

**CENTRO UNIVERSITÁRIO DE ITAJUBÁ - FEPI**

Curso de Engenharia Mecânica

Matheus William de Moraes Pinto

**PROJETO DE MELHORIA DE MÁQUINA EM AUTOPEÇAS PARA ELIMINAR RESTRIÇÕES E  
AMPLIAR A PRODUÇÃO POR DIÂMETRO DOS PRODUTOS.**

**ITAJUBÁ**

**2024**

Matheus William de Moraes Pinto

**PROJETO DE MELHORIA DE MÁQUINA EM AUTOPEÇAS PARA ELIMINAR RESTRIÇÕES E  
AMPLIAR A PRODUÇÃO POR DIÂMETRO DOS PRODUTOS.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário de Itajubá – FEPI como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Adriano Correa Ribeiro.

**ITAJUBÁ  
2024**

Pinto, M. W. M.

Projeto de melhoria de máquina em autopeças para eliminar restrições e ampliar a produção por diâmetro dos produtos. Matheus William de Moraes Pinto. Itajubá, 2024.

58 p.

Orientador (a): Prof. Dr. Carlos Adriano Correa Ribeiro.

Trabalho de Conclusão de Curso. Engenharia Mecânica. Centro Universitário de Itajubá – FEPI.

RIBEIRO, C. A. C. FEPI – Centro Universitário de Itajubá. Título: Projeto de melhoria de máquina em autopeças para eliminar restrições e ampliar a produção por diâmetro dos produtos.

Em sessão às 17h horas do dia 2 de Dezembro de 2024 (a) acadêmico (a) Matheus William de Moraes Pinto, apresentou o Trabalho de Conclusão de Curso, intitulado "Projeto de melhoria de máquina em uma autopeças para eliminar restrições e ampliar a produção por diâmetro dos produtos." como requisito para conclusão do Curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário de Itajubá – FEPI perante a Banca Examinadora. Depois de todas as considerações feitas, o (a) candidato (a) foi considerado:

Aprovado (X)

Aprovado com Restrições ( )

Reprovado ( )

Matheus William de Moraes Pinto.


Acadêmico (a)



Assinatura

Prof. Dr. Carlos Adriano Correa Ribeiro

Orientador (a)



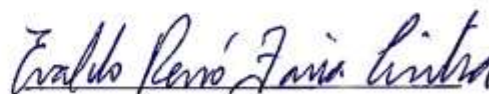
Assinatura

Coorientador (a)

Assinatura

Prof. Dr. Evaldo Reno Faria Cintra

Arguidor (a) 2



Assinatura

Prof. Me. Thiago Gonçalves de Oliveira

Arguidor (a) 1



Assinatura

Aos meus familiares, em especial  
meus pais e irmão, por todo apoio  
nessa trajetória, rumo a realização  
deste sonho.

*“Você deve ser a mudança que deseja ver no mundo.”*

*Mahatma Gandhi*

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço a Deus, meu maior alicerce e fonte de força durante todos esses anos. Foi Ele quem me deu coragem nos momentos de dificuldade e iluminou meus passos para que eu pudesse alcançar meus objetivos acadêmicos e pessoais.

Aos meus orientadores e a todos os professores que cruzaram meu caminho, minha eterna gratidão. Cada ensinamento, cada palavra de incentivo e cada desafio que me fizeram enfrentar contribuíram imensamente para o meu crescimento como estudante e profissional. Em especial, agradeço à FEPI – Centro Universitário de Itajubá, pela formação e pelo ambiente de aprendizado que me proporcionaram nos últimos cinco anos.

Não posso deixar de mencionar a empresa onde tive o privilégio de trabalhar, que foi essencial na realização deste trabalho. Agradeço a toda a equipe pela confiança e suporte ao longo do processo. Aos meus gestores, João Paulo Honório e João Vinício de Souza, e ao nosso chefe Luciano Viveiros, obrigado por acreditarem no meu potencial, por me orientarem e, acima de tudo, por me ajudarem a crescer, não só como profissional, mas também como pessoa.

À minha família, o meu porto seguro. Aos meus pais, José Sérgio Pinto e Elizângela A. de Moraes Pinto, e ao meu irmão Pedro Henrique de Moraes Pinto, obrigado por estarem sempre ao meu lado, compartilhando comigo tanto os momentos de alegria quanto os de dificuldade. Vocês foram meu suporte emocional, minha inspiração e minha motivação para seguir em frente. Aos meus avós e demais familiares, ainda que distantes fisicamente, sentir o carinho e a presença de vocês foi essencial para a conclusão dessa etapa.

Por fim, aos meus grandes amigos Gabriel Gonçalves, Gabriel Procópio, João Victor, Maurício Augusto e Rodrigo Almeida, que tornaram essa caminhada mais leve e suportável, mesmo nos momentos mais desafiadores. Obrigado pelo apoio incondicional, pelas conversas que trouxeram conforto e pelas risadas que renovaram minhas energias. Vocês fizeram a diferença.

## RESUMO

A melhoria contínua é um processo sistemático e incremental para aprimorar constantemente os produtos, serviços ou processos de uma organização. Baseia-se na identificação contínua de oportunidades de aperfeiçoamento, no estabelecimento de metas claras e mensuráveis e na implementação de mudanças graduais e sustentáveis. Envolve a participação de toda a equipe, promovendo uma cultura de aprendizado e inovação. O objetivo é alcançar melhorias incrementais ao longo do tempo, visando aumentar a eficiência, a qualidade e a satisfação do cliente. O presente trabalho propõe um projeto de melhoria para uma máquina de uma empresa de autopeças, com o objetivo de eliminar as restrições existentes e ampliar a faixa de produção, especialmente no que diz respeito ao diâmetro dos produtos fabricados. O estudo examina os problemas atuais enfrentados pela empresa, analisa as limitações das máquinas e propõe soluções para otimizar o processo produtivo, visando aumentar a eficiência e a capacidade de produção. O foco principal está na implementação de melhorias técnicas e tecnológicas que possam proporcionar um aumento significativo na qualidade e na quantidade dos produtos fabricados, atendendo assim às demandas do mercado de forma mais eficaz.

**Palavras-chave:** Melhoria contínua. Diâmetro. Produtividade. Autopeças. Desempenho. Otimização.

## ABSTRACT

Continuous improvement is a systematic and incremental process to constantly improve an organization's products, services or processes. It is based on continually identifying opportunities for improvement, establishing clear and measurable goals, and implementing gradual and sustainable changes. Involve the participation of the entire team, promoting a culture of learning and innovation. The goal is to achieve incremental improvements over time, improving efficiency, quality and customer satisfaction. The present work proposes an improvement project for the machine of an auto parts company, with the objective of eliminating existing restrictions and expanding the production *range*, especially with regard to the diameter of the manufactured products. The study examines the current problems faced by the company, analyzes the limitations of the machines and proposes solutions for modernizing the production process, changes to increase efficiency and production capacity. The main focus is on improving technical and technological improvements that can provide a significant increase in the quality and quantity of products manufactured, thus meeting market demands more effectively.

**Keywords:** Continuous improvement. Diameter. Productivity. Auto parts. Performance. Optimization.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Ciclo da Teoria das Restrições .....	20
Figura 2 – Ciclo de operação de um motor 4 tempos.....	22
Figura 3 – Ciclo de operação de um motor 2 tempos.....	23
Figura 4 – Ciclo de operação de um motor Wankel.....	23
Figura 5 – Bloco do motor.....	24
Figura 6 – Pistões .....	25
Figura 7 – Virabrequim .....	25
Figura 8 – Bielas.....	25
Figura 9 – Anéis de pistão .....	26
Figura 10 – Máquina utilizada no desenvolvimento do trabalho.....	28
Figura 11 – Anel de 50 milímetros de diâmetro.....	29
Figura 12 – Anel de 160 milímetros de diâmetro.....	29
Figura 13 – Diâmetro externo dos anéis .....	29
Figura 14 – Diâmetro interno dos anéis .....	29
Figura 15 – Abertura livre.....	29
Figura 16 – Altura dos anéis .....	31
Figura 17 – Face de contato.....	31
Figura 18 – Chanfro e rebaixo.....	31
Figura 19 – Divisão da máquina de inspeção dos anéis e de gravação a laser .....	32
Figura 20 – Magazine, sistema de abastecimento.....	34
Figura 21 – Pista, sistema de inspeção e gravação dos anéis.....	33
Figura 22 – Sistema de verificação das características dos anéis.....	35
Figura 23 – Saída, sistema de evacuação dos anéis .....	35
Figura 24 – Canal de 720 milímetros .....	36
Figura 25 – Canal abastecido com anéis aprovados.....	36
Figura 26 – Sistema Poka-Yoke.....	37
Figura 27 – Anel de 50 milímetros de diâmetro posicionado no sistema de abastecimento..	39
Figura 28 – Anel de 50 milímetros de diâmetro posicionado no sistema de abastecimento..	39
Figura 29 – Anel de 50 milímetros de diâmetro posicionado no sistema de abastecimento..	39
Figura 30 – Anel de 160 milímetros de diâmetro apresentando restrições no sistema de abastecimento .....	40

Figura 31 – Folga entre anel de 50 milímetros e as guias da pista.....	41
Figura 32 – Fechamento máximo da pista .....	42
Figura 33 – Posicionamento do anel de 160 milímetros na pista.....	42
Figura 34 – Anel de 160 milímetros posicionado na pista .....	42
Figura 35 – Manípulo impedindo fechamento da porta de proteção.....	43
Figura 36 – Sensores impedidos de fechar contato .....	44
Figura 37 – Anéis de 50 milímetros sendo transportados pelo fuso .....	45
Figura 38 – Anéis de 50 milímetros se posicionando no canal de desabastecimento .....	45
Figura 39 – Anéis de 50 milímetros acomodados no canal de desabastecimento .....	45
Figura 40 – Fuso rotativo para desabastecimento dos anéis .....	46
Figura 41 – Anel de 160 milímetros posicionado no fuso rotativo.....	46
Figura 42 – Anel de 160 milímetros com restrições no canal de desabastecimento .....	47
Figura 43 – Abertura livre do anel de 160 milímetros maior que a seção transversal do canal de desabastecimento .....	47
Figura 44 – Proposta para eliminação de restrição do magazine para anéis de 160 milímetros de diâmetro .....	51
Figura 45 – Localização do ressalto limitador na parte inferior da pista .....	52
Figura 46 – Ressalto limitador .....	52
Figura 47 – Proposta para eliminação de restrição da pista para anéis de 160 milímetros de diâmetro.....	53
Figura 48 – Proposta para eliminação de restrição da saída para anéis de 160 milímetros de diâmetro.....	55
Figura 49 – Seção transversal do canal de desabastecimento .....	56

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>14</b>
1.1 Desenvolvimento do trabalho .....	14
1.2 Justificativa .....	15
1.3 Objetivos .....	15
1.3.1 Objetivo geral .....	15
1.3.2 Objetivos Específicos .....	16
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRAFICA .....</b>	<b>17</b>
2.1 Teoria das restrições (TOC).....	18
2.2 Melhoria contínua .....	20
2.3 Motores de combustão interna (MCI).....	21
2.4 Principais componentes dos motores de combustão interna.....	24
2.4.1 Bloco do motor .....	24
2.4.2 Pistões.....	24
2.4.3 Virabrequim.....	25
2.4.4 Bielas .....	25
2.4.5 Anéis de pistão .....	26
<b>3 METODOLOGIA .....</b>	<b>27</b>
3.1 Material de estudo.....	27
3.2 Métodos .....	32
3.2.1 Magazine .....	33
3.2.2 Pista .....	34
3.2.3 Saída .....	35

<b>4 VERIFICAÇÃO DAS RESTRIÇÕES .....</b>	<b>37</b>
4.1 Restrições no magazine .....	37
4.2 Restrições na pista .....	39
4.3 Restrições na saída.....	43
<b>5 RESULTADO E DISCUSSÃO .....</b>	<b>48</b>
5.1 Proposta de melhoria .....	50
5.2 Proposta de melhoria do magazine .....	50
5.3 Proposta de melhoria da pista .....	51
5.4 Proposta de melhoria da saída .....	53
<b>6 CONCLUSÃO .....</b>	<b>55</b>
<b>7 REFERÊNCIAS .....</b>	<b>57</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Em nosso cotidiano passamos por frequentes processos de melhorias. No contexto atual de competitividade acirrada nos mercados industriais, a busca por eficiência e excelência operacional é crucial para a sobrevivência e o crescimento das organizações. Nesse sentido, a melhoria contínua torna-se uma abordagem fundamental para otimizar processos produtivos e atender às demandas do mercado de forma eficaz.

Este trabalho propõe um projeto de melhoria em uma máquina utilizada na fabricação de anéis de pistão para motores a combustão interna, visando eliminar restrições operacionais e ampliar sua gama de produção. Apesar de o manual indicar um range de operação de 50 a 150 mm, a máquina operava entre 60 e 130 mm, atendendo apenas 90,22% da demanda em 2023. A otimização busca aumentar a flexibilidade produtiva, reduzir custos e tempos de ciclo, além de tornar a empresa mais competitiva no mercado automotivo, que exige alta precisão e eficiência.

Durante o desenvolvimento do trabalho, serão apresentados os principais pontos que justificam a relevância deste estudo, delineando o contexto em que se insere, os objetivos a serem alcançados, a metodologia empregada e a estrutura da pesquisa. Ao final, espera-se que este projeto de melhoria contribua significativamente para o aumento da eficiência operacional e aprimoramento da capacidade produtiva da empresa, fortalecendo sua posição no mercado e garantindo sua sustentabilidade a longo prazo.

### 1.1 Desenvolvimento do trabalho

O segundo capítulo aborda o desenvolvimento das Revoluções Industriais e suas profundas transformações nos processos produtivos e na economia. O capítulo explora também a Teoria das Restrições (TOC - *Theory of Constraints*), que foca em identificar e superar os gargalos que limitam o desempenho produtivo. A TOC é estruturada em cinco etapas, começando pela identificação da restrição e culminando na revisão contínua para garantir eficiência máxima. Além disso, o conceito de melhoria contínua é discutido como fundamental para a adaptação e competitividade das empresas, promovendo inovação e redução de custos. Por fim, o capítulo introduz o tema dos motores de combustão interna, que desempenham papel crucial na evolução automotiva, destacando o desenvolvimento do motor de quatro tempos, de ciclo Otto, e suas evoluções tecnológicas subsequentes.

Já o terceiro capítulo, na metodologia do presente trabalho, serão apresentados em detalhes os materiais e os métodos utilizados. Primeiramente, serão descritos os materiais, incluindo a máquina, que será o foco do estudo, e os produtos automotivos fabricados pela

empresa. Em seguida, os métodos abordarão os procedimentos e técnicas aplicadas na pesquisa, como a coleta e análise de dados. Também serão explicadas as abordagens usadas para identificar e superar as restrições da máquina. A descrição completa desses elementos tem como objetivo oferecer uma visão clara da metodologia adotada para alcançar os objetivos propostos.

Diante dessa situação, iniciou-se, no capítulo quatro, um estudo empírico para identificar e eliminar as restrições operacionais da máquina em análise. Através de experimentações e observações no ambiente de produção, onde foram coletados dados que permitiram entender os fatores limitantes e suas causas. Com isso, soluções foram propostas e implementadas, otimizando o desempenho da máquina e ampliando gama de produção.

A partir da análise realizada no capítulo quatro, o capítulo cinco apresenta os resultados obtidos e as discussões à respeito das soluções propostas para mitigar as restrições operacionais, abordando especificamente os fatores que limitavam o desempenho da produção

## **1.2 Justificativa**

A presente pesquisa justifica-se pela necessidade de otimizar os processos de fabricação de anéis de pistão, componentes essenciais nos motores a combustão interna, cujas exigências de precisão e qualidade são elevadas. De acordo com o manual da máquina, o *range* de atuação relacionado ao diâmetro das peças produzidas, deveria ser de 50 a 150 milímetros; entretanto, na prática, o equipamento operava apenas com anéis entre 60 e 130 milímetros, o que representa uma restrição significativa. Essa limitação impactou a produção da empresa em 2023, atendendo apenas 90,22% da demanda total. A eliminação dessas restrições visa não só aumentar o *range* de atuação da máquina, permitindo maior flexibilidade no processo produtivo, como também melhorar a produtividade, reduzir tempos de ciclo e minimizar retrabalhos. O aprimoramento da máquina contribuirá para a redução de custos operacionais, aumentando a competitividade da empresa no mercado automotivo, que exige processos cada vez mais eficientes e alinhados com as demandas de alta precisão e controle de qualidade.

## **1.3 Objetivos**

Os objetivos estão divididos em objetivo geral e objetivo específico, para se determinar ao final o resultado esperado.

### **1.3.1 Objetivo geral**

Propor melhorias na máquina de uma empresa do setor de autopeças, visando eliminar as restrições existentes e aumentar sua capacidade de produção, especialmente no que diz respeito ao diâmetro dos produtos fabricados. Assim, atendendo um *range* de 50 milímetros de diâmetro até 160 milímetros de diâmetro, o que representa 98,52% de toda produção do ano de 2023.

### 1.3.2 Objetivos Específicos

- Mapear as restrições das máquinas;
- Analisar as possíveis causas das restrições mapeadas;
- Propor sugestões para eliminar as restrições mapeadas, visando o menor custo e o menor prazo;
- Verificar se as sugestões propostas serão eficazes para eliminar as restrições;
- Expandir o *range* dos diâmetros das peças fabricadas;
- Levantar o impacto dessa atualização na produção da empresa.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRAFICA

As revoluções industriais não se concretizaram em momentos específicos com início e término bem definidos, mas sim como processos contínuos e interconectados que transformaram profundamente os métodos de produção, a economia e as interações sociais no ambiente de trabalho. Segundo Beltramelli (2022), as três primeiras revoluções industriais, que ocorreram entre os séculos XVIII e XX, contribuíram com avanços significativos e distintas inovações tecnológicas. A Primeira Revolução Industrial, iniciada no final do século XVIII, destacou-se pela introdução da divisão do trabalho e a mecanização dos processos produtivos. A Segunda Revolução Industrial, no final do século XIX e início do século XX, trouxe a revolução da eletricidade e o surgimento das linhas de produção em massa. Já a Terceira Revolução Industrial, que teve início na década de 1970, foi marcada pela automação e pelo avanço das tecnologias eletrônicas (Schwab, 2016).

De forma mais detalhada, a Primeira Revolução Industrial foi impulsionada por inovações como a máquina a vapor desenvolvida por James Watt em 1769. Esta invenção foi crucial para a substituição de fontes de energia tradicionais, como a roda d'água e a tração animal, especialmente na indústria têxtil, marcando o início de uma nova era produtiva (Almeida *et al.*, 2018). A Segunda Revolução Industrial, por sua vez, destacou-se pela introdução e aplicação da eletricidade nas linhas de produção, facilitando a automação das operações e o aumento da eficiência industrial. A Terceira Revolução Industrial, que emergiu com a inovação das tecnologias eletrônicas e a automação, trouxe consigo novas metodologias e processos que transformaram a produção industrial de maneira significativa.

Atualmente, a Quarta Revolução Industrial, também conhecida como "Indústria 4.0", representa um estágio avançado onde as indústrias estão se integrando com tecnologias de ponta e métodos inovadores. Esta fase é caracterizada pela automação avançada e pela capacidade das máquinas e equipamentos de tomar decisões autônomas sobre o funcionamento das linhas de produção, como ligar, desligar, acelerar ou desacelerar a produção dentro do ambiente fabril (Almeida *et al.*, 2018).

Contudo, conforme Centnarowsky e Grams (2014), é indiscutível que nenhuma máquina é eterna. Problemas menores, se não corrigidos, podem evoluir para questões mais graves que prejudicam a produção no futuro. Portanto, a decisão entre manter um sistema deficiente ou investir em melhorias é complexa e depende da gestão individual de cada empresa. As organizações precisam decidir entre adquirir uma nova máquina ou realizar um *retrofit* na existente.

A escolha entre realizar uma atualização nas máquinas já existentes ou investir na

aquisição de novos equipamentos não é trivial e varia de acordo com as circunstâncias de cada empresa. No entanto, como já discutido, a atualização ou o *retrofit* geralmente se apresenta como a opção mais vantajosa quando os equipamentos ainda possuem componentes funcionais, ou seja, a máquina continua a ser funcional apesar das restrições identificadas (Tambasco e Quelhas, 2012, p. 449).

Para compreender melhor as restrições das máquinas, é importante definir o conceito de restrição: “Uma restrição é qualquer elemento ou fator que impede um sistema de alcançar um nível mais elevado de desempenho em relação ao seu objetivo ou meta. Essas restrições podem ser internas ou externas, físicas ou não físicas, incluindo processos, máquinas, *layouts*, metodologias, políticas e normas” (COX III e SPENCER, 2002).

## 2.1 Teoria das restrições (TOC)

A Teoria das Restrições (TOC - *Theory of Constraints*) é um método inovador de planejamento e controle da produção desenvolvido com o objetivo de identificar e reverter os gargalos presentes na linha de produção. Concebida por Eliyahu M. Goldratt e apresentada em seu seminal livro "A Meta" (1984), a TOC fundamenta-se na ideia de que a performance de um sistema de produção é limitada por um número relativamente pequeno de restrições.

Este método é estruturado em um ciclo de etapas sistemáticas, conforme Figura 1, as quais incluem a identificação das restrições, a exploração dessas restrições, a subordinação de tudo o que não é restrição ao processo da restrição, a elevação das restrições e, finalmente, a revisão do sistema para identificar novas restrições que possam surgir. O princípio central da TOC é que, para maximizar os lucros e a rentabilidade do sistema de produção como um todo, é imperativo atacar diretamente as causas das restrições que limitam o desempenho ideal do sistema. Em outras palavras, a TOC preconiza que a eficiência e a eficácia do sistema não são aprimoradas pela tentativa de melhorar todas as partes igualmente, mas sim através da melhoria focalizada nas áreas que têm o maior impacto no desempenho global do sistema (COX III e SPENCER, 2002).

Esse enfoque estratégico permite que as organizações alinhem seus recursos e esforços para resolver as limitações críticas, potencializando assim a capacidade de produção e a rentabilidade.

De acordo com Fernandes e Filho (2017), a Teoria das Restrições (TOC) é uma metodologia estratégica projetada para identificar e otimizar os fatores limitantes dentro dos processos organizacionais. A essência desta teoria reside na capacidade de diagnosticar e

melhorar as restrições que prejudicam o desempenho de um sistema. A aplicação da TOC se desdobra em cinco etapas cruciais:

**1. Identificação das restrições do sistema:** O ponto de partida é a identificação precisa da restrição que está comprometendo o desempenho geral do sistema. Este passo envolve uma análise minuciosa para descobrir o fator específico que está restringindo a eficiência operacional.

**2. Exploração das restrições do sistema:** Após a identificação da restrição, o objetivo é maximizar a sua eficiência operacional. Isto requer um esforço contínuo para garantir que a restrição funcione de forma otimizada, minimizando qualquer tipo de desperdício ou período de inatividade. A exploração envolve ajustes e melhorias para assegurar que a restrição esteja sempre operando no seu potencial máximo.

**3. Subordinação das outras decisões:** Todos os outros processos e recursos devem ser ajustados para apoiar a operação plena da restrição identificada. Isso pode envolver mudanças no fluxo de trabalho, ajustes nos turnos de trabalho, ou modificações nos níveis de inventário para garantir que a restrição nunca fique inativa. A subordinação assegura que a eficiência da restrição seja priorizada acima de outros aspectos operacionais.

**4. Elevação das restrições do sistema:** Com a restrição agora otimizada e suportada adequadamente, o próximo passo é aumentar a sua capacidade para lidar com uma carga maior. Isso pode incluir investimentos em novos equipamentos, contratação de mais pessoal ou reestruturação dos processos existentes para expandir a capacidade da restrição.

**5. Revisão contínua:** Caso a restrição identificada seja eliminada em qualquer uma das etapas anteriores, o ciclo retorna ao primeiro passo. Uma nova restrição surgirá, e o processo de identificação e otimização recomeça. Este ciclo contínuo é fundamental para garantir uma melhoria constante, evitando que a inércia se torne uma nova restrição dentro do sistema.

A Teoria das Restrições oferece uma abordagem robusta e sistemática para a gestão de sistemas complexos, proporcionando um caminho estruturado para a identificação e superação dos obstáculos que limitam o desempenho organizacional. Através da aplicação consistente deste ciclo de melhoria, as organizações têm a oportunidade de alcançar melhorias significativas em eficiência e eficácia, promovendo um ambiente de operações cada vez mais

otimizado e produtivo.

Figura 1 – Ciclo da Teoria das Restrições



Fonte: Smartsheet (2024)

## 2.2 Melhoria contínua

Para alcançar o progresso e o desenvolvimento sustentável de uma organização, a adoção de uma metodologia de melhoria contínua é fundamental. Essa abordagem visa a busca incessante por melhores resultados e níveis de desempenho em processos, produtos e atividades da empresa, alinhando-se ao princípio de "hoje melhor do que ontem, amanhã melhor do que hoje". Em outras palavras, a ideia é promover uma melhoria constante, analisando e refinando todos os aspectos relevantes de um processo, como abordado por Pompermayer *et al.*, (2020).

De acordo com Gonçalves *et al.*, (2018), para que a melhoria contínua seja efetiva, é crucial considerar alguns aspectos-chave: eficiência, qualidade, inovação, padronização de processos e políticas gerais da empresa. Esta abordagem holística permite que a organização alcance níveis progressivamente elevados de desempenho e competitividade, garantindo uma adaptação ágil às demandas do mercado.

O conceito de melhoria contínua tem se consolidado cada vez mais na rotina de diversas áreas, como ambientes de trabalho, instituições acadêmicas e setores bancários, refletindo um desejo generalizado de aprimorar resultados e desempenho. Originado há várias décadas, esse conceito tornou-se uma regra essencial nas organizações, promovendo um aumento significativo na competitividade no mercado (Gonçalves *et al.*, 2018).

Com o advento da era digital, as empresas enfrentam a necessidade constante de adaptação para permanecerem competitivas. O ritmo acelerado de mudanças, impulsionado

pelo surgimento contínuo de novas tecnologias e tendências, exige um sistema de aprimoramento robusto, capaz de responder rapidamente às demandas em constante evolução. Nesse contexto, a adoção da melhoria contínua se torna imprescindível para que as empresas mantenham sua relevância e competitividade no mercado. Essa abordagem permite a implementação de melhorias sistemáticas em processos, produtos e serviços, garantindo adaptabilidade e resiliência diante das transformações do ambiente de negócios.

Os impactos positivos da adoção da melhoria contínua para a organização são amplos e significativos, destacando-se:

- **Aprimoramento dos processos:** Há uma otimização constante das atividades, com o objetivo de alcançar a excelência operacional.
- **Redução dos custos de falhas:** A identificação precoce e a correção de problemas minimizam gastos com retrabalho, reprocessamento e danos.
- **Estímulo à inovação:** A cultura de melhoria contínua fomenta a busca por soluções criativas e a implementação de melhorias inovadoras.
- **Desenvolvimento de planos de negócios competitivos:** Com processos aprimorados, a empresa pode oferecer produtos e serviços mais atraentes e alinhados às necessidades do mercado.
- **Melhor aproveitamento do tempo e maior qualidade no desenvolvimento:** A eficiência e a padronização dos processos permitem uma entrega mais ágil e de maior qualidade.

Conforme destacado por Rodrigues *et al.* (2017), esses impactos resultam em uma maior satisfação dos clientes, uma vez que suas necessidades e expectativas são atendidas com maior precisão, agregando valor significativo aos produtos ou serviços oferecidos pela organização.

### 2.3 Motores de combustão interna (MCI)

Os motores de combustão interna desempenham um papel fundamental na história da engenharia automotiva e na evolução dos sistemas de propulsão. Desde a sua invenção, no final do século XIX, os motores de combustão interna têm sido a força motriz por trás de veículos automotivos, aeronaves, embarcações, e diversas aplicações industriais. Este capítulo busca oferecer uma visão abrangente sobre a evolução, princípios de funcionamento, e as tecnologias

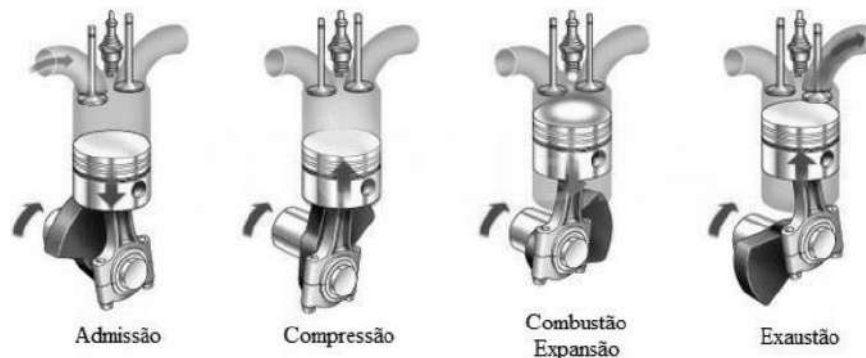
atuais que envolvem os motores de combustão interna, destacando sua importância e os desafios enfrentados em um cenário de crescente demanda por eficiência energética e redução de emissões.

O propósito de um motor de combustão interna é converter a energia química do combustível em potência mecânica. Essa transformação ocorre por meio da liberação de energia durante a combustão do combustível dentro do motor (HEYWOOD, 1988).

Em 1862, Beau de Rochas idealizou o conceito do motor de combustão interna, delineando os requisitos para a operação de um motor de quatro tempos com ignição por centelha. No entanto, sua ideia não se concretizou em um protótipo nos dez anos subsequentes (HEYWOOD, 1988).

Em 1876, Otto aperfeiçoou seu design, criando um motor mais leve que seguia o ciclo de quatro tempos (admissão, compressão, expansão e exaustão), como representado na Figura 2. Esse modelo alcançou uma eficiência máxima de 14% (HEYWOOD, 1988).

Figura 2 – Ciclo de operação de um motor 4 tempos



Fonte: Johansson (2006)

Em 1886, Karl Benz, na Alemanha, desenvolveu um motor de dois tempos: enquanto o motor de 4 tempos realiza quatro etapas distintas (admissão, compressão, combustão e exaustão) para completar o ciclo, o motor de 2 tempos realiza esse ciclo em apenas duas etapas, combinando as funções em movimentos simples do pistão, indicados na Figura 3. (FERGUSON, 2015).

Figura 3 – Ciclo de operação de um motor de 2 tempos

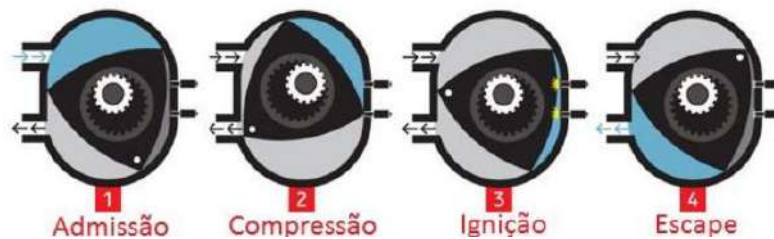
Fase do ciclo	Transferência	Compressão	Combustão e Trabalho	Escape	Transferência	Compressão	Combustão e Trabalho	Escape
Temperatura dos gases (°C)	20	200 a 400	2000 a 2800	500 a 1200	120	200 a 400	2000 a 2800	500 a 1200
Pressão do gás (bar)	1	5 a 8	15 a 30	1 a 3	1	5 a 8	15 a 30	1 a 3
Posição do pistão								
	0°	90°	180°	270°	90°	180°	270°	360°
Rotação da árvore de manivelas	1				2			

Fonte: Brunetti (2012)

Em 1892, Rudolf Diesel, engenheiro alemão, patenteou um novo motor de combustão interna que utilizava injeção direta de diesel na câmara de combustão. Este motor operava com altas taxas de compressão, gerando autoignição e, conseqüentemente, a combustão da mistura ar-combustível, dobrando a eficiência em relação aos motores existentes na época (FERGUSON, 2015).

Após Diesel, Felix Wankel, também da Alemanha, criou um motor rotativo, que utilizava rotores triangulares em vez dos pistões convencionais dos motores alternativos, conforme Figura 4. Esse motor foi testado com sucesso pela primeira vez em 1957 (HEYWOOD, 1988).

Figura 4 – Ciclo de operação de um motor Wankel



Fonte: Hamza EL B. Boukhari (2021)

A combinação dessas tecnologias com o conceito de *downsizing*, que envolve motores compactos e sobrealimentados capazes de gerar a mesma ou maior potência comparado aos

motores de maior cilindrada, tem mostrado eficácia na redução do consumo de combustível e das emissões de poluentes, ao mesmo tempo em que proporciona uma boa dirigibilidade (BONATESTA et al., 2016).

## **2.4 Principais componentes dos motores de combustão interna**

Os motores de combustão interna (MCI) são amplamente utilizados em veículos automotivos, máquinas industriais e até mesmo em aeronaves. Seu funcionamento se baseia na queima de uma mistura de combustível e ar em uma câmara de combustão, convertendo a energia química em energia mecânica. Este processo é suportado por uma série de componentes interconectados que garantem a eficiência, potência e durabilidade do motor. A seguir, apresentamos os principais componentes de um motor de combustão interna e suas respectivas funções, com destaque especial para os anéis de pistão.

### **2.4.1 Bloco do motor**

O bloco do motor, conforme Figura 5, é a estrutura principal que abriga os cilindros, onde ocorre a combustão. Ele também suporta outros componentes essenciais, como o virabrequim, pistões e bielas. O bloco é geralmente feito de ferro fundido ou alumínio para suportar as altas temperaturas e pressões geradas durante o funcionamento do motor (HEYWOOD, 2018).

Figura 5 – Bloco do motor



Fonte: Sandvik Coromant (2024).

### **2.4.2 Pistões**

Os pistões, Figura 6, são componentes móveis dentro dos cilindros, responsáveis por converter a pressão dos gases em movimento mecânico. Feitos geralmente de alumínio, eles se deslocam de forma alternada para cima e para baixo, realizando o ciclo de combustão. O movimento dos pistões é transmitido ao virabrequim, gerando a rotação necessária para movimentar o veículo (STONE, 1999).

Figura 6 – Pistões



Fonte: MAHLE (2024).

### 2.4.3 Virabrequim

O virabrequim, apresentado na Figura 7, transforma o movimento linear dos pistões em movimento rotativo. Ele é conectado aos pistões por meio das bielas e gira dentro do bloco do motor. Este componente é vital para a entrega de torque à transmissão, permitindo a movimentação do veículo (STONE, 1999).

Figura 7 – Virabrequim



Fonte: VOLVO (2024).

### 2.4.4 Bielas

As bielas de acordo com a Figura 8 conectam os pistões ao virabrequim. Elas transformam o movimento linear gerado pelos pistões em movimento rotativo no virabrequim. A resistência e a durabilidade das bielas são essenciais para suportar as altas cargas e pressões internas do motor (HEYWOOD, 2018).

Figura 8 – Bielas



Fonte: MAHLE (2024).

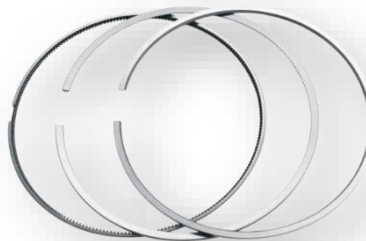
### 2.4.5 Anéis de pistão

Os anéis de pistão, conforme Figura 9, são componentes cruciais para o funcionamento do motor. Eles são montados em ranhuras ao redor da superfície externa dos pistões e desempenham três funções primordiais: vedação da câmara de combustão, controle do consumo de óleo e dispersão do calor (FRITZSON, 2010).

Existem três tipos principais de anéis de pistão (HEYWOOD,2018):

- **Anel de compressão:** Localizado na parte superior do pistão, sua função é vedar a câmara de combustão e impedir a fuga dos gases gerados pela explosão.
- **Anel raspador:** Posicionado logo abaixo do anel de compressão, ele ajuda a controlar a quantidade de óleo que chega à parede do cilindro, raspando o excesso e garantindo que apenas uma fina camada de óleo seja mantida para lubrificação.
- **Anel de óleo:** Sua principal função é garantir a distribuição uniforme do lubrificante nas paredes do cilindro.

Figura 9 – Anéis de pistão



Fonte: MAHLE (2024).

Os motores de combustão interna são sistemas complexos compostos por vários componentes que trabalham de forma sincronizada. Entre eles, os anéis de pistão desempenham um papel vital, sendo responsáveis pela vedação da câmara de combustão, pelo controle do consumo de óleo e pela dissipação de calor. A eficiência e a durabilidade do motor dependem diretamente da qualidade e do bom funcionamento desses componentes (HEYWOOD, 2018).

### **3. METODOLOGIA**

Na metodologia do presente trabalho, serão detalhados tanto os materiais quanto os métodos empregados. No que diz respeito aos materiais, serão descritos os produtos automotivos fabricados pela empresa a máquina que será objeto de estudo em questão. No âmbito dos métodos, serão elucidados os procedimentos e técnicas utilizados para a execução da pesquisa, incluindo a coleta e análise de dados, bem como as abordagens adotadas para a identificação e superação das restrições da máquina. A descrição minuciosa desses aspectos visa proporcionar uma compreensão clara e abrangente da abordagem adotada para atingir os objetivos propostos no trabalho.

#### **3.1 Material de estudo**

O objeto de estudo deste trabalho é uma máquina utilizada para a marcação a laser e verificação de diversas características dimensionais de peças automotivas, pertencente a uma empresa localizada no sul de Minas Gerais. Esta máquina desempenha um papel crucial na identificação e validação de atributos essenciais que garantem o bom desempenho das peças, além de facilitar o rastreamento preciso das mesmas ao longo de sua vida útil. Através de sua alta precisão e durabilidade, a máquina assegura que os componentes automotivos sejam produzidos de acordo com os rigorosos requisitos dos clientes, contribuindo para a qualidade e confiabilidade dos produtos finais.

Além disso, a máquina apresenta vários conjuntos de sensores para que ela se adeque a NR – 12, uma Norma Regulamentadora número 12, que trata da segurança no trabalho em máquinas e equipamentos, tendo como principal objetivo garantir que as máquinas e equipamentos utilizados nas indústrias sejam seguros para os trabalhadores, prevenindo acidentes e doenças ocupacionais. Assim, a utilização desta tecnologia avançada é fundamental para manter a excelência e competitividade da empresa no mercado automotivo.

No entanto, atualmente, a máquina enfrenta limitações em sua gama de atuação, restringindo os tipos de peças que podem ser processadas, especialmente no que diz respeito aos diâmetros das mesmas. Esta restrição impõe desafios na produção, limitando a flexibilidade e a eficiência do processo.

O estudo proposto focará em uma análise detalhada das especificações técnicas e do desempenho atual da máquina, com o objetivo de identificar pontos de melhoria que possam ampliar suas capacidades operacionais.

Através desta análise, busca-se desenvolver soluções inovadoras que eliminem as restrições existentes, promovendo um processo produtivo mais eficiente e versátil. Assim, a

otimização da máquina permitirá à empresa atender a uma gama mais ampla de necessidades dos clientes, melhorando sua competitividade e eficiência no mercado automotivo.

A Figura 10 mostra o desenho da máquina, construído em um *software* de modelagem 3D.

Figura 10 – Máquina utilizada no desenvolvimento do trabalho.



Fonte: Próprio autor (2024).

Na pesquisa, foram utilizados anéis para pistão de motores de combustão interna, com diâmetros variando de 50 milímetros a 160 milímetros, conforme ilustrado nas Figuras 11 e 12. Essa variedade de tamanhos abrange uma ampla gama de aplicações automotivas, representando uma faixa de 98,56% de toda produção da empresa no ano de 2023, garantindo a relevância dos resultados para diversos tipos de motores.

Figura 11 – Anel de 50 milímetros de diâmetro



Fonte: Próprio autor (2024)

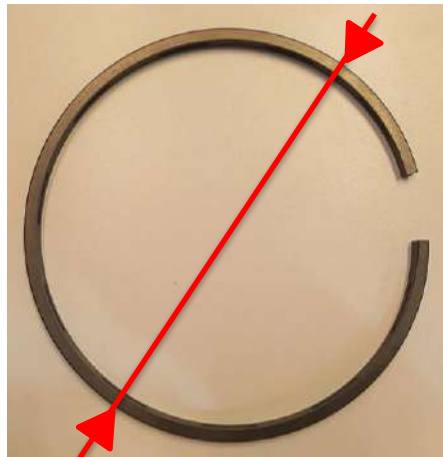
Figura 12 – Anel de 160 milímetros de diâmetro



Fonte: Próprio autor (2024)

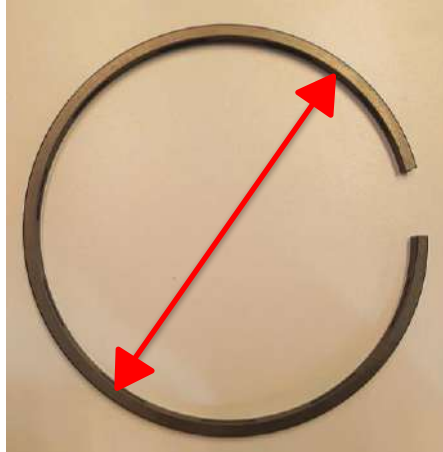
Vale destacar que os anéis apresentam 6 características dimensionais importantes, sendo eles: o diâmetro externo na Figura 13, diâmetro interno na Figura 14, abertura livre pela Figura 15, altura na Figura 16, face de contato através da Figura 17, além do chanfro e rebaixo na Figura 18, que servem como parâmetros e critérios de aprovação durante seu fluxo produtivo.

Figura 13 – Diâmetro externo dos anéis



Fonte: Próprio autor (2024)

Figura 14 – Diâmetro interno dos anéis



Fonte: Próprio autor (2024)

Figura 15 – Abertura livre



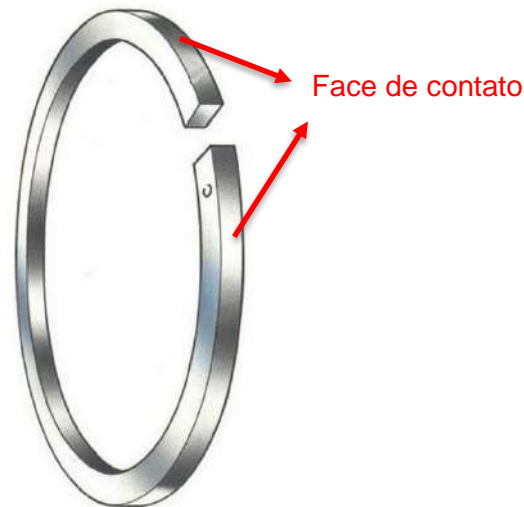
Fonte: Próprio autor (2024)

Figura 16 – Altura dos anéis



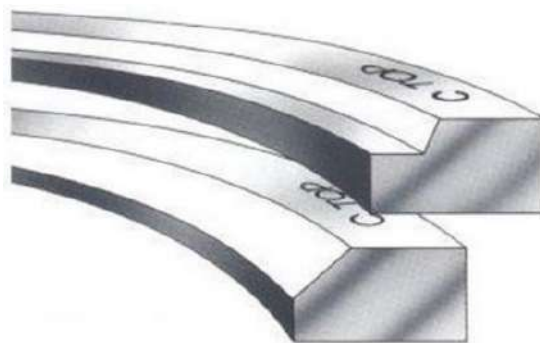
Fonte: Próprio autor (2024)

Figura 17 – Face de contato



Fonte: SENAI, *Doutor em Motores: Capítulo I – Anéis* (2019)

Figura 18 – Chanfro e rebaixo



Fonte: SENAI, *Doutor em Motores: Capítulo I – Anéis* (2019)

Especificamente, existem três tipos de anéis: anéis de compressão, anéis raspadores e anéis de óleo, que correspondem ao primeiro, segundo e terceiro canaleta do pistão, respectivamente. Esses anéis desempenham funções vitais no desempenho do motor.

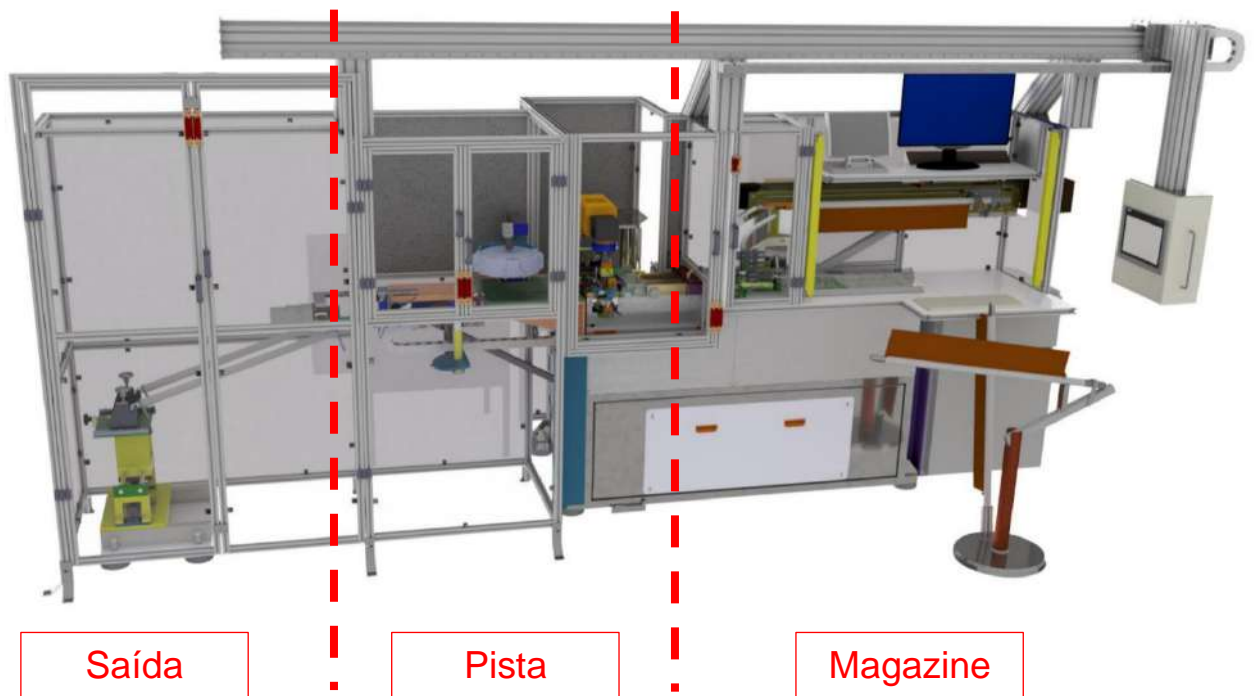
A seleção desses componentes foi crucial para avaliar a eficácia da máquina sob diferentes condições operacionais. O objetivo foi não apenas otimizar o desempenho da máquina, mas também ampliar seu *range* de atuação, eliminando restrições e potencializando sua aplicabilidade em processos de produção automotiva.

Essa análise detalhada permitiu identificar oportunidades de melhoria e ajustar parâmetros de operação, promovendo uma maior eficiência e versatilidade na gravação de anéis de pistão.

### 3.2 Métodos

Para realizar uma análise mais precisa da máquina estudada, ela foi dividida em três partes distintas, conforme a Figura 19.

Figura 19 – Divisão da máquina de inspeção dos anéis e gravação a laser.



Fonte: Próprio autor (2024)

Seguindo o fluxo de produção, a primeira etapa acontece no magazine, onde o operador abastece a máquina com os anéis a serem processados. O magazine é projetado para acomodar uma grande quantidade de anéis, garantindo um fluxo contínuo e minimizando a necessidade de reabastecimento frequente, o que aumenta a eficiência operacional.

Em seguida, os anéis são transferidos para a segunda etapa, na pista, onde são dispostos individualmente por um ejetor. Esta fase é crucial, pois a disposição individual dos anéis assegura que cada peça seja precisamente posicionada para as operações subsequentes. Na pista, os anéis passam por um processo de gravação a laser, que aplica marcações precisas e duráveis. Simultaneamente, análises dimensionais rigorosas são realizadas para garantir que cada anel atenda aos padrões de qualidade exigidos. A eficiência dessa etapa é vital para manter a alta produtividade e a qualidade do produto final.

Por fim, a terceira etapa, que é a saída da máquina, onde os anéis aprovados são direcionados para uma barra de perfil transversal quadrado com 720 milímetros de

comprimento. Esta barra atua como um separador, garantindo que apenas os anéis que passaram nos critérios de qualidade sigam adiante no processo.

Os anéis reprovados são segregados, permitindo um controle de qualidade mais rigoroso e a possibilidade de análise e correção de falhas. Essa divisão meticulosa entre anéis aprovados e reprovados facilita a manutenção de um padrão elevado de qualidade, além de otimizar o controle e a rastreabilidade dos produtos durante o processo de gravação e inspeção.

### 3.2.1 Magazine

O magazine, Figura 20, é uma das partes cruciais da máquina, pois é por meio dele que ocorre o abastecimento inicial dos anéis de pistão, garantindo um fluxo contínuo para as operações subsequentes de gravação e verificação. No magazine, são realizados os primeiros ajustes e regulagens, assegurando que os anéis sejam corretamente posicionados antes de seguir para as próximas etapas. Esta precisão no posicionamento é determinante para o sucesso das operações de gravação e inspeção que seguem, pois, qualquer desvio pode comprometer a qualidade do produto final. Além disso, o magazine é projetado para minimizar a intervenção manual, otimizando o tempo de ciclo e aumentando a eficiência do processo. Dessa forma, o magazine não só contribui significativamente para a produtividade, mas também para a qualidade do processo de gravação, atendendo às exigências rigorosas dos clientes e da indústria automotiva.

Figura 20 – Magazine, sistema de abastecimento



Fonte: Próprio autor (2024)

### 3.2.2 Pista

Na parte denominada pista, Figura 21, ocorre a gravação dos anéis de pistão, onde são marcados o número do lote e outras especificações conforme a demanda do cliente. Este processo de gravação é realizado com precisão pelo laser, garantindo que as informações sejam legíveis e duráveis, atendendo aos rigorosos padrões da indústria automotiva. Além da gravação, a pista é também o local onde se efetuam diversas verificações de qualidade, conforme a Figura 22. São avaliadas características críticas como a altura do anel, o perfil da face de contato, o chanfro, entre outras propriedades essenciais. Essas inspeções são fundamentais para garantir que cada anel atenda às especificações técnicas e de segurança.

Figura 21 – Pista, sistema de inspeção e gravação dos anéis



Fonte: Próprio autor (2024)

Figura 22 – Sistema de verificação das características dos anéis



Fonte: Próprio autor (2024)

Somente os anéis que passam por todas essas verificações, são classificados como aprovados e seguem para a próxima etapa do processo de fabricação, enquanto os que não atendem aos critérios são reprovados e separados para retrabalho ou descarte.

### 3.2.3 Saída

No setor denominado saída, Figura 23, ocorre o último estágio pelo qual os anéis de pistão passam nesta máquina. Nesta fase crucial, os anéis que foram aprovados em todas as verificações anteriores são direcionados para um canal de 720 milímetros de comprimento, de acordo com a Figura 24, seguindo o fluxo de produção para a próxima operação. Este canal garante um transporte suave e eficiente dos anéis aprovados de acordo com a Figura 25, mantendo a continuidade do processo produtivo.

Figura 23 – Saída, sistema de evacuação dos anéis



Fonte: Próprio autor (2024)

Figura 24 – Canal de 720 milímetros



Fonte: Próprio autor (2024)

Figura 25 – Canal abastecido com anéis aprovados



Fonte: Próprio autor (2024)

Por outro lado, os anéis que não atendem aos critérios de qualidade são separados por um sistema poka-yoke, Figura 26. Este sistema é fundamental para a detecção e separação automática de anéis defeituosos, garantindo que apenas os produtos conformes sigam adiante.

Os anéis reprovados são então analisados detalhadamente para identificar as causas de sua reprovação. Após essa análise, são devidamente separados para refugo ou retrabalho, dependendo da natureza do defeito identificado. Esse mecanismo de controle de qualidade final é essencial para manter os altos padrões exigidos pela indústria automotiva e garantir que somente produtos de alta qualidade sejam entregues ao cliente.

Figura 26 – Sistema Poka-Yoke



Fonte: Próprio autor (2024)

## 4. VERIFICAÇÃO DAS RESTRIÇÕES

Mediante estas condições, iniciaram-se os processos para verificar as restrições da máquina em estudo.

De forma empírica, foi conduzido um estudo detalhado com o propósito de identificar e eliminar as restrições operacionais da máquina em questão. Através de uma série de experimentações e observações práticas, foi possível coletar dados diretamente do ambiente de produção, o que proporcionou uma compreensão mais precisa dos fatores limitantes que impactavam o desempenho e restringiam o *range* de atuação da máquina. Essa abordagem prática permitiu não apenas a identificação das restrições, mas também a análise aprofundada das causas raiz, facilitando a implementação de soluções direcionadas e eficazes. O estudo contribuiu significativamente para a otimização do funcionamento da máquina, resultando em um aumento do gama de produção e na eliminação das barreiras previamente existentes no processo de fabricação.

### 4.1 Restrições no magazine

Durante essa etapa inicial, foi verificado se o magazine atendia aos requisitos operacionais para a produção do anel de 50 milímetros de diâmetro e para a produção do anel de 160 milímetros de diâmetros, uma vez que qualquer limitação ou falha nessa fase poderia comprometer o processo subsequente. Os requisitos operacionais, que incluem aspectos como capacidade de produção, precisão e qualidade de gravação, flexibilidade operacional, e integração com sistemas de automação, são fundamentais para garantir que a máquina funcione de maneira eficiente e confiável. Portanto, a análise focou em assegurar que o magazine estivesse apto a suportar essas exigências, permitindo que, tanto o anel de 50 milímetros, quanto o anel de 160 milímetros, passassem pela máquina sem restrições, garantindo a continuidade e a qualidade do processo de gravação e inspeção.

Para o anel de 50 milímetros de diâmetro, observou-se que o sistema de abastecimento da máquina, conhecido como magazine, não apresentou qualquer tipo de restrição que interferisse no fluxo produtivo deste componente, como podemos observar pelas Figuras 27, 28 e 29. A ausência de impedimentos permitiu que o processo de produção transcorresse de maneira eficiente e contínua, assegurando a fluidez desejada ao longo de toda a operação.

Figura 27 – Anel de 50 milímetros de diâmetro posicionado no sistema de abastecimento



Fonte: Próprio autor (2024)

Figura 28 – Anel de 50 milímetros de diâmetro posicionado no sistema de abastecimento



Fonte: Próprio autor (2024)

Figura 29 – Anel de 50 milímetros de diâmetro posicionado no sistema de abastecimento



Fonte: Próprio autor (2024)

No entanto, ao analisar o anel de 160 milímetros de diâmetro, identificou-se uma realidade distinta. Neste caso, emergiu uma restrição significativa no sistema de abastecimento, Figura 30, a qual comprometeu diretamente o fluxo produtivo e inviabilizaram a continuidade da produção desta peça em particular.

Essa restrição foi identificada quando, ao tentar deslocar o anel através do magazine, o mesmo acaba atingindo uma parede de repartição da máquina, uma vez que o diâmetro do anel é superior à abertura criada nesta parede, fazendo com que o anel fique barrado nesta seção.

Tal limitação evidencia a necessidade de ajustes e modificações no processo para garantir a adequação do equipamento a diferentes dimensões de componentes.

Figura 30 – Anel de 160 milímetros de diâmetro apresentando restrições no sistema de abastecimento



Fonte: Próprio autor (2024)

#### 4.2 Restrições na pista

Durante essa segunda análise de restrições, foi verificado se a pista atendia aos mesmos requisitos operacionais apresentados na análise do magazine.

Ao analisar o anel de 50 milímetros de diâmetro durante o processo de gravação e inspeção, foi identificado um problema crítico na operação do sistema conhecido como pista. Este sistema, que desempenha um papel essencial na estabilização do anel durante o processo de gravação, apresentou uma restrição significativa que impactou negativamente o fluxo produtivo.

Em termos práticos, a pista não conseguia fechar-se adequadamente em torno do anel, conforme Figura 31, fechando apenas 57,22 milímetros, como demonstrado na Figura 32, o que comprometeu sua estabilidade durante a operação. A falta de um fechamento seguro, gera riscos consideráveis, como a possibilidade de medições imprecisas, que podem resultar em uma

gravação fora da posição padrão estabelecida para aquele lote específico.

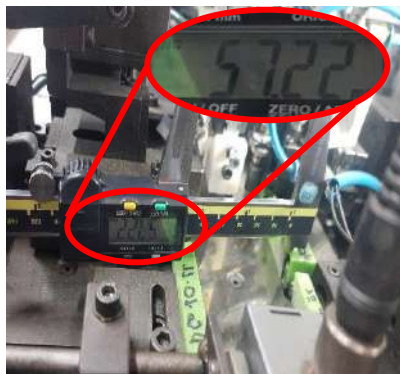
Essa restrição não apenas interfere na qualidade do produto final, mas também representa um obstáculo à eficiência operacional da máquina. O processo, que deve ser fluido e preciso, tornou-se suscetível a variações indesejadas, introduzindo incertezas que afetam a consistência e a confiabilidade da produção em série. A inadequação do sistema de pista em manter o anel firmemente posicionado não só ameaça a conformidade das gravações com as especificações técnicas, mas também coloca em risco a integridade dos componentes gravados.

Figura 31 – Folga entre anel de 50 milímetros e as guias da pista



Fonte: Próprio autor (2024)

Figura 32 – Fechamento máximo da pista

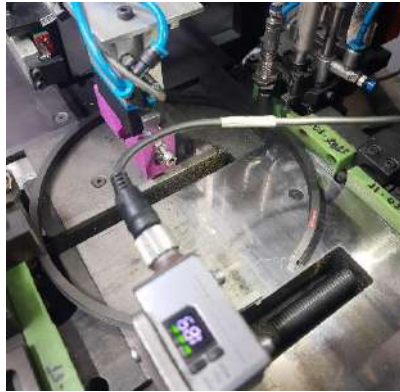


Fonte: Próprio autor (2024)

Já no desenvolvimento do processo de produção de anéis de 160 milímetros de diâmetro, também foram identificadas restrições críticas que impactavam significativamente o ciclo de produção. Estas restrições se manifestaram de forma distinta em comparação com as observadas no anel de 50 milímetros, o qual, para obter um ajuste perfeito, exigia que a pista se fechasse de maneira precisa para acomodar esse diâmetro específico.

Entretanto, ao lidar com anéis de 160 milímetros, o desafio se inverte. A pista, que anteriormente necessitava de um fechamento para o anel menor, agora precisa se expandir adequadamente para acomodar o diâmetro maior conforme Figuras 33 e 34. Este ajuste de expansão representa uma complexidade adicional no processo de produção, pois a mecânica da máquina precisa ser calibrada com precisão para permitir a abertura necessária, garantindo que o anel de 160 milímetros seja posicionado e processado corretamente.

Figura 33 – Posicionamento do anel de 160 milímetros na pista



Fonte: Próprio autor (2024)

Figura 34 – Anel de 160 milímetros posicionado na pista



Fonte: Próprio autor (2024)

Ao analisar o processo de adaptação da máquina para o processamento de anéis de maior diâmetro, especificamente o de 160 milímetros, ficou evidente que as restrições identificadas anteriormente, relacionadas ao sistema de abertura e fechamento da pista, não se aplicavam da mesma forma. Dessa vez, as limitações se concentraram no sistema de proteção da máquina, o que traz à tona a complexidade de atender às normativas de segurança, como a NR-12, sem

comprometer a funcionalidade do equipamento.

Durante a implementação das medidas de segurança, como a instalação de portas e sensores para proteger o operador, algumas limitações passaram despercebidas. Esses ajustes, embora necessários para garantir a conformidade com as normas regulamentadoras, introduziram novos desafios operacionais. Especificamente, ao ajustar a abertura da pista para acomodar o anel de 160 milímetros, observou-se que certos sensores não fechavam o contato necessário para permitir o funcionamento da máquina, pois, alguns manípulos impediam o fechamento das portas de proteção, nas quais onde eram posicionados os sensores, conforme Figuras 35 e 36. Esse problema, além de causar paradas inesperadas na produção, ressaltou a importância de uma abordagem integrada que leve em conta tanto a segurança quanto a eficiência operacional.

A situação exigiu uma análise detalhada para identificar as causas raiz dessas falhas e desenvolver soluções que garantissem tanto a conformidade com as normas de segurança quanto a continuidade do processo produtivo. Essa experiência evidenciou a interdependência entre os sistemas de segurança e o desempenho da máquina, sublinhando a necessidade de uma abordagem metódica e interdisciplinar na modificação de equipamentos industriais.

Figura 35 – Manípulo impedindo fechamento da porta de proteção



Fonte: Próprio autor (2024)

Figura 36 – Sensores impedidos de fechar contato



Fonte: Próprio autor (2024)

Portanto, a superação destas restrições, tanto para o anel de 50 milímetros de diâmetro, quando para o anel de 160 milímetros de diâmetro, são cruciais para garantir que o processo produtivo seja executado com a precisão, segurança e a repetibilidade exigidas, assegurando que cada anel seja gravado exatamente na posição definida, sem desvios que possam comprometer a qualidade do lote ou que coloque em risco a integridade física da máquina e principalmente dos colaboradores.

### 4.3 Restrições na saída

Por fim, mas não menos importante, passa-se a analisar a parte de saída da máquina, onde ocorre o desabastecimento dos anéis, um estágio fundamental e decisivo para a eficiência do processo produtivo. A parte de saída da máquina desempenha um papel crucial ao assegurar que os anéis, após serem submetidos ao processo de gravação a laser e inspeções dimensionais, sejam adequadamente removidos e encaminhados para as operações subsequentes, sem interrupções ou danos.

Ao analisar essa parte de desabastecimento da máquina para o anel de 50 milímetros de diâmetro, percebeu-se que, para este produto esta etapa não seria um empecilho. Ou seja, não apresentou nenhum tipo de restrição que impedisse o fluxo produtivo do produto conforme Figuras 37, 38 e 39, onde pode-se perceber que os anéis fluem do fuso giratório, desce por gravidade para o canal de desabastecimento e posteriormente se acomoda no próprio canal, ficando dispostos para seguirem em diante para a próxima operação.

Figura 37 – Anéis de 50 milímetros sendo transportados pelo fuso



Fonte: Próprio autor (2024)

Figura 38 – Anéis de 50 milímetros se posicionando no canal de desabastecimento



Fonte: Próprio autor (2024)

Figura 39 – Anéis de 50 milímetros acomodados no canal de desabastecimento



Fonte: Próprio autor (2024)

No caso dos anéis com 160 milímetros de diâmetro, ao contrário dos anéis de menor porte, foram identificadas duas restrições significativas que comprometem a conclusão do processo de produção deste item na máquina em questão. A primeira dessas restrições está diretamente ligada à etapa de transporte do anel para o canal de 720 milímetros, que é uma fase crucial,

realizada pelo fuso rotativo, conforme ilustra a Figura 40.

Figura 40 – Fuso rotativo para desabastecimento dos anéis



Fonte: Próprio autor (2024)

Esse fuso desempenha o papel essencial de movimentar o produto da máquina até o canal de destino. Contudo, problemas no desempenho do fuso têm prejudicado a eficiência do transporte, ocasionando bloqueios que impactam negativamente o fluxo contínuo de produção. Mais especificamente, a dificuldade se dá pela incompatibilidade entre a abertura livre do anel e o diâmetro do eixo do fuso. Observou-se que, no caso dos anéis de 160 milímetros de diâmetro, cuja abertura livre excede 10 milímetros, o transporte se torna inviável, uma vez que o fuso não consegue acomodar o anel adequadamente conforme Figura 41. Isso resulta em um bloqueio que impede o avanço para o canal de desabastecimento, afetando a eficiência e a produtividade do sistema como um todo.

Figura 41 – Anel de 160 milímetros posicionado no fuso rotativo



Fonte: Próprio autor (2024)

A segunda e última restrição observada no processo de produção do anel de 160

milímetros de diâmetro ocorre na etapa final da operação, especificamente no setor de desabastecimento da máquina. Esta restrição também está diretamente ligada à abertura livre do anel, e revela-se após o transporte do produto pelo fuso rotativo. Nessa fase, o anel deveria ser adequadamente acomodado no canal de 720 milímetros, finalizando seu ciclo na máquina e ficando pronto para a próxima etapa de produção.

Entretanto, ao examinar a compatibilidade entre a abertura livre do anel e a seção transversal do canal de desabastecimento, constatou-se uma discrepância crítica. A abertura livre do anel de 160 milímetros era maior do que a seção do canal, o que resultava na incapacidade de manter o anel corretamente posicionado dentro do canal, segundo Figuras 42 e 43. Essa falta de suporte adequado fazia com que o anel perdesse estabilidade, se desprendesse e eventualmente caísse, interrompendo o fluxo contínuo de produção e demandando intervenções manuais ou paradas inesperadas.

Figura 42 – Anel de 160 milímetros com restrições no canal de desabastecimento



Fonte: Próprio autor (2024)

Figura 43 – Abertura livre do anel de 160 milímetros maior que a seção transversal do canal de desabastecimento



Fonte: Próprio autor (2024)

Esse problema não só afeta a produtividade, como também aumenta o risco de danos ao anel ou à máquina, exigindo ajustes operacionais que garantam a integridade do processo e a eficiência da linha de produção. A solução desse obstáculo requer uma revisão precisa do *design* do canal ou do próprio anel, de forma a garantir que ambos sejam compatíveis e que o transporte possa ser realizado sem interrupções.

## 5. RESULTADO E DISCUSSÃO

A partir das observações realizadas e das práticas conduzidas na máquina em estudo, foram identificadas diversas restrições operacionais que impactavam diretamente o desempenho e a capacidade produtiva do equipamento, particularmente nos processos envolvendo anéis de 50 milímetros e 160 milímetros de diâmetro. As análises se concentraram nas três principais áreas críticas: o sistema de abastecimento (magazine), a pista de estabilização dos anéis e o sistema de saída da máquina.

Durante a análise inicial, foram verificados os parâmetros operacionais do magazine, com o objetivo de garantir a conformidade do sistema com os requisitos de produção tanto para anéis de 50 milímetros quanto para anéis de 160 milímetros de diâmetro.

Nos testes com o anel de menor diâmetro, o sistema de abastecimento não apresentou qualquer tipo de restrição, permitindo um fluxo contínuo de produção, sem comprometer a qualidade da gravação ou a eficiência do processo. O processo transcorreu de maneira fluida, comprovando a adequação do sistema para peças menores.

No entanto, ao realizar os mesmos testes com o anel de diâmetro maior, foi constatada uma restrição significativa no magazine que afetou diretamente a continuidade do processo produtivo, restrição esta que ocorreu quando o anel, devido ao seu diâmetro, colidiu com uma parede de repartição da máquina, impossibilitando seu deslocamento adequado. Essa limitação evidencia a necessidade de modificações estruturais no magazine para acomodar anéis de maior diâmetro.

Ao analisar o desempenho da pista, foi identificado que, no caso dos anéis de 50 milímetros, a pista não conseguia fechar-se adequadamente em torno da peça, comprometendo a estabilidade do anel durante a gravação e inspeções. A falta de um fechamento adequado gerou medições imprecisas, impactando negativamente a qualidade da gravação.

No processo envolvendo anéis de 160 milímetros, a pista apresentou um desafio diferente. Neste caso, foi necessário um ajuste para expandir a abertura da pista, garantindo que o anel de maior diâmetro fosse corretamente acomodado e estabilizado para a gravação. Contudo, o sistema de proteção da máquina apresentou restrições, com sensores que não fechavam o contato necessário para a operação correta da máquina, resultando em paradas inesperadas na produção.

Ao analisar a saída da máquina para os anéis de 50 milímetros de diâmetro, não foram observadas restrições significativas. O sistema de transporte operou de maneira eficiente, garantindo que os anéis fossem removidos sem dificuldades e mantivessem sua integridade durante o desabastecimento. A compatibilidade do anel de 50 milímetros com o fuso rotativo e

o canal de 720 milímetros foi confirmada, e o fluxo de produção transcorreu sem interrupções, como mostrado anteriormente nas figuras.

No entanto, para os anéis de 160 milímetros, surgiram restrições críticas que comprometeram o fluxo contínuo de produção. A primeira restrição foi observada durante o transporte do anel pelo fuso rotativo, responsável por mover o anel até o canal de desabastecimento. A incompatibilidade entre a abertura livre do anel de 160 milímetros e o diâmetro do eixo do fuso impediu o transporte adequado. A abertura livre, que excede 10 milímetros, resultou em dificuldades para acomodar o anel no fuso, o que causou bloqueios no sistema e interrompeu a eficiência do transporte.

Essa limitação no fuso rotativo teve um impacto direto no tempo de ciclo da produção, demandando intervenções manuais para corrigir o posicionamento dos anéis ou realizar ajustes que permitissem a continuação do processo. Como consequência, o fluxo produtivo foi interrompido, afetando diretamente a produtividade e aumentando o risco de falhas operacionais.

Além disso, uma segunda restrição foi identificada na etapa final do desabastecimento, especificamente no momento em que o anel de 160 milímetros deveria ser acomodado no canal de 720 milímetros. A incompatibilidade entre a abertura livre do anel e a seção transversal do canal de desabastecimento resultou em uma perda de estabilidade. Isso fez com que o anel se desprendesse, caísse fora de posição, e exigisse intervenções manuais para reposicionamento ou ajuste, comprometendo a continuidade do processo.

Esses bloqueios não só reduziram a eficiência do sistema, como também introduziram riscos adicionais de danos aos anéis, à própria máquina e até mesmo para o operador. A falta de suporte adequado no canal de desabastecimento tornou a operação vulnerável a falhas mecânicas, aumentando o risco de paradas não planejadas e retrabalhos.

Essas restrições evidenciam a necessidade de ajustes no projeto da máquina e no processo de manuseio das peças, incluindo a reconfiguração do fuso rotativo e do canal de desabastecimento. Para garantir a adaptabilidade da máquina a uma gama mais ampla de tamanhos de anéis, serão necessárias modificações estruturais e operacionais que assegurem um transporte seguro e eficiente, independentemente do diâmetro da peça.

A eliminação dessas restrições é essencial para garantir a repetibilidade, segurança e eficiência do processo produtivo, tanto para anéis de menor porte quanto para componentes de maior diâmetro. A análise aponta para a necessidade de uma abordagem multidisciplinar, envolvendo ajustes na mecânica da máquina, melhorias no sistema de segurança e otimização do *design* dos canais e fusos para garantir a compatibilidade com uma variedade de tamanhos

de anéis.

### 5.1 Propostas de melhoria

Após a análise detalhada das restrições da máquina, é possível identificar oportunidades de melhoria que visam aumentar a eficiência do sistema e garantir maior flexibilidade operacional. As propostas de melhoria estão voltadas para o aprimoramento do sistema de abastecimento, adequação do sistema de abertura e fechamento da pista e melhorias no sistema de proteção e saída, garantindo a integridade da máquina, dos produtos e principalmente a segurança do colaborador.

### 5.2 Proposta de melhoria do magazine

A restrição identificada no deslocamento dos anéis através do magazine ocorre devido à inadequação da abertura presente na parede de repartição da máquina. O diâmetro dos anéis, especificamente os de 160 milímetros, é superior à abertura criada nessa parede, resultando em bloqueios durante o processo de transporte. Essa limitação impede a fluidez da operação e compromete a eficiência da máquina ao lidar com componentes de maior dimensão.

Para solucionar esse problema, propõe-se a modificação da abertura na parede de repartição, adaptando-a para acomodar diferentes diâmetros de anéis sem comprometer a integridade do processo. A solução pode ser implementada por meio de um aumento da abertura presente nesta parede, em 10 milímetros conforme Figura 44. Esse ajuste garantiria a flexibilidade do equipamento, permitindo o manuseio eficiente de anéis de vários tamanhos, desde os menores até os maiores.

Figura 44 – Proposta para eliminação de restrição do magazine para anéis de 160 milímetros de diâmetro.



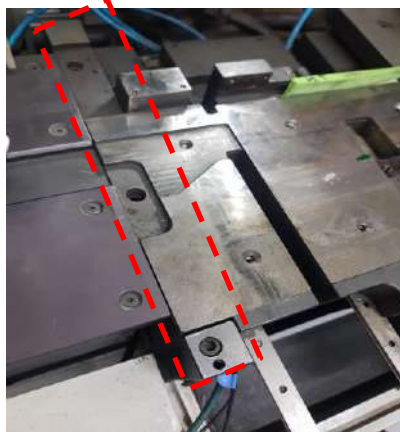
Fonte: Próprio autor (2024)

### 5.3 Proposta de melhoria da pista

A pista da máquina apresentou limitações no transporte de anéis de diferentes dimensões, especialmente em relação aos anéis de 50 milímetros e 160 milímetros. No caso dos anéis de 50 milímetros, uma das soluções sugeridas foi o desbaste de um ressalto limitador localizado na parte inferior da pista, conforme Figura 45.

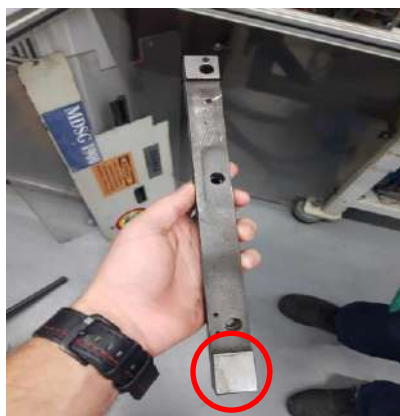
Esse ressalto apresentado na Figura 46, embora presente no projeto original da máquina, foi identificado, após estudos, como desnecessário, já que não desempenha nenhuma função significativa no processo produtivo. Sua permanência, portanto, representa uma restrição que prejudica o fluxo de produção. A eliminação dessa barreira é essencial para assegurar um transporte eficiente e contínuo dos anéis de 50 milímetros.

Figura 45 – Localização do ressalto limitador na parte inferior da pista



Fonte: Próprio autor (2024)

Figura 46 – Ressonho limitador



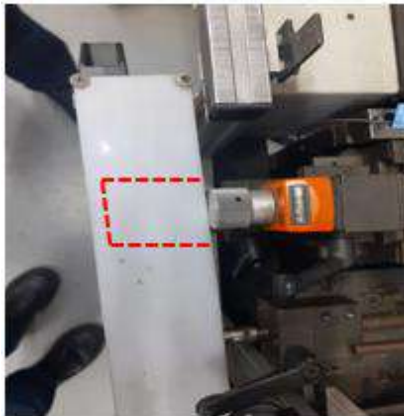
Fonte: Próprio autor (2024)

Ao desbastar o ressalto, o transporte dos anéis de 50 milímetros será realizado sem interrupções, eliminando possíveis riscos à qualidade do processo. Assim, garante-se um fluxo de produção mais fluido e otimizado, sem comprometer a integridade das peças ou a eficiência operacional.

Em relação aos anéis de 160 milímetros, as restrições identificadas estavam relacionadas às proteções instaladas na máquina para atender às exigências da NR-12. Essas proteções, apesar de essenciais para a segurança, impunham limitações ao transporte dos anéis maiores, interferindo no funcionamento dos sensores de segurança e, conseqüentemente, no processo produtivo.

Para solucionar este problema, foi proposta uma modificação na porta de proteção da máquina. A alteração consiste na abertura de um canal na parte superior da porta, permitindo o encaixe preciso do manípulo de regulagem na estrutura, representado na Figura 47. Com essa mudança, a pista pode se abrir o suficiente para permitir a passagem dos anéis de 160 milímetros, sem que o manípulo encontre qualquer obstrução. Isso assegura o correto acionamento dos sensores de segurança, mantendo o funcionamento contínuo e seguro da máquina. Além de resolver a limitação identificada, essa solução mantém a conformidade com as normas de segurança, garantindo a integridade do sistema de proteção.

Figura 47 – Proposta para eliminação de restrição da pista para anéis de 160 milímetros de diâmetro



Fonte: Próprio autor (2024)

Com essas modificações, a máquina poderá operar de forma mais versátil, permitindo o transporte de anéis de diferentes dimensões sem comprometer a qualidade, a segurança ou a eficiência do processo.

#### **5.4 Proposta de melhoria da saída**

Por fim, é fundamental abordar a etapa de desabastecimento da máquina, onde os anéis são removidos após o processo de gravação a laser. Essa fase desempenha um papel crucial no fluxo produtivo, pois é responsável por garantir que os anéis sejam devidamente retirados da máquina e encaminhados para as operações subsequentes, sem interrupções, danos ou perda de qualidade. No caso dos anéis de 50 milímetros de diâmetro, essa etapa ocorreu de maneira eficiente, sem apresentar qualquer restrição que comprometesse o fluxo produtivo.

Contudo, ao processar anéis de 160 milímetros de diâmetro, foram identificadas duas restrições críticas que comprometem a eficiência do desabastecimento e a conclusão do processo. A primeira restrição está associada ao transporte do anel até o canal de 720 milímetros, que é conduzido pelo fuso rotativo. Como discutido anteriormente, a incompatibilidade entre a abertura livre do anel de 160 milímetros e o diâmetro do fuso gera um problema significativo: o fuso não consegue acomodar o anel de forma adequada, dificultando o transporte eficiente. Essa limitação causa bloqueios que afetam diretamente a continuidade da produção, exigindo intervenções manuais que reduzem a produtividade e aumentam o tempo de inatividade da máquina.

A segunda restrição ocorre na etapa final do desabastecimento, onde o anel de 160 milímetros deveria ser corretamente acomodado no canal de 720 milímetros, finalizando assim o processo de produção nesta máquina. No entanto, a diferença entre a abertura livre do anel e a seção transversal do canal resulta em uma falta de estabilidade, fazendo com que o anel perca o alinhamento e caia. Essa instabilidade não só interrompe o fluxo produtivo, como também pode ocasionar danos ao anel ou ao equipamento, exigindo paradas inesperadas para ajustes e manutenções corretivas.

Para resolver esses problemas, propõe-se, primeiramente, a alteração do diâmetro do fuso rotativo na Figura 48 para um valor igual ou superior a 10 milímetros. Essa modificação permitirá que o fuso acomode de maneira adequada os anéis de 160 milímetros, eliminando o bloqueio atual e garantindo que o transporte ocorra de forma contínua e eficiente.

Figura 48 – Proposta para eliminação de restrição da saída para anéis de 160 milímetros de diâmetro



Fonte: Próprio autor (2024)

Além disso, sugere-se o redesenho do canal de desabastecimento, mostrado na Figura 49, de forma que ele apresente uma seção transversal mínima de 10 milímetros. Com essa alteração, o canal será capaz de acomodar os anéis maiores de forma estável, evitando quedas e garantindo a integridade do fluxo produtivo.

Figura 49 – Seção transversal do canal de desabastecimento



Fonte: Próprio autor (2024)

Essas propostas de melhoria visam aumentar substancialmente a eficiência e a confiabilidade do processo de transporte e desabastecimento dos anéis, com ênfase nos anéis de 160 milímetros. Ao implementar essas mudanças, o fluxo de produção será mantido sem interrupções, preservando tanto a integridade dos anéis quanto a durabilidade da máquina, resultando em um sistema de produção mais robusto e eficiente.

## 6. CONCLUSÃO

O presente trabalho teve como objetivo mapear, analisar e propor soluções para as restrições encontradas em um processo específico da produção de anéis para pistões de motores a combustão interna. Este processo fez o uso de uma máquina, a qual realiza inspeções e também faz gravações a laser das peças automotivas. O estudo decorreu visando aumentar o *range* de diâmetros fabricados nesta máquina e otimizar a produção da empresa. A partir dos objetivos específicos estabelecidos, foram alcançados os seguintes resultados:

Inicialmente, foi realizado o mapeamento das principais restrições da máquina, com foco no transporte de anéis de diferentes diâmetros. Entre as restrições mais significativas, destacaram-se a restrição no magazine, a abertura e o fechamento da pista e o fuso rotativo. Essas barreiras limitavam a produção eficiente de peças de diâmetro igual a 50 milímetros, e em especial os anéis de 160 milímetros.

A análise das causas dessas restrições demonstrou que o *design* atual da máquina e seus componentes não estava adequado para lidar com peças do diâmetro estudado, gerando falhas na alimentação e no transporte dos anéis. Além disso, o sistema de proteção e segurança apresentou dificuldades de atuação, no momento em que a máquina iniciava o processo de produção dos anéis maiores, interrompendo o fluxo produtivo.

Com base nesses problemas, foram propostas soluções que focaram em eliminar as restrições mapeadas com o menor custo e no menor prazo possível. Entre as sugestões, a modificação do fuso rotativo e a adaptação das portas onde os sensores de segurança estavam instalados, juntamente com a adaptação na carenagem da máquina, foram as principais medidas propostas, visando permitir o processamento eficiente de anéis de diâmetros variados, aumentando assim o *range* de atuação da máquina.

Após a implementação dessas propostas, espera-se que a máquina opere de maneira flexível tanto com anéis de 50 milímetros quanto com anéis de 160 milímetros. Com essas mudanças, pressupõe-se que a empresa poderá ter capacidade de produzir com maior agilidade e confiabilidade uma vasta gama de peças, o que amplia sua competitividade no mercado, sendo capaz de produzir 98,52% de toda produção do ano de 2023, ou seja, 8,3 pontos percentuais acima do estado atual.

Por fim, poderá ser levantado o impacto dessas atualizações na produção da empresa: a eliminação das restrições e o aumento do *range* de diâmetros fabricados, trazendo maior eficiência ao processo produtivo, resultando na redução de gargalos, no aumento da produtividade e, conseqüentemente, na melhoria dos indicadores de desempenho da linha de produção. Essas atualizações também poderão possibilitar maior flexibilidade na resposta às

demandas do mercado, atendendo a diferentes especificações de peças em menor tempo e com maior qualidade.

## 7. REFERÊNCIAS

ALMEIDA, E. V. The Industrial Revolution and Industry 4.0. 18º Congresso Nacional de Iniciação Científica, Jaguariúna - São Paulo, 2018. p. 6-10.

AYALA, F. A.; GERTY, M. D.; HEYWOOD, J. B. Effects of Combustion Phasing, Relative Air-fuel Ratio, Compression Ratio, and Load on SI Engine Efficiency: SAE International, 2006.

BELTRAMELLI N. S.; MELO, M. G. V. H. de.; Quarta Revolução Industrial e os impactos da era digital na morfologia e na regulação do trabalho. Revista de Estudos Constitucionais, Hermenêutica e Teoria do Direito (RECHTD), v. 14, n. 3, p. 539-558, set./dez. 2022. DOI: 10.4013/rechtd.2022.143.14. Disponível em: <https://doi.org/10.4013/rechtd.2022.143.14>. Acesso em: 4 dez. 2024.

BONATESTA, F. et al. Fuel economy analysis of part-load variable camshaft timing strategies in two modern small-capacity spark ignition engines. Applied Energy, v. 164, p. 475-491, 15 fev. 2016. ISSN 0306-2619. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030626191501507X>. Acesso em: [data de acesso].

BRUNETTI, Franco. Motores de Combustão Interna - Volume 1. 2012. p. 34.

CETNAROWSKI, Enrique; GRAMS, Cassiano André. Retrofit em máquinas industriais: estudo de caso. 2013. 61 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso Superior em Tecnologia em Mecatrônica Industrial) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

COX III, J. F.; SPENCER, M. S. Manual da Teoria das Restrições. Porto Alegre: Bookman, 2002.

FERNANDES, Flávio César Faria; FILHO, Moacir Godinho. Planejamento e controle da produção: dos fundamentos ao essencial. São Paulo - SP: Atlas, 2017.

FERGUSON, A. T. K. A. C. R. Internal Combustion Engines Applied Thermosciences. 3. ed. Colorado, USA: John Wiley & Sons, Ltd, 2015.

FRITZSON, Peter. Principles of Object-Oriented Modeling and Simulation with Modelica 2.1. 2. ed. Wiley-IEEE Press, 2010.

HAMZA EL BAHJA BOUKHARI. Estudio y mejora de un motor Wankel. Manresa – Espanha, 2021. Disponível em: [https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/354984/TFG\\_Hamza\\_El\\_Bahja\\_Boukhari.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/354984/TFG_Hamza_El_Bahja_Boukhari.pdf?sequence=1&isAllowed=y). Acesso em: [data de acesso].

HEYWOOD, John B. Internal Combustion Engine Fundamentals. 1. ed. USA: McGraw-Hill, Inc, 1988.

HEYWOOD, John B. Internal Combustion Engine Fundamentals. 2. ed. McGraw-Hill Education, 2018.

JOHANSSON, B. Division of Combustion Engines. Lund University, 2006.

MAHLE. *Piston systems*. Disponível em: <https://www.mahle.com/en/products-and-services/passenger-cars/piston-systems/>. Acesso em: 19 out. 2024.

MAHLE. *Cylinder components*. Disponível em: <https://www.mahle.com/en/products-and-services/passenger-cars/cylinder-components/>. Acesso em: 19 out. 2024.

POMPERMAYER, M. J.; LIMA, A.; STOCO, W. H. Busca de melhoria contínua em processo produtivo: Aplicações das ferramentas de gestão da qualidade. *Brazilian Journal of Development*, v. 6, n. 3, 2020. Curitiba-PR.

RIBEIRO, L.; GONÇALVES, A.; RODRIGUES, R. Pensamento A3: ferramenta de melhoria contínua aplicada em uma fábrica de luminárias. Varginha – MG, 2018. Disponível em: <http://repositorio.unis.edu.br/bitstream/prefix/647/1/Larisse%20-%20PRODU%C3%87%C3%83O.pdf>. Acesso em: [data de acesso].

ROSÁRIO, J. M. *Automação Industrial*. 2009.

SANDVIK Coromant. *Bloco de cilindro do motor*. Disponível em: <https://www.sandvik.coromant.com/pt-pt/industry-solutions/automotive/engine/cylinder-block>. Acesso em: 19 out. 2024.

SCHWAB, K. *A quarta revolução industrial*. São Paulo: Edipro, 2016.

SENAI. *Doutor em Motores: Capítulo I - Anéis*. [S.l.]: Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial, [s.d.]. Disponível em: [http://www.volkspage.net/technik/manuais/catalogos/02/senai\\_motores.pdf](http://www.volkspage.net/technik/manuais/catalogos/02/senai_motores.pdf). Acesso em: 12 nov. 2024.

STANDING, G. O precariado e a luta de classes. *Revista Crítica de Ciências Sociais*, v. 103, n. 1, p. 9-24, 2014.

STONE, Richard. *Introduction to Internal Combustion Engines*. 3. ed. Palgrave Macmillan, 1999.

TAMBASCO, Virgínia F. M.; QUELHAS, Osvaldo L. G. O desenvolvimento da metodologia e os processos de um "retrofit" arquitetônico. Niterói – Rio de Janeiro, 2012. p. 449.

SMARTSHEET. *Guia definitivo sobre a Teoria das Restrições*. Disponível em: <https://pt.smartsheet.com/all-about-theory-of-constraints>. Acesso em: 8 nov. 2024.

SMITH, A. *Riqueza das nações*. São Paulo: Madras, 2009. 744 p.

VOLVO. *Virabrequim do motor para caminhões Volvo VM Reman 85030958*. Disponível em: <https://www.volvopecas.com.br/virabrequimdomotorparacaminhoesvolvovmreman85030958/> p. Acesso em: 13 nov. 2024.