

TRANSFORMANDO A PRODUÇÃO DE POLÍMEROS: MAXIMIZANDO EFICIÊNCIA E MINIMIZANDO DESPERDÍCIOS COM A ABORDAGEM *LEAN MANUFACTURING* (MANUFATURA ENXUTA)

SOUZA, Fábio, Antônio Alves Batista de¹

FERNANDES, Ederson Carvalhar²

MANGINI, Lígia Fernanda Kaefer³

RESUMO

Neste estudo de caso, uma multinacional do setor químico de São Paulo enfrenta o desafio de atender o acréscimo na demanda de um cliente por um polímero essencial para seu processo, estando com sua capacidade de produção atual no limite máximo. Diante deste contexto, o objetivo principal deste estudo é elevar a capacidade produtiva da empresa, sem comprometer a qualidade ou aumentar custos, aplicando os princípios do *Lean Manufacturing*. A pesquisa justifica-se pela necessidade de melhorar a eficiência do processo e operacional em um mercado altamente competitivo. O estudo introduz o *Lean Manufacturing* como uma abordagem necessária para eliminar desperdícios e criar valor para os clientes, usando ferramentas e conceitos como DMAIC, diagrama de Ishikawa e os 5 porquês. Os resultados incluem melhorias no sequenciamento de produção, padronização das férias, otimização do fluxo de materiais e melhorias em processos e equipamentos. Isso resultou em um aumento notável na produtividade do Misturador 4, passando de 146 kg/h para mais de 176 kg/h, e na disponibilidade do equipamento, de 64% para 89%. Em resumo, este estudo destaca a importância contínua da aplicação do *Lean Manufacturing* para enfrentar desafios de produção e eficiência operacional, oferecendo lições valiosas aplicáveis a outras organizações que buscam aumentar a produtividade e melhorar a eficiência em ambientes empresariais dinâmicos.

Palavras-chave: *Lean Manufacturing*, Capacidade de produção, aumentar a produtividade.

1 INTRODUÇÃO

No mundo dos negócios, manter-se competitivo implica não apenas em garantir vendas e crescimento, mas também em satisfazer clientes cada vez mais exigentes quanto à qualidade e ao custo. Nesse contexto, surgem programas e filosofias de gestão, como o *Lean Manufacturing* ou Manufatura Enxuta, que buscam aprimorar processos e entregar valor de maneira eficiente (FEITOR, 2008).

Uma multinacional de grande porte do setor químico industrial, situada no

¹ Tecnólogo em Gestão de Produção Industrial pelo Centro Universitário Internacional UNINTER, e aluno do Curso de Engenharia de produção Industrial pelo Centro Universitário Internacional UNINTER.

² Doutor e Mestre em Engenharia Mecânica pela UTFPR, Engenheiro Mecânico pela UniOpet, Tecnólogo em Gestão da Manufatura pela UTFPR, e Professor Tutor no Centro Universitário Internacional UNINTER.

³ Doutora e Mestre em Engenharia e Ciência dos Materiais pela UFPR. Engenheira Química pela UFPR. Professora orientadora da UNINTER.

interior de São Paulo, encontra-se diante de um desafio inesperado. A demanda por um polímero essencial para um cliente multinacional em Ribeirão Preto aumenta de forma rápida e a empresa depara-se com a incapacidade de produção para atender a essa demanda. A solução para essa situação torna-se crucial para manter a parceria com o cliente e evitar que oportunidades se abram para os concorrentes.

O referido polímero é exclusivamente fabricado no misturador 4, o mais recente e avançado da fábrica, com características de processo que asseguram sua qualidade. No entanto, a capacidade atual de produção não é suficiente para suprir a nova demanda, surgindo, assim, a questão da pesquisa: como elevar a produtividade desse polímero no misturador 4, sem comprometer a qualidade do produto e a necessidade de investimentos em novos recursos?

Nesse cenário, a aplicação das técnicas do *Lean Manufacturing* assume importância fundamental. Quaisquer alterações nos tempos de ciclo de formação do produto não podem ser realizadas por afetar qualidade do polímero. Outro ponto crucial está nos custos produto que não pode sofrer alterações. Conseqüentemente, torna-se necessário explorar as práticas e filosofias do *Lean Manufacturing*, a fim de identificar oportunidades de aprimoramento e alcançar um aumento de produtividade eficaz e sustentável.

O objetivo deste estudo de caso é aumentar a produção do polímero no misturador 4 atendendo à nova demanda.

Os objetivos específicos são:

- (i) Aplicar as técnicas do *Lean Manufacturing* para identificar os desperdícios do processo e equipamento.
- (ii) Elaborar estratégias e ações de baixo investimento e grande impacto.
- (iii) Aplicar as ações para atender à nova demanda sem prejudicar a qualidade e o custo do produto.
- (iv) Padronizar e manter o novo modelo.

A solução desse desafio não apenas assegura a continuidade dos negócios da empresa como fornecedora desse cliente de grande porte, mas também contribui para a manutenção de sua posição competitiva no mercado. Além disso, essa pesquisa fornecerá informações valiosas para outras empresas que enfrentam desafios semelhantes e podem utilizar as técnicas do *Lean Manufacturing* para conquistar melhorias significativas na produtividade.

2 CONCEITO *LEAN MANUFACTURING* E FERRAMENTAS

Neste capítulo será abordado todo o conceito teórico de acordo com seus idealizadores e que será aplicado no decorrer do estudo, sendo imprescindível a absorção do conteúdo para aproximar o leitor dos procedimentos, técnicas e ferramentas utilizadas durante o processo.

2.1 *LEAN MANUFACTURING* – HISTÓRICO E CONCEITO

Segundo as análises de Womack e Jones (2003), o conceito do *Lean Manufacturing* emergiu como uma abordagem de gestão derivada das práticas implementadas pela Toyota, uma fabricante automobilística japonesa, durante as décadas de 1950 e 1960. O contexto que impulsionou o desenvolvimento do *Lean Manufacturing* foi a série de desafios que a Toyota enfrentava nesse período, englobando limitações de recursos, flutuações na demanda, inconsistências na qualidade e prolongados tempos de produção. Conseqüentemente, a Toyota reconheceu que os métodos tradicionais de produção em larga escala não atendiam de maneira eficaz às demandas do mercado, nem possibilitavam a oferta de produtos de alta qualidade a preços competitivos.

A abordagem *Lean* apoia-se em princípios essenciais, abrangendo a identificação e eliminação dos sete principais tipos de desperdício, conforme definição por Domingues (2013):

I - Superprodução: ocorre quando a produção excede o que é demandado pelo cliente, resultando em uso excessivo de matéria-prima, ocupação de espaço, mão de obra e recursos para armazenamento e transporte.

II - Estoques: representam materiais ou produtos em quantidade superior à necessária para produção e venda, resultando em consumo excessivo de recursos de espaço, mão de obra e transporte.

III - Transporte: excesso de movimentação, frequentemente resultado de planejamento inadequado do layout, má distribuição e organização de armazenamento, levando a transporte excessivo de materiais, demandando tempo e mão de obra.

IV - Defeitos e correções: decorrem de erros ou falhas em produtos, levando a

rejeições, retrabalho e aumentando o tempo de produção. São oriundos de problemas internos de qualidade e podem gerar paradas na produção.

V - Espera: surge quando recursos essenciais, como materiais, pessoas, equipamentos ou informações, não estão disponíveis para a continuação do processo, resultando de falta de materiais, mão de obra, interrupções ou gargalos.

VI - Movimentos: resultam da falta de padronização ou organização do trabalho, má disposição de equipamentos e máquinas, ou execução de práticas inadequadas, levando a movimentação excessiva durante a produção.

VII - Processos em excesso: derivam da execução desnecessária de operações no processo, decorrente de interpretação errada das instruções ou mal entendimento das necessidades do cliente. Isso consome recursos sem agregar valor ao produto.

2.2 METODOLOGIA DMAIC

A metodologia DMAIC, que abrange os estágios de Definir, Medir, Analisar, Melhorar e Controlar, é um elemento central da abordagem. O objetivo dessa estratégia é aprimorar processos com foco na redução de defeitos, aumento da qualidade e eficiência, embora possa apresentar variações entre diferentes fontes.

Conforme descrito por Womack e Jones (2003), cada fase do DMAIC pode ser delineada da seguinte forma:

Definir (Define): Nessa etapa, o propósito é estabelecer de maneira clara o problema a ser resolvido. Isso envolve a criação de metas específicas e a formação de uma equipe multifuncional para conduzir o projeto. Compreender as necessidades do cliente, bem como estabelecer os parâmetros do processo em análise, é fundamental.

Medir (Measure): Durante essa fase, são coletados dados para quantificar o desempenho corrente do processo. É essencial identificar as métricas-chave a serem avaliadas e estabelecer uma linha de base que represente o desempenho atual. Coleta de dados relevantes e o uso de gráficos ou outras ferramentas de análise são empregados para examinar os resultados.

Analisar (Analyze): A etapa de análise visa identificar as causas fundamentais de problemas ou variações presentes no processo. Isso comumente requer o emprego de métodos estatísticos e ferramentas como gráficos de dispersão,

histogramas, gráficos de Pareto e análise de causa-raiz. A finalidade é compreender as razões subjacentes aos problemas.

Melhorar (Improve): Nessa fase, são criadas e testadas soluções voltadas para tratar das causas-raiz identificadas. A equipe explora alternativas e implementa mudanças no processo, buscando a obtenção de melhorias. Avaliar o impacto dessas mudanças por meio de experimentos e avaliações é um componente essencial.

Controlar (Control): A fase de controle envolve a implementação de medidas destinadas a manter as melhorias alcançadas e evitar a reincidência de problemas anteriores.

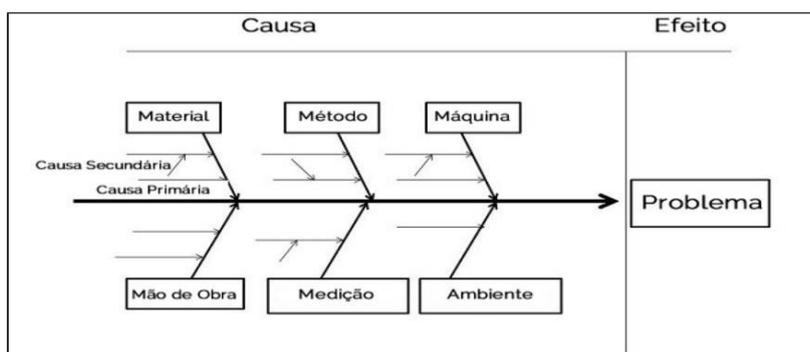
2.3 DIAGRAMA DE ISHIKAWA

Conforme assinalado por Moreira (2011), o diagrama de *Ishikawa*, também conhecido como diagrama de causa e efeito ou diagrama de espinha de peixe, é uma ferramenta gráfica útil para a identificação dos potenciais causas subjacentes a um problema, possibilitando uma análise minuciosa das variáveis envolvidas.

Conforme a figura 1, este diagrama é estruturado ao redor de um eixo horizontal que representa o problema em questão. Linhas, assemelhando-se a espinhas de peixe, se desdobram a partir desse eixo, cada uma representando uma categoria de possíveis causas, normalmente agrupadas em: Mão de obra, Máquina, Material, Método, Medição e Meio ambiente.

Nesse processo, as causas primordiais são realçadas e priorizadas para investigação na etapa subsequente, que emprega a técnica dos "5 porquês".

A aplicação do Diagrama de Ishikawa requer a colaboração de todo o time, visando a identificação e compreensão das causas do problema de maneira abrangente (MOREIRA, 2011).

Figura 1 – Diagrama de *Ishikawa*

Fonte: MOREIRA (2011, p. 88).

2.4 OS 5 PORQUÊS

Nessa ferramenta, conforme Moreira (2011), o método dos "5 Porquês" é uma técnica de análise de causa-raiz que busca identificar a causa subjacente de um problema repetindo a pergunta "Por quê?" cinco vezes. Essa técnica foi desenvolvida pela Toyota como parte do sistema de produção da empresa e é amplamente utilizada em processos de melhoria contínua e resolução de problemas.

A ideia por trás dos "5 Porquês" é ir além dos sintomas óbvios de um problema e identificar suas causas fundamentais. Para fazer isso, você começa fazendo uma pergunta sobre o problema e, em seguida, faz outra pergunta sobre a resposta anterior, repetindo esse processo até chegar à causa-raiz.

3 METODOLOGIA

A pesquisa realizada neste estudo de caso é classificada como pesquisa aplicada devido à sua natureza prática e foco na resolução de um problema específico enfrentado pela multinacional no setor químico industrial em São Paulo.

Quanto à abordagem do problema, esta pesquisa é classificada como pesquisa mista, pois envolve análises quantitativas e qualitativas. A combinação dessas análises quantitativas (como indicadores de desempenho e métricas de produção) e qualitativas (como a identificação das causas raiz por meio do Diagrama de *Ishikawa* e do método dos "5 Porquês") permite uma compreensão abrangente dos desafios enfrentados no processo de produção do polímero.

Em relação aos objetivos, a pesquisa é considerada pesquisa prescritiva, pois visa não apenas entender o problema, mas também propor soluções práticas e aplicáveis. A metodologia do *Lean Manufacturing* com o conceito DMAIC foram implementadas para oferecer soluções tangíveis ao problema da produção insuficiente de polímero.

No que diz respeito ao procedimento técnico adotado, este estudo é uma pesquisa empírica do tipo estudo de caso. A pesquisa empírica foi realizada no contexto real da fábrica, focando especificamente no Misturador 4.

Este estudo de caso adotou uma abordagem metodológica baseada nas técnicas do *Lean Manufacturing* com o conceito DMAIC para enfrentar o desafio do aumento de produção. A metodologia DMAIC (Definir, Medir, Analisar, Melhorar e Controlar) foi essencial, fornecendo uma estrutura clara e sistemática para a identificação e resolução dos problemas no processo de produção de polímero no Misturador 4. As etapas do projeto foram as seguintes:

1) Definição das Metas:

Com base na nova demanda do cliente.

~~Estabelecimento de uma nova meta de produção de 176 kg/h de polímero para atender à demanda do cliente, representando um aumento significativo em relação à produção anterior.~~

2) Medição do Processo:

Identificação dos problemas, incluindo baixa produção em relação à demanda com o levantamento e cálculo do *downtime* (*tempo de inatividade*).

3) Análise de Dados e Geração de Ações:

Utilização do Diagrama de *Ishikawa* e os “5 porquês”, para identificar, analisar e gerar ações para as causas raiz dos problemas.

4) Execução das Ações:

Implementação das ações planejadas.

5) Controle da Melhoria:

Implementação de auditorias e indicadores de performance para monitorar continuamente o estado atual do processo produtivo em relação às metas estabelecidas.

Essa estrutura e sequência de etapas fornecem um roteiro claro para conduzir a pesquisa e implementar melhorias no processo de produção de polímero, com foco no aumento de produtividade e na qualidade do produto.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

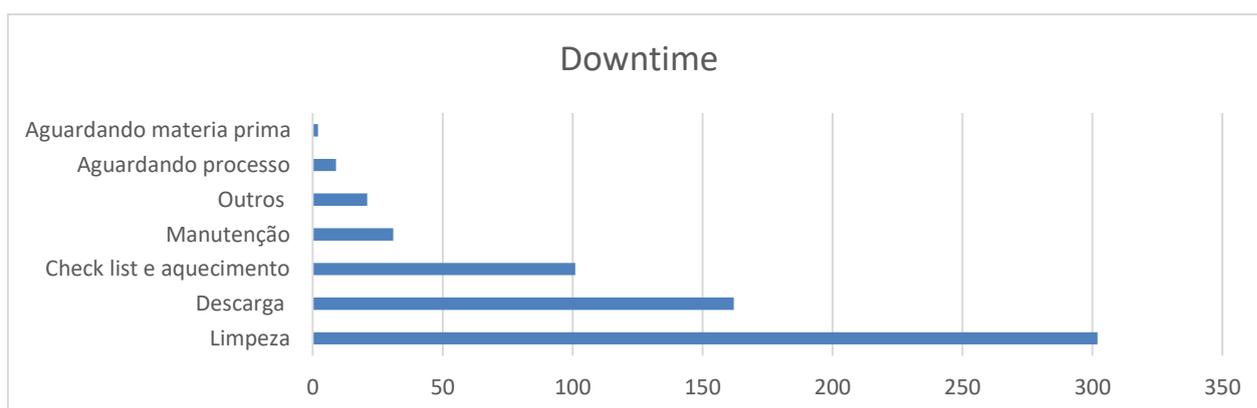
Neste capítulo, os resultados detalhados do estudo foram minuciosamente analisados, levando em consideração os dados coletados, as técnicas aplicadas e as conclusões tiradas ao longo do processo de pesquisa. A empresa, em resposta à alta demanda por um polímero específico, definiu uma nova meta de produção de 176 kg/h, um aumento significativo em relação aos 146 kg/h produzidos anteriormente. Esta decisão foi guiada pelo *feedback* (retorno de informações) atento dos clientes e uma compreensão contínua de suas necessidades em evolução.

Após a definição da meta iniciou-se a medição do processo, que foi realizada com intuito de identificar possibilidades de redução ou eliminação de desperdícios no processo, utilizando dados registrados pela equipe durante o acompanhamento.

A equipe atuou fortemente com mapeando e medição do processo *in loco* (no local), identificando as oportunidades de melhorias com a redução ou eliminação dos desperdícios. Utilizou-se de ferramentas como o *downtime* (tempo de inatividade) medidos e calculados no gráfico 1.

Os dados utilizados são referentes a médias de tempo por lote, medidos entre os meses de março e maio.

Gráfico 1 – Tempo médio do *Downtime* (tempo de inatividade) em minutos de março a maio.



Fonte: Autor (2023).

Durante a análise do processo, foram identificadas diversas áreas de desperdício, sendo que o tempo de limpeza e o tempo de descarga foram identificados como os principais ofensores. Com esta análise foi possível focar em pontos específicos do processo e levantar dados mais precisos destes desperdícios que

foram registrados no quadro 1.

Quadro 1 – Mapeamento de pontos de melhoria

Pontos do processo com necessidade de melhoria	Desperdício	Tempo (min)
Limpeza interna do equipamento	Tempo ocioso do equipamento aguardando produção.	320
Descarga	Tempo ocioso devido a elevado tempo durante a descarga do produto	160
Desbalanceamento operacional	Tempo ocioso do equipamento aguardando produção.	480
Início da produção semanal	Tempo ocioso do equipamento aguardando produção.	180
Sequenciamento de produção	Tempo ocioso do equipamento aguardando produção.	100

Fonte: Autor (2023).

Foi possível entender que há grandes oportunidades de melhorias ligadas a desperdícios em atividades não programadas, sendo possível calcular a disponibilidade do misturador 4 utilizando este tempo mensurado do *downtime* e tempos definidos para o processo descritos no quadro 2, utilizando a equação (1) de (MOREIRA, 2011, p. 102).

Quadro 2 – Disponibilidade do equipamento

Descrição	Valores
Tempo programado de produção (min)	1.920
<i>Downtime</i> (tempo de inatividade) (min)	1.080
Tempo total de produção (min)	3.000

Fonte: Autor (2023).

$$\% \text{ Disponibilidade} = \frac{\text{tempo de produção}}{(\text{tempo de produção} + \text{paradas planejadas} + \text{paradas não planejadas})} \quad (1)$$

% Disponibilidade calculada: $1920 / (3000) = 64\%$

Após, seguiu-se com a aplicação da ferramenta *Ishikawa* (espinha de peixe) com o resultado das possíveis causas definidas no quadro 3.

Quadro 3 – Causas raízes encontradas no Diagrama de *Ishikawa*.

Tipo de causa	Causa primária
Método	Dúvidas no sequenciamento de produção
	Sequência de produção inadequada aumenta a necessidade de limpeza
Mão de obra	Operador em férias
Medição	Checklist e aquecimento
Máquina	Solução de Limpeza demora a resfriar para ser descarregada
	Tubulação de descarga parcialmente entupida
	Sistema de aquecimento da tubulação de descarga ineficiente
Material	Falta de insumos na área para iniciar a produção
Meio ambiente	N/A

Fonte: Autor (2023).

Com base nas causas primárias levantadas pela equipe no quadro 3, foi aplicado a ferramenta “5 porquês”, estas causas foram analisadas gerando as ações para execução descritas no quadro 4.

Quadro 4 – Plano de ações

Ação		Prazo			Responsável
		Maio			
		1S	2S	3S	
1	Criar roda de programação com a sequência ideal para programar o equipamento				Engenheiro de produção/ Planejamento
2	Criar <i>heijunka</i> (Nivelamento), para a gestão visual dos operadores no acompanhamento da programação semanal				Facilitador
Ação		Prazo			Responsável
		Maio			
		1S	2S	3S	
3	Criar quadro <i>heijunka</i> para nivelar informações				Facilitador
4	Melhorar sistema de aquecimento para descarga				Supervisor manutenção
5	Limpar tubulação de descarga				Supervisor manutenção
6	Padronizar férias operacional				Supervisor de produção/ Gestor de produção, Engenheiro e RH
7	Criar fluxo de insumos de câmara fria				Facilitador

Fonte: Autor (2023).

A análise resultou em sete ações potenciais para o aumento da produtividade, com baixo investimento e rápida execução.

Fonte: Autor (2023).

O *heijunka* foi bem recebido pelos operadores, proporcionando uma visão clara da programação semanal e aumentando a autonomia no processo. Esta padronização teve um impacto significativo, reduzindo o tempo de ociosidade em até 100 minutos por semana e elevando a disponibilidade de 76% para 79%.

Seguindo com as ações, foram realizadas as melhorias no sistema de aquecimento da descarga (figura 2), resultando em uma redução significativa no tempo de inatividade do Misturador 4.

Figura 2 – Sistema de aquecimento da tubulação Misturador 4



Fonte: Autor (2023).

Realizou-se uma limpeza interna da tubulação, seguida pela substituição da serpentina por uma com maior capacidade de condução. Além disso, o revestimento térmico da tubulação foi completamente removido e substituído. Essas medidas foram cruciais para otimizar o desempenho do sistema de aquecimento da descarga, e reduzir significativamente o tempo 160 minutos para 120 minutos, elevando a disponibilidade de 79% para 81%.

Com a ação da padronização das férias foram divididas em dois períodos anuais de 15 dias cada conforme a tabela 2, sendo bem recebida pelos operadores, que já almejavam esse período, assegurando um equilíbrio operacional.

Tabela 2 – Padronização de férias – balanceamento operacional

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
SEMANA 1	11							11				
SEMANA 2												
SEMANA 3												
SEMANA 4							27					28

Fonte: Autor (2023).

A padronização das férias dos operadores, solucionou o problema de ociosidade do equipamento devido à ausência dos operadores em férias. Isso não apenas eliminou o tempo de inatividade, mas também aumentou a eficiência operacional, levando a uma disponibilidade de 87%.

A próxima ação foi otimização do fluxo de materiais, com a implementação de um novo processo de logística conforme definido na figura 3, que reduziu drasticamente o tempo de espera por insumos.

Figura 3 – Fluxo de insumos câmara fria.



Fonte: Autor (2023).

Como resultado, o tempo ocioso semanal de 3 horas foi eliminado, aumentando a disponibilidade em 2% e alcançando uma taxa de disponibilidade de 89%.

Para finalizar e garantir a sustentabilidade dessas melhorias, a equipe estabeleceu mecanismos de controle pós-implementação, com auditorias de processo e qualidade realizadas regularmente para detectar, prevenir e eliminar não-conformidades, enquanto indicadores de performance conforme a figura 4, foram implementados para avaliar o estado atual do processo produtivo em relação às metas estabelecidas, assegurando a consistência e eficácia das operações.

Figura 4 – Gráfico de Performance



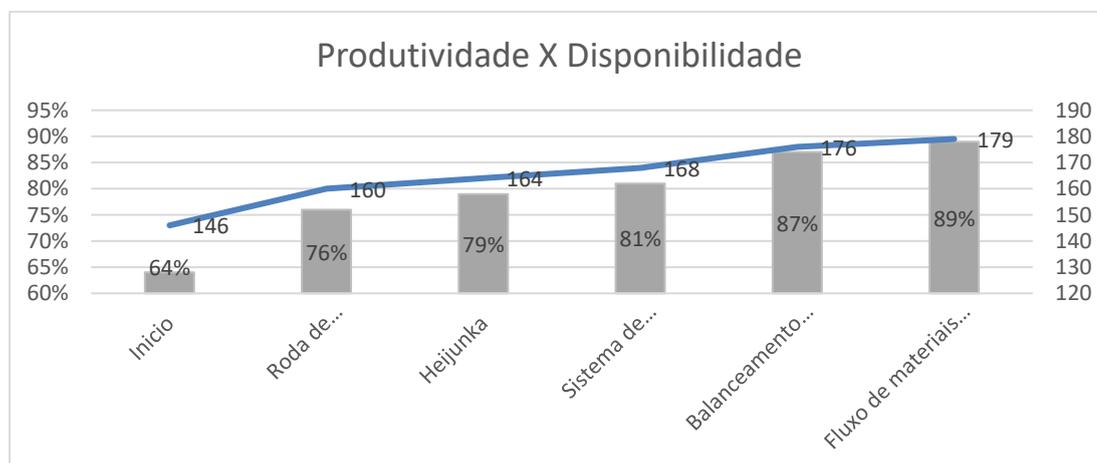
Fonte: Autoria própria

4.2 RESULTADO FINAL

O caminho necessário a percorrer para alcançar o objetivo principal em aumentar a produtividade do misturador 4 de 146 kg/h para 176 Kg/h de polímero foi alcançado com o trabalho realizado no aumento da disponibilidade do equipamento. No início deste estudo a disponibilidade estava em 64% e foi evoluindo gradualmente e elevando a produtividade conforme as etapas planejadas foram executadas.

O gráfico 2 mostra a o aumento da produtividade em relação ao aumento da disponibilidade do equipamento.

Gráfico 2 – Produtividade X Disponibilidade



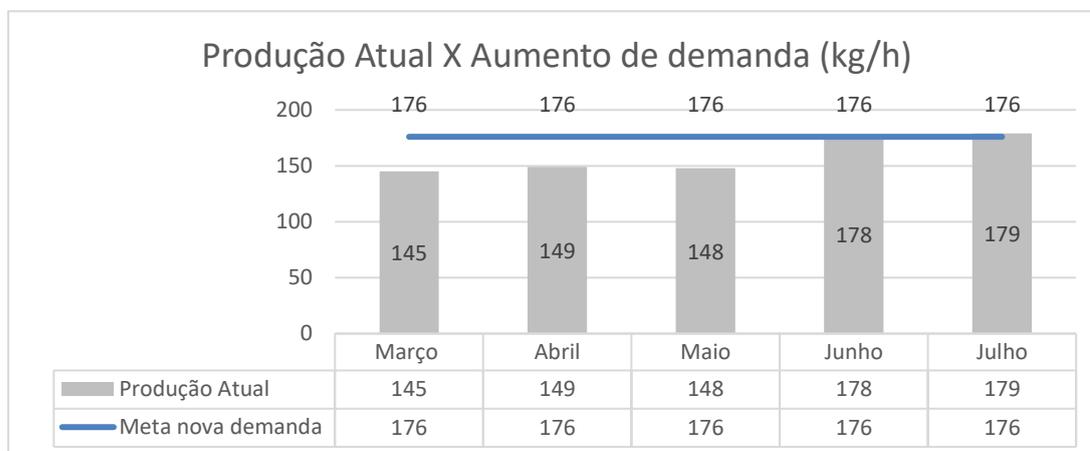
Fonte: Autor (2023).

Ao finalizar o projeto foi alcançado um impressionante índice de 89% de disponibilidade. Esse aumento substancial na disponibilidade tem um impacto direto no aumento da produtividade. Sendo o maior responsável por alcançar o objetivo principal no aumento da produtividade.

Os valores antes do início do projeto (março, abril e maio), e o resultado alcançado com o aumento da produtividade após o projeto nos meses de junho e julho

estão apresentados no Gráfico 3.

Gráfico 3 – Produção x Demanda após finalização do projeto



Fonte: Autor (2023).

Esses resultados destacam o impacto significativo das ações implementadas, e como elas contribuíram para o crescimento e eficiência com o atingimento das metas estabelecidas.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nesta etapa final da pesquisa, são apresentados as conclusões e os resultados do estudo conduzido para superar o desafio enfrentado por uma multinacional no setor químico industrial em São Paulo. O objetivo primordial deste trabalho é abordar a demanda crescente por um polímero essencial, necessitando aumentar a produtividade de 146 kg/h para 176 kg/h, superando as limitações no Misturador 4.

Analisando os resultados obtidos, é evidente que o objetivo geral está sendo alcançado com sucesso. A produção do polímero foi elevada para mais de 176 kg/h, atendendo à nova demanda do cliente. Este aumento substancial na produção foi alcançado sem comprometer a qualidade do produto ou aumentar os custos, representando um avanço significativo em relação à produção anterior de 146 kg/h.

Os resultados deste estudo enfatizam o êxito na aplicação da metodologia *Lean Manufacturing* e do conceito DMAIC na melhoria contínua dos processos industriais. A implementação das ações de melhorias, como a otimização da sequência de produção, o nivelamento da produção, melhorias no sistema de aquecimento da

descarga, a padronização das férias dos operadores e a otimização do fluxo de materiais da câmara fria, levou a um aumento notável na disponibilidade do Misturador 4, elevando-a de 64% para 89%, tornando o equipamento mais produtivo. Esse aumento não apenas cumpriu a nova demanda, mas também resultou em um aumento anual de receita de aproximadamente R\$ 250.000,00 para a empresa.

A relevância prática e teórica dessas conclusões é inegável. Na esfera prática, as descobertas oferecem informações valiosas para outras organizações industriais que enfrentam desafios semelhantes. As estratégias implementadas podem ser aplicadas de forma concreta, melhorando a eficiência dos processos produtivos de diversas empresas. Do ponto de vista teórico, este estudo avança o entendimento na área da gestão industrial, demonstrando como a integração do *Lean Manufacturing* com o conceito DMAIC pode resultar em melhorias substanciais na produtividade, mantendo inalterada a qualidade dos produtos.

É crucial reconhecer que, embora os objetivos tenham sido alcançados, nenhum estudo está livre de limitações. Durante a pesquisa, enfrentamos desafios, como limitações de recursos e restrições temporais, que influenciaram os resultados. Contudo, estas limitações também proporcionaram valiosas lições. A importância do comprometimento contínuo dos envolvidos e da adaptação flexível das estratégias à medida que a pesquisa avançava tornou-se evidente.

Considerando as limitações identificadas, recomenda-se que pesquisas futuras explorem a adaptação dessas estratégias em diferentes contextos industriais. Além disso, investigar a integração de tecnologias emergentes, como a inteligência artificial e a Internet das Coisas, com as técnicas do *Lean Manufacturing*, podem oferecer resoluções inovadoras para a melhoria dos processos industriais, proporcionando um campo vasto e promissor para futuras investigações nesta área.

REFERÊNCIAS

DOMINGUES, João Pedro Diogo. **Aplicação de ferramentas lean e seis sigma numa indústria de sistemas de fixação**. 2013. 183 f. Dissertação (Mestrado em Ciências de Engenharia e Gestão Industrial) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2013.

FEITOR, C. D. C. **Aplicação da metodologia seis sigma em uma empresa de médio porte do setor têxtil**. 2008. 172 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte,

Natal, 2008.

MOREIRA, Sónia Patrícia da Silva. **Aplicação das ferramentas Lean: caso de estudo.** 2011. 113 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Lisboa, 2011.

WOMACK, James P. JONES, Daniel T. **Lean thinking: banish waste and create wealth in your corporation.** Nova York: Free Press, A Division of Simon & Schuster, Inc, 2003. 396 p.