

**UNIVERSIDADE DO ESTADO DO AMAZONAS
ESCOLA SUPERIOR DE TECNOLOGIA
CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

KATARINA JEOVANA FERREIRA MOURA

**PROPOSTA PARA ADOÇÃO DA ABORDAGEM DE CÉLULAS DE
PRODUÇÃO COMO ESTRATÉGIA PARA MELHORIA OPERACIONAL**

**MANAUS
2025**

KATARINA JEOVANA FERREIRA MOURA

**PROPOSTA PARA ADOÇÃO DA ABORDAGEM DE CÉLULAS DE
PRODUÇÃO COMO ESTRATÉGIA PARA MELHORIA OPERACIONAL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Produção da Escola Superior de Tecnologia da Universidade do Estado do Amazonas, como parte dos requisitos para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Produção.

Orientadora: Profa. Dra Joésia
Moreira Julião Pacheco

MANAUS

Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Sistema Integrado de Bibliotecas da Universidade do Estado do Amazonas.

F383p

Ferreira Moura, Katarina Jeovana

Proposta para adoção da abordagem de células de produção como estratégia para melhoria operacional / Katarina Jeovana Ferreira Moura . Manaus : [s.n], 2025.

51 f.: il., color.; 21,0 cm.

TCC - Graduação em Engenharia de Produção- Universidade do Estado do Amazonas, Manaus, 2025.

Inclui Bibliografia.

Orientador: Profa. Dra Joésia Moreira Julião Pacheco.

1. Células autônomas de produção. 2. Indicadores de desempenho operacional. 3. Eficiência operacional. 4. Manufatura enxuta. I. Profa. Dra Joésia Moreira Julião Pacheco (Orient.) II. Universidade do Estado do Amazonas. III. Título

CDU(1997)658.5

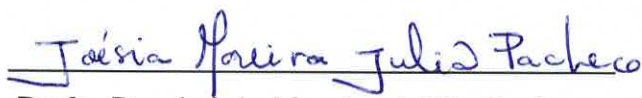
KATARINA JEOVANA FERREIRA MOURA

**PROPOSTA PARA ADOÇÃO DA ABORDAGEM DE CÉLULAS DE PRODUÇÃO
COMO ESTRATÉGIA PARA MELHORIA OPERACIONAL**


Trabalho apresentado ao curso de Engenharia de Produção da Universidade do Estado do Amazonas, como requisito parcial para a obtenção grau de Bacharel em Engenharia de Produção.

Data de aprovação: Manaus (AM), 10 de Junho de 2025.

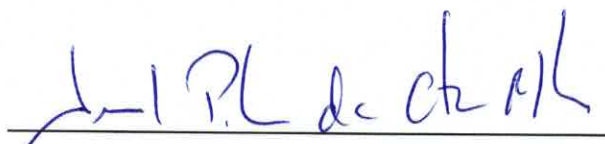
Banca examinadora:



Profa. Dra Joésia Moreira Julião Pacheco
Universidade do Estado do Amazonas



Profa. Me. Rejane Gomes Ferreira
Universidade do Estado do Amazonas



Prof. Dr. Juvenal Pinheiro da Costa Filho
Universidade do Estado do Amazonas

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à minha mãe, Kilda, mulher de coragem, amor e fé, que sempre acreditou que a educação seria o caminho para transformar minha vida. Seu olhar de cuidado e sua força me conduziram até aqui, mesmo quando o mundo não entendia suas escolhas. Nunca deixou me faltar amor, sustento, nem esperança, e por isso carrego em mim a sua determinação e a certeza de que todo sacrifício valeu a pena. À minha avó, Maria Marcelina (*in memoriam*), que plantou em nossa família a semente do conhecimento e da dignidade, e que, mesmo não estando mais aqui, segue viva em nossos passos e em nossos sonhos.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me sustentar, me fortalecer e me conduzir em cada passo até aqui.

À minha mãe, Kilda, meu alicerce, minha base e maior inspiração. Pela coragem de me impulsionar, mesmo diante dos desafios, e por me ensinar, com seu exemplo, que a educação é capaz de transformar vidas.

À minha tia Josilane, que me acolheu com amor e cuidado, oferecendo moradia, dignidade e esperança, permitindo que eu seguisse neste caminho com segurança e fé.

À minha prima Vitória, que é como uma irmã, pela presença constante, pelo apoio incondicional e por caminhar ao meu lado em todos os momentos, desde sempre.

À minha irmã Manuela, pelo amor, pelo cuidado com nossa mãe e por, mesmo distante fisicamente, estar sempre presente de coração, sendo suporte, carinho e força em minha vida.

À minha orientadora, professora Joésia, e à professora Rejane, pela paciência, dedicação e por cada orientação que foi fundamental na construção deste trabalho e da minha trajetória acadêmica.

Ao meu grupo, formado por Rodrigo, Hadassa, Thiago, João, Pedro, Marcos, Fernanda e Cynthia, pela parceria, pela troca, pelos aprendizados e pelo apoio em cada etapa dessa jornada.

Ao meu namorado, Lucas, por ser meu porto seguro, meu apoio emocional nos momentos mais difíceis e por acreditar em mim até quando eu mesma duvidei.

Aos meus professores, que foram mais do que mestres: foram exemplos, referências e peças fundamentais na minha formação acadêmica e pessoal.

E, especialmente, a mim mesma, por não ter desistido, por ter acreditado no meu potencial e na minha capacidade, mesmo quando os desafios pareciam maiores do que eu.

"A felicidade pode ser encontrada mesmo nas horas mais sombrias, se a pessoa se lembrar de acender a luz." – Alvo Dumbledore (Harry Potter e o Prisioneiro de Azkaban).

RESUMO

Este trabalho propõe a reorganização do processo produtivo por meio da implementação de células autônomas de produção na linha de montagem da unidade evaporadora de condicionadores de ar modelo Split Hi Wall, em uma empresa do Polo Industrial de Manaus. A organização enfrenta limitações operacionais, como desequilíbrio de atividades, gargalos, excesso de movimentações e elevados tempos de ciclo em alguns postos. A metodologia adotada inclui a análise dos dados operacionais disponíveis, dos tempos padrão e dos indicadores de desempenho, como tempo de ciclo, UPPH e eficiência. Com base nos princípios da manufatura enxuta, foi elaborada uma proposta de reconfiguração do *layout*, com a adoção de células de produção, visando eliminar desperdícios, balancear as atividades e aumentar a produtividade. A simulação do cenário proposto indicou potenciais melhorias na eficiência, na produtividade e na redução de custos operacionais, além de proporcionar maior flexibilidade produtiva. Conclui-se que a adoção de células autônomas se apresenta como uma estratégia viável para melhorar o desempenho operacional da linha de montagem da unidade evaporadora.

Palavras-chave: células autônomas de produção; manufatura enxuta; indicadores de desempenho operacional; eficiência operacional.

ABSTRACT

This paper proposes the reorganization of the production process through the implementation of autonomous production cells in the assembly line of the evaporator unit of Split Hi Wall air conditioners, in a company located in the Industrial Pole of Manaus. The organization faces operational limitations such as unbalanced activities, bottlenecks, excessive movements, and high cycle times in certain workstations. The methodology adopted includes the analysis of available operational data, standard times, and performance indicators such as cycle time, UPPH, and efficiency. Based on lean manufacturing principles, a layout reconfiguration proposal was developed, with the adoption of production cells aimed at eliminating waste, balancing activities, and increasing productivity. The simulation of the proposed scenario indicated potential improvements in efficiency, productivity, and operational cost reduction, in addition to greater production flexibility. It is concluded that the adoption of autonomous cells is a viable strategy to improve the operational performance of the evaporator assembly line.

Keywords: *autonomous production cells; lean manufacturing; operational performance indicators; operational efficiency.*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – <i>Layout</i> atual: arranjo físico linear.....	34
Figura 2 – Agrupamento de operações aplicado ao arranjo físico atual.....	36
Figura 3 – <i>Layout</i> proposto: arranjo físico com célula de produção.....	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Operações do processo de montagem da evaporadora – arranjo físico atual.....	34
Tabela 2 – Indicadores de desempenho atuais.....	36
Tabela 3 – Operações do processo de montagem da evaporadora – arranjo físico proposto.....	41
Tabela 4 – Comparativo dos KPIs: <i>Layout</i> Atual x <i>Layout</i> com célula autônoma da caixa elétrica.....	45

LISTA DE SIGLAS

Hi-Pot	<i>High Potential</i>
IoT	<i>Internet of Things</i>
JIT	<i>Just in Time</i>
KPI	<i>Key Performance Indicator</i>
MOD	Mão de Obra Direta
OEE	<i>Overall Equipment Effectiveness</i>
PCI	Placa de Circuito Impresso
PIM	Polo Industrial de Manaus
ST	<i>Standard Time</i>
UPPH	Unidades Produzidas por Hora
VSM	<i>Value Stream Mapping</i>
WIP	<i>Work In Process</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROBLEMA	14
1.2	OBJETIVOS	15
1.2.1	Objetivo geral	15
1.2.2	Objetivos específicos	15
1.3	JUSTIFICATIVA	16
1.4	ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO	16
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	19
2.1.	MANUFATURA ENXUTA	19
2.2	CÉLULAS AUTÔNOMAS DE PRODUÇÃO	21
2.3	INDICADORES DE DESEMPENHO	23
3	METODOLOGIA	26
4	APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DO ESTUDO DE CASO	29
4.1	DESCRIÇÃO DO CASO	29
4.2.	DESCRIÇÃO DO PROCESSO PRODUTIVO	31
4.3.	APRESENTAÇÃO DOS DADOS	33
4.4.	PROPOSTA DE ADOÇÃO DE CÉLULA DE PRODUÇÃO	38
4.5.	RESULTADOS DA SIMULAÇÃO	42
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	47
	REFERÊNCIAS	49

1 INTRODUÇÃO

O Polo Industrial de Manaus (PIM) é um dos principais centros industriais do Brasil, caracterizado pela diversidade de produtos e pela presença de empresas multinacionais que se beneficiam dos incentivos fiscais e da localização estratégica. Apesar de sua relevância econômica, o PIM enfrenta desafios relacionados à necessidade de ampliação, modernização, fortalecimento da gestão dos incentivos e aumento da eficiência produtiva (CREA-AM, 2023).

Este estudo tem como foco a otimização do processo produtivo na linha de montagem da unidade evaporadora de condicionadores de ar, em uma empresa situada no Polo Industrial de Manaus. A diversidade de modelos fabricados exige processos produtivos que combinam flexibilidade e precisão para atender aos padrões de qualidade e às demandas do mercado. Assim, a busca pela otimização do processo produtivo torna-se um fator essencial para garantir a competitividade e a sustentabilidade da operação.

Diante desse contexto, este trabalho propõe a adoção de células autônomas de produção, também conhecidas como mini fábricas, como estratégia para aprimorar a eficiência operacional da linha de montagem da evaporadora. O conceito de mini fábricas, fundamentado na organização de células produtivas especializadas por produto ou processo, está alinhado aos princípios do *Lean Manufacturing*, que visam a redução de desperdícios e a melhoria contínua do fluxo produtivo (Womack; Jones; Roos, 2004).

Essa estratégia proporciona maior autonomia operacional, descentralização das decisões e especialização das equipes, fatores que contribuem diretamente para o aumento da produtividade e da eficiência industrial (Slack; Chambers; Johnston, 2008).

Além disso, a busca por eficiência operacional deve ser acompanhada do monitoramento rigoroso de indicadores de desempenho (KPIs), que permitem avaliar a performance da linha de produção. A análise de métricas como tempo de ciclo, produtividade (UPPH) e eficiência torna-se essencial para a identificação de gargalos, o balanceamento das atividades e a implementação de melhorias contínuas. Empresas que adotam esse monitoramento sistemático conseguem promover ações corretivas mais precisas e obter ganhos significativos de competitividade no mercado (Dantas *et al.*, 2023).

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROBLEMA

O processo de montagem de aparelhos de ar-condicionado, executado atualmente em linhas tradicionais, apresenta desafios operacionais que comprometem diretamente a eficiência produtiva. A diversidade de modelos, associada à necessidade de atender variações de demanda, exige um processo produtivo altamente eficiente, flexível e bem balanceado.

Entre os principais problemas observados estão os elevados tempos de ciclo em determinados postos, o desequilíbrio na distribuição das atividades, além de gargalos que impactam negativamente a produtividade e aumentam o custo operacional, especialmente o custo de mão de obra. Processos com excesso de movimentação, tempo de espera, transporte interno e falta de balanceamento contribuem significativamente para a elevação do tempo de ciclo e, conseqüentemente, da ociosidade e dos custos (Slack; Chambers; Johnston, 2008).

De acordo com Dantas *et al.* (2023), um dos fatores críticos para melhorar o desempenho produtivo é a correta organização do *layout*, com foco na redução de desperdícios e na otimização dos fluxos produtivos. A aplicação de conceitos da manufatura enxuta, como as células de produção, permite reduzir deslocamentos desnecessários, equilibrar cargas de trabalho e aumentar significativamente a produtividade.

Conforme Womack e Jones (2004, p. 45), “a adoção de células produtivas proporciona melhorias no fluxo de materiais, redução de tempos de ciclo, aumento da eficiência e diminuição de custos operacionais”. Esse modelo permite que as atividades sejam organizadas de forma sequencial e interligada, otimizando o desempenho operacional e facilitando o monitoramento dos principais indicadores, como produtividade por operador, tempo de ciclo e índice de retrabalho.

Estudos realizados por Dantas *et al.* (2023) reforçam que a reorganização do *layout* produtivo por meio da aplicação de células não apenas aumenta a eficiência operacional, como também contribui para a melhoria dos indicadores de qualidade, redução de custos com mão de obra e maior aderência às práticas de produção enxuta.

Diante desse cenário, a proposta de adoção de células de produção surge como uma alternativa viável e necessária para mitigar gargalos, reduzir custos

operacionais, otimizar o uso dos recursos e elevar a produtividade na linha de montagem de ar-condicionado.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Propor a reorganização do arranjo produtivo da linha de montagem da evaporadora por meio de células de produção.

1.2.2 Objetivos específicos

- a) Analisar o processo atual e identificar gargalos;
- b) Simular novo cenário com a célula autônoma;
- c) Comparar os resultados entre os dois modelos.

1.3 JUSTIFICATIVA

A crescente competitividade do setor industrial exige a adoção de estratégias que promovam maior eficiência e flexibilidade operacional. No contexto da empresa analisada, que atua na montagem de condicionadores de ar no Polo Industrial de Manaus, os desafios relacionados à variabilidade da demanda, ao tempo de resposta frente a problemas produtivos e à eficiência operacional indicam a necessidade de uma abordagem estruturada para aprimorar o desempenho da produção.

A organização atual da linha de montagem da unidade evaporadora, baseada em um modelo tradicional funcional, apresenta gargalos operacionais associados à elevada dependência de setores centralizados para a tomada de decisões e resolução de problemas. Essa estrutura limita a autonomia dos operadores e compromete a fluidez dos processos produtivos, impactando diretamente indicadores-chave, como produtividade, índice de retrabalho e tempo de ciclo.

Diante desse cenário, a proposta de adoção da abordagem de células autônomas de produção visa descentralizar os processos, promovendo maior autonomia nas operações, melhorando a comunicação entre os operadores e reduzindo tempos de espera e deslocamento.

Essa reestruturação proporciona maior flexibilidade para ajustes produtivos, além de favorecer o desenvolvimento de equipes multifuncionais e o fortalecimento do trabalho colaborativo. Como consequência, espera-se um impacto positivo nos principais KPIs da linha, como aumento da eficiência operacional, redução de desperdícios e melhoria na qualidade dos produtos.

Este estudo se justifica pela relevância de fornecer uma análise técnica baseada em simulações comparativas, que demonstrem os benefícios da reconfiguração da linha de montagem da unidade evaporadora por meio da implementação de células produtivas, contribuindo para a tomada de decisão estratégica da empresa.

1.4 ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO

O presente trabalho de conclusão de curso está organizado em cinco seções principais, que foram estruturadas de maneira lógica e coerente, com o propósito de apresentar a proposta de adoção da abordagem de mini fábricas como estratégia para melhoria operacional em uma empresa do setor de condicionadores de ar. A

disposição dos conteúdos segue uma sequência que facilita a compreensão do tema, partindo de aspectos introdutórios e conceituais até a análise prática e a apresentação dos resultados obtidos por meio de simulações.

A primeira seção introduz o tema abordado, destacando a relevância do estudo diante dos desafios enfrentados por empresas industriais que buscam otimizar sua eficiência operacional. São apresentados a contextualização do problema, a delimitação do estudo, os objetivos geral e específicos, a justificativa da pesquisa, os procedimentos metodológicos adotados e, por fim, a estrutura do trabalho. Essa seção tem como finalidade situar o leitor quanto ao foco do estudo e à proposta investigativa.

Na segunda seção, é desenvolvida a fundamentação teórica, composta por uma revisão de literatura que aborda os principais conceitos relacionados à manufatura enxuta, às células autônomas de produção (ou mini fábricas) e aos indicadores de desempenho industrial. São discutidas as principais definições, aplicações práticas e benefícios desses modelos, a fim de embasar tecnicamente a proposta de reestruturação produtiva. Esta seção fornece suporte conceitual e contribui para a compreensão das bases que orientam a análise desenvolvida no estudo.

A terceira seção trata da metodologia da pesquisa, explicitando as abordagens qualitativa e quantitativa utilizadas na análise. Apresenta-se a classificação da pesquisa quanto à sua natureza, objetivos e procedimentos técnicos, além das etapas executadas para o desenvolvimento do trabalho, como o levantamento de dados secundários da empresa, a análise de indicadores de desempenho, a identificação de gargalos produtivos e a simulação de novos cenários. Essa seção também justifica a escolha metodológica com base na literatura e destaca a importância do uso de simulações para a proposição de melhorias em contextos industriais.

Na quarta seção, é realizada a apresentação e análise do estudo de caso aplicado à linha de montagem do modelo *Split Hi Wall*, principal produto da empresa. São descritas a estrutura organizacional atual, o processo produtivo da unidade evaporadora, os principais desafios enfrentados na operação e os gargalos identificados. Em seguida, são apresentadas as simulações desenvolvidas com base na proposta de reorganização da produção em células, com a análise comparativa dos indicadores de desempenho antes e depois da aplicação do modelo sugerido.

Por fim, a quinta seção apresenta as considerações finais do trabalho, nas quais se verifica o atendimento aos objetivos propostos e se discutem os principais

resultados obtidos. São destacadas as contribuições da proposta para o aprimoramento do desempenho operacional da empresa, bem como as limitações do estudo e sugestões para pesquisas futuras. Essa seção também ressalta a importância da descentralização produtiva e da valorização do capital humano na busca por melhorias contínuas em ambientes industriais.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este referencial teórico apresenta uma revisão de literatura que aborda manufatura enxuta, indicadores de desempenho e células de produção autônomas, ou mini fábricas. Serão explorados conceitos e definições essenciais, destacando abordagens da literatura e práticas industriais. Essa revisão preliminar sobre os referidos assuntos fundamenta o presente estudo.

2.1 MANUFATURA ENXUTA

O *Lean Manufacturing*, ou manufatura enxuta, é uma filosofia de gestão que visa aumentar a eficiência dos processos produtivos por meio da redução de desperdícios e da otimização dos recursos disponíveis. Originado no *Sistema Toyota de Produção*, o *Lean* tem sido amplamente adotado por empresas que buscam maior produtividade e competitividade no mercado global.

Seu foco principal está na eliminação de desperdícios e na criação de valor para o cliente, fundamentando-se em princípios como melhoria contínua (*kaizen*), produção puxada (*pull system*), padronização dos processos e qualidade na fonte (*jidoka*) (Ohno, 1997; Liker, 2005).

A eliminação de desperdícios constitui um dos pilares centrais do *Lean Manufacturing*. Segundo Ohno (1997), são identificados sete tipos de desperdícios que comprometem a eficiência industrial: superprodução, espera, transporte, processamento excessivo, estoques desnecessários, movimentações desnecessárias e defeitos. A redução desses desperdícios promove maior fluidez nos processos e uma capacidade de resposta mais ágil às demandas do mercado.

A implementação do *Lean Manufacturing* exige uma cultura organizacional fortemente orientada para a melhoria contínua. De acordo com Shingo (1996), o envolvimento de todos os níveis hierárquicos é essencial para assegurar que as mudanças implantadas sejam sustentáveis e resultem em melhorias significativas na produtividade. A participação ativa dos colaboradores, especialmente daqueles que atuam no chão de fábrica, é fundamental para a identificação de problemas e para a proposição de melhorias operacionais.

O *Lean Manufacturing* também faz uso de diversas ferramentas para otimizar processos e eliminar desperdícios. Entre elas, destacam-se o *Value Stream Mapping* (VSM), utilizado para mapear o fluxo de valor e identificar gargalos; o *Just-in-Time*

(JIT), que busca sincronizar a produção com a demanda real; o programa 5S, voltado à organização do ambiente de trabalho; e o sistema Kanban, que permite o controle visual da produção (Moura, 1989; Shingo, 1996).

Além disso, a integração dos conceitos de *Lean Manufacturing* com as tecnologias da Indústria 4.0 tem se tornado uma tendência crescente. De acordo com estudos realizados por pesquisadores brasileiros, essa combinação potencializa o monitoramento dos processos produtivos, utilizando tecnologias como *Big Data*, *Internet of Things* (IoT) e automação para aumentar a previsibilidade, reduzir falhas e otimizar recursos (Domenek; Moori; Vitorino Filho, 2022).

Empresas que implementam o *Lean Manufacturing* de forma estruturada registram melhorias significativas na redução de custos operacionais, no aumento da eficiência, na elevação dos padrões de qualidade e na agilidade para atender às demandas do mercado (Silva *et al.*, 2023). Além disso, a filosofia Lean estimula o engajamento dos colaboradores, promovendo autonomia e senso de responsabilidade no aprimoramento contínuo dos processos (Womack; Jones, 2004).

A medição contínua do desempenho é essencial para sustentar os resultados advindos da aplicação do *Lean Manufacturing*. Indicadores como *Overall Equipment Effectiveness* (OEE), produtividade por funcionário, taxa de retrabalho e tempo de ciclo são cruciais para avaliar a efetividade das práticas *Lean* e identificar oportunidades de melhoria (Domenek; Moori; Vitorino Filho, 2022).

Embora tradicionalmente aplicada no setor industrial, a filosofia *Lean* também tem se mostrado eficaz em outros segmentos, como serviços, saúde, construção civil e logística. Sua flexibilidade permite adaptação a diferentes contextos, desde que seus princípios fundamentais sejam respeitados, tornando-se um diferencial competitivo para as organizações que a adotam (Womack; Jones, 2004).

O sucesso na implementação do *Lean* depende diretamente de um planejamento bem estruturado, do comprometimento da alta gestão e do engajamento dos colaboradores. A resistência às mudanças é um desafio recorrente, que pode ser superado por meio de treinamentos contínuos, liderança participativa e comunicação clara e eficaz. Organizações que investem na capacitação de seus profissionais e na consolidação da cultura *Lean* estão mais preparadas para enfrentar os desafios do mercado e garantir melhorias sustentáveis em seus processos produtivos.

2.2 CÉLULAS AUTÔNOMAS DE PRODUÇÃO

Não há dúvida de que os indivíduos reagem de forma positiva a iniciativas que promovem sua integração ao processo produtivo, incentivando maior interação com colegas, tecnologias e os meios produtivos utilizados. Nesse contexto, a implantação de células de manufatura autônomas ou semi-autônomas se apresenta como uma inovação tecnológica que demanda mudanças estruturais e comportamentais em toda a organização (Slack; Chambers; Johnston, 2015).

O conceito de células de manufatura surge da necessidade de estabelecer uma visão sistêmica do processo produtivo. Esse modelo ultrapassa a simples execução de tarefas repetitivas, exigindo que os operadores sejam polivalentes e compreendam a importância de suas atividades no contexto global da produção (Womack; Jones; Roos, 2004). Dessa forma, o trabalhador deixa de ser apenas um executor e passa a atuar como um profissional multifuncional, contribuindo diretamente para a eficiência do sistema produtivo.

Segundo Carvalho *et al.* (2019), a célula de manufatura é uma organização do *layout* produtivo que agrupa máquinas e processos de maneira sequencial, permitindo a fabricação de uma família de produtos com o mínimo de movimentação, redução de estoques intermediários, menores tempos de espera e maior flexibilidade produtiva. Esse tipo de configuração visa otimizar o fluxo, melhorar o desempenho operacional e reduzir desperdícios dentro do ambiente fabril.

Essa estrutura promove ganhos expressivos em eficiência, especialmente pela redução dos desperdícios associados ao transporte e aos estoques intermediários (Ohno, 1997).

As células autônomas de produção, também denominadas células produtivas, são estruturas organizacionais aplicadas em sistemas industriais que visam otimizar a eficiência e a flexibilidade dos processos. Segundo Slack, Chambers e Johnston (2015), esse modelo caracteriza-se pelo agrupamento de máquinas, equipamentos e operadores em unidades independentes, que executam etapas específicas do processo produtivo, com alta autonomia e mínima intervenção de gestores.

A estrutura celular deriva dos princípios da manufatura enxuta, desenvolvida por Taiichi Ohno no Sistema Toyota de Produção. De acordo com Womack, Jones e Roos (2004), a manufatura enxuta busca eliminar desperdícios e maximizar o valor agregado por meio da gestão eficiente dos recursos.

No contexto das células autônomas, essa abordagem permite a redução dos tempos de setup, a minimização de estoques intermediários e a melhoria na comunicação entre os membros da equipe. Além disso, oferece maior flexibilidade para responder às variações da demanda e possibilita um controle de qualidade mais eficaz ao longo do fluxo produtivo (Shingo, 1996).

A autogestão é um dos pilares das células produtivas. Ela pode ser compreendida como um sistema no qual as decisões relacionadas à produção são tomadas diretamente pelos operadores, sem a necessidade de constante supervisão hierárquica, reduzindo a burocracia e favorecendo o envolvimento dos trabalhadores na tomada de decisões (Antunes *et al.*, 2020).

Segundo Antunes *et al.* (2020), a descentralização das decisões aumenta a responsabilidade dos operadores e estimula a inovação nos processos produtivos.

A autonomia proporcionada pelas células produtivas está intrinsecamente ligada ao trabalho em equipe e à cooperação no ambiente fabril. Shingo (1996) destaca que o trabalho coletivo promove uma melhor distribuição das responsabilidades, otimizando os processos internos e minimizando falhas operacionais.

Outro benefício das células de produção é a redução dos desperdícios, principalmente relacionados ao tempo ocioso e às movimentações desnecessárias de materiais. Ohno (1997) reforça que, na produção tradicional, um dos principais desafios é a existência de elevados estoques intermediários, que aumentam os custos operacionais e comprometem a fluidez do processo produtivo.

Com a adoção do modelo celular, os processos são organizados de modo a garantir o fluxo contínuo dos materiais, eliminando a necessidade de grandes estoques entre as etapas. Isso contribui significativamente para a gestão eficiente dos recursos e aumenta a competitividade da empresa (Womack; Jones; Roos, 2004).

Além dos ganhos operacionais, a adoção de células autônomas impacta diretamente na motivação e satisfação dos trabalhadores. Segundo Chiavenato (2014), a autonomia no trabalho, aliada ao desenvolvimento de competências, é um dos fatores mais relevantes para a motivação dos colaboradores. Quando os trabalhadores possuem maior controle sobre suas atividades, sentem-se mais valorizados e engajados.

A qualidade dos produtos também é impactada positivamente pela adoção das células produtivas. Slack, Chambers e Johnston (2015) destacam que, ao permitir que

os operadores assumam maior responsabilidade sobre o processo produtivo, há uma maior atenção aos detalhes e uma detecção precoce de falhas. Isso reduz significativamente o retrabalho e os custos associados a produtos defeituosos.

Diante da crescente complexidade dos processos industriais, as organizações têm reavaliado seus modelos de gestão. Os modelos tradicionais, baseados em gestão centralizada, apresentam limitações para tomadas de decisão ágeis e eficazes, comprometendo a capacidade de resposta às mudanças do mercado. Nesse cenário, estruturas descentralizadas, como as células produtivas, surgem como alternativas viáveis para aumentar a agilidade operacional e fortalecer o comprometimento dos trabalhadores na gestão dos processos (Antunes *et al.*, 2020).

2.3 INDICADORES DE DESEMPENHO

Na busca por maior competitividade, as organizações precisam qualificar suas práticas para acompanhar seu desempenho. Independentemente do porte da empresa, a avaliação de desempenho deve ser um processo contínuo e, para isso, o desenvolvimento de indicadores torna-se essencial (Kaplan; Norton, 1997).

Para a implementação de mudanças no sistema produtivo, como a adoção de células de produção, a análise de indicadores de desempenho torna-se essencial. O uso de indicadores permite que as organizações acompanhem seu desempenho, identifiquem oportunidades de melhoria e alinhem suas operações às estratégias organizacionais, além de apoiar a tomada de decisões com base em dados concretos (Kaplan; Norton, 1997).

No ambiente industrial, a definição dos *Key Performance Indicators (KPIs)* deve estar diretamente alinhada aos objetivos estratégicos da empresa, uma vez que “o que é medido é gerenciado” (Parmenter, 2010). A utilização de indicadores de desempenho fornece uma visão quantitativa dos processos, eliminando a subjetividade da avaliação e possibilitando uma gestão mais eficaz dos recursos e da produtividade.

Entre os principais *KPIs* utilizados na indústria estão a eficiência operacional, que mede a relação entre o tempo produtivo e o tempo disponível; o UPPH (unidades produzidas por hora), que reflete a produtividade da linha; o índice de absenteísmo, que avalia o impacto da ausência de operadores no desempenho produtivo, e a taxa de retrabalho, que mede a quantidade de produtos que retornam para correção devido a falhas ou defeitos, impactando diretamente os custos e a eficiência.

Além disso, indicadores como o tempo de ciclo e o OEE (*Overall Equipment Effectiveness*) são fundamentais para a análise da eficiência dos processos produtivos. O OEE, segundo Marr (2012), permite avaliar de forma integrada três dimensões essenciais: disponibilidade dos equipamentos, desempenho operacional e qualidade do produto. Dessa forma, ele oferece uma visão ampla sobre as principais perdas no ambiente fabril.

Durante processos de transformação, como a transição de uma linha de produção tradicional para o modelo de células produtivas, é indispensável que os indicadores sejam ajustados. Eles precisam refletir sobre as mudanças ocorridas na dinâmica operacional, no fluxo produtivo e na distribuição das atividades (Kennerley; Neely, 2002). Esse alinhamento garante que a avaliação de desempenho continue coerente com os objetivos operacionais e estratégicos da empresa.

A adoção de células produtivas, por sua vez, demanda um acompanhamento rigoroso dos indicadores, uma vez que esse modelo busca maior flexibilidade, redução de desperdícios, eliminação de movimentações desnecessárias e aumento da produtividade. Nesse contexto, o monitoramento de *KPIs* torna-se uma ferramenta indispensável para validar os ganhos esperados com a nova configuração do sistema produtivo.

Bititci *et al.* (2012) destacam que a revisão periódica dos indicadores é essencial para garantir sua relevância e aderência ao ambiente produtivo em constante mudança. Isso ocorre porque alterações no *layout*, no mix de produtos, na tecnologia e nas demandas do mercado impactam diretamente as variáveis operacionais que precisam ser monitoradas.

Outro aspecto fundamental é que os *KPIs* devem ser simples, claros, consistentes e de fácil compreensão por todos os níveis da organização (Marr, 2012). Eles devem permitir comparações entre períodos, setores e até unidades produtivas diferentes, além de fornecer dados precisos para análises corretivas e preventivas.

A integração dos *KPIs* aos sistemas de automação e gestão da produção, como *softwares* de monitoramento, também se torna cada vez mais relevante. Isso permite que os dados sejam coletados e analisados em tempo real, contribuindo para uma gestão mais ágil e responsiva, capaz de identificar rapidamente desvios e oportunidades de melhoria.

No contexto das células de produção, a utilização adequada dos *KPIs* não apenas permite avaliar os resultados obtidos, como também garante o

acompanhamento contínuo dos processos. Isso possibilita intervenções rápidas, aumento da eficiência, melhor utilização dos recursos e maior controle sobre a qualidade e os custos operacionais.

Portanto, o desenvolvimento e o monitoramento dos indicadores de desempenho tornam-se ferramentas estratégicas na gestão das operações e fundamentais para assegurar que os benefícios esperados com a adoção das células produtivas sejam efetivamente alcançados. Dessa forma, o uso dos *KPIs* fortalece o alinhamento entre os objetivos operacionais e estratégicos, contribuindo diretamente para o aumento da competitividade e da sustentabilidade dos processos produtivos.

3 METODOLOGIA

A metodologia adotada neste trabalho tem como objetivo fornecer uma estrutura lógica e coerente para a elaboração de uma proposta de melhoria operacional na linha de montagem de condicionadores de ar, por meio da aplicação do conceito de células autônomas de produção. Considerando que esta pesquisa não possui caráter experimental nem envolve intervenção prática direta no ambiente produtivo, a proposta foi desenvolvida com base na análise de dados secundários, na revisão da literatura pertinente ao tema e na simulação de cenários fundamentados na realidade operacional da empresa estudada.

De acordo com Gil (2008), a escolha adequada da metodologia deve estar diretamente relacionada à natureza do problema investigado e aos objetivos do estudo. Assim, optou-se por uma pesquisa de natureza teórico-prática, pois, conforme Marconi e Lakatos (2022), esse tipo de pesquisa visa tanto à compreensão teórica de um fenômeno quanto à sua aplicação prática em um contexto específico.

A abordagem adotada é de caráter exploratório, visto que, conforme Gil (2008), esse tipo de pesquisa busca proporcionar maior familiaridade com o problema, tornando-o mais claro e evidente, especialmente quando o tema ainda é pouco explorado ou aplicado em determinados contextos. Além disso, o estudo apresenta caráter propositivo, que, segundo Costa (2011), refere-se à elaboração de soluções fundamentadas na análise de uma realidade observada, com o objetivo de contribuir para a melhoria de processos ou sistemas existentes.

A abordagem metodológica utilizada é de natureza mista, englobando aspectos qualitativos e quantitativos. A abordagem qualitativa está presente na interpretação dos processos produtivos, na análise dos gargalos e na formulação da proposta de reorganização produtiva. Já a abordagem quantitativa manifesta-se na análise dos indicadores de desempenho e nos dados simulados por meio de ferramentas computacionais. Conforme Richardson (2013), pesquisas com abordagem mista são indicadas quando se busca compreender fenômenos complexos a partir de múltiplas dimensões.

O desenvolvimento da pesquisa seguiu as seguintes etapas metodológicas:

a) Levantamento dos dados teóricos

Foi realizada uma revisão bibliográfica baseada em livros, artigos científicos e publicações técnicas, com o objetivo de aprofundar os conceitos relacionados à

manufatura enxuta, células autônomas de produção, balanceamento de linha, eficiência operacional e indicadores de desempenho;

b) Análise dos dados atuais

Foram utilizados dados secundários disponibilizados pela empresa, provenientes dos tempos padrões já registrados internamente, bem como de indicadores de desempenho da linha de montagem da unidade evaporadora, tais como: eficiência, unidades produzidas por hora (UPPH), tempo de ciclo e índice de retrabalho. Esses dados foram organizados em planilhas e analisados para compreender a situação atual do processo produtivo e identificar os principais pontos críticos. De acordo com Marconi e Lakatos (2022), a utilização de dados secundários é adequada quando se dispõe de informações confiáveis, previamente registradas por instituições ou empresas.

c) Identificação de gargalos produtivos

A partir da análise dos indicadores e da observação indireta dos fluxos produtivos, foram identificados os principais gargalos que comprometem a eficiência operacional. As análises consideraram fatores como excesso de movimentação, tempos de espera entre operações, ociosidade de mão de obra e desequilíbrio na distribuição das atividades. Esta etapa foi norteadada pelos princípios de análise de tempos e movimentos descritos por Barnes (2010), voltados à identificação de desperdícios e à busca por melhorias contínuas.

d) Simulação da proposta de células autônomas de produção

Com base nos dados operacionais e nas limitações observadas no arranjo atual, foi desenvolvido o modelo simulado utilizando a ferramenta *Microsoft Excel*, com o objetivo de estimar os impactos da adoção de célula autônoma de produção. A simulação considerou diferentes cenários organizacionais, com redistribuição das atividades, agrupamento de operadores e otimização do fluxo produtivo. Conforme Corrêa e Gianesi (2016), a simulação de processos é uma ferramenta fundamental no planejamento produtivo, permitindo antecipar os efeitos de mudanças e reduzir os riscos associados à implementação.

e) Comparação de resultados

Os resultados obtidos com a simulação foram comparados aos dados atuais da linha de montagem, permitindo analisar os impactos da proposta nos principais indicadores de desempenho, tais como produtividade, tempo de ciclo e eficiência

operacional. Esta comparação serviu de base para avaliar a viabilidade da proposta e formular recomendações para futuras decisões estratégicas da empresa.

A proposta de adoção dessa metodologia justifica-se pela impossibilidade de realizar intervenções diretas no processo produtivo da empresa, bem como pela necessidade de apresentar uma proposta fundamentada, que sirva como suporte para futuras tomadas de decisão. O uso de dados operacionais reais, combinado à fundamentação teórica consolidada na literatura especializada, garante robustez à análise e confere aplicabilidade à proposta em contextos produtivos semelhantes.

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DO ESTUDO DE CASO

Esta seção apresenta o estudo de caso desenvolvido em uma empresa do Polo Industrial de Manaus, abordando sua estrutura produtiva atual, os principais desafios operacionais e a análise dos dados levantados. Serão descritos o contexto da organização, o processo produtivo de montagem de condicionadores de ar e os resultados da simulação proposta com base no modelo de células de produção. Essa análise prática fundamenta-se nos dados reais da empresa e nas diretrizes da manufatura enxuta, servindo como base para a proposição de melhorias operacionais.

4.1 DESCRIÇÃO DO CASO

O presente estudo foi desenvolvido em uma empresa situada no Polo Industrial de Manaus (PIM), que atua no segmento eletroeletrônico, com foco na montagem de condicionadores de ar destinados ao mercado nacional. A organização se destaca pela busca contínua por qualidade, eficiência e competitividade, operando em um ambiente produtivo que demanda melhorias constantes para atender às exigências do mercado e assegurar sua sustentabilidade operacional.

O sistema produtivo da empresa é estruturado com base em linhas de montagem tradicionais, organizadas em fluxo contínuo, com operações sequenciais e distribuídas de forma departamentalizada.

Essa configuração, típica de sistemas produtivos orientados para a produção em massa, embora consolidada, apresenta limitações operacionais que impactam diretamente o desempenho da fábrica. Entre os principais desafios observados, destacam-se o desequilíbrio na distribuição das atividades, o acúmulo de produtos em processo, os tempos de ciclo elevados em determinados postos de trabalho e a ocorrência de gargalos operacionais, fatores que comprometem o fluxo produtivo e o atendimento das metas estabelecidas.

Este trabalho tem como foco específico a análise da linha de montagem da unidade evaporadora dos modelos *Split Hi Wall*, selecionada por representar uma das linhas de maior volume produtivo na empresa e, conseqüentemente, de elevada relevância operacional. Esse tipo de condicionador de ar é amplamente utilizado em ambientes residenciais e comerciais de pequeno porte, sendo reconhecido por sua eficiência energética, baixo nível de ruído, facilidade de instalação e manutenção, além de apresentar um design compacto e discreto. O sistema *Split* é composto por

duas unidades principais: a evaporadora, instalada no ambiente interno, responsável pela absorção do calor e pela realização da troca térmica; e a condensadora, instalada externamente, cuja função é realizar a dissipação do calor.

O processo produtivo da evaporadora consiste em uma sequência de operações que se inicia com o recebimento de uma unidade parcialmente montada, denominada *mock-up*, que corresponde a uma estrutura provisória utilizada para o transporte interno dos componentes até a linha de montagem.

Essa estrutura contém o gabinete do produto e elementos auxiliares, que devem ser removidos na etapa inicial do processo. A partir desse ponto, são executadas as operações de desmontagem dos itens de transporte, instalação dos motores, montagem da caixa elétrica, fechamento do gabinete, realização dos testes elétricos e funcionais, além das atividades finais de embalagem e encaminhamento do produto acabado para o estoque.

Embora tecnicamente menos complexo quando comparado às linhas dos modelos *Cassete* e *Ceiling & Floor*, o processo da linha de evaporadora apresenta desafios operacionais significativos. Entre eles, destacam-se o desequilíbrio na distribuição das atividades, tempos de ciclo elevados em determinados postos e variações na alocação da mão de obra, que resultam na ociosidade em alguns postos e sobrecarga em outros.

Para fundamentar a análise, foram utilizados dados operacionais fornecidos diretamente pela supervisão da linha de montagem da evaporadora, com foco na avaliação de indicadores-chave de desempenho (*Key Performance Indicators – KPIs*). Foram considerados dados como tempo de ciclo por operação, quantidade de operadores alocados por posto de trabalho, produtividade da linha — medida em unidades produzidas por hora (UPPH) — e o volume médio diário produzido.

Complementarmente, foram analisadas as sequências operacionais e os tempos padrão registrados nas planilhas internas de controle da produção.

A análise desses indicadores evidencia de forma clara as limitações do modelo produtivo atual, tais como dificuldades no balanceamento da linha, excesso de movimentações internas, tempos de espera e acúmulo de produtos em processo.

Esses fatores impactam diretamente a eficiência operacional, elevando os custos associados à mão de obra e dificultando o atingimento das metas produtivas estabelecidas pela empresa.

A escolha desse objeto de estudo justifica-se pela relevância prática do problema identificado e pela oportunidade de aplicar conceitos da Engenharia de Produção, especialmente os fundamentos da filosofia *Lean Manufacturing* e da abordagem de células de produção, como estratégia para promover a melhoria do desempenho operacional da linha.

A linha analisada apresenta características favoráveis à adoção desse modelo, como elevado grau de padronização dos processos, diversidade de modelos atendidos dentro da mesma linha e viabilidade para simulações baseadas em dados reais, sem necessidade de intervenção direta na operação vigente.

Diante desse contexto, este estudo tem como objetivo propor uma alternativa ao modelo atual de linha de montagem, por meio da análise da situação existente e da elaboração de uma proposta baseada na implementação de células de produção, aplicadas à linha de montagem da evaporadora. A proposta visa otimizar o fluxo de trabalho, reduzir os tempos de ciclo, equilibrar a distribuição das atividades entre os operadores e, conseqüentemente, elevar os níveis de produtividade e eficiência operacional da organização.

4.2 DESCRIÇÃO DO PROCESSO PRODUTIVO

O processo inicia-se com a retirada da caixa mock-up do pallet e seu posicionamento sobre a bancada da linha. O operador realiza a remoção da embalagem plástica, calços e proteções utilizadas para transporte interno, descartando-os nas caixas apropriadas ao lado da estação.

Em seguida, são retirados itens externos, como o suporte de parede e o tubo de dreno, que são posicionados em um carrinho ao lado para serem utilizados nas etapas finais. Realiza-se também a remoção da embalagem plástica do produto.

O operador então levanta a tampa frontal do gabinete e faz a remoção da aleta horizontal, que é colocada sobre o próprio aparelho. Na sequência, realiza-se o teste de pressão do produto para verificação preliminar de estanqueidade.

Concluída essa etapa, o aparelho é movimentado para o próximo posto, onde ocorre a remoção dos parafusos do gabinete, além de soltar a trava inferior do gabinete, deixando-o solto para as próximas desmontagens.

O operador então faz a remoção do gabinete, que é colocado sobre uma esteira auxiliar, seguido da remoção dos parafusos do trocador de calor e da tampa de

proteção do motor. Remove-se também o suporte plástico do motor, deixando o espaço interno do gabinete livre.

Uma etapa crítica ocorre nesse momento: a remoção da caixa elétrica do gabinete. O operador realiza o desparafusamento e desencaixe da caixa elétrica, que é então armazenada em um recipiente ou bancada auxiliar. Outro operador é responsável por transportar essa caixa elétrica até o posto de montagem elétrica, seguindo um fluxo paralelo ao do gabinete, que continua na linha de montagem mecânica.

Com o espaço liberado, o operador insere a presilha metálica no trocador, seguido da remoção completa do trocador de calor, que é posicionado na esteira para aguardamento. Também são retirados os resíduos da hélice, descartando-os no coletor ao lado.

O processo avança para a montagem dos componentes. O operador pega a etiqueta de série e insere no aparelho, depois posiciona e monta o motor ventilador, realiza a fixação do eixo do motor, instala a tampa de proteção do motor e aplica a etiqueta do motor. Na sequência, o aparelho é movimentado para o próximo posto.

O operador então realiza a montagem do motor da aleta horizontal, fixa os componentes associados, faz o ajuste dos cabos e completa com a organização do cabeamento dos motores, além da fixação do terminal lateral e do terminal principal com quatro cabos (PT, AZ, MR, VA).

Enquanto isso, na área elétrica, a caixa elétrica é posicionada na bancada, onde são instalados o transformador, a PCI (Placa de Circuito Impresso, responsável por concentrar e interligar os componentes eletrônicos, permitindo o controle das funções do equipamento), a barra de terminais, o suporte de fixação, esponjas, displays e outros componentes eletrônicos. São realizados os testes elétricos da PCI, seguido da organização dos cabos. Depois, a caixa elétrica montada é passada para o próximo posto, onde são feitas as conexões dos cabos, montagem dos displays, encaixe final e, então, a caixa elétrica segue novamente até o ponto de junção no gabinete.

Na linha, com a montagem mecânica já avançada, ocorre a fixação da caixa elétrica no gabinete, incluindo as ligações elétricas, fixação dos cabos, display e terminal. Também é feita a fixação do cabo terra.

Concluída essa etapa, o operador realiza o fechamento do gabinete, montando e fixando a tampa frontal, a aleta horizontal e o trocador de calor. A hélice é instalada

e o gabinete é definitivamente fechado, seguido pela aplicação de quatro etiquetas no produto.

O equipamento segue então para a etapa de teste elétrico (*Hi-Pot*), onde são realizadas as conexões para verificar a isolação dos componentes. Após o teste, as conexões são removidas.

Na etapa seguinte, é feita a selagem do gabinete com fita, montagem do prendedor do tubo de drenagem e aplicação de etiquetas finais no suporte de parede. O operador também faz a leitura de rastreabilidade, garantindo o controle do histórico de produção.

Concluído esse processo, são montados os acessórios finais, como o suporte de parede, o tubo de drenagem e demais itens auxiliares, seguido pela remoção dos calços internos da embalagem e do kit de acessórios, que são instalados no aparelho.

O operador então monta a caixa de embalagem no equipamento, gira o aparelho e realiza o posicionamento final dos acessórios, *kit* e etiquetas. Na sequência, ocorre o fechamento das abas da caixa, aplicação da selagem, e o produto é encaminhado para a rampa de descida que leva ao estoque de produtos acabados ou para a expedição.

4.3 APRESENTAÇÃO DOS DADOS

A evaporadora é composta por diversos componentes essenciais à sua funcionalidade, incluindo: gabinete, caixa elétrica, trocador de calor, motores de passo, sensor de temperatura, motor ventilador, carenagem, hélice, bandeja de dreno, isoladores, suportes metálicos, fios, conectores, terminais e parafusos. O processo de montagem é realizado por meio de uma sequência padronizada de etapas (Tabela 1), executadas em uma linha de montagem tradicional. Essa linha opera em um único turno diário com duração de 8,8 horas (equivalente a 528 minutos ou 31.680 segundos), e tem uma meta de produção de 1.420 unidades por dia, contando com um efetivo de 27 colaboradores atuando diretamente na mão de obra direta (MOD).

Para determinar o ritmo de produção necessário, aplica-se a fórmula do *Takt Time*, ou tempo de ciclo necessário para atender à demanda do cliente, conforme proposto por Rother e Shook (2003):

$$Takt\ Time = \frac{Tempo\ disponível\ (em\ segundos)}{Demanda\ diária\ (unidades)} = \frac{31.680}{1.420} \cong 22,31\ s/unidades$$

Esse valor de 22,31 segundos foi adotado como tempo de ciclo de referência para a análise da linha de montagem e balanceamento de tarefas.

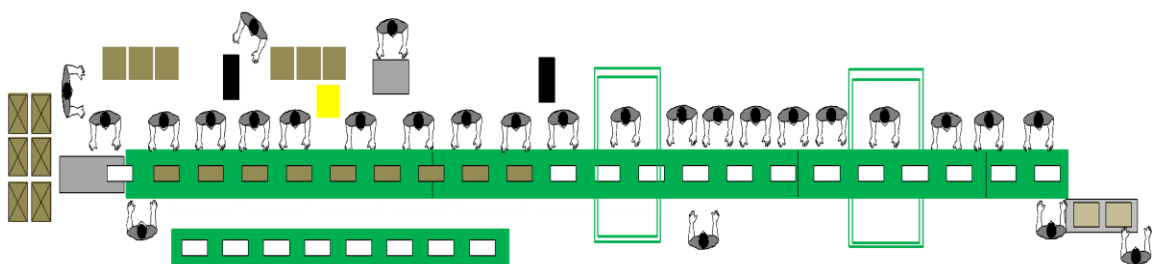
Tabela 1 – Operações do processo de montagem da evaporadora – arranjo físico atual

OPERADOR	OPERAÇÃO	TEMPO PADRÃO (SEG/UN)
1	Desembalagem do aparelho	19,80
2	Remoção do suporte de parede e teste de pressão	19,50
3	Remoção dos parafusos e desencaixe do gabinete	15,80
4	Remoção do gabinete e parafusos do trocador de calor	13,10
5	Remoção dos parafusos da caixa elétrica	14,60
6	Transporte de materiais da caixa elétrica	16,00
7	Remoção do trocador de calor e resíduos	13,30
8	Inserção de etiqueta de série e montagem inicial do motor	15,80
9	Inserção de buchas nos eixos dos motores do defletor de ar	8,00
10	Fixação do motor e tampa de proteção	15,00
11	Conexões dos cabos e fixação da estrutura	9,00
12	Fixação dos terminais da caixa elétrica	12,00
13	Fixação do transformador na caixa elétrica	8,00
14	Montagem da pci na caixa elétrica	7,00
15	Conexões da caixa elétrica e teste	10,00
16	Fixação da caixa elétrica montada no produto	17,00
17	Fixação do cabo terra e posicionamento do gabinete	17,80
18	Organização dos cabos e encaixe do gabinete	20,00
19	Fixação dos parafusos do gabinete	17,30
20	Fixação do display e defletores de ar	15,90
21	Aplicação de etiquetas	12,00
22	Conexões do teste Hi-Pot	9,00
23	Fechar tampa do gabinete e embalagem com saco plástico	20,00
24	Montagem do tubo dreno e suporte de parede	20,00
25	Inserção de calços ep's	21,00
26	Apontamento final e fechamento da embalagem	19,00
27	Posicionamento de acessórios e embalagem final	20,00

Fonte: Autora, 2025.

O *layout* apresentado na Figura 1 corresponde a um arranjo físico linear, no qual as operações são distribuídas sequencialmente ao longo de uma esteira. Os operadores permanecem em pé, executando tarefas específicas de forma repetitiva e isolada, caracterizando um sistema de monotarefa. Esse tipo de configuração dificulta o agrupamento de operações e a flexibilidade da linha, contribuindo para a subutilização da mão de obra direta (MOD).

Figura 1 – *Layout* atual: arranjo físico linear



Fonte: Autora, 2025.

Observa-se que a disposição dos postos de trabalho, com tempos operacionais desbalanceados entre si, acarreta desequilíbrio no fluxo produtivo. Como consequência, há formação de estoques intermediários (*WIP – Work in Process*) entre etapas, o que impacta negativamente o lead time do produto, além de favorecer a superprodução e o tempo de espera entre processos.

Adicionalmente, a estrutura atual não favorece a integração das atividades, exigindo maior movimentação dos operadores e ocasionando perdas associadas ao transporte e à espera. A limitação no reaproveitamento do tempo ocioso por parte dos operadores reduz a eficiência global do processo, especialmente em postos com tempos inferiores ao *Takt Time* de 22,31 segundos.

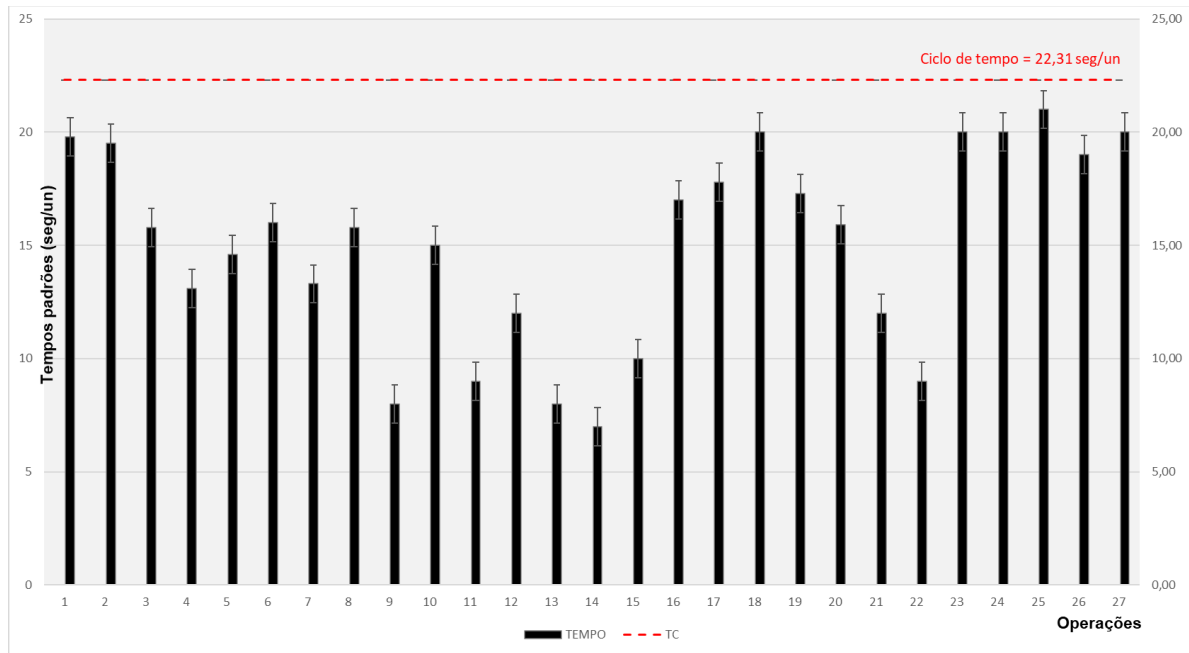
A Figura 1 apresenta os tempos padrão das operações atuais em comparação ao tempo de ciclo de 22,31 segundos, evidenciado pela linha tracejada vermelha. Observa-se que grande parte das operações apresenta tempos individuais significativamente inferiores ao *Takt Time*, o que demonstra uma ociosa capacidade produtiva em diversos postos de trabalho.

Essa configuração indica que os operadores ficam ociosos por longos períodos entre a finalização de uma atividade e o início da próxima, resultando na subutilização da mão de obra direta. Essa ociosidade, aliada à disposição linear dos postos de trabalho, favorece a formação de estoques intermediários (*WIP*) ao longo da linha, aumentando o tempo de atravessamento do produto (*lead time*) e reduzindo a eficiência do processo.

Além disso, algumas operações, como as de número 23, 24 e 25 (Tabela 1), se aproximam ou ultrapassam o tempo de ciclo, configurando gargalos produtivos que comprometem o fluxo contínuo da linha. Esses gargalos exigem compensações como redistribuição de atividades, sobrecarga de operadores ou criação de estoques de proteção, contrariando os princípios da manufatura enxuta.

A identificação desses gargalos reforça a importância de um balanceamento mais criterioso e alinhado às capacidades reais de cada posto. A proposta de redistribuição das atividades busca justamente mitigar essas limitações, equilibrando os tempos operacionais e favorecendo um fluxo contínuo e sincronizado. Dessa forma, mesmo sem aplicação prática, a simulação sugere que a adoção de células autônomas poderia minimizar os desequilíbrios produtivos e contribuir para a eliminação de desperdícios associados à espera, ao retrabalho e à superprodução.

Figura 2 – Agrupamento de operações aplicado ao arranjo físico atual



Fonte: Autora, 2025.

A Tabela 2 apresenta os principais indicadores operacionais da linha de montagem linear da evaporadora, considerando a configuração atual composta por 27 operadores atuando em um único turno diário de 8,8 horas

A eficiência da mão de obra foi calculada com base no tempo padrão por unidade, resultando em 99,98%, o que demonstra que o efetivo atual está em conformidade com a carga de trabalho exigida para alcançar a meta diária. A produtividade individual foi de 5,97 unidades por hora, enquanto a produtividade total da equipe por hora-homem permaneceu no mesmo patamar.

Tabela 2 – Indicadores de desempenho atuais

Indicador	Valor
Produção diária	1.420 unidades
Jornada de trabalho	8,8 horas
Mão de obra direta (MOD)	27 operadores
Tempo padrão por unidade (ST)	0,1673 horas
Eficiência da MOD (base ST)	1,00
Produtividade por operador (UPPH)	5,97 un/pessoa/hora
Produtividade total (hora-homem)	5,97 un/hora-homem
Custo médio mensal por operador	3000,00
Custo total mensal da MOD	81000,00
Produção mensal estimada (22 dias)	31.240 unidades
Custo da MOD por unidade produzida	2,59

Fonte: Autora, 2025.

O custo estimado por unidade produzida referente à mão de obra direta foi de R\$2,59, considerando um custo fixo mensal de R\$3.000,00 por operador e uma jornada mensal de 22 dias úteis. Os valores apresentados refletem o desempenho da linha no estado atual, antes da aplicação da proposta de reorganização do *layout* físico e balanceamento das operações.

Os indicadores apresentados foram obtidos a partir de fórmulas consolidadas na literatura de engenharia de produção, com base nos seguintes dados:

- a) Produção diária: 1.420 unidades
- b) Tempo padrão por unidade (ST): 0,1611 horas
- c) Operadores: 27
- d) Jornada: 8,8 horas por operador
- e) Custo mensal por operador: R\$ 3.000,00
- f) Dias úteis por mês: 22

A eficiência da mão de obra foi calculada com base no tempo padrão por unidade, utilizando a fórmula:

$$Eficiência (\%) = \frac{Produção \times ST}{MOD \times Jornada} \times 100$$

Substituindo os valores:

$$Eficiência = \frac{1420 \times 0,1673}{27 \times 8,8} \times 100 = \frac{237,566}{237,6} \times 100 \cong 99,98\%$$

A produtividade individual foi obtida a partir da seguinte fórmula:

$$UPPH = \frac{Produção}{MOD \times Jornada} = \frac{1.420}{27 \times 8,8} \cong 5,97 \text{ unidades por pessoa por hora}$$

A produtividade total da linha (hora-homem) permanece no mesmo patamar, pois trata-se da mesma base de cálculo, aplicada a todo o efetivo da mão de obra direta (MOD). Para estimativa de custo, foi considerado um custo mensal fixo de R\$3.000,00 por operador. A produção mensal estimada é de 31.240 unidades (com

22 dias úteis), resultando em um custo por unidade produzida de R\$2,59, calculado pela relação entre o custo total mensal da MOD (R\$81.000,00) e a produção mensal.

Esses indicadores revelam que, do ponto de vista do tempo padrão, o aproveitamento da mão de obra é satisfatório. No entanto, conforme demonstrado em análises complementares, a estrutura linear da linha apresenta limitações em termos de balanceamento, tempo ocioso e acúmulo de estoque intermediário (*WIP*), o que justifica a proposta de reorganização baseada em células de produção.

4.4 PROPOSTA DE ADOÇÃO DE CÉLULA DE PRODUÇÃO

Com o objetivo de promover melhorias no desempenho do processo de montagem da unidade evaporadora, este estudo propõe a implementação de uma célula de produção autônoma dedicada exclusivamente à montagem da caixa elétrica. O atual arranjo produtivo, que opera majoritariamente no modelo tradicional em fluxo linear, passa a incorporar este conceito de célula produtiva com o intuito de aumentar a flexibilidade, aprimorar os fluxos e eliminar desperdícios relacionados a movimentações internas e atividades que não agregam valor.

A proposta é desenvolvida com base nos princípios da manufatura enxuta, priorizando a eliminação de desperdícios, o balanceamento das atividades e a melhoria da qualidade do processo.

Na configuração vigente, a montagem da caixa elétrica faz parte do fluxo convencional do processo produtivo, sendo necessária sua desmontagem logo no início das atividades — uma tarefa executada na estação de trabalho identificada como Posto 5, conforme apresentado na Tabela 1, responsável pela remoção do gabinete da caixa elétrica. Este procedimento gera tempo improdutivo, excesso de deslocamentos, risco de danos aos componentes e eleva a complexidade operacional, uma vez que exige a retirada, o armazenamento temporário e, posteriormente, a reinstalação da caixa elétrica no equipamento.

Além disso, existe uma etapa específica, realizada no Posto 6, como descrito na Tabela 1, cuja função consiste exclusivamente no deslocamento da caixa elétrica desmontada até outra etapa do processo. Esta atividade, além de não agregar valor ao produto, representa uma fonte significativa de desperdícios de tempo e recursos, pois demanda movimentação manual, eleva os riscos de avarias em componentes sensíveis e requer a alocação de um colaborador destinado unicamente a essa função logística interna. Este tipo de transporte desnecessário é classificado pela filosofia

Lean como um dos sete desperdícios que impactam diretamente a fluidez e a eficiência do processo produtivo.

Diante desse contexto, a proposta contempla a criação de uma célula de montagem autônoma para a caixa elétrica, fisicamente segregada do restante da linha, porém diretamente integrada ao fluxo produtivo. Esta célula concentra todas as etapas relacionadas à montagem, aos testes e às validações do conjunto elétrico, de forma independente e dedicada. A caixa elétrica, uma vez finalizada e aprovada nos testes dentro da célula, segue diretamente para a linha de montagem da unidade evaporadora, eliminando completamente a necessidade de desmontagem, transporte intermediário e retrabalho.

A adoção desta célula permite, além da eliminação das atividades atualmente alocadas nos Postos 5 e 6, tal como indicado na Tabela 1, uma melhoria substancial na dinâmica produtiva. O processo torna-se mais enxuto, com redução expressiva de deslocamentos, maior controle de qualidade sobre o conjunto elétrico e mitigação dos riscos associados a falhas de montagem.

Adicionalmente, a célula promove a especialização dos operadores, que passam a ser responsáveis de forma integral por todo o processo da caixa elétrica — desde a montagem dos componentes até os testes elétricos e funcionais. Este modelo operacional está alinhado aos princípios do trabalho multifuncional, autônomo e com maior responsabilização sobre os resultados entregues.

A proposta também contempla ajustes no balanceamento das operações da linha da unidade evaporadora. Atividades com tempos de ciclo reduzidos, como aquelas realizadas nos Postos 7 e 9, de acordo com a Tabela 1, são agrupadas, otimizando a utilização dos operadores. Da mesma forma, os Postos 21 e 22, segundo consta na Tabela 1, que apresentam elevados índices de ociosidade, são consolidados em uma única estação de trabalho, promovendo a redução de um operador.

Adicionalmente, é inserida uma atividade intermediária entre os Postos 23 e 24, como representado na Tabela 1, visando redistribuir a carga operacional e evitar sobrecarga dos colaboradores nessas etapas. A célula de montagem da caixa elétrica também viabiliza o agrupamento dos Postos 13 e 14, conforme ilustrado na Tabela 1, uma vez que a remoção da etapa de desmontagem libera espaço físico e permite a compatibilização dos tempos de ciclo, possibilitando a execução conjunta dessas atividades.

A nova configuração resultará em um processo produtivo composto por 23 postos operacionais, sendo a célula de montagem da caixa elétrica uma unidade independente, porém diretamente conectada e sincronizada com o restante do fluxo produtivo da unidade evaporadora.

A Tabela 3 apresenta a nova divisão proposta dos postos operacionais, evidenciando a redistribuição das atividades e os ganhos obtidos no balanceamento da linha.

Essa nova configuração foi elaborada com base na análise crítica dos dados atuais da linha e nas diretrizes do *Lean Manufacturing*, visando eliminar tarefas redundantes e redistribuir os recursos humanos de forma mais eficiente. Embora ainda não tenha sido implementada, a proposta projeta melhorias no fluxo produtivo, redução do tempo de ciclo e diminuição da ociosidade entre os postos, reforçando o potencial da abordagem de células de produção para otimizar o desempenho operacional.

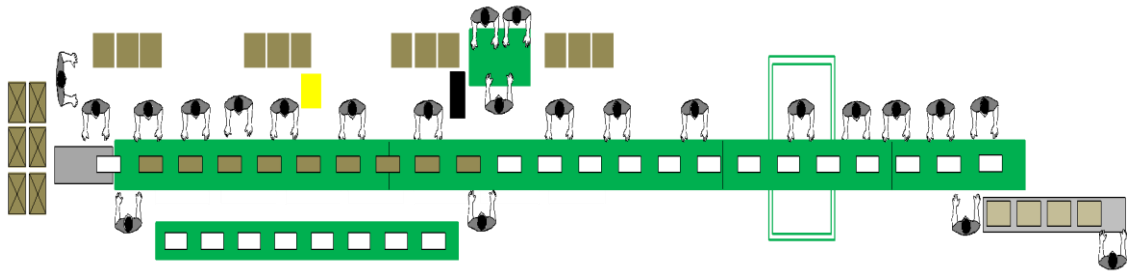
Tabela 3 – Operações do processo de montagem da evaporadora – arranjo físico da proposta

OPERADOR	OPERAÇÃO	TEMPO PADRÃO (SEG/UN)
1	Desembalagem do aparelho	19,80
2	Remoção do suporte de parede e teste de pressão	19,50
3	Remoção dos parafusos e descaixamento do gabinete	15,80
4	Remoção do gabinete e parafusos do trocador de calor	13,10
5	Remoção do trocador de calor e resíduos	13,30
6	Inserção de etiqueta de série e montagem inicial do motor	15,80
7	Inserção de buchas nos eixos dos motores do defletor de ar e conexões dos cabos e fixação da estrutura	17,00
8	Fixação do motor e tampa de proteção	15,00
9	Fixação dos terminais da caixa elétrica	12,00
10	Fixação do transformador na caixa elétrica e montagem da pci na caixa elétrica	15,00
11	Conexões da caixa elétrica e teste	10,00
12	Fixação da caixa elétrica montada no produto	17,00
13	Fixação do cabo terra e posicionamento do gabinete	17,80
14	Organização dos cabos e encaixe do gabinete	20,00
15	Fixação dos parafusos do gabinete	17,30
16	Fixação do display e defletores de ar	15,90
17	Aplicação de etiquetas e conexões do teste Hi-Pot	12,00
18	Fechar tampa do gabinete	12,00
19	Embalagem com saco plástico e montagem do tubo dreno	13,00
20	Montagem do tubo dreno	15,00
21	Inserção de calços ep's	21,00
22	Apontamento final e fechamento da embalagem	19,00
23	Posicionamento de acessórios e embalagem final	20,00

Fonte: Autora, 2025.

A Figura 3 ilustra o novo *layout* da linha de montagem, no qual é possível visualizar a disposição física da célula da caixa elétrica em relação ao restante da linha produtiva.

Figura 3 – *Layout* proposto: arranjo físico com célula de produção



Fonte: Autora, 2025.

A adoção da célula de montagem autônoma gerará impacto altamente positivo, proporcionando uma série de benefícios operacionais. Entre eles destacam-se a eliminação total de desperdícios por transporte e movimentação desnecessária, a redução de riscos de falhas na montagem da caixa elétrica, além do aumento da qualidade e da confiabilidade do processo.

A adoção desse modelo trará maior organização ao ambiente de trabalho, possibilitando uma atuação mais eficiente dos operadores e reduzirá significativamente os gargalos existentes, conforme descrito na seção 4.3 deste estudo.

A adoção da célula de montagem da caixa elétrica representa uma aplicação prática dos conceitos de manufatura enxuta e de células de produção autônomas, reforçando a capacidade da empresa em adaptar seus processos para modelos mais eficientes, flexíveis e competitivos. Esta solução pode ser expandida futuramente para outros subconjuntos ou etapas do processo, fortalecendo a cultura de melhoria contínua e excelência operacional.

4.5. RESULTADOS DA SIMULAÇÃO

A implementação da célula de produção autônoma destinada à montagem da caixa elétrica proporcionará melhorias significativas nos indicadores de desempenho da linha de montagem da unidade evaporadora. As alterações no arranjo produtivo permitiram a redução da mão de obra direta de 27 para 23 operadores, mantendo a mesma capacidade produtiva de 1.420 unidades por dia.

A proposta de aplicação do novo arranjo produtivo proposto foi simulada por meio de planilhas desenvolvidas no *software Microsoft Excel*, permitindo calcular e

projetar os impactos das mudanças nos principais indicadores operacionais. Essa simulação gerou novas projeções para os resultados, apresentados na Tabela 2.

A utilização dessa ferramenta possibilitou estruturar os dados, aplicar as fórmulas necessárias e visualizar de forma clara como a adoção da célula de montagem da caixa elétrica e a reorganização dos postos de trabalho influenciam diretamente na produtividade, na utilização da mão de obra e na eficiência operacional da linha.

O cenário simulado reflete melhorias no balanceamento das atividades, na redução de tempos improdutivo e na eliminação de etapas que não agregam valor, tornando o processo mais enxuto e eficiente.

O tempo padrão total necessário para atender à demanda diária manteve-se em 228,76 horas, considerando o tempo padrão por unidade de 0,1611 horas, calculado conforme os conceitos apresentados por Corrêa e Corrêa (2012). O cálculo é realizado utilizando a seguinte fórmula:

$$\textit{Tempo padrão total} - 1.420 \times 0,1611 = 228,76 \textit{ horas}$$

Na configuração anterior, o tempo disponível total era de 237,6 horas, calculado pela multiplicação do número de operadores pela jornada de trabalho, conforme abordagem de Tubino (2017):

$$\textit{Tempo disponível total} = 27 \times 8,8 = 237,6 \textit{ horas}$$

Com a adoção da célula autônoma, esse valor foi reduzido para 202,4 horas, aplicando a mesma metodologia:

$$\textit{Tempo disponível total} = 23 \times 8,8 = 202,4 \textit{ horas}$$

A eficiência da mão de obra (MO) apresentou uma evolução significativa, passando de 0,96 para 1,13, resultado obtido pela relação entre o tempo padrão total e o tempo disponível total, conforme descrito por Gaither e Frazier (2001) e Corrêa e Corrêa (2012):

$$Eficiência = \frac{Tempo\ padrão\ total}{Tempo\ disponível\ total}$$

$$Eficiência\ (atual) = \frac{228,76}{237,6} = 0,96$$

$$Eficiência\ (proposta) = \frac{228,76}{202,4} = 1,13$$

O indicador de produtividade por operador (UPPH) também apresentou uma melhoria expressiva. Este indicador é calculado segundo Slack, Brandon-Jones e Johnston (2018), utilizando a relação entre a produção diária, o número de operadores e a jornada de trabalho:

$$UPPH = \frac{Produção\ diária}{N^{\circ}\ de\ operadores\ x\ Jornada}$$

$$PPH(atual) = \frac{1420}{27 \times 8,8} = 5,97\ unidades\ por\ operador/horasU$$

$$UPPH(propósito) = \frac{1420}{23 \times 8,8} = 7,00\ unidades\ por\ operador/horas$$

O custo mensal da mão de obra direta (MOD) também apresentou uma redução significativa. De acordo com Martins e Laugeni (2015), o custo da MOD é calculado pela multiplicação do número de operadores pelo custo médio mensal por operador:

$$Custo\ mensal\ da\ MOD = N^{\circ}\ de\ operadores\ x\ Custo\ por\ operador$$

$$Custo\ (antes) = 27 \times 3.000 = R\$ 81.000,00$$

$$Custo\ (depois) = 23 \times 3.000 = R\$ 69.000,00$$

A produção mensal estimada foi calculada considerando 22 dias úteis, conforme o modelo de planejamento de Tubino (2017), conforme apresentado na Fórmula 5:

$$\text{Produção mensal} = 1420 \times 22 = 31.240 \text{ unidades}$$

Ressalta-se que a meta produtiva diária permanece inalterada, mantendo-se em 1.420 unidades por dia, mesmo após a implementação da célula de montagem autônoma da caixa elétrica. Dessa forma, a capacidade produtiva da linha não sofre alterações, sendo preservada para atender às demandas do planejamento.

Com isso, o custo da mão de obra direta (MOD) por unidade produzida apresentou uma redução significativa, calculado segundo os conceitos de Martins e Laugeni (2015), por meio da relação entre o custo total da MOD e a produção mensal, conforme apresentado na Fórmula 6:

$$\begin{aligned} \text{Custo por unidade} &= \frac{\text{Custo mensal da MOD}}{\text{Produção mensal}} \\ \text{Custo (atual)} &= \frac{81.000}{31.240} = R\$2,59 \\ \text{Custo (proposto)} &= \frac{69.000}{31.240} = R\$2,21 \end{aligned}$$

Dessa forma, a economia direta por unidade produzida foi de R\$ 0,38, resultado da diferença entre os custos atuais e com a implementação da célula autônoma, conforme a Fórmula 7:

$$\text{Economia por unidade} = 2,59 - 2,21 = 0,38$$

A Tabela 4 apresenta de forma consolidada os principais indicadores de desempenho antes e depois da adoção da célula de montagem autônoma da caixa elétrica.

A comparação evidencia os impactos positivos projetados com a reconfiguração do arranjo produtivo, como a redução da mão de obra direta, o aumento da eficiência e a melhora no balanceamento das atividades. Esses resultados simulados reforçam o potencial da célula autônoma de montagem para otimizar o desempenho da linha, mesmo mantendo a mesma capacidade produtiva diária. A consolidação dos indicadores permite visualizar, de forma clara, os ganhos

esperados com a proposta, sustentando sua viabilidade como alternativa estratégica para aprimoramento operacional.

Tabela 4 – Comparativo dos *KPIs*: *Layout* atual x *Layout* com célula autônoma da caixa elétrica

Indicador	Layout Atual	Layout com Célula Autônoma
Produção diária (unidades)	1.420	1.420
Jornada de trabalho (horas)	8,8	8,8
Mão de obra direta (MOD)	27 operadores	23 operadores
Tempo padrão por unidade (horas)	0,1611	0,1611
Tempo padrão total (horas)	228,76	228,76
Tempo disponível total (horas)	237,6	202,4
Eficiência da mão de obra (MO)	0,96	1,13
Produtividade por operador (UPPH)	5,97	7,00
Produção mensal estimada (22 dias)	31.240 unidades	31.240 unidades
Custo mensal total da MOD (R\$)	81.000,00	69.000,00
Custo da MOD por unidade (R\$)	2,59	2,21
Economia por unidade produzida (R\$)	—	0,38

Fonte: Dados da pesquisa (2025).

A análise demonstra claramente os benefícios operacionais e econômicos proporcionados pela adoção da célula de montagem autônoma da caixa elétrica. A redução de quatro operadores resultou não apenas na diminuição dos custos operacionais, mas também em um aumento significativo da produtividade por operador, que passará de 5,97 para 7,00 unidades por hora, e da eficiência operacional, que evoluirá de 0,96 para 1,13.

Adicionalmente, o custo da MOD por unidade produzida sofreu uma redução de aproximadamente 14,67%, passando de R\$2,59 para R\$2,21, gerando uma economia direta de R\$0,38 por unidade. Esses resultados reforçam que a reorganização do processo produtivo, por meio da adoção da célula autônoma integrada, proporciona ganhos expressivos não apenas em termos de custos, mas também na estabilidade operacional, na redução de perdas e no melhor aproveitamento dos recursos.

O novo arranjo produtivo está alinhado aos princípios da manufatura enxuta, como proposto por Corrêa e Corrêa (2012), Slack, Brandon-Jones e Johnston (2018) e Tubino (2017), promovendo a eliminação de desperdícios, melhoria no balanceamento da linha e aumento da flexibilidade operacional. Além disso, atende

aos conceitos da Indústria 4.0, que envolvem automação, digitalização e aumento da eficiência produtiva.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho teve como objetivo propor uma reestruturação no arranjo produtivo da linha de montagem da unidade evaporadora, por meio da adoção de uma célula de produção autônoma voltada especificamente para a montagem da caixa elétrica. A proposta foi fundamentada nos princípios da manufatura enxuta e alinhada aos conceitos da Indústria 4.0, visando eliminar desperdícios, melhorar o balanceamento das atividades, aumentar a produtividade e reduzir os custos operacionais.

A análise dos dados demonstrou que a implementação da célula autônoma resultou em ganhos expressivos em termos de eficiência, produtividade e redução de custos. A mão de obra direta será reduzida de 27 para 23 operadores, sem impacto na capacidade produtiva, mantendo a meta diária de 1.420 unidades. Esse resultado reflete diretamente a efetividade da célula autônoma em absorver atividades que antes eram dispersas ao longo da linha, otimizando o fluxo de trabalho e reduzindo movimentações desnecessárias.

O indicador de produtividade por operador (UPPH) apresentará um aumento relevante, passando de 5,97 para 7,00 unidades por operador/hora, o que representa um incremento de aproximadamente 17,24%. A eficiência da mão de obra também aumentará de 0,96 para 1,13, indicando que a linha passará a operar acima do tempo padrão necessário, com melhor aproveitamento dos recursos humanos e redução das ociosidades.

Além dos ganhos operacionais, o estudo revelou uma redução significativa no custo da MOD por unidade produzida, que passou de R\$ 2,59 para R\$ 2,21, gerando uma economia direta de R\$0,38 por unidade. Este resultado impacta diretamente na competitividade do processo produtivo, contribuindo para a sustentabilidade financeira e operacional da empresa.

De forma geral, a adoção da célula de produção autônoma não apenas atenderá aos objetivos estabelecidos, como também reforçará a importância de se aplicar metodologias de melhoria contínua no ambiente industrial. A proposta contribuirá para um processo mais organizado, enxuto, estável e flexível, adequado

tanto para atender às demandas atuais quanto para suportar futuros aumentos de volume ou alterações no mix de produtos.

Por fim, ressalta-se que, embora este estudo tenha se concentrado na célula da caixa elétrica, os resultados obtidos indicam que a metodologia pode ser expandida para outras áreas da produção, servindo como base para futuras reestruturações ou avanços na direção da transformação digital e automação industrial, elementos centrais da Indústria 4.0.

REFERÊNCIAS

ANTUNES, J. A. V. et al. **Gestão da produção**: princípios e práticas para melhoria contínua. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2020.

BITITCI, U. S. et al. Performance measurement: challenges for tomorrow. *International Journal of Management Reviews*, v. 14, n. 3, p. 305-327, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1468-2370.2011.00318.x>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1468-2370.2011.00318.x>. Acesso em: 15 abr. 2025.

CARVALHO, P. S.; SCHNEIDER, V. A.; PARREIRA, L.; CHAPOVAL NETO, A. Proposta de implantação de uma célula de manufatura: um estudo de caso em uma metalúrgica. *GEPROS. Gestão da Produção, Operações e Sistemas*, v. 14, n. 4, p. 114-133, 2019. DOI: <https://doi.org/10.15675/gepros.v14i4.2302>. Disponível em: <https://revistas.unoeste.br/index.php/gepros/article/view/2302>. Acesso em: 20 abr. 2025.

CHIAVENATO, I. **Gestão de pessoas**: o novo papel dos recursos humanos nas organizações. 4. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2014.

CORRÊA, H. L.; CORRÊA, C. A. **Administração de produção e operações**: manufatura e serviços. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2012.

CORRÊA, H. L.; GIANESI, I. G. N. **Just in time, MRP II e OPT**: um enfoque estratégico. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2016.

CREA-AM – Conselho Regional de Engenharia e Agronomia do Amazonas. **Os desafios do Polo Industrial de Manaus**. 2023. Disponível em: https://crea-am.org.br/creaam_site/os-desafios-do-polo-industrial-de-manaus-32039/. Acesso em: 27 maio 2025.

DANTAS, D. H. da S.; JUSTA, M. A. O. da; LAGO NETO, J. C. do; COELHO, M. I. B. de A. Redução de desperdícios em processos produtivos: o caso da digitalização das instruções de trabalho numa indústria do Polo Industrial de Manaus. *Revista Produção Online*, v. 23, n. 2, e4851, 2023. DOI: <https://doi.org/10.14488/1676-1901.v23i2.4851>. Disponível em: <https://www.producaoonline.org.br/rpo/article/view/4851>. Acesso em: 20 abr. 2025.

DOMENEK, A. C.; MOORI, R. G.; VITORINO FILHO, V. A. The mediating effect of operational capabilities on the relationship between collaborative supply chain management and operational performance. *Revista de Gestão*, v. 29, n. 4, p. 350-363, 2022. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/rege/article/download/205362/188904/593431>. Acesso em: 10 abr. 2025.

- GAITHER, N.; FRAZIER, G. **Administração da produção e operações**. 8. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2001.
- KAPLAN, R. S.; NORTON, D. P. **A estratégia em ação: balanced scorecard**. 17. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 1997.
- KENNERLEY, M.; NEELY, A. A framework of the factors affecting the evolution of performance measurement systems. *International Journal of Operations & Production Management*, v. 22, n. 11, p. 1222-1245, 2002. DOI: <https://doi.org/10.1108/01443570210450293>. Disponível em: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/01443570210450293/full/html>. Acesso em: 12 abr. 2025.
- LIKER, J. K. **O modelo Toyota: 14 princípios de gestão do maior fabricante do mundo**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.
- MARR, B. **Key performance indicators (KPI): the 75 measures every manager needs to know**. London: Pearson, 2012.
- MARTINS, P. G.; LAUGENI, F. P. **Administração da produção**. 3. ed. São Paulo: Saraiva, 2015.
- MOURA, R. A. **Kanban: a simplicidade no controle da produção**. São Paulo: IMAN, 1989.
- OHNO, T. **O sistema Toyota de produção: além da produção em larga escala**. 13. ed. Porto Alegre: Bookman, 1997.
- PARMENTER, D. **Key performance indicators: developing, implementing, and using winning KPIs**. 2. ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2010.
- ROTHER, M.; SHOOK, J. **Aprendendo a enxergar: mapeando o fluxo de valor para agregar valor e eliminar o desperdício**. 1. ed. São Paulo: Lean Institute Brasil, 2003.
- SHINGO, S. **O sistema Toyota de produção do ponto de vista da engenharia de produção**. 1. ed. Porto Alegre: Bookman, 1996.
- SILVA, B. M. S. R. da et al. Analysis of Lean Six Sigma use in pharmaceutical production in Brazil. *Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences*, v. 59, e22949, 2023. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/bjps/article/view/227764>. Acesso em: 20 abr. 2025.
- SLACK, N.; BRANDON-JONES, A.; JOHNSTON, R. **Administração da produção**. 8. ed. São Paulo: Atlas, 2018.
- SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Administração da produção**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2008.
- SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Administração da produção**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2015.

TUBINO, D. F. **Planejamento e controle da produção: teoria e prática**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2017.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T.; ROOS, D. **A máquina que mudou o mundo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2004.