



COMPARAÇÃO DE TEMPO PELO PROCESSO DE USINAGEM: TEMPO TEÓRICO, TEMPO EM SOFTWARE E TEMPO PRÁTICO

Emílio Zappelini¹

Henrique Cechinel Casagrande¹

Marcio Afonso de Souza¹

Luiz Carlos de Cesaro Cavaler²

Anderson Daleffe³

Resumo: É de conhecimento de todos que para continuar competitivo no mercado industrial é necessário trabalhar com melhorias contínuas para redução de custo. Assim sendo, busca-se no processo de usinagem; que está entre os processos mais utilizados em termos de produção, se não o mais utilizado, redução de custos em ganho de tempo com estratégias utilizando ferramentas que poderão oferecer mais tempo de vida útil e menor custo. Este processo pode ser empregado desde geometrias simples até geometrias complexas. Segundo o blog Vertex 2022, a CNI (Confederação Nacional da Indústria), previu um crescimento de até 1,2 % no Produto Interno Bruto (PIB) no Brasil na produção industrial e nas empresas de usinagem. Este valor é equivalente à quase 11 bilhões de reais. Dessa forma, o presente relatório traz um estudo para redução de tempo de uma peça pelo processo de fresamento e furação, onde, para a peça em questão foi realizado uma comparação de redução de tempo em três comparações; primeiro com software Edgecam, segundo com tempo de usinagem na prática e por último uma planilha com modelamento matemático. Os valores comparados possuem certas divergências devido as variáveis que ocorrem durante o processo prático. Mas, de forma geral, o valor de software ficou próximo do material calculado. Já para o material usinado o tempo foi mais elevado.

Palavras-Chave: Usinagem. Ferramentas de corte. Aço ferramenta H13. Processos de fabricação.

¹ Mestrando em Engenharia Metalúrgica. Ano 2022-2. E-mail: henrique_cechinel@hotmail.com

¹ Mestrando em Engenharia Metalúrgica. Ano 2022-2. E-mail: emiliozap@gmail.com

¹ Mestrando em Engenharia Metalúrgica. Ano 2022-2. E-mail: souzamarcioafonsode@gmail.com

² Professor do Centro Universitário UniSATC. E-mail: luiz.cavaler@satc.edu.br

³ Professor do Centro Universitário UniSATC. E-mail: Anderson.daleffe@satc.edu.br



1 INTRODUÇÃO

Entendesse por usinagem à remoção de material, ou mais comumente falando “retirada de cavacos”. Esse processo utiliza equipamentos com alta precisão, podendo chegar na casa dos milésimos. Dentre os processos de usinagem cita-se duas formas, sendo elas; usinagem convencional e não convencional. A usinagem convencional trabalha com ferramentas de geometrias definidas, aplicadas então em tornos, fresas, e furadeiras por exemplo. Já para usinagem não convencional, não há um padrão nas ferramentas de usinagem, um bom exemplo a ser citado é o processo de retífica, utilizado para geometria de alta precisão e um fino acabamento superficial. Esse tipo de usinagem utiliza um rebolo como ferramenta abrasiva, essa ferramenta é composta de grãos com diferentes espessuras, formando assim um processo de usinagem não convencional.

Para o presente documento, será tratado por usinagem convencional, utilizando-se o processo de fresamento e furação. Máquinas para esse tipo de usinagem avançam a cada dia com a tecnologia. Pode-se citar o exemplo dos centros de usinagem, no seu primórdio, somente a ferramenta se movimentava e a peça era fixada em uma mesa, essa máquina também conhecida como centro de usinagem de três eixos. Entretanto, hoje em dia, pode-se trabalhar com centro de usinagem de cinco eixos, que, tanto a ferramenta quanto a peça entram em movimento facilitando assim a vida do operador que economiza tempo em setup e para o programador que consegue programar peças com maior complexidade diminuindo o fator erro. Com o passar dos tempos a ideia é a mesma, ganhar tempo e aumentar a produção para ser mais competitivos no seu segmento. Pensando dessa forma, busca-se estratégias para redução de tempo e consequentemente custo para um determinado produto exemplificado ao decorrer do relatório.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O salto da engenharia de usinagem começou em meados do século XVIII. Antes disso, o material mais utilizado para desenvolvimento de engenharia era a madeira, onde, era usinada com ferramentas de aço carbono. Assim com o passar dos anos, já no século XIX, com a revolução industrial, novas ferramentas foram



desenvolvidas, como por exemplo os aços-liga. Além disso, o homem começou a usar água e vapor a seu favor, promovendo assim, o desenvolvimento de máquinas ferramentas capazes de desenvolver outras máquinas (MACHADO 2015).

Stoeterau (2002), segundo a DIN 8580, definisse usinagem como os processos de fabricação onde existe a remoção de material em forma de cavaco. O cavaco por sua vez, caracterizasse por ser uma parte de material retirada pela ferramenta de corte e apresenta forma irregular. A usinagem então, é uma operação que forma dimensões ou acabamentos superficiais, ou a junção desses.

2.1 TIPOS DE CAVACOS NA USINAGEM

Como já citado, o cavaco é uma porção de material retirada da peça, e apresenta forma irregular. Para que isso ocorra, fenômenos como a cinemática, atrito e deformações estão associados, como também a parte termodinâmica de geração e propagação de calor (STOETERAU 2002).

De forma geral, o cavaco é dividido em três categorias; cavaco contínuo, cavaco cisalhado e arrancado. O que influencia na formação destes é o tipo de material a ser usinado (CIMM 2023).

2.1.1 Cavaco contínuo

Para o cavaco contínuo, o material usinado é considerado dúctil e que tenha uma alta velocidade de corte. O acabamento da superfície possui qualidade boa já que a força do corte tem pequena variação devido a formação contínua dos cavacos (CIMM 2023).

2.1.2 Cavaco cisalhado

Para formação de cavaco cisalhado, onde, o material fissura no ponto mais solicitado e acaba por existir uma ruptura parcial ou até mesmo total do cavaco. Outro fator característico desse tipo de cavaco é a soldagem dessas pequenas fissuras devido à pressão e temperaturas elevadas na região do corte (CIMM 2023).



2.1.3 Cavaco arrancado

Produzido através da usinagem de materiais frágeis, como por exemplo o ferro fundido (FoFo). Na usinagem deste, o cavaco acaba rompendo devido a pequenos segmentos de grafita que proporcionam descontinuidade na microestrutura do material. Já para o acabamento, possui qualidade inferior devido a descontinuidade da microestrutura (CIMM 2023).

2.2 AÇO FERRAMENTA H13

Como o nome sugere, o aço ferramenta H13 tem sua aplicação na fabricação de ferramentas, tais como para corte, dobramento, matrizes e moldes, e outras ferramentas capazes de conformar/cortar um material de forma definida. Em geral, são ligas de Fe-C (ferro-carbono) com elementos como cromo, vanádio e outros que trabalham como elementos de liga (FERNANDES 2019).

Esse tipo de material possui um campo de aplicação em trabalhos pesados, como por exemplo a fabricação de moldes de fundição, moldes de forjamento e de extrusão, mandris e pinos ejetores, como também pode ser usado em ferramentas de usinagem. Tem sua participação na área de elementos estruturais e componentes; eixos, cremalheiras e em barras torcionadas, já que sua resistência a fratura é maior que em outros aços (SERIACOPI 2013).

Os aços que possuem sua classificação na família H são de alta liga, utilizados para fabricação de metais em altas temperaturas. Este tipo de aço possui elevada resistência ao amolecimento ao calor, explicando assim seu uso na fabricação de ferramentas para mecânica pesada que podem chegar a elevadas temperaturas, o H13 contém boa temperabilidade, excelente tenacidade e boa usinabilidade. Existem mais de cem tipos de aços ferramentas, normalizados e desenvolvidos para suprir determinadas aplicações. Para área da indústria de ferramentaria a quantidade é reduzida, alguns exemplos são citados como: AISI H13, AISI M2 e AISI D2 (FERNANDES 2019). A Tabela 1 traz uma amostra das simbologias e tipos de aplicação.



Tabela 1: Tipos de aço ferramenta

	Tipo de aço ferramenta	Símbolo
Aços para fins Especiais	Aços temperáveis em água (Water) Aços resistentes ao choque (Shock) Tipo baixa liga (Low alloy) Aços para moldes	W S L P O
Aços para trabalho A frio	Aços temperáveis em óleo (Oil)	A
Aços para trabalho a quente (Hot working)	Aços média liga temperáveis ao ar (Air) Aços carbono, alto cromo Ao cromo Ao tungstênio Ao molibdênio	D H1-H19 H20-H39 H40-H59
Aços rápido	Ao Tungstênio Ao Molibdênio	T M

Fonte: FERNADES 2019, pag.17, e apud (Costa e Silva 2006).

2.2.1 Composição química

Para os aços ferramenta do grupo H, podem ser divididos em três subgrupos, o principal diferencial é o elemento de liga para conferir a dureza à alta temperatura. Os mais comumente usados são H11, H12 e H13, que são os ligados ao cromo (Cr). Normalmente esses aços ferramenta possuem em torno de 5% de cromo e contém quantidades elevadas de outros elementos, como vanádio, silício e molibdênio (GOUVÊA 2014). A Tabela 2, define tais elementos químicos para o aço ferramenta H13.

Tabela 2: Composição química aço ferramenta H13

Composição química	Valores %
Carbono (C)	0,32 –
Silício (Si)	0,45



Cromo (Cr)	0,80 –
Manganês (Mn)	1,20
Níquel (Ni)	4,75 –
Molibdênio (Mo)	5,50
Vanádio (V)	0,20 –
	0,50
	0,30 máx.
	1,10 –
	1,75
	0,80 –
	1,20

Fonte: SERIACOPI 2013, pag. 42, e apud (ASM international 2005b)

2.2.2 Comportamento dos elementos químicos aço ferramenta H13

Segundo Gouvêa (2014) e apud (BECHERER, WITHEFORD e VASCO, 1991), para o teor de carbono apresentado na Tabela 2, pode-se ter uma faixa de dureza entre 38 – 53 HRC (Hardness Hockwell C) combinando resistência a desgaste com tenacidade. O elemento que contribui para elevar o escoamento é o silício (Si). O cromo (Cr) atua como elemento de aumento da temperabilidade do aço e sua resistência à oxidação. O manganês (Mn) faz a função de desoxidante durante o processo de formação do aço. Já o vanádio (V), trabalha no refino do grão austenítico, e com isso aumenta a tenacidade do aço. E o molibdênio (Mo) evita a fragilidade do aço quando fica exposto à elevadas temperaturas por um longo período.

2.3 SOFTWARE DE SIMULAÇÃO

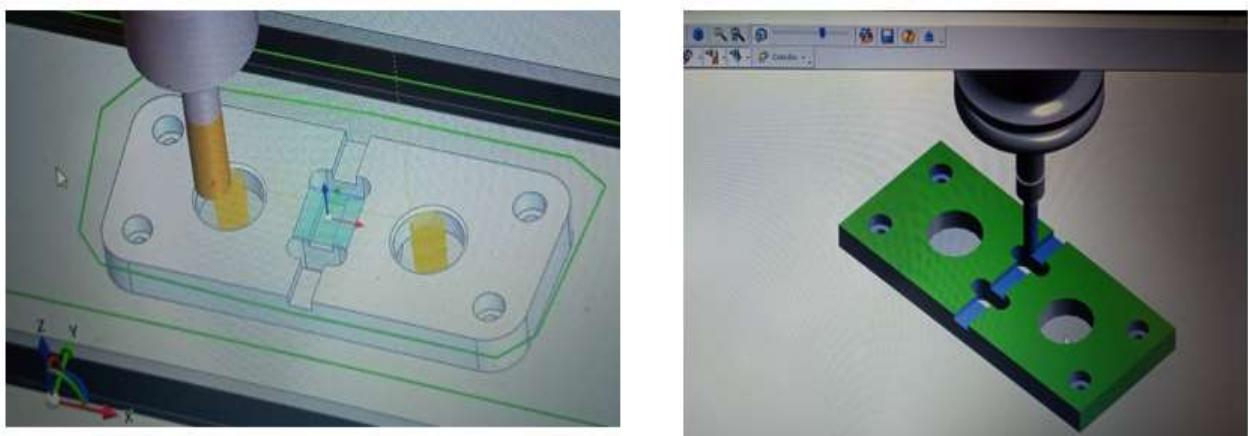
Com a necessidade, vem a solução, assim sendo, as indústrias de manufatura sofreram grandes mudanças do século passado ao atual. As peças ficaram mais complexas e com isso sistemas de programação de design e manufatura conseguiram uma fatia grande das indústrias, é o exemplo de sistemas sofisticados de CAD e CAM (OLIVEIRA et al, 2012, e apud WANDECK e SOUSA, 2008).

Para a simulação é possível ter o auxílio do software Edgecam, que tem como objetivo fazer simulações que podem calcular melhor percurso, choque de ferramentas e, simular tempo aproximado de máquina. Com o desenvolvimento da computação gráfica, o programador ganhou tempo nas programações, devido ao aumento de produtividade aplicado a este processo (SANTOS 2010).

Esses tipos de recursos (software), oferecem diferentes tipos de sólidos para trabalhar, pode-se citar técnicas de corte, extrusão, revolução, adição e subtração, este último se aplica aos sistemas de usinagem, onde se subtrai material (MACIEL et al., 2016 apud CANCIGLIERI et al., 2002).

Abaixo, na Figura 1, tem-se o exemplo de uma peça sendo simulada no software EdgeCam, o mesmo que será abordado adiante no presente relatório.

Figura 1: Simulação com software EdgeCam.

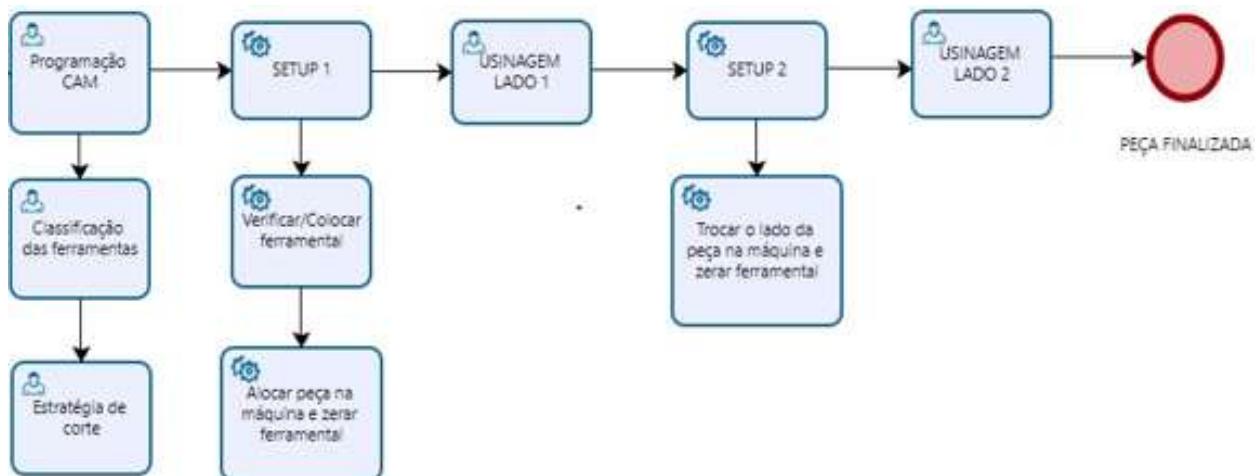


Fonte: Do autor, 2023.

3 PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

Esta etapa trata das partes experimentais do projeto, contanto com a parte teórica (simulações e modelamento matemático) e, a parte prática com a peça sendo usinada. Afim de compreender melhor o processo tratado neste relatório, a Figura 2 traz a parte macro do projeto, contendo a parte de preparação/programação e preparação/usinagem.

Figura 2: Fluxograma processo macro do projeto.



Fonte: Do autor, 2023.

3.1 EQUIPAMENTO

O equipamento utilizado durante o ensaio foi o centro de usinagem vertical da linha ROMI D, modelo D600, máquina para múltiplas aplicações de usinagem em ambientes de produção e ferramentaria, a Figura 3 ilustra o equipamento utilizado, e a Tabela 3 fornece as características principais do mesmo.

Figura 3 - Centro de usinagem vertical ROMI D600



Fonte: Do autor, 2023.



Tabela 3 - Características principais da máquina ROMI D600

Cone da árvore	ISO	40
Cabeçote	RPM	8.000
Cabeçote	RPM	10.000
Avanço ráp. (eixos X/Y/Z)	m/min	30
Número de ferramentas	-	22
Motor principal ca	cv / kW	20 / 15
Número de série	-	016-016274-450
Ano de fabricação	ano	2013
Peso da máquina	toneladas	5,5
Rotação máxima do eixo árvore	RPM	10.000
Corrente total	Ampères	46
Tensão	Volts	380 - 3Ø – 50/60 Hz

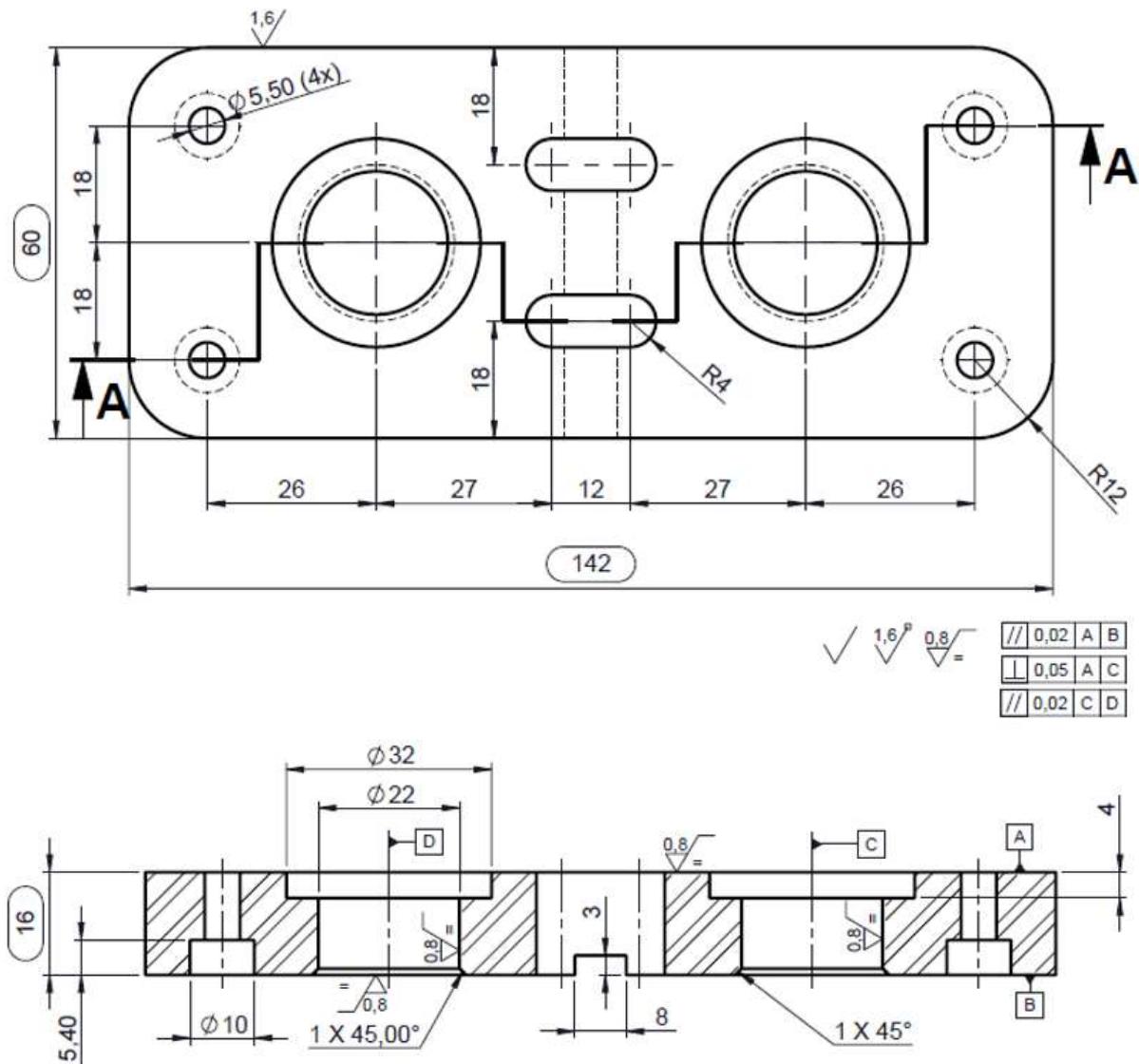
Fonte: Do autor, 2023.

3.2 MATERIAIS

O material em bruto para usinagem foi fornecido no material SAE 1020 com as seguintes dimensões; 147,2 x 53,2 x 19,2 mm. Todas as medidas foram retiradas com auxílio de um paquímetro.

Os dados de entrada da peça foram extraídos através da Figura 4. Cabe ressaltar, a profundidade total da furação de diâmetro 22 mm (rugosidade de 0,8 µm) é 16 mm, na parede, a parte superior é usinada com 12 mm e a base da peça é em material bruto.

Figura 4 - Dados de entrada da peça em aço com dimensões em mm

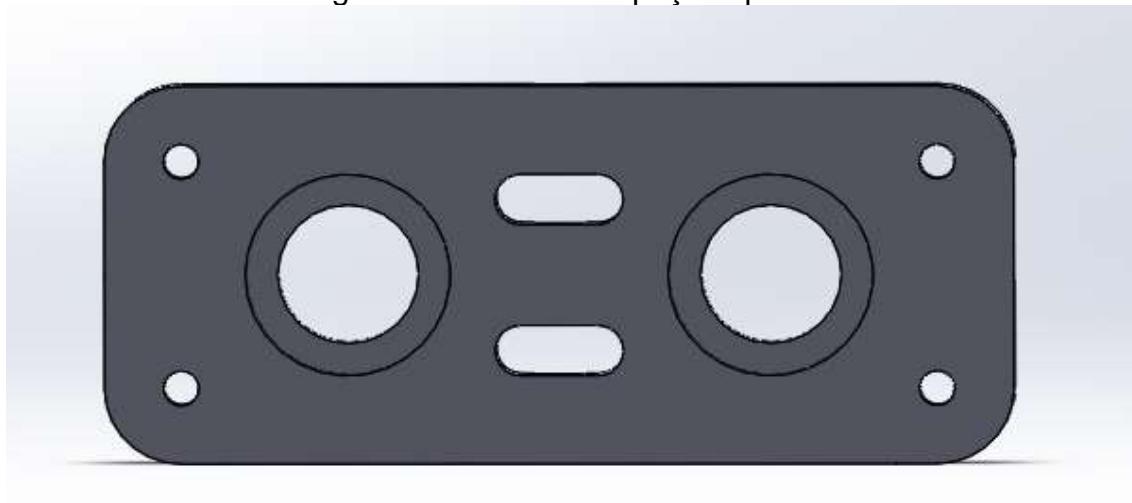


SEÇÃO A-A ESCALA 1 : 1

Fonte: Do autor, 2023.

A Figura 5 ilustra a imagem da peça após o processo de usinagem finalizado.

Figura 5 - Desenho da peça esperada

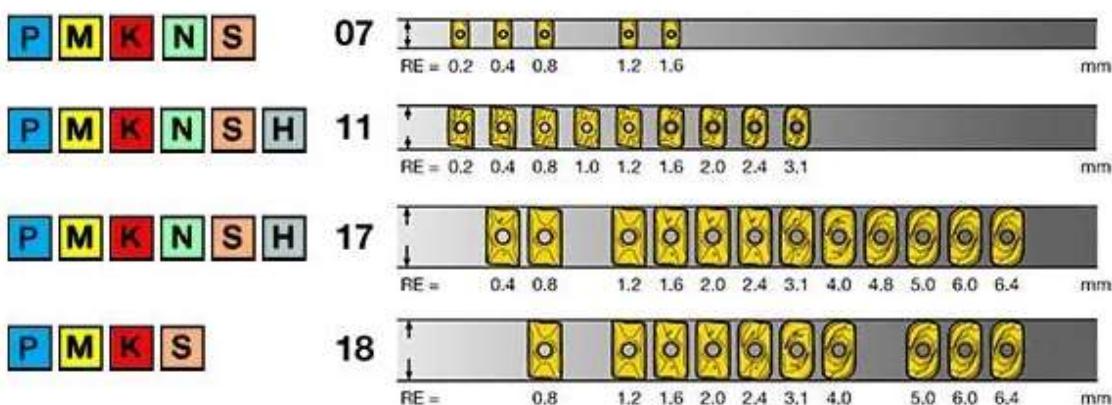


Fonte: Do autor, 2023.

3.5 DETERMINAÇÃO DA PASTILHA

Para cada tipo de material é possível ter uma classe de pastilha para melhor tempo de vida útil da mesma. Entretanto, para cada modelo de ferramenta também existe uma range de pastilhas para utilizar, para exemplo de entendimento, a Figura 4 demonstra a classificação para a ferramenta CoroMill® 390 de desbaste e acabamento de áreas planas, onde essas informações são as representantes como Sandvik e Iscar que fornecem para o cliente. A Figura 6 demostra tais informações.

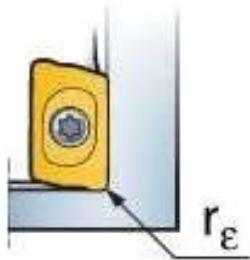
Figura 6: pastilhas para ferramenta de facear CoroMill® 390



Fonte: Sandvik, 2023.

Para melhor entendimento, o material de estudo desse relatório (H13) tem a classificação P fornecida para aços, e pode ser utilizada para as quatro classes demonstradas na Figura 6. O número que vem à frente da pastilha, como por exemplo na primeira fileira o “07”, significa o tamanho da pastilha em mm, já para o número que fica abaixo de cada pastilha, denominada de r_e , detalha o raio da ferramenta. A Figura 7, mostra o raio da ferramenta.

Figura 7: raio da ferramenta r_e



Fonte: Sandvik, 2023.

3.4 DESENVOLVIMENTO DO PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Inicialmente foi realizado um planejamento baseado nas ferramentas e parâmetros de corte a serem empregados na usinagem, primeiramente foi definido como planejamento de usinagem as operações de faceamento, desbaste, acabamento de áreas planas, rasgo e furações. As operações foram definidas baseadas nas especificações do desenho fornecido para realização da fabricação da peça, considerando medidas, tolerâncias dimensionais e tolerâncias de acabamento superficial. Com a definição das operações a serem realizadas, realizou-se uma pesquisa bibliográfica das ferramentas indicadas para cada tipo de operação, sendo escolhida as ferramentas do fabricante Sandvik para utilização na usinagem. A Figura 8 traz as ferramentas de corte utilizados para a usinagem.

Figura 8 - Ferramentas utilizadas no planejamento



Fonte: Sandvik, 2023.

A tabela com os dados de usinagem retirados para cada ferramenta, será fornecida via Excel devido ao tamanho da planilha não ficar de forma legível e de entendimento neste documento.

Os valores aplicados na planilha em Excel foram obtidos baseados nas seguintes equações:

Avanço da mesa, Vf (mm/min)

$$V_f = f_z \times n \times Z_{EFF}$$

Velocidade de corte, Vc (m/min)

$$V_c = \frac{\pi \times D_{C_{ap}} \times n}{1000}$$

Velocidade do fuso, n (r/min)

$$n = \frac{V_c \times 1000}{\pi \times D_{C_{ap}}}$$

Avanço por dente, f_z (mm)

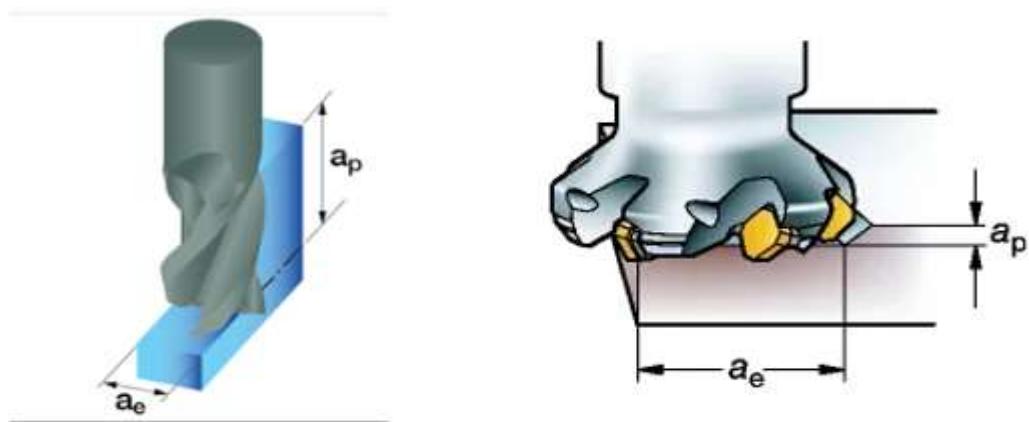
$$f_z = \frac{v_f}{n \times Z_{EFFECT}}$$

Avanço por rotação, f_n (mm/rot)

$$f_n = \frac{v_f}{n}$$

Na sequência, a Figura 9 tem por objetivo exemplificar dois termos que serão utilizados ao descrever as ferramentas, tais como A_e e A_p .

Figura 9: Nomenclatura das ferramentas



Fonte: Iscar do Brasil ferramentas

A sigla A_e , se refere a quantidade que a ferramenta está presente no momento do corte, já A_p significa a profundidade do corte. Sendo assim, para a operação de faceamento foi utilizado um cabeçote de facear, modelo “Fresa de facear CoroMill® 745” do fabricante Sandvik. Este cabeçote possui 7 pastilhas, cada pastilha possui 14 arestas de corte, sendo 7 arestas para cada lado do inserto. A fixação dos insertos é feita através de um parafuso central em cada inserto. Para a operação foi utilizado a estratégia otimizada para faceamento, à qual admite corte concordante e discordante, buscando o melhor tempo de usinagem, foi utilizado 68% de incremento lateral, o que representa um A_e de 49 mm, o restante dos parâmetros como velocidade

de corte, incremento de corte e rotação estão apresentados na Tab. 5. A Figura 10 apresenta o desenho da ferramenta utilizada no faceamento.

Figura 10 - Cabeçote de facear



Fonte: Sandvik, 2023.

Para a segunda e terceira operação, desbaste e acabamento de áreas planas, foi escolhido uma ferramenta modelo “Fresa CoroMill® 390 para cantos a 90 graus”, esta ferramenta utiliza 6 insertos com duas arestas de corte cada, sendo estes fixados por um parafuso central em cada inserto. Para a operação de desbaste foi definido o sentido de corte discordante com incremento lateral de 81% o que representa um Ae de 32,5 mm. Para a operação de acabamento de áreas planas foi utilizado a mesma ferramenta, e mantendo o incremento lateral, porém alterando o sentido de corte para concordante e os parâmetros de corte. A Figura 11 apresenta o desenho da ferramenta utilizada nestas operações.

Figura 11 - Desenho do cabeçote utilizado no desbaste e acabamento de áreas planas.



Fonte: Sandvik, 2023

Na quarta operação, usinagem do rasgo, foi utilizada a ferramenta modelo “CoroMill Plura solid carbide end mill for Heavy Duty milling” do fabricante Sandvik. Esta é uma fresa de metal duro inteiriça com cobertura PVD AlCrN com classificação

de materiais segundo a norma ISO P e K e quatro arestas de corte. Para esta operação foi definido uma estratégia concordante. A ferramenta escolhida tem um diâmetro de 8 mm, o rasgo a ser usinado tem 8 mm de largura. A Figura 12 apresenta o desenho da ferramenta utilizada na usinagem do rasgo.

Figura 12 - Desenho da fresa utilizada na usinagem do rasgo.



Fonte: Sandvik, 2023.

Para a operação furação, foi escolhida uma broca de pastilhas intercambiáveis modelo “Broca CoroDrill® 880” com pastilha intercambiável” do fabricante Sandvik. Esta ferramenta apresenta insertos assimétricos, diferenciando os insertos utilizados no centro da ferramenta dos utilizados na extremidade da ferramenta. Estes insertos possuem 2 arestas de corte sendo fixados por um parafuso central em cada inserto. Para esta operação foi definida uma estratégia de furação contínua, a qual não apresenta quebra cavacos nem descarga de cavacos, característica deste tipo de ferramenta. Este modelo de broca também faz o processo de mandrilamento, sendo uma opção desejável para realizar uma parte da usinagem da peça proposta. A Figura 13 apresenta o desenho da ferramenta utilizada na furação.

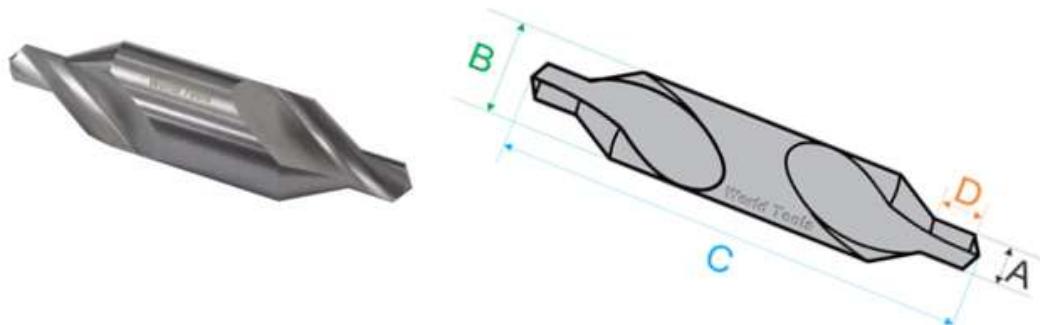
Figura 13 - Desenho da broca utilizada no processo de furação.



Fonte: Sandvik, 2023

Devido ao comprimento de determinadas brocas, a mesma pode apresentar vibrações e até desalinhamento ao penetrar no metal, utilizasse como início da furação uma broca de centro. A Figura 14 demonstra tal ferramenta.

Figura 14: Broca de centro



Fonte: WorldTools, 2023.

Esse tipo de ferramenta possui especificação conforme Figura 14 como sendo o a letra *A* o menor diâmetro com 3,1 mm, já a letra *B* o maior diâmetro com 10 mm, a letra *C* o comprimento total com 25 mm, e para finalizar a letra *D* com 1,3 mm que é a medida antes de se iniciar o ângulo de 60°, já para o ângulo menor, onde se encontra a letra *A* possui 118°.

Para última operação, às furações de diâmetro 5,5 mm, optou-se pela broca CoroDrill® 460, uma broca versátil de metal duro que tem um bom desempenho. O ângulo de ponta 140° que contribui para uma boa centralização da broca. Para esta aplicação utiliza-se o tipo de furação convencional passante, conforme apresentado na Figura 15.

Figura 15: Broca para furação do diâmetro de 5,5 mm



Fonte: Sandvik, 2023.

Vale ressaltar que a broca adotada do modelo Broca CoroDrill® 460 inteiriça de metal duro de código: 460.1-0550-041A1-XM GC34, possui tolerância alcançável H9 e não menos importante o comprimento útil de 44,8 mm, admissível para nossas especificações.

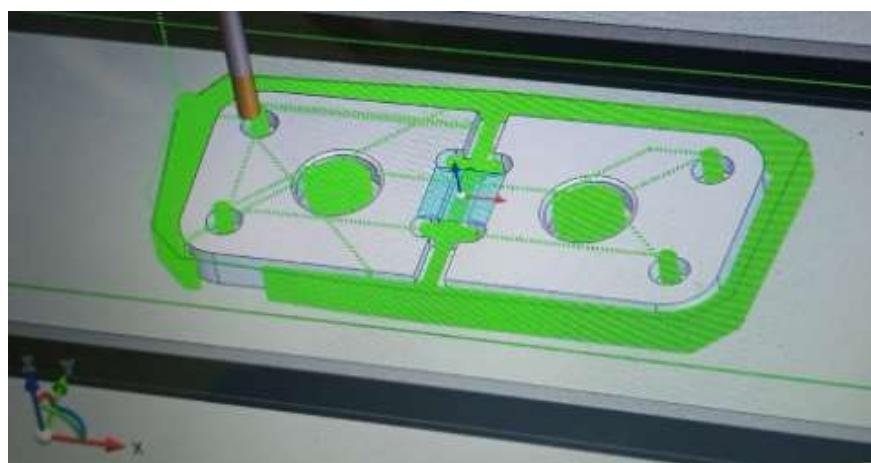
4 RESULTADOS E DISCUÇÕES

Nesta etapa será abordado os resultados e discussões obtidos durante o desenvolvimento deste relatório.

4.1 SIMULAÇÃO EM SOFTWARE EDEGCAM

Os dados utilizados para realizar a simulação em software são os retirados da fabricante Sandvik, dessa forma, foi possível obter um tempo de usinagem aproximado. A Figura 16 mostra o percurso da ferramenta, e a Figura 17 traz o tempo de usinagem.

Figura 16: percurso da ferramenta no software Edgecam



Fonte: Do autor, 2023.

Para a simulação em software, o tempo ficou em 40 minutos e 50 segundos, onde, vale ressaltar as partes de acabamento de superfícies que demandam um tempo maior de usinagem. Como por exemplo para as superfícies de rugosidade de

0,8 µm, as paredes das furações que também exigem tal rugosidade. Segundo Rozenfeld (2006), 85 % do custo do projeto está no processo de desenvolvimento de produtos, dessa forma, o projetista deve conhecer as ferramentas que possui em mãos para que possa fabricar a peça sem exigir complexas tolerâncias, lembrando que nem sempre é possível, porém, há casos onde não existe necessidade de tais tolerâncias, e isso encarece o produto por exigir um tempo maior de máquina.

Figura 17: tempo de usinagem com software Edgecam



Trabalho Simples

Dados do trabalho

ID:	400
Descrição	Novo Kit de Ferramenta.6
Comentário	
Sequência	Novo Kit de Ferramenta.6
Tempo do Ciclo	00:40:50
Pós Processador:	training mill mm.mcp
Cliente	
Programador	
Material	
Estatos	
Revisão	
Arquivo CAD	C:\Users\marcio.afonso\Desktop\pasta mestrado\Peça usinagem mestrado.SLDprt
Arquivo CAM	C:\Users\marcio.afonso\Desktop\pasta mestrado\Peça usinagem mestrado.epf
Arquivo NC	c:\users\marcio.afonso\appdata\local\temp\hexagon\edgecam\2021.0\
Ferramenta Pré-selecionada	False
ID Programa	
ID Programa 2	
Comprimento	0
Última modificação	16/02/2023 10:54:31

Fonte: Do autor, 2023.

4.2 USINAGEM DA PEÇA

O material utilizado foi SAE 1020, este material foi fornecido em forma de barra bruta conforme figura 18 abaixo.

Figura 18: Peça bruta



Fonte: Do autor, 2023.

Para usinagem, deve a seguinte sequência de usinagem, conforme tabela 4;

Tabela 4: Sequência de usinagem

FERRAMENTAS	TEMPO (S)	AVANÇO (mm/min)
T1 Ø 60 mm “FACEAMENTO”	00:00:31	200
T2 3 mm “BROCA CENTRO”	00:01:42	15
T3 5 mm “BROCA”	00:08:27	20
T4 Ø 10 mm “FRESA DE TOPO”	00:13:56	200
T5 Ø 6 mm “FRESA DE TOPO”	00:24:59	200
T6 Ø 20 mm “TOPO PASTILHA”	00:02:42	800

Fonte: Do autor, 2023.

Foi retirado o tempo individual de cada etapa com um cronômetro somente da usinagem, sem considerar o tempo de troca de ferramentas. No final foi comparado o tempo total de usinagem da máquina com o tempo de cada processo. E, dessa forma, foi encontrado o tempo de troca de ferramenta.

O somatório da tabela 4 chegou-se em um valor de 52 minutos e 17 segundos. Já o tempo total da máquina ficou em 53 minutos e 46 segundos. Fazendo a subtração dos dois valores;

$$\text{TOTAL} = \text{Tempo da máquina} - \text{Tempo cronometrado}$$

$$\text{TOTAL} = 53:46 - 52:17$$

$$\text{TOTAL} 01:29 \text{ min.}$$

O tempo total de troca de ferramenta ficou em 1 minuto e 29 segundos, sabe-se que foi realizado 6 trocas. Fazendo a divisão, o valor para cada troca fica em 15 segundos. Vale ressaltar que foi usinado somente um lado da peça. E, o programador esqueceu de programar o raio lateral da peça de 12 mm. A figura 19, traz a peça após usinagem;

Figura 19: Peça usinada

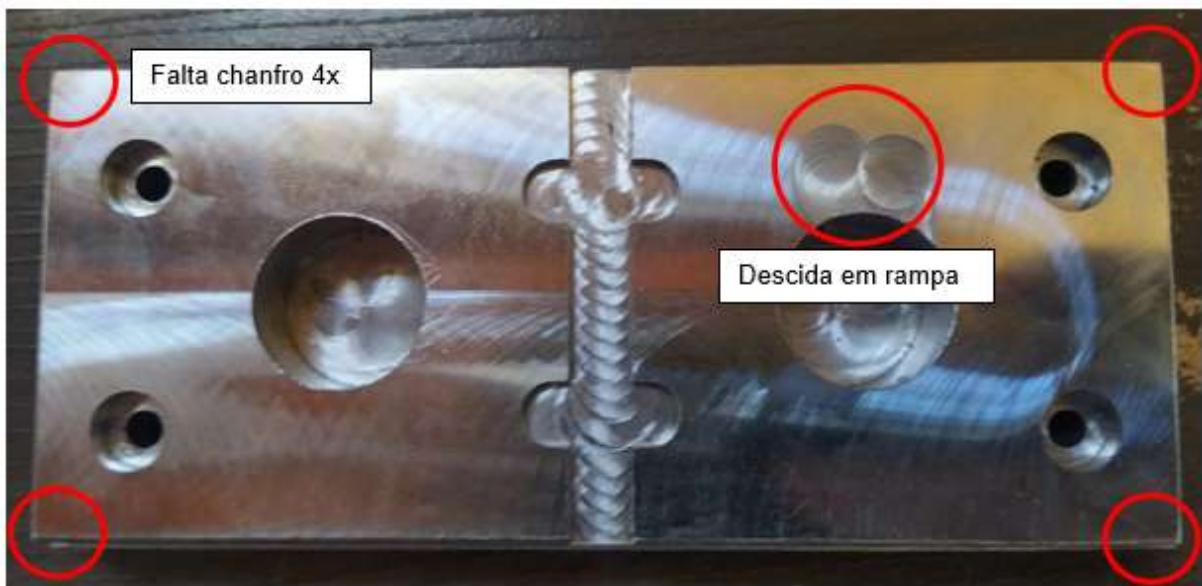


Fonte: Do autor, 2023.

Na imagem também é possível perceber que em uma das furações de diâmetro de 22 mm há um leve desgaste, isso ocorreu devido a descida em rampa da ferramenta. A figura 20, detalha os imprevistos que surgiram durante o processo de usinagem. Outro fator que ocorreu durante o processo foi ao realizar o desbaste lateral. Para este processo foi utilizado uma fresa de topo 20 mm com pastilha que, afrouxou o parafuso

de aperto de uma das pastilhas. Dessa forma, a usinagem foi interrompida. A forma de detecção deste problema foi o excesso de ruídos e vibrações na máquina.

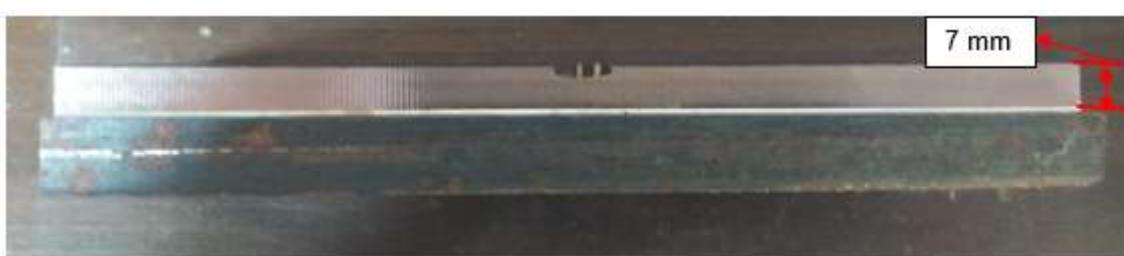
Figura 20: Erros durante o processo



Fonte: Do autor, 2023.

Outro fator importante é a profundidade da usinagem lateral ficou em 7 mm. A figura 21 detalha a profundidade citada.

Figura 21: Profundidade de 7 mm



Fonte: Do autor, 2023.



Afim de entender o valor a ser cobrado para usinagem desta peça com aço H13. Foi realizado um orçamento na região de Criciúma. O valor para esta usinagem ficou em 450 reais.

5 CONCLUSÕES

Portanto, após análise dos resultados:

- É nítido a necessidade da utilização do auxílio de um software para manufatura de produtos, como visto, a simulação ficou em 40 minutos e 50 segundos. Já, para peça usinada o tempo ficou em 53 minutos e 46 segundos, E a peça calculada em Excel ficou em 34 minutos. Note que, o tempo de software e calculado ficaram próximos, o que pode ter influenciado é o caminho das ferramentas durante a usinagem, que pode alterar o resultado final. Comparando o software e a peça prática, a diferença foi devido aos imprevistos com a pastilha da ferramenta 6 que afrouxou. O percurso das ferramentas também influencia (a peça simulada neste trabalho tem programação e percurso diferente da aula prática). E, a peça usinada na prática foi utilizado somente 50% de sua velocidade, neste caso, a peça levaria 23 minutos para ser usinada em um lado.
- É importante na hora de desenvolver uma programação, entender a aplicabilidade e funcionalidade da peça para não utilizar acabamentos com alta precisão que possam aumentar o tempo de usinagem e dessa forma o aumento do custo.
- Para o estudo em questão o tempo de usinagem bruta calculado deu aproximadamente 19 minutos e percorreu 8108 mm, já para a parte de acabamento foi necessário 15 minutos e uma distância percorrida de 1609 mm. Dessa forma, é notável a importância de usar uma tolerância dimensional realmente aplicável, pois ao contrário, o maior tempo usado é do acabamento e precisão dimensional elevando o preço da peça em questão. (estes valores foram retirados dos cálculos da planilha em Excel).



6 SUGESTÕES

- Criação de uma planilha automatizada em Excel, utilizando auxílio de VBA (Visual Basic for Applications), para realizar análise de tempos das ferramentas. Exemplo: com um material 1045, para a função de furação realizar uma comparação de um range de brocas e simular a que proporciona o melhor tempo, visando o tempo ganhado e manter o maior tempo de vida útil possível. Não podendo esquecer o valor da ferramenta. Assim sendo, ficaria uma comparação de tempo ganho x vida útil da ferramenta x preço da ferramenta.

REFERÊNCIAS

CAVALER, L. C. C. **Tecnologia de Usinagem**. SATC, Criciúma. Apostila. 2014. Acesso em: 28/12/2022.

CIMM. **Tipos de cavacos**. Disponível em: Tipos de Cavaco | Usinagem - Material Didático | Usinagem - CIMM. Acessado em: 02/02/2023.

DINIZ, A. E.; MARCONDES, F. C.; COPPINI, N. L. **Tecnologia da Usinagem dos Materiais**. São Paulo: MM Editora, 1999. Acesso em: 03/01/2023.

GOUVÊA, E. **Estudo da influência de tratamentos térmicos sobre a microestrutura de aços H13**. Pág. 6. 2014. Universidade Estadual do Maringá. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, do Departamento de Engenharia Mecânica, Centro de Tecnologia da Universidade Estadual de Maringá, como requisito parcial para obtenção do título de mestre em Engenharia Mecânica. Disponível em: <000220630.pdf (uem.br)> Acesso em: 09/02/2023.

ISCAR DO BRASIL FERRAMENTAS. 2023 Disponível em:
<http://www.iscardobrasil.com.br/index.aspx/countryid/4> Acessado em: 01/02/2023.

MACHADO, A. ABRÃO, A. COELHO, R. SILVA, M. **Teoria da usinagem dos materiais**. 3º edição. Editora Edgard Blucher LTDA. 2015. Acesso em: 01/02/2023.

MACIEL, O. MANTOVANI, I. SILVA, J. ALVES, M. VALDIERO, A. **Desenvolvimento de módulos robóticos didáticos com auxílio de um sistema cad/cam**. Salão do conhecimento, UNIJUÍ, 2016. Relatório técnico científico. VI seminário de inovação e tecnologia. Acessado em: 14/02/2023.



ROSENFELD, H. FORCELLINE, F. AMARAL, D. TOLEDO, J. SILVA, S. ALLIPRANDINI, D. SCALICE, R. **Gestão de desenvolvimento de produtos, uma referência para melhoria de processos.** 2006. Editora Saraiva. 1º edição.

SANDVIK COROMANT. 2023. Disponível em: <CoroMill® 390 (coromant.com)> Acesso em: 02/02/2023.

OLIVEIRA, M. FONTAVINE, M. TEIXEIRA, E. **Análise comparativa de montabilidade com sistemas de cotagem cd&t e gd&t: um estudo em lâminas de corte.** Pág, 1. 2012. XIX SIMPEP. Acessado em: 10/02/2023.

SANTOS, R. REBEYKA, C. **Introdução ao Edgecam.** Pág 2. 2010. Programação de CNC, ENSITEC. Acesso em: 10/02/2023.

SERIACOPI, V. **Simulação numérica do campo de tensões na microestrutura do aço ferramenta AISI H13 durante o forjamento a quente.** 2013. Escola politécnica da Universidade de São Paulo. Dissertação para obtenção do título de Mestre em Engenharia. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/tese/disponiveis/3/3151/tde-27122013-115825/publico/dissertacao_VanessaSeriacopo_unprotected.pdf> Acesso em 08/02/2023.

STEMMER, C. E. **Ferramentas de Corte I.** 4ª ed. Florianópolis: UFSC, 1995. Acesso em: 06/01/2023.

STEMMER, C. E. **Ferramentas de Corte II.** 2ª ed. Florianópolis: UFSC, 1995. Acesso em: 05/01/2023.

STOETERAU, R. **Fundamentos do processo de usinagem.** Escola politécnica da universidade de São Paulo. 2002. Acesso em: 03/02/2023.

VERTEX. Empresas de Usinagem: CNI prevê crescimento do PIB. **Vertex soluções em mecanismos e usinados.** São Paulo, 15 de fev. 2022. Disponível em :< Empresas de Usinagem: CNI prevê crescimento do PIB - Vertex Usinagem> Acesso em: 24 de jan. 2023.

WORLDTOLS, Broca de centro HSS. **World tools comercio de ferramentas Itda.** Disponível em: <<https://www.worldtools.com.br/produto/broca-de-centro-hss-o-0-80-x-15mm-din-333a-a200-doremer-98465>> Acesso em: 20 de fev. 2023.