

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA  
CATARINA - CAMPUS JARAGUÁ DO SUL - RAU  
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM FABRICAÇÃO MECÂNICA

FRANCISCO RODOLFO NOGUEIRA ALENCAR

ESTUDO DE CASO DE REDUÇÃO DE RETRABALHO NO PROCESSO DE  
MONTAGEM NA FABRICAÇÃO DE CILINDROS HIDRÁULICOS

JARAGUÁ DO SUL

AGOSTO DE 2024

FRANCISCO RODOLFO NOGUEIRA ALENCAR

ESTUDO DE CASO DE REDUÇÃO DE RETRABALHO NO PROCESSO DE  
MONTAGEM NA FABRICAÇÃO DE CILINDROS HIDRÁULICOS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso Superior de Tecnologia em Fabricação Mecânica do Campus Jaraguá do Sul – Rau, do Instituto Federal de Santa Catarina como requisito parcial para a obtenção do diploma de Tecnólogo em Fabricação Mecânica.

Orientador: Edson Sidnei Maciel Teixeira, Dr

JARAGUÁ DO SUL

AGOSTO DE 2024

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
por meio do programa de geração automática do câmpus Rau, do IFSC

Alencar, Francisco Rodolfo Nogueira  
Estudo de caso de redução de retrabalho no processo  
de montagem na fabricação de cilindros hidráulicos / Francisco  
Rodolfo Nogueira Alencar ; orientação de Edson  
Sidnei Maciel Teixeira. Jaraguá do Sul, SC, 2024.  
87 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) - Instituto Federal  
de Santa Catarina, Câmpus Jaraguá do Sul -  
Rau. Tecnologia em Fabricação Mecânica. .  
Inclui Referências.

1. Ciclo PDCA. 2. Metrologia. 3. Norma de usinagem.  
4. Ferramentas da qualidade. I. Teixeira, Edson Sidnei  
Maciel. II. Instituto Federal de Santa Catarina. .  
III. Título.

FRANCISCO RODOLFO NOGUEIRA ALENCAR

ESTUDO DE CASO DE REDUÇÃO DE RETRABALHO NO PROCESSO DE  
MONTAGEM NA FABRICAÇÃO DE CILINDROS HIDRÁULICOS

Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do título em Tecnólogo em  
Fabricação Mecânica, pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de  
Santa Catarina, e aprovado na sua forma final pela comissão avaliadora abaixo  
indicada.

Jaraguá do Sul, 12 de agosto de 2024.

---

Prof. Dr. Edson Sidnei Maciel Teixeira  
Orientador  
IFSC – Campus Jaraguá do Sul - RAU

---

Prof. Me. Delcio Luis Demarchi  
IFSC – Campus Jaraguá do Sul - RAU

---

Prof. Dr. Gil Magno Portal Chagas  
IFSC – Campus Jaraguá do Sul - RAU

Dedico este trabalho a minha avó Maria Nogueira Alencar,  
que foi minha segunda mãe, apesar das dificuldades  
sempre me ensinou o caminho da honestidade e do  
trabalho para caminhar na estrada da vida.

## **AGRADECIMENTOS**

Em primeiro lugar agradeço a Deus por me dar força e saúde para não desistir nos momentos de dificuldades.

Agradeço em especial a minha família por estar sempre do meu lado me apoiando.

A todos os professores do Instituto Federal que foram de suma importância na minha formação, ao meu professor orientador que soube conduzir o meu trabalho de conclusão de curso de acordo com as características e necessidades do tema para obter o melhor resultado possível.

A equipe da Jartec Automação Industrial que sempre esteve aberta na ajuda de materiais de pesquisa.

Seja você quem for, seja qual for a posição social que  
você tenha na vida, a mais alta ou a mais baixa, tenha  
sempre como meta muita força, muita determinação e  
sempre faça tudo com muito amor e com muita fé em  
Deus, que um dia você chega lá. De alguma maneira você  
chega lá .

(Ayrton Senna, 1994)

## RESUMO

Com a concorrência das empresas cada vez maior em todos os segmentos, manter-se competitivo no mercado com grandes companhias ao seu redor torna cada vez mais desafiador o processo de gerir um negócio como empreendedor. Vendo em conta a capacidade produtiva da empresa em atender seus clientes com maior eficácia dentro do prazo estabelecido, tornou-se o principal desafio deste trabalho. Com a proposta em um estudo de caso de redução de retrabalho no processo de montagem, em uma empresa do ramo de fabricação de cilindros hidráulicos. Foram apontados os principais desvios produtivos que vêm comprometendo a produção com atrasos na entrega do produto final. Nessa ocasião foi feito um levantamento de dados de retrabalho na linha de montagem dos cilindros hidráulicos contendo dados das quais foram trabalhadas no período de trinta dias, para observar e fazer uma análise das principais causas que impactam o procedimento produtivo que ocasionam retrabalho e atraso no prazo de entrega do setor. Contendo esses dados observou se as principais causas frequentes de retrabalho do processo, tendo como objetivo específico em propor soluções de melhoria usando ferramentas da qualidade que contribuem para aplicação de análise de pesquisa e soluções como o ciclo PDCA, tendo em vista em reduzir o índice de retrabalho e diminuindo os atrasos na entrega final do produto. Assim, após uma nova rodada de levantamento de defeitos de montagem chegou-se ao resultado de redução em 90% em relação aos itens mais críticos do primeiro levantamento. Isso indica que as ações foram eficientes para reduzir os problemas de fabricação.

Palavras-Chave: Ciclo PDCA, Metrologia, Norma de usinagem, Ferramentas da qualidade.

## ABSTRACT

With increasing competition from companies in all segments, staying competitive in the market with large companies around you makes the process of managing a business as an entrepreneur increasingly challenging. Considering the company's productive capacity to serve its customers more effectively within the established deadline, it became the main challenge of this work. With the proposal in a case study of reducing rework in the assembly process, in a company manufacturing hydraulic cylinders. The main production deviations that have been compromising production with delays in the delivery of the final product were highlighted. On this occasion, a survey of rework data on the hydraulic cylinder assembly line was carried out, containing data on which work was carried out over a period of thirty days, to observe and analyze the main causes that impact the production procedure, causing rework and delays in the deadline. of delivery in the sector. Containing this data, the main frequent causes of process rework were observed, with the specific objective of proposing improvement solutions using quality tools that contribute to the application of research analysis and solutions such as the PDCA cycle, with a view to reducing the rate of rework and reducing delays in the final delivery of the product. Thus, after a new round of surveying assembly defects, the result was a 90% reduction in relation to the most critical items from the first survey. This indicates that the actions were efficient in reducing manufacturing problems.

Keywords: PDCA Cycle, Metrology, Machining Standard, Quality Tools

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Cilindro Hidráulico	14
Figura 2 - Mostra simplificadamente a estrutura de um cilindro hidráulico	15
Figura 3 - Cilindro de ação dupla com tirantes e fixação por flange na tampa dianteira	17
Figura 4 - Cilindro de ação dupla com tirantes de fixação por olhal articulado traseiro.	17
Figura 5 - Cilindro de ação dupla com cabeçotes redondos e sistema de fixação por flange na tampa dianteira.	18
Figura 6 - Cilindro de ação dupla com cabeçote redondo com fixação por olhal articulado na tampa traseira.	19
Figura 7 - Cilindro de ação dupla com cabeçote redondo com fixação por olhal articulado na tampa traseira soldado.	19
Figura 8 - Comparação entre os sistemas hidráulico e Pneumático	21
Figura 9 - Definições de cálculos para pressão e vazão	22
Figura 10 - Viscosidade dos óleos hidráulicos industriais a 40°C	24
Figura 11 - Classificação dos processos de usinagem	25
Figura 12 - Alguns tipos de torneamento	26
Figura 13 - Tipos básicos de fresamento	26
Figura 14 - Ilustra o processo de furação com uma broca	27
Figura 15 - Alguns tipos de operações de rosqueamento	28
Figura 16 - Alguns formatos de filetes de roscas e aplicações.	29
Figura 17 - Parâmetro para cálculo de rosca métricas triangulares	30
Figura 18 - Tabela de rosca externa - Série de roscas finas classe de tolerância 6g31	35
Figura 19 - Tabela de rosca interna - Série de roscas finas classe de tolerância 6H32	35
Figura 20 - Indica a qualidade de trabalho para eixos e furos	34
Figura 21 - Tolerância para eixo representadas por letras minúsculas do sistema ISO	35
Figura 22 - Tolerância para furos representadas por letras maiúsculas do sistema ISO	35
Figura 23 - Indicação de tolerâncias conforme ABNT/ISO	35
Figura 24 - Partes da tabela ABNT/ISO	36
Figura 25 - Símbolos para características de tolerâncias de uma peça	37
Figura 26 - Mostra um tipo de calibrador tampão para furos	39
Figura 27 - Calibrador tipo boca	39
Figura 28 - Calibradores tipo anéis para verificação de roscas externas.	40
Figura 29 - Calibrador tipo tampão para rosca interna	40
Figura 30 - Calibrador de boca de roletes para calibragem de rosca externas	41
Figura 31 - Etapas do ciclo PDCA	43
Figura 32 - Representação das figuras básicas de um fluxograma	44
Figura 33 - Diagrama de Pareto	45
Figura 34 - Exemplo do diagrama de causa e efeito	47
Figura 35 - Exemplo de tabela para a ferramenta 5W2H	48
Figura 36 - Cilindros hidráulicos produzidos pela empresa	51
Figura 37 - Layout do setor de usinagem e montagem	52
Figura 38 - Fluxograma do processo produtivo no setor de produção	53
Figura 39 - Folha de apontamento de dados preenchida na montagem	55
Figura 40 - Visão geral dos dados coletados	55

Figura 41 - Tipos de retrabalho encontrado	56
Figura 42 - Gráfico de Pareto defeitos totais	57
Figura 43 - Êmbolo com diâmetro interno liso e êmbolo com diâmetro interno com rosca	58
Figura 44 - Exemplo de um êmbolo e a haste de fixação	59
Figura 45 - Ponteiras rosqueada na ponta das hastes	60
Figura 46 - Diagrama de Ishikawa diâmetro interno do êmbolo apertado	61
Figura 47 - Principais problemas com roscas	61
Figura 48 - Diagrama de Ishikawa sobre as possíveis causas de problemas nas roscas.	62
Figura 49 - Verificação do diâmetro da haste no encaixe do êmbolo.	64
Figura 50 - Mostra o diâmetro da rosca fora do especificado	64
Figura 51 - Mostra o diâmetro interno do êmbolo conforme o desenho técnico	65
Figura 52 - Êmbolo com interferência de montagem na haste	66
Figura 53 - Acompanhamento da usinagem de uma ponteira	67
Figura 54 - Acompanhamento dimensional da haste lado êmbolo	68
Figura 55 - Imagem da produção da ponteira	69
Figura 56 - Ilustra o corte de serra na ponteira	70
Figura 57 - Acompanhamento dimensional na fabricação da haste lado ponteira	71
Figura 58 - Acompanhamento da montagem final dos cilindros	71
Figura 59 - Dados coletados após a aplicação da norma	72
Figura 60 - Tipos de retrabalho encontrado após a aplicação da norma	73
Figura 61 - Gráfico de Pareto após a aplicação da norma	73
Figura 62 - Exemplo de montagem dos cabeçotes traseiro e dianteiro	75
Figura 63 - Exemplo de duas hastes lado êmbolo e suas porcas de fixação	76
Figura 64 - Comparando os resultados encontrados nas duas coletas de dados	77
Figura 65 - Comparando individualmente os resultados encontrados nas duas coletas de dados	78

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Comparando individualmente os resultados dos principais problemas encontrados nas duas coletas de dados.	79
Quadro 2 - Principais calibradores de roscas	80

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	14
2.1 Cilindros hidráulicos	14
2.1.1 Alguns tipos de cilindros construtivos	16
2.1.2 Conceitos aplicados a hidráulica e a cilindros hidráulicos	20
2.2 Características dos processos de fabricação	24
2.2.1 Rosqueamento e roscas	27
2.3 Fundamentos da metrologia, tolerâncias e calibradores	32
2.3.1 Calibradores	38
2.4 Sistema e ferramentas da qualidade no processo produtivo	41
2.4.1 O Ciclo PDCA	42
2.4.2 Fluxograma	44
2.4.3 Diagrama de Pareto	45
2.4.4 <i>Brainstorming</i>	46
2.4.5 Diagrama de causa e efeito ou diagrama de <i>Ishikawa</i>	46
2.4.6 5W2H	47
3 METODOLOGIA	50
3.1 Apresentação da empresa do estudo de caso	50
3.2 Coleta de dados	54
3.3 Análise dos dados	56
3.3.1 Principais componentes com problema de montagem	57
4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	63
4.1 Análise e acompanhamento de retrabalhos no chão de fábrica	63
4.1.1 Análise da haste lado êmbolo e análise do êmbolo no chão de fábrica.	63
4.1.2 Análise e acompanhamento da ponteira no chão de fábrica	66
4.2 Análise e acompanhamento da fabricação após a aplicação da norma ABNT NBR ISO 965 -2	67
4.2.1 Análise dimensional da haste lado êmbolo	68
4.2.2 Acompanhamento dimensionais na fabricação da ponteira	68
4.2.3 Acompanhamento dimensionais na fabricação da haste lado ponteira	70
4.2.4 Acompanhamento da montagem final dos cilindros hidráulicos	71
4.3 Análise e coletas de dados após a aplicação da norma ABNT NBR ISO 965-2.	72
4.3.1 Principais problemas encontrados após nova coletas de dados	74
5 CONCLUSÃO	81

## 1 INTRODUÇÃO

A atualidade do mercado industrial ou de outros segmentos torna cada vez mais desafiador o processo de gerir e manter as empresas competitivas estabelecendo metas e qualidades que venham manter seus clientes com *feedback* positivo e atrair olhares de outros parceiros para continuar inovando e crescendo a cada ano. Para que isso aconteça é fundamental o relacionamento transparente com todos os segmentos envolvidos na produção de seu produto. Com as novas tecnologias cada vez mais presentes no cotidiano, as exigências por um produto de qualidade dentro das tolerâncias dimensionais e normas especificadas de acordo com o seguimento contribuem para uma padronização e confiabilidade.

A usinagem é um dos processos mais utilizados quando se fala na fabricação de componentes e máquinas industriais, e não é diferente no caso da produção de cilindros hidráulicos. Os cilindros hidráulicos são compostos de vários componentes e para que a montagem dos mesmos não ocorra com interferências, é necessário garantir uma gama de fatores especificados, desde o projeto até a montagem. Assim, a usinagem é um processo essencialmente prático que envolve um elevado número de variáveis e por causa destes fatores, há uma grande quantidade de medidas a serem acompanhadas no processo. (Blucher 2011).

Segundo Rodrigues (2020), para a análise e melhoria contínua da qualidade dos bens e serviços em uma organização, o monitoramento dos registros é muito importante. É a partir dos levantamentos de dados que tem início o desenvolvimento de um processo de melhoria. O registro alimenta o projeto responsável pela concepção do produto durante e após o desenvolvimento, identificando as causas raízes que vem ocasionando atrasos no processo de fabricação dos cilindros hidráulicos.

Neste caso, a forma analisada como suporte da qualidade é o conceito do ciclo PDCA (*Plan, Do, Check, Act*) e, de modo geral as empresas industriais utilizam este conceito como modelo para análise da causa-raiz. Com um estudo de caso de redução de retrabalho no processo de montagem na fabricação de cilindros hidráulicos, em uma empresa que atua com este segmento, foram apontados os principais desvios produtivos que vêm comprometendo a produção com atrasos na entrega do produto final. Nessa ocasião foi feito um levantamento de dados de retrabalho na linha de

montagem dos cilindros hidráulicos contendo dados das quais foram trabalhadas no período de trinta dias, para observar e fazer uma análise das principais causas que impactam o procedimento produtivo que ocasionam atrasos no prazo de entrega do produto. Analisando os dados do registro do período de trinta dias observou se que as principais causas do índice de retrabalho que são ocasionadas em componentes onde exigem rosca no processo de montagem, e ajustes em medidas com tolerâncias mais justas, em que muitas das vezes essas peças não se encaixam tendo que ser retornadas a produção para serem retrabalhadas novamente no setor de usinagem.

Neste trabalho primeiramente foi optado a fazer um levantamento de dados das causas raízes, propor soluções e processos que venham a melhorar e garantir a regularidade do procedimento atual, para que não ocorra retrabalhos repetitivos, assim atendendo à satisfação do cliente em receber o seu produto dentro do prazo programado.

## **1.1 Objetivos**

### **1.1.1 Objetivo geral**

Reduzir o índice de retrabalho na fabricação de cilindros hidráulicos, que ocasionam atrasos para o cliente.

### **1.1.2 Objetivo específico**

Identificar as possíveis causas de retrabalho na montagem dos cilindros hidráulicos.

Classificar e analisar as causas de maior importância.

Propor melhorias para o processo conforme análises realizadas.

Reduzir o índice retrabalho na montagem

Melhorar o índice de atraso da entrega do produto ao cliente

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Esta fundamentação teórica apresenta a estrutura do trabalho que servirá para facilitar o entendimento do desenvolvimento. Está organizada em tópicos que levam em conta os conceitos apresentados neste trabalho.

### 2.1 Cilindros hidráulicos

O cilindro hidráulico é um equipamento para transformar a energia hidráulica em energia mecânica através da pressurização do fluido hidráulico. Tem a função de executar movimentos de translação (lineares) e com isso transmitir forças. Sua função é aplicar ou atuar energia mecânica sobre uma máquina fazendo-a realizar um determinado trabalho (MOREIRA, 2012). Na Figura 1 pode-se verificar a ilustração de um cilindro hidráulico.

Figura 1 - Cilindro Hidráulico



Fonte: Manx hidráulica (2020)

Segundo Moreira (2012), todos os projetos de um sistema hidráulico começam pelos atuadores, uma vez definido o tipo de movimento desejado na máquina ou equipamento. Após ser definido o atuador e como ele irá trabalhar, a força e velocidade de atuação serão selecionados os demais componentes que completam o sistema hidráulico. Os atuadores são classificados basicamente em dois tipos: rotativos giratórios e lineares.

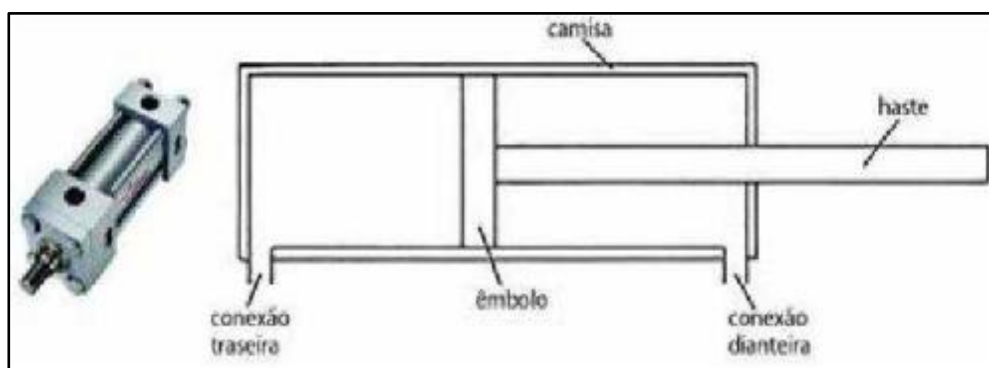
Atuadores rotativos giratórios, chamados de motores hidráulicos, produzem energia hidráulica em energia mecânica através de movimentos de rotação contínua ou circulares com o ângulo de giro limitado.

Conforme Moreira (2012), os atuadores lineares, também conhecidos como cilindros hidráulicos, transformam energia hidráulica em energia mecânica através de movimentos lineares de ida e volta. Os atuadores lineares simplificados, possuem uma carcaça tubular chamada de camisa, um êmbolo provido de anéis de vedações e fitas guias, uma haste cilíndrica presa ao êmbolo, na qual será fixado ao conjunto mecânico a ser movimentado e os cabeçotes traseiros e dianteiros onde se localizam as conexões de entrada e saída do óleo hidráulico.

A camisa é construída de tubo de aço sem costura com acabamento fino na superfície interna. A haste constituída de aço com acabamento fino retificado e polido que possui um banho de metal duro e anticorrosivo (cromo). Já o êmbolo é fabricado em aço que possui canais para elementos de fitas guias e vedações, a fim de evitar vazamento de óleo entre as câmaras dianteira e traseira, através da folga entre o diâmetro externo do êmbolo e o diâmetro interno da camisa. As vedações de um sistema hidráulico são necessárias para manter a pressão e impedir a perda de óleo e evitar contaminação. Essas vedações possuem muitos tipos de materiais aplicados e são dimensionados para cada aplicação (MOREIRA, 2012).

Em geral os pórticos de entrada e saída do óleo situam-se nos cabeçotes dianteiro e traseiro. Além disso os cabeçotes dianteiros possuem um elemento de vedação para evitar vazamento de óleo através de folgas existente entre o diâmetro externo da haste e o diâmetro interno da bucha, além de um retentor limpador para evitar a penetração de sujeira na câmara dianteira do cilindro durante o movimento de retorno da haste. A Figura 2, ilustra simplificada a estrutura de um cilindro.

Figura 2 - Mostra simplificada a estrutura de um cilindro hidráulico



Fonte : Moreira (2012)

Segundo Moreira (2012), os cilindros hidráulicos são construídos de acordo com o tipo de aplicação. Podem ser utilizadas em máquinas operatrizes como tratores, veículos industriais e agrícolas, sistemas aeronáuticos, barragens, indústrias siderúrgicas além de uma infinidade de outras aplicações.

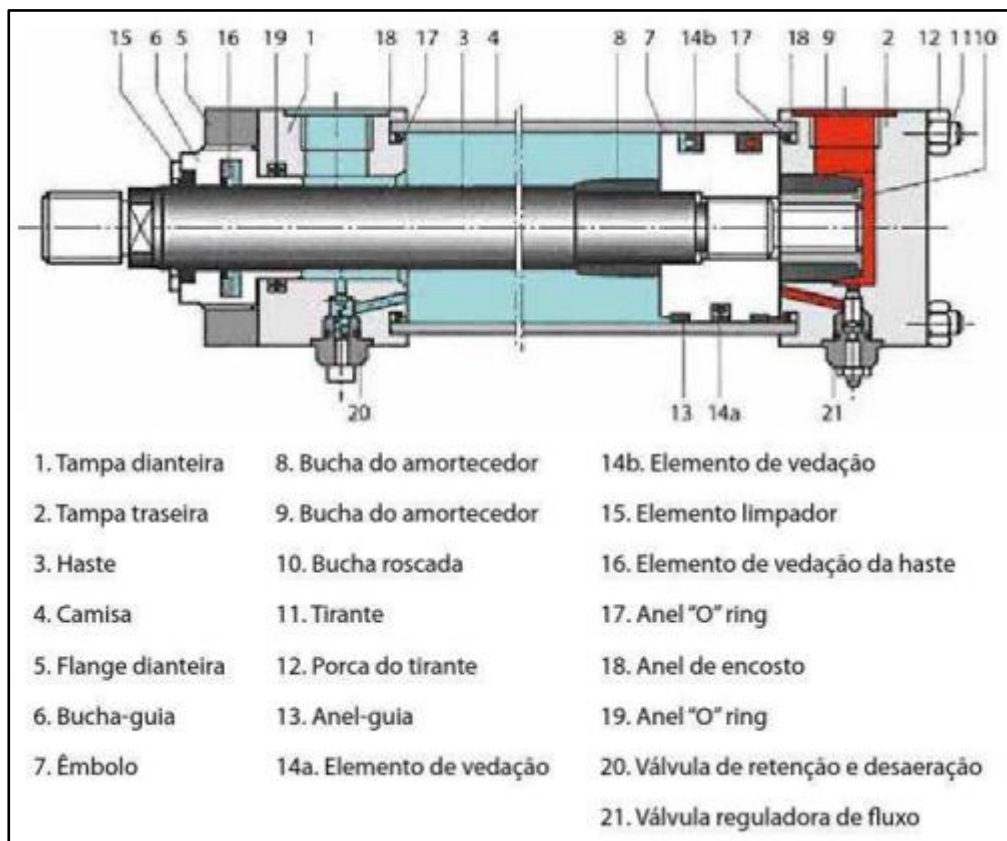
Conforme Valdo (2023), os construtivos mais comuns, com base no cilindro de ação simples ou no diferencial de ação dupla, são os modelos tirantados (*tie rod*), que utilizam tirantes de aço para manter unidas os dois cabeçotes dianteiro e traseiro com a camisa do cilindro.

Já os cilindros redondos (*mill type*), são projetados para durabilidade e confiabilidade, visando reduzir tempo de parada de manutenção. Neste caso, os êmbolos e hastes são maiores e contêm vedações robustas. Os tubos ou camisas são projetados com espessuras maiores e a usinagem de dimensões precisas, podem ter corpo (camisa), soldado ou rosqueado nos cabeçotes, que tornam esses tipo de cilindros aptos a trabalhar com altas pressões e condições extremas (VALDO, 2023).

### 2.1.1 Alguns tipos de cilindros construtivos

Apresentação de alguns tipos de cilindros hidráulicos. Cilindro de ação dupla com tirantes e sistema de fixação por flange na tampa dianteira conforme a Figura 3.

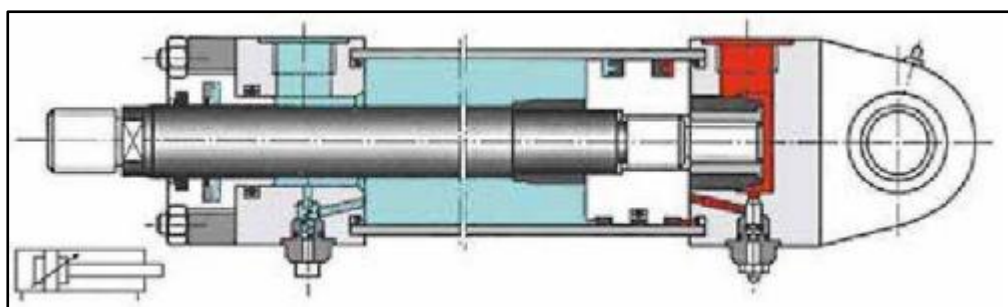
Figura 3 - Cilindro de ação dupla com tirantes e fixação por flange na tampa dianteira



Fonte: Moreira (2012)

O cilindro de ação dupla com tirantes e sistema de fixação por olhal articulado na tampa traseira é apresentado conforme a Figura 4.

Figura 4 - Cilindro de ação dupla com tirantes de fixação por olhal articulado traseiro.



Fonte: Moreira (2012)

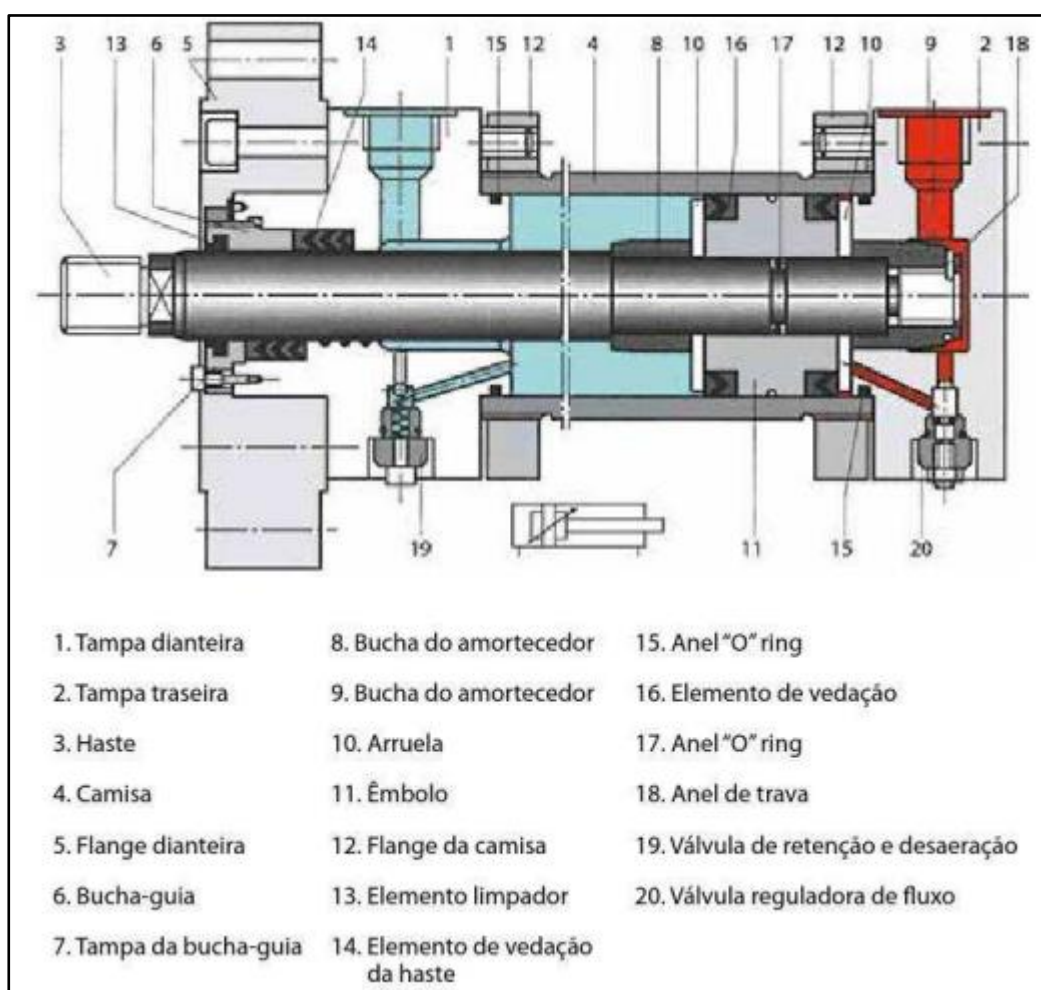
As características desse tipo de cilindro são:

- Fixação da tampa dianteira e traseira por meio de tirante;
- Bucha guia roscada na tampa dianteira;
- Vedação com anel deslizante ou em "u";

- Amortecimento no final de curso regulável nos dois sentidos de movimentos;
- Sistema de desaeração nas tampas dianteiras e traseiras;

Já o cilindro de ação dupla com cabeçotes redondos e sistema de fixação por flange na tampa dianteira é apresentado na Figura 5.

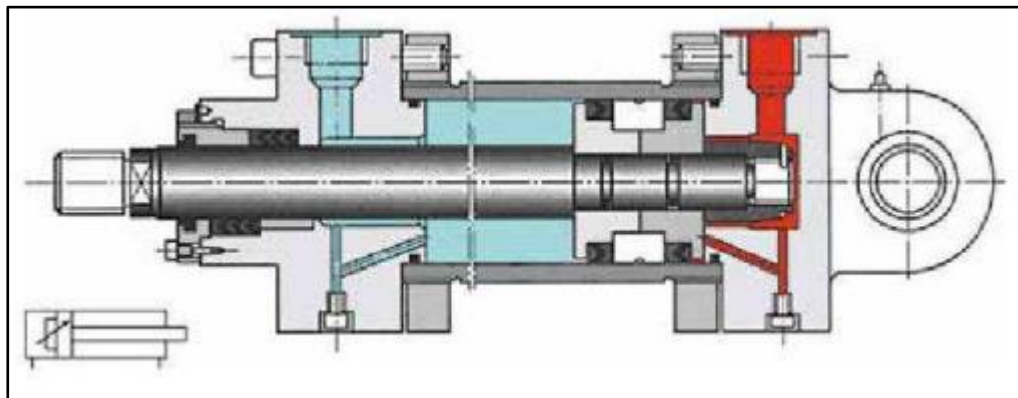
Figura 5 - Cilindro de ação dupla com cabeçotes redondos e sistema de fixação por flange na tampa dianteira.



Fonte: Moreira (2012)

Já o cilindro de ação dupla com cabeçotes redondos e sistema de fixação por olhal articulado na tampa traseira conforme mostra a Figura 6.

Figura 6 - Cilindro de ação dupla com cabeçote redondo com fixação por olhal articulado na tampa traseira.



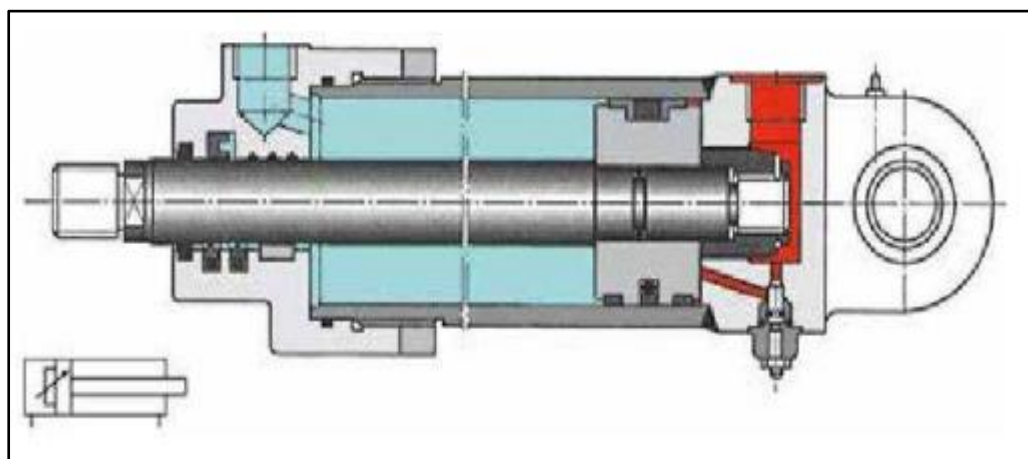
Fonte: Moreira (2012)

As principais características são:

- Tampas dianteira e traseira fixadas na camisa por meio de flanges;
- Bucha guia roscada ou encaixada na tampa dianteira;
- Guia do êmbolo em bronze;
- Vedação do tipo “chevron”;
- Sem amortecimento no final de curso;
- Fixação do êmbolo por meio de bucha roscada;
- Com plugues de desaeração nas tampas traseiras e dianteiras;

Cilindro de dupla ação com cabeçote redondo com fixação por olhal articulado na tampa traseira soldado na camisa ilustrado na Figura 7.

Figura 7 - Cilindro de ação dupla com cabeçote redondo com fixação por olhal articulado na tampa traseira soldado.



Fonte: Moreira (2012)

- Tampa dianteira roscada diretamente na camisa, com contra porca de trava;
- Tampa traseira soldada na camisa;
- Haste guiada diretamente pela tampa dianteira ou por meio de fita guia;
- Vedação com anel deslizante ou em “U”;
- Amortecimento no final de curso regulável, para o movimento de retorno;
- Sistema de desaeração somente na tampa traseira.

### 2.1.2 Conceitos aplicados a hidráulica e a cilindros hidráulicos

Segundo Fialho (2013), a palavra hidráulica é proveniente do grego que significa “*hidros*”, que significa água, ou mais precisamente água conduzidas em tubos. É a ciência que estuda líquidos em escoamento sob pressão.

A hidráulica nos permite a obtenção de força usando um fluido como um meio de trabalho. Com a automação aplicada a hidráulica é possível direcionar a força para o sistema ou equipamento especificado. (FIALHO, 2013).

Fialho (2015) define que um projeto que requer automação em máquinas através de movimentos como translação, rotação, levantamento de cargas e controle de velocidade pode ser feita obtendo os princípios da pneumática e da hidráulica, onde o ar comprimido e também o fluido (normalmente óleo sob pressão) são as principais fontes de energia utilizados. Para definir quando utilizar o sistema hidráulico ou pneumático a Figura 8 ilustra alguns tópicos importantes para a escolha adequada.

Figura 8 - Comparação entre os sistemas hidráulico e Pneumático

Vantagens
<ul style="list-style-type: none"> <li>» Propicia força elevada e constante por longos períodos de tempo.</li> <li>» Permite elevada precisão de operação, um pouco menor que o acionamento de motores elétricos, porém, maior que os atuadores pneumáticos.</li> </ul>
Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> <li>» Tende a ser um pouco mais lento que o sistema pneumático.</li> <li>» Requer fonte de energia e manutenção.</li> <li>» As válvulas devem ser precisas e são de custo elevado.</li> <li>» Está sujeito a vazamentos de óleo do sistema</li> </ul>
Sistema pneumático
Vantagens
<ul style="list-style-type: none"> <li>» Acionamento rápido (rápida resposta).</li> <li>» Permite funcionamento em altas velocidades (até 0,1 m/s).</li> <li>» Pode manter força constante (menor do que o acionamento hidráulico).</li> <li>» Fácil manutenção.</li> <li>» Custo relativamente baixo</li> </ul>
Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> <li>» Precisão pouco apurada.</li> <li>» Força muito menor, se comparada a um sistema hidráulico.</li> <li>» Está sujeito a vibrações momentâneas</li> </ul>

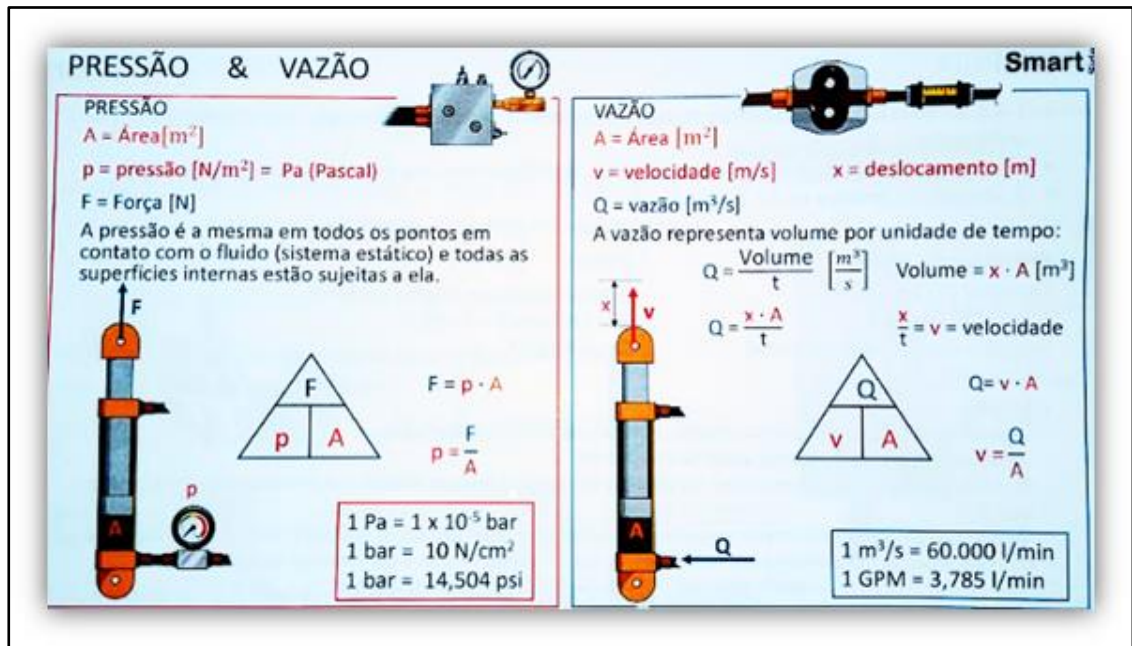
Fonte: Fialho (2015)

Ainda conforme Fialho (2015), alguns conceitos são importantes para o entendimento do sistema hidráulico.

- Hidráulica: Palavra de origem grega, derivada da união de *hydra* (água) e *aulos* (condução, aula, tubos), identifica uma parte da física que estuda o comportamento dos líquidos em movimentos e em repouso.
- Hidrostática: Ciência que estuda os líquidos sob pressão (mecânica dos fluidos estáticos, seguida de condições de líquido dos fluidos).
- Hidrodinâmica: Ciência que estuda os líquidos em movimento (teoria da vazão) e, mais precisamente, de energia cinética.
- Pressão: Em se tratando de hidrostática, é possível definir pressão como a força que um fluido exerce por unidade de área do recipiente que contém no SI, a sua unidade é dada em N/m<sup>2</sup> ou Pa.
- Vazão: Pode ser definida como sendo a quantidade volumétrica ou mássica de um fluido que escoar através de uma seção de uma tubulação ou canal por

unidade de tempo. Vazão volumétrica - É definida como sendo a quantidade em volume que escoar através de certa seção num intervalo de tempo considerado. A Figura 9 mostra algumas definições de cálculos de pressão e vazão.

Figura 9 - Definições de cálculos para pressão e vazão



Fonte: Valdo (2023)

Conforme Valdo (2023), o fluido hidráulico é o elemento vital de um sistema hidráulico servindo como meio de transmissão de energia, lubrificante, veículo de transferência de calor e vedante (ex: película de óleo entre carretel e corpo). A composição do fluido é 99% de base (Óleo) e 1% de aditivos. Os tipos de base são:

- Petróleo (óleo mineral): Mais comum e universal, com custo baixo, boas características em viscosidade e lubrificação, trabalha bem com outros aditivos. Na hidráulica industrial o óleo mineral é o mais utilizado.
- Biodegradável: Mais caro, baseado em óleos vegetais, utilizados em aplicações onde não pode haver grande impacto ambiental, oxida mais rapidamente, não combina bem com aditivos.
- Resistente a fogo: Usado onde há superfícies quentes ou chamas, com risco de incêndio, sacrifica a performance em função da proteção contra incêndio, alguns não pegam fogo, outros podem pegar mais não sustentam a chama,

disponíveis com várias composições, água-óleo, água-glicol e fluidos sintéticos (fosfatos e poliésteres), porém tem um valor elevado e mais agressivos as vedações dos cilindros requerendo vedações especiais.

Segundo Rexroth (2005), a viscosidade é a resistência que o fluido apresenta ao escoamento é importante na seleção de um fluido de pressão, pois se altera em função da sua temperatura. No SI (Sistema Internacional) é dada em  $\text{mm}^2/\text{s}$ . A viscosidade não caracteriza a qualidade do fluido de pressão, mas define seu comportamento em uma determinada temperatura de referência. A percepção está ligada a grossura ou resistência ao despejamento, que descreve a resistência interna do material a fluir, e deve ser entendida como a medida de atrito do fluido.

Segundo Brunetti (2008), a viscosidade pode ser dinâmica (absoluta) e cinemática (relativa), onde a viscosidade absoluta vem da lei de Newton da viscosidade. Newton, quando fez seus experimentos percebeu que a taxa de cisalhamento que o fluido sofria dependia de uma propriedade que era relacionada a de um fluido que ele utilizava. A essa propriedade deu-se o nome de viscosidade absoluta. A viscosidade cinemática nada mais é que a viscosidade absoluta dividido pela massa específica, ou seja quanto maior a viscosidade maior vai ser a dificuldade do escoamento acontecer.

Segundo Valdo (2023), a viscosidade é a medida da resistência do fluido ao escoamento, ou seja, com viscosidade do fluido alta, existem altas resistências. Com viscosidade baixa, há baixa resistência. Assim, a viscosidade cinemática varia com a temperatura. Como base na norma ISO 3448 que define a viscosidade dos lubrificantes industriais, a classificação conta a VG (*viscosity grade*) ou grau de viscosidade, além de um número que varia de 2 a 1500 *Centistokes* (cSt) e representa a média de viscosidade a 40°C.

A Figura 10 ilustrada a viscosidade cinemática em cSt de óleos hidráulicos industriais a 40°C.

Figura 10 - Viscosidade dos óleos hidráulicos industriais a 40°C

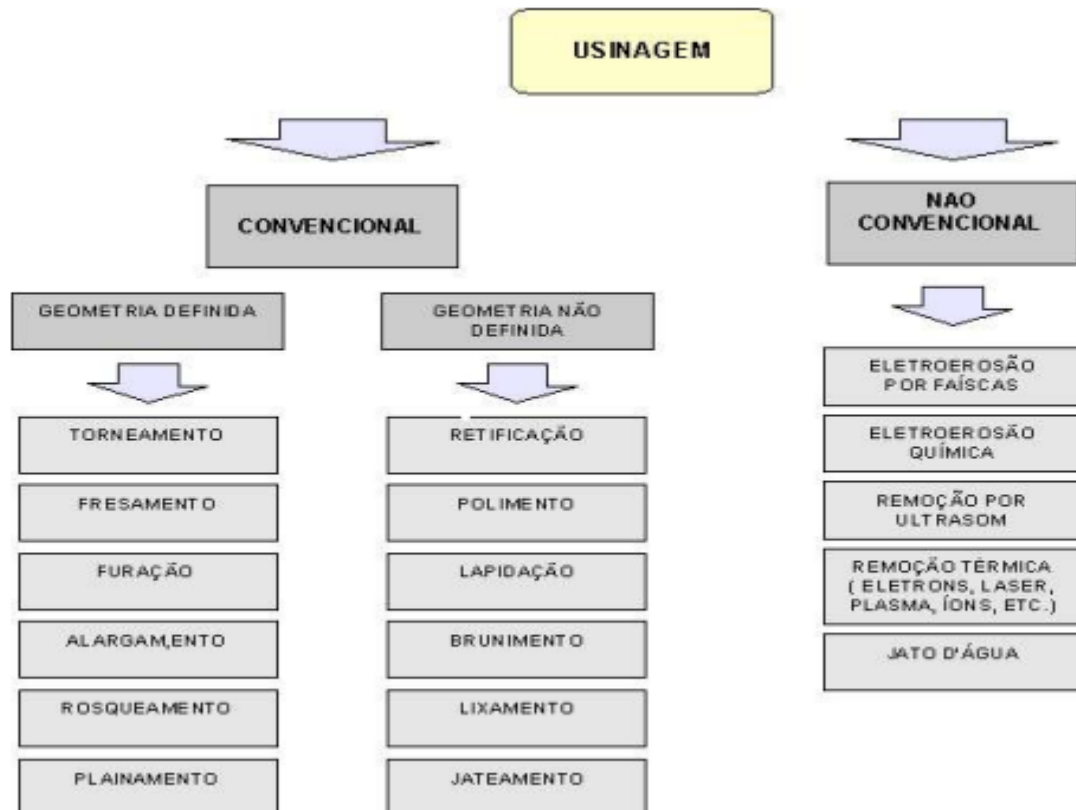
ISO 3448	Viscosidade cinemática cSt	SUS	
ISO VG 2	2,2	32	↑ baixa viscosidade óleo "fino"
ISO VG 3	3,3	36	
ISO VG 5	4,6	40	
ISO VG 7	6,8	50	
ISO VG 10	10	60	
ISO VG 15	15	75	} faixa usual p/ uso industrial
ISO VG 22	22	105	
ISO VG 32	32	150	
ISO VG 46	46	215	
ISO VG 68	68	315	
ISO VG 100	100	465	
ISO VG 150	150	700	↓ alta viscosidade óleo "grosso"
ISO VG 220	220	1000	
ISO VG 320	320	1500	
ISO VG 460	460	2150	
ISO VG 680	680	3150	
ISO VG 1000	1000	4650	
ISO VG 1500	1500	7000	

Fonte Valdo (2023)

## 2.2 Características dos processos de fabricação

De acordo com Kiminami *et al.* (2013), a usinagem é um processo de manufatura no qual uma ferramenta de corte é usada para remover material de um sólido de tal maneira que o remanescente tenha a forma da peça desejada. Os principais processos de aplicação da usinagem são o torneamento, furação, fresamento e aplainamento. Conforme Stoeterau (2004), a definição de usinagem segundo a norma DIN 8580, aplica-se a todos os processos, onde ocorre a remoção de material sob a forma de cavaco. Sendo que a usinagem pode ser classificada de acordo com o processo conforme mostra a Figura 11.

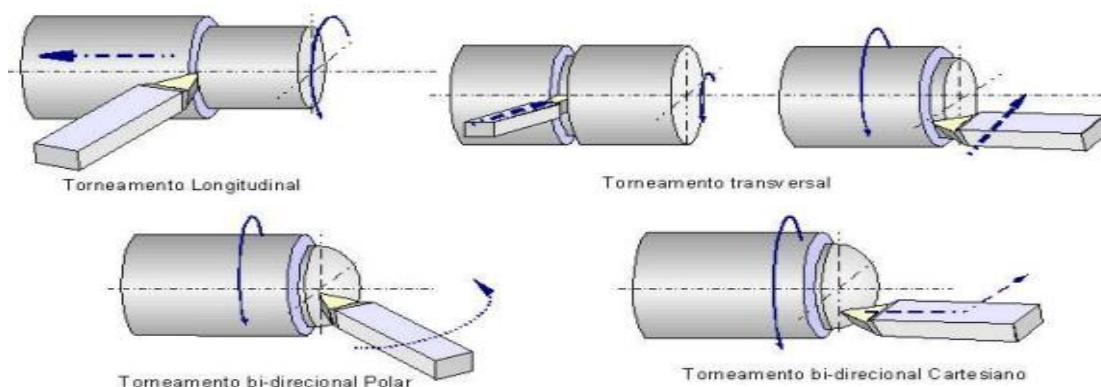
Figura 11 - Classificação dos processos de usinagem



Fonte: Stoeterau (2004)

Conforme Ferraresi (2018), um dos principais processos de usinagem é o torneamento, que é uma operação de retirada de material por uma ferramenta cortante para obtenção de uma peça circular. Nesse processo, segundo Stoeterau (2004), a peça é fixada em uma placa giratória que gira em torno do seu próprio eixo enquanto a ferramenta cortante se desloca simultaneamente em uma determinada trajetória longitudinal ou transversal. A Figura 12 ilustra alguns dos principais tipos de torneamento.

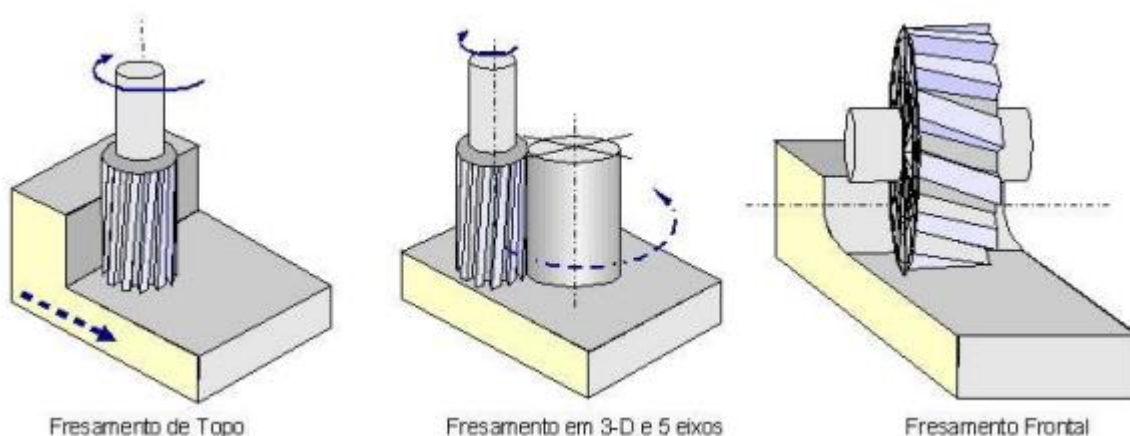
Figura 12 - Alguns tipos de torneamento



Fonte: Stoeterau (2004)

Fresamento é uma operação importante no processo de fabricação. Segundo Machado *et al.* (2011), a operação de fresamento é reconhecida pela versatilidade na produção de geometrias diversas, além de garantir elevadas taxas de remoção de material, visto que a ferramenta (fresa) possui múltiplas arestas de cortes. neste grupo de operação a ferramenta gira enquanto a peça fica fixa na mesa ou em uma morsa, é responsável pelos movimentos de avanços longitudinal e transversal. Em situações especiais, a peça pode ficar estática enquanto a ferramenta realiza todos os movimentos. A Figura 13 mostra os tipos básicos de fresamento.

Figura 13 - Tipos básicos de fresamento

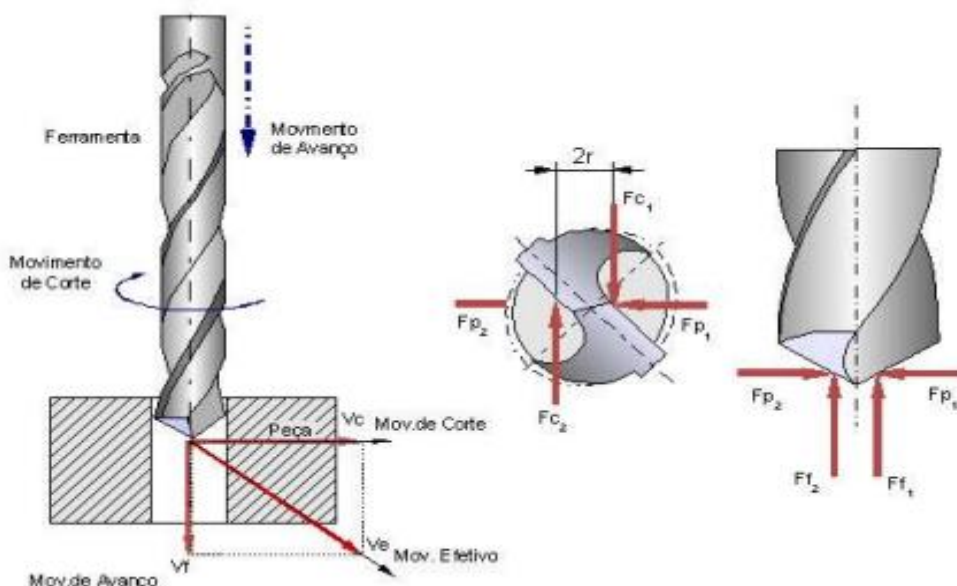


Fonte: Stoeterau (2004)

Outro processo conhecido é a furação. Conforme Stoeterau (2004), o processo de furação é um dos mais comuns entre os processos de usinagem, praticamente

todas as peças do universo metal mecânico sofrem algum tipo de furação. Do total de furos executados, grande parte é produzido pelo procedimento de usinagem através do uso de uma broca. Convém lembrar que os furos podem ser obtidos através de fresamento, torneamento e mandrilamento, todos dentro do processo de usinagem com ferramentas de geometrias definidas. Também os furos podem ser feitos pelo processo de remoção térmica e química na usinagem não convencional, além dos processos de conformação (estampagem). A Figura 14 ilustra o processo de furação com uma broca.

Figura 14 - Ilustra o processo de furação com uma broca

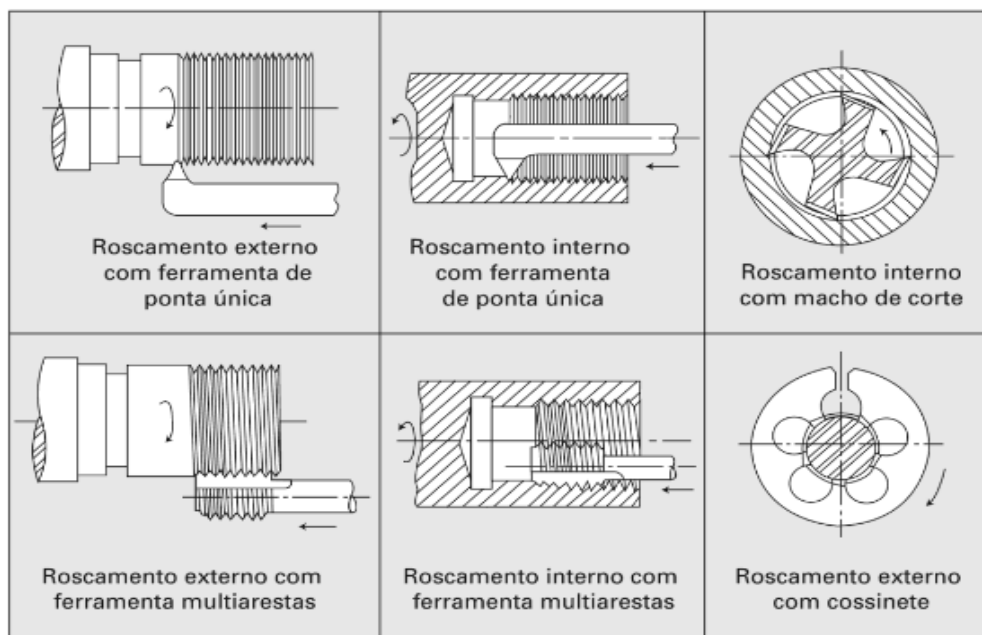


Fonte: Stoeterau (2004)

### 2.2.1 Rosqueamento e roscas

Segundo Machado *et al.* (2011), o processo de aberturas de roscas é uma operação bastante diversificada e que pode ser realizada com o uso de diversos dispositivos manuais ou por meio de máquinas ferramentas como tornos, fresadoras, rosqueadeiras etc. Ainda Machado *et al.* (2011), dependendo principalmente da taxa de produção esperada e também das dimensões da rosca a ser confeccionada, as mesmas podem ser produzidas através de ferramentas como cossinetes conhecidos como tarraxas, para diâmetros externos e para diâmetros internos podem ser utilizado machos ferramentas de perfil unico ou multiplo. A Figura 15 mostra alguns tipos de operações de rosqueamento.

Figura 15 - Alguns tipos de operações de rosqueamento

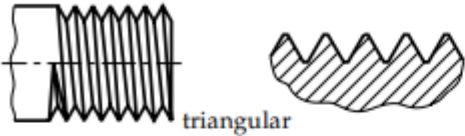



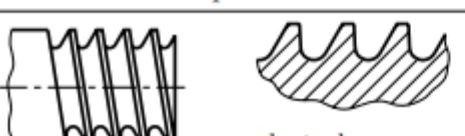


Fonte: Machado *et al.* (2011)

O processo de rosqueamento está presente em quase todas as peças produzidas na indústria do setor metal mecânico, e pode se considerar que não exista um componente industrial que não apresente uma ou mais regiões com o perfil roscado interno ou externo.

Segundo Gordo e Ferreira (2000), a rosca é um conjunto de filete em uma superfície cilíndrica, que podem ser externa ou interna que permitem a união e desmontagens de peças, e também como funcionamento de movimentação de um conjunto de uma máquina ou movimentação de um produto. Os filetes de roscas apresentam vários perfis, esses perfis sempre uniformes, dão o nome às roscas e condicionam sua aplicação conforme mostra a Figura 16.

Figura 16 - Alguns formatos de filetes de roscas e aplicações.

TIPOS DE ROSCAS (PERFIS) PERFIL DE FILETE	APLICAÇÃO
 triangular	Parafusos e porcas de fixação na união de peças. Ex.: Fixação da roda do carro.
 trapezoidal	Parafusos que transmitem movimento suave e uniforme. Ex.: Fusos de máquinas.
 redondo	Parafusos de grandes diâmetros sujeitos a grandes esforços. Ex.: Equipamentos ferroviários.
 quadrado	Parafusos que sofrem grandes esforços e choques. Ex.: Prensas e morsas.
 rosca dente-de-serra	Parafusos que exercem grande esforço num só sentido Ex.: Macacos de catraca

Fonte: Gordo e Ferreira (2000)

Segundo Gordo e Ferreira (2000), independente das aplicações as roscas tem o mesmo elemento, variando apenas os formatos e dimensões. As roscas triangulares classificam-se em três tipos, a rosca métrica, a rosca *whitworth* e a rosca americana. No sistema *Whitworth* a rosca normal é caracterizada pela sigla BSW (*british standard whitworth* - padrão britânico para rosca normal). Nesse mesmo sistema a rosca fina é caracterizada pela sigla BSF (*british standard fine* - padrão britânico para roscas finas). Já no sistema americano a rosca normal é caracterizada pela sigla NC (*national coarse*) e a rosca fina pela sigla NF (*national fine*). Porém ainda existe uma gama de variedades de outros tipos de roscas, mas este trabalho foca-se nas roscas métricas triangulares. Ainda Gordo e Ferreira (2000), a rosca fina em um determinado comprimento, possui um maior número de filetes do que a rosca normal, e permite melhor fixação da rosca evitando afrouxamento em casos de vibrações. A nomenclatura para os parâmetros de cálculos para roscas métricas triangulares normal ou fina, tem como base a Figura 17.

$P$  = passo da rosca

$d$  = diâmetro maior do parafuso (normal)

$d_1$  = diâmetro menor do parafuso ( $\emptyset$  do núcleo)

$d_2$  = diâmetro efetivo do parafuso ( $\emptyset$  médio)

$a$  = ângulo do perfil da rosca

$f$  = folga entre a raiz do filete da porca e a crista do filete do parafuso

$D$  = diâmetro maior da porca

$D_1$  = diâmetro menor da porca

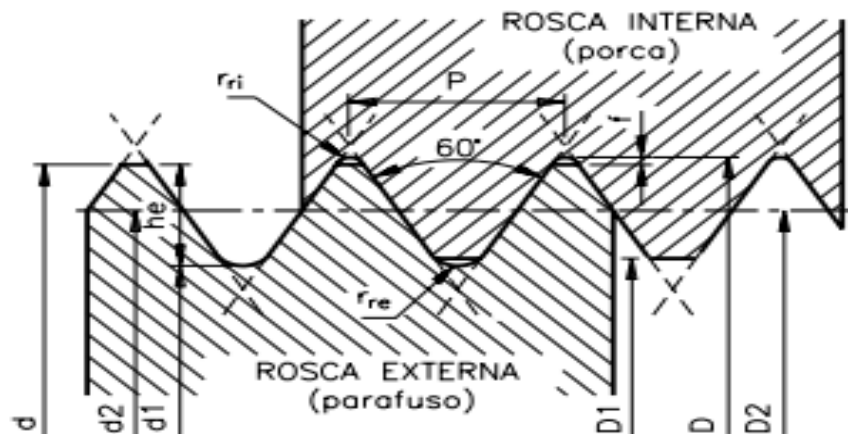
$D_2$  = diâmetro efetivo da porca

$h_e$  = altura do filete do parafuso

$r_{re}$  = raio de arredondamento da raiz do filete do parafuso

$r_{ri}$  = raio de arredondamento da raiz do filete da porca

Figura 17 - Parâmetro para cálculo de rosca métricas triangulares



Fonte: Gordo e Ferreira (2000)

ângulo do perfil da rosca:

$$a = 60^\circ$$

diâmetro menor do parafuso ( $\emptyset$  do núcleo):

$$d_1 = d - 1,2268 \cdot P$$

diâmetro efetivo do parafuso ( $\emptyset$  médio):

$$d_2 = D_2 = d - 0,6495 \cdot P$$

folga entre a raiz do filete da porca e a crista do filete do parafuso:

$$f = 0,045 \cdot P$$

diâmetro maior da porca:

$$D = d + 2 \cdot f$$

diâmetro menor da porca (furo):

$$D_1 = d - 1,0825 \cdot P$$

diâmetro efetivo da porca ( $\emptyset$  médio):

$$D_2 = d_2$$

altura do filete do parafuso:

$$h_e = 0,61343 \cdot P$$

raio de arredondamento da raiz do filete do parafuso:

$$r_{re} = 0,14434 \cdot P$$

raio de arredondamento da raiz do filete da porca:

$$r_{ri} = 0,063 \cdot P$$

De acordo com a ABNT (2004) na NBR ISO 965-2 é possível especificar os limites dimensionais para o diâmetro do flanco, diâmetro maior e diâmetro menor para roscas métricas ISO de uso geral. As tabelas de roscas nas Figuras 18 e 19 especificadas logo abaixo estão relacionadas aos limites dimensionais para roscas internas e externas de uso geral, onde limita as variações mínima e máxima de tolerância, a Figura 18 mostra a tabela para roscas externas e a Figura 19 mostra a tabela para roscas internas.

Figura 18 - Tabela de rosca externa - Série de roscas finas classe de tolerância 6g

Rosca	Comprimento de contato		Diâmetro maior $d$		Diâmetro de flanco $d_2$		Raio na raiz
	Acima de	Até e inclusive	máx.	mín.	máx.	mín.	mín. <sup>a</sup>
M8 x 1	3	9	7,974	7,794	7,794	7,212	0,125
M10 x 1	4	12	9,974	9,794	9,324	9,212	0,125
M10 x 1,25	4	12	9,972	9,760	9,160	9,042	0,156
M12 x 1,25	4,5	13	11,972	11,760	11,160	11,028	0,156
M12 x 1,5	4,5	13	11,968	11,732	10,994	10,854	0,188
M14 x 1,5	5,6	16	13,968	13,732	12,994	12,854	0,188
M16 x 1,5	5,6	16	15,968	15,732	14,994	14,854	0,188
M18 x 1,5	5,6	16	17,968	17,732	16,994	16,854	0,188
M18 x 2	5,6	16	17,962	17,682	16,663	16,503	0,250
M20 x 1,5	5,6	16	19,968	19,732	18,994	18,854	0,188
M20 x 2	5,6	16	19,962	19,682	18,663	18,503	0,250
M22 x 1,5	5,6	16	21,968	21,732	20,994	20,854	0,188
M22 x 2	5,6	16	21,962	21,682	20,663	20,503	0,250
M24 x 2	8,5	25	32,962	23,682	22,633	22,493	0,250
M27 x 2	8,5	25	26,962	26,682	25,663	25,493	0,250
M30 x 2	8,5	25	29,962	29,682	28,663	28,493	0,250
M33 x 2	8,5	25	32,962	32,682	31,663	31,493	0,250
M36 x 3	12	36	35,952	35,577	34,003	33,803	0,375
M39 x 3	12	36	38,952	38,577	37,003	36,803	0,375
M42 x 3	12	36	41,952	41,577	40,003	39,803	0,375
M45 x 3	12	36	44,952	44,577	43,003	42,803	0,375
M48 x 3	15	45	47,952	47,577	46,003	45,791	0,375
M52 x 4	19	56	51,940	51,465	49,342	49,106	0,500
M56 x 4	19	56	55,940	55,465	53,342	53,106	0,500
M60 x 4	19	56	59,940	59,465	57,342	57,106	0,500
M64 x 4	19	56	63,940	63,465	61,342	61,106	0,500

<sup>a</sup> Ver ABNT NBR ISO 965-1.

Figura 19 - Tabela de rosca interna - Série de roscas finas classe de tolerância 6H

Rosca	Comprimento de contato		Diâmetro de flanco $D_2$		Diâmetro menor $D_1$	
	Acima de	Até e inclusive	máx.	min.	máx.	min.
M8 x 1	3	9	7,500	7,350	7,153	6,917
M10 x 1	4	12	9,500	9,350	9,153	8,917
M10 x 1,25	4	12	9,348	9,188	8,912	8,647
M12 x 1,25	4,5	13	11,368	11,188	10,912	10,647
M12 x 1,5	4,5	13	11,216	11,026	10,676	10,376
M14 x 1,5	5,6	16	13,216	13,026	12,676	12,376
M16 x 1,5	5,6	16	15,216	15,026	14,676	14,376
M18 x 1,5	5,6	16	17,216	17,026	16,676	16,376
M18 x 2	5,6	16	16,913	16,701	16,210	15,835
M20 x 1,5	5,6	16	19,216	19,026	18,676	18,376
M20 x 2	5,6	16	18,913	18,701	18,210	17,835
M22 x 1,5	5,6	16	21,216	21,026	20,676	20,376
M22 x 2	5,6	16	20,913	20,701	20,210	19,835
M24 x 2	8,5	25	22,925	22,701	22,210	21,835
M27 x 2	8,5	25	25,925	25,701	25,210	24,835
M30 x 2	8,5	25	28,925	28,701	28,210	27,835
M33 x 2	8,5	25	31,925	31,701	31,210	30,835
M36 x 3	12	36	34,316	34,051	33,252	32,752
M39 x 3	12	36	37,316	37,051	36,252	35,752
M42 x 3	12	36	40,316	40,051	39,252	38,752
M45 x 3	12	36	43,316	43,051	42,252	41,752
M48 x 3	15	45	46,331	46,051	45,252	44,752
M52 x 4	19	56	49,717	49,402	48,270	47,670
M56 x 4	19	56	53,717	53,402	52,270	51,670
M60 x 4	19	56	57,717	57,402	56,270	55,670
M64 x 4	19	56	61,717	61,402	60,270	59,670

Fonte: ABNT NBR ISO 965-2 (2005)

### 2.3 Fundamentos da metrologia, tolerâncias e calibradores

Segundo Santana (2012), Metrologia é formada por duas palavras gregas: *Metron* - Medida e *Logos* - Ciência, ou seja, é a ciência da medição. A metrologia atualmente é um dos pilares da indústria para o desenvolvimento tecnológico. O controle dos processos produtivos assegura o desempenho e a segurança dos produtos e proporciona a garantia da qualidade. A metrologia aumenta a eficiência e a competitividade, pois os processos e produtos que são corretamente medidos podem ser aperfeiçoados. Assim a metrologia industrial busca desenvolver aparelhagem técnicas de medição capazes de melhorar a qualidade do produto, tornando o processo mais eficiente, diminuindo o desperdício e reduzindo os custos de produção e retrabalho, aumentando a confiabilidade das medições e garantir que estas sejam realizadas de acordo com os preceitos tecnológicos. (SANTANA, 2012)

Segundo Lira (2015), além dos requisitos de uma boa medição, é importante uma obediência às normas e instrumentos de medida e tolerâncias de produtos e padrões. Um produto pode ter partes fabricadas em países diferentes, propiciando

uma troca de informações e um refinamento na linguagem das medições. O seguimento às normas da qualidade, ambientais, de segurança e regulamentos governamentais são requisitos básicos em transações internacionais tendo a metrologia importância fundamental nesse papel.

O progresso humano tem sido estimulado pela capacidade de medições que tornaram uma linguagem universal. Essa linguagem não precisa de tradução como qualquer outra língua. Os padrões, normas, medidas e instrumentos são reconhecidos por qualquer profissional da área. Os instrumentos de medidas para o controle da qualidade com vocabulário internacional trouxe com o auxílio ao processo de globalização a melhor integração dos mercados, assim a definição de um termo tem o significado em qualquer país, inclusive em países com sistemas de medidas próprias (LIRA, 2015).

Segundo Santos Júnior et al. (1995), a normalização das tolerância tornou possível a intercambiabilidade, seu efeito seria restrito se dependesse exclusivamente de padrões adotados em cada fábrica ou região por tais motivos criou um sistema uniforme ou normalizado. Esse sistema encontra-se na NB-86 da ABNT (NBR 6158 do INMETRO).

Conforme Scaramboni et al. (2003), é difícil executar peças com medidas rigorosamente exatas porque todo processo de fabricação está sujeito a imprecisões. Sempre acontecem variações ou desvio das cotas indicadas no desenho. Entretanto, é necessário que as peças semelhantes, tomadas ao acaso sejam intercambiáveis, sem que haja necessidade de ajustes ou reparos. Na prática tem demonstrado que as medidas das peças podem variar, dentro de certos limites, para mais ou para menos, sem que prejudique a qualidade. Esses desvios aceitáveis nas medidas das peças é chamado de tolerância dimensional.

Conforme Scaramboni et al. (2003), as tolerâncias e ajustes não são escolhidos por acaso. Em 1926, entidades organizaram um sistema normalizado que acabou sendo adotado no Brasil pela ABNT: o sistema de ajuste e tolerância ABNT/ISO (NBR 6158). O sistema ISO consiste num conjunto de princípios, regras e tabelas que possibilita a escolha racional de tolerâncias e ajustes de modo a tornar a produção mais prática de peças mecânicas intercambiáveis. A norma brasileira estabelece uma série de tolerâncias fundamentais que determinam a precisão da peça ou a qualidade do trabalho. Prevê 18 qualidades de trabalho que são identificadas pelas letras: **IT** seguidas de numerais. A cada uma delas corresponde um valor de tolerância, letra **I**

vem de ISO e a letra **T** vem de tolerância, já os numerais referem-se às 18 qualidades de trabalho. O quadro abaixo da Figura 20 indica as qualidades de trabalho para eixos e furos.

Figura 20 - Indica a qualidade de trabalho para eixos e furos

		Qualidade de Trabalho																	
		IT01	IT0	IT1	IT2	IT3	IT4	IT5	IT6	IT7	IT8	IT9	IT10	IT11	IT12	IT13	IT14	IT15	IT16
Eixos		mecânica extra-precisa					mecânica corrente										mecânica grosseira		
Furos		mecânica extra-precisa					mecânica corrente										mecânica grosseira		

Fonte: Scaramboni 2000 et al. (2003)

A qualidade IT01, corresponde ao menor valor de tolerância, as qualidades IT01 a IT3, são associadas para a mecânica extra precisa, que é o caso de calibradores que são instrumentos que requerem alta precisão. As peças que funcionam acopladas a outras têm em geral sua qualidade estabelecida entre IT4 e IT11. Essa faixa corresponde à mecânica corrente, ou mecânica de precisão.

Já para as qualidades IT11 a IT16, correspondem às maiores tolerâncias de fabricação, essas qualidades são aceitáveis para peças isoladas, que não requerem grande precisão, podem ser classificadas como mecânica grosseira.

Conforme Scaramboni et al. (2003), os elementos de características do sistema de tolerâncias são índices numéricos e literários. Onde o índice literal define a posição do intervalo de tolerância em relação à linha zero, e por isso é chamado de índice de posição. A posição dos campos de tolerância em relação à linha zero é designada por uma ou duas letras, as maiúsculas reservadas para furos e as minúsculas para eixos. O sistema ISO estabelece 28 campos de tolerâncias identificados por letras do alfabeto latino. Cada letra está associada a um determinado campo de tolerância. Os campos de tolerâncias para eixo são representados por letras minúsculas como mostra a Figura 21.

Figura 21 - Tolerância para eixo representadas por letras minúsculas do sistema ISO

a	b	c	cd	d	e	ef	f	fg	g	h	j	js	k
m	n	p	r	s	t	u	v	x	y	z	za	zb	zc

Fonte: Scramboni 2000 et al. (2003)

Já para o campo de tolerância para furos são indicados por letras maiúsculas, como representa a Figura 22.

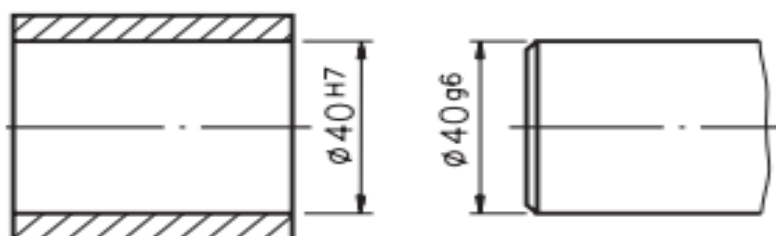
Figura 22 - Tolerância para furos representadas por letras maiúsculas do sistema ISO

A	B	C	CD	D	E	EF	F	FG	G	H	J	JS	K
M	N	P	R	S	T	U	V	X	Y	Z	ZA	ZB	ZC

Fonte: Scramboni 2000 et al. (2003)

O índice numérico corresponde ao valor da tolerância, ou seja define a qualidade de fabricação, por isso também é chamado por índice de qualidade. Na Figura 23, a dimensão nominal do diâmetro do furo é 40mm. A tolerância vem representada por H7. A letra maiúscula H representa a tolerância de furo padrão e o número 7 indica a qualidade do trabalho, que no caso corresponde à mecânica corrente ou mecânica de precisão.

Figura 23 - Indicação de tolerâncias conforme ABNT/ISO



Fonte: Scramboni 2000 et al. (2003)

A unidade de medida adotada no sistema ABNT/ISO é micrométrico, também chamada de micron, quando a tolerância vem indicada no sistema ABNT/ISO, os

valores dos afastamentos não são expressos diretamente. Por isso, é necessário consultar tabelas apropriadas para identificá-los. A Figura 24, representa partes da tabela para melhor entendimento.

Figura 24 - Partes da tabela ABNT/ISO

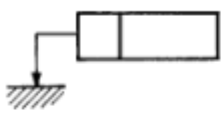














Dimensão nominal mm		Furo <sup>af. inf.</sup> af. sup.	<b>EIXOS</b>								
acima de	até	H7	f7	g6	h6	j6	k6	m6	n6	p6	r6
30	40	0 +25	-25 -50	-9 -25	0 -16	+11 -5	+18 +2	+25 +9	+33 +17	+42 +26	+50 +34

Fonte: Scaramboni et al. (2003)

Já as tolerâncias geométricas, segundo Silva Neto (2012), podem ser definidas como variações permissíveis dos limites dentro dos quais os desvios (ou erros) de forma e posição devem estar compreendidos sem prejudicar o funcionamento e a intercambialidade de uma peça ou equipamento. Nesse caso, a peças ou equipamento podem estar com a tolerância dimensional correta, mas devem ser verificados os limites em relação a posição, a forma e à orientação, que são inerentes às tolerâncias geométricas.

De acordo com ABNT (1997), a NBR 6409 indica que as tolerâncias geométricas devem ser definidas em quatro grandes grupos: forma, orientação, posição e batimento, conforme mostrado abaixo na Figura 25.

Figura 25 - Símbolos para características de tolerâncias de uma peça

Característica tolerada		Símbolo	
Para elementos isolados 	Forma	Retitude	—
		Planeza	
		Circularidade	
		Cilindricidade	
Para elementos isolados ou associados		Perfil de linha qualquer	
		Perfil de superfície qualquer	
Para elementos associados	Orientação	Paralelismo	
		Perpendicularidade	
		Inclinação	
	Posição	Posição	
		Concentricidade	
		Coaxilidade	
		Simetria	
	Batimento	Circular	
		Total	

Fonte: ABNT NBR 6409 (1997)

Conforme Silva Neto (2012), as tolerâncias de forma são os desvios que um elemento pode apresentar em relação à sua forma geométrica ideal, e vêm indicadas no desenho técnico para elementos isolados, como uma superfície ou uma linha. Pode ser indicada tanto na retitude quanto na planeza, da circularidade, da cilindridade, do perfil de uma linha e de uma superfície qualquer.

A tolerância de orientação é definida para superfícies ou elementos nos quais pontos ou superfícies se comuniquem por meio de interação de linhas. A tolerância de orientação é representada pelo paralelismo pela perpendicularidade e pela inclinação de uma superfície.

A tolerância de posição é a diferença entre uma aresta ou superfície da peça e a posição teórica prescrita pelo projeto da peça. Nesse caso pode se levar em conta

a concentricidade, cujo campo de tolerância é limitado por um círculo de diâmetro qualquer cujo centro coincide com o centro de referência.

Já a tolerância de batimento circular radial e circular axial são como superfícies de revolução como cilindros ou furos redondos e devem ser convenientemente dimensionados com suas perspectivas tolerâncias porque estão sujeitas a variações de fabricações, já que podem ter ovalização, conicidade ou excentricidade em relação ao eixo. (ABNT, 1997).

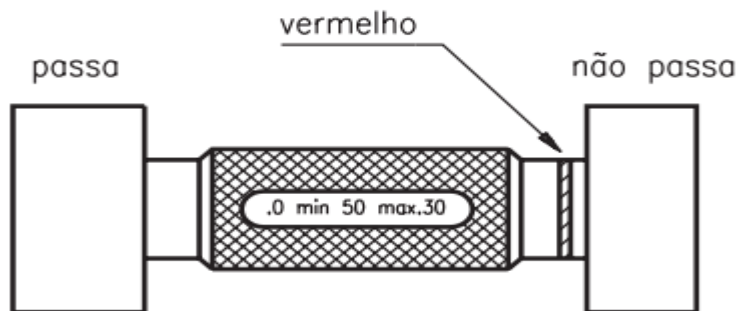
### 2.3.1 Calibradores

Segundo Silva Neto (2012), calibradores são padrões geométricos largamente empregados na indústria metal mecânica em fabricação de peças sujeitas a ajuste. Para efetuar a qualificação dessas peças de forma rápida, utilizam-se calibrador do tipo “passa/não-passa”. Os calibradores geralmente são fabricados de aço temperado e podem possuir superfícies retificadas para facilitar o contato com as peças a serem verificadas. Além disso, a qualidade das superfícies também influi na estabilidade de suas dimensões. Na indústria podem ser usados para verificação de furos, eixos, roscas etc.

Conforme Secco, Vieira e Gordo (2003), os calibradores são instrumentos que estabelecem os limites máximos e mínimos das dimensões que desejamos comparar, podem ter formatos especiais, dependendo da sua aplicação. Os calibradores são empregados nos trabalhos de produção em série de peças intercambiáveis. Existem vários tipos de calibradores entre os mais utilizados na indústria, temos os calibradores tampão para furos, os calibradores de boca para eixos e superfície planas, e os calibradores de roscas tampões e anéis.

O tipo de calibrador tampão para furos é um dos mais utilizados na indústria e é empregado para verificação de dimensões máximas e mínimas do diâmetro interno de um furo, onde um lado do calibrador permite a entrada da extremidade e a outra extremidade do calibrador não pode passar no furo verificado. (SECCO, VIEIRA e GORDO, 2003). A Figura 26 ilustra o calibrador tipo tampão para furos.

Figura 26 - Mostra um tipo de calibrador tampão para furos

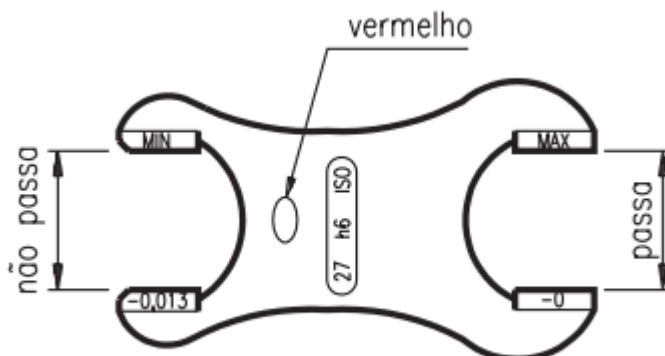


**calibrador tampão de tolerância  
(passa/não-passa) 50 H7 ISO**

Fonte: Secco, Vieira e Gordo (2003)

O calibrador de boca é normalmente utilizado para eixos e materiais planos, na Figura 27 ilustra um calibrador tipo boca.

Figura 27 - Calibrador tipo boca

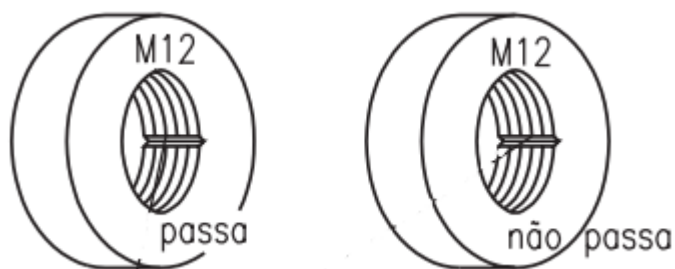


**calibrador de boca 27 h6 ISO**

Fonte: Secco, Vieira e Gordo (2003)

Os calibradores para rosca tipo anel geralmente são compostos de dois anéis conforme mostra a Figura 28, sendo que um lado passa e o outro não passa, para verificação de roscas externas. São peças fabricadas em aço, temperadas e retificadas, obedecendo às dimensões de execução para cada tipo de rosca.

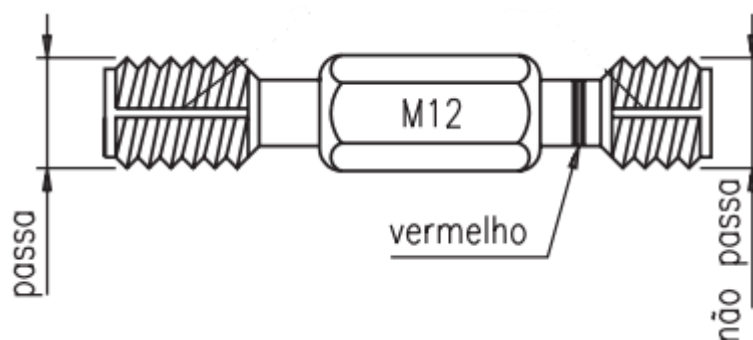
Figura 28 - Calibradores tipo anéis para verificação de roscas externas.



Fonte: Secco, Vieira e Gordo (2003)

Já para a verificação de roscas internas, existem os calibradores de modelo comum tampão de rosca como mostra a Figura 29. A extremidade da rosca mais longa do calibrador verifica o limite mínimo, ela deve penetrar suavemente, sem ser forçada, na rosca interna da peça que está sendo verificada. Já na outra extremidade do calibrador de rosca mais curta se verifica o limite máximo onde não pode passar na rosca verificada.

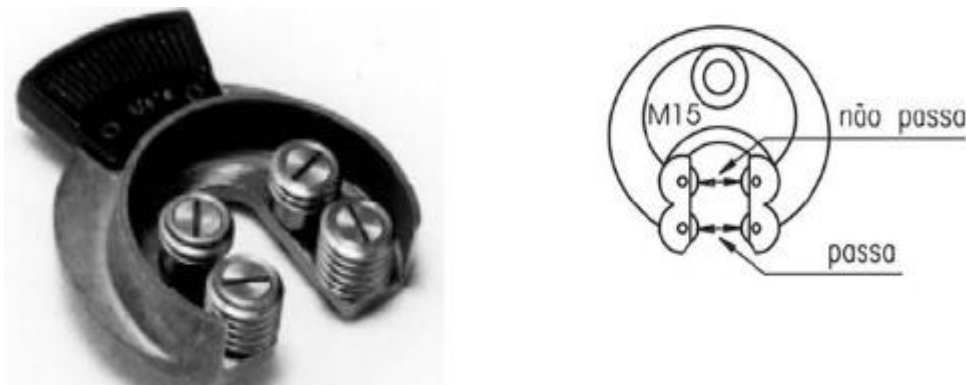
Figura 29 - Calibrador tipo tampão para rosca interna



Fonte: Secco, Vieira e Gordo (2003)

Ainda é possível citar os calibradores reguláveis de boca de roletes para roscas externas. O calibrador em forma de ferradura pode ter quatro roletes cilíndricos ou quatro segmentos de cilindro como mostra a Figura 30. Os roletes cilíndricos podem ter roscas ou sulcos circulares, cujo perfil e passo são iguais aos do parafuso que se vai verificar. As vantagens sobre o calibrador de anel são: verificação rápida, desgaste menor, pois os roletes giram, regulagem exata, uso de um só calibrador para vários diâmetros. Devem ser ajustadas as dimensões máximas e mínimas do diâmetro médio dos flancos. (SECCO, VIEIRA e GORDO, 2003).

Figura 30 - Calibrador de boca de roletes para calibragem de rosca externas



Fonte: Secco, Vieira e Gordo (2003)

## 2.4 Sistema e ferramentas da qualidade no processo produtivo

Segundo Cardoso et al. (2017), o processo produtivo da qualidade vem desempenhando seu papel ao longo dos anos, no que se refere à consolidação da vantagem competitiva. O aumento da qualidade está diretamente ligado à satisfação do cliente, o que vai levar ao aumento da produtividade, proporcionada pela redução do desperdício e do retrabalho. A qualidade acaba gerando redução nos custos, que gera aumento da lucratividade das organizações.

Segundo Assis (2022), as organizações devem entender que seu produto ou serviço está em constante investimento, e em melhoria contínua e treinamentos tendo como seus grandes objetivos atender as necessidades atuais de seus clientes e usuários. A qualidade pode ser entendida como a conformidade com os requisitos que o produto apresenta, assim como a satisfação por atender a todos os requisitos que o cliente exige, podendo variar de acordo com a percepção de cada um.

Conforme Andrade (2018), a qualidade é definida como uma correção de problemas ou de suas causas ao longo de toda fase da criação do produto, desde o projeto, engenharia produção manutenção e marketing, ou seja, todos os fatores que têm influência com o cliente, a qualidade tem por função identificar e corrigir as não conformidades de um produto ou processo.

Já segundo Cardoso et al. (2017), a qualidade é um dos fatores mais relevantes na produção, e com o desenvolvimento de novas tecnologias, faz-se necessária uma ampliação da aplicabilidade da qualidade. A gestão da qualidade visa direcionar a organização para o alinhamento dos seus processos e colaboradores para um objetivo central, caminhando em um padrão de qualidade aceito pela organização. Assim,

métodos e técnicas aplicados à gestão de qualidade procuram trazer mais assertividade nas decisões e buscar uma maior eficiência na produtividade de bens e serviços.

Conforme Andrade (2018), a utilização de ferramentas de qualidade como instrumentos para melhoria contínua dos processos tem se tornado um aliado da maioria das empresas que buscam crescimento sustentável e qualidade do produto final e do serviço prestado. As ferramentas da qualidade utilizam de técnicas estatísticas e gerenciais, que auxiliam a organização a coletar dados e analisar as informações necessárias para solução de problemas identificados em determinados processos.

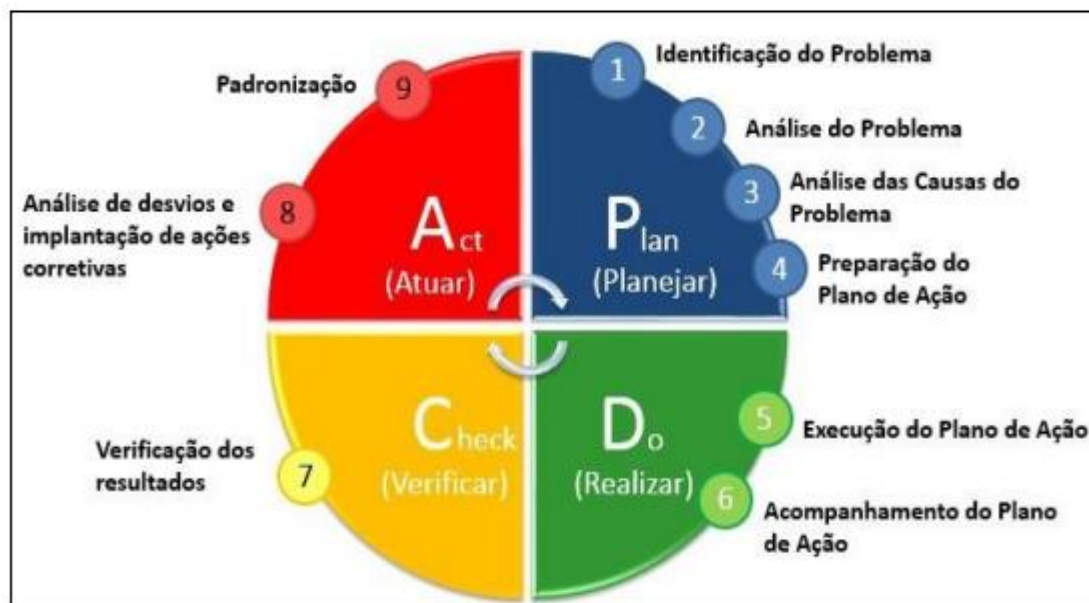
A seguir serão apresentadas ferramentas da qualidade que podem ser utilizadas na solução de problemas,

#### 2.4.1 O Ciclo PDCA

Conforme Rodrigues (2020), o PDCA tem como função a análise e o controle dos processos críticos, buscando garantir a padronização ou inserindo pequenas melhorias. O PDCA, busca monitorar com eficácia a gestão dos processos produtivos, por meio do diagnóstico das situações indesejáveis e da consequente busca de soluções, que devem ser precedidas de uma definição e de um planejamento adequado do processo.

Segundo Rodrigues (2020), de um modo geral as empresas industriais utilizam um modelo de análise de causa-raiz que é um ciclo de etapas que precisam ser atendidas para melhoria dos processos, e busquem solucionar as causas principais dos problemas. O ciclo PDCA é composto de quatro etapas denominadas *Plan* (Planejamento), *Do* (Execução), *Check* (Verificação) e *Action* (Ação), como pode ser visto na Figura 31.

Figura 31 - Etapas do ciclo PDCA



Fonte: KRÜGER (2020)

- **Plan** (Planejamento): Consiste na identificação do problema, análise do problema, análise das possíveis causas desse problema e a elaboração de um Plano de Ação.
- **Do** (Execução): Consiste na execução da tarefa planejada anteriormente a fim de atingir os objetivos estabelecidos.
- **Check** (Verificação): Consiste na verificação dos resultados do plano executado e a comparação destes com o que foi planejado.
- **Action** (Ação): Consiste em corrigir o que for necessário para melhorar o processo e quando os objetivos forem alcançados padronizar os procedimentos.

Conforme Rodrigues (2020), após a execução do processo (D - *Do/Fazer*), é preciso verificar o desempenho (C - *Check/Verificar*), para se usar uma ferramenta adequada como uma carta ou um gráfico de controle. Quando o processo não atingiu o padrão esperado na saída, devem se buscar as causas para realizar um novo planejamento (P - *Plan/Planejar*), com base nos novos conhecimentos adquiridos durante o diagnóstico (A - *Act/Agir*). Já quando o processo atingir o padrão esperado, deve-se manter este padrão nos próximos ciclos, ou seja, trocar-se o P (*Plan*) pelo S (*Standardize/Padrão*).

## 2.4.2 Fluxograma

Segundo Rodrigues (2020), fluxograma é a forma gráfica, através de símbolos, para descrever e mapear as diversas etapas de um processo, ordenadas em uma sequência lógica e de planejamento. O fluxograma é um método de descrever graficamente um processo existente ou novo (proposto) usando símbolos para apresentar as atividades e as suas sequências no processo. O objetivo de um fluxograma é fornecer uma representação de forma gráfica, componentes e tarefas associadas a um processo. É usado também para a documentação de um procedimento, proporcionado a orientação das suas etapas e relações de pendências. O fluxograma pode ser representado a partir de figuras básicas como as representadas na Figura 32.

Figura 32 - Representação das figuras básicas de um fluxograma

Nome	Símbolo
Início ou fim	
Processo	
Decisão	
Fluxo	
Processo pré-definido	
Operação manual	
Documento	
Vários documentos	
Espera	
Conector	

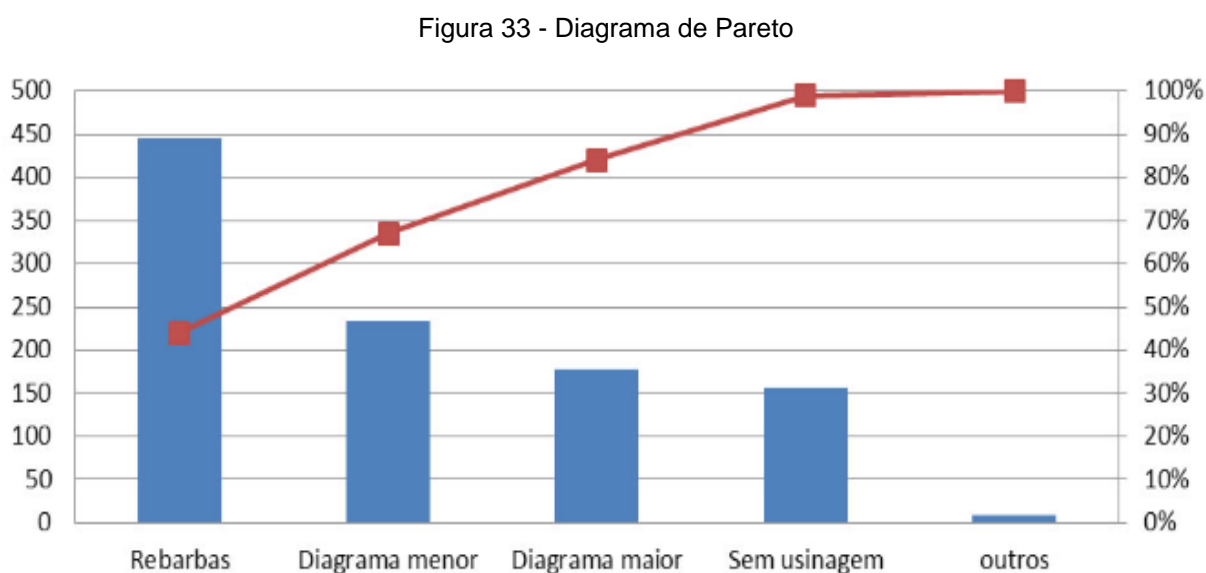
Fonte: Rodrigues (2020)

Segundo Teixeira (2022), o fluxograma também pode auxiliar na análise dos pontos a serem verificados nos fluxos reais para identificar oportunidades de melhorias. E ainda é uma maneira simples de análise de sequência, que poderá não

somente entender os pontos de possíveis problemas, como as relações deste com os demais processos. A utilização de um fluxograma de processo em uma linha de trabalho impactam na performance da visão em compreender o consenso sobre as etapas a serem executadas.

### 2.4.3 Diagrama de Pareto

Segundo Rodrigues (2020), o Diagrama de Pareto é um gráfico de barras verticais que permite determinar quais problemas resolver e quais as prioridades. Ele deve ser construído tomando como suporte uma lista de verificação. O diagrama de Pareto é largamente utilizado em todos os níveis organizacionais e constitui-se em importante instrumento para análise, planejamento e implantação de melhorias aos processos. Este diagrama é importante para explicar os problemas prioritários de um processo, através da relação 20/80 (20% das causas explicam 80% dos problemas). Essa prática tem sido bastante útil para identificar e priorizar os problemas mais frequentes, ou seja, esse diagrama facilita a visualização dos pequenos problemas que geram os maiores resultados, fazendo com que haja a concentração de esforços sem desperdício de recursos. A Figura 33 mostra um exemplo do diagrama de Pareto.



Fonte: Silveira (2012)

Conforme Teixeira (2022), o Diagrama de Pareto é representado em forma de um gráfico típico com duas coordenadas, que demonstram quais são os maiores

índices e quanto representam em relação ao total de uma porcentagem acumulada. Basicamente o diagrama é usado para ajudar a identificar os problemas mais relevantes de maneira correta e objetiva.

#### 2.4.4 *Brainstorming*

Segundo Rodrigues (2020), *brainstorming* ou tempestade cerebral é uma ferramenta ou uma técnica utilizada para auxiliar uma equipe a gerar/criar diversas ideias no menor espaço de tempo possível. É uma técnica com o intuito de romper conceitos críticos enraizados e oportunizar momentos de criatividade nas ideias e opiniões dentro da equipe de trabalho. É um processo destinado à geração de ideias ou sugestões criativas, que sugere gerar um maior número de ideias possíveis para proporcionar a possibilidade de encontrar a melhor solução de um determinado problema ou gerar novas ideias ou soluções de melhorias para determinadas áreas.

Conforme Krüger (2020), o *brainstorming* é realizado em duas etapas, sendo a primeira a geração máxima de ideias referentes a um problema, sem que haja algum julgamento ou crítica sobre elas, para que isso ocorra, uma pessoa do grupo é responsável por coordenar a equipe. A segunda etapa se dá quando não há mais ideias referentes à pauta, então é feito um agrupamento e ordenação das ideias, que em seguida podem ser atreladas a outras ferramentas como o diagrama de *Ishikawa*, folha de verificação, entre outras.

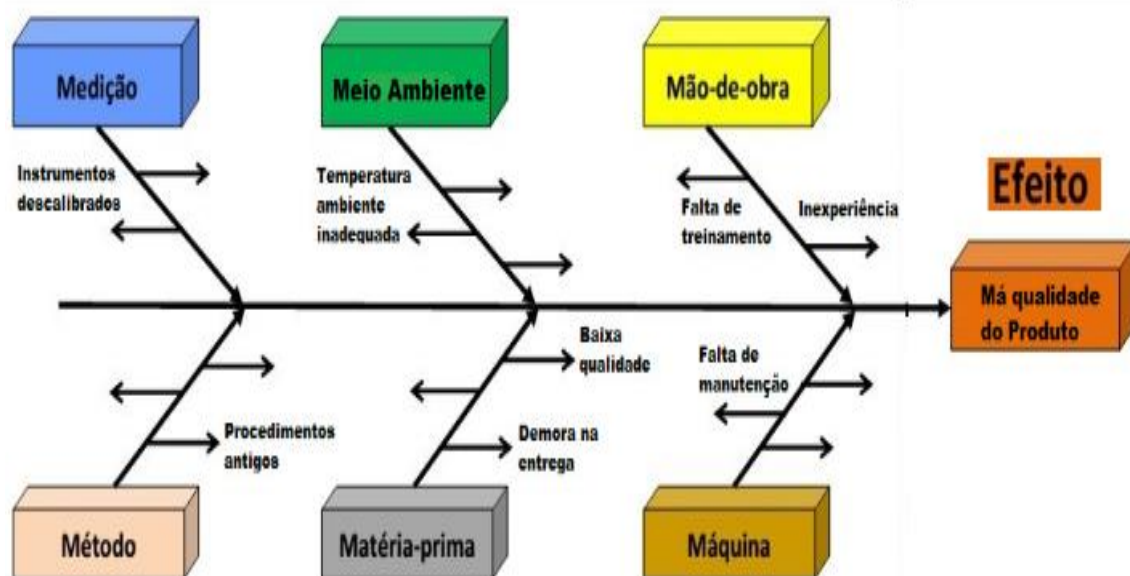
#### 2.4.5 Diagrama de causa e efeito ou diagrama de *Ishikawa*

Segundo Rodrigues (2020), o diagrama de causa e efeito, também chamado de diagrama de espinha de peixe ou diagrama de *Ishikawa*, é um diagrama que visa estabelecer a relação entre o efeito e todas as causas de um processo. Cada efeito possui várias categorias de causas, que por sua vez, podem ser compostas por outras causas. A sua elaboração pode ser feita através de um *brainstorming* ou de outras ferramentas.

Conforme Teixeira (2022), o diagrama de causas e efeitos também conhecido por espinha de peixe pelo seu formato e sua estrutura, onde consiste em ordenar as causas iniciais para os seus efeitos finais, ou seja, o problema é colocado do lado direito do gráfico (onde seria a cabeça do peixe), e suas causas do lado esquerdo. A

Figura 34 mostra um exemplo do formato do diagrama de causa e efeito.

Figura 34 - Exemplo do diagrama de causa e efeito



Fonte: Ferreira (2017)

Segundo Teixeira (2022), a principal utilidade do diagrama é identificar e ordenar em agrupamentos as causas de um problema. O diagrama dá ideias claras das causas prováveis que contribuem para um efeito, trazendo como vantagem a visualização das causas de modo esquemático e o foco nas causas e não nos sintomas.

#### 2.4.6 5W2H

Segundo Marshall Junior, Isnard et al. (2010), esta ferramenta é utilizada principalmente no mapeamento e padronização de processos, na elaboração de planos de ação e no estabelecimento de procedimentos associados a indicadores.

Conforme Teixeira (2022), o 5W2H nada mais é do que um roteiro para fazer o plano de ação, após o levantamento das causas raízes de problemas e a priorização das atividades. A sigla 5W2H vem de sete palavras na língua inglesa que são:

- **WHAT: O que** será feito? - Aqui deve-se determinar a intenção do que se pretende realizar, ou seja, definir e descrever o que será feito de fato.

- **WHY: Por que** será feito? - Trata-se da justificativa para o desenvolvimento do que foi proposto.
- **WHERE: Onde** será feito? - Definição do local de realização. Este local pode ser físico ou até mesmo um departamento ou setor de uma empresa.
- **WHEN: Quando** será feito? - O tempo de execução - cronograma e prazos para a execução.
- **WHO: Por quem** será feito? - Deve-se definir quem ou qual área será responsável pela execução do que foi definido. Por mais que uma área seja a responsável, uma boa prática é escolher um líder, ou seja, alguém que será encarregado de gerenciar a execução do que foi proposto.
- **HOW: Como** será feito? - Os métodos ou estratégias utilizadas para a condução do que foi estabelecido devem ser definidos para que o que foi idealizado seja executado da melhor forma.
- **HOW MUCH: Quanto** custará? - Definição do custo e investimento necessário para a realização do que foi proposto.

Segundo Teixeira (2022), o 5W2H é formado pelas respostas para as grandes perguntas de um planejamento de atividades. Respondendo às setes questões de modo realista, é possível enxergar com clareza a necessidade, ou não, de uma mudança e formular um plano para alcançar esse objetivo. Então, o 5W2H é comumente utilizado em planos de ação, que são tabelas com espaços para incluir a resposta de cada questão, como no exemplo da Figura 35.

Figura 35 - Exemplo de tabela para a ferramenta 5W2H

O QUÊ? (what)	QUEM? (who)	ONDE? (where)	QUANDO? (when)	POR QUÊ? (why)	COMO? (how)	QUANTO? (how much)
Etapas	Responsáveis	Local	Tempo	Justificativa	Método	Custo
Que ação será executada?	Quem irá executar/participar da ação?	Onde será executada a ação?	Quando a ação será executada?	Por que a ação será executada?	Como a ação será executada?	Quanto custa para executar a ação?

Fonte: Moki (2022)

Ainda Teixeira (2022) explica que, este modelo facilita a verificação do andamento de cada projeto e auxilia no controle do tempo, evitando o desperdício de recursos e delegando a cobrança da execução das ações. O 5W2H permite uma visualização rápida das necessidades, motivações, atividades a serem realizadas, responsáveis e o que falta para atingir a meta proposta.

### **3 METODOLOGIA**

Este trabalho utiliza a metodologia PDCA aplicada em um ciclo completo e caracteriza-se como um estudo de caso por ser uma aplicação de análise específica numa condição de trabalho real, visando a redução de problemas identificados. De acordo com Yin (2005), o estudo de caso é uma análise empírica que investiga um fenômeno contemporâneo dentro de seu contexto de vida real, especialmente quando os limites entre o fenômeno e o contexto não estão claramente definidos.

Neste estudo, realizou-se o PDCA completo, com a etapa de planejamento a partir da coleta de dados (Plan), execução da análise e acompanhamento do processo (Do), alteração e ajuste do processo produtivo e nova verificação (Check) e comparação para identificar quais as ações tiveram maior resultados (Act).

#### **3.1 Apresentação da empresa do estudo de caso**

A elaboração deste trabalho foi feita com dados de uma empresa localizada em Jaraguá do Sul, norte de Santa Catarina. A empresa atua há mais de 30 anos no mercado realizando suas atividades dentro do ramo metalúrgico. Especializada em automação hidráulica e pneumática, é distribuidora de componentes das grandes empresas deste segmento, e também atua na fabricação do seu próprio produto, como unidades hidráulicas e cilindros hidráulicos.

As dimensões de montagem e os tipos de fixação dos cilindros hidráulicos correspondem às normas ISO 6020/2, DIN 24554 e NF-E48-016, conforme o catálogo da empresa. A pressão nominal utilizada nos cilindros é de 160 bar, a pressão estática de teste 240 bar, e a pressão de operação máxima é de 210 bar para qualquer posição de montagem. O fluido hidráulico ou óleo mineral utilizado recomendado conforme a DIN 51 524 (HL, HLP), com faixa de temperatura de -20°C a 80°C a faixa de viscosidade é de 2,8 a 380mm/s, o grau de contaminação admissível do fluido conforme NAS 1638 classe 10. A velocidade de atuação da haste do cilindro é de 0,5 m/s, e o diâmetro da haste menor é de 12mm e a maior é de 140mm. Para os êmbolos utilizam diâmetros externos entre 25mm a 200mm.

Todos os cilindros são testados depois da montagem conforme o padrão da empresa. Para cilindros hidráulicos cujos os dados de aplicação sejam diferentes dos dados indicados no seu catálogo, a empresa também oferece execuções de projetos

especiais, com o acompanhamento da sua equipe de engenheiros e projetistas. A Figura 36 mostra um exemplo dos cilindros hidráulicos produzidos pela empresa.

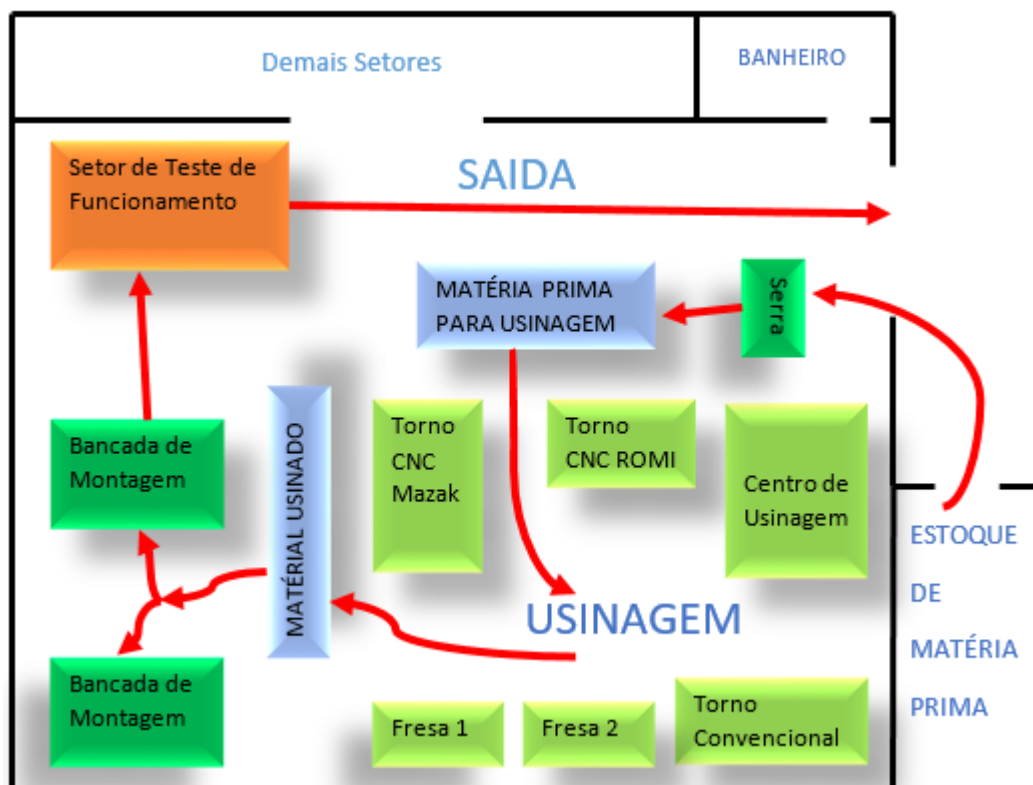
Figura 36 - Cilindros hidráulicos produzidos pela empresa



Fonte: Próprio autor (2023)

O estudo foi elaborado na seção de usinagem e montagem onde atualmente estão dividindo o mesmo galpão para as atividades. A Figura 37 mostra o *layout* do setor de montagem e usinagem onde ambos dividem o mesmo espaço.

Figura 37 - Layout do setor de usinagem e montagem



Fonte: Próprio autor (2023)

A partir do momento que as OPs ou Ordens de Produção chegam ao departamento produtivo através do PCP (setor de Planejamento e Controle da Produção), é encaminhada para a seção de corte pelo coordenador do setor. O mesmo é responsável por todo o setor de produção, tanto do corte, usinagem, montagem e teste. As ordens de produção estão separadas em pastas que contém o nome do cliente e a data para a entrega do pedido. Já dentro dela contém uma ordem de produção onde está escrito o número da OP, a quantidade a ser produzida com data do início do projeto e data de entrega do produto final. Também dentro da pasta contém todos os desenhos técnicos para o operador da serra fazer o corte da matéria-prima a ser usinada.

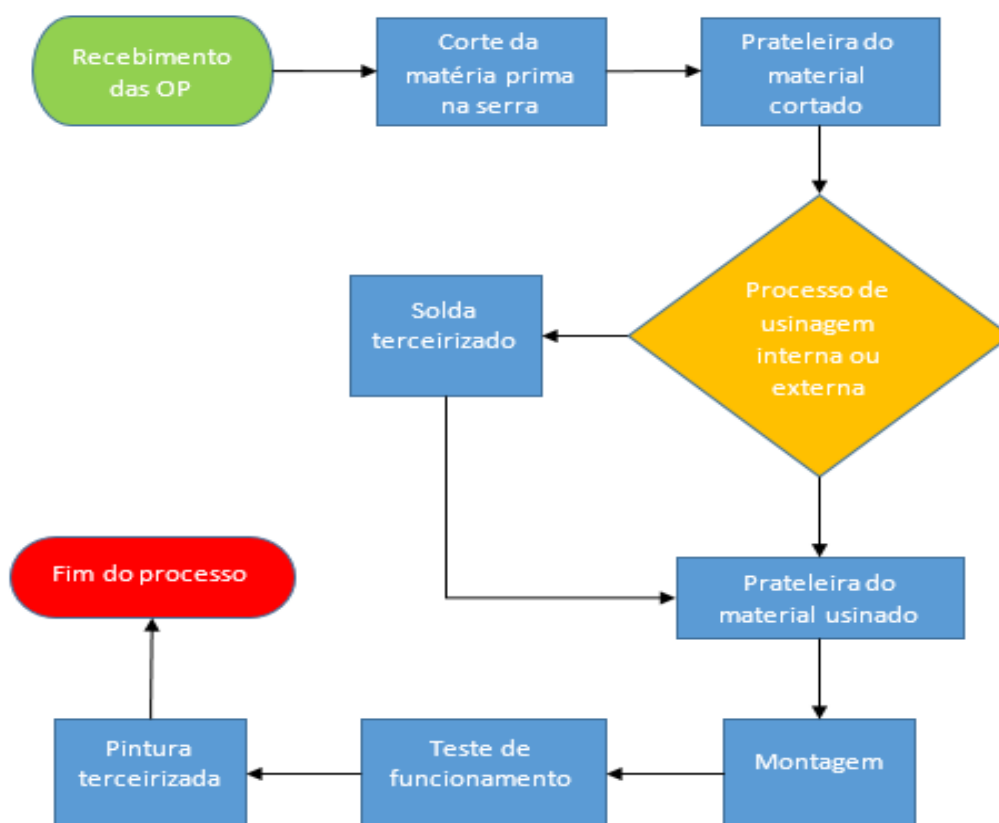
Os materiais após cortados, são separados pelo operador da serra em uma prateleira juntamente com a pasta de ordem de produção. O coordenador por sua vez fica responsável por separar este material em cada máquina dentro da usinagem, ou terceirizar caso a máquina a qual necessita para a usinagem não tenha capacidade dimensional para a fixação da matéria-prima ou esteja ocupada produzindo outros pedidos.

Após a matéria prima ser usinada, os operadores das máquinas colocam as peças em um palete próximo à linha de montagem, onde ficam todas as peças usinadas. Então o mesmo coordenador começa fazer uma organização onde separa as peças para cada pedido de acordo com o cliente até que o pedido esteja pronto com todos os componentes para a montagem do cilindro hidráulico organizando em ordem sequencial para a linha de montagem.

Após os cilindros serem montados seguem para o teste, onde é pressurizado óleo hidráulico com pressão controlada para identificar se há algum tipo de avaria onde é analisado se há vazamento, se o amortecimento está atuando corretamente e se o curso da haste está com o comprimento de acordo com o especificado no projeto.

Ainda após a liberação, o cilindro hidráulico segue para a pintura, este processo é feito por empresa terceirizada. No retorno da pintura os cilindros são embalados em paletes e caixas de madeiras para serem enviados para o cliente final. A Figura 38 mostra o fluxograma do processo produtivo do setor de produção dos cilindros hidráulicos.

Figura 38 - Fluxograma do processo produtivo no setor de produção



Fonte: Próprio autor (2023)

O processo exibido no fluxograma acima mostra as etapas do procedimento produtivo do setor para fabricação dos cilindros hidráulicos e também o funcionamento das etapas já relatadas anteriormente.

### **3.2 Coleta de dados**

A primeira dificuldade encontrada para o início do estudo foi a falta de dados reais de falhas de qualidade. A empresa estudada não coletava dados, porém era perceptível que haveria a necessidade de buscar informações de produção. Assim, foi desenvolvido um instrumento de coleta de informações. Este instrumento foi uma folha de apontamento de dados que foi implantada na montagem final, buscando identificar falhas do processo produtivo completo. A folha de apontamento foi elaborada pelo próprio autor, onde o operador da linha de montagem registrou as causas de problemas de não-montagem dos componentes que envolvem um cilindro hidráulico, de forma escrita manualmente no período de trinta dias.

As informações coletadas foram o número da ordem de produção (OP), número do desenho do produto, quantidades produzidas, quantidades com defeito e observações quando necessário, conforme Figura 39 que ilustra uma das folhas de verificação utilizadas para a coleta de dados no setor de montagem.

Figura 39 - Folha de apontamento de dados preenchida na montagem

Folha de Verificação - Apontamento Montagem Final de Cilindros						
Ordem Produção/Data Entrega	Numero do Desenho	Início (Data - Hora)	Quantidades	Quantidades C/Defeito	Finalização (Data - Hora)	
151640 - 22/02	500839	19/04-14:20	2	0K	19/04-9:30	
Preparação	Lavar ✓	Passar Macho nos Porticos	Passar lixa de Acabamento ✓	Use Lima ou Ponta Giratoria ✓		
1 Problema Rosca Apertada	Ponteiras	Porcas	Cabeçotes	Haste	Embolo	Tirante
2 Problema Peça Fora da Medida	Ponteiras	Porcas	Cabeçotes	Haste	Embolo	Buchas de Amortecimento
3 Problema Peças Danificadas	Tirante	Porcas	Cabeçotes	Haste	Embolo	Buchas de Amortecimento
4 Problema Teste do Cilindro	Não dar o Curso Completo			Vazamento		
Ações	Refugado	Passar Macho ou Cocinete	Encaminhamento para a Usinagem	Use Lima ou Ponta Giratoria		
Observações						

Folha de Verificação - Apontamento Montagem Final de Cilindros						
Ordem Produção/Data Entrega	Numero do Desenho	Início (Data - Hora)	Quantidades	Quantidades C/Defeito	Finalização (Data - Hora)	
151625 - 22/02	500833	19/04-14:40	2	2	20/04-11:00	
Preparação	Lavar ✓	Passar Macho nos Porticos	Passar lixa de Acabamento ✓	Use Lima ou Ponta Giratoria ✓		
1 Problema Rosca Apertada	Ponteiras	Porcas	Cabeçotes	Haste	Embolo	Tirante
2 Problema Peça Fora da Medida	Ponteiras	Porcas	Cabeçotes	Haste	Embolo	Buchas de Amortecimento
3 Problema Peças Danificadas	Tirante	Porcas	Cabeçotes	Haste	Embolo	Buchas de Amortecimento
4 Problema Teste do Cilindro	Não dar o Curso Completo			Vazamento		
Ações	Refugado	Passar Macho ou Cocinete	Encaminhamento para a Usinagem ✓	Use Lima ou Ponta Giratoria		
Observações	ASISTE DE MEDIDA E ROSCA					

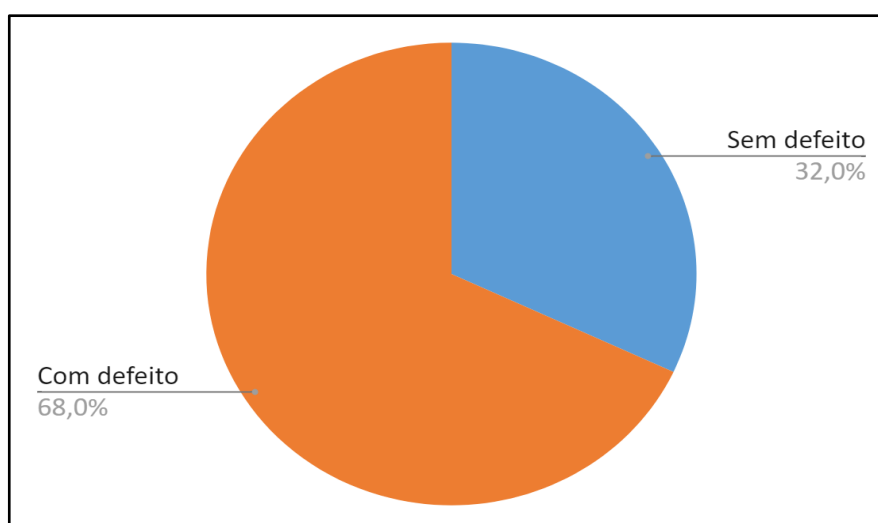
  

Folha de Verificação - Apontamento Montagem Final de Cilindros						
Ordem Produção/ Data Entrega	Numero do Desenho	Início (Data - Hora)	Quantidades	Quantidades C/Defeito	Finalização (Data - Hora)	
151615 - 22/02	578622	19/04-16:35	2	2	20/04-10:20	
Preparação	Lavar ✓	Passar Macho nos Porticos	Passar lixa de Acabamento ✓	Use Lima ou Ponta Giratoria ✓		
1 Problema Rosca Apertada	Ponteiras	Porcas	Cabeçotes	Haste	Embolo	Tirante
2 Problema Peça Fora da Medida	Ponteiras	Porcas	Cabeçotes	Haste	Embolo	Buchas de Amortecimento
3 Problema Peças Danificadas	Tirante	Porcas	Cabeçotes	Haste	Embolo	Buchas de Amortecimento
4 Problema Teste do Cilindro	Não dar o Curso Completo			Vazamento		
Ações	Refugado	Passar Macho ou Cocinete	Encaminhamento para a Usinagem ✓	Use Lima ou Ponta Giratoria		
Observações	ASISTE DE MEDIDA E ROSCA					

Fonte: Próprio autor (2023)

No período de 30 dias de coleta de dados, foram produzidos 97 cilindros em 47 OPs, dos quais 68% apresentaram algum tipo de defeito, sendo então 66 cilindros que não puderam ser montados diretamente e esses componentes com problemas de montagem tiveram que ser retrabalhados. Para uma melhor visualização, a Figura 40 ilustra um gráfico que apresenta uma visão geral dos dados coletados.

Figura 40 - Visão geral dos dados coletados



Fonte: Próprio autor (2023)

Para entender melhor quais os componentes que estavam causando a não-conformidade de montagem foram posteriormente analisados individualmente por procedimentos estatísticos e apresentados por forma de gráficos.

### 3.3 Análise dos dados

Foram encontrados nos registros da montagem final 11 tipos de retrabalho e, considerando que alguns desses componentes tiveram mais de um registro apontando rejeição de não montagem, somaram então 100 defeitos encontrados nos 66 cilindros não-conformes dos 97 cilindros produzidos. Os defeitos foram agrupados e identificados, conforme a Figura 41.

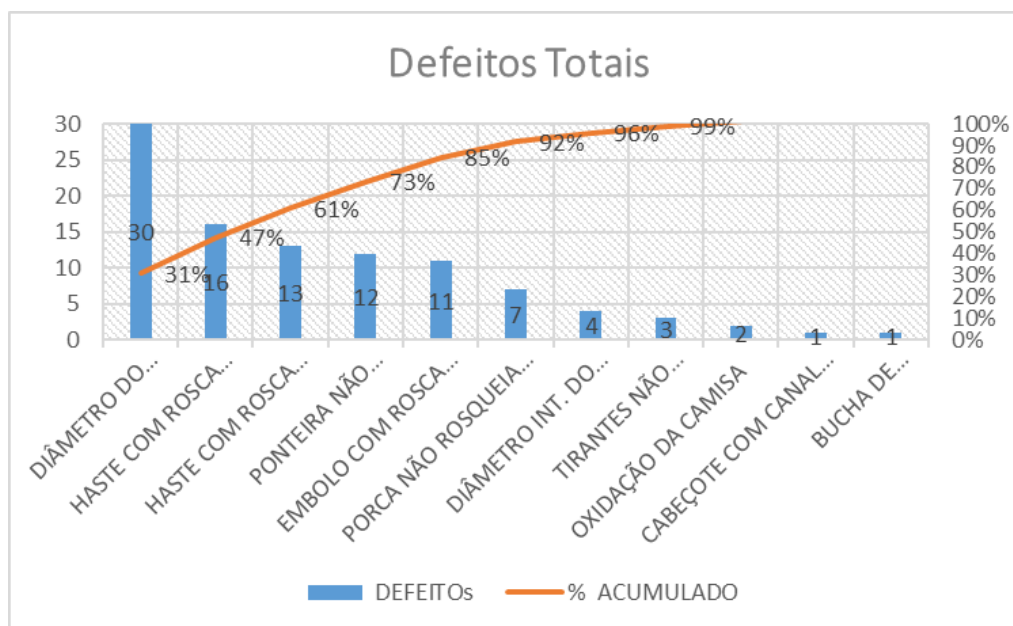
Figura 41 - Tipos de retrabalho encontrado

TIPOS DE RETRABALHO	DEFEITOS	% ACUMULADO	% PORCENTAGEM
DIÂMETRO DO ÊMBOLO APERTADO	30	31%	31%
HASTE COM ROSCA APERTADA LADO PONTEIRA	16	47%	16%
HASTE COM ROSCA APERTADA LADO ÊMBOLO	13	61%	13%
PONTEIRA NÃO ROSQUEIA NA HASTE	12	73%	12%
ÊMBOLO COM ROSCA APERTADO	11	85%	11%
PORCA NÃO ROSQUEIA NA HASTE	7	92%	7%
DIÂMETRO INT. DO CABEÇOTE APERTADO	4	96%	4%
TIRANTES NÃO ROSQUEIA NO CABEÇOTE	3	99%	3%
OXIDAÇÃO DA CAMISA	2	101%	2%
CABEÇOTE COM CANAL APERTADO	1	102%	1%
BUCHA DE AMORTECIMENTO FORA DE MEDIDA	1	103%	1%
TOTAL de Defeitos	100		
TOTAL de Cilindros Produzidos	97		

Fonte: Próprio autor (2023)

A partir dos dados, criou-se o gráfico de Pareto com defeitos totais para identificar a prevalência dos problemas de retrabalhos encontrados na montagem dos cilindros hidráulicos, apresentados abaixo na Figura 42.

Figura 42 - Gráfico de Pareto defeitos totais



Fonte: Próprio autor (2023)

Analisando o Gráfico de Pareto, identifica-se que 85% dos defeitos estão em 5 tipos de problema de retrabalho encontrados, sendo o diâmetro interno do êmbolo apertado com maior problema contendo 30 defeitos apresentados, logo em seguida vem haste com rosca apertada lado ponteira com 16 defeitos, também a haste com rosca apertado lado êmbolo com 13 problemas, em seguida as ponteiras que não rosqueiam na haste com 12 defeitos e também o êmbolo com rosca apertada com 11 defeitos.

### 3.3.1 Principais componentes com problema de montagem

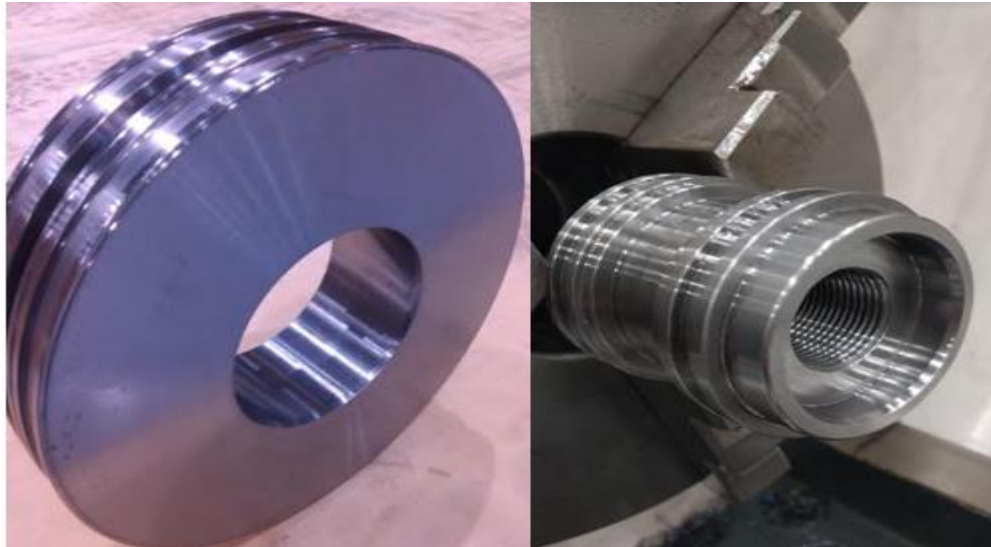
A partir do levantamento dos problemas de montagem que representam 85% das não-conformidades, se realizou um estudo individual de cada tipo dos componentes que apresentaram maior relevância nas causas de não montagem, buscando uma compreensão maior de suas características e aplicações. Sendo assim, descreve-se as falhas na sequência.

- O diâmetro interno do êmbolo apertado apresentou 31% das causas, o êmbolo é um componente que vai fixado em um dos lados da haste do cilindro que fica no interior da camisa. Serve como um tipo de parede de divisão dentro da

camisa que se movimenta juntamente com o conjunto da haste.

- O êmbolo com rosca apertado apresentou 11% das causas, o diâmetro interno do êmbolo pode ser um furo liso passante de dimensões especificado pelo projeto e fixo com uma contra porca. Também existem êmbolos que são rosqueados diretamente na haste. A figura 43 mostra um exemplo destes dois tipos de êmbolos.

Figura 43 - Êmbolo com diâmetro interno liso e êmbolo com diâmetro interno com rosca



Fonte: Próprio autor (2023)

- A haste com rosca apertada do lado êmbolo apresentou 13% das falhas, onde tiveram que ser retrabalhadas na usinagem. As hastes e os êmbolos variam de diâmetro conforme o projeto e a função de trabalho do cilindro. A Figura 44 mostra um exemplo de um êmbolo e o lado de fixação na haste.

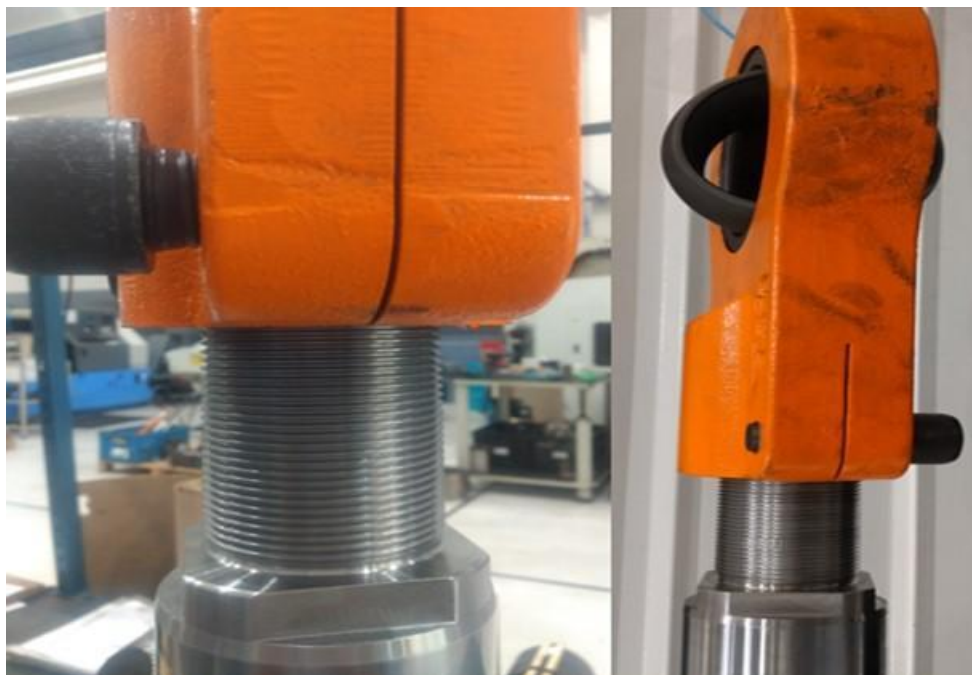
Figura 44 - Exemplo de um êmbolo e a haste de fixação



Fonte: Próprio autor (2023)

- A haste com rosca apertada lado da ponteira apresentou 16% das causas de retrabalho. A haste do cilindro hidráulico geralmente é composta por rosca ambos os lados onde em uma é fixado o êmbolo que fica no interior da camisa, e o outro lado fica na parte externa onde é fixado algum dispositivo como rótula ou ponteira ou diretamente na própria máquina em que o cilindro irá trabalhar. A haste tem um movimento linear onde pode ser trabalhado tanto no sentido vertical como no sentido horizontal.
- Ponteira não rosqueia na haste apresentou 12% dos retrabalhos. A ponteira ou rótula do cilindro hidráulico possibilita a fixação dos cilindros em outras máquinas. Por sua vez, são aplicados em diferentes demandas, como o acionamento de tratores, comando de comportas, prensas, frenagens, movimentação de cargas em geral e de precisão que podem ser acionadas e programadas por válvulas de sensores elétricos. A Figura 45, mostra um exemplo de ponteiras roscadas na ponta das hastes.

Figura 45 - Ponteiros rosqueada na ponta das hastes

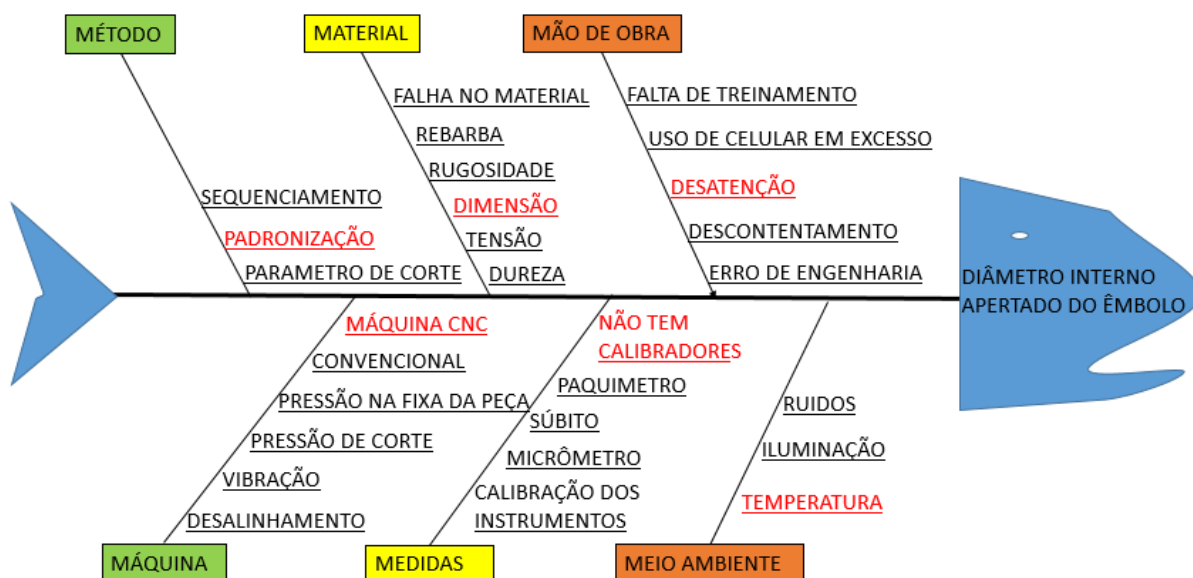


Fonte: Próprio autor (2023)

Assim, foram apresentados acima os principais problemas dos componentes que geram retrabalho na hora da montagem dos cilindros hidráulicos conforme a análise de dados coletados no período de trinta dias.

Para poder visualizar as possíveis causas desses problemas foram utilizados métodos das ferramentas da qualidade como o *brainstorming* que foi realizado em duas etapas, sendo a primeira a geração máxima de ideias referentes a um problema, sem que haja algum julgamento ou crítica sobre elas. A segunda etapa se deu quando não há mais ideias referentes à pauta, então é feito um agrupamento e ordenação das ideias, que em seguida foram atreladas ao diagrama de *Ishikawa*, conforme as análises da folha de verificação de dados de retrabalho na montagem. Na Figura 46 pode-se verificar um levantamento de ideias das possíveis causas que podem estar ocasionando o problema do diâmetro interno do êmbolo apertado no diagrama de *Ishikawa*, onde os problemas que estão escritos em vermelho são os de maior relevância.

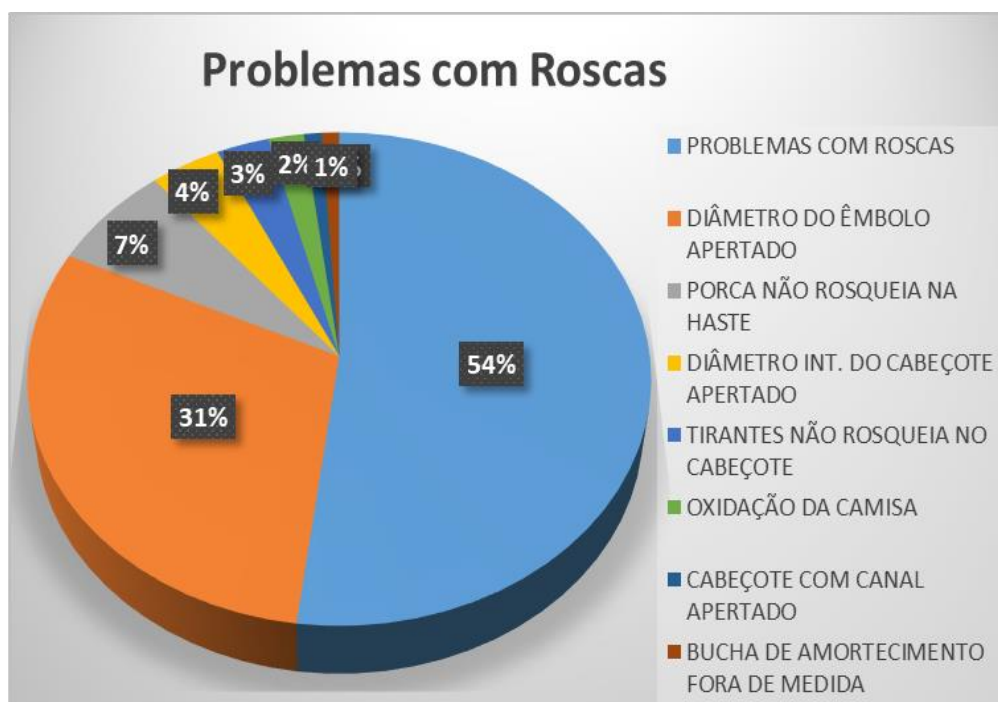
Figura 46 - Diagrama de Ishikawa diâmetro interno do êmbolo apertado



Fonte: Próprio autor (2024)

A Figura 47 mostra que dos cinco principais problemas de retrabalhos encontrados conforme a coleta de dados, 31% é devido ao diâmetro interno do êmbolo apertado, e que 54% é ocasionado por problemas em componentes com rosca que não montam entre si.

Figura 47 - Principais problemas com rosca



Fonte: Próprio autor (2024)

Assim, na Figura 48 pode-se verificar um levantamento de ideias das possíveis causas que podem estar ocasionando o problema com os componentes que possuem rosca que não estão montando entre si. As causas que estão escritas em vermelho são as de maior relevância dentro do Diagrama de *Ishikawa*.

Figura 48 - Diagrama de *Ishikawa* sobre as possíveis causas de problemas nas roscas.



Fonte: Próprio autor (2024)

Como os principais problemas nos componentes em roscas foram levantados basicamente nas mesmas pautas para elaborar os diagramas de causas e efeitos, então não foi necessário fazer um diagrama individual para cada um dos componentes. Por agrupamento, a imagem acima engloba as principais causas dos problemas, para todos eles que envolve roscas (êmbolo com rosca apertada, haste com rosca apertada lado êmbolo, haste com rosca apertado lado ponteira e ponteira não rosqueia na haste).

## **4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS**

Neste capítulo serão apresentadas análises de acompanhamento práticos que foram realizadas no chão de fábrica, com produtos reais em componentes dos cilindros hidráulicos que vieram a ter problema de retrabalho no setor de montagem.

### **4.1 Análise e acompanhamento de retrabalhos no chão de fábrica**

As análises práticas obtidas dos componentes dos cilindros hidráulicos, foram na verificação dos retrabalhos de não montagem dos componentes. Os testes de acompanhamento dimensionais ocorreram devido a não montagem no chão de fábrica onde tiveram que ser retrabalhos na usinagem.

#### **4.1.1 Análise da haste lado êmbolo e análise do êmbolo no chão de fábrica.**

Verificando as hastes no chão de fábrica percebe-se que as dimensões onde vai o alojamento do êmbolo estão 100% corretas. Onde as tolerâncias dimensionais conforme o especificado no desenho técnico que são de -0,02mm a -0,04mm, sempre com folga em relação ao diâmetro interno do êmbolo. Pois o êmbolo com diâmetro liso passante, tem que entrar deslizando sobre a haste.

A Figura 49 mostra a dimensão da haste 29,980mm, onde as dimensões estão corretas conforme as especificações do desenho técnico, sendo assim o êmbolo que estiver também com as dimensões corretas não teria problema de montagem.

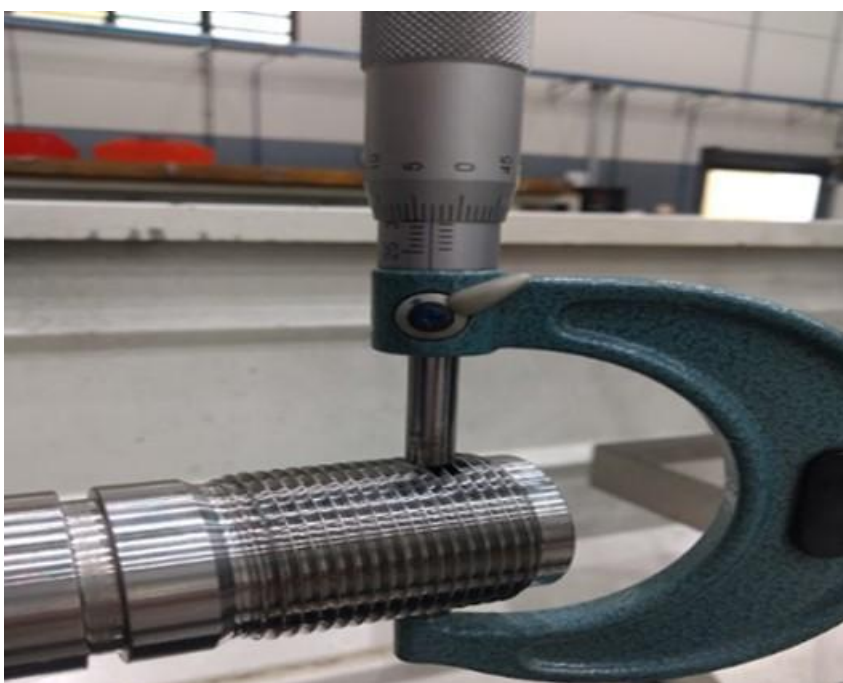
Figura 49 - Verificação do diâmetro da haste no encaixe do êmbolo.



Fonte: Próprio autor (2024)

Porém fazendo uma outra medida na mesma haste, só que agora no diâmetro que foi feita a rosca, encontrou-se variação de medida, onde o diâmetro do filete da rosca está maior do que o especificado conforme a Figura 50.

Figura 50 - Mostra o diâmetro da rosca fora do especificado

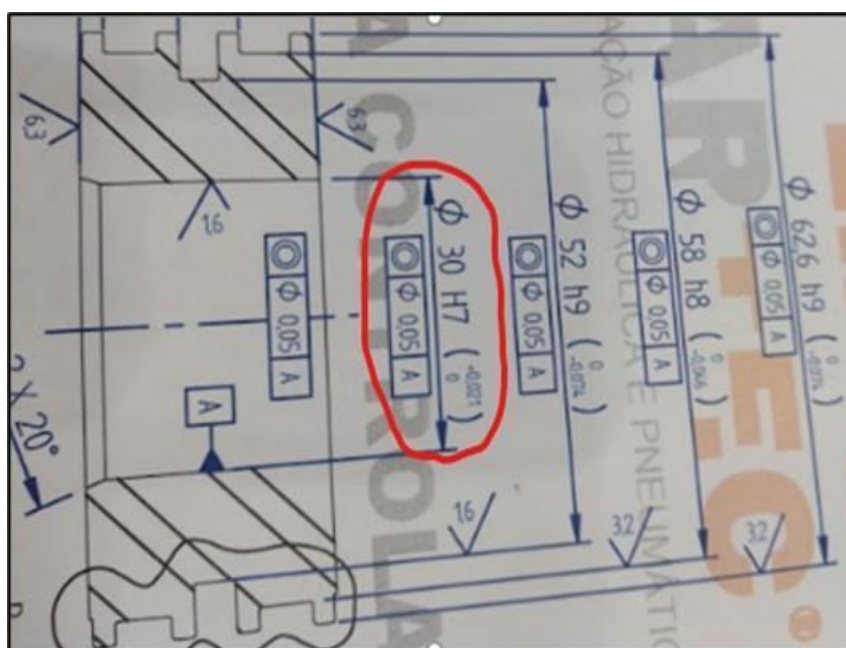


Fonte: Próprio autor (2024)

A dimensão analisada na rosca foi de 30,030mm. Com essa dimensão, apesar do encaixe do êmbolo estar correto, o mesmo por sua vez não vai conseguir passar da rosca na sua montagem, pois apresenta dimensões com interferência.

O diâmetro interno do êmbolo apresentado no desenho técnico é de tolerâncias dimensionais que podem variar de 0,000mm a 0,021mm, conforme a Figura 51 do desenho técnico utilizado pela empresa.

Figura 51 - Mostra o diâmetro interno do êmbolo conforme o desenho técnico



Fonte: Próprio autor (2024)

A haste obtida com dimensões 29,980mm no diâmetro do encaixe do êmbolo está conforme as especificadas no desenho pela empresa que pode variar de 29,980mm a 29,960mm.

O êmbolo também por sua vez não apresentou variações no diâmetro interno conforme os dados coletados no setor de montagem, que alegavam que não montavam devido o diâmetro interno estar apertado. As dimensões do êmbolo podem variar de 30.000mm até 30,021mm.

Embora o que foi encontrado com interferência de medidas foi o diâmetro do filete da rosca da haste, deveria estar pelo menos com as mesmas dimensões do encaixe do êmbolo ao longo da haste. As medidas encontradas foram de 30,030mm que podem ter sido ocasionado por desgaste da ferramenta de corte, levantando uma

pequena rebarba no filete da rosca. Assim ocasionado uma interferência de 0,010mm a 0,030mm.

Figura 52 - Êmbolo com interferência de montagem na haste



Fonte: Próprio autor (2024)

A Figura 52 mostra um exemplo de interferência de dimensões entre o diâmetro interno do êmbolo e o diâmetro externo na rosca da haste, onde o êmbolo era para montar com ajuste deslizante e travou na rosca da haste.

#### 4.1.2 Análise e acompanhamento da ponteira no chão de fábrica

A Figura 53 mostra um exemplo do acompanhamento da usinagem de uma ponteira com dimensões nominais de M33x2. O operador da montagem não conseguiu rosquear a mesma na haste, embora a haste apresentasse um diâmetro externo de 33 mm e passo de 2 mm.

Analisando os dados dimensionais da ponteira identifica-se que o operador da usinagem deixou o diâmetro interno da rosca com 31,02 mm. Embora depois do corte na serra este diâmetro deva ter sofrido alteração ficando com a medida de 30,92 mm, tendo um fechamento do diâmetro interno de 0,10 mm.

Figura 53 - Acompanhamento da usinagem de uma ponteira



Fonte: Próprio autor (2024)

Este fechamento do diâmetro é ocasionado devido às tensões que sofre o material depois do corte na serra. Esse fechamento pode variar de acordo com o diâmetro do furo ou da tensão do próprio material, já que as ponteiras depois de fundidas não passam por um tratamento de normalização. (Ponteiras fundidas são compradas de terceiros pela empresa analisada).

Quando ocorre esse tipo de problema da ponteira não rosquear na haste, primeiramente é passada uma ferramenta de macho até no fundo do furo da mesma. Caso não resolva o problema é aliviada a rosca da haste em um torno mecânico para folgar um pouco a rosca até a ponteira rosquear na haste.

#### **4.2 Análise e acompanhamento da fabricação após a aplicação da norma ABNT NBR ISO 965 -2**

Como identificou-se que existem medidas que estão sendo realizadas na usinagem que não cumprem a ABNT NBR ISO 965-2, sendo essas possíveis de serem causadoras de falhas de montagem, buscou-se a ação de corrigir as medidas para que cumpram o que consta em norma. Assim, foi feito um acompanhamento dos testes práticos na fabricação dos componentes dos cilindros hidráulicos, onde foi

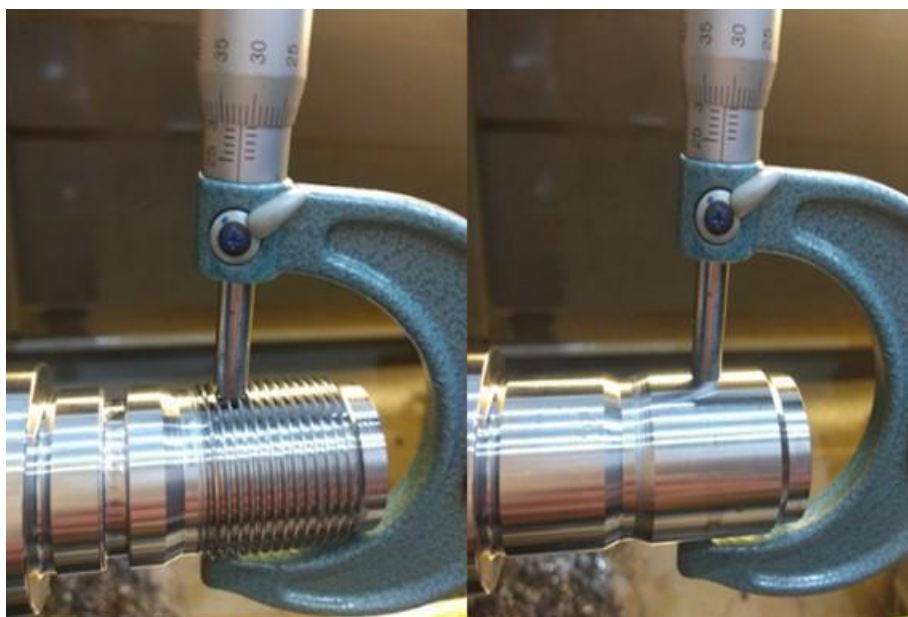
aplicada a norma de limites dimensionais para roscas internas e externas de uso geral.

#### 4.2.1 Análise dimensional da haste lado êmbolo

Foi realizado o acompanhamento dimensional da haste após a aplicação da norma NBR ISO 965-2 que limita o dimensionamento dos diâmetros de rosca externas e internas.

Conforme a norma NBR ISO 965-2 (2004), um diâmetro externo com rosca M30x2 suas tolerâncias dimensionais podem variar entre os diâmetros máximo de 29,962 mm e mínima de 29,682 mm.

Figura 54 - Acompanhamento dimensional da haste lado êmbolo



Fonte: Próprio autor (2024)

A imagem da Figura 54 mostra um exemplo dos testes de aplicação da norma do diâmetro externo da rosca da haste que compreende a medida de 29,82mm, ficando dentro da faixa de tolerância admissível pela norma.

#### 4.2.2 Acompanhamento dimensionais na fabricação da ponteira

A ponteira foi feita com acompanhamento da sua fabricação para verificar o caso de alterações dimensionais conforme a sua fabricação. Foram produzidas 2 peças e acompanhado todo o seu processo desde a usinagem até a montagem final.

A Figura 55 especifica as dimensões do diâmetro do furo antes e depois da usinagem da rosca. O procedimento foi feito no centro de usinagem.

Figura 55 - Imagem da produção da ponteira



Fonte: Próprio autor (2024)

Conforme verificado, as dimensões do furo depois do procedimento de fabricação de rosca não tiveram alterações. O diâmetro da rosca neste caso é um M48x2 de acordo com o desenho técnico onde mostra que o operador deixou o furo com 46,10mm, dentro dos padrões de fabricação da norma NBR ISO 965-2, que pode variar o dimensionamento entre 46,210mm e 45,835mm.

Foi estabelecido dentro do setor da usinagem que a empresa irá trabalhar as dimensões de tolerâncias para furos sempre com as medidas dos furos com a média para máxima e nunca para mínima dentro da norma. Assim todos os diâmetros dos furos ficariam positivos e com mais folgas, pois sabe-se que logo adiante há o processo de corte na serra fita que pode ocorrer um fechamento do diâmetro do furo.

Depois deste processo a ponteira vai para uma máquina de serra fita onde é feito um corte no centro do diâmetro do furo para que os parafusos de fixação consigam fazer o aperto da ponteira na ponta da haste. A Figura 56 ilustra o corte de serra na ponteira.

Figura 56 - Ilustra o corte de serra na ponteira



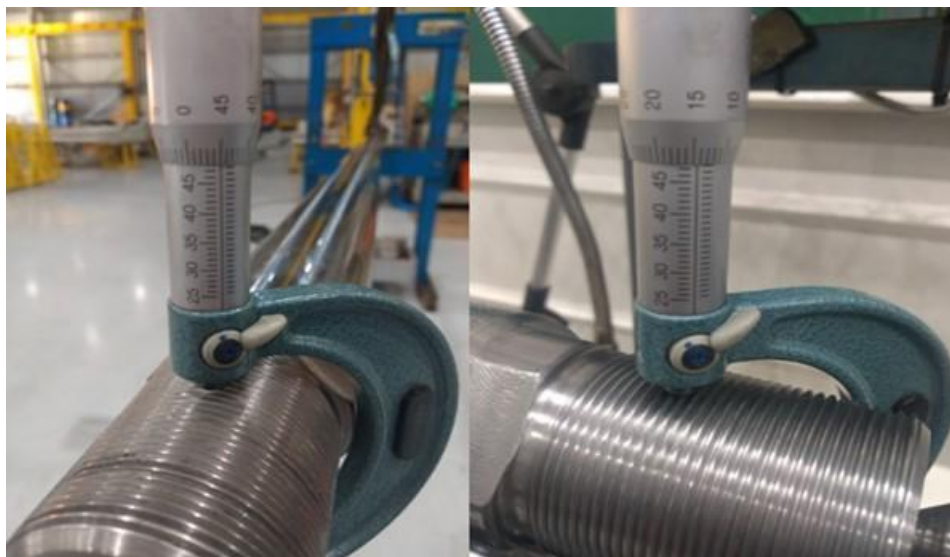
Fonte: Próprio autor (2024)

Este procedimento no corte da serra é um processo delicado pois pode causar tensões na peça e ter alterações dimensionais causando o fechamento do diâmetro interno, porém nesse caso houve um fechamento com poucas alteração de apenas 0,060mm, ficando ainda dentro do especificado pela norma.

#### 4.2.3 Acompanhamento dimensionais na fabricação da haste lado ponteira

Realizou-se o acompanhamento dimensional das hastes lado ponteira onde o desenho técnico especifica uma rosca M48x2 e o operador deixou os diâmetros externos das hastes com dimensional máxima de 47,95mm, e a outra com dimensional mínima de 47,65mm, conforme mostra a Figura 57.

Figura 57 - Acompanhamento dimensional na fabricação da haste lado ponteira



Fonte: Próprio autor (2024)

#### 4.2.4 Acompanhamento da montagem final dos cilindros hidráulicos

Após o acompanhamento dimensional no processo de usinagem aplicando as condições referentes à norma adotada de limites dimensionais para roscas internas e externas pode-se ver a montagem final das ponteiros nas hastes em que foram acompanhadas as devidas fabricações.

Figura 58 - Acompanhamento da montagem final dos cilindros



Fonte: Próprio autor (2024)

A Figura 58 mostra o acompanhamento da montagem final dos cilindros

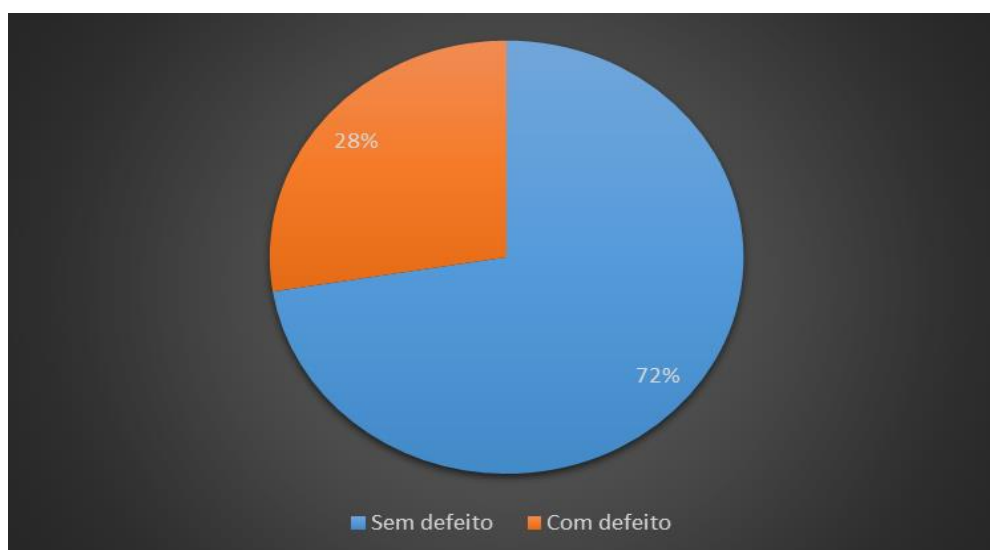
hidráulicos, onde foi aplicado a norma de limites dimensionais para roscas externas e internas para uso geral. Nesse caso houve sucesso, pois os componentes acompanhados não precisaram ser retrabalhados novamente na usinagem.

#### 4.3 Análise e coletas de dados após a aplicação da norma ABNT NBR ISO 965-2.

Após o acompanhamento e análise dos processos de fabricação e tomadas as ações de ajustes e aplicação da norma ABNT NBR ISO 965-2, identificou-se que, pelas principais falhas estarem relacionadas às roscas que causam problemas de não-montagem, existe a possibilidade de um grande ganho na redução de falhas. E torna-se necessário reavaliar quanto foi a redução de falhas na montagem.

Assim, novamente no período de 30 dias foram refeitas as coletas de dados no setor de montagem, onde foram produzidos 69 cilindros em 42 OPs, dos quais 28% apresentaram algum tipo de defeito, sendo então 19 cilindros que não puderam ser montados diretamente e os componentes com problema foram retrabalhados. Para uma melhor visualização da nova análise, que cumpre os requisitos do PDCA, a Figura 59 ilustra a dimensão geral dos dados coletados após os ajustes no processo.

Figura 59 - Dados coletados após a aplicação da norma



Fonte: Próprio autor (2024)

O gráfico acima mostra uma dimensão geral dos dados coletados após a aplicação da norma, onde os componentes com problema de montagem tiveram que

ser retrabalhados.

Buscou-se entender quais os componentes que estão causando a não conformidade de montagem nessa segunda análise e serão posteriormente analisados e apresentados por forma de gráficos. Foram encontrados nos registros da montagem final, 7 tipos de componentes que vieram ter retrabalho em 19 cilindros não-conformes. Os defeitos foram agrupados e identificados, conforme a Figura 60.

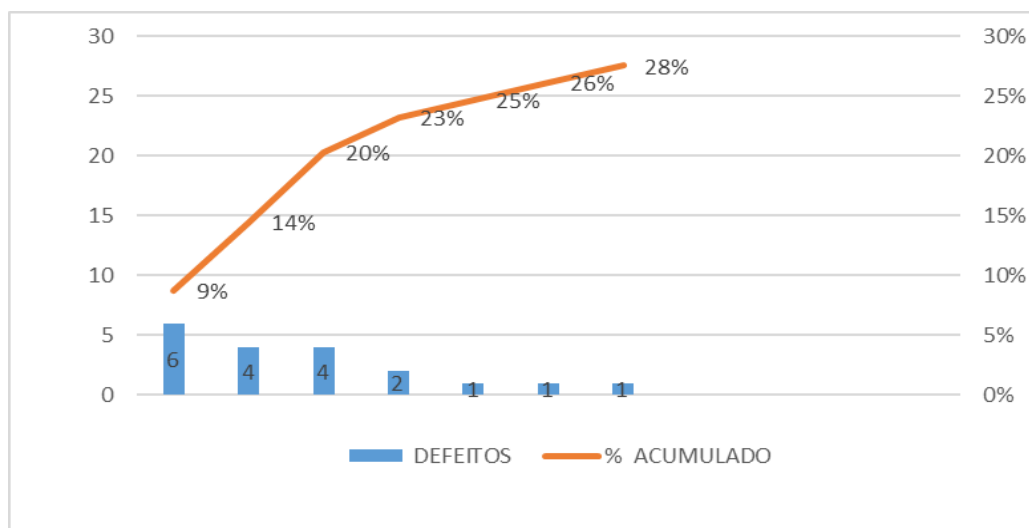
Figura 60 - Tipos de retrabalho encontrado após a aplicação da norma

TIPOS DE RETRABALHO	DEFEITOS	% ACUMULADO	% PORCENTAGEM
DIÂMETRO INT. DO CABEÇOTE APERTADO	6	9%	9%
HASTE COM ROSCA APERTADA LADO ÊMBOLO	4	14%	6%
CABEÇOTE COM CANAL APERTADO	4	20%	6%
PORCA NÃO ROSQUEIA NA HASTE	2	23%	3%
PONTEIRA NÃO ROSQUEIA NA HASTE	1	25%	1%
ÊMBOLO COM ROSCA APERTADO	1	26%	1%
TIRANTES NÃO ROSQUEIA NO CABEÇOTE	1	28%	1%
TOTAL de Defeitos	19		
TOTAL de Cilindros Produzidos	69		

Fonte: Próprio autor (2024)

A partir dos dados, criou-se um novo gráfico de Pareto com defeitos totais para identificar a prevalência dos problemas de retrabalhos encontrados na montagem dos cilindros hidráulicos, apresentados abaixo na Figura 61

Figura 61 - Gráfico de Pareto após a aplicação da norma



Fonte: Próprio autor (2024)

Analisando o Gráfico de Pareto, identifica-se que os 7 problemas encontrados totalizam 28% de retrabalho dos 69 cilindros produzidos. Em que o diâmetro interno do cabeçote apertado com maior problema, contendo 6 defeitos apresentados, logo em seguida vem cabeçote com canal apertado 4 defeitos, temos haste com rosca apertado lado êmbolo 4 problemas e também temos porca não rosqueia na haste 2 defeitos. Esses foram os quatro maiores defeitos encontrados de retrabalho de acordo com os dados do diagrama de Pareto que ocasiona 23% totais das causas de problema de não montagem dos componentes dos cilindros após a aplicação da norma.

#### 4.3.1 Principais problemas encontrados após nova coletas de dados

Os 4 maiores defeitos encontrados de retrabalho de acordo com os dados do diagrama de Pareto que ocasiona problemas de não montagem representam 23% das não-conformidades, realizou-se um estudo individual de cada tipo dos componentes que apresentaram maior relevância nas causas de não montagem, buscando uma compreensão maior de suas características e aplicações. Sendo assim, descreve-se as falhas na sequência.

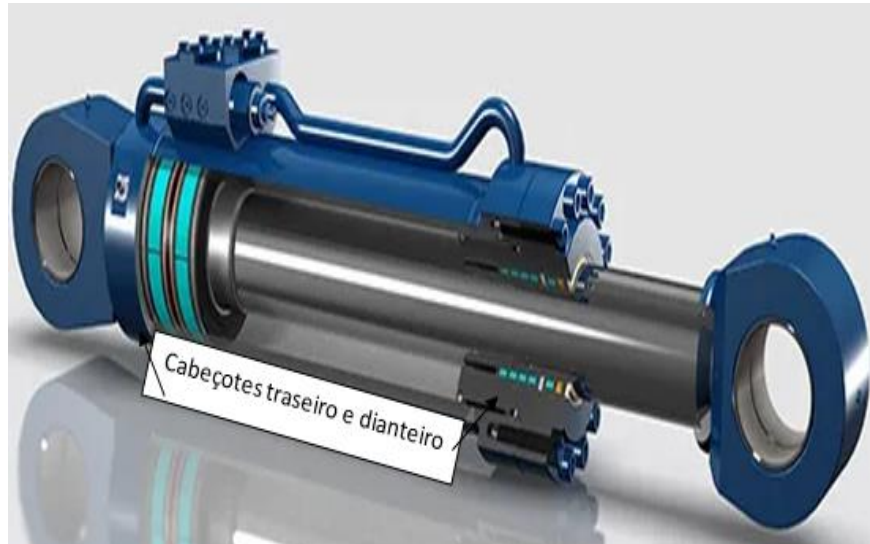
- Diâmetros internos dos cabeçotes apertados apresentou 9% dos problemas apresentados na nova coleta de dados.

Foi dado este nome na verdade somente para representar o problema, pois na verdade os diâmetros dos cabeçotes estão corretos, conforme as tolerâncias especificadas no desenho técnicos apresentados pela a empresa. Esse caso já é um problema corriqueiro em cilindros com o diâmetros internos dos cabeçotes superiores a 80mm.

Conforme a pressão de trabalho vai aumentando a bucha de amortecimento tende em se conformar, fazendo que a mesma venha a travar no diâmetro do cabeçote, assim tendo a especificação em que o diâmetro interno do cabeçote esteja apertado mesmo com as tolerâncias corretas. (Esse já é um caso estudado pela empresa). Mais que ocorreu durante a pesquisa de coletas de dados em que não podemos deixar de ser citado como retrabalho, pois nesses casos tem que ser desmontado todo o cilindro e retrabalhar novamente os

cabeçotes. A Figura 62 mostra um exemplo de um cilindro hidráulico montado os cabeçotes traseiro e dianteiro.

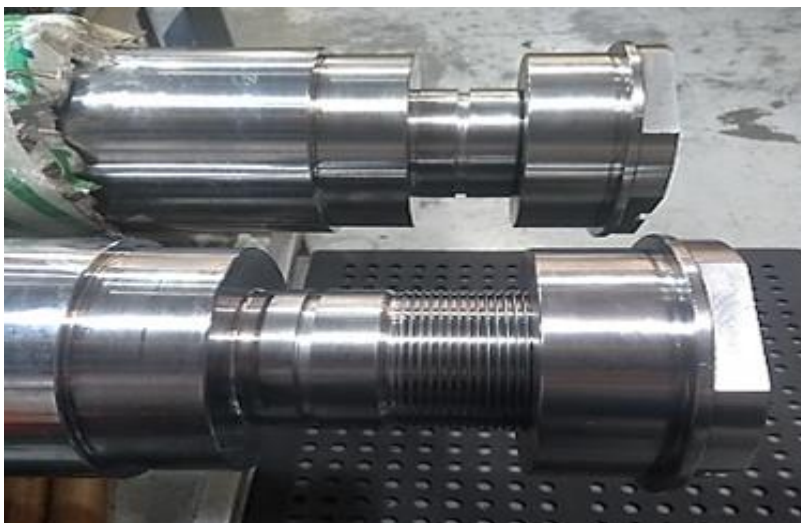
Figura 62 - Exemplo de montagem dos cabeçotes traseiro e dianteiro



Fonte: Manx hidráulica (2020)

- Cabeçotes com canais apertados, apresentou 6%, estes canais são das fitas guias e vedações, em que o montador não conseguiu finalizar a montagem. Os cabeçotes tiveram de ser retrabalhados na usinagem pois o operador não conferiu os diâmetros depois da operação de usinagem, problema dado como erro de operação e medidas.
- A haste com rosca apertada do lado êmbolo apresentou 6% das falhas, onde tiveram de ser retrabalhadas na usinagem devido às porcas que fazem o travamento do êmbolo não rosqueia na haste. Conforme a Figura 63.

Figura 63 - Exemplo de duas hastes lado êmbolo e suas porcas de fixação



Fonte: Próprio autor (2024)

- Porcas não rosqueiam na haste apresentou 3% dos retrabalhos onde tiveram também de ser retrabalhados na usinagem essas porcas que fazem o travamento do êmbolo.

Foram apresentados acima os principais problemas dos componentes que apresentaram retrabalho na hora da montagem dos cilindros hidráulicos conforme a análise de dados coletados novamente no período de trinta dias.

#### **4.4 Análise dos resultados encontrados após a aplicação da norma ABNT NBR ISO 965-2.**

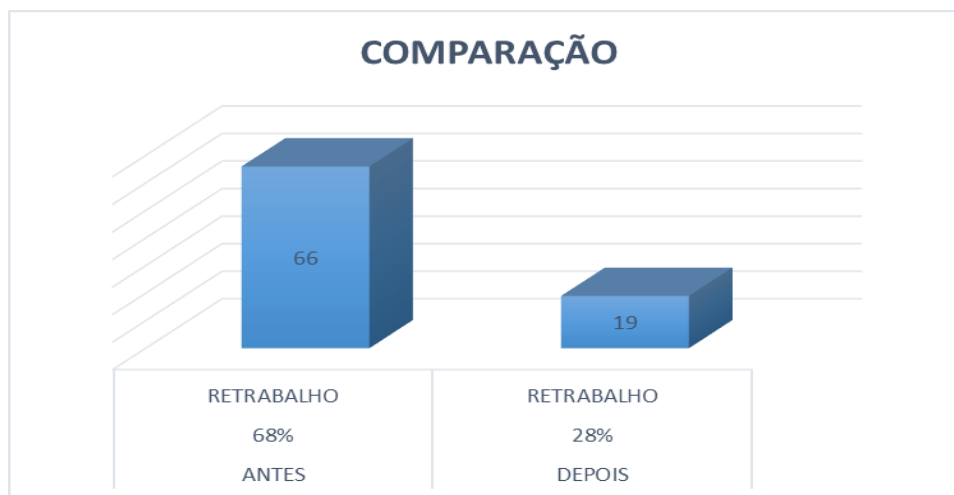
Para entender melhor as análises dos resultados encontrados, foi comparado os dados em porcentagem que mostram nos gráficos uma visão geral dos resultados encontrados nas duas coletas de dados de retrabalho.

Conforme foi trabalhado primeiramente no período de 30 dias para verificar as possíveis causas que geram retrabalho no processo de montagem dos componentes dos cilindros hidráulicos, nesse período foram produzidos 97 cilindros dos quais 68% apresentaram algum tipo de defeito, sendo então 66 cilindros que não puderam ser montados diretamente.

Novamente em um período de 30 dias após a aplicação da norma ABNT NBR ISO 965-2, foram refeitas as coleta de dados no setor de montagem, onde foram

produzidos 69 cilindros dos quais 28% apresentaram algum tipo de defeito, sendo então 19 cilindros que não puderam ser montados diretamente, onde esses componentes com problema de montagem tiveram de ser retrabalhados na usinagem. Os gráficos da Figura 64 mostram uma visão geral dos resultados encontrados nas duas coletas de dados, comparando os resultados.

Figura 64 - Comparando os resultados encontrados nas duas coletas de dados



Fonte: Próprio autor (2024)

Então comparando os resultados dos gráficos da Figura 68, dos dados coletados tivemos um resultado na primeira coleta de 68% de cilindros com algum tipo de retrabalho, que não puderam ser montados diretamente.

Em relação à segunda coleta de dados depois da aplicação da norma, tivemos apenas 28% dos cilindros que não puderam ser montados diretamente, ou seja uma melhoria de 59% nos resultados totais dos retrabalhos nos componentes que envolvem a montagem dos cilindros hidráulicos.

Os problemas de retrabalhos dos componentes que envolvem os cilindros hidráulicos foram agrupados e identificados individualmente para fazermos uma comparação dos resultados encontrados. Na Figura 65 mostra uma tabela com os retrabalhos encontrados nas coletas de dados.

Figura 65 - Comparando individualmente os resultados encontrados nas duas coletas de dados

TIPOS DE RETRABALHO	DEFEITOS	%	TIPOS DE RETRABALHO	DEFEITOS	%
DIÂMETRO DO ÊMBOLO APERTADO	30	31%	DIÂMETRO INTERNO DO ÊMBOLO APERTADO	0	0%
HASTE COM ROSCA APERTADA LADO PONTEIRA	16	16%	HASTE COM ROSCA APERTADA LADO PONTEIRA	0	0%
HASTE COM ROSCA APERTADA LADO ÊMBOLO	13	13%	HASTE COM ROSCA APERTADA LADO ÊMBOLO	4	6%
PONTEIRA NÃO ROSQUEIA NA HASTE	12	12%	PONTEIRA NÃO ROSQUEIA NA HASTE	1	1%
ÊMBOLO COM ROSCA APERTADO	11	11%	ÊMBOLO COM ROSCA APERTADO	1	1%
PORCA NÃO ROSQUEIA NA HASTE	7	7%	PORCA NÃO ROSQUEIA NA HASTE	2	3%
DIÂMETRO INT. DO CABEÇOTE APERTADO	4	4%	DIÂMETRO INT. DO CABEÇOTE APERTADO	6	9%
TIRANTES NÃO ROSQUEIA NO CABEÇOTE	3	3%	TIRANTES NÃO ROSQUEIA NO CABEÇOTE	1	1%
OXIDAÇÃO DA CAMISA	2	2%	OXIDAÇÃO DA CAMISA	0	0%
CABEÇOTE COM CANAL APERTADO	1	1%	CABEÇOTE COM CANAL APERTADO	4	6%
BUCHA DE AMORTECIMENTO FORA DE MEDIDA	1	1%	BUCHA DE AMORTECIMENTO FORA DE MEDIDA	0	0%
TOTAL de Defeitos	100		TOTAL de Defeitos	19	
TOTAL de Cilindros Produzidos	97		TOTAL de Cilindros Produzidos	69	

Fonte: Próprio autor (2024)

O diagrama de Pareto é importante para explicar os problemas prioritários de um processo, através da relação 20/80 onde 20% das causas explicam 80% dos problemas. Essa prática tem sido bastante útil para identificar e priorizar os problemas mais frequentes, ou seja, esse diagrama facilita a visualização dos pequenos problemas que geram os maiores resultados, fazendo com que haja a concentração de esforços sem desperdício de recursos.

Analisando os resultados individuais dos cinco primeiros itens que totalizaram 85% das causas dos retrabalhos conforme o gráfico de Pareto encontrados na primeira coleta de dados. Podemos agora fazer uma comparação dos resultados encontrados na segunda coleta de dados após a aplicação da norma ABNT NBR ISO 965-2, e verificar se houve alguma redução nos principais problemas encontrados na primeira coleta de dados. O Quadro 1 mostra a comparação dos principais problemas encontrados na primeira coleta de dados de retrabalho e os resultados individuais após a aplicação da norma na segunda coleta de dados.

Quadro 1 - Comparando individualmente os resultados dos principais problemas encontrados nas duas coletas de dados.

Componentes com Retrabalhos	Antes	Depois	Resultados
Diâmetro do êmbolo apertado	31%	0%	-100%
Haste com rosca apertado lado ponteira	16%	0%	-100%
Haste com rosca apertado lado êmbolo	13%	6%	-54%
Ponteira não rosqueia na haste	12%	1%	-92%
Êmbolo com rosca apertado	11%	1%	-91%

Fonte: Próprio autor (2024)

Analisando os resultados encontrados no quadro, indicam que houve uma redução em todos os cinco principais problemas de retrabalho encontrados na primeira coleta de dados que geravam 85% das causas de não montagem dos cilindros hidráulicos. Ou seja, uma redução de 90% do retrabalho comparando o antes e o depois dos dois resultados. A norma foi aplicada para melhorar os índices de retrabalhos encontrados nas coletas de dados.

Mesmo assim, para se chegar em um resultado melhor, é dada a sugestão de compra de calibradores de roscas para o processo produtivo. Os calibradores irão permitir que as medidas sejam controladas diretamente nos pontos de fabricação, de modo a sustentar a garantia das medidas corretas. Com a experiência adquirida neste trabalho, os calibradores são incremento sugerido. O Quadro 2 indica quais os calibradores de rosca mais úteis no processo analisado. Os calibradores terão que ser do tipo anel e tampão.

Quadro 2 - Principais calibradores de roscas

M12 X 1,25	M33 X 2
M16 X 1,5	M42 X 2
M20 X 1,5	M48 X 2
M27 X 2	M64 X 3
M30 X 2	

Fonte: Próprio autor (2024)

## 5 CONCLUSÃO

O presente trabalho buscou identificar as possíveis causas de retrabalho no processo de montagem dos cilindros hidráulicos, fazendo um levantamento de dados das causas raízes, e propor soluções e processos que venham a melhorar e garantir a regularidade do procedimento atual, para que não ocorra retrabalhos repetitivos, assim podendo também melhorar o índice de atraso na entrega do produto. Para a análise e melhoria contínua da qualidade dos bens e serviços em uma empresa, o monitoramento dos registros de dados é muito importante. É a partir dos levantamentos de dados que tem início o desenvolvimento de um processo de melhoria. Para isso foram utilizadas técnicas e ferramentas da qualidade como o ciclo PDCA juntamente a outras ferramentas da qualidade auxiliares, como o diagrama de *Ishikawa* e o diagrama de Pareto que podem ser encontradas na fundamentação teórica.

Em relação aos problemas de retrabalhos dos componentes que envolvem os cilindros hidráulicos foi aplicado como base o procedimento do ciclo PDCA que tem como função a análise e o controle dos processos críticos, buscando garantir a padronização ou inserindo pequenas melhorias. As etapas do ciclo PDCA foram aplicadas nas coletas de dados de retrabalho para identificar, observar, analisar e elaborar um plano de ação dos problemas coletados.

Para identificar o problema foi criado uma folha de apontamento de dados onde os problemas encontrados foram identificados em um período de trinta dias, após identificados os problemas foram contabilizados e observados os componentes que deram maiores índices de retrabalho de não montagem. Foram encontradas em cinco componentes 85% das causas de retrabalho, conforme Pareto em que fala que 80% dos problemas estão em 20% das causas, foi feito um levantamento de ideias das causas que estão ocasionando os problemas de não montagem que utilizou-se a ferramenta do diagrama de *Ishikawa* juntamente com a técnica de *brainstorming*.

Seguindo então o ciclo PDCA foi aplicado um plano de ação referente à identificação dos principais problemas de retrabalho, assim foi proposto a aplicação da norma ABNT NBR ISO 965-2, na fabricação dos componentes dos cilindros hidráulicos, que padroniza os limites dimensionais para roscas externas e internas de uso geral.

Após o plano de ação proposto e aplicado, foi feito novamente um levantamento

de dados de um período de trinta dias para verificar se houve alguma redução nos principais problemas encontrados em comparação à primeira coleta de dados.

Analisando os resultados afirma-se que houve uma redução em todos os cinco principais problemas de retrabalho encontrados na primeira coleta de dados que gerava 85% das causas de não montagem dos cilindros hidráulicos. Ou seja, os resultados mostraram uma redução de 90% do retrabalho comparando o antes e o depois dos dois resultados.

Com esses resultados pode-se afirmar que os objetivos propostos neste estudo foram alcançados dentro das limitações de trabalho, que ficou como sugestão a aquisição dos calibradores de roscas. Este estudo de caso de redução de retrabalho no processo de montagem na fabricação de cilindros hidráulicos fica como sugestão uma terceira coleta de dados quando a empresa adquirir os calibradores de rosca propostos. E a continuação do processo de identificação de retrabalho na montagem que é de suma importância para melhoria do processo produtivo.

## REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 965-2:** Rosca Métrica ISO de uso geral – Tolerâncias – Parte 2: Limites dimensionais para roscas internas e externas de uso geral – Qualidade Média. 1 ed. Rio de Janeiro, 2005.

ABNT-ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6158/1994:** Sistema de tolerâncias e ajustes. 2 ed. Rio de Janeiro: Abnt, 1994. 79 p.

ABNT-ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6409:** Tolerâncias geométricas - Tolerâncias de forma, orientação, posição e batimento - Generalidades, símbolos, definições e indicações em desenho. 1 ed. Rio de Janeiro, 1996. 19 p

ABNT-ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8404:** Indicação do estado de superfícies em desenhos técnicos. 1 ed. Rio de Janeiro, 1984. 10 p.

ANDRADE, Daly Fernando (org.). **Gestão Pela Qualidade**. 3. ed. Belo Horizonte - MG: Poisson, 2018. 207 p

ASSIS, Júlio César Justino de. **Fundamentos da Qualidade e Produtividade:** fundamentos da qualidade e produtividade. Indaial: Uniasselvi, 2002. 177 p. Júlio César Justino de Assis. Disponível em: uniasselvi.com.br. Acesso em: 03 out. 2022.

ASSIS, Júlio César Justino de. **Fundamentos da Qualidade e Produtividade**. Indaial: Copyright © Uniasselvi, 2022. 177 p.

BRUNETTI, Franco. **Mecânica dos Flúidos**. 2. ed. Pearson Prentice Hall, 220 p. São Paulo, 2008.

CARDOSO, Fernando Eduardo; BATISTA, Eliza Damiani Woloszyn. **Fundamentos da Qualidade**. Indaial: Uniasselvi, 2017. 186 p.

FERRARESI, Dino. **Fundamentos da Usinagem dos Metais**. Editora Blucher, 2018.

FERREIRA, Bruno João de Souza. **Diagrama de Causa e Efeito:** como montar um?. 2017. Disponível em: <https://pt.linkedin.com/pulse/diagrama-de-causa-e-efeito-como-montar-um-bruno-jo%C3%A3o-ferreira>. Acesso em: 10 out. 2023.

FIALHO, Arivelto Bustamante. **Automação Hidráulica, Projetos, Dimensionamentos e Análise de Circuitos**. 6. E.. São Paulo: Érica, 2013.

FIALHO, Arivelto Bustamante; ROCCA, Jairo Estevão. **Automatismos pneumáticos: Princípios Básicos, Dimensionamentos de Componentes**. Saraiva Educação SA, 2015.

GORDO, Nívia; FERREIRA, Joel. Apostila de Elementos de Máquinas. **Rio de Janeiro: Telecurso**, v. 1995, 2000.

INDUSTRIAL, Senai. Serviço Nacional de Aprendizagem. **Medidas e**

**Representações Gráficas.** São Paulo: Senai-Sp, 2015. 384 p.

KIMINAMI, Claudio Shyinti e CASTRO, Walman Benício de e OLIVEIRA, Marcelo Falcão de. **Introdução aos Processos de Fabricação de Produtos Metálicos.** São Paulo: Blucher, 2013

KRÜGER, Gustavo Henrique. **Melhoria de processo para redução do índice de retrabalho no torneamento de tampas flange de motores elétricos.** 2020. 67 f. TCC (Graduação) - Curso de Tecnologia em Fabricação Mecânica, Instituto Federal de Santa Catarina, Câmpus Jaraguá do Sul – Rau Jaraguá do Sul, Sc, 2020.

LIRA, Francisco Adval de. **METROLOGIA DIMENSIONAL:** técnicas de medição e instrumentos para controle e fabricação industrial. São Paulo: Érica, 2015. (Eixos).

MACHADO, A. R.; ABRÃO, A.M.; COELHO, R. T.; SILVA, M. B. **Teoria da Usinagem dos Materiais.** 2. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2011.

MANX HIDRÁULICA. **Guia Rápido de Cilindros Hidráulicos - pt.3.** 2020. Disponível em: <https://www.manx-hyd.com.br/post/guia-r%C3%A1pido-de-cilindros-hidr%C3%A1ulicos-pt-3>. Acesso em: 12 set. 2023.

MARSHALL JUNIOR, Isnard *et al.* **Gestão da Qualidade:** série gestão empresarial. 10. ed. Rio de Janeiro: Fgv, 2010. 204 p.

MOKI, Sistema. **5W2H: o que é, como fazer e por que usar!** 2022. Disponível em: <https://www.site.moki.com.br/post/5w2h-o-que-e>. Acesso em: 12 out. 2023.

MOREIRA, Ilo da Silva. **Sistemas Hidráulicos Industriais.** 2012. Disponível em: <https://edisciplinas.usp.br/acessar/disciplinas.php>. Acesso em: 12 set. 2023.

REXROTH, Bosch. **Hidráulica Básica : Princípios Básicos e Componentes da Tecnologia dos Fluidos.** 3. ed. 279 p. São Paulo, 2005

RODRIGUES, Marcus Vinicius. **Ações para a Qualidade:** gestão estratégica e integrada para a melhoria dos processos na busca da qualidade e produtividade (GEIQ). 6. ed. São Paulo: Atlas, 2020. 386 p.

SANTANA, Reginaldo Gomes. **METROLOGIA:** controle e processos industriais. Curitiba: Reginaldo Gomes Santana, 2012. 272 p.

SANTOS JÚNIOR, Manuel Joaquim dos; IRIGOYEN, Eduardo Roberto Costa. **METROLOGIA DIMENSIONAL:** teoria e prática. 2. ed. Porto Alegre Universidade Federal do Rio Grande do Sul: Universidade/Ufrgs, 1995. 222 p.

SCARAMBONI, Antonio *et al.* Telecurso 2000. **MECÂNICA: LEITURA E INTERPRETAÇÃO DE DESENHO TÉCNICO MECÂNICO.** Rio de Janeiro: Globo S.A., 2003. 200 p.

SECCO, Adriano Ruiz; VIEIRA, Edmur; GORDO, Nívia. Telecurso 2000. **MECÂNICA: METROLOGIA.** Rio de Janeiro: Globo S.A., 2003. 240 p.

SILVA NETO, João Cirilo da. **Metrologia e Controle Dimensional**: conceitos, normas e aplicações. Rio de Janeiro: Elsevier Editora Ltda, 2012. 239 p.

SILVEIRA, Cristiano Bertulucci. **Diagrama de Pareto**. 2012. Disponível em: <https://www.citisystems.com.br/diagrama-de-pareto/>. Acesso em: 10 out. 2023.

STOETERAU, Rodrigo Lima. **Introdução ao Projeto de Máquina-Ferramentas Modernas**. 114 p. Florianópolis/SC: UFSC, 2004.

TEIXEIRA, Edson Sidnei Maciel. **Gestão da Manutenção Industrial**. Jaraguá do Sul, Sc: Ifsc, 2022. 67 p.

VALDO, Mario F.. **Hidráulica Industrial**: conhecendo e entendendo. Jaraguá do Sul: Smartside, 2023. 343 p.

YIN, R. K.. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. Porto Alegre: Bookman, 2005.

## APÊNDICE A – Autorização de pesquisa



### Solicitação de Autorização para Pesquisa

Jaraguá do Sul, 14 de julho de 2024

Eu, Francisco Rodolfo Nogueira Alencar, responsável principal pelo projeto de Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) denominado preliminarmente de "Estudo de Caso de Redução de Retrabalho no Processo de Montagem na Fabricação de Cilindros Hidráulicos", do Curso Superior de Tecnologia em Fabricação Mecânica do IFSC – Campus Jaraguá do Sul - RAU, venho pelo presente, solicitar autorização da [REDACTED] para a realização da coleta de dados em sua empresa no período de março/2023 a julho/2024, com o objetivo de "identificar os principais componentes que geram retrabalho na montagem e contribuir na melhoria destes índices que hoje causam transtorno no setor de montagem ocasionado um processo lento e gerando atrasos na entrega dos cilindros hidráulicos". Esta pesquisa está sendo orientada pelo Prof. Edson Sidnei Maciel Teixeira, pesquisador do IFSC.

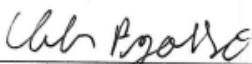
Para o desenvolvimento desta pesquisa, solicito autorização para a realizar a coleta de dados que consistirá de análise do ambiente, entrevistas individuais com funcionários e imagens através de fotos e vídeos. Saliento que as coletas serão tratadas de forma anônima e confidencial, isto é, em nenhum momento será divulgado o nome de um funcionário e da empresa, em qualquer fase do estudo. As imagens serão divulgadas somente nesta pesquisa e os resultados divulgados em eventos e/ou revistas científicas, tomando o cuidado de não identificar pessoa, marca ou produto da empresa.

Contando com a autorização desta instituição, agradecemos e coloco-me à disposição para qualquer esclarecimento.



Francisco Rodolfo Nogueira Alencar - Pesquisador Principal  
rodolfo13alencar@gmail.com  
(47)999853832

Autorizo:



Nome: Geber Pigosso

[REDACTED] Automação Industrial LTDA