

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

MARIA EDUARDA NASCIMENTO SOUZA

A METODOLOGIA DMAIC COMO RECURSO PARA O AUMENTO DA
CAPACIDADE PRODUTIVA EM PRENSAS INDUSTRIAIS

MANAUS
2026

MARIA EDUARDA NASCIMENTO SOUZA

**A METODOLOGIA DMAIC COMO RECURSO PARA O AUMENTO DA
CAPACIDADE PRODUTIVA EM PRENSAS INDUSTRIAIS**

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.

Orientador: Prof. Dr. Francisco Assis
Barros de Oliveira.

MANAUS
2026

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.

S719m	Souza, Maria Eduarda Nascimento A METODOLOGIA DMAIC COMO RECURSO PARA O AUMENTO DA CAPACIDADE PRODUTIVA EM PRENSAS INDUSTRIAIS / Maria Eduarda Nascimento Souza. Manaus : [s.n], 2026. 51 f.: color.; 21.0 cm. TCC - Graduação em Engenharia de Produção- Universidade do Estado do Amazonas, Manaus, 2026. Inclui Apêndice. Orientador: Oliveira, Francisco Assis Barros. 1. Vulcanização. 2. Prensas industriais. 3. Lean Manufacturing. 4. DMAIC. I. Oliveira, Francisco Assis Barros (Orient.) II. Universidade do Estado do Amazonas. III. Título CDU(1997)658.5
-------	---

MARIA EDUARDA NASCIMENTO SOUZA

**A METODOLOGIA DMAIC COMO RECURSO PARA AUMENTO DA
CAPACIDADE PRODUTIVA EM PRENSAS INDUSTRIAIS**

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

Data de aprovação: Manaus (AM), 23 de junho de 2026.

Banca examinadora:



Prof. Dr. Francisco Assis Barros de Oliveira
Universidade do Estado do Amazonas



Profa. Dra. Nadja Polyana Felizola Cabete
Universidade do Estado do Amazonas



Prof. Dr. Antônio Geral Harb
Universidade do Estado do Amazonas

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho ao meu avô Fernando que queria eu me tornasse doutora.

Espero que este passo seja visto por ele, lá de cima, com muito orgulho.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus que me deu força durante esses anos. Agradeço a minha família que me ensinou o valor do estudo como ferramenta de transformação, e me deu suporte para continuar mesmo diante das dificuldades da graduação. Agradeço especialmente à minha mãe, que acreditou no meu potencial e me matriculou nas aulas de francês, hoje eu colho os bons frutos.

Agradeço também aos meus professores, pela paciência e generosidade em compartilhar seus conhecimentos. Em especial, à professora Renata Onety, que me orientou no programa BRAFITEC; ao professor Francisco Assis, meu orientador de TCC; e à professora Rejane, que me incentivou a concluir da melhor forma possível o curso de Engenharia de Produção.

Agradeço à Universidade do Estado do Amazonas, instituição que me acolheu e me proporcionou inúmeras oportunidades de crescimento profissional e pessoal.

Quero agradecer também ao ISIMA, instituição onde estudei durante um ano durante meu período de intercâmbio que me proporcionou bagagem acadêmica, resiliência e um olhar mais crítico sobre minha formação e sobre o mundo.

Por fim, agradeço e aos meus colegas de trabalho e de curso, que contribuíram para meu desenvolvimento técnico dentro da Engenharia de Produção, orientando-me durante o projeto. Agradeço principalmente pelas críticas construtivas, que me ajudaram a evoluir, e pela paciência que tornou possível meu crescimento profissional e pessoal.

RESUMO

A projeção de crescimento da demanda impõe às indústrias pneumáticas o desafio de ampliar sua capacidade produtiva para atender às necessidades dos clientes sem a necessidade de investimentos significativos em novos equipamentos. Nesse contexto, o presente trabalho teve como objetivo aplicar a metodologia DMAIC para aumentar a capacidade produtiva das prensas de vulcanização em uma empresa fabricante de pneus para motocicletas localizada no Polo Industrial de Manaus (PIM). O processo de vulcanização foi identificado como o gargalo da linha de produção, uma vez que seu elevado tempo de ciclo limitava o volume final de pneus produzidos. A pesquisa caracteriza-se como aplicada, de abordagem predominantemente quantitativa, com caráter exploratório-descritivo. A coleta de dados foi realizada por meio de cronoanálises, observação sistemática do processo e análise de indicadores produtivos. As ferramentas ciclo-máquina, benchmarking e diagrama de Spaghetti foram utilizadas para identificar as causas-raízes das ineficiências do processo. Com base nos resultados obtidos, foram propostas e implementadas melhorias nas operações das prensas, acompanhadas de um plano de controle para garantir a sustentabilidade dos ganhos alcançados. As ações implementadas reduziram o tempo de cinemática de 1,48 para 1,17 minuto, resultando em um ganho de capacidade de aproximadamente 326 pneus por dia em todo o parque fabril, superando a meta inicial de 313 pneus por dia. Os resultados demonstram que a aplicação sistemática da metodologia DMAIC, aliada às ferramentas do Lean Manufacturing, constitui uma abordagem eficaz para a eliminação de desperdícios e aumento da capacidade produtiva sem ampliação do parque fabril.

Palavras-chave: Vulcanização; Prensas industriais ;*Lean Manufacturing*; DMAIC.

ABSTRACT

The projected growth in demand presents tire industries with the challenge of expanding their production capacity to meet customer needs without requiring significant investments in new equipment. In this context, this study aimed to apply the DMAIC methodology to increase the production capacity of vulcanizing presses in a motorcycle tire manufacturing company located in the Manaus Industrial Park (PIM). The vulcanization process was identified as the bottleneck in the production line, as its long cycle time limited the final volume of tires produced. The research is characterized as applied, with a predominantly quantitative approach, exploratory-descriptive character. Data collection was carried out through time studies, systematic process observation, and analysis of production indicators. The machine cycle, benchmarking, and Spaghetti diagram tools were used to identify the root causes of process inefficiencies. Based on the results obtained, improvements in press operations were proposed and implemented, accompanied by a control plan to ensure the sustainability of the gains achieved. The implemented actions reduced the kinematic time from 1.48 to 1.17 minutes, resulting in a capacity gain of approximately 326 tires per day across the entire factory, exceeding the initial target of 313 tires per day. The results demonstrate that the systematic application of the DMAIC methodology, combined with Lean Manufacturing tools, constitutes an effective approach for eliminating waste and increasing production capacity without expanding the factory.

Keywords: *Vulcanization. Industrial presses. Lean Manufacturing, DMAIC.*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1– Etapas macro do processo macro de produção de pneus de moto.....	16
Figura 2 - Carcaça de pneu antes e depois da etapa passagem na prensa de vulcanização	17
.Figura 3 - Prensa de vulcanização de pneus.....	17
Figura 4 – Fluxograma das fases do DMAIC com as ferramentas utilizadas no estudo	22
Figura 5 – Gráfico de demanda prevista para os próximos anos na usina em pneus por dia.....	25
Figura 6 - SIPOC prensas.....	29
Figura 7 - Tela de comando de cada elemento de máquina da prensa	33
Figura 8 - Diagrama de Gantt Antes do projeto em cmin.....	33
Figura 9 - Gantt proposto no projeto em cmin	33
Figura 10 – Gráfico comparativo dos tempos por elemento com uma Fábrica do grupo.....	34
Figura 11 - Análise de deslocamento do operador antes do projeto.....	35
Figura 12 - Proposta de mudança	36
Figura 13- Representação da mesa de apoio do Spaghetti.....	37
Figura 14 Tempo de ciclo antes e depois do estudo	42
Figura 15 - Gráfico de ganho de capacidade por dia de cada X's oportunidades implementadas	43

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Sobre os elementos do tempo de cinemática da prensa	18
Quadro 2 - Fases da metodologia DMAIC e sua definição	22
Quadro 3 - <i>Workcharter</i> do projeto	27
Quadro 4 - Matriz de oportunidades do estudo.....	39
Quadro 5 - Plano de controle pós implementação das ações do estudo	40

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	TEMA	14
1.2	PROBLEMA DE PESQUISA	14
1.3	OBJETIVOS	14
1.3.1	Objetivo geral	14
1.3.2	Objetivos específicos	14
1.4	USO DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL (IA) E CONSIDERAÇÕES ÉTICAS ...	15
1.5	ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO	15
2	REFERENCIAL TEÓRICO	16
2.1	PRODUÇÃO DE PNEUS DE MOTO	16
2.1.1	Capacidade produtiva	19
2.1.2	Cálculo da capacidade produtiva	19
2.1.3	Taxa de rendimento sintético – TRSp	20
2.1.4	Produção enxuta - <i>Lean manufacturing</i>	20
2.1.5	Metodologia DMAIC	21
3	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	23
3.1	CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA	23
3.2	ETAPAS DO ESTUDO	24
4	CONTEXTUALIZAÇÃO DO CASO ESTUDADO	25
4.1	DESCRIÇÃO DO PROCESSO	25
4.2	FASE DEFINIÇÃO DO PROJETO	26
4.2.1	Workcharter	26
4.2.2	SIPOC	28
4.3	FASE MEDIR	29
4.3.1	Cronoanálise	29
4.4	FASE ANALISAR	32
4.4.1	Ciclo máquina	32
4.4.2	<i>Benchmark</i>	34

4.4.3	Análise <i>Spaghetti</i>	35
4.5	FASE IMPLEMENTAÇÃO	37
4.6	FASE CONTROLE	39
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	41
6	CONCLUSÃO e RECOMENDAÇÕES FINAIS	45
6.1	LIMITAÇÃO DO ESTUDO.....	46
6.2	TRABALHOS FUTUROS	46

1 INTRODUÇÃO

O preço mais acessível e a agilidade no deslocamento são o porquê de as motocicletas serem a opção cada vez mais procurada pela população brasileira. Essa tendência é refletida no contínuo crescimento do setor de produção de motocicletas. Diante desse cenário, as indústrias pneumáticas têm o desafio de lidar com a crescente demanda do setor sem aumentar os custos do produto.

Nesse contexto, a diminuição de desperdícios no processo de vulcanização de pneus surge como uma alavanca eficaz para o aumento da entrega de pneus sem a necessidade de investimento em novos equipamentos. Isso se dá pois o processo de vulcanização é o gargalo da produção de pneus, ou seja, a etapa cujo tempo de ciclo é superior as demais fases do processo produtivo, limitando a entrega de pneus. Conforme a teoria das restrições, de qualquer ganho de capacidade obtido em uma etapa que não seja o gargalo não se traduz em um aumento real de produção.

Nesse sentido, um dos maiores desafios para aumento produtivo dentro do setor pneumático é o alto tempo de ciclo do processo de vulcanização. Para apoiar o aumento de capacidade foi usada a metodologia DMAIC (Definir, Medir, Analisar, Implementar, Controlar) que fornece uma estrutura sistemática para redução de desperdícios e aumento da produtividade. A escolha de metodologia estudada foi feita pois a empresa utiliza o DMAIC para o desenvolvimento de projetos de melhoria contínua.

O estudo foi realizado em uma empresa do setor de fabricação de pneus localizada na cidade de Manaus, estado do Amazonas, durante o ano de 2026. A pesquisa aborda a aplicação prática da metodologia DMAIC, ferramenta pertencente ao Lean Six Sigma, com o objetivo de aumentar a capacidade produtiva das prensas utilizadas no processo de vulcanização de pneus. O estudo aborda a utilização da metodologia DMAIC com o objetivo de identificar os desperdícios no processo e reduzir o tempo de ciclo padrão, aumentando assim a capacidade produtiva da planta.

O caso estudado envolveu a análise de tempos de ciclo, identificação de gargalos e proposição de melhorias nas etapas de operação das prensas a fim de reduzir o tempo de ciclo da prensa, possibilitando o aumento da produtividade. Isso é realizado a partir da aplicação estruturada das etapas Definição, Mensuração, Análise, Implementação e Controle.

1.1 TEMA

Aumento de capacidade em prensas industriais por meio da metodologia DMAIC.

1.2 PROBLEMA DE PESQUISA

O Polo Industrial de Manaus (PIM) concentra praticamente toda a produção nacional de motocicletas, sendo um dos principais polos industriais do setor no Brasil. O aumento de demanda em 11,5%, no consumo com relação ao ano anterior, segundo a Abraciclo (2025), impacta diretamente na cadeia de produção de pneus de moto que deve refletir esse aumento. Na produção de pneus de moto do estudo de caso, o processo de vulcanização é o processo gargalo, ou seja, limita a entrega final de pneus para o cliente. Logo é um processo chave relacionado com o desempenho geral da fábrica. Dessa forma, é necessário reduzir ao máximo as perdas nessa etapa, deixando o processo produtivo o mais eficiente possível. O presente estudo propõe a redução dos desperdícios de tempo de ciclo nessa etapa, gerando o atendimento à demanda do cliente sem precisar aumentar a quantidade de máquinas da planta.

Em vista disso, a pesquisa surge para responder a seguinte questão: Como a metodologia DMAIC poderá aumentar a capacidade em prensas industriais?

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho é avaliar a aplicação da metodologia DMAIC no aumento da capacidade de produção de pneus por meio da redução das ineficiências no tempo de ciclo em uma empresa no polo industrial de Manaus.

1.3.2 Objetivos específicos

- a. Identificar as causas raízes das ineficiências no tempo de ciclo por meio de ferramentas da metodologia DMAIC;
- b. Propor e implementar melhorias para gerar o aumento de capacidade;
- c. Avaliar o impacto das ações nos indicadores de capacidade, tempo de ciclo;

1.4 USO DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL (IA) E CONSIDERAÇÕES ÉTICAS

A revisão gramatical e ortográfica foi realizada com auxílio do ChatGPT e todas as revisões automáticas foram complementadas pela revisão humana para garantir a precisão e qualidade do texto. A ferramenta foi responsável pela criação da Figura 3, do presente estudo.

1.5 ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO

O trabalho desenvolvido está organizado maioritariamente em cinco seções. Na primeira, Introdução, é apresentado o enquadramento da pesquisa e os objetivos que serão atingidos. Posteriormente na seção 2 é apresentada a revisão bibliográfica dos estudos. Na seção 3 é apresentada metodologia. A análise do sistema produtivo no setor da indústria de pneumáticos e as suas ações de melhoria e apresentação de resultados estão apresentados na seção 4. Na seção 5, serão apresentadas as conclusões do estudo.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

A revisão bibliográfica fornece embasamento teórico, por meio de referências, abordados temas como o processo de fabricação de pneus, tempo de ciclo, Lean Manufacturing e a metodologia DMAIC. A integração desses conceitos estabelece uma base sólida para o desenvolvimento deste estudo, contribuindo para o alcance do objetivo de aumento da capacidade produtiva de pneus e fornecendo suporte conceitual para a interpretação e discussão dos resultados obtidos.

2.1 PRODUÇÃO DE PNEUS DE MOTO

A produção de pneus envolve várias etapas. Desde a mistura da matéria-prima até a inspeção final. Conforme demonstrado na Figura 1, o processo de fabricação de pneus de moto pode ser dividido em cinco grandes etapas (Gent, 2012):

1. Mistura dos compostos – Mistura dos ingredientes em misturadores internos (bambury) e refinamento em calandras ou extrusoras.
2. Preparação dos componentes – Produção da banda de rodagem, lonas e talões.
3. Assemblagem – Onde ocorre a montagem dos componentes em uma máquina específica (rodagem, lona e talões), formando o “pneu verde”.
4. Vulcanização – Cura do pneu em moldes sob pressão e temperatura, onde o enxofre reage com a borracha, conferindo resistência mecânica necessária para segurança e qualidade da performance dos pneus para o cliente.
5. Inspeção – Etapa onde ocorre a inspeção visual do pneu antes de ir para o cliente.

Figura 1 – Etapas macro do processo macro de produção de pneus de moto



Fonte: Adaptado de Gent (2012)

A etapa de vulcanização é uma etapa chave no processo, a partir dela obtém-se a resistência do pneu, elasticidade e forma final na Figura 2. Essa etapa é feita na prensa, representada na Figura 3, e deve ser bem controlada para garantir a qualidade do pneu. Neste estudo, o processo de vulcanização é o gargalo da fabricação. Segundo Goldratt e Cox (1992), gargalo é a etapa do processo produtivo onde a capacidade é inferior à demanda. No processo de fabricação de pneus a vulcanização é o gargalo mais frequente pois o tempo de vulcanização é alto, o que limita a capacidade produtiva das prensas, diminuindo a entrega final de pneus. Dessa forma, a melhoria de performance da fábrica requer a melhoria do posto de vulcanização

Figura 2 - Carcaça de pneu antes e depois da etapa passagem na prensa de vulcanização



Fonte: autora(2026)

.Figura 3 - Prensa de vulcanização de pneus



Fonte: autora (2026)

A etapa de vulcanização é composta pelo tempo de cozimento e o tempo de cinemática. O primeiro é o tempo de cozimento que corresponde ao período em que a carcaça fica sob alta pressão e temperatura. O segundo tempo é chamado cinemática e compreende o período após o tempo de vulcanização até o início do próximo ciclo de vulcanização. As etapas do tempo de cinemáticas são explicadas no Quadro 1. Dentro dessas etapas foram realizadas as análises deste estudo.

Quadro 1 - Sobre os elementos do tempo de cinemática da prensa

Nº	ETAPAS CINEMÁTICA	DESCRIÇÃO
1	Dreno	Redução da pressão interna para 1 bar para que a prensa seja aberta de forma segura. Esta etapa libera todo o vapor durante que esteve presente tempo de cozimento do pneu.
2	Vácuo	Remove os resíduos de vapor e garantir que não haja pressão residual.
3	Abertura da prensa	É um movimento onde o molde superior sobe permitindo o operador fazer a retirada do pneu vulcanizado.
4	Retirada da prensa e colocação do pneu no PCI	Com a prensa aberta, o operador retira manualmente o pneu da prensa e coloca em um equipamento chamado Pós conformador que garante o formato do pneu.
5	Colocação da nova carcaça na prensa	É a etapa em que o operador posiciona o pneu cru (carcaça não vulcanizada) dentro do molde da prensa para iniciar o novo ciclo.
6	Inflagem de bladder	O bladder é uma bexiga de borracha instalada no interior da prensa que, ao ser inflada com vapor, pressiona o pneu cru contra o molde de dentro para fora.
7	Fechamento da prensa	A prensa é fechada mecanicamente.
8	Shaping	Essa etapa de pré-formação garante que o pneu cru se acomode corretamente no molde, evitando dobras, bolhas de ar ou desalinhamentos que gerariam defeitos de vulcanização.

Fonte: Adaptado de Mark, Erman e Roland (2013), organizado pela autora em 2026

Segundo Slack (2009), prover a capacidade produtiva para satisfazer a demanda atual e futura é uma responsabilidade fundamental da administração da produção. A gestão da capacidade produtiva envolve, melhoria de processos, redução de tempo de setup, investimento em novos equipamentos, redução de tempos ociosos e planejamento e controle para evitar acúmulo de carcaças no processo anterior.

A teoria das restrições citadas por Goldratt (1990) destaca que a eliminação do gargalo é a chave para a melhora produtiva. Nesse sentido, o *Lean Manufacturing*, junto com a metodologia DMAIC tem como objetivo principal aumentar a performance priorizando o recurso restritivo, no caso, o processo de vulcanização de pneus. Para

isso o estudo é voltado à redução do tempo de ciclo nesse posto e o estudo de layout que serão linhas chaves de melhoria de capacidade.

2.1.1 Capacidade produtiva

Segundo Slack, Chambers e Johnston (2009), a capacidade é definida pela taxa máxima de saída de um processo, ou seja, o volume de produtos ou serviços que podem ser produzidos sob condições normais de operação.

A decisão de aumentar a capacidade produtiva tem impacto estratégico sobre a competitividade da empresa. Segundo Slack (2009), uma capacidade insuficiente resulta em perda de vendas e atrasos, enquanto capacidade excessiva implica custos fixos elevados e baixa eficiência operacional.

De acordo com Tubino (2017), a gestão da capacidade produtiva tem como objetivo equilibrar a demanda com os recursos de produção, evitando tanto ociosidade de máquinas quanto sobrecarga dos processos. Assim, compreender e calcular corretamente a capacidade é fundamental para o planejamento da produção, a alocação de recursos e a tomada de decisões estratégicas. Corrêa e Corrêa (2012) falam que quanto mais a organização conhece bem sua capacidade, melhor ela poderá alinhar seus recursos às demandas.

Dessa forma, o aumento da capacidade deve ser planejado de forma sistêmica e sustentada por dados, priorizando o gargalo e garantindo o alinhamento com a demanda de mercado.

2.1.2 Cálculo da capacidade produtiva

Segundo Moreira (1998), a capacidade de produção é a aptidão para realizar uma quantidade de um produto em um período, essa definição sugere a importância desse cálculo de capacidade para alinhar a quantidade demandada com a produção real.

O cálculo de capacidade produtiva é feito de diferentes formas e pode considerar a capacidade teórica, capacidade efetiva e capacidade real. A capacidade instalada não considera interrupções no sistema e representa o limite possível de produção. A capacidade efetiva visa o entendimento da capacidade considerando tempo de manutenção, *setups* e paradas programadas. A capacidade real considera paradas retrabalhos e perdas de eficiência. Esses tipos de capacidade são

necessários pois refletem a diferença entre o sistema teórico e o real e indicam quais as melhorias podem deixar o sistema, o mais otimizado possível.

Os elementos necessários para o cálculo de capacidade são: o tempo de disponibilidade de 1 máquina, quantidade de máquinas, indicadores de performance do processo (TRSp), tempo unitário padrão para fazer uma unidade de produção e a quantidade de refugos (IQP). O cálculo de capacidade produtiva pode ser realizado pela fórmula.

$$\text{Capacidade Produtiva} = \frac{\text{TEMPO DISPONÍVEL} * \text{Quantidade de máquinas}}{\text{TEMPO UNITÁRIO}} * \text{TRSp}$$

Fórmula da capacidade produtiva real

2.1.3 Taxa de rendimento sintético – TRSp

Grande parte das empresas atuam com o indicador principal OEE (overall effectiveness na empresa a qual o projeto foi realizado o TRSp é indicador de rendimento sintético que mede a performance da máquina e mede as perdas de disponibilidade e permite entender os gaps que podem alavancar a produção. Segundo Muchiri e Pintelon (2008) o TRS é um indicador que evidencia os gargalos. Este indicador monitora a quantidade de perdas por parada de máquina e direciona as ações de melhoria contínua no processo estudado. A gestão dessas perdas apontadas no TRS é fundamental para o progresso da indústria.

$$\text{TRSp} = \frac{\text{Tempo unitário} * \text{Quantidade produzida}}{\text{tempo disponível para produção}}$$

Fórmula do indicador da taxa de rendimento sintético

2.1.4 Produção enxuta - *Lean manufacturing*

Segundo Ohno (1997), pai do sistema Toyota de produção, A cultura de Lean manufacturing, enxerga a eliminação de desperdícios e a exclusão de etapas que não agregam valor ao cliente como fundamentais para a sobrevivência e desenvolvimento no mercado. A cultura lean desenvolve as organizações para identificar e eliminar processos que não agregam valor. Para que essa cultura seja implementada é necessária a visão do que existe de desperdício no processo. Para ele existem sete grandes desperdícios presentes de sistemas produtivos.

1. Superprodução - produzir além do necessário;
2. Desperdício provocado pelo tempo de espera - atrasos e espera de materiais ou fornecedores;
3. Desperdício de transporte - movimentações excessivas;
4. Desperdício de processamento - etapas que não agregam valor ou são redundantes;
5. Desperdício no gerenciamento de estoques - acúmulo indevido de materiais, componentes ou serviços;
6. Desperdício de movimentação - deslocamentos desnecessários;
7. Desperdício por defeitos - retrabalhos e refugos.

Para aplicação da metodologia *lean* é necessário que a mentalidade da operação seja envolvida para que ocorra uma efetiva caça aos desperdícios. A utilização dessa filosofia possibilita a maior competitividade no mercado.

2.1.5 Metodologia DMAIC

Segundo Pyzdek e Keller(2018), a metodologia DMAIC consiste em uma metodologia estruturada para identificar causas raízes de problemas e implementar soluções que mantenham sua perenidade e melhorem a performance da indústria. O DMAIC é uma importante metodologia de resolução de problemas que ajudam na otimização e estabilização de projetos de melhoria contínua. George (2002) sugere que o DMAIC combina ferramentas estatísticas com o pensamento enxuto, tornando-se um método eficaz de eliminação de desperdícios.

O DMAIC tem grande destaque em ambientes industriais segundo Montgomery(2000) pois tem como foco a redução de defeitos, diminuição de tempos de ciclo, aumento da produtividade e melhoria da capacidade instalada, sendo este último, o objetivo principal do projeto.

Ações em gargalos produtivos tem alta relação com a agregação de valor ao cliente. Dessa maneira a abordagem DMAIC serve para melhoria de processos industriais em setores de manufatura. A indústria de pneus tem a vulcanização como gargalo, a aplicação da abordagem DMAIC pode contribuir para redução de perdas por tempos ociosos. O Quadro 2 e a Figura 4 explicam qual é o processo de desenvolvimento da metodologia DMAIC.

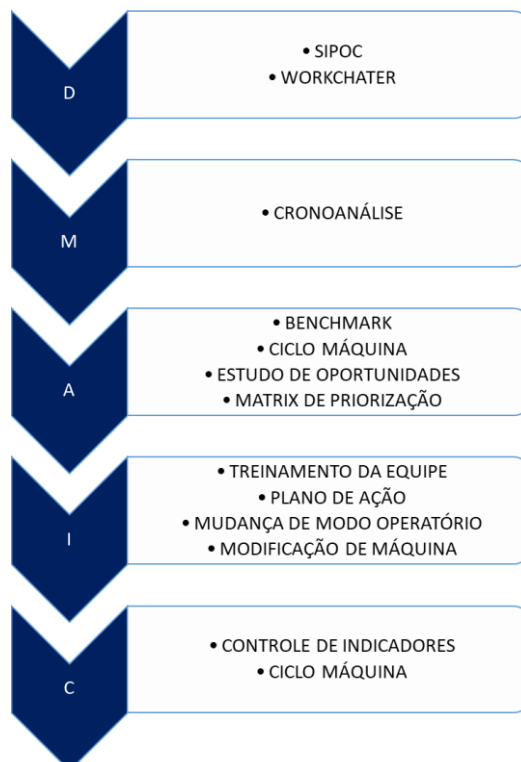
Quadro 2 - Fases da metodologia DMAIC e sua definição

FASES DA METODOLOGIA DMAIC	DEFINIÇÃO
Definir	Esta etapa define o escopo do projeto.
Medir	Essa fase busca o entendimento de quais dados são necessários e qual a performance atual para alcance dos objetivos propostos na fase anterior.
Analisar	Essa fase busca identificar quais as causas das ineficiências e quais os melhores X's potenciais que farão atingir o objetivo.
Implementar	Realizar as ações escolhidas na fase anterior.
Controlar	A fase de é focada em manter a melhoria implementada.

Fonte: Montgomery (2000), organizado pela autora (2026).

A abordagem é amplamente utilizada na indústria de pneus. Para George (2002) e Pyzdek e Keller (2018) a utilização da metodologia permitiu a redução da variabilidade no tempo de ciclo em processos industriais e melhoria das saídas.

Figura 4 – Fluxograma das fases do DMAIC com as ferramentas utilizadas no estudo



Fonte: Montgomery (2000), organizado pela autora 2026.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A definição de uma metodologia adequada é essencial para garantir que as conclusões de um estudo sejam baseadas em procedimentos estruturados e resultados confiáveis. No contexto da Engenharia de Produção, a utilização de métodos sistemáticos permite identificar problemas, analisar causas, propor melhorias e validar os resultados obtidos. Nesse sentido, este capítulo apresenta os procedimentos metodológicos adotados para o desenvolvimento deste trabalho, incluindo a classificação da pesquisa, as técnicas de coleta e análise de dados e a aplicação da metodologia DMAIC para o aumento da capacidade produtiva do processo de vulcanização.

Em relação aos procedimentos técnicos, o trabalho foi desenvolvido por meio de um estudo único realizado em uma empresa fabricante de pneus para motocicletas localizada no Polo Industrial de Manaus (PIM). Segundo Yin (2015), o estudo de caso busca compreender um fenômeno dentro de seu contexto real, especialmente quando os limites entre o fenômeno e o contexto não estão claramente definidos.

A presente pesquisa caracteriza-se como aplicada, de natureza quantitativa e com abordagem exploratório-descritiva. Conforme Gil (2012), pesquisas exploratórias e descritivas são adequadas quando se busca compreender fenômenos organizacionais, proporcionando uma visão detalhada da situação estudada. O caráter exploratório deste trabalho está relacionado à busca pela compreensão das causas que limitam a capacidade produtiva do processo de vulcanização, enquanto o caráter descritivo se aplica ao registro, análise e comparação do comportamento do processo antes e após a implementação das melhorias. A abordagem quantitativa foi adotada devido à utilização de medições de tempos de ciclo, cálculos de capacidade produtiva e análises estatísticas para avaliação dos resultados obtidos.

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA

O estudo foi conduzido em uma empresa do setor pneumático responsável pela fabricação de pneus para motocicletas. O processo produtivo é composto pelas etapas de mistura, preparação de componentes, montagem, vulcanização e inspeção final.

Por meio da análise do fluxo produtivo e dos indicadores de desempenho da fábrica, identificou-se que o processo de vulcanização constituía o principal gargalo da produção, sendo responsável por limitar a capacidade global do sistema. Dessa forma, essa etapa foi definida como foco do presente estudo.

3.2 ETAPAS DO ESTUDO

A pesquisa foi realizada em uma empresa fabricante de pneus para motocicletas, tendo como foco o processo de vulcanização, identificado como o principal gargalo produtivo da operação. O escopo do estudo restringiu-se à análise e redução do tempo de ciclo padrão das prensas de vulcanização.

O desenvolvimento do trabalho seguiu as etapas da metodologia DMAIC (Definir, Medir, Analisar, Melhorar e Controlar), conforme cronograma apresentado no Quadro 2. Para isso, foram utilizados dados reais de produção, incluindo tempos de ciclo e indicadores de capacidade produtiva.

Os tempos de ciclo foram comparados considerando o período de dois meses anteriores à implementação das melhorias e um mês após sua conclusão. A partir dessa comparação, avaliou-se a redução do tempo de ciclo obtida e o impacto das ações implementadas sobre a capacidade produtiva do processo.

6 CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES FINAIS

O presente estudo teve como objetivo geral avaliar a aplicação da metodologia DMAIC no aumento da capacidade produtiva das prensas de vulcanização em uma empresa fabricante de pneus de motocicletas localizada no Polo Industrial de Manaus. Os resultados obtidos confirmam que a abordagem sistemática do DMAIC constitui um instrumento eficaz de diagnóstico, análise e planejamento de melhorias em processos industriais.

Na fase definir, o escopo e o problema foram delimitados por meio do *WorkCharter* e do mapeamento SIPOC, garantindo alinhamento entre os objetivos do projeto e as necessidades da empresa.

Na fase medir, foi realizada a cronoanálise do estado atual do ciclo das prensas e a comparação com o benchmark do processo, o que permitiu identificar e quantificar as oportunidades de redução do tempo de ciclo.

Na fase analisar, a observação contínua do operador e do ciclo máquina, aliada ao levantamento dos X's potenciais e à análise de diagrama de *spaguetti*, possibilitou mapear com precisão as causas-raízes e os desperdícios operacionais identificados. As soluções encontradas foram:

- Aumento da velocidade da subida e da descida de moldes;
- Eliminação da etapa de colocar o pneu no PCI antes de fechar a prensa;
- Diminuição do tempo de dreno e vácuo;
- Rotina de treinamento do novo modo operatório com os operadores.

Com base nessas análises, a fase implementar compreendeu a elaboração e aplicação de um novo modo operatório, o treinamento dos operadores e a correção das lacunas de padronização identificadas. Por fim, na fase controlar, foram implementados um plano de controle estruturado e metas de produção hora-a-hora, consolidando as mudanças na rotina operacional. A nova mensuração do tempo de ciclo validou o ganho de capacidade de 3,5% em decorrência das ações implementadas.

A principal contribuição prática deste trabalho é a demonstração de que é possível aumentar a capacidade produtiva sem investimento em novos equipamentos, por meio da eliminação de desperdícios operacionais e da padronização do processo. A contribuição teórica reside na aplicação e validação do DMAIC como ferramenta de melhoria contínua em um estudo de caso do setor pneumático.

Como limitação, destaca-se que o período de acompanhamento pós-implementação foi restrito. Para pesquisas futuras, recomenda-se a extensão do ciclo DMAIC a outras etapas do processo produtivo e a outros indicadores de desempenho da empresa, visando à consolidação de uma cultura de melhoria contínua.

6.1 LIMITAÇÃO DO ESTUDO

Embora os resultados obtidos tenham sido satisfatórios, algumas limitações devem ser consideradas. O estudo foi conduzido em um único parque fabril, sob condições operacionais específicas e considerando o cenário de demanda vigente durante o período analisado. Dessa forma, os resultados apresentados podem sofrer influência de alterações futuras no volume de produção, mix de produtos e condições operacionais da fábrica.

Além disso, os impactos econômicos apresentados foram estimados com base na capacidade produtiva adicional gerada pelas melhorias implementadas. Entretanto, o ganho econômico potencial pressupõe que todas as ações propostas sejam efetivamente implementadas e mantidas ao longo do tempo. Caso fatores externos ou internos impeçam a execução completa das melhorias em todas as 42 prensas, não é possível garantir que toda a capacidade adicional calculada seja convertida em produção efetiva de pneus.

Adicionalmente, a produção real está sujeita a variáveis que não foram objeto deste estudo, tais como oscilações de demanda, perdas por qualidade, indisponibilidade de materiais, paradas não planejadas e falhas de equipamentos. Esses fatores podem reduzir o aproveitamento da capacidade adicional gerada e, conseqüentemente, impactar os resultados efetivamente obtidos. Por esse motivo, torna-se fundamental que a organização mantenha ações contínuas de treinamento dos operadores, monitoramento dos indicadores de desempenho e controle dos principais motivadores de paradas de máquina e não qualidade, garantindo a sustentabilidade dos ganhos alcançados.

6.2 TRABALHOS FUTUROS

Como proposta para trabalhos futuros, recomenda-se a expansão da metodologia para outras etapas do processo produtivo e para as demais prensas da fábrica, visando identificar novas oportunidades de aumento de capacidade. Sugere-

se também a realização de estudos voltados para a quantificação dos ganhos energéticos decorrentes da redução do tempo de ciclo, bem como a avaliação da redução das emissões associadas ao consumo de vapor e energia elétrica.

Outra oportunidade consiste na aplicação de ferramentas de simulação computacional para avaliar diferentes cenários operacionais e otimizar o balanceamento entre operadores e equipamentos. Adicionalmente, recomenda-se investigar o impacto dessas ações na manutenção dos equipamentos.

REFERÊNCIAS

- ABRACICLO. **Com revisão da projeção, Abraciclo prevê produção de 1.950.000 motocicletas em 2025**. São Paulo: Abraciclo, 2025. Disponível em: <https://abraciclo.com.br/press-release/com-revisao-da-projecao-abraciclo-preve-producao-de-1-950-000-motocicletas-em-2025>. Acesso em: 16 jun. 2026.
- BARNES, Ralph M. **Estudo de movimentos e de tempos: projeto e medida do trabalho**. 6. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1977.
- BESTERFIELD, Dale H. *et al.* **Total quality management**. 3. ed. New Jersey: Pearson Education, 2012
- CORRÊA, H. L.; CORRÊA, C. A. **Administração da produção e operações: manufatura e serviços: uma abordagem estratégica**. São Paulo: Atlas, 2012.
- GENT, Alan N. **Engineering with Rubber: How to Design Rubber Components**. 3. ed. Munich: Hanser Publishers, 2012.
- GEORGE, Michael L. **Lean Six Sigma: combining six sigma quality with lean production speed**. New York: McGraw-Hill, 2002
- GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2012.
- GOLDRATT, Eliyahu M. **A síndrome do palheiro: garimpando informações num oceano de dados**. São Paulo: Educator, 1990.
- MARK, James E.; ERMAN, Burak; ROLAND, C. Michael. **The Science and Technology of Rubber**. 4. ed. Amsterdam: Academic Press, 2013.
- MARTINS, Petrônio Garcia; LAUGENI, Fernando Piero. **Administração da produção**. 3. ed. São Paulo: Saraiva, 2015.
- MONTGOMERY, D. C. **Introduction to statistical quality control**. 8. ed. Hoboken: Wiley, 2000.
- MOREIRA, Daniel Augusto. **Administração da produção e operações**. São Paulo: Pioneira, 1998.
- MUCHIRI, P.; PINTELON, L. Performance measurement using overall equipment effectiveness (OEE): literature review and practical application. **International Journal of Production Research**, v. 46, n. 13, p. 3517–3535, 2008.
- OHNO, Taiichi. **O sistema Toyota de produção: além da produção em larga escala**. Porto Alegre: Bookman, 1997
- PYZDEK, Thomas; KELLER, Paul A. **The Six Sigma Handbook**. 5. ed. New York: McGraw-Hill Education, 2018.

RONCARO, Mário. **Lean Six Sigma para melhoria de processos**. São Paulo: Atlas, 2014.

SLACK, Nigel; CHAMBERS, Stuart; JOHNSTON, Robert. **Administração da Produção**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2009.

TUBINO, Dalvio Ferrari. **Planejamento e controle da produção**: teoria e prática. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2017.

WERKEMA, Cristina. **Lean Seis Sigma**: introdução às ferramentas do Lean Manufacturing. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012.