



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA – UFU
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA – FEMEC
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

**Estudo da influência do operador na seleção da velocidade de corte
no torneamento de aços e a consequência na vida da ferramenta**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Aluno: Luís Guilherme Moura do Amaral

Orientador: Prof. Dr. Wisley Falco Sales

Uberlândia – MG

2019

Estudo da influência do operador na seleção da velocidade de corte no torneamento de aços e a consequência na vida da ferramenta

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado à Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Uberlândia como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Aluno: Luís Guilherme Moura do Amaral

Orientador: Prof. Dr. Wisley Falco Sales

Uberlândia – MG

2019

Luís Guilherme Moura do Amaral

**Estudo da influência do operador na seleção da velocidade de corte
no torneamento de aços e a consequência na vida da ferramenta**

Trabalho de conclusão de curso de graduação pela Faculdade de Engenharia
Mecânica da Universidade Federal de Uberlândia.

Aprovado em 12/07/2019

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr Wisley Falco Sales (Orientador, FEMEC/UFU)

Prof. M.Sc. Leonardo Rosa Ribeiro da Silva – ESAMC (Doutorando FEMEC/UFU)

M.Sc. Eng. José Ricardo Ferreira Oliveira (Doutorando FEMEC/UFU)

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, que me deu o dom da vida e me possibilitou concluir este trabalho com determinação e inteligência.

Aos meus pais, que sempre me apoiaram e me deram a educação necessária para meu crescimento.

Aos meus amigos e namorada, por estarem presentes em todos os momentos de minha formação, me apoiando.

Ao Prof. Dr. Wisley Falco Sales, pela orientação, paciência, dedicação e amizade no decorrer deste trabalho.

Aos meus amigos de trabalho, que me ajudaram a crescer durante o período de estágio e tornaram possível o desenvolvimento deste trabalho.

*“Mesmo que a vida
pareça difícil,
há sempre algo
que você pode fazer
para ter sucesso nela.”*

Stephen Hawking

RESUMO

Hoje a competitividade do mercado leva empresas, principalmente aquelas da área de fabricação e usinagem, a buscarem melhorias em seus processos para conseguirem sobreviver a disputada concorrência. A melhoria contínua é um conceito que surgiu exatamente da ideia de competitividade no mercado. Ela consiste em um conjunto de ações e procedimentos para melhorar a qualidade dos processos em cada empresa, entregando assim, produtos com menores custos de produção e com mais qualidade. Muitas empresas, para colocar o conceito de melhoria contínua em prática, adotam da filosofia da produção enxuta para reduzir os desperdícios e aumentar a eficiência da produção. Assim, o presente trabalho foi realizado em uma empresa de médio porte na cidade de Uberlândia-MG, cujo objetivo foi realizar uma melhoria no processo de usinagem por torneamento mecânico com mão de obra humana, afim de reduzir o desperdício de ferramentas de corte. Todo o trabalho foi planejado e estruturado com base no ciclo PDCA (*plan, do, check e act*) utilizando-se o Microsoft Excel ® para organização de dados e valores. Com este trabalho foi possível observar e analisar os principais possíveis causadores do desperdício de insertos de corte para torneamento, bem como oferecer soluções para resolução do problema.

Palavras-chave: Usinagem; Fator humano; *Lean Manufacturing*; Melhoria Contínua; PDCA.

ABSTRACT

Today market competitiveness leads companies, especially those in the area of manufacturing and machining, to seek improvements in their processes in order to survive the disputed competition. Continuous improvement is a concept that appeared precisely from the idea of competitiveness in the market. It consists of a set of actions and procedures to improve the quality of the processes in each company, thus delivering products with lower production costs and higher quality. Many companies, to put the concept of continuous improvement into practice, adopt the philosophy of lean production to reduce waste and increase production efficiency. Thus, the present work was carried out in a medium-sized company in the city of Uberlândia-MG, whose objective was to perform an improvement in the machining process by mechanical turning with human labor, in order to reduce the waste of cutting tools. All work was planned and structured based on the PDCA cycle (plan, do, check and act) using Microsoft Excel ® for data and values organization. With this work it was possible to observe and analyze the main possible causes of the enormous waste of cutting inserts for turning as well as offer solutions to solve the problem.

Keywords: Machining; Human Labor; Lean Manufacturing; Continuous Improvement; PDCA.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 3.1 – Vista aérea da empresa (fonte: própria empresa).
- Figura 3.2 – Galpão principal da empresa (fonte: Própria empresa).
- Figura 3.3 – Organograma funcionamento da empresa
- Figura 3.4 – Fluxograma manutenção de cilindros hidráulicos
- Figura 3.5 – Fluxograma fabricação de confecção de peças
- Figura 3.6– Abordagem sobre atividades que agregam valor (fonte: Voitto, 2019).
- Figura 3.7 – Diagrama e principais atividades do ciclo PDCA (fonte: CCPRMG, 2019).
- Figura 3.8 – Classificação dos processos de fabricação (modificado de Machado *et al.*, 2011).
- Figura 3.9 – Processo de Torneamento (Fonte: FERMEC, 2019).
- Figura 3.10 – Esquema e tipos de torneamento (Ferraresi, 1977).
- Figura 3.11 – Variação da dureza de alguns materiais ferramentas com a temperatura (Machado *et al.*, 2011).
- Figura 3.12 – Classes ISO dos materiais (fonte: Shimatools, 2019)
- Figura 3.13 – Inseto de Cerâmica (Fonte: World Tools, 2019).
- Figura 3.14 – Insetos PCD e PCBN (Fonte: Sandik Coromant, 2019).
- Figura 3.15 – Desgastes na usinagem. (König e Klocke, 1999).
- Figura 3.16 – Desgastes em pastilhas de torneamento. (Sandvik Coromant, 2013).
- Figura 5.1 – Gráfico Desempenho dos operadores.
- Figura 5.2 – Gráfico Desempenho Geral dos operadores.
- Figura 5.3 – Visão Geral das operações de torneamento dentro da empresa

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 – Classificação dos metais duros segundo norma ISO 513/1975. (Gopal, 1998).

Tabela 5.1 – Apresentação do plano de ação utilizando a ferramenta 5W2H

Tabela 5.2 – Velocidade de corte e material peça suportada pelo inserto DGN 3102C.

Tabela 5.3 – Comparação das velocidades de corte utilizadas pelos torneiros e das velocidades de corte ideais para cada pastilha e material usado.

Tabela 5.4 – Tabela atualizada para utilização de novos parâmetros.

Tabela A1 – Velocidade de corte e material peça suportada pelo inserto DGN 3102C.

Tabela A2 – Velocidade de corte e material peça suportada pelo inserto 16l/ERM G 60.

Tabela A3 – Velocidade de corte e material peça suportada pelo inserto TNGA 160404T.

Tabela A4 – Velocidade de corte e material peça suportada pelo inserto TNMG 160404-TF.

Tabela A5 – Velocidade de corte e material peça suportada pelo inserto TNMG 160408-TF.

Tabela A6 – Velocidade de corte e material peça suportada pelo inserto TNMG 220404-TF.

Tabela A7 – Velocidade de corte e material peça suportada pelo inserto TNMG 220408-TF

Tabela A8 – Velocidade de corte e material peça suportada pelo inserto TNMG 160404-F3M.

Tabela A9 – Velocidade de corte e material peça suportada pelo inserto TNMG 160408-M3M.

Tabela A10 – Velocidade de corte e material peça suportada pelo inserto RCMX 120400.

Tabela A11 – Velocidade de corte e material peça suportada pelo inserto VCMT 160404-SM.

Tabela A12 – Velocidade de corte e material peça suportada pelo inserto VCMT 160408-SM.

Tabela A13 – Velocidade de corte e material peça suportada pelo inserto KNUX 160405 L/R11.

Tabela A14 – Velocidade de corte e material peça suportada pelo inserto TCMT 110204-SM.

Tabela A15 – Velocidade de corte e material peça suportada pelo inserto RCMT 1204M0-14.

Tabela A16 – Velocidade de corte e material peça suportada pelo inserto N151.2-400-4E 4025

Tabela A17 – Velocidade de corte e material peça suportada pelo inserto N151.2-400-4E 4025

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

PDCA	Ciclo <i>Plan-Do-Check-Act</i> (Planejar-Executar-Checar-Agir)
ISO	<i>International Organization for Standardization</i> (Organização Internacional para Padronização)
AV	Atividades que agregam valor
NAV	Atividades que não agregam valor
B2B	<i>Business to Business</i> (A venda de uma empresa é feita a outra empresa diretamente)
B2C	<i>Business to Consumer</i> (A venda de uma empresa é feita diretamente para o consumidor final)
CNC	Controle Numérico Computadorizado
CVD	<i>Chemical Vapor Deposition</i> (Deposição Química a partir da fase vapor)
PVD	<i>Physical Vapor Deposition</i> (Deposição Física a partir da fase vapor)

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVOS.....	2
2.1. OBJETIVO GERAL	2
2.2. OBEJTIVO ESPECÍFICO.....	2
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
3.1. A EMPRESA	3
3.1.1. PROCESSO PRODUTIVO	4
3.2. PRODUÇÃO ENXUTA.....	7
3.2.1. OITO DESPERDÍCIOS.....	9
3.3. MELHORIA CONTÍNUA E CICLO PDCA.....	10
3.4. USINAGEM.....	12
3.5. TORNEAMENTO	14
3.5.1. FERRAMENTAS DO PROCESSO DE TORNEAMENTO	16
3.5.2. PARÂMETROS DE CORTE NO TORNEAMENTO	22
3.5.3. DESGASTE DE FERRAMENTAS NO TORNEAMENTO	24
4. MATERIAIS E MÉTODOS	28
4.1. MATERIAIS UTILIZADOS.....	28
4.2. METODOLOGIA	28
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	30
5.1. ETAPA <i>PLAN</i> (planejar)	30
5.2. ETAPA <i>DO</i> (fazer/executar)	31
5.3. ETAPA <i>CHECK</i> (Conferir/Checar)	38
5.4. ETAPA <i>ACT</i> ou <i>ADJUST</i> (Aplicar/Agir/Corrigir)	38
6. CONCLUSÕES.....	41
7. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	42
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	43
APÊNDICE A – ESTUDO DAS PASTILHAS DE CORTE DA EMPRESA.....	46
APÊNDICE B – PLANILHA DE COMPARAÇÃO DE VELOCIDADES DE CORTE UTILIZADAS / IDEAIS.....	56

1. INTRODUÇÃO

Atualmente as indústrias e empresas, responsáveis pelo processo de fabricação de diversos tipos de objetos e equipamentos, e também responsáveis pela prestação de serviços, devem ser altamente competitivas para sobreviverem no mercado. Seus produtos e serviços oferecidos devem atender a exigência cada vez mais alta do cliente e possuir um preço acessível. Com a evolução tecnológica e ideológica (filosofias de trabalho e conceitos de melhoria de operação) dos processos, diversas empresas buscam maneiras para se tornarem cada vez mais competitivas e sobreviverem ao mercado. No Brasil, a tecnologia ainda é muito cara para se ter e muitas empresas, que ainda possuem o fator humano na operação de suas máquinas, optam pelo desenvolvimento ideológico de seus processos, buscando corrigir falhas na operação, reduzir possíveis desperdícios, além de instruir seus funcionários e otimizar seus serviços. É nesse contexto que ideias como a Produção Enxuta (*Lean Manufacturing*) e PDCA (*Plan, Do, Check and Act/Adjust*) se encontram. Indústrias que trabalham com operações em usinagem são exemplos onde as tecnologias de aprimoramento dos equipamentos são caras (máquinas de controle numérico computadorizadas (CNCs), por exemplo).

A usinagem é um processo de fabricação muito importante no mundo, tanto que hoje ela representa cerca de 20% a 30% do PIB dos países industrializados (Kalpakjian, 1995). Além de ser muito utilizada, ela é também um processo muito caro, devido ao tempo de produção que essa operação consome. De Lacalle *et. al* (2002), afirma que cerca de 65% do tempo de confecção de materiais usinados é destinado aos processos de usinagem e polimento de peças.

Estes dois conceitos de Produção Enxuta e do Ciclo PDCA ganharam destaque no cenário mundial e servem como referência para empresas no mundo inteiro, melhorando, através de suas ferramentas, o processo, e diminuindo desperdícios.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

Este trabalho tem como objetivo principal analisar os parâmetros de corte utilizados no chão de fábrica pelos operadores dos tornos mecânicos de uma empresa em Uberlândia – MG, e então desenvolver uma solução para que o fator humano no processo seja diminuído, a fim de diminuir desperdícios e o custo para a empresa.

Para isso, serão utilizados os conhecimentos adquiridos ao longo do período de estágio, bem como conhecimentos desenvolvidos durante o programa da graduação em engenharia mecânica na Universidade Federal de Uberlândia. Além disso, também serão utilizadas ferramentas e conhecimentos sobre ações de melhorias para o chão de fábrica e sobre o *Lean Manufacturing*.

2.2. OBJETIVO ESPECÍFICO

Como objetivos específicos, serão analisados os pontos de oportunidade dentro do sistema produtivo da empresa, com a finalidade de reduzir o desperdício nos processos.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. A EMPRESA

Este trabalho de conclusão de curso foi realizado em uma empresa de porte médio localizada na cidade de Uberlândia – MG. Ela está há mais de trinta anos no mercado, sendo referência nacional nos serviços prestados. A Fig. 3.1 mostra uma vista aérea da empresa.



Figura 3.1 – Vista aérea da empresa (fonte: própria empresa).

A empresa conta com uma frota própria composta por veículos leves e pesados, permitindo um atendimento rápido e eficiente aos clientes. O espaço físico da empresa é de 9.000 m², sendo 3.000 m² de área construída. Possui uma infraestrutura moderna com tornos mecânicos e fresas universais, e uma equipe de técnicos e engenheiros experientes, garantindo assim um excelente padrão de qualidade nos serviços executados. A Fig. 3.2 ilustra o galpão da empresa.



Figura 3.2 – Galpão principal da empresa (fonte: Própria empresa).

A principal fonte de renda da empresa se dá na forma de prestação de serviços para outras empresas (B2B), através de contratos com tempo determinado para fabricação e recuperação de peças industriais e de componentes para equipamentos de movimentação de terra. Entretanto, ela também realiza serviços avulsos diretamente para o consumidor (B2C), ou também para outras empresas. A Fig. 3.3 mostra a organização da empresa.

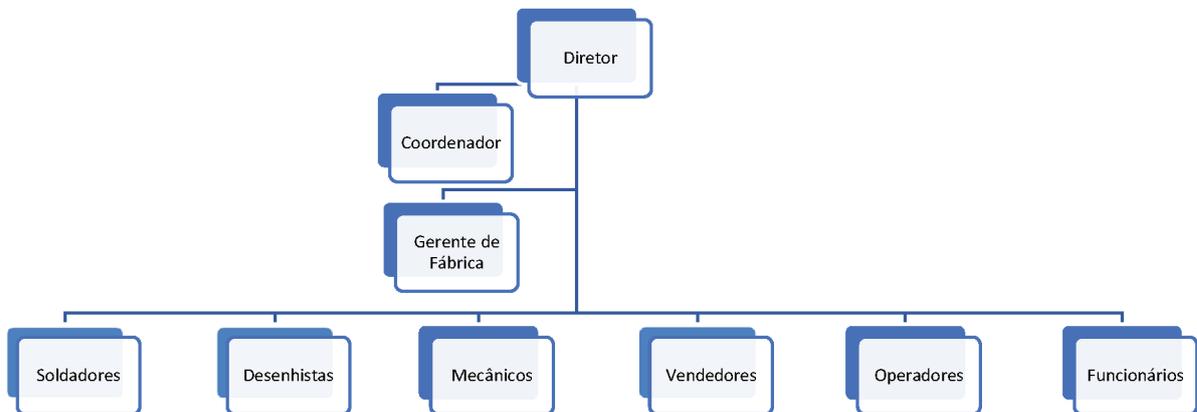


Figura 3.3 – Organograma funcionamento da empresa

3.1.1. PROCESSO PRODUTIVO

Dentro do processo produtivo da empresa, pode-se separar dois tipos diferentes de serviços. O primeiro e mais importante processo para o negócio é a fabricação e recuperação de componentes de máquinas para mineração, onde o

principal serviço é a manutenção de cilindros hidráulicos. O outro serviço prestado pela empresa é a fabricação de peças e componentes conforme desejo do cliente.

Na manutenção de cilindros hidráulicos, o processo acontece na seguinte ordem (Fig. 3.4):

1. Recebimento e identificação dos cilindros hidráulicos: os cilindros chegam à empresa em um caminhão da própria empresa; são identificados e desmontados pelos funcionários;
2. Transporte e identificação das peças e componentes: Uma vez desmontados e avaliados, os cilindros têm suas peças lavadas, separadas, guardadas e identificadas, conforme empresa contratante, tipo de cilindro (elevação, escavação e etc.), tipo de maquinário (Volvo, Caterpillar e outros) e funcionário responsável pela desmontagem;
3. Avaliação dos cilindros: Uma vez desmontados e identificados, as peças são encaminhadas para a avaliação. O funcionário realiza a avaliação de todas as partes do cilindro;
4. Realização de Ordens de Serviço e relatórios com foto: Após a avaliação de todos os componentes dos cilindros, um funcionário é encarregado de realizar as ordens de serviço e os relatórios do atual estado do cilindro para a empresa cliente. Caso a OS (Ordem de Serviço) seja aprovada, o cilindro é encaminhado para conserto;
5. Manutenção dos cilindros: Dependendo da condição em que o cilindro se encontra, é necessário recuperar as peças ou até mesmo fabricar novas peças;
6. Montagem e despacho de cilindros: Uma vez concluído o processo de restauração dos componentes, os funcionários responsáveis pela desmontagem são também responsáveis pela montagem dos cilindros. Assim que montados, os cilindros são pintados, embalados e mandados de volta para o cliente.

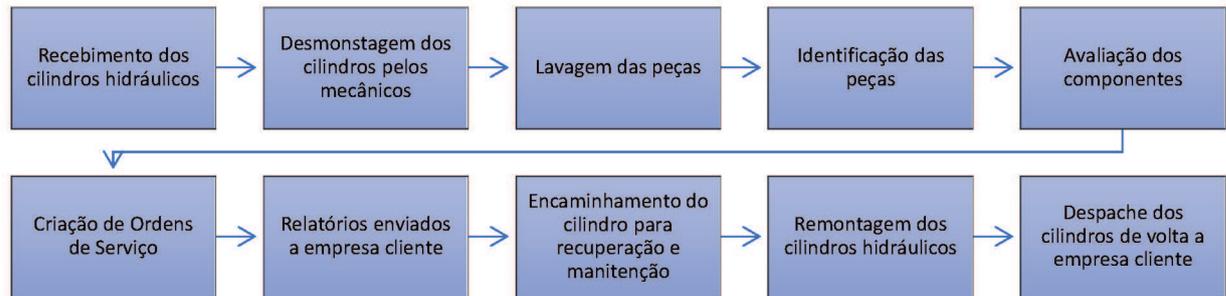


Figura 3.4 – Fluxograma manutenção de cilindros hidráulicos

Já na fabricação de peças para o cliente o processo é um pouco diferente (Fig.3.5):

1. Contato com o cliente: Se o cliente possui um contrato com a empresa, um funcionário técnico é responsável por visitar a indústria cliente e trazer as informações técnicas para a fabricação da peça desejada. Caso o cliente não possua um contrato, o mesmo se dirige diretamente à empresa e entrega um desenho técnico da peça ou componente desejado;
2. Projeto da peça e distribuição de serviços: Com o projeto da peça em mãos, o gerente de fábrica entrega o desenho aos seus funcionários, que calculam a quantidade de material usada e o tempo de usinagem;
3. Realização de relatórios e OS: Com a quantidade de material usada e o tempo de usinagem, uma Ordem de Serviço é criada com as especificações e com o valor do serviço;
4. Despacho e envio das peças finais para a empresa destino: Se o cliente tiver um contrato com a empresa, o mesmo funcionário responsável pela visita leva a peça para a empresa cliente, caso contrário, o próprio cliente busca sua peça.

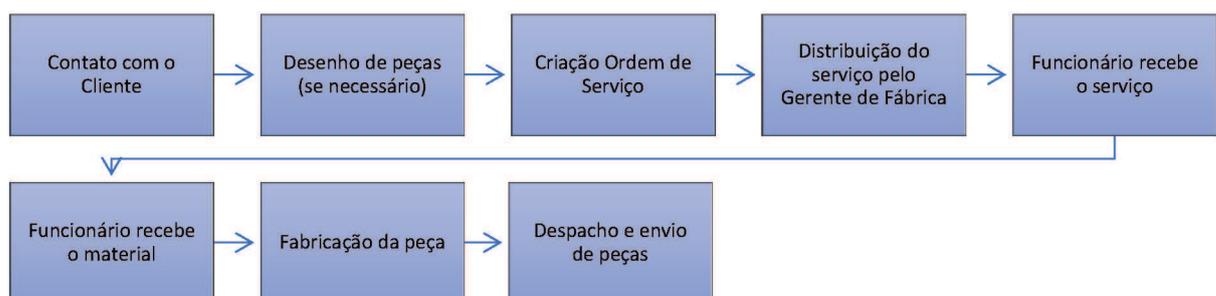


Figura 3.5 – Fluxograma fabricação de confecção de peças

3.2. PRODUÇÃO ENXUTA

Andere (2012) afirma que o conceito de Produção Enxuta surgiu no final da Segunda Guerra Mundial pela empresa Toyota, que precisou se reestruturar para conseguir sobreviver ao mercado pós-guerra. Desde então, muitos termos foram criados para representar este estilo de produção única, como:

- Sistema Toyota de Produção;
- Produção Enxuta;
- Manufatura Enxuta;
- *Lean Production*;
- *Lean Manufacturing*.

Segundo Ohno (2006), o sistema Toyota de Produção tem o objetivo principal de reduzir os custos de produção, essencial para qualquer indústria que queira sobreviver no mercado atual. E para que essa redução nos custos seja possível, ela tem como base a eliminação de desperdícios através do *Just-in-time* e da automação. Através da automação, é possível descobrir com maior rapidez e facilidade os problemas ocorridos na linha de produção. Equipando-se máquinas com sistemas de detecção de erros com luzes indicadoras, aumenta-se a agilidade e tempo de resposta na resolução do problema, melhorando a produção (Shingo, 2005). Já através da produção *Just-in-time*, é possível reduzir desperdícios principalmente àqueles relacionados a um desperdício muito comum e conhecido pelas empresas, a Superprodução (assunto abordado com mais detalhes no próximo tópico sobre desperdícios) (Shingo, 2005). O *Just-in-time*, segundo Ohno (2006), é um sistema utilizado para evitar o estoque de peças, através da produção de partes corretas necessárias à montagem, no momento correto em que elas são exigidas e na quantidade especificada.

Para se aplicar o sistema de Produção Enxuta para redução dos custos, deve-se primeiramente analisar e identificar os desperdícios que geralmente não são percebidos e observados por terem se tornado aceitos na empresa. Uma vez identificados os desperdícios, deve-se traçar um plano de ação para eliminá-los. (Shingo, 2005). Para Shingo (2005), o desperdício, ou perda, é definida como toda e qualquer atividade que não agrega valor ao produto, como acúmulos de peças,

estoque, espera, movimentos dos trabalhadores e etc. Sabendo disso, podemos separar as atividades dentro de uma indústria em três categorias:

- Atividades que agregam valor (AV): são atividades que transformam a matéria prima em produto, agregando valor;
- Atividades desnecessárias que não agregam valor (NAV): São atividades que não importam e que podem ou não terem sido realizadas. Não tornam o produto mais valioso, ou seja, não agregam valor. Exemplos: Tempo de espera e retrabalhos;
- Atividades necessárias que não agregam valor (NAV): São atividades necessárias, mas que não agregam valor ao produto. Exemplo: O Setup.

As empresas possuem em sua maioria, atividades que não agregam valor ao produto. Em empresas e indústrias de manufatura, apenas 5% do tempo é gasto com processos que tornam o produto mais valioso (Hines, Taylor, 2000). É justamente nesse ponto que a produção enxuta atua, na redução e eliminação de atividades que não agregam valor ao produto. Dessa maneira, é possível reduzir o tempo gasto de produção de um produto, aumentando o custo benefício da empresa.

A Fig. 3.6 mostra a diferença entre a abordagem *Lean* para redução de custos (2ª Etapa) e uma abordagem típica e comum (1ª Etapa).

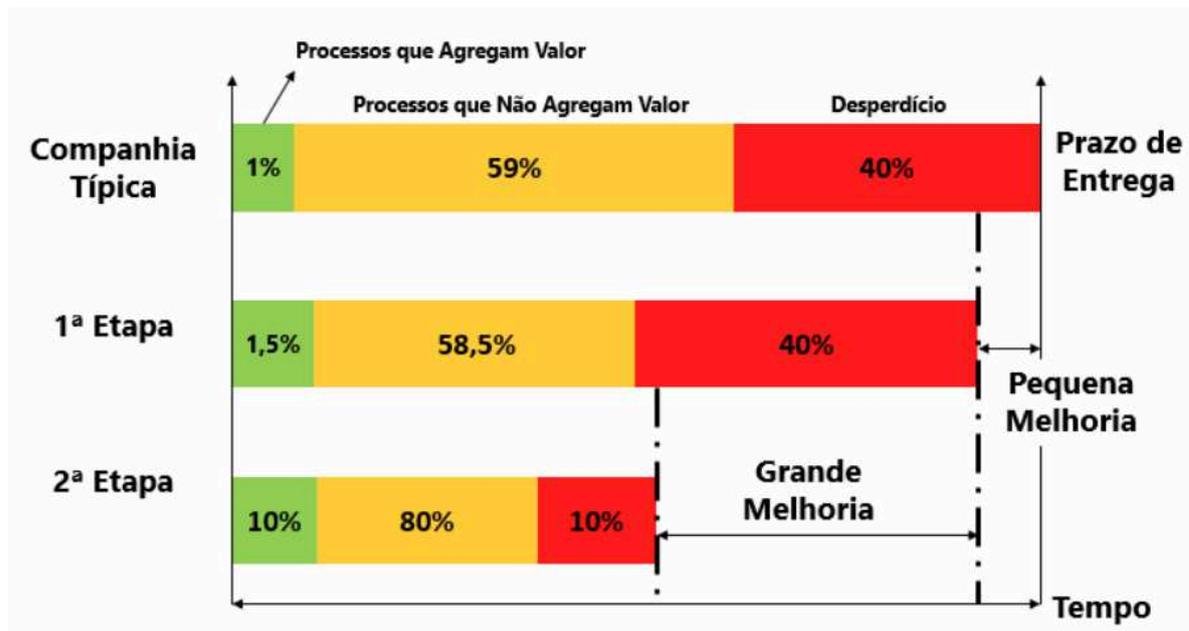


Figura 3.6 – Abordagem sobre atividades que agregam valor (fonte: Voitto, 2019).

Como pode-se observar na Fig. 3.6, na primeira etapa, houve um aumento nos processos e atividades que agregam valor, ou seja, houve um aprimoramento nos processamentos através, por exemplo, de grandes investimentos em tecnologia e novos maquinários. E como pode-se observar, houve somente uma pequena redução do tempo gasto. Na segunda etapa, a abordagem usada para melhoria foi a do *Lean Manufacturing*, pois, como pode-se analisar, houve um enfoque em reduzir os processos desnecessários que não agregam valor (Desperdício/NAV). Como pode-se observar, houve uma grande melhoria na redução do tempo e com o mínimo de investimentos para obtê-la.

3.2.1. OITO DESPERDÍCIOS

Segundo Ohno (2006) e Liker (2005), as atividades que não agregam valor, podem ser divididas em oito tipos:

1. **Superprodução:** Um dos conceitos mais básicos do Sistema Toyota de Produção é a Superprodução, que pode ser dividida em dois tipos: a Superprodução Quantitativa e a Antecipada. A superprodução quantitativa significa produzir mais produtos do que a demanda. Este tipo de superprodução foi uma tentativa para compensação de defeitos de fabricação inclusos no lote (Shingo, 2005). Já a superprodução antecipada é a fabricação de produtos anteriores à data de entrega, provocando aumento de estoque desnecessário. Ambos os tipos de superprodução produzem desperdícios relacionados à fabricação de produtos defeituosos e à fabricação antecipada de produtos, respectivamente. Juntamente com esse problema, podemos observar gastos excessivos com estoque e transporte de peças que não serão usadas;
2. **Estoque:** O desperdício associado ao estoque gera elevados custos com armazenamento e ocupação do espaço físico (que poderia ser utilizado para produção que agrega valor).
3. **Transporte:** O transporte de produtos acabados ou semiacabados entre as etapas do processo é uma atividade que não agrega valor e se não feita de forma eficiente, aumenta o desperdício.

4. **Defeitos e Retrabalho:** É um desperdício que gera elevados gastos. Isto porque peças acabadas com defeitos devem ser descartadas ou recicladas, iniciando o processo produtivos todo novamente;
5. **Superprocessamento ou processamento desnecessário:** Seu desperdício se deve a um processamento com gastos superiores ao necessário para produzir um produto;
6. **Espera:** O desperdício nesse processo se deve ao tempo que uma peça ou material inacabado fica no aguardo de matérias primas para a próxima fase do processo. Este tempo em que o produto está parado não agrega valor ao produto, logo necessita de um melhor planejamento;
7. **Movimentação:** Desperdício relacionado ao excesso de movimentação dos trabalhadores na área fabril. Durante a movimentação os funcionários não produzem trabalho, logo, não aumentam o valor do produto e suas horas de serviço são menos aproveitadas.
8. **Desperdício Intelectual:** Desperdício relacionado a criatividade dos funcionários. Na indústria, os funcionários costumam passar grande parte de seu tempo se dedicando a resolução de problemas, se movimentando de um lado para outro para resolvê-los. Nesse tempo que dedicam, eles poderiam estar pensando em ideias de como melhorar o processo produtivo da empresa ou aprendendo e desenvolvendo novas habilidades, entretanto estão ocupados com outros problemas.

3.3. MELHORIA CONTÍNUA E CICLO PDCA

É possível determinar então que o Sistema Toyota de Produção busca sempre a excelência de sua operação, a melhoria contínua, através da eliminação de desperdícios. A melhoria contínua é um conceito de origem japonesa cujo principal objetivo é buscar o melhor sempre, permitindo-se ir além do que já foi alcançado. Ela é um processo constante, sem fim, e é uma filosofia muito almejada por todas as empresas do mundo. Para aplicá-la utilizam-se ferramentas simples, mas altamente eficazes para a obtenção de resultados. Uma dessas ferramentas é conhecida como o Ciclo PDCA.

O Ciclo PDCA, definida por Agostinetto (2006), é uma sequência de exercícios e atividades desenvolvidas de maneira cíclica nos processos da empresa

que promovem a melhoria contínua. A sigla PDCA vem do inglês, *Plan* (Planejar), *Do* (fazer/executar), *Check* (conferir/chechar) e *Act* (Aplicar/Agir), de modo que, cada uma dessas siglas são etapas do ciclo.

Plan (Planejar) é a primeira etapa do ciclo. Nesta etapa, é analisado e medido o problema na empresa. Feito isso, são definidos metas e objetivos de acordo com o perfil e desejo de cada empresa. Durante esta etapa também são analisados os riscos e os recursos disponíveis, estabelecendo prazos, métodos e estratégias. É a etapa mais importante do processo, pois é a partir dessa etapa que o ciclo PDCA será executado. Caso haja uma má elaboração do projeto, todo o ciclo PDCA apresentará resultados pouco favoráveis devido a má análise. *Do* (fazer/executar) é a segunda etapa do processo. Nessa etapa é feita a escolha da abordagem para a resolução do problema. Além disso, é nessa fase que se inicia a coleta de dados no chão de fábrica da empresa. *Check* (Conferir/Checar) é a penúltima fase do ciclo. Nessa fase, é necessário observar se o trabalho de melhoria realizado está seguindo o planejamento inicial corretamente e analisar se há progresso. *Act* ou *Adjust* (Aplicar/Agir/Corrigir) é a última etapa do ciclo. É nela que se identifica e analisa as causas de desvios inesperados. Caso haja algum desvio, é necessário definir novas ações para evitar qualquer problema na execução do planejamento.

É importante deixar claro que, apesar de mencionado anteriormente, a etapa *Act* não é uma fase final, pois o ciclo PDCA é um processo de melhoria contínua. Logo, assim que a etapa *Act* é executado, o ciclo é reiniciado para a etapa de *Plan*. A Fig. 3.7 mostra um diagrama com as principais atividades de cada etapa.

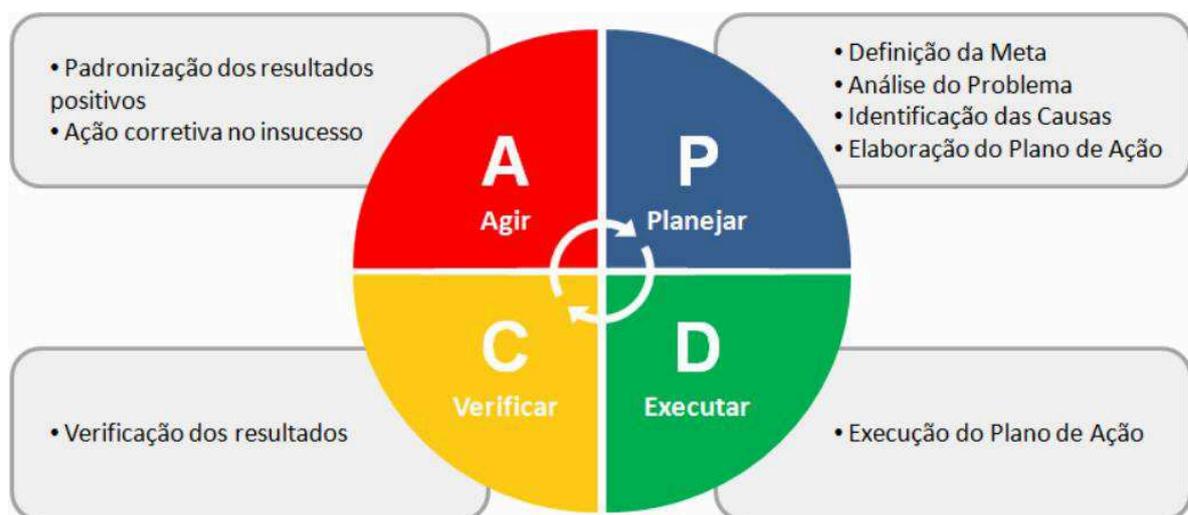


Figura 3.7 – Diagrama e principais atividades do ciclo PDCA (fonte: CCPRMG,2019).

3.4. USINAGEM

Há hoje muitas pessoas que não têm o conhecimento e afirmam que um processo de manufatura é o mesmo que fabricação, mas, na verdade, esses dois conceitos podem ser definidos de maneiras diferentes. Enquanto o processo de manufatura pode ser explicado como um procedimento que transforma matéria prima em um produto final, a fabricação pode ser entendida como uma parte do processo de manufatura, limitando-se aos processos responsáveis pela transformação da matéria-prima (Machado *et al.*, 2011).

Os processos de fabricação, segundo Ferraresi (1981), são divididos em duas grandes áreas: processos de fabricação com remoção de cavaco e processos de fabricação sem remoção de cavaco (Fig. 3.8). Dentro da área de fabricação com remoção de cavaco, temos a usinagem, o processo mais popular do mundo. Para se ter uma ideia, a usinagem é responsável por cerca de 10% de toda a fabricação de metais (Trent, 2000) e, além disso, é um dos processos de transformação de matéria prima mais antigos. A usinagem pode ser definida como um processo de fabricação que confere dimensão, forma e acabamento definidos em um projeto, a um material em sua forma bruta, produzindo cavaco (Ferraresi, 1977). E por cavaco compreende-se como uma pequena quantidade, e de forma geométrica irregular, do material da peça que foi retirada por uma ferramenta durante o processo de usinagem (Machado *et al.*, 2011). Ela pode ser dividida em usinagem convencional e usinagem não convencional, de modo que a usinagem convencional se baseia na utilização de ferramentas para a retirada do material a partir do contato entre a ferramenta e peça, e de movimentos simples nos eixos (X, Y e Z), causando o cisalhamento do material. Já a usinagem não convencional é um processo que utiliza outras ferramentas para promover a remoção do cavaco, como por exemplo, a utilização de jatos de água pressurizados, correntes elétricas e reações químicas. A Fig. 3.8 mostra a classificação dos processos de fabricação segundo Machado *et al.* (2011).

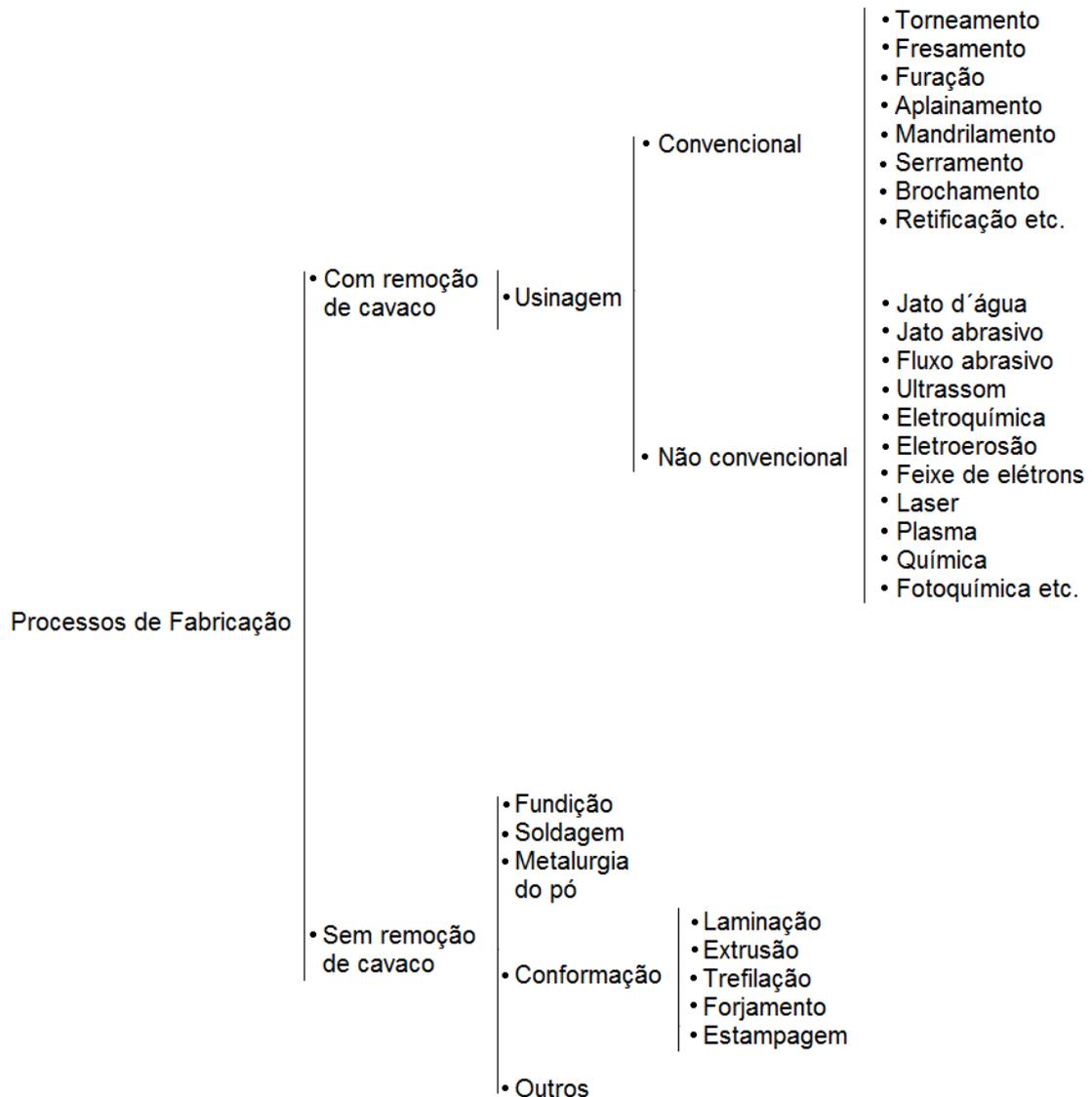


Figura 3.8 - Classificação dos processos de fabricação (modificado de Machado *et al.*, 2011).

A usinagem convencional é uma operação com parâmetros muito complexos e, portanto, muito difíceis de serem previstos, apesar de ser definida simplesmente como um processo com remoção de cavaco. Parâmetros como velocidade de corte, avanço, profundidade de corte, tipo de cavaco, tipo de ferramenta, condutividade térmica da peça e da ferramenta e diversas outras são os principais exemplos de parâmetros que se utiliza para a usinagem convencional. Essa grande quantidade de dados faz com que haja uma dificuldade enorme em descobrir as condições de corte ideais (Machado *et al.*, 2011). Segundo Shaw (1986), prever o desempenho no

corte de metais é quase impossível. Logo, todo estudo feito nessa área é de uma enorme ajuda para a comunidade científica de usinagem.

Dentro da usinagem convencional existem inúmeros processos para a transformação da matéria prima. Estes processos são escolhidos de acordo com o resultado que se deseja obter.

3.5. TORNEAMENTO

O processo de torneamento (Fig. 3.9 e 3.10) é um dos processos mais utilizados mundialmente para o corte e fabricação de metais (Trent 2000). No torneamento, o metal peça é presa a um mandril e, este mandril irá rotacionar a peça. Enquanto a peça é girada, a ferramenta fixa em um porta ferramenta, irá realizar movimentos nos eixos X, Y e Z ocasionando assim, o corte do metal e a remoção de cavaco.



Figura 3.9 – Processo de Torneamento (Fonte: Fermecc, 2019).

É um processo utilizado para a obtenção de superfícies de revoluções e roscas, sendo então, sua limitação.

No torneamento, normalmente, o corte é contínuo, pois, a ferramenta não se desencosta da peça. Além disso, o corte pode ser descrito em coordenadas polares já que as superfícies obtidas por este processo de usinagem são de revolução.

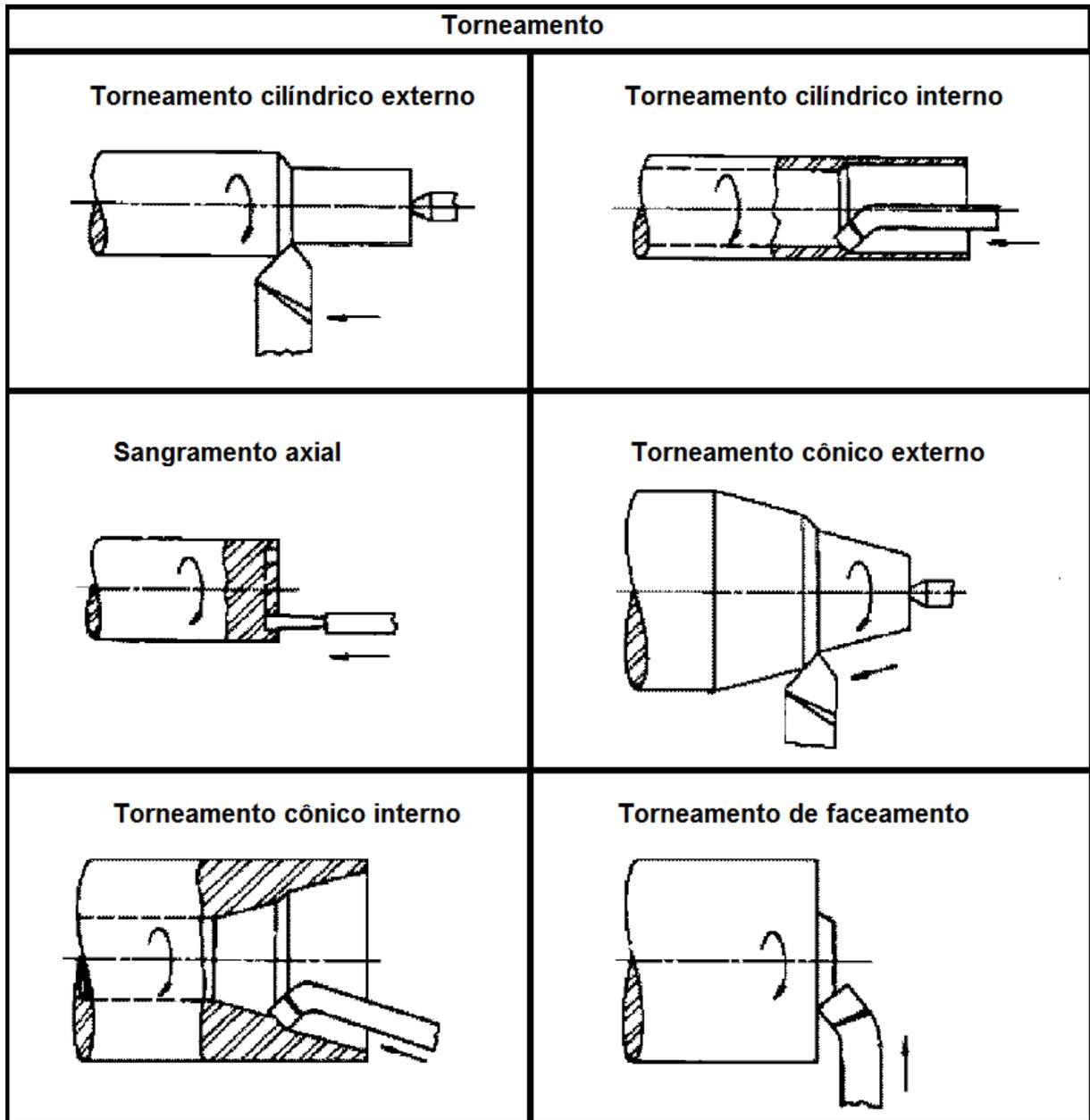


Figura 3.10 – Esquema e tipos de torneamento (Ferraresi, 1977).

3.5.1. FERRAMENTAS DO PROCESSO DE TORNEAMENTO

3.5.1.1. Materiais para ferramentas

É esperado que as ferramentas de corte apresentem as seguintes propriedades (Machado *et al*, 2011) (Fig. 3.11):

- Resistência à compressão;
- Dureza e dureza a quente;
- Resistência a flexão e tenacidade;
- Resistência da aresta de corte;
- Resistência ao choque térmico;
- Resistência à abrasão;
- Boa condutividade térmica;
- Ser quimicamente inerte.

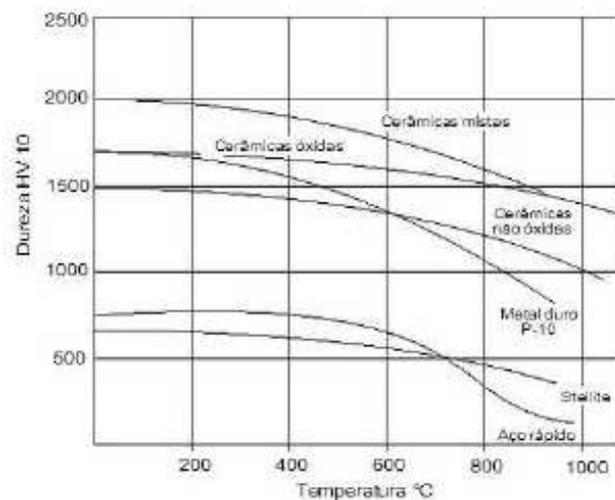


Figura 3.11 – Variação da dureza de alguns materiais ferramentas com a temperatura (Machado *et al.*, 2011).

Os principais materiais utilizados atualmente são o metal-duro e o aço-rápido. (Villarroel, 1991). No caso deste trabalho, foram analisadas ferramentas de metal-duro e algumas de cerâmicas.

- **Aço-rápido:** É um dos materiais mais utilizados atualmente na indústria. O aço-rápido é uma ferramenta de alta liga, composta de ferro, cobalto, carbono, cromo, tungstênio, vanádio, molibdênio, altamente resistente ao

desgaste e com uma elevada dureza a quente, comparados aos aços carbonos utilizados em outras ferramentas. Apesar destas características, o aço-rápido é considerado um material tenaz, ou seja, conseguem absorver e resistir grande quantidade de força e energia antes de sua ruptura (Hibbeler, 2004).

É um material que pode ser usado a temperaturas de corte de até 600°C, porém, possui uma desvantagem em seu tratamento térmico, pois é necessário temperaturas em torno de 1300°C para sua têmpera (Stemmer, 2001). Além disso, é um material bastante utilizado com revestimentos, o que melhora suas condições e desempenho durante a usinagem. (Sandvik Coromant, 1994).

- **Metal-Duro:** O metal-duro, assim como o aço-rápido, é um material para ferramentas muito utilizada na indústria. De acordo com Machado e Silva (2011), a fabricação e criação de ferramentas de metal duro foi de suma importância para a área dos materiais para ferramentas de corte devido à elevada resistência ao desgaste e dureza que este tipo de ferramenta proporcionava. Entretanto, as primeiras ferramentas de metal duro criadas à base de WC-Co (Carboneto de Tungstênio com ligante de cobalto) apresentaram baixa resistência a formação de crateras devido ao atrito na superfície de saída (causando difusão entre cavaco e ferramenta), apesar de terem apresentado excelentes resultados na usinagem de ferros fundidos cinzentos e materiais não ferrosos. Então, viu-se a necessidade de usar outros elementos na composição.

Sua composição hoje varia dependendo de suas aplicações, mas, basicamente, ela é obtida a partir de um ligante metálico dúctil (comumente cobalto e níquel) e de carbonetos como, tungstênio (W), titânio (Ti), tântalo (Ta), nióbio (Nb) e entre outras. Juntando todos estes elementos a ferramenta é produzida através da metalurgia do pó (Stemmer, 2001).

As ligas de metal duro criadas podem ser divididas em três grupos, de acordo com a sua composição química e propriedades (König e Klocke, 1999):

- **WC-Co:** É uma liga de metal duro formada por carbonetos de tungstênio (WC), porcentagens menores que 2,5% de Carbonetos de

titânio (TiC), carbonetos de tântalo (TaC) e carbonetos de nióbio (NbC) juntamente com o ligante dúctil de cobalto (Co). São utilizados em materiais resistentes ao calor (trabalhos em marmoraria e marcenaria), materiais fundidos, materiais não ferrosos e não metálicos e materiais fundidos e com cavaco curto.

- *WC-TiC-TaC-NbC-Co*: A liga de metal duro deste grupo é formado por carbonetos de tungstênio, carbonetos de titânio, carbonetos de tântalo, carbonetos de nióbio com o ligante de cobalto. São ferramentas utilizadas na usinagem de materiais com cavaco longo, ou seja, materiais mais moles, pois, possuem melhores propriedades sob altas temperaturas que as ferramentas de WC-Co. Possuem uma maior resistência a quente, resistência a oxidação e resistência à difusão com materiais ferrosos.
- *TiC/TiN-Co, Ni*: Também chamados de “Cermets”, é uma liga de metal duro que possui uma fase metálica ligante com uma ou mais fases cerâmicas. São feitas basicamente por Carbonetos de titânio e Nitretos de titânio (TiN) com a fase ligante de Cobalto e Níquel (Ni). São aços ferramentas de grande dureza e grande resistência a quente, além da alta resistência a oxidação e baixa resistência a difusão. Os Cermets são ferramentas muito utilizadas em operações de acabamento, pois há a formação em sua aresta de corte de uma ponta postiça (Diniz *et al.*, 1999). São bastante utilizados também na usinagem de aços a velocidades de corte altas.

Para a indústria, as ferramentas de metal duro são divididas de acordo com seu range de aplicação para uma melhor padronização das ferramentas. A norma ISO 513/1975 divide as ferramentas de metal duro da seguinte maneira (Tabela 3.1 e Fig. 3.12):

- As ferramentas de metal duro identificadas pela letra P (cor: azul) são indicadas para a usinagem de materiais dúcteis, de cavacos contínuos e longos devido à alta produção de calor durante a usinagem. Possuem uma elevada dureza a quente, elevada resistência ao desgaste e elevada resistência a difusão. E são aplicadas na usinagem de ferros fundidos maleáveis e nodulares.

- As ferramentas do grupo M (cor: amarelo) são ferramentas com propriedades intermediárias entre as ferramentas do grupo P e K. São amplamente utilizadas na usinagem de aços, ferro fundido maleável e nodular, aços inoxidáveis.
- As ferramentas do grupo K (cor: vermelho) foram os primeiros tipos de metal duro desenvolvidos (Diniz *et al.*, 1999) são ferramentas, como citado anteriormente, formadas basicamente por uma liga de carboneto de tungstênio (WC) e cobalto (Co) e que possuem baixa resistência a difusão em temperaturas altas. Sendo assim, não são recomendadas para o corte de materiais dúcteis. Este grupo de ferramentas é amplamente utilizado no corte de materiais duros e frágeis, com cavacos curtos (ferros fundidos e latões), metais não ferrosos e madeira.

Classe ISO	Aplicação
P	Aço, Aço fundido, ferro maleável de cavacos longos
M	Aço manganês, aço inox austenítico
K	Ferro fundido cinzento e nodular
N	Metais não ferrosos: alumínio, latão, cobre, plástico, fibra de vidro
S	Ligas resistentes a alta temperaturas, ligas de titânio
H	Aços temperados, ferro fundido endurecido

Figura 3.12 – Classes ISO dos materiais (fonte: Shimatools, 2019)

Tabela 3.1 - Classificação dos metais duros segundo norma ISO 513/1975.
(Gopal, 1998).

Principal grupo de usinagem	Cor de identificação	Grupo de aplicação	Operações e condições de usinagem
<p>P</p> <p>Aços maleáveis de cavacos longos</p>	Azul	P01	Torneamento e mandrilamento de precisão, altas velocidades de corte, pequenas seções de cavaco, alta qualidade dimensional, superfícies com bom acabamento sob condições livres de vibrações.
		P10	Torneamento, copiado, rosqueamento, altas velocidades de corte, pequenas seções de cavaco moderadas.
		P20	Torneamento, copiado, rosqueamento, velocidades moderadas de corte, seções de cavaco moderadas. Aplainamento com pequenas seções de cavaco.
		P30	Torneamento, aplainamento, fresamento, baixas velocidades de corte, e grandes seções de cavaco, grandes ângulos de saída, condições desfavoráveis de usinagem.
		P40	Torneamento, aplainamento, fresamento, baixas velocidades de corte, e grandes seções de cavaco (desbaste), grandes ângulos de saída, condições desfavoráveis de usinagem. Também para torneamento automático.
		P50	Em processos que exigem grandes solicitações sob o metal-duro (alta tenacidade): torneamento, aplainamento, fresamento, baixas velocidades de corte, e grandes seções de cavaco, grandes ângulos de saída, condições desfavoráveis de usinagem. Também para torneamento automático.
<p>M</p> <p>Aço, aço fundido, aço austenítico, aços inoxidáveis</p>	Amarelo	M10	Torneamento, moderadas a altas velocidades de usinagem, pequenas a moderadas seções de cavaco.
		M20	Torneamento, fresamento sob moderadas velocidades de corte e seções moderadas de cavaco.
		M30	Torneamento, fresamento, aplainamento, com moderadas velocidades de corte e seções de cavaco moderadas a grandes.
		M40	Torneamento, torneamento de formas, usinagem em cortes interrompidos.
<p>K</p> <p>Ferros fundidos, ferro fundido coquilhado, ferro fundido maleável de cavacos curtos, Aços endurecidos, metais não-ferrosos, materiais não-metálicos.</p>	Vermelho	K01	Torneamento, torneamento e, mandrilamento de precisão, fresamento de acabamento, rasqueteado.
		K10	Torneamento, fresamento, mandrilamento, furação, alargamento rasqueteamento e brochamento.
		K20	Torneamento, fresamento, mandrilamento, furação, alargamento, rasqueteamento e brochamento sob maiores solicitações que do que o K10.
		K30	Torneamento, fresamento, aplainamento, sob condições adversas de usinagem, grandes ângulos de saída.
		K40	Torneamento, fresamento, aplainamento, sob condições adversas de usinagem, grandes ângulos de saída.

- **Cerâmicas:** As ferramentas cerâmicas (Fig. 3.13) não são muito empregadas no processo de furação, diferentemente das operações de torneamento e fresamento. Isto porque as ferramentas a base de cerâmicas são muito resistentes à compressão, inertes e duras, porém, muito frágeis e sensíveis a impactos. Logo, como o processo de furação ocorre a condições mais severas, ou seja, exige alta resistência da ferramenta a torção e a flexão (Cselle, 1998), as ferramentas de cerâmicas não são muito empregadas neste processo.

Contudo, é possível utilizar ferramentas de cerâmicas na furação. Há hoje, testes sendo realizados em ferramentas de cerâmicas à base de nitreto de silício que apresentam um bom desempenho na furação (Uhlmann, 2000) e existem também ferramentas de cerâmica amplamente utilizadas hoje na forma de insertos intercambiáveis em brocas de diâmetros maiores (Tönshoff, 1994). A motivação para a aplicação de ferramentas de cerâmicas na usinagem se deve as altas velocidades de corte que estas ferramentas podem alcançar, aumentando assim a produtividade.

Uhlmann (2000), em seu teste com ferramentas de silício, retratou que, as ferramentas de cerâmica no torneamento e no fresamento em altas velocidades, superam o tempo de vida das ferramentas de metal duro, entretanto, um resultado diferente foi obtido durante a furação. Devido ao maior contato entre peça e ferramenta, as ferramentas de cerâmicas não conseguiam dissipar calor de maneira eficiente, o que aumentava em muito o desgaste destas ferramentas em relação às ferramentas de metal duro.



Figura 3.13 – Inserto de Cerâmica (Fonte: World Tools, 2019).

- **Materiais superduros:** São os conhecidos materiais para ferramentas utilizadas em torneamento e fresamento chamadas de PCD (Diamante policristalino) e PCBN (nitreto de boro policristalino) (Fig. 3.14). Este tipo de material também é utilizado em operações de furação em forma de insertos intercambiáveis para furos com grandes dimensões. Este tipo de ferramenta apresenta o mesmo tipo de problema enfrentado pela ferramenta cerâmica, o contato contínuo de ferramenta/peça com aumento da carga térmica. Sendo que, este esforço mecânico e térmico acontece na união entre inserto e base da ferramenta (Tönshoff, 1994).



Figura 3.14 – Insertos PCD e PCBN (Fonte: Sandik Coromant, 2019).

3.5.2. PARÂMETROS DE CORTE NO TORNEAMENTO

Os parâmetros que foram ajustados no torno mecânico para o processo de usinagem e que são importantes no entendimento e estudo do processo são (Diniz *et al.* (1999), Ferraresi (1977), NBR 6162 (1989)):

3.5.2.1. Avanço

O avanço no torneamento é dado como a quantidade de avanço da ferramenta por revolução da peça, uma grandeza representada pela letra “f”, medida em milímetros por revolução [mm/rev].

Um conceito de usinagem dependente do avanço é a velocidade de avanço. Ela é medida pela fórmula:

$$v_f = f \cdot n = \frac{1000 \cdot v_c}{\pi \cdot d} \cdot f$$

Onde:

f = avanço [mm/rev]

v_f = velocidade de avanço [mm/min]

n = rotação da ferramenta [rpm]

v_c = velocidade de corte [m/min]

d = diâmetro da ferramenta [mm]

Esta fórmula foi usada para os cálculos dos parâmetros de corte deste trabalho.

3.5.2.2. Profundidade de Corte

A profundidade de corte é uma grandeza medida perpendicularmente ao plano de trabalho. Representada pelo símbolo “ a_p ”, a profundidade de corte é a penetração da aresta de corte de ferramenta na peça (Diniz *et al.*, 1999).

3.5.2.3. Velocidade de Corte

A velocidade de corte é o parâmetro mais importante da usinagem. No torneamento, a velocidade de corte é a velocidade tangencial instantânea da rotação da peça na ferramenta. Ela está diretamente ligada com a vida da ferramenta, com o material usinado, com o tempo de usinagem, com o acabamento e a potência usadas no corte. Ela é representada pela seguinte equação:

$$v_c = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000}$$

Onde:

n = rotação da ferramenta [rpm]

v_c = velocidade de corte [m/min]

d = diâmetro da ferramenta [mm]

3.5.2.4. Largura de Usinagem

A largura de usinagem é representada pela letra “b” e é a largura da seção transversal do corte. Na furação, “b” é a espessura do cavaco. Para calculá-la, usamos a fórmula:

$$b = \frac{a_p}{\text{sen}\sigma}$$

Onde:

a_p = profundidade de corte [mm]

b = largura de usinagem [mm]

σ = ângulo da ponta da ferramenta [graus]

3.5.2.5. Espessura de Usinagem

A espessura de corte é uma grandeza representada pela letra “h” e é a espessura da seção transversal do corte. Em furação ela é proporcional ao avanço e é medida perpendicularmente em relação a aresta cortante. A espessura de corte é definida pela equação:

$$h = f \cdot \text{sen}\sigma$$

Onde:

h = espessura de usinagem [mm]

f = avanço [mm]

σ = ângulo da ponta da ferramenta [graus]

3.5.3. DESGASTE DE FERRAMENTAS NO TORNEAMENTO

Sabemos hoje que o desgaste de ferramentas de corte é um dos principais problemas da usinagem, pois, o uso contínuo e excessivo de uma única ferramenta de corte provoca o aumento do desgaste. Consequentemente, há um aumento das forças de usinagem, principalmente no atrito entre ferramenta e peça, provocando assim o aumento das temperaturas de corte, o que torna o processo pouco viável. Há diminuição de rendimento, diminuição da qualidade da usinagem, aumento dos riscos de acidentes e paradas acidentais, já que, o aumento das forças de usinagem pode provocar o cisalhamento da ferramenta ou até mesmo a parada da máquina (Diniz *et al.*, 1999).

Uma das áreas mais atingidas e com condições mais severas do processo de torneamento está localizada na ponta da pastilha de corte, onde há o primeiro contato entre ferramenta e peça. Nesse local, onde o raio da peça é o maior possível, a velocidade de corte é elevada, logo, o desgaste ocorre principalmente devido a esforços térmicos. Essas altas velocidades de corte provocam o aumento do atrito que causa o aumento da temperatura da usinagem. O aumento da temperatura não vem somente do corte em si, mas também do contato (com atrito) entre cavaco e a superfície de saída da ferramenta (Schroeter, 1999).

3.5.3.1. Mecanismos de Desgaste

Dentro da usinagem, é quase impossível ter somente um mecanismo provocando o desgaste. Há diversos fatores e mecanismos (Fig. 3.15) que, em conjunto e atuando concomitantemente, levam as ferramentas ao desgaste. A Fig. 3.16 ilustra os mecanismos de desgaste mais influentes no desgaste.

Os principais fatores que causam esta perda gradual de material são (König e Klocke, 1999):

- Adesão;
- Abrasão;
- Ferramentas sujeitas a excessivos esforços térmicos e mecânicos;
- Oxidação;
- Difusão.

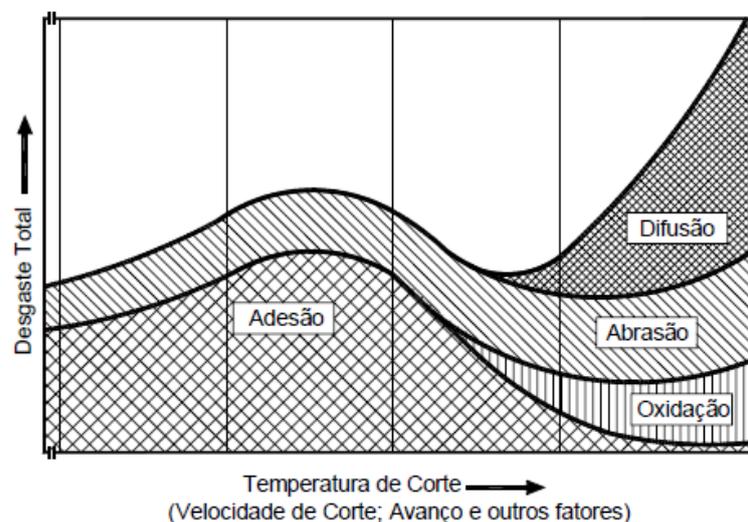


Figura 3.15 – Desgastes na usinagem. (König e Klocke, 1999).

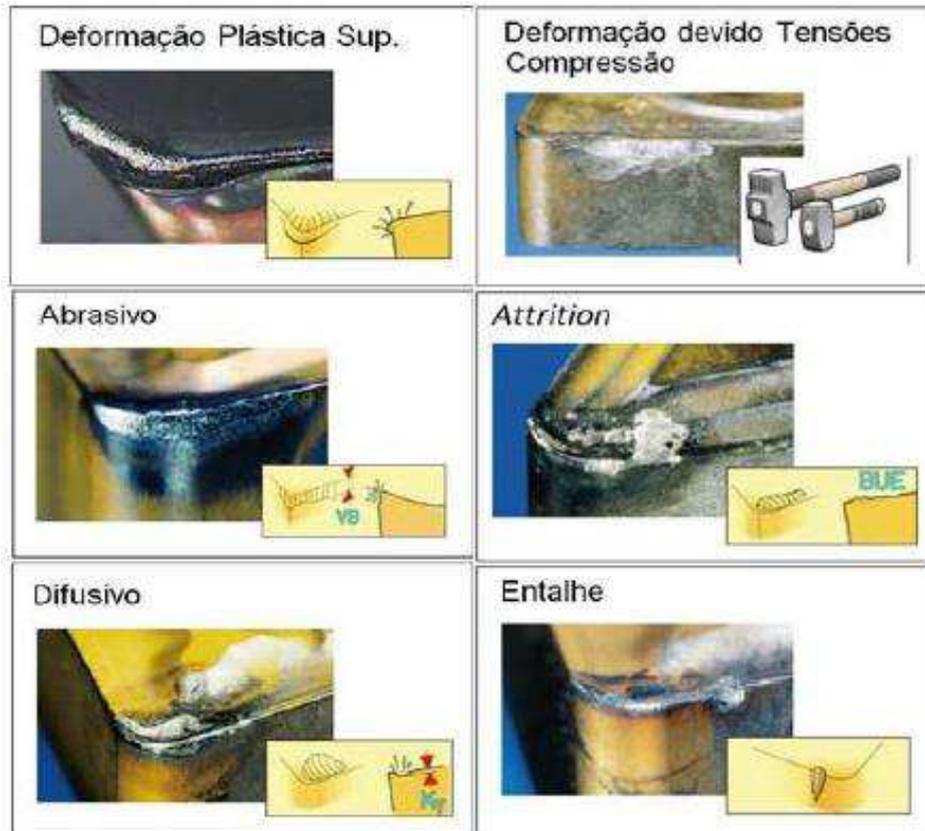


Figura 3.16 – Desgastes em pastilhas de torneamento. (Sandvik Coromant, 2013).

3.5.3.2. Critérios Fim de Vida

Uma ferramenta de corte, na medida em que ela vai sendo usada, ela vai se desgastando. Com o aumento do desgaste da ferramenta, há um aumento nas forças de corte e na potência da usinagem. Com o aumento das forças, a temperatura do processo também se eleva e há alteração da qualidade da superfície usinada para pior. O fim de vida de uma ferramenta não é necessariamente usá-la até a quebra, mas sim a adoção de um critério que atenda às necessidades e satisfações de quem estiver usinando. Ou seja, a vida de uma ferramenta de corte pode ser definida como o tempo em que uma ferramenta consegue atender um critério, trabalhando efetivamente até que sua capacidade de corte não mais consiga atender o critério escolhido (Ferraresi, 1977).

Então, para se determinar o fim de vida de uma ferramenta é necessário primeiramente se ter em mente alguns fatores comumente utilizados para a escolha do fim de vida da ferramenta (Stemmer, 2001):

- Número de peças usinadas;
- Formação de rebarbas;
- Qualidade do acabamento superficial;
- Dimensão da peça;
- Falha da parcial ou completa da ferramenta;
- Profundidade da cratera;
- Tamanho do desgaste no flanco da aresta de corte principal;
- Vibrações do processo de usinagem;
- Variação da forma, tamanho e cor dos cavacos;
- Variações nas forças de corte, potência e avanço da máquina;
- Temperatura de usinagem.

Em laboratórios, por exemplo, geralmente é adotado como critério de fim de vida o desgaste no flanco da aresta de corte principal, pois esta característica está diretamente ligada com a rugosidade do material e com as dimensões da peça e também porque em laboratórios a medição do desgaste é fácil, utilizando-se apenas do microscópio ferramenteiro podendo assim ser quantificado.

Já nas indústrias, a dificuldade de medição do desgaste da ferramenta (se gasta muito tempo e funcionários) é elevada, o que aumenta o custo da produção. Então, as indústrias utilizam como critério de fim de vida a quantidade de peças usinadas. É feito um estudo inicial sobre a ferramenta e estima-se o número aproximado de peças que cada ferramenta consegue realizar dentro das condições impostas. Assim, ao completar a quantidade de peças usinadas, as ferramentas são descartadas.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. MATERIAIS UTILIZADOS

Para a realização deste trabalho foi utilizado o conhecimento e a experiência dos funcionários da empresa que participaram desse estudo, que foram de suma importância para a obtenção dos dados, análises e conclusões sobre o assunto em questão. Além disso, foram utilizadas as ferramentas disponíveis na empresa, pastilhas de corte, tornos mecânicos e demais objetos fornecidos pelo almoxarifado.

Os dados coletados foram colocados no software Microsoft Excel ® 2010 para organização dos números e análises da situação atual que a empresa se encontrava.

Também foram utilizados catálogos dos fornecedores de ferramentas da empresa para a obtenção dos parâmetros de corte ideais de cada ferramenta de corte utilizada.

4.2. METODOLOGIA

Primeiramente foi realizada uma coleta de dados amostrais das velocidades de corte utilizadas pelos funcionários na utilização dos tornos mecânicos. Dessa forma, foi possível se ter uma ideia da atual situação que a empresa se encontrava em sua produção. Uma vez coletados, estes dados foram apresentados ao supervisor de produção.

Foi definido então, pelo o autor deste trabalho, juntamente com seu supervisor de produção, uma estratégia para abordar a pouca eficiência das pastilhas de corte utilizadas pelos funcionários, bem como a quantidade de desperdício de pastilhas que têm seu tempo de vida reduzido devido às más condições de uso. A estratégia definida pelo autor deste trabalho foi sugerida e desenvolvida com base no conceito de melhoria contínua, mais especificamente aplicando-se o método PDCA.

Com o plano definido e aceito pelo supervisor, foi feito então um estudo, junto ao fornecedor e fabricante, de todas as pastilhas de corte utilizadas na empresa, cujo objetivo era obter a faixa ideal de operação dessas ferramentas, bem como o

material a que essas pastilhas foram destinadas. Foram utilizados diversos catálogos, além do contato com o vendedor do próprio fornecedor.

O próximo passo consistiu em coletar os valores das velocidades de corte utilizadas pelos funcionários. Estes dados foram colocados em uma planilha no software Excel 2010, desenvolvida pelo autor deste trabalho, seguindo os propósitos da empresa, para desenvolvimento do trabalho de melhoria. Esta planilha tinha como objetivo comparar as velocidades de corte ideais fornecidas pelo fabricante com as velocidades de corte utilizadas no chão de fábrica, além de uma melhor visibilidade dos dados.

Dessa forma, foi possível estabelecer resultados e conclusões do trabalho realizado.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O ciclo PDCA, como dito anteriormente, foi a ferramenta utilizada para a realização deste trabalho. A seguir, está destrinchada cada etapa deste ciclo, juntamente com as tarefas realizadas.

5.1. ETAPA *PLAN* (planejar)

A etapa Plan (planejar) é a primeira etapa do ciclo PDCA e esta etapa consiste no planejamento e na definição da estratégia para resolução do problema. Para que isso seja possível, primeiro deve-se conhecer o problema, para depois, analisá-lo e então definir um plano de ação.

Este tipo trabalho de melhoria operacional nunca havia sido realizado na empresa, então, não haviam problemas concretos, somente suspeitas de algum tipo de problema. Não havia um controle de operação nem uma pessoa encarregada para um trabalho de melhoria e redução de desperdícios e custos.

Logo, para a identificação concreta do problema, inicialmente foi realizada uma coleta de dados amostrais das velocidades de cortes utilizadas nos tornos mecânicos, para confirmar a suspeita, constatada pelo supervisor, da atual situação da empresa. Com esses dados, foi possível fazer a comparação (análise) das velocidades de corte ideais fornecidas pelos fabricantes com as velocidades de corte utilizadas no chão de fábrica. Com esses números foi possível constatar uma diferença bastante efetiva e notável no processo de fabricação.

Com o problema em destaque, foi definido pelo autor deste trabalho juntamente com seu supervisor, o objetivo principal: Melhorar o processo de usinagem nos tornos mecânicos através da redução do desperdício de ferramentas de corte. Foi então proposto o seguinte plano de ação, também apresentado utilizando a ferramenta 5W2H (Tab. 5.1), para conquistar sucesso na busca pela melhoria contínua:

- Conhecer o processo produtivo nos tornos, seus operadores e conhecimentos;
- Conhecer todo tipo de metal que passa pelos tornos mecânicos;
- Estudar e pesquisar todas as pastilhas de corte disponíveis para a empresa;

- Coletar dados mais concretos com estatísticas de todos os operadores;
- Dar visibilidade aos números coletados;
- Obter soluções para o problema.

Tabela 5.1 – Apresentação do plano de ação utilizando a ferramenta 5W2H

What	Why	Where	When	Who	How	How Much
Conhecer processo produtivo na empresa	Obtenção de informações importantes para resolução do problema	Chão de fábrica	duas semanas	Autor deste trabalho	Troca de informação com gerente de fábrica e operadores	-
Conhecer todo tipo de matéria prima	Obtenção de informações importantes para resolução do problema	Chão de fábrica	duas semanas	Autor deste trabalho	Troca de informação com gerente de fábrica e operadores	-
Conhecer todas as pastilhas de corte disponíveis	Obtenção de informações importantes para resolução do problema	Chão de fábrica e escritório	uma semana	Autor deste trabalho	Utilizando lista e estoque do almoxarifado	-
Levantamento de dados dos operadores	Obtenção de informações importantes para resolução do problema	Chão de fábrica	quatro meses	Autor deste trabalho	Coletando os parâmetros de corte utilizados pelos operadores durante sua operação	-
Dar visibilidade aos dados coletados	Deixar dados acessíveis a qualquer pessoa da empresa e mostrar situação encontrada	Escritório	uma semana	Autor deste trabalho	Criar uma planilha elaborada no software Excel 2010	-
Obter soluções para o problema	Melhorar o processo e consequentemente aumentar margem de lucros	Chão de fábrica	duas semanas	Autor deste trabalho	Através das observações e experiências obtidas durante o tempo no chão de fábrica	-

Assim, finalizou-se a primeira etapa do ciclo PDCA.

5.2. ETAPA DO (fazer/executar)

Na segunda etapa do ciclo PDCA é necessário colocar em prática o plano de ação definido na etapa número um (*Plan*). Como foi definido na etapa anterior, a primeira parte consiste em conhecer o processo produtivo e análise técnica dos funcionários. Nessa etapa, houve grande troca de informações e conversas com todos os torneiros operantes no chão de fábrica, para melhor entendimento do maquinário que eles utilizavam, suas metodologias, escolhas de pastilhas, escolhas dos parâmetros, velocidades de corte e avanço para o material em mãos. Dessa maneira, foi possível verificar o conhecimento e a sagacidade dos funcionários durante seu trabalho. Além dos funcionários, também houve bastante diálogo e troca de informações com o gerente de fábrica, pois era ele que passava todas as tarefas a seus funcionários e tinha total conhecimento sobre todos os materiais que passavam pela empresa.

Na segunda fase do plano de ação foi realizado um trabalho junto ao almoxarifado para a identificação de todas as pastilhas de corte para torneamento

disponíveis. Este foi um trabalho extenso, pois havia uma grande variedade de pastilhas e muitas não haviam identificação. Foi feito então um contato com os fabricantes das ferramentas para disponibilização de seus catálogos e obtenção de toda informação importante que seria utilizada no trabalho. Para as pastilhas que não haviam sido identificadas, houve um contato pessoal com o fabricante para uma resposta. A seguir está apresentado o estudo que foi realizado nessas ferramentas. Este estudo contém a descrição e dois principais parâmetros da usinagem: a velocidade de corte e o material da peça adequadas para as pastilhas. Todos os dados foram colocados e organizados no software Excel 2010 pelo autor deste trabalho e todas as informações e especificações foram retiradas dos catálogos do próprio fabricante. A tab. 5.2 está exemplificando como esses dados foram coletados e organizados. Mais informações sobre o estudo das pastilhas, ver Apêndice A.

- *DGN 3102C IC908*: Inserto de metal duro com revestimento de TiN usado para separar barras de metais duros e materiais de difícil usinagem (Tab. 5.2).

Tabela 5.2 – Velocidade de corte e material peça suportada pelo inserto DGN 3102C.

Pastilha	ISO	Material Comercial	VCmín. [m/min]	VCmáx. [m/min]
DGN 3102C IC908	P	SAE 1020 / DIN ST52	120	183
DGN 3102C IC908	P	SAE 1045	90	145
DGN 3102C IC908	P	SAE 1045 TT	73	118
DGN 3102C IC908	P	SAE 4140	80	133
DGN 3102C IC908	P	SAE 4340 / 8620	78	133
DGN 3102C IC908	P	SAE 4140 TT / 4340 TT / 8620 TT	70	115
DGN 3102C IC908	P	AISI 420	70	160
DGN 3102C IC908	M	AISI 304 / 316	55	140
DGN 3102C IC908	K	FoFo Nodular	110	135
DGN 3102C IC908	H	SAE 1045 TEMPERADO E CROMADO	25	33

A próxima etapa do processo foi realizar uma coleta de dados mais completa, para uma melhor observação da real situação da má utilização das

pastilhas de corte. Nesse passo, foi necessário passar grande parte do tempo no chão de fábrica, coletando os parâmetros de corte (velocidade de corte e avanço) e o tipo do material que os funcionários estavam utilizando. Essa parte foi a que mais tomou tempo, cerca de três meses para sua conclusão. Estes dados foram colocados em uma planilha no software Excel 2010 e foram comparados com os números obtidos com o estudo das pastilhas. A Tab. 5.3 a seguir ilustra parte da planilha desenvolvida para comparação dos resultados. Para a tabela completa e mais informações, visualizar Apêndice B ao final deste trabalho.

A planilha foi construída de maneira a facilitar o entendimento. As cores, divididas entre vermelho, rosa, amarelo e verde, foram utilizadas para representar valores de velocidades de corte e rotações usadas, de modo que, a cor vermelha representa valores de rotações que estão fora em 50% do valor das velocidades de corte mínimas e máximas. A cor rosa foi utilizada para valores em que as rotações usadas pelos operadores estejam em um valor de até 50% fora das velocidades recomendada pelo fabricante. A cor amarela foi usada para valores que estejam em até 10% das velocidades de corte ideais e, por fim, a cor verde foi usada para valores de rotações usadas corretamente de acordo com a ferramenta.

Essa tabela contém somente parte da coleta de dados realizada e somente foi mostrada para ilustrar como a comparação foi feita. A seguir, está apresentado os dados em gráficos para facilitar a visualização do desempenho. Os operadores foram divididos entre letras do alfabeto de A à G de forma a preservar suas identidades (Figs. 5.1 e 5.2).

Tabela 5.3 – Comparação das velocidades de corte utilizadas pelos torneiros e das velocidades de corte ideais para cada pastilha e material usado.

Data	Operador	Pastilha	Material	Ø Peça (mm)	Entrada de dados				Rotação ideal		
					Rotação (RPM)	Vc (m/min) calculado	Rot. Mín (RPM)	Rot. Máx (RPM)	Vc Min (m/min)	Vc Max (m/min)	
02/ago	B	TNMG 220408-TF IC907	SAE 1045 - Recozido :190	40,40	385	42,52	788	1339	100	170	
02/ago	F	TNMG 220408-TF IC907	FoFo Nodular - ferrítico :160	288,00	67	60,62	33	155	30	140	
02/ago	I	TNMG 220408-TF IC907	SAE 1045 - Recozido :190	180,00	270	152,68	177	301	100	170	
10/ago	B	TNMG 160408-TF IC907	SAE 1020 / DIN ST52 - Recozido :125	102,00	140	44,86	374	624	120	200	
10/ago	B	TNMG 160408-TF IC907	SAE 1020 / DIN ST52 - Recozido :125	102,00	224	71,78	374	624	120	200	
10/ago	C	TNMG 220404-TF IC907	SAE 1045 - Recozido :190	40,00	1350	169,65	796	1353	100	170	
11/ago	C	TNGA 160404T IN22	SAE 1045 TEMPERADO DE CROMADO - Temperado :560	76,00	355	84,76	377	838	90	200	
11/ago	C	TNMG 220404-TF IC907	SAE 1045 - Recozido :190	80,00	1350	339,29	398	676	100	170	
11/ago	B	TNMG 220408-TF IC907	SAE 1020 / DIN ST52 - Recozido :125	120,00	800	301,59	318	531	120	200	
14/ago	C	TCMT 110204-SM IC907	SAE 1045 - Recozido :190	30,00	880	82,94	1061	1804	100	170	
14/ago	B	DGN 3102C IC908	SAE 1045 - Recozido :190	85,00	224	59,82	337	543	90	145	
14/ago	F	TNMG 220408-TF IC907	SAE 1045 - Recozido :190	100,00	112	35,19	318	541	100	170	
16/ago	I	TNMG 220408-TF IC907	SAE 1045 - Recozido :190	100,00	280	87,96	318	541	100	170	
16/ago	I	TNMG 220404-TF IC907	SAE 1045 - Recozido :190	100,00	450	141,37	318	541	100	170	
16/ago	I	RCMT 1204M0-14 IC907	SAE 1045 - Recozido :190	100,00	450	141,37	318	541	100	170	
16/ago	B	TNMG 160408-TF IC907	FoFo Nodular - ferrítico :160	45,00	335	47,36	212	990	30	140	
16/ago	I	TNMG 220408-TF IC907	SAE 1045 - Recozido :190	50,00	450	70,69	637	1082	100	170	
16/ago	I	N151.2-400-4E 4025	SAE 1045 - Recozido :190	30,00	140	13,19	1008	2865	95	270	
18/ago	C	DGN 3102C IC908	SAE 1045 - Recozido :190	60,00	530	99,90	477	769	90	145	
18/ago	B	TNMG 160408-TF IC907	SAE 4140 - Recozido :200	67,00	560	117,87	380	713	80	150	
18/ago	F	TNMG 220408-TF IC907	SAE 1045 TEMPERADO DE CROMADO - Temperado :560	400,00	22	28,15	16	72	20	90	
18/ago	C	TNMG 220408-TF IC907	SAE 1020 / DIN ST52 - Recozido :125	60,00	1350	254,47	637	1061	120	200	
22/ago	C	TNMG 220408-TF IC907	SAE 4340 / 8620 - temperado & revenido :275	105,00	355	117,10	212	394	70	130	
22/ago	C	TNMG 220408-TF IC907	SAE 4340 / 8620 - temperado & revenido :275	105,00	530	174,83	212	394	70	130	
22/ago	B	TNMG 160408-TF IC907	SAE 1045 - Recozido :190	21,00	450	29,69	1516	2577	100	170	
22/ago	E	TNMG 160408-TF IC907	SAE 4340 / 8620 - temperado & revenido :275	105,00	630	207,82	212	394	70	130	

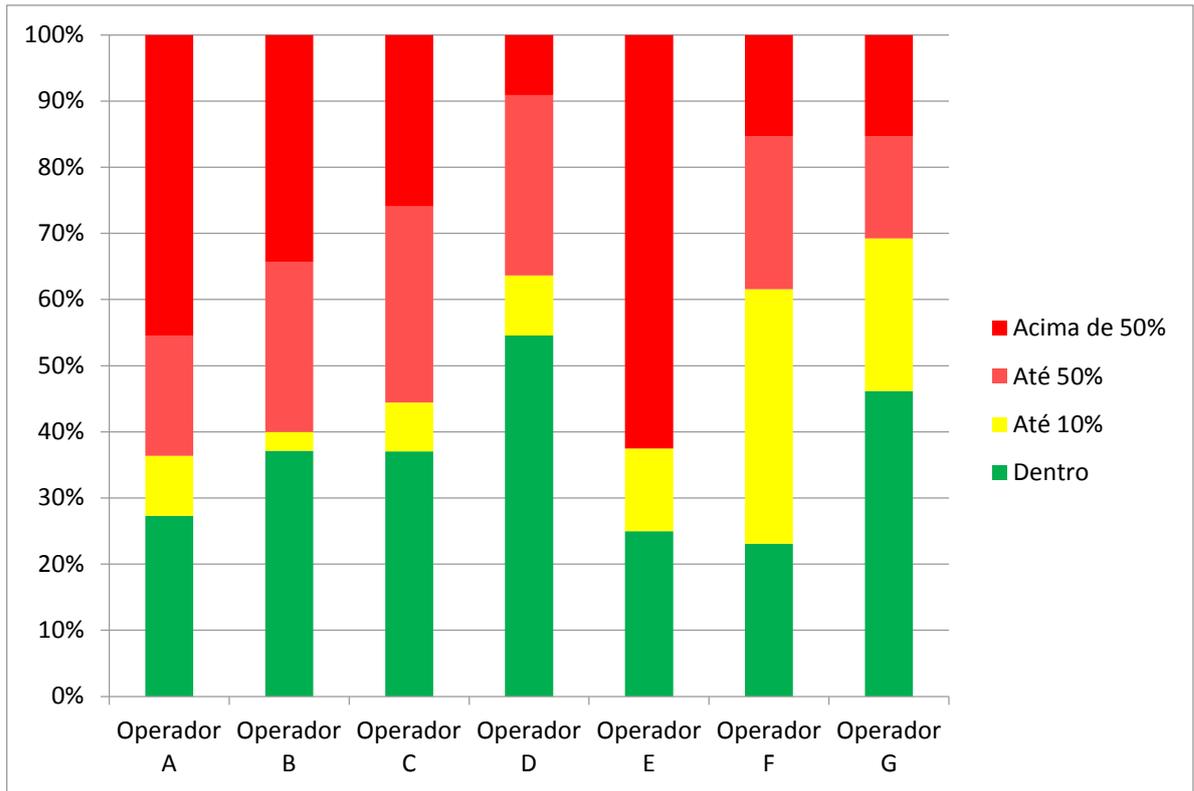


Figura 5.1 – Gráfico Desempenho dos operadores.

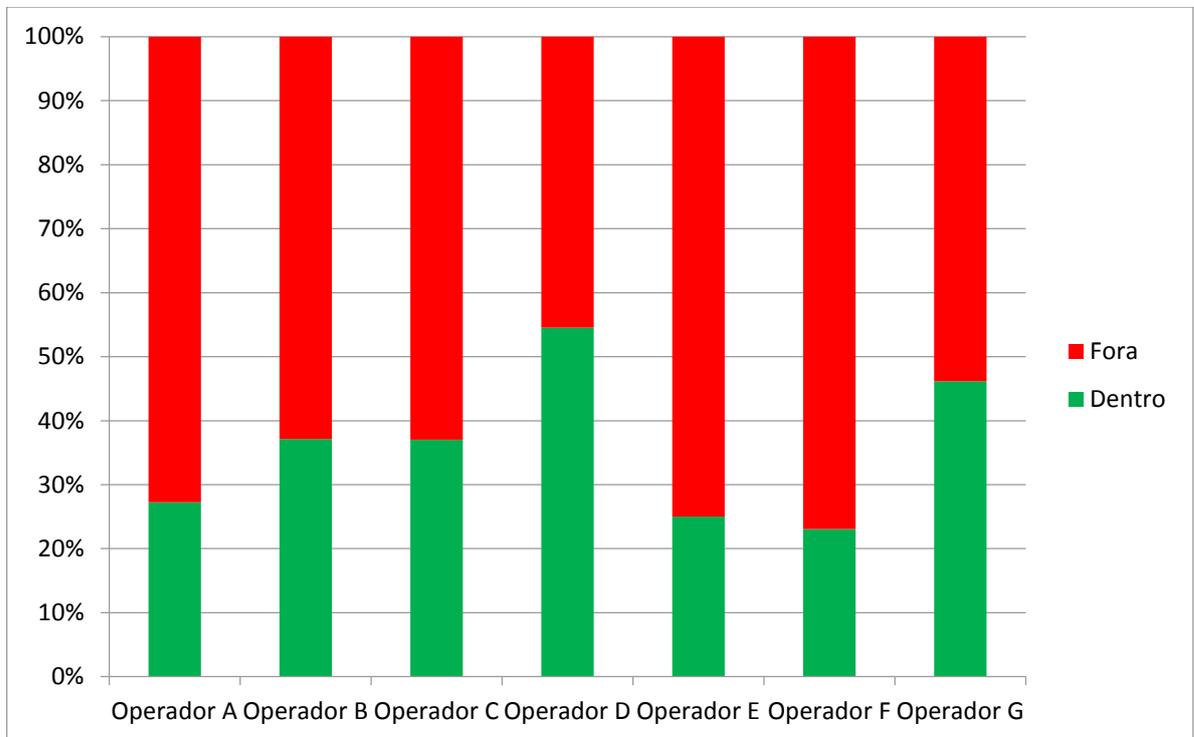


Figura 5.2 – Gráfico Desempenho Geral dos operadores.

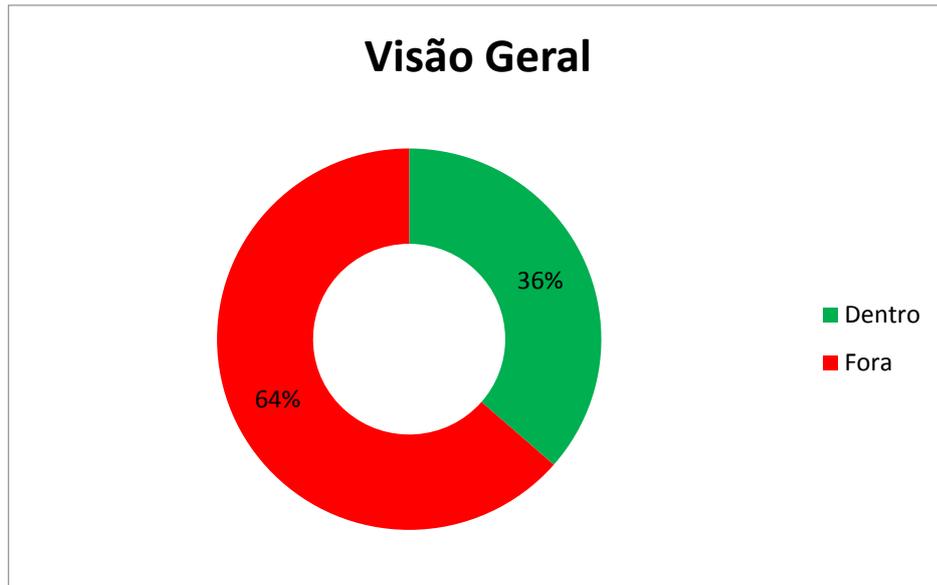


Figura 5.3 – Visão Geral das operações de torneamento dentro da empresa

Analisando os gráficos apresentados, é possível concluir que a operação de torneamento na empresa estava sendo muito mal aproveitada. Pode-se ver pela Fig. 5.3 que 64% de todas as operações de torneamento na empresa estavam com as velocidades de corte fora dos valores ideais fornecidos pelos fabricantes, confirmando a suspeita sobre a existência de um problema nessa área.

Analisando separadamente cada operador, observa-se que, em sua grande maioria, os funcionários não utilizaram as velocidades de corte corretas, diminuindo a vida útil das ferramentas e conseqüentemente gastando mais recursos e desperdiçando grande quantidade de pastilhas. Foi possível detectar durante esse tempo no chão de fábrica que a maioria dos torneiros não tomavam conhecimento das velocidades de corte das pastilhas, pois, quando se dirigiam ao almoxarifado, não olhavam o estojo dos insertos com as informações ideais. Uma nota relevante também é observar sobre a posição do almoxarifado que não possuía nenhum tipo de controle sobre a liberação de pastilhas, somente sobre o estoque em geral (ou seja, havia controle somente quando precisava-se adquirir mais pastilhas).

Além disso, no caso da operação do torneamento, é necessário, como visto no tópico 3.5.2.3, conhecer o raio da peça usinada para adquirir o correto valor da velocidade de corte. Conhecendo o raio da peça, é possível configurar o torno para a rotação correspondente àquela velocidade. Com exceção de um (operador D), todos os outros funcionários não realizavam essa conta e operavam a máquina com base em suas experiências profissionais.

É importante destacar também que o critério de fim de vida da ferramenta baseava-se somente na decisão do torneiro, cabendo a ele dizer, através de sua experiência, se aquela pastilha ainda estava apta para uso.

Havia também muitas pastilhas em posse da empresa que estavam tecnologicamente defasadas e insertos pouco e até nunca utilizados durante a realização deste trabalho.

Outro ponto importante, que ocorreu com menor frequência durante o tempo de coleta de dados no chão de fábrica, é a limitação do equipamento. Havia peças com diâmetros de até 600 milímetros e comprimentos de até 2 metros, as quais eram demasiadamente pesadas. Ou seja, o torno não tinha capacidade suficiente de sustentar uma rotação adequada e segura para a velocidade de corte ideal fornecida. Logo, não havia outra saída a não ser usinar fora dos parâmetros.

A pastilha *KNUX 160405 L/R11 IC9015* foi utilizadas inúmeras vezes em materiais errados (valores em branco na planilha, checar Apêndice B), pois os operadores não possuíam conhecimento sobre o range de aplicação deste inserto.

Para resolver essas possíveis causas do problema, foi proposto a realização de um treinamento para todos os operadores dos tornos. Esse treinamento foi realizado durante um dia inteiro, para a conscientização da mão de obra. Nesse curso foram abordados tópicos sobre a importância dos parâmetros de corte dentro da usinagem, tipos de materiais e classificação ISO, dicas para melhor utilização das pastilhas, uso de fluidos de corte, critérios de fim de vida das pastilhas e, principalmente, um tutorial para ensinar como calcular a velocidade de corte em operações de torneamento.

Também foi adotado medidas para um maior controle das pastilhas pelo almoxarifado. O operador passou a ter a obrigação de olhar os parâmetros recomendados pelo fabricante antes de retirar os insertos do almoxarifado. Foi criado um formulário de controle de retirada de pastilhas para que os operadores identificassem a pastilha que estava sendo retirada, a data de retirada e a sua assinatura após verificar os parâmetros indicados dos insertos. Assim, os torneiros tomavam conhecimento sobre quais rotações utilizar em seus tornos para um melhor custo benefício da usinagem.

Outra medida tomada foi a revisão de todas as pastilhas utilizadas na fábrica. Essa medida foi realizada e implementada junto ao fabricante, que analisou todos os insertos obsoletos e forneceu possíveis substituições.

5.3. ETAPA *CHECK* (Conferir/Checar)

Esta etapa do ciclo consiste em verificar os resultados obtidos na sessão anterior. Analisando os resultados obtidos após a realização das soluções propostas na etapa anterior, foi constatado que o objetivo proposto inicialmente foi alcançado. Houve uma redução da quantidade de desperdícios de pastilhas de corte durante o processo de torneamento. O almoxarifado registrou uma diminuição da saída das ferramentas de corte do seu estoque, ou seja, houve uma demanda menor de insertos para torneamento. As pastilhas estavam sendo mais bem utilizadas, isso significa que o tempo de vida das ferramentas aumentou em relação ao estágio inicial do processo. Logo, a aplicação do treinamento, realizado em conjunto com o fabricante, conscientizou os funcionários, que passaram a observar as velocidades de corte que deveriam utilizar.

Além disso, foram reduzidas as variedades de pastilhas presentes no estoque, pois muitas pastilhas, além de já estarem obsoletas, eram minimamente utilizadas, sendo que algumas nem aparecem nesse estudo. O que significa que durante os quatro meses de coleta de dados, elas não foram utilizadas nenhuma vez. Houve a substituição de uma pastilha de corte para desbaste, mais especificamente, o inserto *KNUX 160405 L/R11 IC9015* que é usado somente para operações de desbaste para materiais ISO K (ferros fundidos), foram substituídas pelas pastilhas *WNMG 060404-TF* que são utilizadas tanto para operações de desbaste quanto para operações de acabamento em materiais ISO P (aços carbono), M (aços inox), K (ferros fundidos), S (superligas de níquel e titânio) e H (aços temperados). Além disso, o custo da unidade da pastilha *WNMG* é menor que o valor da unidade da *KNUX*.

De modo geral, houve uma redução do custo total da operação no que diz respeito a utilização das pastilhas de corte no torneamento e também houve uma redução do desperdício de pastilhas. Entretanto, o processo ainda deve ser mais aprofundado e aprimorado para melhor aproveitamento das ferramentas de corte.

5.4. ETAPA *ACT* ou *ADJUST* (Aplicar/Agir/Corrigir)

A quarta etapa do ciclo envolve uma análise mais aprofundada das falhas encontradas na etapa anterior e encontrar medidas corretivas para solucionar este

outro problema, ou seja, a identificação do problema anterior inicia todo o ciclo PDCA novamente implementando assim a ideia de melhoria continua.

Como identificado na etapa anterior, o objetivo inicial foi alcançado: houve um aumento do tempo de troca de pastilha por parte dos operadores, além de uma maior conscientização destes em relação aos parâmetros de corte ideais indicados para cada caso. Entretanto, a usinagem é bem complexa e vários parâmetros determinam sua qualidade e eficiência. Apesar do sucesso inicial, a análise se baseou somente nos parâmetros velocidade de corte e material usinado. Ainda há diversos outros parâmetros, como, avanço, profundidade de corte, forças na usinagem e fluido de corte que podem ser analisados e têm efeito direto no desgaste da ferramenta e conseqüentemente a diminuição da vida útil da ferramenta.

Assim, existem ainda diversos pontos que exigem aprimoramento para a busca da excelência operacional. Foi realizado já a adaptação da planilha (Tab. 5.4) para adição do avanço e da profundidade de corte para futuros trabalhos de aprimoramento da empresa.

Outro problema que se destaca neste processo é o fator humano. As pessoas tem capacidades, dificuldades e afinidades diferentes, isto quer dizer que um treinamento somente pode não ser o suficiente para atingir todo o corpo de funcionários de maneira efetiva, logo, é sempre muito importante ter treinamentos regularmente para que os novos funcionários e até mesmo os antigos aprendam e consolidem o que já foi ensinado. Assim, eles manterão o nível do trabalho mais elevado. Lembrando que estes treinamentos não possuem custo adicional para a empresa já que, o fabricante das ferramentas possui uma equipe de treinamento e a disponibiliza para seus clientes via pedido e agendamento.

Tabela 5.4 – Tabela atualizada para utilização de novos parâmetros.

Data	Operador	Pastilha	Material	Ø Peça (mm)	Entrada de dados				Rotação ideal		Avanço ideal		Profundidade	
					Rotação (RPM)	Avanço Fz (mm/rev)	Ap Prof. corte (mm)	Rot. Mín (RPM)	Rot. Máx (RPM)	Fz Min (mm/rev)	Fz Máx (mm/rev)	Ap min (mm)	Ap máx (mm)	
02/ago	B	TNMG 220408-TF IC907	SAE 1045 - Recozido :190	40,40	335	0,09		788	1339	0,15	0,40	1	4	
02/ago	F	TNMG 220408-TF IC907	FoFo Nodular - ferrítico :160	288,00	67	0,28		33	155	0,15	0,40	1	4	
02/ago	I	TNMG 220408-TF IC907	SAE 1045 - Recozido :190	180,00	270	0,28		177	301	0,15	0,40	1	4	
10/ago	B	TNMG 160408-TF IC907	SAE 1020 / DIN ST52 - Recozido :125	102,00	140	0,13		374	624	0,12	0,30	1	3	
10/ago	B	TNMG 160408-TF IC907	SAE 1020 / DIN ST52 - Recozido :125	102,00	224	0,13		374	624	0,12	0,30	1	3	
10/ago	C	TNMG 220404-TF IC907	SAE 1045 - Recozido :190	40,00	1350	0,32		796	1353	0,14	0,35	1	3,5	
11/ago	C	TNGA 160404T IN22	SAE 1045 TEMPERADO DE CROMADO - Temperado :560	76,00	355	0,16		377	838	0,07	0,50	0,1	3	
11/ago	C	TNMG 220404-TF IC907	SAE 1045 - Recozido :190	80,00	1350	0,16		398	676	0,14	0,35	1	3,5	
11/ago	B	TNMG 220408-TF IC907	SAE 1020 / DIN ST52 - Recozido :125	120,00	800	0,17		318	531	0,15	0,40	1	4	
14/ago	C	TCMT 110204-SM IC907	SAE 1045 - Recozido :190	30,00	880	0,22		1061	1804	0,05	0,25	0,2	3	
14/ago	B	DGN 3102C IC908	SAE 1045 - Recozido :190	85,00	224	0,13		337	543	0,10	0,15	0,2	1	
14/ago	F	TNMG 220408-TF IC907	SAE 1045 - Recozido :190	100,00	112	0,30		318	541	0,15	0,40	1	4	
16/ago	I	TNMG 220408-TF IC907	SAE 1045 - Recozido :190	100,00	280	0,15		318	541	0,15	0,40	1	4	
16/ago	I	TNMG 220404-TF IC907	SAE 1045 - Recozido :190	100,00	450	0,15		318	541	0,14	0,35	1	3,5	
16/ago	I	RCMT 1204M0-14 IC907	SAE 1045 - Recozido :190	100,00	450	0,30		318	541	0,30	0,50	1,5	6	
16/ago	B	TNMG 160408-TF IC907	FoFo Nodular - ferrítico :160	45,00	335	0,21		212	990	0,12	0,30	1	3	
16/ago	I	TNMG 220408-TF IC907	SAE 1045 - Recozido :190	50,00	450	0,30		637	1082	0,15	0,40	1	4	
16/ago	I	N151.2-400-4E 4025	SAE 1045 - Recozido :190	30,00	140	0,30		1008	2865	0,10	0,30	0	0	
18/ago	C	DGN 3102C IC908	SAE 1045 - Recozido :190	60,00	530	0,16		477	769	0,10	0,15	0,2	1	
18/ago	B	TNMG 160408-TF IC907	SAE 4140 - Recozido :200	67,00	560	0,13		380	713	0,12	0,30	1	3	
18/ago	F	TNMG 220408-TF IC907	SAE 1045 TEMPERADO DE CROMADO - Temperado :560	400,00	22	0,15		16	72	0,15	0,40	1	4	
18/ago	C	TNMG 220408-TF IC907	SAE 1020 / DIN ST52 - Recozido :125	60,00	1350	0,16		637	1061	0,15	0,40	1	4	
22/ago	C	TNMG 220408-TF IC907	SAE 4340 / 8620 - temperado & revenido :275	105,00	355	0,41		212	394	0,15	0,40	1	4	
22/ago	C	TNMG 220408-TF IC907	SAE 4340 / 8620 - temperado & revenido :275	105,00	530	0,24		212	394	0,15	0,40	1	4	
22/ago	B	TNMG 160408-TF IC907	SAE 1045 - Recozido :190	21,00	450	0,09		1516	2577	0,12	0,30	1	3	
22/ago	E	TNMG 160408-TF IC907	SAE 4340 / 8620 - temperado & revenido :275	105,00	630	0,50		212	394	0,12	0,30	1	3	

6. CONCLUSÕES

Após o desenvolvimento deste trabalho, conclui-se que:

- O fator humano é uma variável importante no processo de produção. Empresas que utilizam essa mão de obra técnica devem sempre ter atenção especial para que os trabalhadores estejam conscientizados e trabalhando com a maior eficiência possível. Uma mão de obra qualificada e ciente de suas ações produz mais a um custo menor;
- O projeto desenvolvido neste trabalho conseguiu resultados satisfatórios que atenderam o propósito da empresa, visto que a usinagem é um processo relativamente dispendioso e qualquer redução em seu custo significa que os desperdícios foram reduzidos e, conseqüentemente, a margem de lucro no produto pode ser aumentada;
- A utilização do ciclo PDCA e do conceito de Produção Enxuta (*Lean*) são ideologias extremamente eficientes para diminuir custos de produção com pouco uso de investimentos e recursos. São excelentes quando aplicados, principalmente em empresas de pequeno e médio porte;
- A usinagem é um processo muito grande e pontos e parâmetros não abordados nesse trabalho ainda são oportunidades para conseguir melhorias significativas no processo;
- Como pôde ser observado, este trabalho não teve como foco uma análise do ganho financeiro gerado com seus resultados, constituindo uma ótima oportunidade para trabalhos futuros. Contudo, é evidente que o desenvolvimento deste projeto contribuiu para a redução de desperdícios e custos de produção.

7. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como sugestões para trabalhos futuros, pode-se sugerir:

- Realizar a continuidade do processo utilizando o ciclo PDCA para a análise de outros fatores (avanço e profundidade de corte, por exemplo) que influenciam na usinagem, de modo a sempre deixar o processo o mais ideal possível;
- Realizar a aplicação do método desenvolvido neste trabalho para a adequação da operação de fresamento que utiliza o homem como operador.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agostinetto, J. S. Sistematização do Processo de Desenvolvimento de Produtos, Melhoria Contínua e Desempenho: O Caso de uma Empresa de Autopeças. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos. 2006.

Andere, G. Implantação de técnicas de redução do tempo de setup e de sustentabilidade das melhorias obtidas: um caso de aplicação. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos. 2012.

Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT – “Aços Ferramenta” – NBR 6189, 1982.

Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT – “Conceitos da Técnica de Usinagem – Movimentos e Relações Geométricas” – NBR 6162, 1989.

CCPR-MG “<http://www.ccprmg.com.br/pagina/3105/ciclo-pdca--me-233-todo-de-geste-227-o-aplicado-emfazendas-leiteiras---kerlen-de-sousa-macedo.aspx>” acesso em 20/06/2019.

Cselle, T., “Carbide drills: at the peak of development? Ratio drills and their applications.”. 3rd ed, Guhring Company, 1998.

De Lacalle, Luis Norberto López, Lamikiz, Aitzol, Arana, Jose-Luis, 2002, “Improving the surface finish in high speed milling of stamping dies”. Journal of Materials Processing Technology, v. 123, n.2.

Diniz, A. E.; Marcondes, F. C.; Coppini, N. L., “Tecnologia da usinagem dos materiais.” 1ª ed. São Paulo: MM Editora, 1999.

Fermec, Ferramentas de usinagem, “<http://www.fermec.com.br/usinagem/ferramentas-torneamento.php>”, acessado em 31/01/2019.

Ferraresi, D., 1977, “Fundamentos da usinagem dos metais.” Editora Edgard Blucher Ltda, vol. 1, SP.

Ferraresi, D., 1981, “Fundamentos da usinagem dos metais.” Editora Edgard Blucher Ltda, vol. 1, SP.

Gopal S. U., 1998, “Cemented tungsten carbides production, properties, and testing.” kanpur, Índia: Noyes Publications.

Hibbeler, R. C., “Resistência dos Materiais”; tradução Joaquim Pinheiro Nunes; revisão técnica Wilson Carlos da Silva, 5ª edição, São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2004.

Hines, P.; Taylor, D. (2000) Going Lean. A guide to implementation. Lean Enterprise Research Center, Cariff, UK.

ISO 513:1975 – Application of carbides for machining by chip removal – Designation of the mains groups of chip removal and groups of application

Kalpakjian, S. e Schmid, S. R., 1995 “Manufacturing Processes For Engineering Materials”, 5th Edition - Prentice Hall.

König, W.; Klocke, F., “Fertigungsverfahren, Band 1: Drehen, Fräsen, Bohren.” 6ª edição. Berlin: Springer - Verlag, 1999.

Liker, J. K. (2005). O Modelo Toyota. Porto Alegre (RS): Editora Artmed.

Machado, A. R., Abrão, A. M., Coelho, R. T., Da Silva, M. B., 2011, “Teoria da Usinagem dos metais”, 2ª Edição, São Paulo – SP, Edgard Blucher.

Ohno, T. (2006) O Sistema Toyota de Produção: Além da produção em larga escala. Trad. Cristina Shumacher – Porto Alegre: Artes Médicas. Editora Bookman.

Sandvik Coromant, 1994, “Modern metal cutting: a practical handbook.” 1ª Edição. Suécia.

Sandvik Coromant “<https://www.sandvik.coromant.com/pt-pt/pages/default.aspx>” Acesso em 25/05/2019.

Schroeter, R.B. et al., 1999, “Estudo comparativo de desempenho de brocas DIN 338.” Florianópolis.

Shaw, M. C. et al, 1986 "Friction characteristics of sliding surfaces undergoing subsurface plastic flow". Treme of ASME. J Basic Eng., v. 82. "Metal cutting principles", Oxford Scieruific Publications, 1986.

Shima tools Ferramentas
 “<https://www.shimatools.com.br/informa%C3%A7%C3%B5es/classe-iso/>” acessado em 21/06/2019.

Shingo, S. (2005) O Sistema Toyota de Produção do ponto de vista da Engenharia de Produção. Trad. Eduardo Schaan – 2ª Ed. – Porto Alegre: Artes Médicas. Editora Bookman.

Stemmer, C. E., “Ferramentas de corte I.” 2ª ed. Florianópolis: Editora da UFSC, 2001.

Tönshoff, H. et al., “Machines of holes – developments in drilling technology.” Annals of CIRP, v. 43, 1994.

Trent, E. M., 2000, “Metal Cutting”, 4ª Edição, Butterworths, Londres. ISBN – 0.408.10856-8.

Uhlmann, E. et al., “Wear behavior of HFCVD-diamond coated carbide and ceramic tools.” Surface and coatings technology, 131, 2000.

Villarroel, J. C., “Análise comparativa entre furação com brocas para furos curtos de insertos reversíveis e brocas helicoidais.” 1991. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

Voitto – Escola de gestão “<https://www.voitto.com.br/blog/artigo/valor-agregado>” acesso em 10/06/2019.

World Tools Ferramentas <https://www.worldtools.com.br/produto/inserto-de-ceramica-tnga-160404-e040-cat30-korloy/2385>”, acessado em 15/06/2019.

APÊNDICE A – ESTUDO DAS PASTILHAS DE CORTE DA EMPRESA

- *DGN 3102C IC908*: Inseto de metal duro com revestimento de TiN usado para separar barras de metais duros e materiais de difícil usinagem (Tab. A1).

Tabela A1 – Velocidade de corte e material peça suportada pelo inserto DGN 3102C.

Pastilha	ISO	Material Comercial	VCmín. [m/min]	VCmáx. [m/min]
DGN 3102C IC908	P	SAE 1020 / DIN ST52	120	183
DGN 3102C IC908	P	SAE 1045	90	145
DGN 3102C IC908	P	SAE 1045 TT	73	118
DGN 3102C IC908	P	SAE 4140	80	133
DGN 3102C IC908	P	SAE 4340 / 8620	78	133
DGN 3102C IC908	P	SAE 4140 TT / 4340 TT / 8620 TT	70	115
DGN 3102C IC908	P	AISI 420	70	160
DGN 3102C IC908	M	AISI 304 / 316	55	140
DGN 3102C IC908	K	FoFo Nodular	110	135
DGN 3102C IC908	H	SAE 1045 TEMPERADO E CROMADO	25	33

- *16I/ERM G 60 IC908*: Inseto de metal duro com revestimento de TiN usado para rosqueamentos de perfil Interno/Externo Parcial de 60° para a indústria (Tab. A2).

Tabela A2 – Velocidade de corte e material peça suportada pelo inserto 16I/ERM G 60.

Pastilha	ISO	Material Comercial	VCmín. [m/min]	VCmáx. [m/min]
16IRM G 60 IC908	P	SAE 1020 / DIN ST52	87	166
16IRM G 60 IC908	P	SAE 1045	84	160
16IRM G 60 IC908	P	SAE 1045 TT	80	155
16IRM G 60 IC908	P	SAE 4140	92	140
16IRM G 60 IC908	P	SAE 4340 / 8620	85	128

16IRM G 60 IC908	P	SAE 4140 TT / 4340 TT / 8620 TT	74	119
16IRM G 60 IC908	P	AISI 420	86	130
16IRM G 60 IC908	M	AISI 304 / 316	78	122
16IRM G 60 IC908	K	FoFo Nodular	67	95
16IRM G 60 IC908	H	SAE 1045 TEMPERADO E CROMADO	32	47
16ERM G 60 IC908	P	SAE 1020 / DIN ST52	87	166
16ERM G 60 IC908	P	SAE 1045	84	160
16ERM G 60 IC908	P	SAE 1045 TT	80	155
16ERM G 60 IC908	P	SAE 4140	92	140
16ERM G 60 IC908	P	SAE 4340 / 8620	85	128
16ERM G 60 IC908	P	SAE 4140 TT / 4340 TT / 8620 TT	74	119
16ERM G 60 IC908	M	AISI 304 / 316	78	122
16ERM G 60 IC908	K	FoFo Nodular	67	95
16ERM G 60 IC908	H	SAE 1045 TEMPERADO E CROMADO	32	60

- *TNGA 160404T IN22*: Inserto de cerâmica de geometria T com aresta de corte reforçada, negativa e dupla para usinagem de ferro fundido (Tab. A3).

Tabela A3 – Velocidade de corte e material peça suportada pelo inserto TNGA 160404T.

Pastilha	ISO	Material Comercial	VCmín. [m/min]	VCmáx. [m/min]
TNGA 160404T IN22	H	SAE 1045 TEMPERADO E CROMADO	90	200

- *TNMG 160404-TF IC907 e TNMG 160408-TF IC907*: Inserto de metal duro com revestimento de TiAlN de aresta dupla, com ângulos de inclinação positivos para evitar endurecimento por trabalho mecânico. O ângulo de inclinação varia ao longo da aresta de corte para negativo de modo a

evitar o lascamento. Usado principalmente para o corte de aços carbono e de liga, aços inoxidáveis (Tabs. A4 e A5).

Tabela A.4 – Velocidade de corte e material peça suportada pelo inserto TNMG 160404-TF.

Pastilha	ISO	Material Comercial	VCmín. [m/min]	VCmáx. [m/min]
TNMG 160404-TF IC907	P	SAE 1020 / DIN ST52	120	200
TNMG 160404-TF IC907	P	SAE 1045	100	170
TNMG 160404-TF IC907	P	SAE 1045 TT	80	150
TNMG 160404-TF IC907	P	SAE 4140	80	150
TNMG 160404-TF IC907	P	SAE 4340 / 8620	70	130
TNMG 160404-TF IC907	P	SAE 4140 TT / 4340 TT / 8620 TT	50	100
TNMG 160404-TF IC907	P	AISI 420	170	265
TNMG 160404-TF IC907	M	AISI 304 / 316	100	280
TNMG 160404-TF IC907	K	FoFo Nodular	30	140
TNMG 160404-TF IC907	H	SAE 1045 TEMPERADO E CROMADO	20	90

Tabela A.5 – Velocidade de corte e material peça suportada pelo inserto TNMG 160408-TF.

Pastilha	ISO	Material Comercial	VCmín. [m/min]	VCmáx. [m/min]
TNMG 160408-TF IC907	P	SAE 1020 / DIN ST52	120	200
TNMG 160408-TF IC907	P	SAE 1045	100	170
TNMG 160408-TF IC907	P	SAE 1045 TT	80	150
TNMG 160408-TF IC907	P	SAE 4140	80	150
TNMG 160408-TF IC907	P	SAE 4340 / 8620	70	130
TNMG 160408-TF IC907	P	SAE 4140 TT / 4340 TT / 8620 TT	50	100
TNMG 160408-TF IC907	P	AISI 420	170	265
TNMG 160408-TF IC907	M	AISI 304 / 316	100	280
TNMG 160408-TF IC907	K	FoFo Nodular	30	140

TNMG 160408-TF IC907	H	SAE 1045 TEMPERADO E CROMADO	20	90
----------------------	---	------------------------------	----	----

- *TNMG 220404-TF IC907 e TNMG 220408-TF IC907*: Inseto de metal duro com revestimento de TiAlN de aresta dupla, com ângulos de inclinação positivos para evitar endurecimento por trabalho mecânico. O ângulo de inclinação varia ao longo da aresta de corte para negativo de modo a evitar o lascamento. Usado principalmente para o corte de aços carbono e de liga, aços inoxidáveis (Tab. A6 e A7).

Tabela A6 – Velocidade de corte e material peça suportada pelo inserto TNMG 220404-TF.

Pastilha	ISO	Material Comercial	VCmín. [m/min]	VCmáx. [m/min]
TNMG 220404-TF IC907	P	SAE 1020 / DIN ST52	120	200
TNMG 220404-TF IC907	P	SAE 1045	100	170
TNMG 220404-TF IC907	P	SAE 1045 TT	80	150
TNMG 220404-TF IC907	P	SAE 4140	80	150
TNMG 220404-TF IC907	P	SAE 4340 / 8620	70	130
TNMG 220404-TF IC907	P	SAE 4140 TT / 4340 TT / 8620 TT	50	100
TNMG 220404-TF IC907	P	AISI 420	170	265
TNMG 220404-TF IC907	M	AISI 304 / 316	100	280
TNMG 220404-TF IC907	K	FoFo Nodular	30	140
TNMG 220404-TF IC907	H	SAE 1045 TEMPERADO E CROMADO	20	90

Tabela A7 – Velocidade de corte e material peça suportada pelo inserto TNMG 220408-TF

Pastilha	ISO	Material Comercial	VCmín. [m/min]	VCmáx. [m/min]
TNMG 220408-TF IC907	P	SAE 1020 / DIN ST52	120	200
TNMG 220408-TF IC907	P	SAE 1045	100	170
TNMG 220408-TF IC907	P	SAE 1045 TT	80	150
TNMG 220408-TF IC907	P	SAE 4140	80	150
TNMG 220408-TF IC907	P	SAE 4340 / 8620	70	130
TNMG 220408-TF IC907	P	SAE 4140 TT / 4340 TT / 8620 TT	50	100
TNMG 220408-TF IC907	P	AISI 420	170	265
TNMG 220408-TF IC907	M	AISI 304 / 316	100	280
TNMG 220408-TF IC907	K	FoFo Nodular	30	140
TNMG 220408-TF IC907	H	SAE 1045 TEMPERADO E CROMADO	20	90

- *TNMG 160404-F3M IC6025 e TNMG 160408-M3M IC6025*: Insertos de metal duros triangulares de dupla face com revestimento de TiCN e cobertura de CVD Al₂O₃. Ângulo de ataque positivo promovendo baixas forças de corte. Utilizada para usinagem de aços com baixo teor de carbono e aços inoxidáveis (Tab. A8 e A9).

Tabela A8 – Velocidade de corte e material peça suportada pelo inserto TNMG 160404-F3M.

Pastilha	ISO	Material Comercial	VCmín. [m/min]	VCmáx. [m/min]
TNMG 160404-F3M IC6025	P	AISI 420	120	230
TNMG 160404-F3M IC6025	M	AISI 304 / 316	120	230

Tabela A9 – Velocidade de corte e material peça suportada pelo inserto TNMG 160408-M3M.

Pastilha	ISO	Material Comercial	VCmín. [m/min]	VCmáx. [m/min]
TNMG 160408-M3M IC6025	P	AISI 420	120	230
TNMG 160408-M3M IC6025	M	AISI 304 / 316	120	230

- *RCMX 120400 IC9250*: Pastilha de metal duro com alto teor de cobalto e revestimento de TiCN e CVD Al₂O₃ de aresta única. Usado para semidesbaste e desbaste (Tab. A10).

Tabela A10 – Velocidade de corte e material peça suportada pelo inserto RCMX 120400.

Pastilha	ISO	Material Comercial	VCmín. [m/min]	VCmáx. [m/min]
RCMX 120400 IC9250	P	SAE 1020 / DIN ST52	230	380
RCMX 120400 IC9250	P	SAE 1045	200	340
RCMX 120400 IC9250	P	SAE 1045 TT	170	300
RCMX 120400 IC9250	P	SAE 4140	170	300
RCMX 120400 IC9250	P	SAE 4340 / 8620	160	280
RCMX 120400 IC9250	P	SAE 4140 TT / 4340 TT / 8620 TT	120	220

- *VCMT 160404-SM IC907 e VCMT 160408-SM IC907*: Inserto de metal duro com revestimento de TiAlN, geometria rômbica de 35°, flanco positivo de 7°. Utilizada para semi-acabamento e acabamento (Tab. A11 e A12).

Tabela A11 – Velocidade de corte e material peça suportada pelo inserto VCMT 160404-SM.

Pastilha	ISO	Material Comercial	VCmín. [m/min]	VCmáx. [m/min]
VCMT 160404-SM IC907	P	SAE 1020 / DIN ST52	120	200
VCMT 160404-SM IC907	P	SAE 1045	100	170
VCMT 160404-SM IC907	P	SAE 1045 TT	80	150
VCMT 160404-SM IC907	P	SAE 4140	80	150
VCMT 160404-SM IC907	P	SAE 4340 / 8620	70	130
VCMT 160404-SM IC907	P	SAE 4140 TT / 4340 TT / 8620 TT	50	100
VCMT 160404-SM IC907	P	AISI 420	170	265
VCMT 160404-SM IC907	M	AISI 304 / 316	100	280
VCMT 160404-SM IC907	K	FoFo Nodular	30	140
VCMT 160404-SM IC907	H	SAE 1045 TEMPERADO E CROMADO	20	90

Tabela A12 – Velocidade de corte e material peça suportada pelo inserto VCMT 160408-SM.

Pastilha	ISO	Material Comercial	VCmín. [m/min]	VCmáx. [m/min]
VCMT 160408-SM IC907	P	SAE 1020 / DIN ST52	120	200
VCMT 160408-SM IC907	P	SAE 1045	100	170
VCMT 160408-SM IC907	P	SAE 1045 TT	80	150
VCMT 160408-SM IC907	P	SAE 4140	80	150
VCMT 160408-SM IC907	P	SAE 4340 / 8620	70	130
VCMT 160408-SM IC907	P	SAE 4140 TT / 4340 TT / 8620 TT	50	100
VCMT 160408-SM IC907	P	AISI 420	170	265
VCMT 160408-SM IC907	M	AISI 304 / 316	100	280
VCMT 160408-SM IC907	K	FoFo Nodular	30	140
VCMT 160408-SM IC907	H	SAE 1045 TEMPERADO E CROMADO	20	90

- *KNUX 160405 L/R11 IC9015*: Pastilhas de metal duro com alto teor de cobalto e revestimento de TiCN e CVD Al₂O₃ de geometria paralelogramo de 55°. Usado para perfilamento. Possui flanco negativo na aresta de corte e positivo na aresta estreita (Tab. A13).

Tabela A13 – Velocidade de corte e material peça suportada pelo inserto KNUX 160405 L/R11.

Pastilha	ISO	Material Comercial	VCmín. [m/min]	VCmáx. [m/min]
KNUX 160405 R11 IC9015	K	FoFo Cinzento	140	240
KNUX 160405 R11 IC9015	K	FoFo Nodular	250	300
KNUX 160405 L11 IC9015	K	FoFo Cinzento	140	240
KNUX 160405 L11 IC9015	K	FoFo Nodular	250	300

- *TCMT 110204-SM IC907*: Inserto de metal duro com revestimento de TiAlN de aresta única, para semi-acabamento e acabamento. Quebra cavaco em gamas moderadas de avanço. Inclinação positiva, para reduzir as forças de corte (Tab. A14).

Tabela A14 – Velocidade de corte e material peça suportada pelo inserto TCMT 110204-SM.

Pastilha	ISO	Material Comercial	VCmín. [m/min]	VCmáx. [m/min]
TCMT 110204-SM IC907	P	SAE 1020 / DIN ST52	120	200
TCMT 110204-SM IC907	P	SAE 1045	100	170
TCMT 110204-SM IC907	P	SAE 1045 TT	80	150
TCMT 110204-SM IC907	P	SAE 4140	80	150
TCMT 110204-SM IC907	P	SAE 4340 / 8620	70	130
TCMT 110204-SM IC907	P	SAE 4140 TT / 4340 TT / 8620 TT	50	100
TCMT 110204-SM IC907	P	AISI 420	170	265
TCMT 110204-SM IC907	M	AISI 304 / 316	100	280
TCMT 110204-SM IC907	K	FoFo Nodular	30	140
TCMT 110204-SM IC907	H	SAE 1045 TEMPERADO E CROMADO	20	90

- *RCMT 1204M0-14 IC907*: Insertos redondos de metal duro e revestimento de TiAlN com flanco positivo de 7 ° para perfil médio e acabamento (Tab. A15).

Tabela A15 – Velocidade de corte e material peça suportada pelo inserto RCMT 1204M0-14.

Pastilha	ISO	Material Comercial	VCmín. [m/min]	VCmáx. [m/min]
RCMT 1204M0-14 IC907	P	SAE 1020 / DIN ST52	120	200
RCMT 1204M0-14 IC907	P	SAE 1045	100	170
RCMT 1204M0-14 IC907	P	SAE 1045 TT	80	150
RCMT 1204M0-14 IC907	P	SAE 4140	80	150
RCMT 1204M0-14 IC907	P	SAE 4340 / 8620	70	130
RCMT 1204M0-14 IC907	P	SAE 4140 TT / 4340 TT / 8620 TT	50	100
RCMT 1204M0-14 IC907	P	AISI 420	170	265
RCMT 1204M0-14 IC907	M	AISI 304 / 316	100	280
RCMT 1204M0-14 IC907	K	FoFo Nodular	30	140

RCMT 1204M0-14 IC907	H	SAE 1045 TEMPERADO E CROMADO	20	90
----------------------	---	------------------------------	----	----

- *N151.2-400-4E 4025*: pastilha retangular para perfilamento e corte de metal duro com revestimento CVD TiCN + Al₂O₃ + TiN (Tab. A16).

Tabela A16 – Velocidade de corte e material peça suportada pelo inserto N151.2-400-4E 4025

Pastilha	ISO	Material Comercial	VCmín. [m/min]	VCmáx. [m/min]
N151.2-400-4E 4025	P	SAE 1020 / DIN ST52	95	270
N151.2-400-4E 4025	P	SAE 1045	95	270
N151.2-400-4E 4025	P	SAE 1045 TT	95	270
N151.2-400-4E 4025	P	SAE 4140	95	270
N151.2-400-4E 4025	P	SAE 4340 / 8620	95	270
N151.2-400-4E 4025	P	SAE 4140 TT / 4340 TT / 8620 TT	95	270
N151.2-400-4E 4025	P	AISI 420	95	270
N151.2-400-4E 4025	K	FoFo Nodular	75	200

- *N151.2-600-50-4P 1125*: pastilha com perfil arredondado para perfilamento e corte, de metal duro com revestimento PVD TiAlN (Tab. A17).

Tabela A17 – Velocidade de corte e material peça suportada pelo inserto N151.2-400-4E 4025

Pastilha	ISO	Material Comercial	VCmín. [m/min]	VCmáx. [m/min]
N151.2-600-50-4P 1125	P	SAE 1020 / DIN ST52	120	200
N151.2-600-50-4P 1125	P	SAE 1045	100	170
N151.2-600-50-4P 1125	P	SAE 1045 TT	80	150
N151.2-600-50-4P 1125	P	SAE 4140	80	150
N151.2-600-50-4P 1125	P	SAE 4340 / 8620	70	130
N151.2-600-50-4P 1125	P	SAE 4140 TT / 4340 TT / 8620 TT	50	100
N151.2-600-50-4P 1125	P	AISI 420	170	265

N151.2-600-50-4P 1125	M	AISI 304 / 316	100	280
N151.2-600-50-4P 1125	K	FoFo Nodular	30	140

APÊNDICE B – PLANILHA DE COMPARAÇÃO DE VELOCIDADES DE CORTE UTILIZADAS / IDEAIS

Entrada de dados										
Data	Operador	Pastilha	Material	Ø Peça (mm)	Rotação (RPM)	Vc (m/min) calculada	Rotação ideal		Vc Min (m/min)	Vc Max (m/min)
							Rot. Mín (RPM)	Rot. Máx (RPM)		
02/ago	B	TNMG 220408-TF IC907	SAE 1045 - Recozido :190	40,40	335	42,52	788	1339	100	170
02/ago	A	TNMG 220408-TF IC907	FoFo Nodular - ferrítico :160	288,00	67	60,62	33	155	30	140
02/ago	D	TNMG 220408-TF IC907	SAE 1045 - Recozido :190	180,00	270	152,68	177	301	100	170
02/ago	E	TNMG 160404-TF IC907	SAE 1045 - Recozido :190	225,00	125	88,36	141	241	100	170
10/ago	B	TNMG 160408-TF IC907	SAE 1020 / DIN ST52 - Recozido :125	102,00	140	44,86	374	624	120	200
10/ago	B	TNMG 160408-TF IC907	SAE 1020 / DIN ST52 - Recozido :125	102,00	224	71,78	374	624	120	200
10/ago	C	KNUX 160405 L11 IC9015	SAE 1045 - Recozido :190	40,00	880	110,58	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D
10/ago	C	TNMG 220404-TF IC907	SAE 1045 - Recozido :190	40,00	1350	169,65	796	1353	100	170
11/ago	D	KNUX 160405 L11 IC9015	SAE 4340 / 8620 - temperado & revenido :275	125,00	180	70,69	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D
11/ago	C	TNGA 160404T IN22	SAE 1045 TEMPERADO DE CROMADO - Temperado :560	76,00	355	84,76	377	838	90	200
11/ago	C	TNMG 220404-TF IC907	SAE 1045 - Recozido :190	80,00	1350	339,29	398	676	100	170
11/ago	B	TNMG 220408-TF IC907	SAE 1020 / DIN ST52 - Recozido :125	120,00	800	301,59	318	531	120	200
14/ago	C	TCMT 110204-SM IC907	SAE 1045 - Recozido :190	30,00	880	82,94	1061	1804	100	170
14/ago	C	16ERM G 60 IC908	SAE 1045 - Recozido :190	30,00	75	7,07	891	1698	84	160
14/ago	B	DGN 3102C IC908	SAE 1045 - Recozido :190	85,00	224	59,82	337	543	90	145
14/ago	A	TNMG 220408-TF IC907	SAE 1045 - Recozido :190	100,00	112	35,19	318	541	100	170
16/ago	D	TNMG 220408-TF IC907	SAE 1045 - Recozido :190	100,00	280	87,96	318	541	100	170
16/ago	D	TNMG 220404-TF IC907	SAE 1045 - Recozido :190	100,00	450	141,37	318	541	100	170
16/ago	D	RCMT 1204M0-14 IC907	SAE 1045 - Recozido :190	100,00	450	141,37	318	541	100	170
16/ago	B	TNMG 160408-TF IC907	FoFo Nodular - ferrítico :160	45,00	335	47,36	212	990	30	140
16/ago	D	16ERM G 60 IC908	SAE 1045 - Recozido :190	45,00	270	38,17	594	1132	84	160
16/ago	D	TNMG 220408-TF IC907	SAE 1045 - Recozido :190	50,00	450	70,69	637	1082	100	170
16/ago	D	N151.2-400-4E 4025	SAE 1045 - Recozido :190	30,00	140	13,19	1008	2865	95	270
18/ago	C	DGN 3102C IC908	SAE 1045 - Recozido :190	60,00	530	99,90	477	769	90	145
18/ago	B	TNMG 160408-TF IC907	SAE 4140 - Recozido :200	67,00	560	117,87	380	713	80	150
18/ago	A	TNMG 220408-TF IC907	SAE 1045 TEMPERADO DE CROMADO - Temperado :560	400,00	22	28,15	16	72	20	90

Entrada de dados										
Data	Operador	Pastilha	Material	Ø Peça (mm)	Rotação (RPM)	Vc (m/min) calculada	Rot. Mín (RPM)	Rot. Máx (RPM)	Vc Min (m/min)	Vc Max (m/min)
18/ago	C	TNMG 220408-TF IC907	SAE 1020 / DIN ST52 - Recozido :125	60,00	1350	254,47	637	1061	120	200
22/ago	C	TNMG 220408-TF IC907	SAE 4340 / 8620 - temperado & revenido :275	105,00	355	117,10	212	394	70	130
22/ago	C	TNMG 220408-TF IC907	SAE 4340 / 8620 - temperado & revenido :275	105,00	530	174,83	212	394	70	130
22/ago	B	TNMG 160408-TF IC907	SAE 1045 - Recozido :190	21,00	450	29,69	1516	2577	100	170
22/ago	B	16ERM G 60 IC908	SAE 1045 - Recozido :190	15,00	112	5,28	1783	3395	84	160
22/ago	E	TNMG 160408-TF IC907	SAE 4340 / 8620 - temperado & revenido :275	105,00	630	207,82	212	394	70	130
24/ago	C	TNMG 220404-TF IC907	SAE 4340 / 8620 - temperado & revenido :275	80,00	530	133,20	279	517	70	130
24/ago	C	TNMG 220404-TF IC907	SAE 4340 / 8620 - temperado & revenido :275	80,00	880	221,17	279	517	70	130
24/ago	C	TNMG 220404-TF IC907	SAE 1045 TT - temperado & revenido :250	105,00	400	131,95	243	455	80	150
24/ago	B	TNMG 220404-TF IC907	SAE 4340 / 8620 - temperado & revenido :275	630,00	630	1246,90	35	66	70	130
24/ago	B	DGN 3102C IC908	SAE 4340 / 8620 - temperado & revenido :275	105,00	160	52,78	236	403	78	133
28/ago	C	TNMG 220404-TF IC907	SAE 1020 / DIN ST52 - Recozido :125	12,00	880	33,18	3183	5305	120	200
28/ago	E	TNMG 160408-TF IC907	AISI 420 - ferrítico/ martensítico :200	60,00	400	75,40	902	1406	170	265
28/ago	C	TNMG 220404-TF IC907	SAE 1045 TEMPERADO DE CROMADO - Temperado :560	20,00	880	55,29	318	1432	20	90
28/ago	C	DGN 3102C IC908	SAE 1045 TEMPERADO DE CROMADO - Temperado :560	12,00	530	19,98	663	875	25	33
28/ago	B	TNMG 220404-TF IC907	FoFo Nodular - ferrítico :160	40,00	335	42,10	239	1114	30	140
30/ago	B	TNMG 160404-TF IC907	SAE 4340 / 8620 - temperado & revenido :275	76,00	560	133,71	293	544	70	130
30/ago	B	N151.2-600-50-4P 1125	SAE 4340 / 8620 - temperado & revenido :275	56,00	560	98,52	398	739	70	130
30/ago	C	TNMG 220404-TF IC907	SAE 4340 / 8620 - temperado & revenido :275	35,00	530	58,28	637	1182	70	130
30/ago	C	TNMG 220404-TF IC907	SAE 1045 - Recozido :190	45,00	880	124,41	707	1203	100	170
30/ago	D	TNMG 220408-TF IC907	AISI 304 / 316 - austenítico :180	90,00	180	50,89	354	990	100	280
30/ago	D	N151.2-400-4E 4025	AISI 304 / 316 - austenítico :180	90,00	140	39,58	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D
30/ago	B	TNMG 160404-TF IC907	SAE 4340 / 8620 - temperado & revenido :275	53,00	140	23,31	420	781	70	130
04/ago	B	DGN 3102C IC908	AISI 420 - ferrítico/ martensítico :200	30,00	630	59,38	743	1698	70	160
04/ago	B	VCMT 160408-SM IC907	AISI 420 - ferrítico/ martensítico :200	30,00	630	59,38	1804	2812	170	265
04/ago	B	TNMG 220408-TF IC907	AISI 420 - ferrítico/ martensítico :200	30,00	1000	94,25	1804	2812	170	265

Data	Operador	Pastilha	Material	Entrada de dados				Rotação ideal		Vc Max (m/min)
				Ø Peça (mm)	Rotação (RPM)	Vc (m/min) calculada	Rot. Mín (RPM)	Rot. Máx (RPM)	Vc Min (m/min)	
04/ago	C	TCMT 110204-SM IC907	SAE 4140 - Recozido :200	40,00	880	110,58	637	1194	80	150
05/ago	C	TNMG 220408-TF IC907	SAE 4140 - Recozido :200	40,00	880	110,58	637	1194	80	150
08/set	B	TNMG 220408-TF IC907	SAE 1045 - Recozido :190	200,00	250	157,08	159	271	100	170
08/set	B	N151.2-600-50-4P 1125	SAE 1045 - Recozido :190	200,00	250	157,08	159	271	100	170
14/set	B	TNMG 220408-TF IC907	SAE 1045 TT - temperado & revenido :250	80,00	400	100,53	318	597	80	150
14/set	G	TNMG 220408-TF IC907	SAE 1020 / DIN ST52 - Recozido :125	300,00	122	114,98	127	212	120	200
14/set	F	TNMG 220408-TF IC907	SAE 1045 TEMPERADO DE CROMADO - Temperado :560	400,00	16	20,11	24	72	30	90
15/set	C	TNMG 220404-TF IC907	SAE 1045 - Recozido :190	63,00	530	104,90	505	859	100	170
15/set	D	TNMG 220408-TF IC907	FoFo Nodular - ferrítico :160	130,00	90	36,76	73	343	30	140
19/set	B	TNMG 220408-TF IC907	SAE 1020 / DIN ST52 - Recozido :125	20,00	630	39,58	1910	3183	120	200
19/set	C	16ERM G 60 IC908	SAE 1045 - Recozido :190	12,00	235	8,86	2228	4244	84	160
19/set	B	TNMG 220408-TF IC907	SAE 4340 / 8620 - temperado & revenido :275	95,00	400	119,38	235	436	70	130
19/set	B	TNMG 160404-TF IC907	SAE 1045 - Recozido :190	20,00	560	35,19	1592	2706	100	170
22/set	F	KNUX 160405 L11 IC9015	SAE 1020 / DIN ST52 - Recozido :125	255,00	63	50,47	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D
22/set	B	TNMG 160404-TF IC907	FoFo Nodular - ferrítico :160	120,00	90	33,93	80	371	30	140
22/set	D	VCMT 160404-SM IC907	SAE 1045 - Recozido :190	165,00	180	93,31	193	328	100	170
26/set	C	KNUX 160405 L11 IC9015	FoFo Nodular - ferrítico :160	150,00	355	167,29	531	637	250	300
26/set	B	TNMG 160404-TF IC907	SAE 4340 / 8620 - temperado & revenido :275	55,00	224	38,70	405	752	70	130
26/set	B	TNMG 160408-TF IC907	SAE 4340 / 8620 - temperado & revenido :275	230,00	224	161,85	97	180	70	130
28/set	B	TNMG 160408-TF IC907	FoFo Nodular - ferrítico :160	85,00	90	24,03	112	524	30	140
28/set	C	TNMG 220404-TF IC907	SAE 1045 TEMPERADO DE CROMADO - Temperado :560	130,00	880	359,40	49	220	20	90
28/set	F	TNMG 220408-TF IC907	SAE 1045 TEMPERADO DE CROMADO - Temperado :560	65,00	250	51,05	98	441	20	90
28/set	D	KNUX 160405 L11 IC9015	SAE 1045 - Recozido :190	95,00	215	64,17	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D
28/set	C	TNMG 220404-TF IC907	SAE 1020 / DIN ST52 - Recozido :125	25,00	880	69,12	1528	2546	120	200
28/set	G	TNMG 220408-TF IC907	SAE 1045 - Recozido :190	270,00	112	95,00	118	200	100	170
29/set	C	DGN 3102C IC908	SAE 4340 / 8620 - temperado & revenido :275	20,00	1350	84,82	1241	2117	78	133

Entrada de dados										
Data	Operador	Pastilha	Material	∅ Peça (mm)	Rotação (RPM)	Vc (m/min) calculada	Rot. Mín (RPM)	Rot. Máx (RPM)	Vc Min (m/min)	Vc Max (m/min)
29/set	B	TNMG 220404-TF IC907	FoFo Nodular - ferrítico :160	60,00	335	63,15	159	743	30	140
29/set	C	KNUX 160405 L11 IC9015	AISI 304 / 316 - austenítico :180	38,00	530	63,27	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D
03/out	B	TNMG 160408-TF IC907	FoFo Nodular - ferrítico :160	75,00	224	52,78	127	594	30	140
03/out	C	TNMG 220408-TF IC907	SAE 1045 TEMPERADO DE CROMADO - Temperado :560	55,00	880	152,05	116	521	20	90
03/out	F	TNMG 220408-TF IC907	SAE 1045 TEMPERADO DE CROMADO - Temperado :560	70,00	500	109,96	91	409	20	90
03/out	G	KNUX 160405 L11 IC9015	FoFo Nodular - ferrítico :160	285,00	112	100,28	279	335	250	300
03/out	B	TNMG 160408-TF IC907	SAE 4140 - Recozido :200	58,00	450	82,00	439	823	80	150
04/out	C	TNMG 220404-TF IC907	SAE 1020 / DIN ST52 - Recozido :125	15,00	1350	63,62	2546	4244	120	200
04/out	C	DGN 3102C IC908	SAE 1020 / DIN ST52 - Recozido :125	15,00	630	29,69	2546	3883	120	183
04/out	B	TNMG 220404-TF IC907	SAE 1045 - Recozido :190	105,00	90	29,69	303	515	100	170
04/out	C	TNMG 220408-TF IC907	SAE 1020 / DIN ST52 - Recozido :125	150,00	850	400,55	255	424	120	200
04/out	D	TNMG 220408-TF IC907	SAE 1045 TT - temperado & revenido :250	160,00	215	108,07	159	298	80	150
05/out	D	KNUX 160405 L11 IC9015	SAE 1045 - Recozido :190	121,00	140	53,22	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D
05/out	G	TNMG 220408-TF IC907	SAE 1045 - Recozido :190	270,00	112	95,00	118	200	100	170
05/out	F	TNMG 220408-TF IC907	SAE 1045 TEMPERADO DE CROMADO - Temperado :560	210,00	250	164,93	30	136	20	90
05/out	E	TNMG 160408-TF IC907	AISI 420 - ferrítico/ martensítico :200	60,00	400	75,40	902	1406	170	265
05/out	B	TNMG 160408-TF IC907	SAE 1020 / DIN ST52 - Recozido :125	100,00	224	70,37	382	637	120	200
05/out	C	16ERM G 60 IC908	SAE 1045 - Recozido :190	12,00	235	8,86	2228	4244	84	160
05/out	B	TNMG 160408-TF IC907	FoFo Nodular - ferrítico :160	45,00	335	47,36	212	990	30	140
06/out	B	TNMG 160408-TF IC907	SAE 1020 / DIN ST52 - Recozido :125	55,00	335	57,88	694	1157	120	200
06/out	D	TNMG 220408-TF IC907	FoFo Nodular - ferrítico :160	220,00	112	77,41	43	203	30	140
06/out	C	16ERM G 60 IC908	SAE 1020 / DIN ST52 - Recozido :125	5,00	235	3,69	5539	10568	87	166
06/out	E	DGN 3102C IC908	SAE 1045 - Recozido :190	10,00	200	6,28	2865	4615	90	145
06/out	B	TNMG 160408-TF IC907	SAE 1020 / DIN ST52 - Recozido :125	20,00	335	21,05	1910	3183	120	200
06/out	E	TNMG 220404-TF IC907	SAE 1045 - Recozido :190	10,00	200	6,28	3183	5411	100	170
06/out	A	TNMG 160408-TF IC907	SAE 1045 - Recozido :190	120,00	300	113,10	265	451	100	170

Entrada de dados										
Data	Operador	Pastilha	Material	Ø Peça (mm)	Rotação (RPM)	Vc (m/min) calculada	Rot. Mín (RPM)	Rot. Máx (RPM)	Vc Min (m/min)	Vc Max (m/min)
07/out	E	TCMT 110204-SM IC907	SAE 4140 - Recozido :200	210,00	125	82,47	121	227	80	150
07/out	F	N151.2-400-4E 4025	SAE 1020 / DIN ST52 - Recozido :125	175,00	250	137,44	173	491	95	270
07/out	A	TNMG 220408-TF IC907	SAE 4340 / 8620 - temperado & revenido :275	500,00	22	34,56	45	83	70	130
09/out	G	N151.2-600-50-4P 1125	SAE 4140 - Recozido :200	200,00	300	188,50	127	239	80	150
09/out	F	TNMG 220404-TF IC907	AISI 304 / 316 - austenítico :180	180,00	500	282,74	177	495	100	280
09/out	E	TNMG 160408-TF IC907	SAE 1020 / DIN ST52 - Recozido :125	100,00	400	125,66	382	637	120	200
09/out	A	TNMG 220404-TF IC907	SAE 1045 TEMPERADO DE CROMADO - Temperado :560	300,00	112	105,56	21	95	20	90
10/out	G	RCMX 120400 IC9250	SAE 1020 / DIN ST52 - Recozido :125	275,00	300	259,18	266	440	230	380
10/out	F	VCMT 160404-SM IC907	SAE 1045 TT - temperado & revenido :250	230,00	250	180,64	111	208	80	150
10/out	A	TNGA 160404T IN22	SAE 1045 TEMPERADO DE CROMADO - Temperado :560	220,00	112	77,41	130	289	90	200
11/out	G	TNMG 220404-TF IC907	SAE 1045 TT - temperado & revenido :250	215,00	122	82,40	118	222	80	150
11/out	F	TNMG 220404-TF IC907	SAE 4140 - Recozido :200	400,00	63	79,17	64	119	80	150
11/out	A	TNMG 220408-TF IC907	SAE 1045 TT - temperado & revenido :250	400,00	22	27,65	64	119	80	150
12/out	G	DGN 3102C IC908	SAE 1045 - Recozido :190	295,00	112	103,80	97	156	90	145
12/out	F	TNMG 220408-TF IC907	SAE 1045 - Recozido :190	215,00	250	168,86	148	252	100	170
13/out	F	TNMG 160408-TF IC907	SAE 1045 TT - temperado & revenido :250	100,00	500	157,08	255	477	80	150
13/out	A	TNMG 160408-TF IC907	SAE 4340 / 8620 - temperado & revenido :275	155,00	67	32,63	144	267	70	130
13/out	F	VCMT 160404-SM IC907	SAE 1020 / DIN ST52 - Recozido :125	130,00	500	204,20	294	490	120	200
13/out	G	TNMG 160408-TF IC907	AISI 420 - ferrítico/ martensítico :200	495,00	112	174,17	109	170	170	265
16/out	E	RCMX 120400 IC9250	SAE 1045 - Recozido :190	150,00	400	188,50	424	722	200	340
16/out	A	TNMG 220408-TF IC907	SAE 4340 / 8620 - temperado & revenido :275	100,00	67	21,05	223	414	70	130
16/out	F	TNGA 160404T IN22	SAE 1045 TEMPERADO DE CROMADO - Temperado :560	430,00	63	85,11	67	148	90	200
16/out	G	TNMG 160404-TF IC907	SAE 1020 / DIN ST52 - Recozido :125	335,00	122	128,40	114	190	120	200
17/out	A	TNGA 160404T IN22	SAE 1045 TEMPERADO DE CROMADO - Temperado :560	400,00	16	20,11	72	159	90	200
17/out	G	TNMG 220408-TF IC907	SAE 1045 TT - temperado & revenido :250	240,00	112	84,45	106	199	80	150
18/out	G	TCMT 160408-SM IC907	SAE 1045 TEMPERADO DE CROMADO - Temperado :560	120,00	300	113,10	53	239	20	90