção da qualidade do produto final.

Portanto, a implementação de tecnologias da Indústria 4.0 no processo de paletização de evaporadores apresenta um impacto positivo substancial, refletido em ganhos de eficiência, qualidade aprimorada dos produtos paletizados e um ambiente de trabalho mais seguro para os operadores.

Após a implementação da automatização no processo de paletização de evaporadores em uma linha de produção, emergiram resultados significativos que merecem destaque. Um desafio crítico enfrentado durante o desenvolvimento do sistema atual foi projetar uma célula de paletização que coubesse em um espaço limitado, integrando-se eficientemente ao processo produtivo existente. A restrição de espaço também apresentou um obstáculo adicional: a dificuldade de criar um mecanismo eficaz para a alimentação automática dos paletes vazios na área de paletização.

Além disso, a posição designada para a automatização, situada atrás da linha de produção, requeria que os evaporadores fossem rotacionados após deixarem a linha para que pudessem ser empilhados corretamente. Para atender às demandas inovadoras e superar as limitações espaciais, foi necessário desenvolver um sistema automatizado dotado de um braço robótico acompanhado por uma garra multifuncional. Esta garra, projetada para manipular tanto as folhas de papelão quanto os pares de evaporadores que são liberados do processo produtivo, representa uma inovação sem precedentes na indústria, pois não se identificou nenhuma ferramenta semelhante em uso até então.

A criação dessa garra multifuncional e do mecanismo de elevação dos pallets, que levanta os pallets até o ponto de interação com o braço robótico, são avanços notáveis que caracterizam a natureza inovadora deste projeto.

Além dos avanços tecnológicos, a automação possibilitou o remanejamento de um operador por turno, o que contribuiu para a eliminação de riscos ergonômicos e a preservação da integridade física dos operadores. Esse rearranjo operacional não apenas melhorou as condições de trabalho, mas também aumentou a eficiência, reduzindo o tempo de ciclo de 19 para 15 segundos. Dessa forma, o processo de automatização não apenas fortaleceu a segurança e a saúde ocupacional dos trabalhadores, mas também impulsionou o desempenho produtivo da linha de montagem de evaporadores.

Para estruturar os resultados encontrados após a aplicação da automatização do processo de paletização de evaporadores e os respectivos pontos de melhoria e recomendações, vide o Quadro 1:

Quadro 1 - Pontos de melhoria e recomendações após a aplicação da automatização do processo de paletização de evaporadores

Resultado Alcançado	Ponto de Melhoria	Recomendações
Redução do tempo de ciclo de 19 para 15 segundos	Otimização de tempo	Avaliar continuamente o processo para identificar possíveis ajustes que possam reduzir ainda mais o tempo de ciclo.
Eliminação de riscos ergonômicos	Saúde ocupacional	Realizar análises ergonômicas periódicas para assegurar que novos riscos não surjam com a evolução do processo.
Remanejamento de um operador por turno	Utilização de mão de obra	Providenciar treinamento para que os operadores remanejados possam assumir novas funções que agreguem mais valor ao processo produtivo.
Implementação de garra multifuncional inovadora	Manutenção e atualização tecnológica	Estabelecer protocolos de manutenção preventiva para os braços robóticos e as garras multifuncionais para garantir a continuidade operacional.
Criação de um mecanismo de elevação de paletes	Eficiência no abastecimento de paletes	Monitorar o desempenho do mecanismo de elevação para garantir sua eficiência e fazer melhorias conforme necessário.
Integração eficaz em espaço limitado	Otimização de espaço	Revisar o layout do local periodicamente para assegurar que a célula de paletização continue operando eficientemente dentro do espaço disponível.
Automação resultou em um sistema mais seguro	Segurança do trabalho	Implementar treinamentos regulares de segurança e garantir que todos os operadores estejam cientes dos procedimentos de segurança atualizados.

Fonte: Elaboração Própria (2024).

Conforme o Quadro 1, a automatização do processo de paletização de evaporadores demonstrou ser uma iniciativa de sucesso. A redução do tempo de ciclo e a consequente melhoria na eficiência operacional são indicativos claros de que o investimento em tecnologia de automação gera retornos tangíveis. Além disso, a eliminação de riscos ergonômicos e o remanejamento estratégico de mão de obra não só otimizam a produção, mas também promovem um ambiente de trabalho mais seguro e satisfatório para os colaboradores. A inovação representada pela garra multifuncional e o sistema de elevação de pallets introduzem um nível de singularidade técnica que destaca a linha de produção em termos de avanço tecnológico e eficiência industrial.

Contudo, vale destacar que a manutenção do tipo PLC – uso do PLC LSIS – é fundamental para manter o padrão da linha, assegurando que a automação permaneça confiável e eficiente. O uso do PLC LSIS facilita a integração com os sistemas existentes e proporciona uma plataforma estável para operações contínuas. A manutenção programada e as atualizações regulares do sistema são essenciais para prevenir paradas não planejadas e para maximizar o tempo de atividade da linha de produção. Além disso, a capacidade de monitoramento em tempo real oferecida pelo PLC permite uma rápida resposta a qualquer desvio operacional, o que é crucial para manter a alta performance e a qualidade no processo de paletização. Portanto, a implementação de uma estratégia de manutenção eficaz e a escolha de um PLC apropriado são peças-chave para garantir que os benefícios da automatização sejam sustentáveis e de longo prazo.

Portanto, as recomendações apontadas servem como base para aperfeiçoamento contínuo do sistema de paletização automatizado. Elas reforçam a importância de manter práticas de manutenção preventiva, oferecer treinamento constante aos operadores e realizar avaliações ergonômicas regulares. Estas ações asseguram que o sistema não apenas mantenha seu desempenho assíduo, mas também se adapte e evolua com as mudanças na demanda de produção e inovações tecnológicas. Em termos de estratégia de negócios, a automatização do processo de paletização foi fundamental para a competitividade e crescimento sustentável no setor industrial.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As considerações finais desse trabalho de pesquisa enfatizam que os objetivos traçados foram atingidos de maneira satisfatória. A descrição detalhada do processo de automatização do processo de paletização de evaporadores, utilizando as tecnologias emergentes da Indústria 4.0, forneceu uma visão das melhorias e dos benefícios tangíveis advindos da aplicação dessas inovações.

Ademais, ao descrever o atual sistema de paletização de evaporadores, detalhando suas interfaces elétricas, software de automação e controle, e a interface homem-máquina (IHM), a pesquisa conseguiu não apenas retratar a tecnologia aplicada, mas também destacou a integração sinérgica entre os componentes do sistema. Esta integração é essencial para a realização de operações de produção que demandam precisão, eficiência e segurança.

A análise dos resultados pós-automatização, que incluiu a identificação de pontos de melhoria e a formulação de recomendações, tais como: a redução do tempo de ciclo, que passou de 19 para 15 segundos, um indicativo de que a eficiência do processo foi significativamente aumentada. Esse ganho de tempo ressalta a capacidade da automatização em otimizar o ritmo de produção. Além disso, a diminuição dos riscos ergonômicos para os operadores devido à menor necessidade de manipulação direta dos evaporadores sugere uma melhoria substancial nas condições de trabalho e na segurança ocupacional.

No entanto, durante a análise, foi verificado a necessidade de pontos de melhoria, tais como a necessidade de manutenções preventivas frequentes para assegurar a longevidade e a eficiência do equipamento. Outro aspecto notado foi a possibilidade de expandir a capacidade do sistema de alimentação automática de pallets, evitando paradas na produção devido a atrasos no abastecimento manual.

Em resposta a esses pontos, recomendações foram formuladas para garantir que o sistema de paletização continue a evoluir e a se alinhar com as metas de produção e segurança. Entre as recomendações, sugeriu-se a implementação de um cronograma de manutenção mais robusto e o uso de análise preditiva para prever falhas antes que ocorram. Também se recomendou o treinamento regular dos operadores, não apenas em suas funções atuais, mas em habilidades que permitam uma maior flexibilidade e capacidade de adaptação às novas tecnologias.

Essas recomendações e pontos de melhoria, quando colocados em prática, têm o potencial de otimizar ainda mais o processo de paletização, garantindo que as operações sejam não apenas eficientes, mas também sustentáveis e seguras a longo prazo. A aplicação dessas mudanças e a contínua avaliação do sistema são etapas cruciais para manter a competitividade e o sucesso contínuo na era da Indústria 4.0.

Ademais, a pesquisa evidenciou que a automatização do processo de paletização conduz a ganhos expressivos em eficiência operacional e segurança do trabalho, ao mesmo tempo em que abre caminho para novas oportunidades de melhoria e inovação. A implementação dessas tecnologias demonstra um alinhamento com as tendências globais de produção e uma resposta proativa aos desafios impostos por um mercado cada vez mais competitivo. Por fim, este estudo serve como um modelo para futuras implementações e pesquisas em automação industrial, reiterando a importância da Indústria 4.0 como um vetor de transformação e avanço no setor produtivo.

Para trabalhos futuros recomenda-se a integração ainda mais profunda do sistema de paletização com outros sistemas da linha de produção para criar uma cadeia de suprimentos totalmente sincronizada e automatizada.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, Thamyres Lindaura Freitas de. **Análise comparativa técnica-econômica de uma Central de Água Gelada alterando o gerenciamento das Cargas dos Chillers utilizando o software YorkCalc**. 40f. 2021. Projeto Final (Graduação) Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca. Rio de Janeiro, 2021.
- AMARAL, Hudson Nunes; GASPAROTTO, Angelita Moutin Segoria. inteligência artificial: o uso da robótica indústria 4.0. **Revista Interface Tecnológica**, v. 18, n. 1, p. 474-486, 2021.
- BALDISSARELLI, Luciano; FABRO, Elton. Manutenção Preditiva na indústria 4.0. **Scientia Cum Industria**, v. 7, n. 2, p. 12-22, 2019.
- BARBOSA, Lucas Pencinato; CANAZARO, Joelmir Vinhoza; BARBOSA, Vinícius de Oliveira. AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL NACIONAL: PERSPECTIVAS E DESAFIOS DO FUTURO. **Revista Interdisciplinar Pensamento Científico**, v. 6, n. 1, 2020.
- BARBOSA, Marcos Tadeu de Jesus. **Metodologia para identificação de oportunidades de inovação em serviços dos integradores de sistemas de controle**. 2020. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Potência) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2020.
- BEZERRA, André dos Santos et al. DA INICIAÇÃO À IMPRESSÃO 3D À CONFECÇÃO DE MÓDULOS DIDÁTICOS. **Anais da Feira de Ensino, Pesquisa e Extensão do Campus São Francisco do Sul**, v. 1, n. 10, 2022.
- BORBA, Mariana Venquiaruti. **Projeto e Simulação da Automação por Linguagem Ladder® de Máquinas Injetoras de Plástico**. 2023. 59p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia de Mecânica) - Universidade Federal do Pampa, Curso de Engenharia de Mecânica, Alegrete, 2023.
- CALDAS, Luísa Nunes. **Automatização de uma linha de envase na fabricação de nutracêuticos: uma análise da eficiência**. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia de Produção). Pontifícia Universidade Católica de Goiás. Goiás, 2020.
- CARUSO, Renata Cury; DA SILVA, Sani de Carvalho Rutz; MARCONDES, Renato. Uso da impressão 3D no ensino-aprendizagem: revisão sistemática sobre os principais problemas encontrados. **Boletim de Conjuntura (BOCA)**, v. 16, n. 47, p. 448-473, 2023.
- CUNHA, P. Análise da implementação da indústria 4.0 nas gestões de qualidade e de conhecimento. **Boletim do Gerenciamento**, v.16, n.16, p. 40-48, 2020.
- EVERTON, Danilia de Jesus Trindade; FARIAS, Eriandro Pimentel; DE CASTRO, Karen Cristina Batista. A evolução do processo industrial Brasileiro: **A Indústria 4.0. Engenharia de produção: Inovação na indústria 4.0**, p. 8, 2020.

FERREIRA, Carlos André Leite et al. PREVENÇÃO DE RISCOS OCUPACIONAIS ATRAVÉS DA AUTOMATIZAÇÃO EM PROCESSO DE EMPACOTAMENTO. **Pesquisa & Educação A Distância**, n. 15, 2019.

GABBI, Renan; STELTER, Lucas; DA SILVA, João Lucas Franken. Revolução industrial 4.0: transformando processos industriais com automação inteligente. **Feira Estadual de Matemática do Rio Grande do Sul**, v. 4, n. 4, 2023.

GERMANO, Aline Xavier dos Santos; MELLO, José André Villas Boas; MOTTA, Wladimir Henriques. Contribuição das tecnologias da indústria 4.0 para a sustentabilidade: uma revisão sistemática. **Palavra chave**, Ensenada , v. 11, n. 1, p. 142, dic. 2021 .

GRECCO, Cláudio Henrique dos Santos et al. A ergonomia em projetos de automatização: estudo de caso no setor de expedição de radiofármacos de um instituto de pesquisas do governo federal. **Revista Ação Ergonômica**, v. 6, n. 1, p. 79-93, 2021.

KARKLING, Gabriela Machado et al. DESIGN, ERGONOMIA E AGRICULTURA FAMILIAR: contribuições para o desenvolvimento de ferramentas para bananicultura. **Plural Design**, v. 4, n. 1, p. 59-68, 2021.

KOH, L., ORZES, G. AND JIA, F. The fourth industrial revolution (Industry 4.0): technologies disruption on operations and supply chain management. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 39, n. 6/7/8, p. 817-828, 2019. <https://doi.org/10.1108/IJOPM-08-2019-788>

KUYVEN, Neiva Larisane et al. Chatbots na educação: uma Revisão Sistemática da Literatura. **Revista Novas Tecnologias na Educação**, v. 16, n. 1, 2018.

MARQUES, André Filipe da Silva. **Automação de linha de paletização de embalagens de papel**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores - Automação e Sistemas. Instituto Superior de Engenharia do Porto. Porto, 2019.

MARTINS, Gabriela Santana. **Indústria 4.0 - contribuições para quarta revolução industrial**. Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Economia. Campinas, SP: [s.n.], 2021.

MELO, Grazielma Ferreira de; SILVA FILHO, José Sandro da. Programação em LADDER de misturas químicas em tanques para produção de tintas. **Revista Brasileira de Processos Químicos**, v. 2, n. 1, p. 43-55, 2021.

NAVES, Thaís Lavez Cardeal. **Aplicação de conceitos de smart manufacturing com objetivo de reduzir o consumo de vapor em evaporadores na indústria alimentícia**. 2022. 35 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2022.

PACCHINI, Athos Paulo Tadeu; SANTOS, José Carlos da Silva; LOGIUDICE, Renato; LUCATO, Wagner Cezar. Indústria 4.0: barreiras para implantação na indústria brasileira. **Exacta**, [S. I.], v. 18, n. 2, p. 278–292, 2020.

PEREIRA, Guilherme Lechenco Vargas. **Automação de uma planta industrial: processo de envase, paletização e estoque de produtos.** Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Apucarana, 2022.

PINHEIRO, Alexandre Victor Silva; SALOMÃO, Pedro Emílio Amador. Tecnologia e industrialização na construção: as chaves para lidar com o declínio do nível de produtividade e baixa qualidade dos ativos na indústria. **Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro**, v. 2, n. 1, 2020.

REDDY, Siddavatam Rammohan; MADARIA, Yogesh; RAVEENDRA, Akunuru. Designing a face shield frame in PTC Creo and printing it in a 3D printer. In: **AIP Conference Proceedings**. AIP Publishing, 2022.

RIOS, Claudio Fernando; MARCARINI, Daniel. Projeto de célula robotizada para paletização de sacas de café. **Revista Conectus: tecnologia, gestão e conhecimento**, v. 1, n. 3, 2021.

RODRIGUES, Daniel da Silva. **Automatização do processo de envolvimento de palete.** 2024. (Curso Superior de Tecnologia em Logística) - Faculdade de Tecnologia Deputado Ary Fossen, Jundiá, 2024.

RODRIGUES, Horácio Wanderlei; BECHARA, Gabriela Natacha; GRUBBA, Leilane Serratine. Era digital e controle da informação. **Revista Em Tempo**, v. 20, n. 1, 2020.

ROSA, Elisa Soares. **Rede de Soluções da Indústria 4.0 para Customização em Massa – O caso da Indústria de Equipamentos de Teste de Cablagem.** Mestrado Integrado em Engenharia e Gestão Industrial. Universidade NOVA de Lisboa. Lisboa, 2022.

SANTOS, NA dos; RUGGERO, SM; SILVA, MT da. Indústria 4.0 no Brasil: desafios do segmento automotivo para integração da cadeia de suprimentos. **Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento**, [S. l.] , v. 8, pág. e18110817251, 2021.

SERRA, Vinícius Cabral de. **Desenvolvimento de um sistema de paletização de caixas para o posto de expedição de uma indústria de eletrônicos do polo industrial de Manaus.** 98 f. p.: il. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica). Universidade do Estado do Amazonas. Manaus: 2022.

SILVA, Danilo Goulart da. **Indústria 4.0: conceito, tendências e desafios.** Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnologia em Automação Industrial) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2017.

SILVA, Douglas Roberto da; GRANDO, Mara Lúcia; SOSSANOVICZ, Helton Roger. Análise do processo de integração da produção no sistema erp através da aplicação da teoria das filas. **Anais da Engenharia de Produção/ISSN 2594-4657**, v. 4, n. 1, 2023.

SILVEIRA, Edvan da Rocha; BRITO, Laís dos Santos; PENA, Allan Guilherme Lima; VILHENA, Paulo Roberto Moutinho de; OLIVEIRA, Werbeston Douglas de. Protótipo de planta para ensaios de automação. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 5, p. e3811526589-e3811526589, 2022.

SOUSA, Matheus Emanuel Tavares et al. Aplicação de tecnologias de Automação industrial para melhoria de processos de produção.: Um estudo de caso. **Revista Eletrônica de Engenharia Elétrica e Engenharia Mecânica**, v. 2, n. 1, p. 91-102, 2020.

TAKAYAMA, A. .; PANHAN, A. M. . INDÚSTRIA 4.0: DESAFIOS E OPORTUNIDADES PARA A INDÚSTRIA BRASILEIRA. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação**, [S. l.], v. 8, n. 5, p. 1797–1822, 2022.

VERAS, Vinícius Capistrano de Paiva; CARVALHO, Ivo de Castro; CHAVES, André Rocha; BERTINI, Alexandre Araújo. Impressão 3D e industrialização na construção: uma revisão sistemática de literatura. In: **Workshop de Tecnologia de Processos e Sistemas Construtivos**. Porto Alegre: ANTAC, 2023.

VIEIRA, Gabriel Küster. **Aplicação de softwares BIM em projetos elétricos de saneamento em contraste a softwares CAD**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado Engenharia de Controle e Automação) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2022.

VINICIUS, M. A.; GERIBELLO, R. S.; PINTO, S. B.; PAULETTI INOUE, J. S.; AMARANTE, M. DOS S. Indústria 4.0: impactos da tecnologia da informação na nova indústria. **Revista Pesquisa e Ação**, v. 5, n. 1, p. 127-147, 12 jun. 2019.

YAMADA, Viviane Yukari; MARTINS, Luís Marcelo. Indústria 4.0: um comparativo da indústria brasileira perante o mundo. Revista Terra & Cultura: **Cadernos de Ensino e Pesquisa**, [S.l.], v. 34, n. esp., p. 95-109, abr. 2019. I

ZIRONDI, João Marcos; OKADA, Roberto Hirochi. Manufatura avançada: a indústria 4.0 e seus desafios e oportunidades. **Revista Interface Tecnológica**, v. 18, n. 1, p. 593-605, 2021.