



**Carlos Marcelo Thiele dos Santos**

**PROPOSTA DE MELHORIA NO PROCESSO DE MANUFATURA DE  
PEÇA METÁLICA**

**Horizontina-RS**

**2018**

**Carlos Marcelo Thiele dos Santos**

**PROPOSTA DE MELHORIA NO PROCESSO DE MANUFATURA DE  
PEÇA METÁLICA**

Trabalho Final de Curso apresentado como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica na Faculdade Horizontina, sob orientação do Prof. Francine Centenaro, Me.

**Horizontina-RS**

**2018**

**FAHOR - FACULDADE HORIZONTALINA  
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova o trabalho final de curso**

**“Proposta de Melhoria no Processo de Manufatura de Peça Metálica”**

**Elaborada por:**

**Carlos Marcelo Thiele dos Santos**

Como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em  
Engenharia Mecânica

Aprovado em: 29/11/2018

Pela Comissão Examinadora



---

Me. Francine Centenaro

Presidente da Comissão Examinadora - Orientador



---

Me. Eloir Fernandes

FAHOR – Faculdade Horizontalina



---

Me. André Rogério Kinalski Bender

FAHOR – Faculdade Horizontalina

**Horizontalina - RS**

**2018**

## Dedicatória

Aos meus pais, por serem os responsáveis pela formação do meu caráter.

Aos meus irmãos, pelo carinho e disposição sempre.

À minha esposa, pelo apoio incondicional em superar as dificuldades, e me incentivar todos os dias para este sonho tornar-se realidade.

## AGRADECIMENTO

A Deus, por ter me dado saúde e forças para sempre seguir em frente.

A todos familiares e amigos que me auxiliaram nesta caminhada.

A FAHOR e aos professores que contribuíram significativamente para meu aprendizado e desenvolvimento profissional.

“Procure ser um homem de valor, em vez de ser um homem se sucesso”.

(Albert Einstein)

## RESUMO

A busca constante pela melhoria e qualidade dos processos produtivos exige que o mercado de trabalho se adeque constantemente às novas tecnologias, buscando a diminuição de perdas e desperdícios e aumento da produtividade. Desta forma, o presente trabalho visa estudar o atual processo de manufatura de um componente metálico e no decorrer das análises apresentar a viabilidade de implementação de novo processo de fabricação, buscando a possibilidade de aumento de produtividade, com redução do *lead time* e custos, mantendo o padrão de qualidade do produto, em uma empresa do ramo metalomecânico. Trata-se de uma roda dentada produzida em aço carbono SAE 1045, com 6,35 mm de espessura que atualmente passa pelos processos de corte térmico (*laser*), recozimento, usinagem, rebarbação e zincagem. Pretende-se substituir tais processos por um único de conformação e calibração dimensional, em máquina prensa hidráulica. A metodologia aplicada no presente trabalho foi o estudo de caso, sendo que ao fim do estudo foram propostas melhorias para otimizar o processo atual. Em um primeiro momento foi verificado se a prensa hidráulica disponibilizada para os testes teria capacidade para realização do processo de conformação. Uma vez cumprido este requisito, elaborou-se o desenvolvimento e fabricação do protótipo de uma cavidade da ferramenta, para executar o processo de conformação, uma vez que este é considerado o elemento mais importante para o sucesso do estudo. Após a fabricação da ferramenta por empresa especializada, foi verificado o dimensional da mesma conforme o projeto, para aprovação e posterior liberação para os testes. Verificou-se, através de inspeção de atributos, que as amostras produzidas estavam de acordo com os requisitos exigidos, como ausência de cantos vivos, arestas cortantes ou rebarbas, superfície livre de marcas profundas de processos e ausência de oxidações. Também foram analisados os dados dimensionais, a produtividade, e o tempo de amortização do investimento. Concluiu-se, que a proposta exposta tem uma melhoria significativa no processo de manufatura, eliminando operações que não agregam valor ao produto, e substituindo outros por processos mais eficientes, baseando-se nas características da peça analisada e levando em consideração as limitações da empresa, trazendo assim, diversas vantagens como redução do *lead time*, de custos com o aumento de produtividade devido à otimização do processo, beneficiando a empresa de uma maior competitividade.

**Palavras-chave:** Otimização. Processos. Produtividade.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Tratamento térmico .....	18
Figura 2: Durômetro Rockwell Durotwin .....	18
Figura 3: Máquina de corte <i>Laser</i> .....	20
Figura 4: Corte <i>Laser</i> .....	21
Figura 5: Usinagem .....	22
Figura 6: Usinagem com corte interrompido.....	24
Figura 7: Torno CNC .....	26
Figura 8: Rebarbas provenientes do processo de usinagem .....	26
Figura 9: Processos de conformação.....	28
Figura 10: Prensa hidráulica.....	30
Figura 11: Matriz .....	31
Figura 12: Etapas do <i>Lead time</i> .....	33
Figura 13: Roda dentada Z17.....	38
Figura 14: Processo atual de manufatura .....	39
Figura 15: Sequência operacional.....	40
Figura 16: Certificado de matéria prima .....	41
Figura 17: Corte de chapas de aço plano .....	41
Figura 18: Verificação dimensional do furo .....	42
Figura 19: Forno de aquecimento .....	43
Figura 20: Processo de usinagem.....	44
Figura 21: Cotas do processo de usinagem .....	44
Figura 22: Projeção da rebarba.....	45
Figura 23: Processo de zincagem .....	45
Figura 24: Ensaio dos corpos de prova.....	46
Figura 25: Corpo de prova.....	47
Figura 26: Relatório de análise de custos .....	48
Figura 27: Proposta de novo processo.....	49
Figura 28: Prensa hidráulica.....	50
Figura 29: Ferramenta de conformação .....	52
Figura 30: Protótipo da cavidade da ferramenta. ....	53
Figura 31: Amostras do estudo .....	53
Figura 32: Testes de conformação.....	55
Figura 33: Amostras resultantes dos testes .....	55
Figura 34: Nova sequência operacional.....	57
Figura 35: Custo atualizado de fabricação .....	59
Figura 36: Comparativo visual.....	61
Figura 37: <i>Lead time</i> atual.....	62
Figura 38: <i>Lead time</i> do processo proposto .....	63

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Composição química do aço SAE 1045 (%).....	15
Quadro 2: Correlação de durezas .....	19
Quadro 3: Zona de influência térmica .....	22
Quadro 4: Relatório de ensaio de dureza.....	48
Quadro 5: Características da prensa hidráulica .....	51
Quadro 6: <i>Checklist</i> de atributos .....	56
Quadro 7: Resultados dimensionais.....	57
Quadro 8: Tempos de fabricação .....	58
Quadro 9: Comparativo dimensional .....	60
Quadro 10: Comparativo de produtividade.....	61
Quadro 11: Amortização do investimento .....	63

# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>11</b>
1.1	TEMA .....	12
1.2	DELIMITAÇÃO DO TEMA.....	12
1.3	PROBLEMA DE PESQUISA .....	12
1.4	HIPÓTESES.....	13
1.5	OBJETIVOS .....	13
1.5.1	Objetivo geral .....	13
1.5.2	Objetivos específicos.....	14
1.6	JUSTIFICATIVA .....	14
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>15</b>
2.1	AÇO AISI 1045.....	15
2.2	TRATAMENTO TÉRMICO .....	16
2.3	CORTE À LASER.....	19
2.4	USINAGEM .....	22
2.4.1	Usinagem com corte interrompido.....	23
2.4.2	Torno CNC .....	24
2.5	REBARBA .....	26
2.6	CONFORMAÇÃO.....	27
2.6.1	Prensa hidráulica.....	29
2.6.2	Matriz .....	31
2.7	PRODUTIVIDADE.....	32
2.7.1	<i>Lead time</i> .....	32
2.8	INSPEÇÃO VISUAL .....	34
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>36</b>
3.1	MÉTODOS E TÉCNICAS.....	36
3.1.1	Dados produtivos do item analisado .....	36
3.2	RECURSOS NECESSÁRIOS .....	37
<b>4</b>	<b>APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS.....</b>	<b>38</b>
4.1	PROCESSO ATUAL .....	38
4.1.1	Sequência de operações.....	38
4.1.2	Matéria prima .....	40
4.1.3	Corte <i>laser</i> .....	41

4.1.4 Recozimento .....	42
4.1.5 Usinagem .....	43
4.1.6 Rebarbação.....	45
4.1.7 Zincagem.....	45
4.1.8 Ensaio de dureza superficial .....	46
4.1.9 Custo de fabricação.....	48
4.2 PROCESSO PROPOSTO.....	49
4.2.1 Cálculo da capacidade de trabalho .....	49
4.2.2 Projeto e fabricação de ferramental especial .....	51
4.2.3 Amostras .....	53
4.2.4 Testes e coleta de dados .....	54
4.2.5 Inspeção visual.....	55
4.2.6 Verificação dimensional.....	56
4.2.7 Nova sequência operacional .....	57
4.2.8 Verificação da produtividade .....	58
4.2.9 Novo custo de fabricação .....	59
4.3 VIABILIDADE DE IMPLEMENTAÇÃO .....	60
4.3.1 Dimensional.....	60
4.3.2 Avaliação visual.....	61
4.3.3 Produtividade .....	61
4.3.4 <i>Lead time</i> .....	62
4.3.5 Amortização do investimento .....	63
<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>65</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>66</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Em função de inúmeros processos de fabricação e tecnologias existentes na indústria metalomecânica, para produção de componentes, conjuntos e produtos acabados e observando a crescente preocupação com a redução de custos e aumento da produtividade nas linhas de produção, a engenharia de manufatura é a área específica que define as técnicas de fabricação, cálculos e avaliações de materiais e ferramentas, bem como identifica problemas e define soluções, e que está em constante aprimoramento e melhoria, gerindo da melhor maneira possível os recursos disponíveis na linha fabril (SWIFT; BOOKER, 2014).

A busca constante pela melhoria contínua e qualidade do produto, traz a possibilidade do mesmo ser produzido por diferentes processos, sem que sejam alteradas suas características de uso, mantendo a finalidade principal que é atender ao projeto do produto. Nem sempre o processo de fabricação estabelecido é o mais rentável, que tenha boa produtividade e garanta o padrão de qualidade exigido pelo cliente (BERLINER; BRIMSON, 1992).

Em alguns casos a sequência de manufatura à qual um produto está submetido, traz dificuldades técnicas de execução devido à uma “incompatibilidade” entre os processos, sejam por questões operacionais, de geometria do produto, bem como alterações das propriedades mecânicas, físicas e químicas do material, sendo necessário que sejam adicionados processos complementares no ciclo produtivo que não necessariamente agreguem valor ao produto. Estas dificuldades nas linhas de produção, traduzem-se em custos elevados de fabricação, rejeições por não conformidades, retrabalhos, baixa produtividade, gerando ineficiência e atrasos de entrega aos clientes (GROOVER, 2014).

É neste ambiente que o engenheiro busca analisar, estudar, comparar, planejar e aplicar ações, baseando-se em conhecimento teórico e prático, para implementar soluções em melhoria de materiais e otimização de processos, visando reduções de custos, aumento de produtividade, da qualidade e conseqüentemente ter uma melhor competitividade no segmento de mercado em que a empresa atua, reduzindo (ou buscando a eliminação completa) de desperdícios e prezando pela melhoria contínua (BORNIA, 2009).

Por conta disso, é evidente a necessidade de buscar uma solução de processo de fabricação que tenha baixo custo de implementação, que vise a possibilidade de aumento de produtividade, redução do *lead time*, e conseqüentemente do custo, mantendo a qualidade do produto em uma empresa metalomecânica com sede no município de Santa Rosa.

Fundada em 1979, a empresa do noroeste do estado do Rio Grande do Sul, inicialmente prestava serviços de chapeamento, mecânica e elétrica para veículos. Em 1997, a empresa ampliou seu ramo de atuação, que então passou a desenvolver cabines de veículos e caminhões, atuando ainda no corte e conformação de chapas, maquinário agrícola, setor de pintura e corte a *laser*, etc (CHAPEMEC, 2018).

### 1.1 TEMA

Estudo do processo de manufatura de um componente de chapa metálica, bem como suas dificuldades técnicas, com coleta de dados para análise e apresentação de resultados com o propósito de expor uma proposta de melhoria no processo de fabricação.

### 1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA

O presente trabalho abrange a coleta de dados, geração de informações e estudo de uma proposta de processo de manufatura em indústria metalomecânica, com o intuito de aumentar a produtividade, reduzir o *lead time* e custos de fabricação, mantendo o padrão de qualidade do produto.

Pretende-se estudar a viabilidade de substituição de alguns processos por um único de conformação e calibração dimensional, em máquina prensa hidráulica.

### 1.3 PROBLEMA DE PESQUISA

A peça em estudo é uma roda dentada de código Z17, fabricada em chapa metálica, de material aço carbono SAE 1045 com espessura de 6,35 mm que atualmente é manufaturada através dos processos de corte térmico (*laser*), recozimento, usinagem, rebarbação e zincagem.

Durante a manufatura, cada processo à que a peça é submetida gera uma conseqüente dificuldade técnica de execução do processo imediatamente posterior.

O primeiro processo, o corte térmico, apresenta a dificuldade de garantir a tolerância dimensional do furo central, além de gerar um aumento de dureza nas arestas de corte, o que dificulta sua posterior usinagem, que tem como agravante ser com corte interrompido, necessitando de um processo anterior de recozimento para diminuição da dureza do material, trazendo-o às suas condições iniciais, reduzindo desta forma o desgaste acentuado da ferramenta de usinagem.

A usinagem por sua vez, gera eventualmente, rebarbas que ficam entre as aberturas dos dentes da roda dentada, necessitando de um posterior processo de rebarbação. Este faz a remoção da rebarba e acabamento da peça.

Por ser um processo manual, e por não utilizar uma ferramenta padrão adequada para remoção da rebarba, não mantém, por vezes um padrão de acabamento.

Nesse contexto, o objetivo é encontrar uma forma de solucionar as dificuldades da empresa, e define-se o problema de pesquisa: É possível elaborar uma proposta de melhoria no processo de manufatura que tenha como benefícios maior produtividade, reduzindo custos e *Lead time*, mantendo o mesmo padrão de qualidade e que tenha viabilidade de implementação?

## 1.4 HIPÓTESES

A hipótese em questão busca apresentar uma proposta de novo processo, substituindo o recozimento, usinagem e rebarbação, por um único de conformação e calibração dimensional, em máquina prensa hidráulica com o uso de uma ferramenta projetada e desenvolvida especialmente para a peça. Pretende-se desta forma eliminar processos que não agregam valor ao produto.

## 1.5 OBJETIVOS

### 1.5.1 Objetivo geral

Verificar a possibilidade e viabilidade de implementação de novo processo de manufatura com baixo investimento, reduzindo custos de produção, bem como o *lead time*, mantendo o padrão de qualidade do produto.

### 1.5.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos são um conjunto de tarefas que, executadas convergem para o atendimento do objetivo geral do trabalho. Os objetivos específicos do presente estudo são:

- a) Analisar o atual processo e suas particularidades,
- b) Analisar e propor a substituição do processo atual de manufatura por um processo de conformação em prensa hidráulica com desenvolvimento de ferramental específico projetado especialmente para a peça;
- c) Medir a variação da produtividade do novo processo;
- d) Definir o novo custo de fabricação;
- e) Verificar a viabilidade de implementação do processo proposto.

### 1.6 JUSTIFICATIVA

Atualmente, com a crescente globalização em que estamos inseridos, a competitividade é o fator de destaque para quem quer manter-se no mercado, diante disso é necessário gerir da melhor maneira possível os recursos, que incluem mão-de-obra, equipamentos e suprimentos.

Na indústria, a competitividade é composta por vários fatores, como exemplo podemos citar a constante busca por mão de obra especializada, por atualização tecnológica, tanto por máquinas, equipamentos e materiais como por processos mais eficientes.

Esta constante atualização é que torna o ambiente fabril dinâmico, fazendo com que esteja em constante transformação e nos disponibilizando diversas possibilidades na análise e definição de processos para a fabricação de determinada peça. É neste contexto que o engenheiro deve buscar a otimização contínua dos processos, primando pela sua máxima eficiência.

Justifica-se desta forma, por buscar e propor uma solução de processo de manufatura que ofereça como resultados o aumento de produtividade e redução de custos, com baixo investimento, além de instigar o desenvolvimento de futuras pesquisas à cerca do assunto, deixando como sugestão o estudo de uma proposta de processo de manufatura em estampo progressivo de corte.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 AÇO SAE 1045

É um aço com médio teor de carbono em sua composição química, conforme mostra o Quadro 1, possuindo resistência mecânica entre 570 e 700 MPa, e dureza Brinell entre 170 e 210HB (GROOVER, 2014). O aço SAE 1045 é também chamado de AISI 1045, por questões de nomenclatura das diferentes entidades que tem como objetivo a classificação dos materiais, mas na prática não há diferença entre um ou outro.

Quadro 1: Composição química do aço SAE 1045 (%).

C	Mn	P <sub>máx</sub>	S <sub>máx</sub>	Si
0,43-0,50	0,60-0,90	0,04	0,05	0,10-0,60

**Fonte:** Adaptado de Souza, 2001.

Segundo a NBR 172 (ABNT, 2000) o aço AISI 1045 é classificado como um aço para construção mecânica. É considerado ao carbono e especial, devido às exigências de ensaio de impacto nos estados temperado e revenido.

Tem média resistência mecânica, baixa temperabilidade, sendo usado em componentes de máquinas e estruturais, eixos, virabrequim, engrenagens e peças forjadas, tendo boa usinabilidade nas condições de normalizado ou laminado (GROOVER, 2014).

A normalização deste tipo de aço, melhora a homogeneidade microestrutural, aumentando a estabilidade dimensional para processos posteriores. Quando os aços com teor de carbono elevado são normalizados, é possível controlar suas propriedades mecânicas, uma vez que ao ser aquecido através de processos de usinagem térmicos, como o corte laser, e logo após resfriado ao ar, pode gerar um aumento acentuado de resistência mecânica do material, por isso é necessário que em tais casos este tipo de tratamento térmico seja necessário (GROOVER, 2014).

Nos aços AISI 1045, a normalização induz o grão bem fino, o que melhora as propriedades do material, sobretudo a usinabilidade (AÇO ESPECIAL, 2018, não paginado):

Costuma apresentar 180HB médios de dureza o que corresponde a aproximadamente 64kg/mm<sup>2</sup> de resistência mecânica. O AÇO SAE 1045 convencional, de mercado, alia uma boa resistência mecânica com a sua boa usabilidade, a fim de atender as necessidades de seu projeto onde requeira um aço AISI 1045. A composição química do aço AISI 1045 é balizada normalmente pela norma ASTM 108 (G10450).

É usual a adoção de uma tensão limite de escoamento, que auxilia na elaboração de cálculos de tensões admissíveis em projetos, uma vez que as estruturas devem ser capazes de resistir às tensões elásticas e não causar deformações na estrutura (AÇO ESPECIAL, 2018). Segundo Buffoni (2017), o mesmo vale para as tensões de cisalhamento, sendo que o cálculo da tensão máxima de cisalhamento é imprescindível para a projeção e dimensionamento de estruturas.

A tensão limite de escoamento para o aço AISI 1045 é de 31 kgf/mm<sup>2</sup> para barras de aço laminada e de 54 kgf/mm<sup>2</sup> para barras trefiladas, de acordo com o guia disponibilizado pela Arcelor Mittal (2018). Já a tensão de cisalhamento para o aço AISI 1045 é de 52 kgf/mm<sup>2</sup>, conforme Provenza (1982).

## 2.2 TRATAMENTO TÉRMICO

O tratamento térmico (Figura 1), é composto de diversos métodos de aquecimento e resfriamento do material, com o intuito de modificar sua microestrutura, que em contrapartida altera as propriedades mecânicas e/ou físicas do material, sem alterar a geometria das peças intencionalmente, podendo ser realizado em vários materiais durante as diversas etapas do seu processo de produção (GROOVER, 2014; SWIFT; BOOKER, 2014).

Entre os diversos tipos de tratamento térmico, o recozimento é uma técnica muito utilizada quando se deseja melhorar algumas propriedades do material. Neste tipo de tratamento o metal é aquecido e mantido por determinado período à uma temperatura adequada, o qual é chamado de encharque, e após sofre um resfriamento lento. O objetivo deste processo é reduzir a dureza, fragilidade, modificar a microestrutura do material, para melhorar a conformabilidade e usinabilidade, bem como recristalizar os materiais endurecidos à frio, aliviar tensões residuais e eliminar os efeitos de tratamento térmicos ou mecânicos dos processos anteriores utilizados no preparo do aço (GROOVER, 2014).



Figura 1: Tratamento térmico.



**Fonte:** Maxitrate, 2018.

Dentre as características mecânicas influenciadas pelo tratamento térmico, conforme Celestino *et al.* (2007) a dureza superficial é a maior impactada. Para que sejam executados esses ensaios mecânicos à fim de medirmos estas variações são utilizados equipamentos específicos, como o durômetro (Figura 2).

Figura 2: Durômetro Rockwell Durotwin.



**Fonte:** Celestino *et al.* (2007).

De acordo com Groover (2014), o ensaio de dureza é utilizado na comparação e especificação de materiais, onde através de tabelas, podemos verificar a correlação entre os métodos de determinação de dureza Rockwell, Brinell e Vickers (Quadro 2).

Quadro 2: Correlação de durezas.

Dureza Brinell (HB)	Dureza Vickers (HV)	Dureza Rockwell			
		HRA	HRB	HRC	HRD
293	309	65,7	106,0	30,9	48,3
285	301	65,3	105,5	29,9	47,6
277	292	64,6	104,5	28,8	46,7
269	284	64,1	104,0	27,6	45,9
262	276	63,6	103,0	26,6	45,0
255	269	63,0	102,0	25,4	44,2
248	261	62,5	101,0	24,2	43,2
241	253	61,8	100,0	22,8	42,0
235	247	61,4	99,0	21,7	41,4
229	241	60,8	98,2	20,5	40,5
223	234	-	97,3	18,8	-
217	228	-	96,4	17,5	-
212	222	-	95,5	16,0	-
207	218	-	94,6	15,2	-
201	212	-	93,8	13,8	-
197	207	-	92,8	12,7	-
192	202	-	91,9	11,5	-
187	196	-	90,7	10,0	-
183	192	-	90,0	9,0	-
179	188	-	89,0	8,0	-
174	182	-	87,8	6,4	-

**Fonte:** Adaptado de Mitsubishi Carbide, 2018.

O método de dureza Rockwell (HR-Hardness Rockwell) mede a profundidade que um penetrador, do tipo esférico de aço temperado ou cônico de diamante, atingiu descontando-se a recuperação elástica do material devido à retirada da carga maior, e a profundidade atingida devido à carga menor. Neste método o resultado é lido diretamente na máquina, eliminando possíveis erros de medição por parte do operador (GROOVER, 2014).

### 2.3 CORTE À LASER

Para Weiss (2012), a máquina de corte laser, por ser bastante flexível, é muito utilizada em processos de corte de chapas planas e tubos, onde realiza as tarefas de corte e furação, os quais só poderiam ser realizados através de operações de estampagem e usinagem. Por executar cortes com alta precisão e acabamento em diversos materiais como aços carbono, aços inox e alumínio, é

atualmente um dos processos amplamente utilizados para a fabricação de uma vasta gama de peças.

As máquinas de corte *laser* (Figura 3) geralmente são constituídas de mesas móveis com sistemas de movimentação através dos eixos de coordenadas x, y e z, onde os eixos x e y, referem-se as coordenadas de corte, enquanto o eixo z serve de correção para ajuste do ponto focal do cabeçote de corte. O *Computer Numeric Control* (CNC), que em português quer dizer “controle numérico computadorizado”, é o sistema responsável pela coordenação e controle simultâneo dos eixos, através de uma linguagem escrita em código específico, o qual é comandado por um sistema CAD (*Computer Aided Design*), traduzindo para português significa desenho assistido por computador (GASPAR, 2009).

Figura 3: Máquina de corte *Laser*.

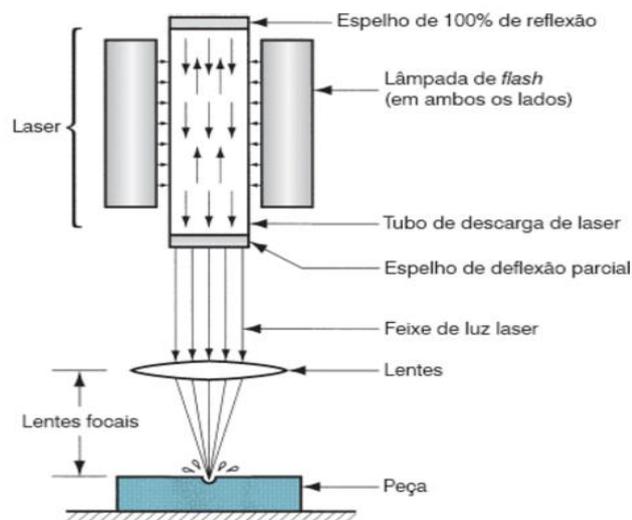


**Fonte:** Bystronic, 2018.

Para executar a tarefa de corte dos materiais, a máquina é dotada de um sistema de usinagem chamado de *laser*. A nomenclatura *laser* é uma sigla formada pelas letras iniciais das palavras *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation* que, em português quer dizer: amplificação da luz por emissão estimulada da radiação. O *laser* é um sistema que produz um feixe concentrado de luz de alta energia, obtido através da excitação dos elétrons de determinados átomos, utilizando um veículo ativo que pode ser sólido (o rubi), ou um líquido (o dióxido de carbono sob pressão). Este feixe de luz produz intensa energia na forma de calor (BARTZ *et al.*, 2011).

De acordo com Bystronic (2012), o processo de corte *laser* ocorre através da separação térmica do material, geralmente chapas de aço carbono. O Ressonador é o sistema onde o *laser* de alta energia é formado, o qual é direcionado através de espelhos ou fibra ótica, até o cabeçote de corte. Este é o conjunto final onde o *laser* sofre um ajuste focal através de uma lente, deixando seu diâmetro intensamente concentrado e com grande potência, para que seja direcionado ao material a ser fundido (Figura 4).

Figura 4: Corte *Laser*.



**Fonte:** Groover, 2014.

Uma das particularidades deste tipo de processo, é que durante a operação ocorrem alterações nas zonas marginais do material a ser usinado, esta área é chamada de Zona de Influência Térmica (ZA). No processamento dos aços com alto teor de carbono e ligas metálicas, nessa área de influência é que verificamos um aumento na dureza superficial do material (Bystronic, 2012).

O Quadro 3, mostra em detalhes a ZA de alguns materiais, onde o St37 é a especificação dos aços ao carbono. Como é possível observar, os aços carbono apresentam valores inferiores de zona de influência térmica quando comparado à materiais como inox e alumínio.

Quadro 3: Zona de influência térmica.

Espessura do material (mm)	Zona de influência térmica (mm)		
	St 37	Inox	Alumínio
1	0,05	0,05	0,10
2	0,10	0,10	0,20
3	0,15	0,15	0,30
4	0,20	0,35	0,40
5	0,25	0,34	0,50
6	0,30	0,55	0,60
8	0,40	0,75	0,70
10	0,50	0,85	
12	0,60		

**Fonte:** Adaptado de Bystronic, 2012.

## 2.4 USINAGEM

De acordo com a DIN 8560 (DIN, 2003), usinagem define-se por todo processo de fabricação onde ocorre a remoção de material sob a forma de cavaco. Normalmente peças produzidas por processos como conformação, estampagem, fundição e soldagem, geralmente necessitam de operações complementares as quais retiram o excesso de sobremetal proveniente destes processos, fazendo o ajuste dimensional necessário, e atribuindo o acabamento final exigido pelo projeto. Estas operações de acabamento com finalidade de remover o material excedente são chamadas de operações de usinagem (Figura 5) (DINIZ *et al.*, 2003).

Figura 5: Usinagem.



**Fonte:** Vercon, 2018.

Segundo Groover (2014), usinagem é um processo de fabricação em que uma ferramenta de corte afiada é utilizada para remover material e produzir o formato da peça desejada. A ação predominante de corte na usinagem envolve a deformação por cisalhamento do material trabalhado para formar o cavaco, conforme o cavaco é removido, uma nova superfície é exposta. A usinagem é aplicada para dar forma a metais, produzindo desde geometrias simples, até as mais complexas.

Para Diniz *et al.* (2003), o processo de usinagem é constituído pela máquina, ferramenta e a peça a ser usinada. O conhecimento e domínio da interação entre estes três sistemas podem otimizar os tempos de produção e conseqüentemente os custos envolvidos. Os processos de usinagem são indispensáveis para a produção dos mais diversos tipos de peças, e com a evolução da tecnologia, as máquinas operatrizes que eram operadas manualmente, hoje transformaram-se em máquinas com sistemas computadorizados trabalhando à altíssimas velocidades de operação, sendo o comando numérico computadorizado (CNC) o mais utilizado atualmente na indústria.

#### **2.4.1 Usinagem com corte interrompido**

A usinagem com corte interrompido é realizada em situações em que a geometria inicial da peça a ser usinada não é cilíndrica, ou ainda em peças cilíndricas com geometria descontinuada (SILVA, 2017), como na Figura 6 (que contém furos, rasgos ou outras descontinuidades).



Figura 6: Usinagem com corte interrompido.

**Fonte:** O autor, 2018.

O torneamento destas peças pode gerar trincas de origem mecânica, danificando a superfície e podendo resultar em lascamento da ferramenta. De acordo com Sanches (2011, p. 17), existem três fatores que podem prejudicar o processo de torneamento com corte interrompido: “a entrada da ferramenta na peça, a saída da ferramenta quando se inicia a interrupção no corte e os ciclos térmicos e mecânicos”.

De acordo com Silva (2017, p. 5):

Arestas das ferramentas de corte usadas no corte interrompido são frequentemente substituídas em virtude de trincas, lascamentos ou quebras. O desenvolvimento do desgaste uniforme na superfície de folga ou de saída é dominante quando o inserto possui tenacidade suficiente para resistir aos choques térmicos e mecânicos [...] em relação à geometria da ferramenta, quanto mais positivo o ângulo de saída menor é a deformação imposta ao material, diminuindo assim os esforços de corte. Em contrapartida, isso ocasiona uma redução do ângulo de cunha da ferramenta, facilitando a ocorrência de uma fratura durante a efetuação do corte interrompido.

#### 2.4.2 Torno CNC

O torno convencional surgiu no início do século XX e ainda hoje é muito utilizado, por ser versátil e prático. Já a usinagem via CNC surgiu algumas décadas depois, na metade do século XX. Desde então, este tipo de torno tem sido amplamente empregado em diversas operações, como torneamento, furação, mandrilhamento e roscamento. Com o advento dos tornos de comando numérico

computadorizado e outras inovações tecnológicas, a indústria metalomecânica se transformou substancialmente nas últimas décadas (UCHOAS, 2016).

Uchoas explica o funcionamento das máquinas controladas por meio de CNC da seguinte maneira (2016, p. 19):

As máquinas controladas via CNC mais comuns hoje em dia são compostas por um painel em que o operador insere o programa CNC digitando diretamente no teclado ou via portas de transmissão de dados, como por exemplo a USB (do inglês “Universal Serial Bus”), e faz ainda os ajustes necessários para a realização dos processos. Além disso, estas máquinas possuem a área de usinagem, que normalmente possui barreiras de isolamento que são abertas para ajustes e fixação de peças e ferramentas, mas são fechadas durante o ciclo de operação de cada programa, como o objetivo de não permitir influências externas e de restringir o acesso físico desta área, com o intuito de evitar acidentes.

Dentre as vantagens da utilização de máquinas comandadas via CNC, destaca-se a redução do tempo de produção (uma vez que as trocas de ferramentas usualmente são feitas sem a necessidade de parar a máquina, além de haver altas rotações e velocidades, e produção sequencial); redução de custos (relacionado à redução do tempo do processo produtivo, e também da automatização acentuada do processo CNC); obtenção de perfis complexos (a precisão da máquina via CNC é extremamente alta, sendo possível a realização de trabalhos complexos com rapidez e acabamento satisfatório); diminuição de erros, retrabalhos e perdas (já que a automatização tende a ser mais precisa que operadores humanos); e segurança (além da diminuição no número de operadores, as máquinas CNC possuem barreiras de proteção e sensores para desativação em caso de acidentes) (UCHOAS, 2016). O Torno CNC pode ser melhor observado na Figura 7.

Figura 7: Torno CNC.



**Fonte:** Soluções Industriais, 2018.

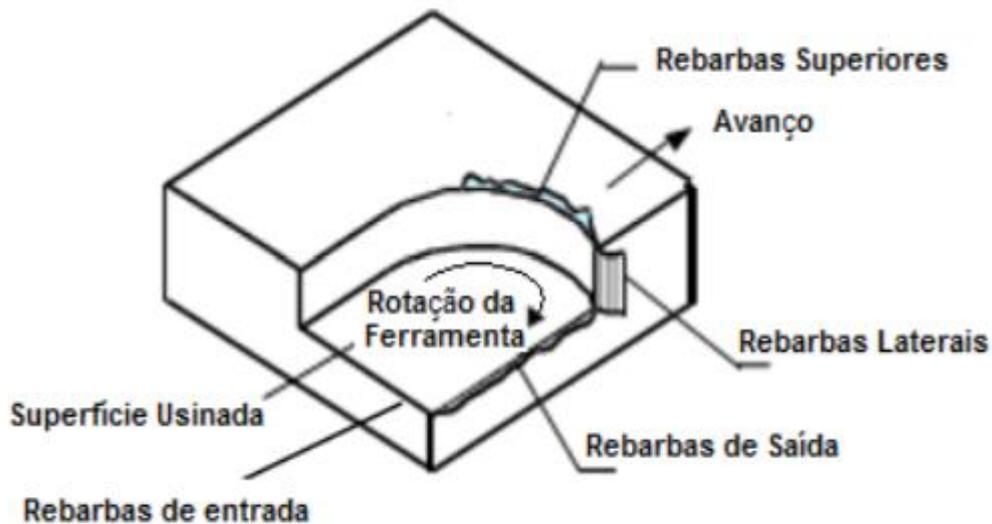
## 2.5 REBARBA

Muitos processos de usinagem têm como consequências após sua execução não deixar as superfícies ou arestas de cortes bem definidas, e acabam por projetar irregularidades, como material endurecido ao longo da superfície ou arestas, os quais são chamados de rebarba (GROOVER, 2014).

Segundo Ko e Dornfeld (1991), a rebarba é caracterizada como uma projeção indesejável de material, devido à uma deformação plástica ocasionada por um processo de corte ou cisalhamento.

Na indústria metalomecânica, os diferentes processos de usinagem têm a finalidade de criar peças com formato e tamanho específico. Em muitas vezes estes processos criam saliências ou bordas irregulares chamadas de rebarbas, que interferem no seu uso ou finalidade. Estas aparas devem ser removidas através de um processo de rebarbação (YUNMING, 2008, apud OLIVEIRA, 2011). As rebarbas provenientes das operações de usinagem podem ser melhor observadas na Figura 8.

Figura 8: Rebarbas provenientes do processo de usinagem.



**Fonte:** Oliveira, 2011.

A técnica de rebarbação pode ser executada por vários métodos, com utilização de substâncias abrasivas, como discos, rebolos e outros, com o auxílio de máquinas manuais ou automáticas, que tem a finalidade de remover as aparas e excessos de material na superfície da peça, conferindo-lhe um aspecto de bom acabamento, boa qualidade e garantir o bom funcionamento desta (GROOVER, 2014).

Por ser um processo realizado, muitas vezes, manualmente, torna-se caro e o ambiente no qual é feita a rebarbação normalmente é insalubre, com altos ruídos e partículas suspensas no ar. Alguns autores sugerem, portanto, que a automação do processo de rebarbação possa trazer diversos benefícios às empresas que a adotarem, diminuindo custos, tempo para execução e aumentando a precisão e qualidade do produto final. Entretanto, a automação pode ser dificultada em indústrias que produzam uma ampla variedade de peças, uma vez que a configuração de robôs exigiria mais tempo e seria mais complexa (OLIVEIRA, 2011).

## 2.6 CONFORMAÇÃO

Para Groover (2014), a conformação compreende um extenso grupo de processos de fabricação, os quais a mudança da forma de peças metálicas é atingida através da deformação plástica do material, com o uso de uma ferramenta, geralmente denominada de matriz, a qual exerce forças que ultrapassam o limite de escoamento do material, deformando plasticamente o mesmo, tomando assim a forma geométrica da matriz.

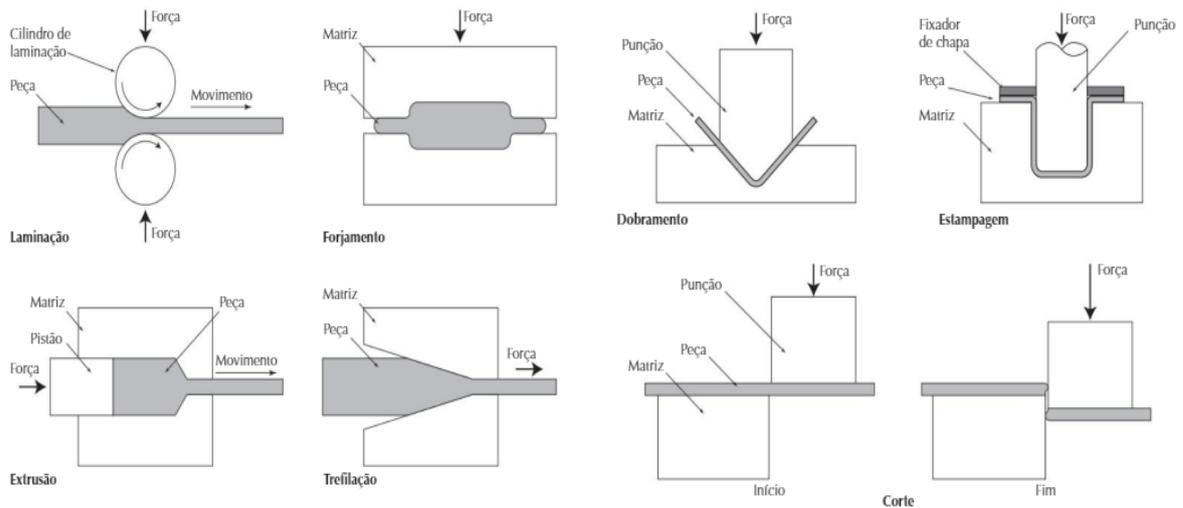
Ainda de acordo com Groover (2014), o metal deve ter certas propriedades para ser conformado, que são grande ductilidade e baixa resistência ao escoamento, os quais são diretamente influenciados pela temperatura. A elevação de temperatura aumenta a ductilidade e diminui a resistência ao escoamento, e este efeito define a divisão do trabalho entre conformação à frio, morno ou à quente. A definição de qual tipo de trabalho a ser utilizado depende do tipo de material, geometria da peça a ser obtida, bem como de forças de trabalho a serem empregadas no processo.

Para Swift e Booker (2014), o processo de conformação à frio traz como benefícios a serem considerados economicamente, possível redução de custos sobre os processos de usinagem, podendo também eliminar processos de tratamento térmico, sendo ainda econômico para volumes inferiores à 10 mil unidades, dependendo de sua complexidade e com baixos custos de acabamento. Ainda segundo os autores, a conformação à frio é amplamente empregada na fabricação de fixadores, soquetes de ferramentas, engrenagens brutas, tubos flexíveis, etc.

Já as vantagens da conformação à quente são o gasto menor de energia (e consequente diminuição de custos e maior produtividade), uma vez que não se faz necessário tratamento térmico neste modelo de conformação (SWIFT; BOOKER, 2014).

Além da classificação por temperatura, o processo de conformação de peças pode ser classificado de acordo com o tipo de esforço aplicado, sendo: forjamento, laminação, trefilação e extrusão para operações de conformação em volumes; e dobramento, estampagem, estiramento e corte para conformação em chapas (KIMINAMI *et al.* 2014). A Figura 9 mostra esquematicamente cada operação.

Figura 9: Processos de conformação.



**Fonte:** Kiminami *et al.*, 2014.

Para Chiaverini (1986), a conformação é um processo geralmente realizado à frio, e compreende diversos tipos de operações, pelos quais uma chapa é submetida a transformações de modo que adquira uma nova forma geométrica. Com a utilização de prensas de estampagem, com o auxílio de dispositivos como matrizes, o material é levado à deformação plástica adquirindo diversas formas. O esforço necessário para uma operação de estampo e conformação é descrita pela equação:

$$Q = p \cdot e \cdot \sigma_c \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

$Q$  = Esforço de trabalho, em Kgf;

$p$  = perímetro da figura, mm;

$e$  = espessura da chapa, mm;

$\sigma_c$  = resistência ao cisalhamento do material, Kgf/mm<sup>2</sup>.

### 2.6.1 Prensa hidráulica

Segundo Groover (2014), prensa é uma máquina ferramenta constituída de uma base fixa e um êmbolo, geralmente chamado de martelo, que se move em direção à base fixa, sendo assim utilizada nas mais diversas operações de corte e conformação.

As posições entre martelo e base fixa são definidas pelo formato de sua construção, onde o êmbolo desloca-se através de uma força mecânica ou hidráulica. Suas variadas capacidades de forças e dimensões determinam seu uso, na qual a capacidade é que determina sua aptidão de fornecer a força necessária à execução de tal trabalho, e sua dimensão a limitação dimensional da peça a ser fabricada. Na montagem de uma matriz na prensa, o suporte do punção é fixo no êmbolo, enquanto o suporte da matriz é preso à base fixa (GROOVER, 2014).

O funcionamento da prensa hidráulica, segundo Michels *et al.* (2013, p. 2), ocorre da seguinte forma:

A força é realizada através da transformação da energia hidráulica (pressão do óleo) em energia mecânica. O elemento que realiza esta transformação é conhecido por cilindro hidráulico (atuador linear) de duplo efeito, o qual precisa do deslocamento de óleo em sua cavidade para movimentar-se e realizar forças. É um elemento de simples composição e assemelha-se a uma seringa. É formado por: uma camisa, um êmbolo ligado a uma haste e as conexões das mangueiras. Quando o óleo entra no cilindro, o êmbolo é empurrado e por consequência a haste também.

A prensa hidráulica (Figura 10) é considerada uma invenção extremamente importante na história da humanidade, e seu funcionamento ocorre seguindo o Princípio de Pascal. A prensa hidráulica permitiu também, facilitar o transporte, armazenamento e descarte de materiais (DINÂMICA AMBIENTAL, 2015).



Figura 10: Prensa hidráulica.

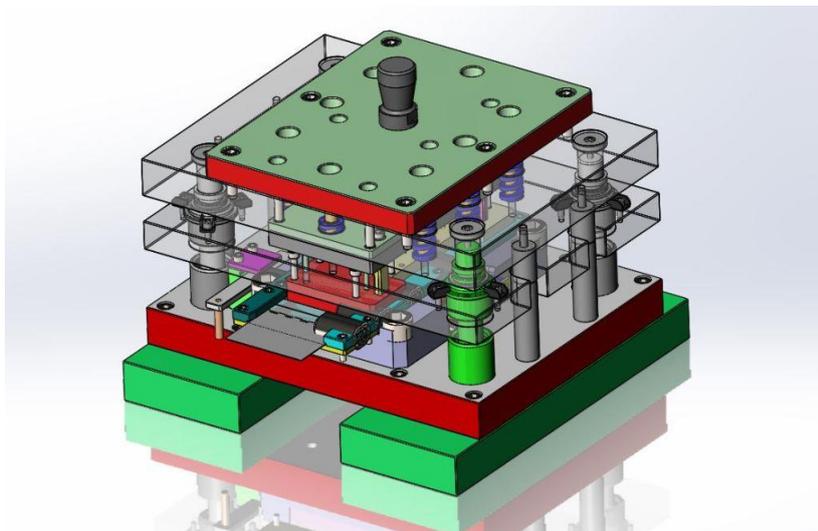
**Fonte:** Direct Industry, 2018.

Dentre as vantagens de sua utilização, destaca-se sua facilidade de instalação, flexibilidade, há a possibilidade de variações micrométricas na velocidade, maior precisão, ideal para sistemas repetitivos, etc. Já as desvantagens são: custo elevado, necessidade de transformar energia elétrica em mecânica, e mecânica em hidráulica, e por fim hidráulica em mecânica novamente (TEKMEKA, 2011).

### 2.6.2 Matriz

De acordo com Groover (2014), todas operações realizadas em prensas, são executadas com um ferramental, denominado de matriz (Figura 11), o qual é confeccionado sob medida para a peça a ser fabricada. São utilizadas para altas capacidades de produção e geralmente são construídas de materiais como aços ferramentas. A ferramenta é composta de um punção e uma matriz, que são fixos no êmbolo e base fixa respectivamente, sendo compostos também de pinos-guias, buchas, molas e outros sistemas, os quais asseguram o correto alinhamento entre punção e matriz, durante o processo de conformação. Como é possível observar na Figura 11, a matriz é parte essencial da maioria dos processos de conformação.

Figura 11: Matriz.



**Fonte:** Infocadu, 2018.

De acordo com Oliveira (2006), os aços utilizados para confecção de moldes e matrizes requerem certas propriedades mecânicas específicas para garantir seu bom funcionamento, sendo que as principais são: boa usinabilidade,

temperabilidade, resistência mecânica, dureza à temperatura ambiente e à quente, resistência ao desgaste, tenacidade e tamanho de grão adequado.

## 2.7 PRODUTIVIDADE

A competitividade entre empresas e indústrias, no século XXI, é constante e pode determinar quem se mantém ou não no mercado de trabalho. Cada vez mais clientes e fornecedores buscam por soluções que reduzam custos e aumentem a produtividade, de modo que a busca por inovações tecnológicas é contínua (DELUIZ, 2017).

De acordo com Riani (2006), o *Lean Manufacturing* (Manufatura Enxuta, em português) busca exatamente isso: redução de perdas e aumento de produtividade, conciliando novas técnicas e avanços em busca da melhoria contínua dos processos produtivos. Para isso, as empresas fazem uso de ferramentas de gestão, como as contidas no *lean manufacturing*, e outras, criadas com o mesmo intuito.

Existem diversas ferramentas de gestão que buscam incrementar a produtividade de determinado processo através da redução do tempo necessário para a produção. Não só ferramentas do *lean manufacturing*, como as oito perdas (que visam identificar as atividades que não agreguem valor ao produto, diminuindo-as ou eliminando-as), o sistema *just in time* (que reduz estoques e diminui custos através da coordenação da produção de acordo com a demanda dos clientes) e o *lead time* (que será discutido de maneira mais ampla ao longo deste trabalho) (BRITO, 2008).

A otimização de processos surge exatamente com este objetivo, de aumentar a produtividade de determinado setor através do mapeamento de atividades que são executadas, eliminando ou reduzindo as possíveis falhas e padronizando as rotinas (BRITO, 2008).

### 2.7.1 *Lead time*

Conhecido como *lead time*, o tempo de espera de um produto começa com o pedido solicitado pelo cliente e termina com o recebimento deste, conforme Figura 12. Evidentemente, as empresas devem buscar diminuir ao máximo seu *lead time*, garantindo desta forma a satisfação do cliente e a alta produtividade do processo de

fabricação. Dentre os principais fatores que podem dificultar o alcance de um *lead time* satisfatório, destacam-se o tempo alto entre a solicitação de matéria prima ao fornecedor e a entrega de fato deste material; o tempo de produção; e o tempo de transporte até o cliente (GODOY, 2017).

Figura 12: Etapas do *Lead time*.



**Fonte:** Godoy, 2017.

Ainda segundo Godoy (2017), estes impasses podem ser resolvidos com a adoção de algumas técnicas:

- Manter estoque de matéria prima (tanto na própria empresa ou no fornecedor);
- Manter estoque de produto final;
- Implementar melhorias no processo (como investimento em tecnologia e redefinição de *layouts* de produção);
- Terceirização da produção;
- Gerenciamento logístico.

Existem algumas maneiras de calcular o *lead time* de um processo produtivo. De acordo com Voitto (2018), deve-se usar como base para este cálculo os seguintes itens:

- Listagem de toda matéria prima necessária para fabricação do produto;
- Listagem do tempo de espera para entrega de cada matéria prima;
- Identificação da matéria prima com maior prazo de espera;
- Estabelecimento de quantos dias ou horas são necessários para a produção e para a entrega do produto final ao cliente, sendo necessário ainda considerar neste item o tempo gasto em atividades administrativas;

- O *lead time* será a soma do tempo de aquisição da matéria prima necessária, do tempo de produção e entrega do produto final ao cliente.

De acordo com Brancalion e Godinho Filho (2015), a redução do *lead time* leva a diversos benefícios, como redução de estoques, redução dos custos de produção, e aumento da qualidade e da produtividade do processo.

## 2.8 INSPEÇÃO VISUAL

De acordo com UNESP (2001), a inspeção de qualidade trata-se de um procedimento criado com o intuito de verificar se determinada peça, amostra ou lote atende às especificações de qualidade para as quais foi construído. A inspeção é baseada em uma característica da qualidade, e de acordo com a sua importância no que diz respeito à finalidade de seu uso, o resultado pode levar a peça à rejeição. Conforme o autor, a inspeção pode se dar de quatro maneiras: inspeção por variáveis; inspeção por atributos; inspeção completa e inspeção por amostragem.

Existe uma norma que rege os planos de amostragem e procedimentos da inspeção por atributos, a NBR 5426 (ABNT, 1985). De acordo com a norma (p. 2), a inspeção por atributos é uma inspeção na qual “a unidade de produto é classificada simplesmente como defeituosa ou não (ou o número de defeitos é contado) em relação a um dado requisito ou conjunto de requisitos”. Ainda segundo a norma, os possíveis defeitos encontrados podem ser classificados como críticos (quando o defeito pode gerar situações perigosas ou inseguras), graves (quando o defeito pode ocasionar falhas), e toleráveis (quando o defeito não reduz de forma significativa a utilidade da peça/produto).

A norma traz ainda a definição de nível de qualidade aceitável (NQA), que seria (ABNT, 1985, p. 2):

Máxima porcentagem defeituosa (ou o máximo número de “defeitos” por cem unidades) que, para fins de inspeção por amostragem, pode ser considerada satisfatória como média de um processo (ver 4.9). O NQA, juntamente com o código literal do tamanho da amostra, é usado para classificar os planos de amostragem.

No presente trabalho, a qualidade da peça foi verificada através da inspeção por atributos, que, conforme UNESP (2001), consiste de uma avaliação qualitativa

na qual se verifica a existência de defeitos, mas sem determinar a intensidade de tais irregularidades. Foram avaliados os fatores: verificação visual de trincas, arestas cortantes, rebarbas, marcas decorrentes do processo, entre outros defeitos visualmente detectáveis.

### **3 METODOLOGIA**

Este capítulo define os métodos e técnicas utilizados para a coleta de dados e execução de atividades, os quais servirão de base para o presente estudo.

#### **3.1 MÉTODOS E TÉCNICAS**

O presente trabalho segue o método de estudo de caso, onde o pesquisador envolvido faz o acompanhamento do processo produtivo, através de visitas e reuniões à sede da empresa, evidenciando e identificando as dificuldades do atual processo de fabricação, coletando dados, como tempos de fabricação, dados dimensionais, análise de dureza superficial do material e custos produtivos envolvidos (GIL, 2008).

Conforme Gil (2008, p.58) “o estudo de caso é caracterizado pelo estudo profundo e exaustivo de um ou de poucos objetos, de maneira a permitir o seu conhecimento amplo e detalhado, tarefa praticamente impossível mediante os outros tipos de delineamentos considerados”.

Posteriormente, baseando-se no conhecimento teórico adquirido no decorrer do estudo, será sugerida uma proposta de melhoria de processo produtivo, que tenha como premissa um aumento de produtividade e redução de custos à fim de viabilizar economicamente o projeto.

##### **3.1.1 Dados produtivos do item analisado**

Os dados dimensionais, tempos e custos de fabricação do processo atual, para comparação com os dados do processo proposto, à fim de calcular o novo custo de produção, serão extraídos do sistema de gerenciamento ERP da empresa, chamado de Gerenciador Industrial (GI) – MEGASOFT. Este sistema é uma plataforma de software que integra todos os dados e processos que uma organização necessita, em um só local.

Os dados dos tempos e custos de produção do processo proposto serão coletados através de medições a serem realizadas in loco durante os testes, e posteriormente inseridas no sistema gerenciador da empresa, para então serem computadas as novas informações.

A verificação dimensional e os ensaios de dureza superficial serão realizados no laboratório da qualidade da própria empresa.

Após a análise e coleta de dados, todas as informações serão dispostas em tabelas, quadros e imagens, para efeito comparativo e de verificação da viabilidade do estudo.

### 3.2 RECURSOS NECESSÁRIOS

Os recursos necessários para o desenvolvimento do estudo serão os softwares de desenho *Solidworks* para projeto da peça, e *VISI-CAD/CAM* para o projeto da ferramenta especial. Esses *softwares* são ferramentas gráficas computacionais, cujo objetivo é o desenvolvimento de projetos de peças e conjuntos em modelos tridimensionais (3D), que são utilizadas nas mais diversas áreas da engenharia.

Também serão necessários impressos para registro, lápis, caneta, borracha, caderno, cronômetro para medição dos tempos de processos, computadores para acesso à internet e elaboração das planilhas de estudos e custos, máquina fotográfica para registros de imagens e vídeos, equipamentos de medição, como paquímetro, calibre de raio e durômetro.

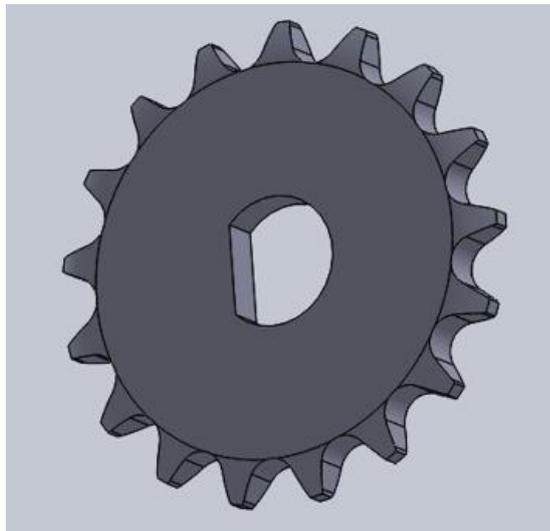
Além disso, também, materiais didáticos como dissertações, artigos e livros para estudo e embasamento teórico, cujas referências bibliográficas encontram-se ao fim do trabalho.

## 4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS

### 4.1 PROCESSO ATUAL

O item em estudo trata-se da roda dentada “Z17” (Figura 13), produto final entregue ao cliente, a qual tem um volume médio de aproximadamente 14.000 peças/ano.

Figura 13: Roda dentada Z17.



**Fonte:** O autor, 2018.

#### 4.1.1 Sequência de operações

O processo atual de manufatura, conforme mostra a Figura 14, compreende o corte *laser*, recozimento, usinagem, rebarbação, zincagem e expedição.

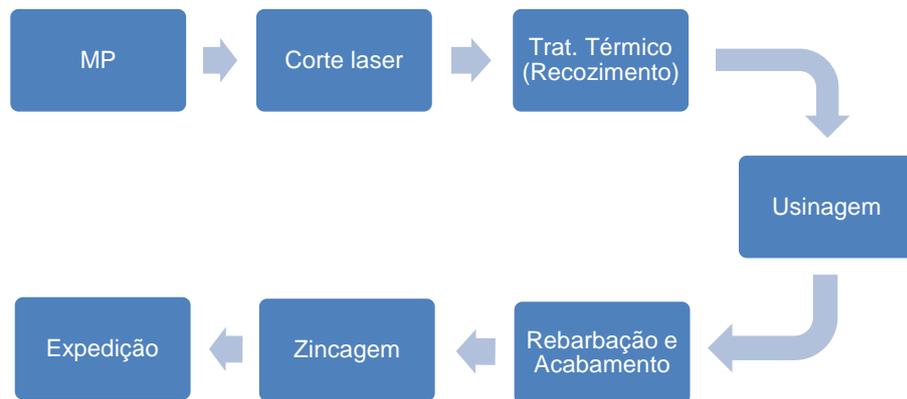


Figura 14: Processo atual de manufatura.

**Fonte:** O autor, 2018.

Os processos de usinagem, rebarbação e zincagem são realizados em empresas terceirizadas, as quais estão aptas a fornecer serviços, pois atendem as normas atuais vigentes exigidas para o fornecimento, como por exemplo a qualificação pela norma ABNT NBR ISO9001.

Na Sequência Operacional (SO) atual, conforme mostra a Figura 15, as operações estão distribuídas entres os diversos setores por onde a peça é produzida, onde o “Setor 08” refere-se ao corte *laser*, o “Setor 13” ao tratamento térmico, e o “Setor 16” à expedição.

CHAPEMEC INDÚSTRIA METALÚRGICA LTDA		Página 1		Emissão: 19/10/2018 - 15:57		
Sequência de Operações				Liberado: (X) Produção (X) Custos		
Revisão: 03 - 23/03/2017						
Produto: Z17- ENGRENAGEM Z17 ASA40						
Ope	Setor	Gr.Maq.	Ferram	TPre	TOper	Descrição da Operação
10	08	08		0,00	0,28	10.1 - PROCEDER CONFORME IT 8.5/126. 10.2 - INSPECIONAR FURO Ø20.1mm(-0 +0,1) C/ PAQUÍMETRO RES. 0,01mm. FREQ. INSP. 1/LOTE. 10.3 - CASO HOVER NÃO CONFORMIDADE PROCEDER CONFORME PQ8.7 E VERIFICAR PARÂMETROS DA MÁQUINA.
20	13	13		0,00	0,05	20.1 - NORMALIZAR ENGRENAGEM NO FORNO A 500°C POR 30MIN 20.2 - DEIXAR ESFRIAR COM A PORTA ENTRE-ABERTA
30				0,00	0,00	30.1 - ENVIAR PEÇA PARA USINAGEM 30.2 - FAZER CHANFROS 1,5mm (2X) CONFORME DESENHO  CUSTO PROCESSO: R\$ 1,36
40				0,00	0,00	40.1 - ENVIAR AS PCS PARA ZINCAGEM 40.2 - FAZER ZINCAGEM TRIVALENTE 40.3 - APÓS AS PEÇAS RETORNAREM INSP. CONF. IT 8.5/132 E IT8.5/129 E REGISTRAR NO F8.4/09 40.4 - CASO HOVER NÃO CONFORMIDADE PROCEDER CONFORME PQ8.7.  CUSTO PROCESSO: R\$ 0,58
50	16	16		0,00	0,00	50.1 - EMBALAR E EXPEDIR PECAS

Figura 15: Sequência operacional atual.

**Fonte:** Chapemec, 2018.

#### 4.1.2 Matéria prima

A roda dentada Z17 é produzida em chapa de aço plano fina quente SAE 1045, com espessura de 6,35 mm, matéria-prima originária de empresa apta ao fornecimento, e que segue os padrões normativos de fabricação dos aços SAE, conforme demonstra certificado de matéria-prima visualizado na Figura 16.

O certificado de matéria-prima é um documento emitido pelo fabricante à cada lote de material produzido. Este certificado é entregue ao cliente juntamente à cada lote de compra, e nele estão dispostas todas as informações sobre as propriedades do material, como a composição química e as propriedades mecânicas.

As informações contidas no certificado atestam que o material entregue pela siderúrgica atende aos requisitos exigidos na norma sobre o qual este foi produzido.

Figura 16: Certificado de matéria prima.

Número Identificação			Ensaio de Tração / Tensile test				Dureza		Embut. / Cupping	Dobramento		Ensaio Metalográfico			
M.P.			LE / ys (MPa)		LR / ts (MPa)		Hardness test		Ericksen (mm)	Bend test Dir Ang		Metallographic tests			
498779												Inclusões TG [ ]			
<p style="text-align: center;"><b>AUDO APROVADO</b> NF 232332</p>															
Número Certificado Usina			Composição Química / Chemical composition (%)												
498779			C	Si	Mn	P	S	Al	Cu	Nb	V	Ti	Cr	Ni	Mo
0352747			0,496	0,208	0,762	0,015	0,008	0,025							
<p>Certificamos que o material aqui relacionado foi produzido, inspecionado, ensaiado e analisado de acordo com os requisitos das normas ou especificações solicitadas.  <i>We hereby certify that the material here reported has been produced, examined, tested and analyzed in accordance with the requirement of standards or specifications requested.</i></p>															
Observações / Remarks:															
Legenda / Legend										Responsável / Authorized signature:					
Dobramento / Bend test					Ensaio Metalográfico / Metallographic test					<p>Paulo Cristiano Pizzolotto</p>					
Dir - direção		Ang = ângulo		Inclusões - XYZ (Norma ASTM E 45 I)					TG = Tamanho de grão (1 a 8)						
L = longitudinal		G = 90°		X - Tipo		Y - Quantidade de 1 a 4			F = ferrítico						
T = transversal		H = 180°		A = sulfetos		Z - Espessura			A = austenítico						
				B = aluminatos		F = série fina									
				C = silicatos		G = série grossa									
				D = óxidos											

Fonte: Chapemec, 2018

#### 4.1.3 Corte laser

No atual processo, após o recebimento e inspeção da matéria-prima, a mesma é enviada ao corte *laser*, onde, através de um programa CNC as peças são cortadas em chapas de aço plano (Figura 17).

Figura 17: Corte de chapas de aço plano.



**Fonte:** Chapemec, 2018.

Nesta operação é imprescindível a verificação do dimensional do furo central que solicita a medida de  $\varnothing 20.1 (+0,1 -0 \text{ mm})$  (Figura 18). Caso esteja fora da faixa de tolerância dimensional, deve ser feito ajuste de correção de corte pelo operador da máquina operatriz.



Figura 18: Verificação dimensional do furo.

**Fonte:** O autor, 2018.

#### 4.1.4 Reozimento

Após o corte *laser*, a peça é direcionada ao processo de recozimento, para que o material torne a ter as características de dureza iniciais da matéria-prima. Esta operação se faz necessária, pois o corte laser por ser um processo térmico, altera a

dureza do material na aresta de corte, o que dificulta o posterior processo de usinagem, como também a remoção da rebarba proveniente da própria usinagem.

O processo de recozimento é feito à uma temperatura de 500°C por 30 minutos em forno de aquecimento por indução da marca Jung (Figura 19). Esta operação foi adotada uma vez que no desenvolvimento inicial do projeto, o inserto de usinagem possuía pouca vida útil devido à alta dureza da superfície de corte à ser usinada, tendo ainda como agravante o corte interrompido nesta área, inviabilizando o custo produtivo do item.

Figura 19: Forno de aquecimento.



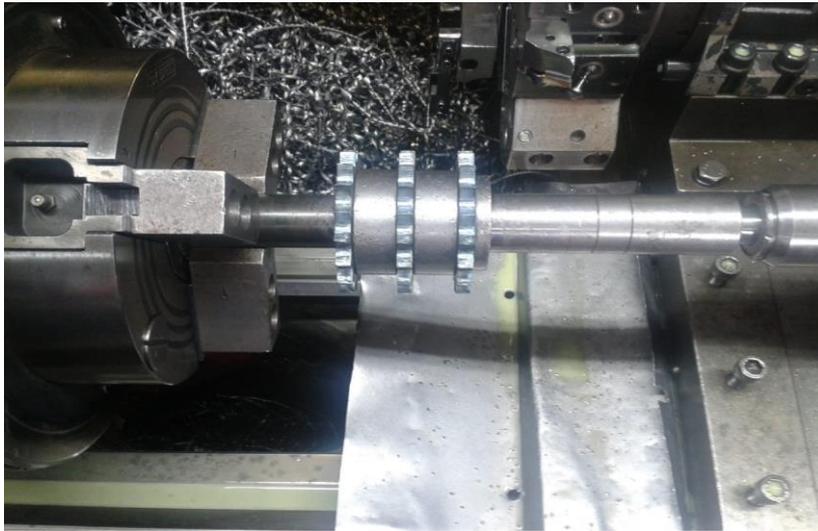
Fonte: Chapemec, 2018.

#### 4.1.5 Usinagem

O processo de usinagem (Figura 20) é realizado em empresa terceirizada, e esta operação é executada em máquina torno CNC. O processo conta com a utilização de um dispositivo específico para a operação no torno devido à geometria da peça. Para realizar esta operação o dispositivo suporta a fixação de 3 peças/vez.

Atualmente o ciclo de produção para este *setup* está contabilizado em 1 minuto e 10 segundos, o que nos mostra que o tempo de fabricação de cada peça está aferido em 23 segundos, tendo assim uma produtividade de aproximadamente 156 peças/hora.

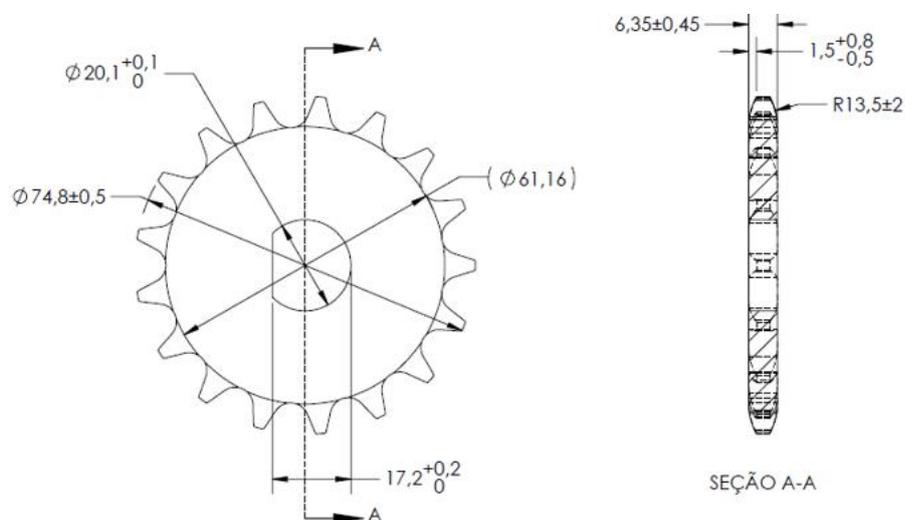
Figura 20: Processo de usinagem.



**Fonte:** O autor, 2018.

Nesta operação é feita a remoção do material, com o objetivo de atingir a cota de 1,5 mm  $+0.8 -0.5$ , limitadas pelas cotas de 6,35 mm  $\pm 0.45$  e R 13,5 mm  $\pm 2$ , e o  $\varnothing$  61,16 mm conforme demonstrado na Figura 21.

Figura 21: Cotas do processo de usinagem.



**Fonte:** O autor, 2018.

Uma das características deste processo de usinagem, é que este se dá por corte interrompido, devido a geometria da área à ser usinada, e um dos efeitos é eventualmente deixar como resíduo uma saliência de material, a rebarba, que devido à sua localização dificulta a posterior remoção.

#### 4.1.6 Rebarbação

A rebarbação é uma operação realizada ocasionalmente, pois depende de análise a cada lote de produção, tornando-se uma operação não regular no processo de manufatura. Quando da sua necessidade de execução, torna-se complexo pelo fato da projeção da rebarba estar situada no espaço livre entre os dentes (Figura 22).

Figura 22: Projeção da rebarba.



**Fonte:** O autor, 2018.

Esta operação geralmente é realizada de forma manual, ou com o uso de uma retífica, o qual por não ser específica para este uso, tem dificuldade para execução da tarefa. Por este fato, não mantém um padrão de qualidade e acabamento.

#### 4.1.7 Zincagem

Por fim, antes da expedição ao cliente, é realizado o último processo, a zincagem (Figura 23), a qual segue as exigências dos padrões normativos internos do cliente. A finalidade do processo de zincagem é conferir à peça uma camada superficial protetiva aumentando sua durabilidade quanto a oxidações provenientes das intempéries do ambiente em que estará inserida.

Figura 23: Processo de zincagem.



**Fonte:** O autor, 2018.

#### **4.1.8 Ensaio de dureza superficial**

O ensaio de dureza superficial para efeito comparativo e de constatação das dificuldades apresentadas devido às alterações de dureza, que justifiquem a necessidade do processo de recozimento, foi realizada no laboratório da empresa com equipamento Durômetro da marca Digimess (Figura 24), observando-se o procedimento padrão para realização dos testes com base na norma NBR ISO 6508 (2008).

Figura 24: Ensaio dos corpos de prova.

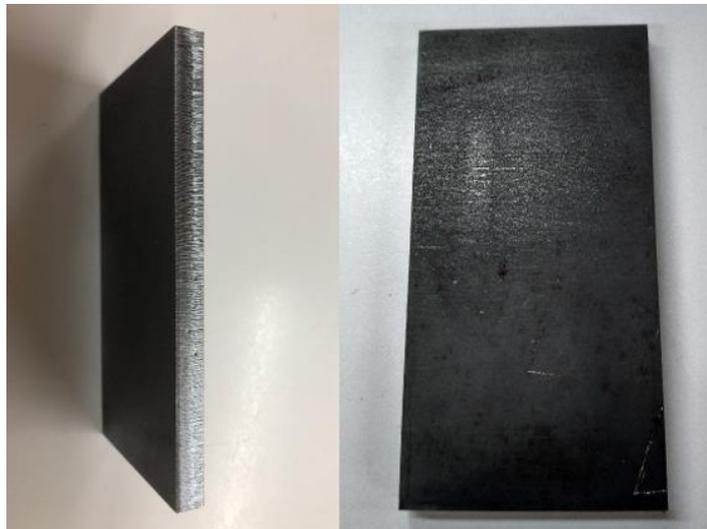


**Fonte:** O autor, 2018.

Para a análise e verificação da alteração de dureza durante a manufatura, foram fabricados cinco corpos de prova denominados de CP01, CP02, CP03, CP04, CP05 com dimensões de 40 x 80mm (Figura 25), do mesmo material e nas mesmas condições da peça em estudo.

Essa metodologia foi necessária pois a área superficial da roda dentada influenciada pelo corte térmico, tem uma geometria a qual não possibilitou que o penetrador do equipamento fosse disposto para a aplicação das cargas necessárias à realização do ensaio.

Figura 25: Corpo de prova.



**Fonte:** O autor, 2018.

O método adotado para a verificação das alterações durante os processos produtivos, foi determinado na seguinte ordem:

- 1º- Corte *Laser* dos corpos de prova de 40x80mm;
- 2º- Medição da dureza superficial dos corpos de prova em área não influenciada termicamente;
- 2º- Medição da dureza superficial da ZA após o processo;
- 3º- Recozimento dos corpos de prova;
- 3º- Medição da dureza superficial da ZA após o processo.

Com a coleta de todos os dados, foi emitido o relatório de ensaio (Quadro 4), para evidenciar as alterações de dureza do material após os processos e confirmar a necessidade de utilizar no atual processo produtivo a operação de recozimento.

Quadro 4: Relatório de ensaio de dureza.

Amostra	Dureza Superficial (HRC)		
	MP	Corte Laser	Recozimento
CP01	8	16	9
CP02	10	18	10
CP03	9	18	9
CP04	8	20	6
CP05	11	22	11

Fonte: O autor, 2018.

#### 4.1.9 Custo de fabricação

O custo de fabricação está cotado atualmente em R\$ 3,83 reais, conforme demonstra o relatório de análise de custos (Figura 26), extraído do gerenciador ERP da empresa.

Figura 26: Relatório de análise de custos.

Análise de Custos					10/04/2018
<b>Produto: Z17</b>					Total: 3.83
<b>Matéria Prima</b>					
Produto	Descrição da Matéria Prima	Quantidade	Custo Unitário	Custo Total	
CHLQ6,354328	CHAPA LQ 6,35X1200X3000MM SAE1045	0,294	3,5296	1,0377	
				1,0377	
<b>Processos</b>					
Processo		Tempo Padrão	Custo Hora	Custo Total	
Setor: 08 - CORTE LASER		0,2800	164,5700	0,7680	
Setor: 13 - ESTAMPARIA		0,0500	99,2600	0,0827	
Global		0,0000	0,0000	0,0000	
				0,8507	
<b>Operações com Terceiros</b>					
Produto	Descrição do Produto	Quantidade	Custo Unitário	Custo Total	
Z17	ENGRENAGEM Z17 AS	1,000	1,9400	1,9400	
				1,9400	

Fonte: Chapemec, 2018.

O relatório compreende o custo de todos os processos envolvidos na manufatura, tanto os internos, quanto os externos. O custo da operação descrita como ESTAMPARIA, refere-se ao setor em que está alocado o forno elétrico de indução onde é realizado o tratamento de recozimento. A discriminação “Operações com Terceiros”, compreende a soma dos processos de usinagem, rebarbação e zincagem.

## 4.2 PROCESSO PROPOSTO

A finalidade da proposta, além dos objetivos já mencionados anteriormente, é ter um processo de manufatura enxuto, pois isso conseqüentemente reduz o *lead time*, além de um maior controle sobre a qualidade do produto.

A proposta de novo processo (Figura 27) compreende os processos de corte *laser*, conformação, zincagem e expedição, onde praticamente toda manufatura será interna, com exceção do processo de zincagem.

Figura 27: Proposta de novo processo.



**Fonte:** O autor, 2018.

### 4.2.1 Cálculo da capacidade de trabalho

Para iniciar os estudos foi necessário verificar se a prensa hidráulica disponibilizada para os testes teria capacidade para realização do processo de conformação. A máquina utilizada para os testes foi uma prensa hidráulica do tipo “H” da marca Jiangsu (Figura 28), com capacidade de 100 t (toneladas) de força.

Empregando-se dos cálculos (Equação1) comumente utilizados no meio fabril para estas avaliações, foi verificado o esforço necessário para a operação de conformação.

Procedimentos do cálculo:

- 1) Cálculo do perímetro da peça:

$$p = 2 \cdot \pi \cdot r \quad \text{Equação 2}$$

Onde o raio (R) da peça é a metade do  $\varnothing$  74,8 mm externo da roda dentada, então:

$$p = 2 \cdot \pi \cdot 37,4 = 234,9 \text{ mm} \quad \text{Equação 3}$$

2) Espessura do material:

$$e = 6,35 \text{ mm}$$

Como a cota da dimensão da área conformada é de 1,5 mm x 2 lados, logo:

$$e = 3,0 \text{ mm}$$

3) Tensão de cisalhamento do aço SAE 1045:

$$\sigma_c = 52 \text{ kgf/mm}^2;$$

4) Cálculo do esforço de trabalho:

$$Q = 234,9 \cdot 3,0 \cdot 0,52$$

Equação 4

$$Q = 36.644,4 \text{ Kgf} = \sim 37 \text{ t}$$

Figura 28: Prensa hidráulica.



Fonte: O autor, 2018.

Com o cálculo realizado constatou-se que o equipamento com capacidade máxima de 100 t teria condições de realizar o trabalho de aproximadamente 37 t, e seguiu-se para o projeto da ferramenta com o desenvolvimento do seu conceito.

#### 4.2.2 Projeto e fabricação de ferramental especial

O conceito e projeto da ferramenta foi desenvolvido juntamente com o pessoal técnico especializado, da empresa DRF Ferramentaria de Santa Rosa - RS, através de *software* específico para projeto de ferramentas, com base nos requisitos do projeto da peça em estudo e nos dados e características da prensa hidráulica disponibilizada para os testes. As características da prensa, necessárias à realização do projeto estão relacionadas conforme Quadro 5.

Quadro 5: Características da prensa hidráulica.

Capacidade	Unid.	Valor
Força de trabalho	t	100
Distância entre mesa e martelo	mm	800
Curso do martelo	mm	550
Velocidade de aproximação	mm/s	80
Velocidade de trabalho	mm/s	15
Velocidade de retorno	mm/s	80
Força de retorno	t	10
Dimensão da mesa	mm	800x800
Diâmetro da saída de cavaco	mm	150
Dimensão do martelo	mm	650x650
Diâmetro do furo do porta espiga	mm	50
Dimensão da cava	mm	200/250
Distância entre colunas	mm	710
Distância da mesa ao solo	mm	850
Motor - tensão 220/380V 3HP 60Hz	CV	20
Comprimento	mm	1000
Altura	mm	2050

**Fonte:** O autor, 2018.

Com base nas características da peça e da prensa, o projeto desenvolvido considerou uma ferramenta de conformação com duas cavidades para conformação, com sistema de pinos para fazer a operação de calibração do Ø 20.1 mm, onde a cada ciclo de trabalho é processado duas peças, conforme mostra a Figura 29.

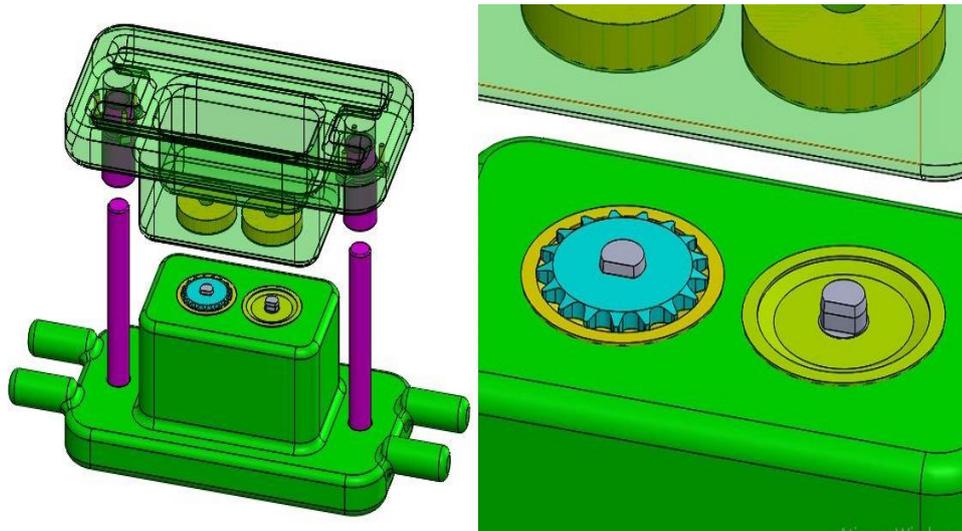


Figura 29: Ferramenta de conformação.

**Fonte:** O autor, 2018.

O orçamento da ferramenta foi estimado levando em consideração os materiais e serviços necessários à execução do projeto. Com isso o custo orçado foi de aproximadamente R\$ 12.000,00. Outro custo orçado foi a manutenção da mesma, que foi contabilizado em R\$1.500,00 à cada 50.000 peças produzidas.

Devido ao custo elevado do projeto, o trabalho limitou-se à fabricação do protótipo de uma cavidade da ferramenta para executar o processo de conformação, uma vez que este é considerado o elemento mais importante para o sucesso do estudo. O protótipo da cavidade da ferramenta fica evidenciado na Figura 30.



Figura 30: Protótipo da cavidade da ferramenta.

**Fonte:** O autor, 2018.

Após a conclusão da ferramenta pela empresa especializada, verificou-se o dimensional da mesma conforme o projeto, para aprovação e posterior liberação para os testes.

#### **4.2.3 Amostras**

Neste trabalho foram produzidas cinco amostras (Figura 31) para a realização dos estudos. Foram avaliadas dimensionalmente antes e após os testes de conformação para verificar possíveis alterações dimensionais decorrentes deste.

Figura 31: Amostras do estudo.



**Fonte:** O autor, 2018.

#### **4.2.4 Testes e coleta de dados**

Com a ferramenta disponível para os estudos, procedeu-se com a instalação da mesma na prensa, realizando-se as fixações, ajustes e regulagens necessárias, e em seguida iniciou-se os testes de conformação (Figura 32).

Constatou-se durante o teste, que os cálculos realizados para verificação de capacidade de trabalho da prensa estavam dentro das expectativas e atenderam ao propósito da realização do estudo. Durante o processo de conformação foi feita a coleta dos tempos de fabricação para levantamento de produtividade, bem como o cálculo do novo custo de fabricação e a viabilidade de implementação do projeto.

As amostras resultantes foram encaminhadas à inspeção visual para comparação com as produzidas pelo atual processo.



Figura 32: Testes de conformação.

**Fonte:** O autor, 2018.

#### 4.2.5 Inspeção visual

As amostras resultantes dos testes (Figura 33) foram avaliadas sob o aspecto dos atributos característicos. Os atributos são definidos de modo a buscar visualmente por características que possam possivelmente prejudicar o funcionamento do produto, seu manuseio ou deixá-la com um aspecto de baixa qualidade.

Figura 33: Amostras resultantes dos testes.



**Fonte:** O autor, 2018.

A inspeção visual tem como objetivo verificar o padrão de qualidade exigido pelas normas internas vigentes do cliente.

Através de *checklist* próprio, foram avaliados atributos específicos conforme demonstra o Quadro 6, onde verificou-se que as amostras produzidas estavam de acordo com os requisitos exigidos, como ausência de cantos vivos, arestas cortantes ou rebarbas, superfície livre de marcas profundas de processos e ausência de oxidações.

Quadro 6: Checklist de atributos.

Checklist			
Item	Atributo de Inspeção	Verificado	
		Sim	Não
1	Ausência de cantos vivos	X	
2	Ausência de arestas cortantes	X	
3	Ausência de rebarbas de processos de fabricação	X	
4	Superfície livre de marcas de ferramentas e outros	X	
5	Ausência de oxidações e pontos de umidade	X	
		Aprovado	Reprovado
	Resultado:	X	

**Fonte:** O autor, 2018.

Após a aprovação do lote através do *checklist*, as amostras seguiram para a verificação dimensional.

#### 4.2.6 Verificação dimensional

Para fins de validação do atendimento dimensional ao solicitado no projeto da roda dentada Z17, as amostras foram analisadas com o uso de instrumentos como paquímetro, calibre de raio e braço de medição tridimensional, e as seguintes cotas foram avaliadas:

1.  $\varnothing 74,8 \text{ mm} \pm 0,5$ ;
2.  $\varnothing 61,16 \text{ mm}$ ;
3.  $\varnothing 20,1 + 0,1 -0$ ;
4.  $17,2 \text{ mm} +0,15 -0$ ;
5.  $6,35 \text{ mm} \pm 0,46$ ;
6.  $R 13,5 \text{ mm} \pm 2$ .

7. 1,5 mm + 0,8 -0,5.

As cinco amostras foram analisadas e os resultados dimensionais obtidos foram dispostos conforme representado no Quadro 7, sendo dividido em colunas as quais identificam o número de itens avaliados, a cota analisada com a respectiva tolerância dimensional, o instrumento de medição utilizado, a amostra analisada, o valor dimensional verificado, a média dos resultados e se o item analisado foi aprovado (A) ou reprovado (R).

Quadro 7: Resultados dimensionais.

RELATÓRIO DE INSPEÇÃO E ANÁLISE (RIA)										
Item	Cota	Tol.	Instrumento utilizado	Amostra					Média	A/R
				01	02	03	04	05		
1	Ø74,8	±0,5	Braço trid.	75.0	75.2	75.0	75.1	75.1	75.1	A
2	Ø61,1	Ref.	Braço trid.	61.10	61.20	61.15	61.18	61.13	61.15	A
3	Ø20,1	+0,1 -0	Paquímetro	20.13	20.17	20.12	20.16	20.11	20.14	A
4	17.20	+0,15 -0	Paquímetro	17.27	17.22	17.25	17.23	17.25	17.24	A
5	6.35	±0,46	Paquímetro	6.51	6.52	6.49	6.52	6.51	6.51	A
6	R13,5	±2	Calibre raio	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	A
7	1.5	+0,8 -0,5	Paquímetro	1.4	1.2	1.3	1.4	1.3	1.3	A

Fonte: O autor, 2018.

Como exposto, as amostras produzidas pelo método proposto atenderam às exigências do projeto, e o processo foi devidamente validado para a continuação das análises.

#### 4.2.7 Nova sequência operacional

Com os testes e medições concluídos, os dados coletados foram inseridos no sistema ERP da empresa. Realizou-se o cadastro da nova estrutura da SO (Sequência Operacional) conforme Figura 34, para posterior análise de produtividade e custo de fabricação.

Na Sequência Operacional as operações estão distribuídas entres os diversos setores por onde a peça é produzida, onde o “Setor 08” refere-se ao corte *laser*, o “Setor 13” ao processo de conformação, um processo de zincagem terceirizada, na operação “30” e o “Setor 16” à expedição.

CHAPEMEC INDÚSTRIA METALÚRGICA LTDA		Página 2		Emissão: 19/10/2018 - 15:57		
Sequência de Operações						
Liberado: ( ) Produção ( ) Custos						
Revisão: 04 - 19/10/2018						
Produto: ENGRENAGEM Z17 ASA40						
Ope	Setor	Gr.Maq.	Ferram	TPre	TOpe	Descrição da Operação
10	08	08		0,00	0,28	10.1 - PROCEDER CONFORME IT 8.5/126. 10.2 - INSPECIONAR FURO Ø20.1mm(-0 +0,1) C/ PAQUÍMETRO RES. 0,01mm. FREQ. INSP. 1/LOTE. 10.3 - CASO HOUVER NÃO CONFORMIDADE PROCEDER CONFORME PQ8.7 E VERIFICAR PARÂMETROS DA MÁQUINA.
20	13	13		0,00	0,16	20.1 - CONFORMAR RAIOS DA PEÇA COM FERRAMENTA..... 2PÇS POR VEZ 20.2 - CASO HOUVER NÃO CONFORMIDADE PROCEDER CONFORME PQ8.7 E VERIFICAR PARÂMETROS DA MÁQUINA.
30				0,00	0,00	30.1 - ENVIAR AS PCS PARA ZINCAGEM 30.2 - FAZER ZINCAGEM TRIVALENTE 30.3 - APÓS AS PEÇAS RETORNAREM INSP. CONF. IT 8.5/132 E IT8.5/129 E REGISTRAR NO F8.4/09 30.4 - CASO HOUVER NÃO CONFORMIDADE PROCEDER CONFORME PQ8.7.  CUSTO PROCESSO: R\$ 0,58
40	16	16		0,00	0,00	40.1 - EMBALAR E EXPEDIR PECAS

Figura 34: Nova sequência operacional.

**Fonte:** Chapemec, 2018.

#### 4.2.8 Verificação da produtividade

A verificação da produtividade do processo proposto foi feita através da análise dos tempos de fabricação, com o uso de um cronômetro calibrado, utilizado regularmente na manufatura para este fim. Após os testes, as medições realizadas foram posteriormente dispostas para análise conforme mostra o Quadro 8.

Quadro 8: Tempos de fabricação.

Amostra	Tempo (s)
Nº1	21
Nº2	19
Nº3	18
Nº4	20

Nº5	22
Média	20

**Fonte:** O autor, 2018.

Verificou-se que o tempo médio do ciclo de produção das amostras foi de 20 s (segundos). Considerando-se que o projeto da ferramenta orçado contempla duas cavidades, para que sejam processadas 2 peças/ciclo, teremos uma produtividade de aproximadamente 360 peças/h (hora). A análise do tempo médio do processo foi necessária para a realização do novo custo de fabricação.

#### 4.2.9 Novo custo de fabricação

Com todos os dados e informações coletados, foi possível fazer a inserção dos mesmos no ERP Gerenciador Industrial e extrair o custo atualizado (Figura 35).

Figura 34: Custo atualizado de fabricação.

Análise de Custos					10/19/2018
<b>Produto: Z17</b>				Total: 2.73	
<b>Matéria Prima</b>					
Produto	Descrição da Matéria Prima	Quantidade	Custo Unitário	Custo Total	
CHLQ6,354328	CHAPA LQ 6,35X1200X3000MM SAE1045	0,294	3,7996	1,1171	
				1,1171	
<b>Processos</b>					
Processo		Tempo Padrão	Custo Hora	Custo Total	
Setor: 08 - CORTE LASER		0,2800	164,5700	0,7680	
Setor: 13 - ESTAMPARIA		0,1600	99,2600	0,2647	
Global		0,0000	0,0000	0,0000	
				1,0327	
<b>Operações com Terceiros</b>					
Produto	Descrição do Produto	Quantidade	Custo Unitário	Custo Total	
Z17	ENGRENAGEM Z17 AS	1,000	0,5800	0,5800	
				0,5800	

**Fonte:** Chapemec, 2018.

Verificou-se que o custo atualizado foi de R\$ 2,73 por unidade, uma redução de R\$ 1,10, aproximadamente 29% ante os R\$ 3,83 do atual processo. A redução obtida foi resultado direto da substituição de processos como o recozimento, o qual não agrega valor ao produto, e a usinagem, pela única operação de conformação, o qual tem um custo de produção menor, aliado a uma produtividade maior.

#### 4.3 VIABILIDADE DE IMPLEMENTAÇÃO

Este tópico visa demonstrar comparativamente se os dados e informações coletadas e produzidas durante o estudo, através dos resultados dimensionais, tempos e custos de fabricação, qualidade visual e investimentos em ferramental se o trabalho teve êxito em seu desenvolvimento viabilizando a implementação.

##### 4.3.1 Dimensional

O Quadro 9 demonstra o comparativo dimensional entre os processos atual e proposto. Para o equiparativo foi necessário computar a média dos dados dimensionais das amostras analisadas no processo proposto. Os dados foram dispostos seguindo a mesma metodologia do Quadro 7.

Quadro 9: Comparativo dimensional.

RELATÓRIO DE INSPEÇÃO E ANÁLISE (RIA)					
Item	Cota	Tolerância	Instrumento utilizado	Usinagem (atual)	Conformação (proposto)
1	Ø74,8	±0,5	Braço trid.	74.6	75.1
2	Ø61,16	Ref.	Braço trid.	60.90	61.15
3	Ø20,1	+0,1 -0	Paquímetro	20.10	20.14
4	17.20	+0,15 -0	Paquímetro	17.27	17.24
5	6.35	±0,46	Paquímetro	6.55	6.51
6	R13,5	±2	Calibre raio	13.0	14.0
7	1.5	+0,8 -0,5	Paquímetro	1.9	1.3

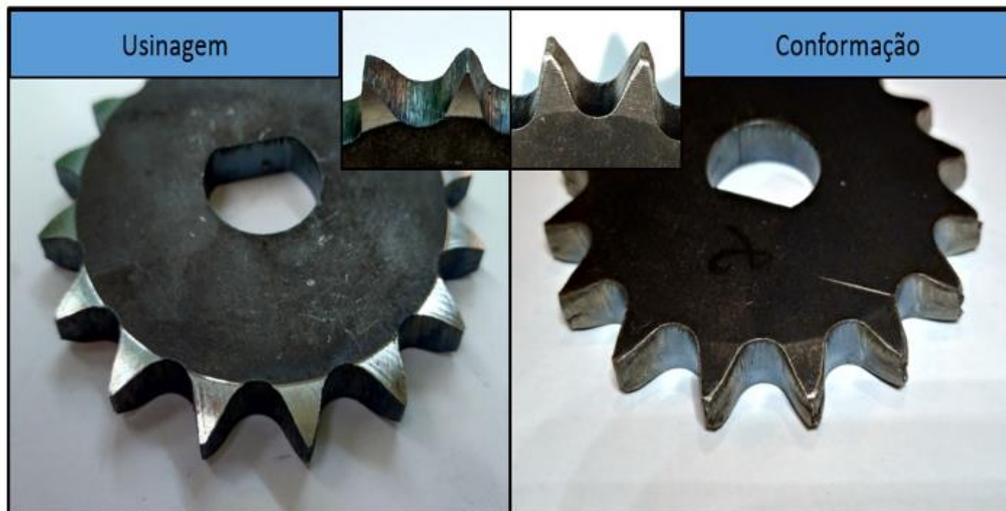
**Fonte:** O autor, 2018.

Nota-se que não houve alterações dimensionais significativas entre os processos, com exceção da cota de 1,5 mm +0,8 -0,5, a qual é a medida principal resultante do processo de conformação.

### 4.3.2 Avaliação visual

O comparativo visual (Figura 36) entre os dois processos verificou que as amostras produzidas estavam com um aspecto de acabamento equivalente à peça produzida pelo atual processo, atendendo os atributos solicitados pelo cliente, o que de forma alguma inviabilizaria a implementação do novo processo.

Figura 35: Comparativo visual.



Fonte: O autor, 2018.

### 4.3.3 Produtividade

Tomando como base a operação de usinagem, a qual tem um tempo maior de produção entre os processos de manufatura atual, os quais serão substituídos pela operação de conformação, a comparação da produtividade entre o processo atual e o proposto foi avaliada através da realização do cálculo do volume de peças produzidas por hora na usinagem *versus* conformação conforme mostra o Quadro 10.

Quadro 10: Comparativo de produtividade.

<b>Análise de Produtividade</b>			
Processo	Tempo/Peça (s)	Peças/ Hora	Diferença
Usinagem	23	156	0%
Conformação	10	360	131%

Fonte: O autor, 2018.

O Quadro 10 demonstra o processo avaliado, a quantidade de peças por tempo de ciclo, o tempo de produção em segundos, o volume de produção por hora, e a diferença de produtividade, tendo como base de cálculo o processo atual.

Através da análise da produtividade constatou-se que o processo de conformação tem um volume de produção 131% maior que o processo atual.

#### 4.3.4 Lead time

O *lead time* de manufatura atual da roda dentada Z17, está definido em 20 dias, do recebimento do pedido de compra do produto pela empresa, até a efetiva entrega ao cliente. Este intervalo de tempo é resultado da soma do período de realização de todos os processos conforme exibido na Figura 37.

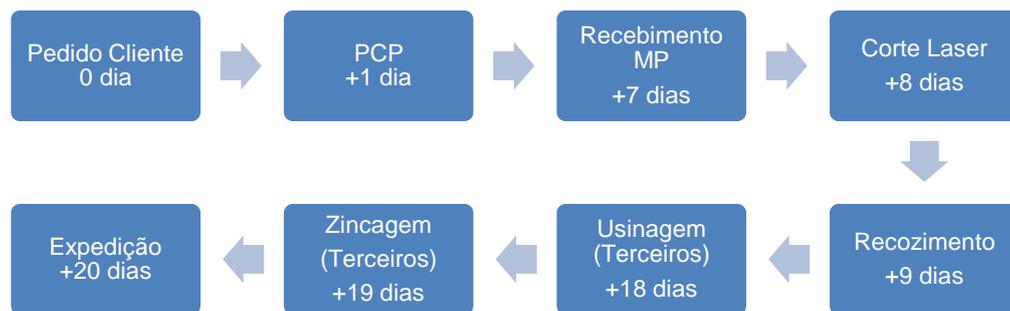


Figura 36: *Lead time* atual.

**Fonte:** O autor, 2018.

Já *Lead time* do processo proposto (Figura 38), teve uma redução significativa do para um total de 11 dias. Isso ocorreu em virtude da exclusão de processos externos que tem um tempo de realização de 9 dias entre envio e recebimento, como a usinagem, além do processo de recozimento que é realizado internamente com um período de 1 dia.

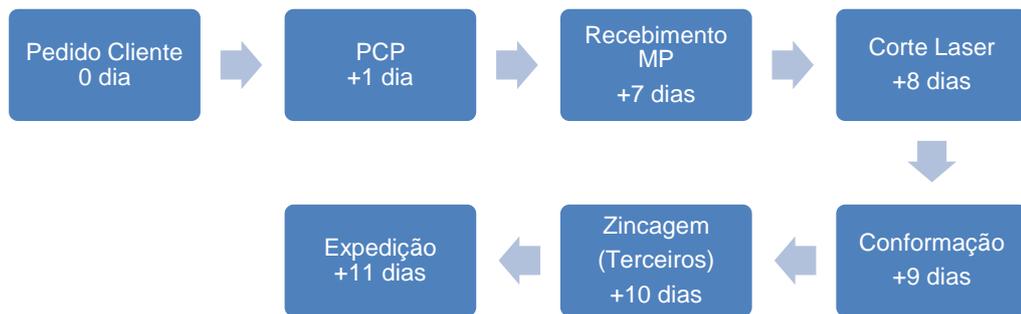


Figura 37: *Lead time* do processo proposto.

**Fonte:** O autor, 2018.

Na proposta do novo processo foi verificado uma redução total de 9 dias no *lead time*, que em outros termos resulta em uma melhoria na resposta de entrega ao cliente de 45%, isso também significa menores custos ao que tange volume de estoque de matérias-primas. Deste modo fica evidente que a adoção da técnica de implementar melhorias em processos de manufatura, buscando por operações que nos beneficiem de maior produtividade, contribui significativamente para a redução do *Lead time* nas linhas de produção.

#### 4.3.5 Amortização do investimento

A viabilidade de implementação do processo proposto através da amortização do investimento em ferramental (Quadro 11) foi verificada através do levantamento da redução anual de custo obtido, onde o custo unitário foi multiplicado pelo volume anual, e depois dividido pelo custo do ferramental, considerando o custo anual de manutenção da ferramenta e também a sua depreciação. O resultado obtido, foi o tempo necessário em meses, para que o ferramental seja amortizado pelo novo custo de fabricação.

<b>Custo de Manutenção</b>			
Custo(50000.pçs)	=	R\$	1.500,00
Custo anual (14.000pçs)	=	R\$	420,00

<b>Depreciação do ferramental</b>			
Vida útil (10 anos)	=	R\$	12.000,00
Custo anual	=	R\$	1.200,00

Redução de Custo Anual					
Processo	Custo Unit. (R\$)		Volume anual (Pçs)	=	Custo Anual (R\$)
Atual	R\$ 3,83	x	14000	=	R\$ 53.620,00
Proposto	R\$ 2,73	x	14000	=	R\$ 38.220,00
<b>Redução de Custo</b>					R\$ 15.400,00
<b>Custo de Manutenção</b>					= -R\$ 420,00
<b>Depreciação</b>					= -R\$ 1.200,00
<b>Redução Anual Total</b>					= <b>R\$ 13.780,00</b>

Quadro 11: Amortização do investimento.

Amortização do Custo de Ferramental		
Investimento (Ferramenta)		R\$ 12.000,00
Redução de custo anual de fabricação	÷	R\$ 13.780,00
Tempo (Anos)	=	0,87
<b>Amortização(Meses):</b>	~	<b>10,5</b>

Fonte:

O autor, 2018.

A taxa de manutenção anual considerado foi encontrada dividindo-se o custo de manutenção de R\$1.500,00 à cada 50.000 peças, pelo volume de produção anual. Já a taxa de depreciação foi encontrada dividindo-se o custo do ferramental pela sua vida útil que foi fixada em 10 anos.

Com a análise da viabilidade de implementação através da amortização do investimento, tomando como base a redução anual de R\$13.780,00 no custo de manufatura da roda dentada e com a necessidade de um investimento de R\$12.000,00 em ferramental, a nova proposta de melhoria tem amortização em um prazo de 10,5 meses.

## CONCLUSÃO

Com um mercado cada vez mais competitivo, é imprescindível que as empresas busquem por constante inovação tecnológica e melhoria contínua em suas atividades. Desta forma, a otimização de processos é uma das metodologias aplicadas através de diferentes ferramentas de implementação, que busca soluções tecnológicas para resolução de diversas dificuldades encontradas no dia-a-dia. A melhoria nos processos traz diversos benefícios às indústrias, dentre eles podemos destacar a melhoria na produtividade, redução de custos, estoques e *lead time*.

O presente trabalho teve como objetivos estudar o atual processo de fabricação de uma peça e suas particularidades, buscando uma solução tecnológica para a fabricação do item em análise. A metodologia adotada permitiu que através de pesquisas bibliográficas e ensaios práticos, os estudos fossem realizados e os objetivos definidos alcançados.

Concluiu-se, portanto, que a proposta exposta tem uma melhoria significativa no processo de manufatura, eliminando operações que não agregam valor ao produto, e substituindo outros por processos mais eficientes, baseando-se nas características da peça analisada e levando em consideração as limitações da empresa, trazendo assim, diversas vantagens como redução do *lead time*, de custos com o aumento de produtividade devido à otimização do processo, beneficiando a empresa de uma maior competitividade.

Destaca-se, por fim, que o trabalho auxiliou para enriquecer o conhecimento, contribuindo para a formação profissional e pessoal, tanto na parte teórica quanto prática, em uma das áreas onde as empresas mais investem atualmente.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 172: Fixa normas e critérios de classificação dos aços**. ABNT, 2000.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 5426: Planos de amostragem e procedimentos na inspeção por atributos**. ABNT, 1985.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 6508: Materiais metálicos - Ensaio de dureza Rockwell**. ABNT, 2008.

AÇOESPECIAL. **O melhor do aço mundial ao seu alcance**. Produtos. Disponível em: <<http://www.acoespecial.com.br/aco-aisi-1045.php>>. Acesso em: 04 de setembro de 2018.

ARCELOR MITTAL. **Guia do Aço**. Disponível em: <<http://brasil.arcelormittal.com.br/pdf/quem-somos/guia-aco.pdf>>. Acesso em: 10 de novembro de 2018.

BARTZ, A. B. *et al.* **Processo de corte em máquinas laser**. In: Semana Internacional das Engenharias da Fahor, 2, Horizontina: Sief, 2011.

BERLINER, C.; BRIMSON, J. A. **Gerenciamento de custos em indústrias avançadas: base conceitual CAM-I**. São Paulo, 1992, 282p.

BORNIA, A. C. **Análise Gerencial de Custos**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2009. vol. 1, 220 p.

BRANCALION, C. F.; GODINHO FILHO, M. **Redução do lead time na linha de montagem de uma indústria aeronáutica**. XXXV Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Fortaleza, 2015.

BRITO, F. O. **A manufatura enxuta e a metodologia seis sigma em uma indústria de alimento**. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Amazonas, 2008, 186f.

BYSTRONIC. **Byspeed 4020 – Tecnologia de corte**. Pinhais: Bystronic Laser AG, 2012.

BYSTRONIC DO BRASIL. **Bysprint Pro**. Produtos. Disponível em: <<https://www.bystronic.com.br/br-pt/Produtos/Sistemas-de-corte-a-laser/BySprint-Pro.php>>. Acesso em: 10 de outubro de 2018.

BUFFONI, S. S. O. **Tensão de cisalhamento máxima absoluta**. Universidade Federal Fluminense, 2017.

CELESTINO, P. A. P.; FELIPE, R. C. T. S.; MACHADO, T. G. **Análise comparativa entre tratamento térmico (têmpera) e tratamento termoquímico (cementação) realizado em aço 1040**. Holos, Ano 23, vol. 3, 2007.

CHAPEMEC. **Histórico.** Disponível em: <<http://www.chapemec.com.br/historico.php>>. Acesso em: 01 de outubro de 2018.

CHIAVERINI, V. **Tecnologia Mecânica.** 2. ed. São Paulo: McGraw-Hill, 1986.

DELUIZ, N. A. **Globalização econômica e os desafios à formação profissional.** Boletim Técnico do SENAC, 2017.

DEUTSCHES INSTITUT FUR NORMUNG E. V. **DIN 8560: Manufacturing Process – terms and definitions.** Germany, 2003.

DINÂMICA AMBIENTAL. **Como funciona uma prensa hidráulica?** 2015. Disponível em: <<https://www.dinamicambiental.com.br/blog/reciclagem/funciona-prensa-hidraulica/>>. Acesso em: 19 de setembro de 2018.

DINIZ, A. E. *et al.* **Tecnologia da usinagem dos materiais.** Editora Artliber, 8ª edição, São Paulo, 2013.

DIRECT INDUSTRY. **Straightening press.** Disponível em: <<http://www.directindustry.com/industrial-manufacturer/straightening-press-76831.html>>. Acesso em: 19 de setembro de 2018.

GASPAR, M.P. **A melhoria contínua em processos produtivos, com a utilização da tecnóloga CNC, na indústria metalmeccânica – estudo de caso da máquina CNC de corte laser de tubos metálicos, na indústria Metalúrgia Golin.** 2009. Monografia (Tecnólogo em Produção) – Faculdade de Tecnologia da Zona Leste, São Paulo, 2009.

GIL, A. C. **Método e técnicas de pesquisa social.** 6ª. ed. São Paulo: Atlas S.A, 2008.

GODOY, B. **Como calcular e otimizar o lead time para garantir o sucesso do seu e-commerce.** Mandaê, 2017. Disponível em: <<https://www.mandae.com.br/blog/lead-time-o-que-e-tipos-de-lead-time-e-como-calcular/>>. Acesso em: 19 de setembro de 2018.

GROOVER, M. P. **Introdução aos Processos de Fabricação.** 1. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2014.

INFOCADU. **Projeto de ferramentas CDR.** Disponível em: <<https://www.infocadu.com/projeto-de-ferramentas-cdr>>. Acesso em: 24 de outubro de 2018.

KIMINAMI; C. S. *et al.* **Introdução aos processos de fabricação de produtos metálicos.** Editora Blucher, 2014.

KO, S. DORNFELD, D. A. **A study on burr formation mechanism.** Journal of Engineering Materials and Technology, vol. 113, p. 78-87, 1991.

MAXITRATE. **Tratamento térmico normalização.** Disponível em: <<http://www.maxirate.com.br/tratamento-termico-normalizacao.html>>. Acesso em: 19 de setembro de 2018.

MICHELS, L. B. et al. **Uma visão geral sobre os equipamentos utilizados no processo de forjamento.** Ferramental, Tecnologia, Curitiba, 2013.

MITSUBISHI CARBIDE. Reference tables – Hardness Conversion Table – Brinell, Rockwell. Disponível em: <[http://www.mitsubishicarbide.com/application/files/8114/8185/3771/tec\\_hardness\\_comparison\\_pt-br.pdf](http://www.mitsubishicarbide.com/application/files/8114/8185/3771/tec_hardness_comparison_pt-br.pdf)>. Acesso em: 19 de setembro de 2018.

OLIVEIRA, B. B. **Identificação automática de rebarbas em peças fundidas: uma contribuição para a automação do processo de rebarbação.** Dissertação (Mestrado), Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Faculdade de Engenharia, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Metodista de Piracicaba, Santa Bárbara d'Oeste, São Paulo, 2011.

OLIVEIRA, J. M. **Caracterização da integridade de superfícies usinadas para produção de moldes e matrizes.** Dissertação (Mestrado), Programa de Mestrado em Materiais da Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2006.

PROVENZA, F. **Estampos.** Centro de Comunicação Gráfica da Escola PRO-TEC, 1982.

RIANI, A. M. **O Lean Manufacturing aplicado na Becton Dickinson.** 2006. (Monografia), Universidade Federal de Juiz de Fora, Curso de Graduação em Engenharia de Produção, Minas Gerais, 44 p., 2006.

SANCHES, H. A. B. **Avaliação do processo de usinagem com corte interrompido utilizando a análise de esforços e frequências.** Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2011.

SILVA, T. F. **Seleção de ferramenta para o corte interrompido do aço AISI 8620 tratado termicamente.** Ministério da Educação, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Departamento de Engenharia Mecânica, 2017.

SOLUÇÕES INDUSTRIAIS. **Torno CNC.** Disponível em: <<https://www.solucoesindustriais.com.br/empresa/maquinas-e-equipamentos/zuba-comercio-de-maquinas-e-equipamentos-ltda/produtos/maquinas-ferramenta/torno-cnc>>. Acesso em: 19 de setembro de 2018.

SOUZA, S. A. **Composição Química dos Aços.** São Paulo, 2001.

SWIFT, K. G.; BOOKER, P. D. **Seleção de Processos de Manufatura.** 1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2014.

TEKMEKA. **Tecnologia Mecatrônica.** 2011. Disponível em: <<http://tekmeke.blogspot.com/2011/04/hidraulica-introducao.html>>. Acesso em: 22 de outubro de 2018.

UCHOAS, R. C. **Construção de uma ferramenta de apoio à programação em um torno CNC.** Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Guaratinguetá, 2016.

UNESP. **Norma técnica para recebimento de bens de informática pela metodologia de inspeção por atributos.** Universidade Estadual Paulista, 2001, 5p.

VERCON. **Usinagem Mecânica.** Disponível em: <<http://www.vercon.com.br/produtos/usinagem-mecanica/>>. Acesso em: 19 de setembro de 2018.

VOITTO. **O que é lead time e como calcular?** Disponível em: <<https://www.voitto.com.br/blog/artigo/lead-time>>. Acesso em: 19 de setembro de 2018.

WEISS, Almiro. **Processos de fabricação mecânica.** Curitiba: Livro Técnico, 2012.