

CENTRO UNIVERSITARIO ASSIS GURGACZ

PAULO SÉRGIO DE MARCHI

**VIABILIDADE ECONÔMICA DO EMPREGO DE FRESAS DE TOPO DE METAL
DURO E DE AÇO RÁPIDO**

**CASCADEL - PR
2018**

CENTRO UNIVERSITARIO ASSIS GURGACZ

PAULO SÉRGIO DE MARCHI

**VIABILIDADE ECONÔMICA DO EMPREGO DE FRESAS DE TOPO DE METAL
DURO E DE AÇO RÁPIDO**

Trabalho apresentado à disciplina TCC
II – Projeto como requisito parcial para
obtenção da aprovação semestral no
Curso de Engenharia Mecânica pelo
Centro Universitário Assis Gurgacz.

Professor (a) Orientador (a):
Geovane Duarte Pinheiro

**CASCATEL - PR
2018**

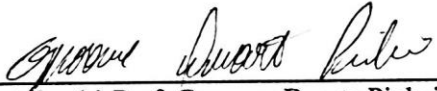
CENTRO UNIVERSITARIO ASSIS GURGACZ

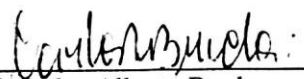
PAULO SÉRGIO DE MARCHI

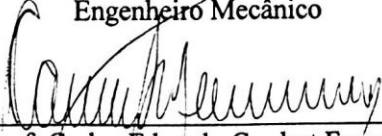
**VIABILIDADE ECONÔMICA DO EMPREGO DE FRESAS DE TOPO DE METAL
DURO E DE AÇO RÁPIDO**

Trabalho apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica, sob orientação do Professor Geovane Duarte Pinheiro.

BANCA EXAMINADORA


Orientador (a) Prof: Geovane Duarte Pinheiro
Faculdade Assis Gurgacz – FAG
Engenheiro de Controle e Automação


Prof: Carlos Alberto Breda
Faculdade Assis Gurgacz – FAG
Engenheiro Mecânico


Prof: Carlos Eduardo Goulart Ferreira
Faculdade Assis Gurgacz – FAG
Engenheiro Mecânico

Cascavel, 04 de dezembro de 2018

DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho à minha família e amigos que sempre me deram apoio durante esta caminhada, em especial aos meus pais Sérgio Pedro De Marchi e Salete Slongo De Marchi, e a Deus por sempre ter me guiado e iluminado meus caminhos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais Sérgio e Salete por sempre estar ao meu lado me motivando.

Agradeço a Deus por guiar meu caminho, dando forças para não desistir e iluminando nas minhas decisões.

Quero agradecer também ao meu Orientador, Professor Geovane Duarte Pinheiro, que sempre me ajudou quando solicitado, dedicando um pouco do seu tempo me auxiliando na conclusão deste trabalho.

Em agradecimento também a todos os outros mestres do curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário Fundação Assis Gurgacz, que transmitiram um pouco do seu conhecimento e experiências.

Agradeço também a todos os amigos e agora colegas de profissão que pude conhecer durante estes anos de estudos.

RESUMO

O referido trabalho traz uma avaliação técnica sobre a viabilidade econômica do emprego de fresas topo de metal duro e de aço rápido no processo de fresamento de topo de um material específico (aço ABNT 1045), o que se impacta positivamente diretamente na produtividade, tanto de pequenas como de médias e grandes empresas ou indústrias. Foram realizados dois processos idênticos, variando apenas a velocidade de avanço, de acordo com cada ferramenta em estudo, mantendo constante a velocidade de corte e a profundidade de corte, diferenciando assim os tempos do processo. O fresamento do aço ABNT 1045 vem ganhando espaço no cenário industrial por permitir que as peças usinadas sejam obtidas com ferramentas com o custo consideravelmente baixo. No entanto é de suma importância que o procedimento de usinagem seja bem planejado, objetivando uma ótima qualidade final das peças usinadas e, principalmente, amenizando os desgastes ocorridos nas ferramentas (fresas), conseguindo bons índices de produtividade sem que haja ocorrências de retrabalhos. Para isso sempre se busca uma combinação eficiente dos parâmetros de usinagem, profundidade de corte, velocidade de avanço e velocidade de corte. O resultado final alcançado foi de que, mesmo com um preço de aquisição maior, a melhor viabilidade econômica foi a da fresa de topo de metal duro, devido ao seu melhor índice de produtividade.

Palavras-chave: Fresamento. Metal Duro. Aço Rápido.

ABSTRACT

This work exhibits a technical evaluation about the economic viability of the use of carbide top milling cutters and high speed steel in the top milling process of a specific material (ABNT 1045 steel), which has a positive impact on the productivity of medium and large companies or industries. Two identical processes were performed, varying only the speed of advance, according to each studied tool, keeping constant the cutting speed and the depth of cut, therefore the process times were changed. The milling of ABNT 1045 steel has been gaining ground in the industrial scenario because it allows the machined parts to be obtained with tools with a very low cost. However, the machining procedure needs to be planned, aiming at an excellent final quality of the machined parts and, mainly, reducing wastage on tools (milling cutters), achieving good productivity rates without reworking occurrences. For this, it is necessary an efficient combination of the machining parameters, cutting depth, speed of advance and cutting speed. The final result was that, even with a higher purchase price, the best economic viability was the carbide top milling cutters due to its better productivity index.

KEYWORDS: Milling; Carbide; High Speed Steel;

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fresadora Clever 4VS.....	21
Figura 2 - Setup RPM máquina	24
Figura 3 - Setup profundidade de corte.	24
Figura 4 - Gráfico com os tempos	26
Figura 5 - Corpos de prova usinados	27
Figura 6 - Desgaste das fresas	29

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Parâmetros de usinagem	22
Tabela 2 - Valores fresas	23
Tabela 3 - Tempos aço rápido	25
Tabela 4 - Tempos metal duro.....	25
Tabela 5 - Tempos para 1 metro	26
Tabela 6 - Velocidades em m/s.....	27
Tabela 7 - Velocidades em m/h	28

LISTA DE ABREVIações E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

RPM – Rotações Por Minuto

EUA – Estados Unidos da América

WC – Carbetto de Tungstênio

TaC – Carbetto de Tântalo

MoC – Carbetto de Molibdênio

NbC – Carbetto de Nióbio

TiC – Carbetto de Titânio

HSS – *High-speed steel*

ISO – *International Organization for Standardization*

mm - milímetros

m/s – metros por segundo

m/h – metros por hora

EPI's – Equipamentos de Proteção Individual

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	12
1.1 OBJETIVOS	12
1.1.1 Objetivo geral	12
1.1.2 Objetivos específicos.....	12
1.2 JUSTIFICATIVA	12
1.3 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA	14
1.4 CARACTERIZAÇÃO DAS HIPÓTESES.....	14
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1 FRESAMENTO	15
2.2 AÇO RÁPIDO.....	16
2.3 METAL DURO	17
2.4 VIABILIDADE ECONÔMICA	18
2.5 DESGASTE DA FERRAMENTA DE CORTE	19
2.6 PRODUTIVIDADE	19
3 METODOLOGIA.....	20
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	23
4.1 LEVANTAMENTO DE CUSTOS DAS FRESAS.....	23
4.2 EXECUÇÃO DOS PROCEDIMENTOS	23
4.3 AVALIAÇÃO DA PRODUTIVIDADE	27
4.4 AVALIAÇÃO DO DESGASTE DAS FERRAMENTAS	28
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	30
6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	31
7 REFERÊNCIAS.....	32

1 INTRODUÇÃO

O trabalho apresenta, de forma sucinta, o que seria o processo de usinagem conhecido como fresamento e sobre duas das ferramentas mais empregadas atualmente para tal processo, aço rápido e metal duro.

O material especificado para o trabalho é o aço ABNT 1045, segundo BRITO (2012) o fresamento do aço ABNT 1045 vem ganhando destaque, no meio industrial, nos últimos anos, por permitir que as peças usinadas sejam obtidas com ferramentas de baixo custo. No entanto, visando garantir a qualidade final dos produtos, é importante que o procedimento de usinagem por fresamento seja bem planejado, para que as fresas tenham desgastes amenizados no decorrer do processo, apresentando ao mesmo tempo bons índices de produtividade e ocorrência nula de retrabalho em peças.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Avaliar a viabilidade econômica do emprego de fresas de metal duro e de aço rápido no processo de fresamento de topo.

1.1.2 Objetivos específicos

- Estipular a combinação eficiente dos parâmetros de usinagem, sendo eles, velocidade de corte, profundidade de corte, velocidade de avanço dos processos.
- Efetuar os devidos processos de usinagem com cada uma das fresas na barra de aço ABNT 1045, cronometrando os devidos tempos.
- Comparar a produtividade, tempo de processo para cada um dos dois materiais de fresas utilizados, aço rápido e metal duro, com o seu custo de aquisição.
- Averiguar o nível de desgaste e avarias sofridas e conferir se o mesmo é condizente com o processo.

1.2 JUSTIFICATIVA

Este estudo visa trazer um conhecimento sobre qual a melhor viabilidade econômica no processo de fresamento de topo com fresa de aço rápido e metal duro. Qual têm melhores

velocidades de avanço e profundidades de corte, podendo assim acelerar o processo sem comprometer a própria ferramenta. Deste modo, otimizando o processo e objetivando o menor tempo possível de usinagem, conservação da ferramenta e qualidade do procedimento.

Reduzindo o tempo de usinagem pode-se obter um maior rendimento financeiro, tanto para pequenas empresas quanto, principalmente, para grandes indústrias. Desta maneira ou é possível aumentar a quantidade de peças fabricadas ou diminuir a carga horária da máquina.

Fresamento é um processo de usinagem no qual a remoção do material da peça se realiza de modo intermitente, pelo movimento rotativo da ferramenta, geralmente multicortante, denominada fresa. A peça movimenta-se com uma velocidade de avanço em relação à fresa. Uma característica do processo é que cada gume da fresa remove uma porção de material da peça na forma de pequenos cavacos individuais. As aplicações do processo incluem superfícies planas, contornos, rasgos, ranhuras, cavidades e roscas, entre outras.

Os métodos de fresamento podem ser divididos em dois grupos principais: periférico ou tangencial e frontal ou plano. Outros métodos de fresamento que existem podem ser considerados variações desses dois e depende do tipo de peça e ferramenta utilizados. (POLLI, Milton Luiz, 2005, p.37)

Em meados de 1899, Frederick Taylor e Maunsel White, trabalhando na Bethlehem Steel, Pennsylvania, EUA, fizeram extensivos testes com os melhores aços ferramenta, aquecendo-os a temperaturas muito mais altas do que as utilizadas na indústria. Taylor elaborou estudos para determinação das velocidades e profundidades de corte da usinagem de metais.

O aço rápido revolucionou a prática de usinagem naquela época, dando um grande aumento na produtividade. As velocidades de corte puderam ser aumentadas em uma ordem de grandeza: de 3 a 5 m/min com ferramentas de aço carbono para 30 a 35 m/min com os aços rápidos. Exatamente por isso, estes aços levaram este nome (CHIAVERINI apud POLLI).

Metal duro é o nome dado a um compósito de carbetto de tungstênio desenvolvido na Alemanha em 1923 por Karl Schröter, frente a necessidade na época de materiais com alta resistência ao desgaste, alta dureza e boa tenacidade. Este material que possui como carbetto principal o WC (carbetto de tungstênio) foi usado primeiramente como matriz para processamento do filamento de lâmpadas incandescentes, porém seu potencial como ferramenta de corte foi logo conhecido.

O metal duro é um compósito que consiste em uma fase dura, que possui alta dureza, resistência mecânica e uma fase ligante que confere tenacidade e plasticidade ao material. A fase dura consiste em grãos de carbetto de tungstênio (WC), elemento principal, mas em

algumas aplicações são adicionadas pequena quantidade de carbeto refratários, tais como: TaC (Carbeto de tântalo), MoC (Carbeto de Molibdênio), NbC (carbeto de Nióbio), ou TiC (carbeto de titânio) para melhorar a dureza a quente e a resistência ao desgaste. A fase ligante consiste de cobalto ou níquel, mas também pode ser substituída por ferro. (C. S. Torres, L. Schaeffer, 2009, p.2).

1.3 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

Como avaliar a viabilidade econômica do fresamento de topo com o emprego de fresas de metal duro e de aço rápido?

1.4 CARACTERIZAÇÃO DAS HIPÓTESES

H_0 – Não há possibilidade de se fazer uma avaliação da viabilidade econômica do emprego de fresas de metal duro e de aço rápido no processo de fresamento de topo.

H_1 – Existe sim a possibilidade de se fazer uma avaliação da viabilidade econômica do emprego de fresas de metal duro e de aço rápido no processo de fresamento de topo.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 FRESAMENTO

Segundo BRITO (2012), dentre os processos de usinagem, pode-se dizer que o fresamento, ainda que complexo, é um dos processos de usinagem com maior emprego na indústria, devido a algumas das suas características como a alta taxa de remoção de material e produção de formas com boa precisão dimensional e geométrica, sendo utilizado na produção de superfícies planas, contornos, ranhuras, cavidades, entre outras.

Sobre o processo de fresamento POLLI (2005), explica que o fresamento é um processo de usinagem no qual a remoção do material da peça se realiza de modo intermitente, pelo movimento rotativo da ferramenta, geralmente multicortante, denominada fresa. A fresa é provida de arestas cortantes dispostas simetricamente ao redor do seu eixo. A peça movimenta-se com uma velocidade de avanço em relação à fresa. Uma característica do processo é que cada gume da fresa remove uma porção de material da peça na forma de pequenos cavacos individuais. O movimento de avanço é geralmente feito pela própria peça em processo de usinagem, que está fixada na mesa da máquina, a qual obriga a peça a passar sob a ferramenta em rotação, o que lhe dá forma e a dimensão desejada.

POLLI (2005), faz uma divisão sobre os métodos de fresamento, dividindo em dois grupos principais, periférico ou tangencial e frontal ou plano. Outros métodos de fresamento que existem podem ser considerados variações desses dois e depende do tipo de peça e ferramenta utilizados.

Sobre o processo SOUTO (2005), complementa que, alguns pré-requisitos devem ser levados em consideração para a utilização deste processo, dentre eles, um é fundamental: o fresamento requer uma máquina-ferramenta que apresente alta rigidez, pois durante o processo de corte há uma grande flutuação de cargas mecânicas (característica do corte interrompido). Esta variação de cargas que ocorre durante o corte se deve ao impacto de cada uma de suas arestas ao entrar em contato com o material e durante o período que estas estiverem cortando. Este período é denominado fase ativa. Assim que a ferramenta sai do material, há uma queda brusca da carga a que a ferramenta está submetida. Esta fase é denominada inativa e não há remoção do material.

SOUTO (2005), também explana sobre um problema ocorrente no processo de fresamento, ele fala, estas grandes variações de cargas mecânicas que ocorrem nas fases (ativa e inativa) propiciam o aparecimento de elevados ciclos térmicos de aquecimento e

resfriamento. Durante o corte, a ferramenta fica submetida a elevadas temperaturas, que são rapidamente atingidas. Mas, durante a fase inativa, a ferramenta também é submetida a um rápido resfriamento. Este agressivo ciclo térmico pode gerar na ferramenta trincos perpendiculares à aresta de corte, fragilizando-a diante das intensas solicitações mecânicas sofridas durante o corte. Lembrando que este é um ponto importante a ser levado em consideração para a execução deste referido trabalho, pois como visa estabelecer uma viabilidade econômica de fresas de dois materiais diferentes, em ambas as usinagens os parâmetros de lubrificação e refrigeração do processo deverão ser os mesmos, só assim podendo ter um resultado mais concretos, claros, objetivos e justos, sem pender para nenhum dos dois casos.

2.2 AÇO RÁPIDO

A respeito do aço rápido JESUS (2004), apresenta como, o aço rápido, do inglês “*high-speed steel*” (HSS), é um dos diversos materiais de que se pode fazer uso para obtenção de ferramentas de usinagem. Tem sua origem nos trabalhos pioneiros de Fred W. Taylor no início do século XX (1903), com o desenvolvimento de que seria um protótipo dos modernos aços rápidos existentes. A designação “aço rápido” se deve ao fato de na época do seu desenvolvimento, ter proporcionado um aumento significativo nos valores de velocidade de corte utilizados até então em relação a outros materiais de ferramenta existentes, assim como, pela característica de manter elevadas durezas (65-70 HRC (HR, dureza Rockwell, C corresponde ao tipo de penetrador utilizado no ensaio, no caso, cone de diamante)) quando utilizado no corte rápido dos metais.

Outra importante particularidade dos aços rápidos, além de propiciar dureza elevada após tratamento térmico, é a capacidade de conservar durezas elevadas mesmo quando submetidos a temperaturas de até 600 °C (por exemplo em temperaturas de 593 °C). Este fato habilita os aços rápidos como matéria-prima para a confecção de ferramentas de corte, tais como fresas, brocas, ferramentas de torneamento, serras, machos e cossinetes para roscar, alargadores e escareadores, além de matrizes para estampagem, prensagem e forjamento que necessitem de elevada resistência ao desgaste.

A microestruturas destes materiais é composta basicamente por carbonetos primários, cuja função é fornecer proteção contra o desgaste abrasivo, e uma matriz de martensita revenida reforçada por carbonetos finamente dispersos precipitados durante o revenido, num

processo onde ocorre o endurecimento secundário, e cuja função é reter os carbonetos primários, mesmo sob as altas temperaturas e tensões cisalhantes criadas na interface entre a aresta de corte das ferramentas e o material que está sendo trabalhado na usinagem.

Ainda continua JESUS (2004), desde a sua descoberta no início do século XX, o aço rápido tem sido o material padrão mais utilizado para a fabricação de ferramentas de usinagem. Isto é devido a sua elevada dureza associada a alta tenacidade, o que possibilita a sua utilização em operações difíceis, incluindo usinagens com cortes interrompidos. Mesmo com o desenvolvimento de novos materiais para a aplicação em ferramentas de corte, as pesquisas no campo de aço rápido (voltadas par aplicação em usinagem, bem como outras aplicações) têm sido constantes.

2.3 METAL DURO

No mercado existem variados materiais de fresas de topo, mas há uma que vem se destacando no cenário de usinagem: metal duro (carboneto de tungstênio).

Em sua tese, SÁ (2010) explica o carboneto de tungstênio como: metal duro é o nome dado a uma liga de carboneto de tungstênio, produzido por metalurgia do pó. O produto é obtido pela prensagem e sinterização de uma mistura de pós de carboneto e outros materiais de menor ponto de fusão, chamados aglomerantes (cobalto, cromo, níquel ou uma combinação deles).

SÁ (2010) continua sua descrição sobre o processo de obtenção do carboneto de tungstênio, após a prensagem, o composto já tem consistência suficiente para ser usinado na forma desejada, ou bem próximo dela. Ocorre a seguir o processo de sinterização, aquecimento a uma temperatura suficiente para fundir o aglomerante, que preenche os vazios entre os grãos dos carbonetos. O resultado é um material de dureza elevada, dependendo do teor de aglomerante e do tamanho de grão do carboneto. As maiores durezas são conseguidas com baixos teores de aglomerante e tamanho de grão reduzido. Por outro lado, maior tenacidade é obtida aumentando o teor de aglomerante e/ou aumentando o tamanho de grão.

A principal característica que elucida a grande aplicação dos metais duros, obtidos através do processo de metalurgia do pó, se deve ao fato dos mesmos possuírem a combinação de resistência ao desgaste, resistência mecânica, e a tenacidade em altos níveis, características fundamentais para haver um ótimo processo de usinagem. O grande sucesso do carboneto de tungstênio (metal duro) se dá principalmente na indústria, pois permite maiores

velocidades de corte e de avanço no processo de usinagem, ganhando em produção e, consequentemente, em faturamento.

Devemos levar em conta também os desgastes sofridos pelas ferramentas, sobre o assunto BRITO (2012) trás que os principais tipos de deterioração que podem ocorrer numa ferramenta de corte podem ser classificados de várias maneiras. Entretanto a ISO (*International Organization for Standardization*) normatiza estes eventos em três classes: desgaste, avarias e deformação plástica. As ferramentas utilizadas em torneamento seguem a norma ISO 3685 (1993), as ferramentas com insertos, utilizadas em fresamento frontal (ou faceamento), seguem a norma ISO 8688-1 (1989) e as ferramentas utilizadas em fresamento de topo, com ferramentas inteiriças, são regidas pela norma ISO 8688-2 (1989).

2.4 VIABILIDADE ECONÔMICA

SÁ (2010) ainda traz em sua tese uma pequena elucidação sobre a questão econômica, a vida de uma ferramenta é uma das mais importantes considerações econômicas na usinagem dos metais. Condições de corte onde ocorrem quebras, desgaste excessivo e avarias faz com que a ferramenta de corte não produza mais, elevando assim, o custo na produção.

No atual cenário global as empresas manufactureiras, em geral, necessitam ter agilidade para atender seus clientes com prazos cada vez menores, preços competitivos e produtos ou serviços de qualidade. Esta também é a realidade das empresas que empregam processos de usinagem, em que os custos de fabricação de seus produtos, são altamente influenciados pela abordagem de gestão adotada, portanto, a busca pela redução de custo de fabricação e/ou de aumento de produtividade é uma preocupação constante para este tipo de empresa (SHARMA apud SILVA).

SILVA (2013) complementa trazendo que usualmente em um processo de fabricação, a análise sobre o desempenho de qualquer melhoria aplicada ao processo é feita por meio de uma análise do custo/benefício, verificando se o valor do investimento da alteração proposta é viável financeiramente. Pode-se verificar se o processo é viável tecnicamente e para tanto podem ser avaliados outros indicadores diretos e/ou indiretos, como o tempo de disponibilidade de máquina atingido, redução do número de ferramentas consumidas, aumento de produtividade, redução do tempo de *setup*, aumento de produção, etc.

2.5 DESGASTE DA FERRAMENTA DE CORTE

O desgaste de uma ferramenta é considerado como uma perda contínua e microscópica de partículas da ferramenta devido à ação do corte (DINIZ; MARCONDES; COPPINI; apud SÁ). São considerados como problemas críticos na usinagem, pois prejudica a produção e diminui a qualidade final do produto. Considera-se que esta ferramenta tem-se uma vida útil que é definida como sendo o tempo em que a mesma trabalha efetivamente, sem perder o corte ou até que se atinja o critério de fim de vida (ISO 8688 -1).

O desgaste pode ser avaliado através de métodos diretos, nos quais se mede a geometria da ferramenta através de inspeção visual, utilizando lupas, e inspeção ótica, utilizando microscópios. Nos métodos indiretos, utiliza-se a aquisição de valores medidos como aumento das vibrações, aumento do ruído, piora da qualidade superficial da peça e aumento de forças na usinagem (SÁ 2010).

Por maior que seja a dureza e a resistência ao desgaste das ferramentas de corte e por menor que seja a resistência mecânica da peça de trabalho, a ferramenta sofrerá um processo de destruição que, mais cedo ou mais tarde, exigirá sua substituição (MACHADO apud SÁ).

2.6 PRODUTIVIDADE

MARCONDES (2001) salienta em sua dissertação que a maximização da produtividade em usinagem implica necessariamente na perfeita adequação das diversas variáveis, que possam limitar o melhor desempenho do respectivo sistema produtivo. Partindo desse princípio é essencial que se façam algumas considerações sobre as condições básicas a serem atendidas, para que uma máquina possa usinar peças, o mais rapidamente possível, sem que esta operação resulte em consequências indesejáveis do ponto de vista econômico administrativo.

É fato consumado que os estados operacionais da máquina; da ferramenta; dos sistemas de fixação; a qualidade estrutural do material a ser usinado, tanto quanto a motivação e a perícia da mão de obra, interferem diretamente no desenvolvimento do processo de usinagem como um todo.

O mais alto grau de produtividade em usinagem deve proporcionar o equilíbrio entre a máxima velocidade de corte com o mínimo desgaste da ferramenta.

3 METODOLOGIA

O objetivo do trabalho é fazer uma avaliação da viabilidade econômica da utilização de fresas de topo de aço rápido e de metal duro.

Analisar qual das duas ferramentas teve um melhor custo benefício, levando em consideração o seu valor de mercado e a sua produtividade, tempo necessário do procedimento especificado, e ainda levantando em conta o seu desgaste avarias sofridas na ferramenta.

O procedimento de usinagem executado foi o rasgo de chaveta, utilizando as duas fresas em estudo, aço rápido e metal duro.

Ambas as fresas eram novas, em perfeito estado e de mesmo diâmetro, 8 milímetros, e foram adquiridas pelo autor.

O rasgo de chaveta em estudo tem as dimensões de 8 milímetros de largura, 6 milímetros de profundidade e 100 milímetros de comprimento.

O material no qual foi feito o estudo é o ABNT 1045 pois segundo BRITO (2012) o fresamento do aço ABNT 1045 vem ganhando destaque, nos últimos anos, por permitir que as peças usinadas sejam obtidas com ferramentas de baixo custo, assim se tornando o material mais propício para o determinado teste.

O estudo aconteceu na TORNEARIA DE MARCHI LTDA ME, C.N.P.J.: 06.117.518/0001-96, empresa do ramo de prestação de serviços de usinagem situada na avenida Ministro Cene Lima, 472, Toledo – PR.

A máquina, fresadora, figura 1, que foi utilizada para a avaliação, está instalada na referida empresa e se trata de uma fresadora universal, marca Clever, modelo 4VS.

Os parâmetros de usinagem, velocidade de avanço, profundidade de corte e velocidade de corte, fatores que influenciam diretamente no tempo do processo de usinagem, e, consequentemente, na produtividade, foram definidos pelo funcionário da empresa, operador da fresa. Ambos os fatores foram definidos de forma a se obter o processo desejado no menor tempo possível sem que houvesse avarias na ferramenta.

O tempo do processo de usinagem foi devidamente cronometrado e registrado para os cálculos necessários.

Assim tornando possível se fazer uma comparação entre o tempo de usinagem e o custo de cada ferramenta, podendo se obter o resultado de qual fresa de topo teve melhor custo benefício.

Figura 1 - Fresadora Clever 4VS



Fonte: Próprio autor.

Todos os E.P.I.'s necessários, luvas, óculos, protetor auricular, entre outros, utilizados para a operação descrita, foram disponibilizados pela empresa.

O descarte das sobras de usinagem, cavacos, oriundos do processo de fresamento, foi efetuado pela própria empresa juntamente com outros cavacos provenientes do trabalho diário da empresa. Esse descarte é feito por uma empresa terceirizada respeitando todas as leis ambientais em vigor.

Os parâmetros de usinagem foram estabelecidos, conforme tabela 1, por experiência e destreza do operador da fresadora para se atingir a combinação mais eficiente entre

produtividade e conservação da ferramenta. Lembrando que a variável foi a velocidade de corte, diferenciando conforme a capacidade de cada uma das duas fresas de topo.

Tabela 1 - Parâmetros de usinagem

Parâmetros de usinagem	
RPM	Profundidade de corte
900	1 milímetro

Fonte: Próprio autor.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 LEVANTAMENTO DE CUSTOS DAS FRESAS

Foi feito um preço médio de cada uma das fresas levando em conta três lojas online de ferramentas:

- Ferramentas gerais (www.fg.com.br);
- Casa do mecânico (www.casadomecanico.com.br);
- Tecno ferramentas (www.tecnoferramentas.com.br);

Na tabela 2, os valores pesquisados:

Tabela 2 - Valores fresas

	Aço Rápido	Metal Duro
Loja 1	R\$ 65,90	R\$ 150,90
Loja 2	R\$ 43,99	R\$ 83,90
Loja 3	R\$ 54,21	R\$ 98,90
Média	R\$ 54,70	R\$ 111,23

Fonte: Próprio autor

Como visto na tabela 2, o preço da fresa de topo de metal duro é em média 203,35% do valor da fresa de topo de aço rápido, ou seja, praticamente o dobro. Esses valores levantados foram para fresas com dimensões iguais as utilizadas nos testes.

4.2 EXECUÇÃO DOS PROCEDIMENTOS

Durante os testes foi utilizado a mesma velocidade de corte e profundidade de corte, variando apenas a velocidade de avanço, de acordo com a capacidade de cada uma das fresas em estudo, para poder ter uma melhor igualdade entre os processos, objetivando obter um tempo de processo mais fiel e preciso para ambos os casos.

Foram realizados dois procedimentos, rasgo de chaveta, conforme descrito no encaminhamento metodológico, para cada uma das fresas de topo em estudo. Sendo então, necessário seis desbastes, de um milímetro cada, para se obter os seis milímetros de profundidade estipulados para cada rasgo de chaveta.

Figura 2 - Setup RPM máquina



Fonte: Próprio autor.

Figura 3 - Setup profundidade de corte.



Fonte: Próprio autor.

As figuras 2 e 3 mostram os setups da máquina que foram padrões para todos os processos, velocidade de corte 900 RPM e profundidade de corte 1 milímetro para cada desbaste.

Também foi padronizado o uso de líquido lubri-refrigerante, sistema de bombeamento presente na própria fresadora, para os dois processos, fazendo-os ser o mais similar possível, assim podendo ser feita uma comparação mais igualitária.

Conforme tabelas 3 e 4 vemos os tempos dos processos:

Tabela 3 - Tempos aço rápido

Aço Rápido		
	Teste 01	Teste 02
Desbaste 1	37,6 s	37,1 s
Desbaste 2	37,4 s	40,2 s
Desbaste 3	37,9 s	39,7 s
Desbaste 4	39,4 s	41,4 s
Desbaste 5	38,6 s	42,3 s
Desbaste 6	39,2 s	41,7 s
Média	38,4 s	40,4 s

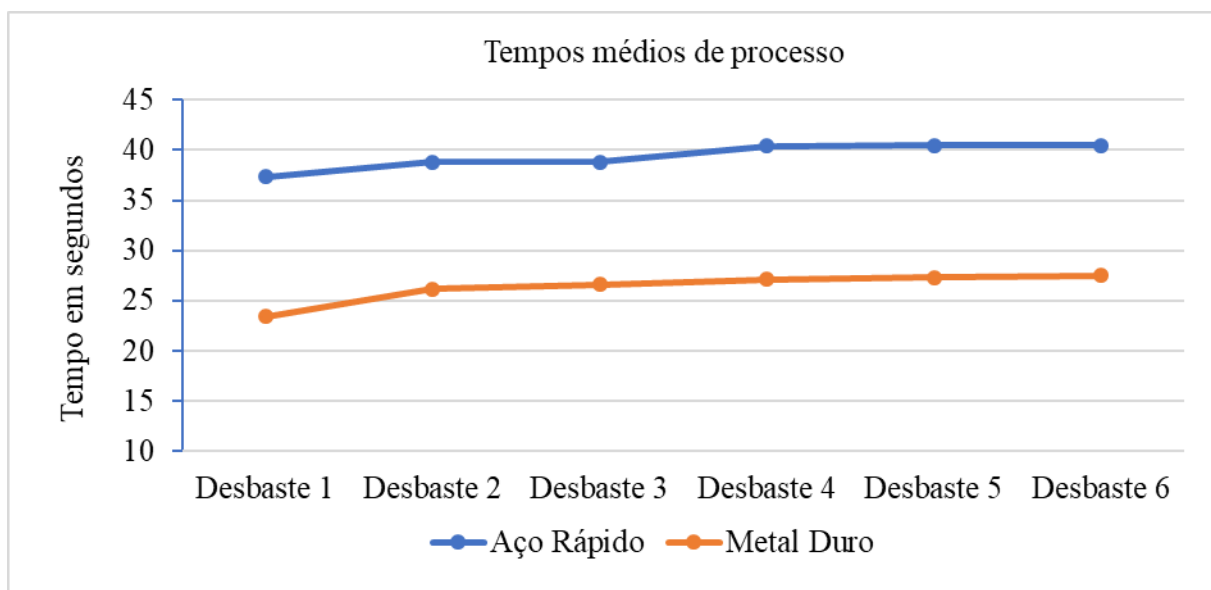
Fonte: Próprio autor

Tabela 4 - Tempos metal duro

Metal duro		
	Teste 01	Teste 02
Desbaste 1	23,3 s	23,5 s
Desbaste 2	25,8 s	26,6 s
Desbaste 3	26,7 s	26,5 s
Desbaste 4	26,5 s	27,8 s
Desbaste 5	27,3 s	27,3 s
Desbaste 6	27,6 s	27,4 s
Média	26,2 s	26,5 s

Fonte: Próprio autor

Figura 4 - Gráfico com os tempos



Fonte: Próprio autor.

Conforme observado no gráfico da figura 4, podemos observar uma certa linearidade do tempo médio em cada um dos processos, diversificando-os conforme a sua velocidade de avanço, condizente com o material de cada uma das fresas.

Para a obtenção desses tempos foi desconsiderado qualquer outro tempo de processo na máquina, como ajustes para fixação do corpo de prova, ajuste de elevação da mesa de processo em 1 milímetro para cada novo desbaste e quaisquer outros contratempos que poderiam causar a interrupção do processo.

Através da análise dos tempos vemos um menor tempo médio de processo para a fresa de topo de metal duro, com uma média de tempo de processos de 26,4 segundos, contra 39,4 segundos da fresa de aço rápido. Lembrando que esses valores são para o processo em um corpo de prova de 100 milímetros de comprimento.

Para um melhor valor visual, conforme tabela 5, temos o tempo que seria necessário para usinar um metro do mesmo corpo de prova, ou seja, multiplicar o tempo médio dos processos por 10 (100mm * 10 = 1000 mm).

Tabela 5 - Tempos para 1 metro

Tempo médio de processo para 1 metro (s)	
Aço Rápido	Metal Duro
393,75	263,58

Fonte: Próprio autor

Figura 5 - Corpos de prova usinados

Fonte: Próprio autor.

A figura 5 apresenta os dois corpos de prova após os ensaios, já com os rasgos de chavetas oriundos dos processos de usinagem, o da esquerda se refere ao processo com a fresa de topo de metal duro e o da direita com a fresa de aço rápido, conforme referenciado na própria figura.

Ambos os rasgos de chaveta foram concluídos com total exatidão, respeitando as dimensões estipuladas na metodologia, oito milímetros de largura e seis milímetros de profundidade, apenas diferenciando-se pelo tempo de processo, referente a cada fresa de topo utilizada.

4.3 AVALIAÇÃO DA PRODUTIVIDADE

Para que se possa efetuar uma avaliação mais clara da produtividade, através do tempo necessário para a usinagem de um metro do corpo de prova, têm-se o valor da velocidade média em m/s e m/h, conforme tabelas 6 e 7.

Tabela 6 - Velocidades em m/s

Velocidade média (m/s)	
Aço Rápido	Metal Duro
0,0025	0,0038

Fonte: Próprio autor

Tabela 7 - Velocidades em m/h

Velocidade média (m/h)	
Aço Rápido	Metal Duro
9,14	13,66

Fonte: Próprio autor

Considerando que um dia comercial de trabalho seja de 8 horas, em um dia, com a fresa de aço rápido seria possível usinar 73,1 metros e, com a fresa de metal duro, 109,3 metros. Ou seja, com a fresa de metal duro é possível usinar 49% a mais do material em estudo por dia.

Supondo que a referida empresa obtenha seu lucro por produtividade, padronizando um valor específico para cada metro de material usinado, em torno de R\$ 5,00 o metro. Em um dia de serviço com a fresa de aço rápido seria possível alcançar o valor de R\$ 365,71 e com a fresa de metal duro o valor obtido, para o mesmo período de tempo, seria de R\$ 546,32, alcançando um valor de R\$ 180,61 de faturamento a mais quando empregamos no processo a fresa de topo de metal duro.

O valor foi padronizado em R\$ 5,00 o metro pois com este valor fica dentro do preço cobrado comercialmente pela empresa por hora de trabalho, ficando na casa de R\$ 50,00 a R\$ 80,00 a hora, dependendo da complexidade do serviço.

4.4 AVALIAÇÃO DO DESGASTE DAS FERRAMENTAS

Após o processo foi realizado a avaliação visual do desgaste ocorrido em ambas as fresas. Em nenhum dos casos houve desgastes visíveis a olho nu, conforme podemos observar na figura 6. Assim sendo, o desgaste proporcionado não tem influência significativa para este estudo.

Figura 6 - Desgaste das fresas



Fonte: Próprio autor

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foram efetuados os ensaios, com os parâmetros de usinagem mais eficientes (velocidade de corte e profundidade de corte), nos corpos de prova de aço ABNT 1045, tendo seus tempos cronometrados.

A produtividade da fresa de topo de metal duro se mostrou superior a fresa de topo de aço rápido, porém, a mesma tem seu custo de aquisição também superior.

O custo mais elevado da fresa de metal duro é justificado quando à analisamos fazendo uma comparação com a sua produtividade, cerca de 49% maior do que a de aço rápido.

Analisando pela produtividade diária, a fresa de metal duro, em apenas um dia de trabalho, pode se obter um lucro de R\$ 180,61 a mais do que a de aço rápido, valor que se torna mais expressivo mensalmente (30 dias), partindo para R\$ 5.418,30.

A maior velocidade de avanço e, conseqüentemente, maior produtividade, obtidas com a fresa de topo de metal duro comprovam que a combinação entre elevada dureza com um nível de tenacidade e plasticidade conferem as características mais apropriadas para uma melhor ferramenta de usinagem. Fatores encontrados no metal duro onde o mesmo consiste de uma fase dura, que possui alta dureza, resistência mecânica e uma fase ligante que confere tenacidade e plasticidade ao material.

Considerando que não foi observado desgastes em ambas as fresas, o nível de desgastes e avarias sofridas pode ser desprezado para o processo. Esse é considerado como um problema crítico na usinagem, pois prejudica a produção e diminui a qualidade final do produto.

Conclui-se então que a melhor viabilidade econômica é a da fresa de topo de metal duro, mesmo tendo em sua aquisição um valor maior, tem refletido também uma maior produtividade e lucratividade, sendo estes os índices mais buscados tanto pelas indústrias quanto pelas pequenas empresas.

6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Vida útil de uma fresa de topo de metal duro quando utilizado os parâmetros de usinagem mais eficientes.
- Vida útil de uma fresa de topo de aço rápido quando utilizado os parâmetros de usinagem mais eficientes.
- Avaliação da utilização de líquido lubri-refrigerante no fresamento de topo com fresa de metal duro.
- Métodos e aplicações para reaproveitamento dos cavacos oriundos de usinagem.

7 REFERÊNCIAS

BRITO, Tancísio Gonçalves de. **Otimização do fresamento de topo do aço abnt 1045 utilizando projeto de parâmetro robusto**. Dissertação de mestrado. Itajubá ,2012.

JESUS, Edilson Rosa Barbosa de. **Ferramentas de usinagem em aço rápido AISI M2 obtido por conformação por “spray”**. Tese apresentada como parte dos requisitos para obtenção do grau de Doutor em Tecnologia Nuclear – Materiais. São Paulo, 2004.

MARCONDES, Francisco Carlos. **Alternativas para a maximização da produtividade em usinagem sob a ótica da análise ou engenharia do valor**. Dissertação de mestrado acadêmico apresentada á comissão de Pós Graduação da Faculdade de Engenharia Mecânica, como requisito para a obtenção de título de mestre em Engenharia Mecânica. Campinas, 2001.

POLLI, Milton Luiz. **Análise da estabilidade dinâmica do processo de fresamento a altas velocidades de corte**. Tese submetida à universidade federal de Santa Catarina para a obtenção do grau de doutor em engenharia mecânica. Florianópolis, 2005.

SÁ, Vinicius Maia de. **Avaliação do desgaste da ferramenta de metal duro revestida com tin no fresamento do aço abnt4140 temperado e revenido, utilizando duas fresas de diâmetros diferentes**. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2010.

SILVA, Edson Nunes Da, et al. **Otimização de processo de usinagem: análise de viabilidade na adoção de condicionamento superficial especial em machos máquina**. XXXIII encontro nacional de engenharia de produção. Salvador, 2013.

SOUTO, Ulisse Borges. **Monitoramento do desgaste de ferramenta no processo de fresamento via emissão acústica**. Tese apresentada ao programa de pós graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, 2007.

TORRES, C. S.; SCHAEFER, L. **Sinterização do compósito metal duro WC-Co**. Revista Eletrônica de Materiais e Processos, v.4.3 (2009)58-63, Porto Alegre, 2009.

