

ANÁLISE DOS PARÂMETROS DE USINAGEM PARA SANGRAMENTO CANAIS E FURAÇÃO, PARA MELHORA DE PRODUÇÃO EM TORNOS CNC

Jackson Meneghel¹

Luiz Carlos de Cesaro Cavaler²

Resumo: Observando a necessidade de aumentar a produtividade para tornar-se competitivo no mercado, busca-se a redução dos tempos de processo de fabricação das peças, mantendo ou melhorando o padrão de qualidade, e com um custo unitário final mais baixo possível, desta forma este trabalho visa apresentar uma proposta de otimização dos processos de usinagem, de sangramento de canais e furação, sendo os principais objetos de estudo os bedames e as brocas. Uma das motivações dessa pesquisa é encontrar parâmetros de usinagem, ferramentas e instrumentos que possam reduzir o tempo de produção, quando grandes volumes de uma mesma peça devam ser usinados. Nesse estudo as ferramentas foram utilizadas em condições reais para a usinagem de motopeças, fabricadas em aço de baixo carbono para quantificar os tempos na usinagem e definir o seu desgaste. Foi determinado a partir de uma observação sistemática e criteriosa em um lote de peças, obtendo condições de corte da prática industrial, e assim definindo o melhor equilíbrio entre vida de ferramenta e produtividade. Na avaliação dos bedames o parâmetro que apresentou o conjunto de resultados mais satisfatório, menor tempo de usinagem e menor desgaste de flanco foi a utilização de rotação n de 2.200 rpm e avanço f de 0,11 mm/rot. Também foram desenvolvidos mecanismos e dispositivo que diminuíram o tempo total de um ciclo de usinagem em 13,65%. Na avaliação das brocas foi possível identificar um modelo no mercado que proporciona uma redução de 8,66% no tempo total de usinagem. Deste modo foi possível atingir um aumento de produção deste setor em aproximadamente 22%.

Palavras-chave: Parâmetros de usinagem. Ciclos de usinagem. Bedame. Broca. Desgaste.

1. INTRODUÇÃO

A indústria metal mecânica exige cada vez mais desenvolvimento nos processos de fabricação, em especial a modernização de máquinas operatrizes e a evolução de ferramentas de corte e processos de fabricação. A escolha correta das ferramentas de usinagem e seus parâmetros não apenas se torna uma questão de acompanhamento da tecnologia, mas uma obrigação, em razão da forte concorrência

¹ Graduando em Engenharia Mecânica. E-mail: jacksonmeneghel@hotmail.com

² Prof. Dr. Eng. Luiz Carlos de Cesaro Cavaler. E-mail: luiz.cavaler@satc.edu.br

e necessidades atribuídas de um produto como qualidade e preço. Um bom gerenciamento e estratégias se tornam fundamentais para aumento de produtividade.

Tornos com comando numérico computadorizado mais conhecidos como tornos CNC são fundamentais para atender à demanda de peças, pois é uma máquina que possui alta produção, excelente nível de acabamento de superfície e flexibilidade de produção. Porém, a crescente demanda de peças e com uma grande variedade, os tornos se tornaram um gargalo de produção, impedindo os setores seguintes de finalizar a montagem de uma peça, conseqüentemente impedindo que a mesma seja montada em seu tempo correto.

Com a economia globalizada, em especial com a concorrência muito acirrada, trazem a necessidade de desenvolver sistemas e métodos com melhor desempenho e produtos competitivos. Historicamente a demora de fabricação de um produto sempre foi um ponto fraco na empresa CHAPAM.

Atualmente existe mais de 150 modelos peças no setor de usinagem, destacando a fabricação de espaçadores, buchas, eixos e parafusos prisioneiros. Pretende-se resolver o problema de baixa produtividade do setor e com isso melhorar a relação entre a empresa e o cliente final. Com um aumento de 15% de produção nos tornos, a quantidade de peças usinadas por terceiros será reduzida ou eliminada, e assim a peça vendida trará um maior retorno financeiro à empresa. Como a usinagem utilizando torno CNC é um procedimento muito utilizado em qualquer indústria mecânica para a fabricação de peças, a obtenção de menores tempos de produção é essencial principalmente uma máquina de alto grau de repetibilidade.

Neste contexto, este trabalho faz um estudo para verificar a influência dos parâmetros de usinagem na vida útil das ferramentas usadas no torneamento CNC do aço SAE 1020, que é um material comum de peças de máquinas e equipamentos mecânicos. Visando obter informações técnicas para otimização dos parâmetros de usinagem, resultando em um processo dentro das faixas de produção especificadas.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nos seguintes tópicos serão levantadas as informações consideradas pertinentes quanto a realização do trabalho. Os temas serão divididos nos seguintes tópicos: usinagem, desgaste da ferramenta e ciclos e tempos de usinagem.

2.1 Usinagem

A usinagem é reconhecidamente o processo de fabricação mais popular do mundo, transformando em cavacos algo em torno de 10% de toda a produção de metais e empregando dezenas de milhões de pessoas (CAPUTO, 2016).

Com a combinação de movimentos da rotação da peça e movimento de avanço da ferramenta, que pode ser no sentido vertical ou horizontal, se obtém superfícies cônicas ou curvas, com as quais as unidades de controle de tornos CNC atuais podem lidar por meio de muitas possibilidades de programas.

2.1.1 Parâmetro de corte

Os parâmetros ajudam a obter uma perfeita usinagem por meio da utilização racional dos recursos oferecidos por determinada máquina ferramenta (MEDEIROS, 2018).

Em um processo de usinagem, existe uma série de parâmetros de corte a considerar, como potência de corte, força de corte, pressão específica de corte, entre outros. Foram utilizados na realização desse estudo a velocidade de corte, velocidade de avanço, taxa de remoção de material e profundidade de corte.

2.1.1.1 Velocidade de corte

Em um processo de torneamento, velocidade de corte é o resultado do deslocamento da ferramenta na peça quando esta gera cavaco. A velocidade de corte é a velocidade tangencial instantânea resultante da rotação da peça em torno da ferramenta, sendo definida pela Eq. (1). (DINIZ, 2006)

$$v_c = \frac{(\pi \cdot D \cdot n)}{1000} \left[\frac{m}{min} \right] \quad (1)$$

Onde:

D = diâmetro da peça a ser usinada (mm)

n = frequência de rotação (rpm)

2.1.1.2 Velocidade de avanço

Em operações de torneamento, a velocidade de avanço é o produto do avanço da ferramenta no material pela rotação a que é destinada na operação (DINIZ, 2006), sendo está representada pela Eq. (2).

$$v_f = f \cdot n \left[\frac{mm}{min} \right] \quad (2)$$

Onde:

f = avanço por rotação ou avanço por volta (mm/rot)

n = frequência de rotação (rpm)

2.1.1.3 Taxa de remoção de material

Para quantificar o material retirado em uma operação de torneamento, é necessário utilizar a Eq. (3), da taxa de remoção do material (SANDVIK, 2020).

$$Q = v_c \cdot f \cdot a_p \left[\frac{cm^3}{min} \right] \quad (3)$$

Onde:

v_c = velocidade de corte (m/min)

f = avanço por rotação ou avanço por volta (mm/rot)

a_p = profundidade de corte (mm)

Para quantificar o material retirado em uma operação de furação, deve-se utilizar a Eq. (4) (SANDVIK, 2020).

$$Q = \frac{(D_c \cdot f \cdot v_c)}{4} \left[\frac{cm^3}{min} \right] \quad (4)$$

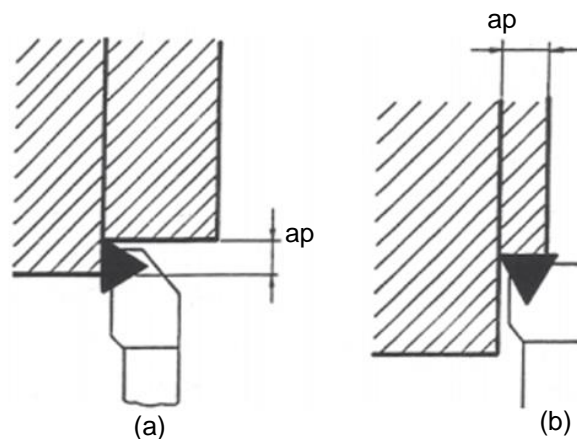
Onde:

D_c = diâmetro da broca (mm)

2.1.1.4 Profundidade de corte

Trata-se da grandeza numérica que define a penetração da ferramenta para a realização de uma determinada operação, possibilitando a remoção de certa quantidade de cavaco (SENAI-RJ, 2020). A profundidade de corte a_p pode ser diferenciada pelo sentido da usinagem, em torneamento longitudinal ou torneamento radial, conforme mostrado na Fig. 1.

Figura 1 – Profundidade de corte em torneamento longitudinal (a) e torneamento radial (b).



Fonte: adaptado de SENAI-RJ (2020)

2.2 Desgaste e vida da ferramenta

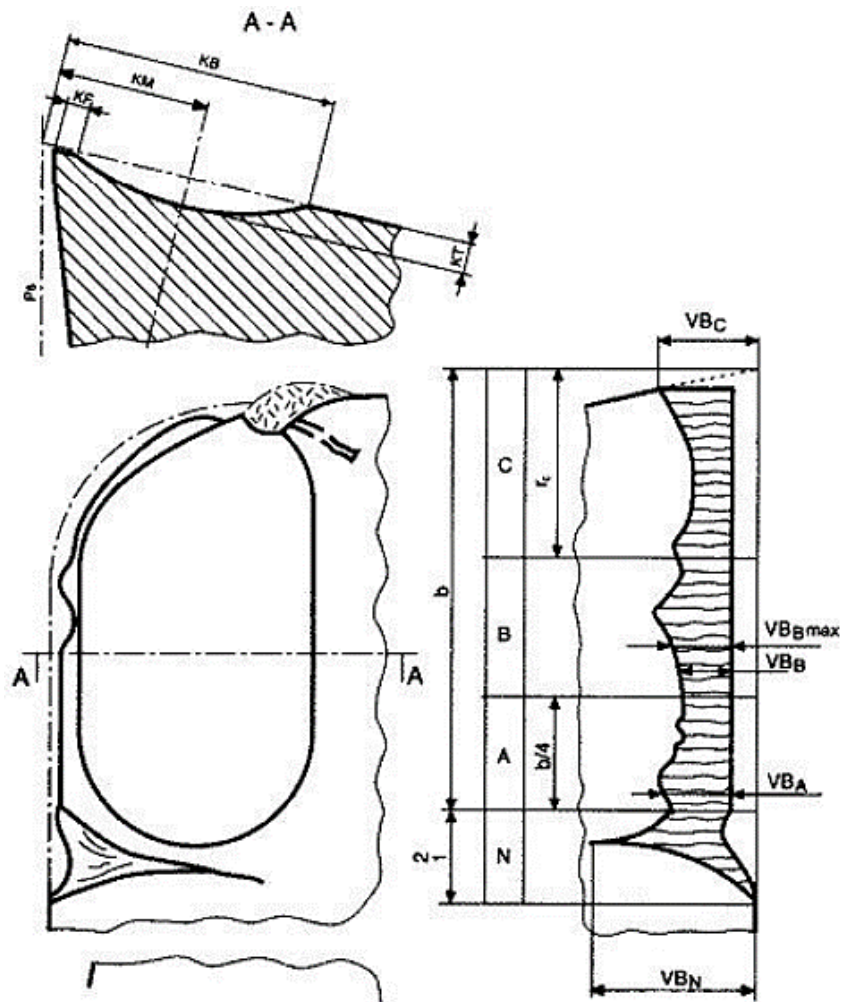
A vida de uma ferramenta é o tempo que ela trabalha efetivamente (deduzido os tempos passivos) até perder a sua capacidade de corte, dentro de um critério previamente estabelecido. Atingido esse tempo, a ferramenta deve ser reafiada ou substituída (DINO FERRARESI, 1987, p. 41).

Há vários fatores que influenciam a vida de uma ferramenta, geometria, posição da ferramenta, operação, até mesmo fatores externos como vibração e maquinário utilizado. A velocidade de corte é o parâmetro mais influente na vida da ferramenta, taxa de remoção é a segunda e a profundidade de corte é a terceira, porém com uma significância menor comparado aos outros dois (FATA & NIKUEI, 2010).

Normalmente os desgastes que ocorrem na face e no flanco são medidos no plano ortogonal da ferramenta. A Fig. 2 representa as medições de desgaste em uma ferramenta.

Analisando-se a Fig. 2 verifica-se que na face mede-se o desgaste de cratera: profundidade (K_T), largura (K_B) e a distância do centro da cratera à aresta de corte (K_M); no flanco mede-se a largura do desgaste de flanco (VB), que é um valor médio do desgaste na superfície de folga e a largura máxima do desgaste de flanco ($VB_{máx}$) (DINIZ, 1999, p.242).

Figura 2 – Medidas do Desgaste da Ferramenta.



Fonte: adaptado de Diniz (1999)

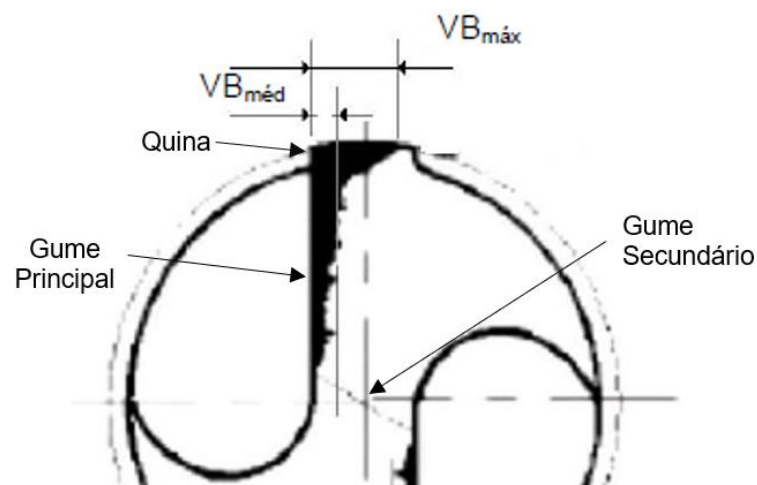
Para as brocas o desgaste de flanco (VB), conforme Fig.3 ocorre ao longo do gume da broca e caracteriza-se pela largura média ($VB_{méd}$) e pela largura máxima

($VB_{m\acute{a}x}$) das marcas de desgaste localizadas nos flancos da broca (superfícies de incidência). É o tipo de desgaste mais comum em ferramentas de usinagem, sendo o responsável pela deterioração do acabamento da superfície da peça em função de alterações na forma do gume original (PIMENTEL, 2014).

A escolha dos critérios de fim de vida na operação de furação depende de vários fatores, tais como: limites de aceitação do desgaste de flanco; desvios das tolerâncias dimensionais do furo; perda de qualidade superficial da peça; aumento nos níveis de vibrações; aumento dos esforços no processo; e aumento da temperatura de usinagem (PIMENTEL, 2014).

O desgaste de uma ferramenta de usinagem é um processo natural, mas que pode ser acentuado por diversos fatores. De forma sucinta Diniz (2006) descreve o desgaste como perda contínua e microscópica de partículas da ferramenta devido à ação do corte.

Figura 3 – Medidas do desgaste de uma broca.

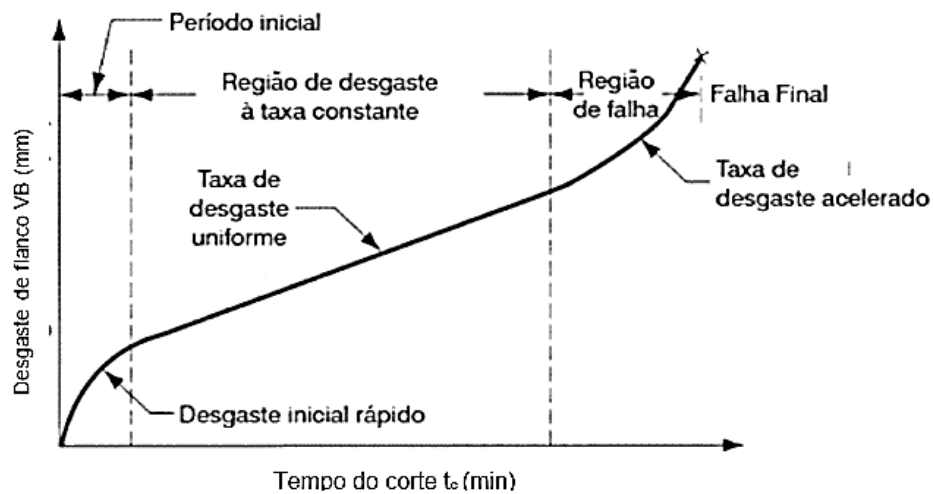


Fonte: adaptado de Pimentel (2014)

2.2.1 Curvas de vida de uma ferramenta

Para melhor gerenciamento de usinagem, é fundamental a utilização de curvas de vida de uma ferramenta, Fig.4. Este recurso fornece a vida da ferramenta em função da velocidade de corte, permitindo assim a melhor visualização de comportamento de desgaste, e conseqüentemente uma seleção técnica e criteriosa dos parâmetros de usinagem e das ferramentas utilizadas.

Figura 4 - Exemplo gráfico da vida de uma ferramenta.



Fonte: adaptado de Machado et al (2009)

O desgaste de uma ferramenta não é uniforme durante a vida útil da ferramenta, inicia-se rápido, depois se estabelece em uma taxa uniforme e, finalmente, acelera a uma taxa muito alta até ocorrer uma falha catastrófica, que é uma fratura da ferramenta (CADEM, 2016).

2.3 Tempos de Usinagem

O tempo de usinagem é a quantidade de tempo total que leva para abastecer, usinar e retirar o material usinado. Um ciclo básico de usinagem de uma peça, pertence a um lote de z peças, sendo executado por uma máquina com comando numérico, e é dividido pelas seguintes fases (FERRARESI, 1970, p. 648):

- a) Preparo de máquina-ferramenta para a execução de “ z ” peças;
- b) Colocação e fixação da peça para usinagem na máquina-ferramenta (carga);
- c) Aproximação ou posicionamento da ferramenta para o início do corte;
- d) Corte da peça;
- e) Afastamento da ferramenta;
- f) Soltura e retirada da peça usinada (descarga);

Definindo as fases, o tempo total de usinagem (t_i) de uma peça é calculado como:

$$t_t = \frac{t_p}{z} + t_s + t_a + t_c + \frac{t_{tf} \cdot n_t}{z} \text{ [min]} \quad (5)$$

Onde:

t_p = tempo de preparo da máquina (fase a); (min)

t_s = tempo de carga e descarga da máquina (fases b e f); (min)

t_a = tempo de aproximação e afastamento da ferramenta (fases c e e); (min)

t_c = tempo de corte (fase d); (min)

t_{tf} = tempo de troca de ferramenta; (min)

n_t = número de troca de ferramenta na produção do lote de z peças;

z = número total de peças no lote;

É possível identificar que o tempo de um programa (t_{pg}) de um torno CNC, é a somatória de dois dados, o tempo de corte (t_c) e tempo de aproximação e afastamento (t_a), essa informação é facilmente encontrada nos painéis dos tornos CNC:

$$t_{pg} = t_a + t_c \text{ [min]} \quad (6)$$

Deve-se informar que as coletas de alguns tempos são realizadas por cronometragem, como t_p , t_c , t_s , t_a , t_{pg} e t_{tf} . Com cada etapa diferenciada, devem-se definir estratégias específicas, para reduzir o tempo de cada fase. No tempo de corte (t_c), obtém como meta modificar fixadores, insertos e ferramentas para operar com avanços e profundidade de corte maior.

No tempo de aproximação e afastamento (t_a), diminuir perdas de tempo provocadas por deslocamento excessivo, ou seja, fazer uma trajetória menor ou mais eficiente da ferramenta, quando a mesma está em condição de avanço rápido (G00), porém nunca colocando a ferramenta ou outras componentes do torno em alguma situação de risco.

No tempo secundário (t_s) é o tempo improdutivo, é referente ao tempo de alimentação e retirada da peça ao torno. Geralmente os alimentadores automáticos diminuem o tempo drasticamente, e assim diminui o fator humano em um ciclo de produção.

3. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

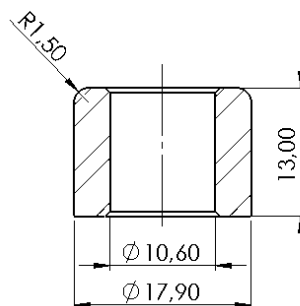
A realização do procedimento experimental foi dividida em três etapas: quantificar dados históricos de produção, procedimento de coleta de dados com a usinagem referente ao bedame e coleta de dados no processo de furação utilizando as brocas.

3.1 Quantificar os dados de produção

O setor de usinagem CNC é responsável pela fabricação em sua maioria de peças como espaçadores, buchas com ou sem flange, peso para guidões, eixos, parafusos prisioneiros entre outros.

A Fig. 5 apresenta um dos modelos de peças mais usinados na fábrica. Com código USI-1781- (0003) é chamada de espaçador.

Figura 5 - Peça USI-1781- (0003).

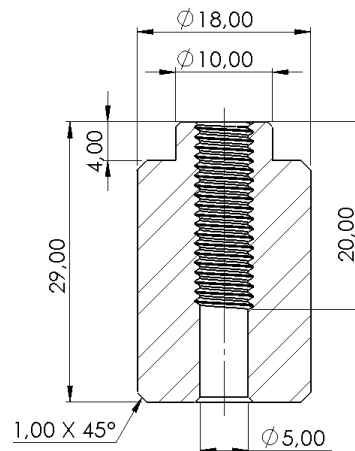


Fonte: do Autor (2019)

Sua produção consiste em cortar os tubos trefilados com diâmetros específicos em comprimento menores, com acabamentos leves como raios ou chanfros. Este modelo será fabricado nos ensaios dos bedames e, é de vital importância diminuir o tempo da produção desses tipos de peças, pois ela e semelhantes representam mais de 60% da produção no setor de usinagem.

A Fig. 6 apresenta um exemplo de peça com utilização de brocas. Com código: USI-1424- (0001) é chamado bucha com rebaixo para bagageiro Honda Titan 160 modelo 2019.

Figura 6 - Peça USI-1102- (0002).



Fonte: do Autor (2019)

A sua produção consiste na usinagem a partir de tarugos de aços redondos laminados para a geometria final, processo mais trabalhoso e com mais operações do que o anterior. Nesta peça utiliza-se a broca de centro de 5 mm e, os bedames de largura de 2,00 mm. Este modelo de peça será fabricado nos ensaios das brocas, pois é necessário modificar o ferramental de furação, pois o mesmo não utiliza uma usinagem de performance. A Tab. 1 mostra o histórico de produção dos anos anteriores e, aproximadamente 30% da produção do setor da usinagem utilizam as brocas.

Tabela 1 - Histórico de produção.

Ano	Total
2017	126.171
2018	184.558
2019	239.511

Fonte: do Autor (2020)

3.1.1. Ensaio com bedames

Na primeira etapa, foram utilizados 12 bedames com parâmetros de corte distintos em um programa padrão, sendo o ciclo de usinagem para a fabricação do item USI-1781- (0003), Fig. 5.

A cada repetição de 15 ciclos de usinagem, o bedame foi retirado para fotografia em um microscópio digital para a medição do desgaste. Também foi cronometrado os tempos de usinagem para a fabricação dessa peça utilizando as rotações e avanços da Tab. 2, totalizando-se 75 ciclos para cada bedame.

O equipamento utilizado nos ensaios com bedames, foi um torno CNC ROMI modelo 30s, e fluido de corte ME-3 da Quimatic Tapmatic (óleo solúvel sintético de base vegetal) com proporção da mistura de água 1:19. O material usinado é um tubo trefilado com costura, com seguintes dimensões, diâmetro externo 17,9 mm e diâmetro interno 10,6 mm.

Nos experimentos foi utilizado o inserto da marca KLP, modelo DGN 2002 KLP 1550, Fig. 7 e Tab.3, tendo como o suporte de fixação um DGTR 20B 2D-35. Segundo o fabricante, o bedame é indicado para corte de Aços (classe P), com o um intervalo de velocidade de corte de 100 a 200 m/min e com um avanço de rotação de 0,10 a 0,14 mm/rot.

Tabela 2 – Parâmetros de corte dos bedames de 2,0 mm

Nº bedame	n [rpm]	f _n [mm/rot]	Ø externo [mm]	Ø Interno [mm]	v _c [m/min]	a _p [mm]
1	1.000	0,08	17,95	10,60	56,39	2,00
2	1.400	0,08	17,95	10,60	78,95	2,00
3	1.800	0,08	17,95	10,60	101,51	2,00
4	2.200	0,08	17,95	10,60	124,06	2,00
5	1.000	0,11	17,95	10,60	56,39	2,00
6	1.200	0,11	17,95	10,60	78,95	2,00
7	1.800	0,11	17,95	10,60	101,51	2,00
8	2.200	0,11	17,95	10,60	124,06	2,00
9	1.000	0,14	17,95	10,60	56,39	2,00
10	1.400	0,14	17,95	10,60	78,95	2,00
11	1.800	0,14	17,95	10,60	101,51	2,00
12	2.200	0,14	17,95	10,60	124,06	2,00

Fonte: do Autor (2019)

Figura 7 - Desenho DGN 2002 KLP 1550.



Fonte: adaptado do manual KLP cutting tools (2017)

Tabela 3 - Geometria bedame KLP 1550.

Código	W [mm]	I [mm]	R [mm]	M [mm]	fa°
DGN 2002	2,00	19,90	0,20	1,70	-

Fonte: do Autor (2019)

3.1.2. Ensaio com brocas

Nos ensaios com brocas foram selecionadas cinco modelos de brocas com o diâmetro de 5 mm, utilizados na máxima performance especificada pelo fabricante, sendo o ciclo de usinagem para a fabricação do item USI-1102- (0002), Fig. 6.

O equipamento utilizado nos ensaios com as brocas, foi o torno CNC ROMI modelo G240, e fluido de corte ME-3 da Quimatic Tapmatic (óleo solúvel sintético de base vegetal) com proporção da mistura de água 1:19. O material usinado é um ferro redondo trefilado (SAE 1020) com o diâmetro de 18 mm, sendo o suporte de fixação das brocas, fabricados pelo próprio setor de usinagem.

A cada repetição de 30 ciclos de usinagem, a broca foi retirada para fotografia em um microscópio digital para a medição do desgaste. Também foram cronometrados os tempos do programa e o tempo do ciclo de furação da broca, para a fabricação dessa peça utilizando as rotações e avanços da Tab. 4., sendo modificado apenas a rotação e o avanço no ciclo de furação do programa.

Neste caso, além de cronometrar os tempos do processo de usinagem, foi necessário contabilizar os números de trocas de ferramenta (n_t), em um lote de 240 peças (z), as brocas que com menores vidas, representam mais trocas de ferramentas, e conseqüentemente maiores tempos de perda com paradas para a troca ou afiação desta ferramenta.

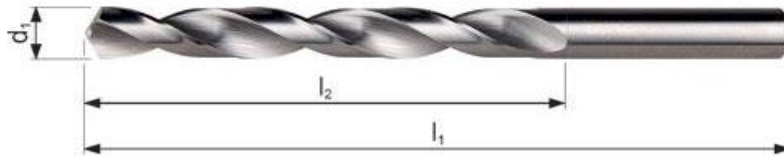
Tabela 4 – Descrição e dados de corte das brocas.

Descrição	Código	v_c [m/min]	n [rpm]	f [mm/rot]	v_f [mm/min]	Q [cm ³ /min]
Broca A100 Série curta	A100-5.0	35	2.228	0,13	290	5,69
Broca DIN338-TIN	A002-5.0	47	2.992	0,17	509	9,99
Broca PFX Série normal	A901-5.0	60	3.820	0,17	649	12,75
Broca ADX Série normal	A510-5.0	57	3.629	0,225	817	16,03
Broca MD DIN338R100	R100-5.0	85	5.411	0,03	162	2,65

Fonte: do Autor (2020)

A brocas apresentadas são de formato helicoidal de haste cilíndrica, Fig. 8 e, suas respectivas geometrias estão descritas na Tab. 5.

Figura 8 - Formato da broca helicoidal.



Fonte: adaptado do manual DORMER (2018)

Tabela 5 - Geometrias das brocas.

Descrição	Código	Norma	d_1 [mm]	l_1 [mm]	l_2 [mm]	Ponta[°]
Broca A100 Série curta	A100-5.0	DIN 338	5	86,5	54,0	118
Broca DIN338-TIN	A002-5.0	DIN 338	5	86,3	53,4	118
Broca PFX Série normal	A901-5.0	DIN ANSI	5	86,7	55,0	130
Broca ADX Série normal	A510-5.0	DIN 338	5	87,1	53,0	130
Broca MD DIN338R100	R100-5.0	DIN 338	5	86,4	52,5	120

Fonte: do Autor (2020)

Características das brocas, segundo o fabricante:

- Broca A100 Série curta (A100-5.0): produzidas em aço rápido (HSS), está broca é indicada para metais ferrosos e não ferrosos em serviços leves.
- Broca DIN338-TIN (A002-5.0): produzidas em aço rápido, está broca é indicada para aços, aços inoxidáveis, ferro fundido, plásticos e outros materiais, possui cobertura de titânio na ponta. Conta ainda com afiação especial em cruz (autocentrante), proporcionando maior precisão e qualidade do furo.
- Broca PFX Série normal (A901-5.0): produzidas em aço rápido cobalto, está broca é adequada para utilização em quase todos os materiais da indústria, incluindo aços inoxidáveis, aços carbono, aços de liga, ferro fundido e materiais não ferrosos, possui uma cobertura Alcrona-top que lhe fornece uma maior vida útil.
- Broca ADX Série normal (A510-5.0): produzidas em aço rápido e possuindo uma cobertura de titânio para aumento de vida útil e desempenho, essa broca possui uma geometria de canal especial com ângulo de hélice rápido e ponta afiada 130°. Esta broca possui um gume principal de corte levemente arredondado, enquanto as outras possuem a aresta de corte reta.

- Broca MD DIN338R100 (R100-5.0): produzidas em metal duro inteiriço e não revestida, essa broca é recomendada para a furação de metais ferrosos e não ferrosos em geral.

Com exceção da broca PFX Série normal que possui quebra cavaco correspondente a 6x o diâmetro, as restantes possuem 4x o diâmetro.

3.1.3. Coleta de dados desgaste

A fim de confrontar e quantificar o desgaste dos diferentes ensaios através do parâmetro de desgaste $VB_{máx}$ aplicado nesse estudo, foi utilizado um microscópio digital USB da marca Nova Digital, com ampliação de 1600x segundo o fabricante, Fig.9. O suporte de fixação foi projetado de modo que o flanco de corte ficasse a 90° da fonte de luz (do próprio microscópio). Deve-se destacar que na captura de imagens foi utilizada a mesma altura e ampliação.

Figura 9 – Equipamento para medição do desgaste.



Fonte: do Autor (2020)

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção serão apresentados e discutidos os resultados obtidos nos objetos de estudo deste trabalho, primeiramente os resultados dos ensaios dos bedames, posteriormente as brocas e finalizando os custos aplicados neste estudo.

4.1 Ensaio com bedames

Com auxílio de um cronômetro digital e o da tela dos tornos foram definidos os tempos de um ciclo de usinagem da Eq. (5) no programa base, Tab.6, tendo como principal importância encontrar os parâmetros que apresentem os menores tempos de execução do programa.

Determinou-se o, tempo de preparação da máquina 7,6167 min (t_p), tempo de carga e descarga 0,3445 min (t_s), tempo de troca de ferramenta 1,7598 min (t_{ff}). Foi considerado como t_p , o tempo de zeramento das ferramentas e ajustes na máquina, t_s o tempo para alimentar e retirar as peças usinadas do torno, e t_{ff} o tempo que o operador executa a troca do bedame do seu suporte. Estes foram medidos e quantificados pelo cronômetro digital e estão relacionadas a capacidade e velocidade do operador. Os tempos t_c e t_a foram obtidos pelo cronômetro da tela do torno e sua variação está diretamente ligada a programação, sendo considerado t_c o tempo do programa da execução do corte e t_a o intervalo do programa quando não está efetuando o corte.

Tabela 6 – Quantificação dos tempos de usinagem dos bedames

Nº bedame	t_p/Z [min]	t_s [min]	t_a [min]	t_c [min]	$(t_{ff} \cdot n_t)/Z$ [min]	t_t [min]
1	0,1016	0,3445	0,1037	0,4055	0,0235	0,9787
2	0,1016	0,3445	0,1020	0,3185	0,0235	0,8900
3	0,1016	0,3445	0,1043	0,2815	0,0235	0,8553
4	0,1016	0,3445	0,1412	0,2285	0,0235	0,8392
5	0,1016	0,3445	0,1045	0,3005	0,0235	0,8745
6	0,1016	0,3445	0,1032	0,2505	0,0235	0,8232
7	0,1016	0,3445	0,1145	0,2110	0,0235	0,7950
8	0,1016	0,3445	0,1405	0,1790	0,0235	0,7890
9	0,1016	0,3445	0,1083	0,2510	0,0235	0,8288
10	0,1016	0,3445	0,1047	0,2050	0,0235	0,7792
11	0,1016	0,3445	0,1247	0,1755	0,0235	0,7697
12	0,1016	0,3445	0,1460	0,1460	0,0235	0,7593

Fonte: do Autor (2019)

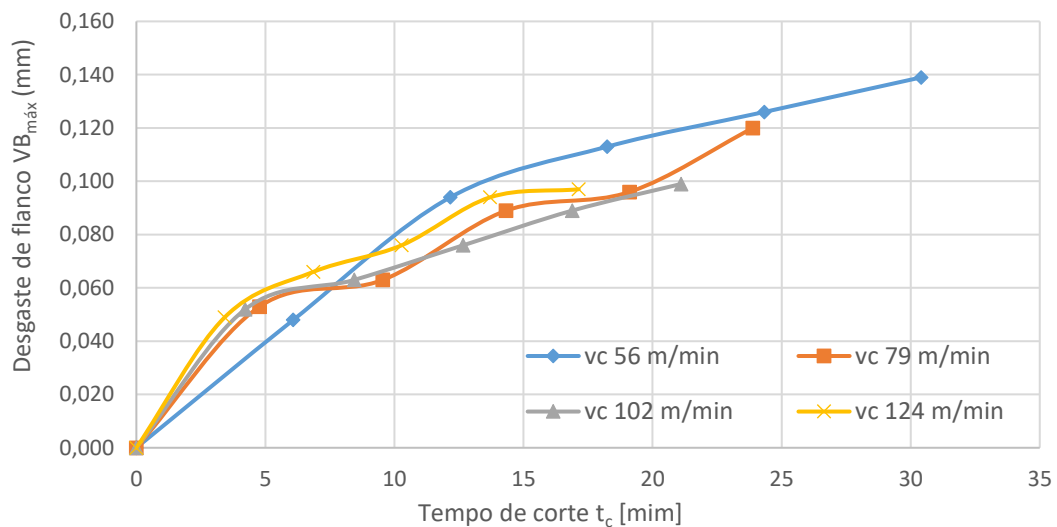
Os tempos de corte (t_c), como esperado, foram diminuindo com maiores taxas de remoção de material, provocados pelo aumento da rotação ou por incremento do avanço. O comportamento no tempo de aproximação e afastamento (t_a) foram maiores à rotação elevadas, isso o ocorre, porque o motor necessita de um intervalo

maior para atingir determinada rotação (no início do programa) e da desaceleração até a rotação zero (no final do programa).

Após a medição do parâmetro $VB_{m\acute{a}x}$ pelo microscópio digital, os dados foram tabulados no Excel para melhor organização e visualização, e assim, definir as curvas de vida das ferramentas, sendo de fundamental importância, para encontrar qual parâmetro de usinagem apresenta menor desgaste, deve-se destacar que os bedames não foram utilizados até o seu final de vida.

Nos ensaios nº 1 até o nº 8, o torno teve comportamento normal, nos ensaios nº 9 até o nº 12, nota-se que os parâmetros de usinagem estão fora das condições ideais pelo ruído e vibração do torno, sendo que às únicas quebras de bedames foram nessa faixa de avanço, sendo um bedame nos ensaios nº 9, 11 e 12 e dois bedames na condição nº 10.

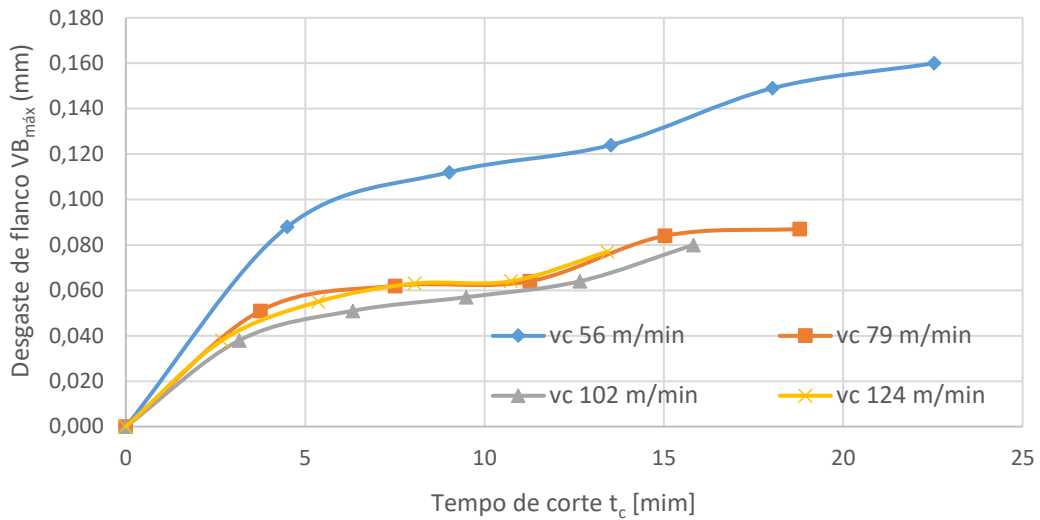
Figura 10 – Curva de vida da ferramenta ($f = 0,08$), bedames nº 1, 2, 3, 4.



Fonte: do Autor (2020)

Na Fig. 10 identifica-se que as ferramentas que mais tiveram desgaste foram os bedames nº 1 e 4 (respectivamente os ensaios com rotação de 1.000 e 2.200 rpm). No geral, todas tiveram comportamentos semelhantes, ultrapassando ou chegando próximo do desgaste de flanco de 0,1 mm. Uma particularidade da ferramenta nº 1, é que a mesma apresentou um desgaste inicial mais lento, e a partir de 7 min aproximadamente, começa a ter um crescimento acelerado, ultrapassando o parâmetro desgaste $VB_{m\acute{a}x}$ com relação as ferramentas no 2, 3 e 4.

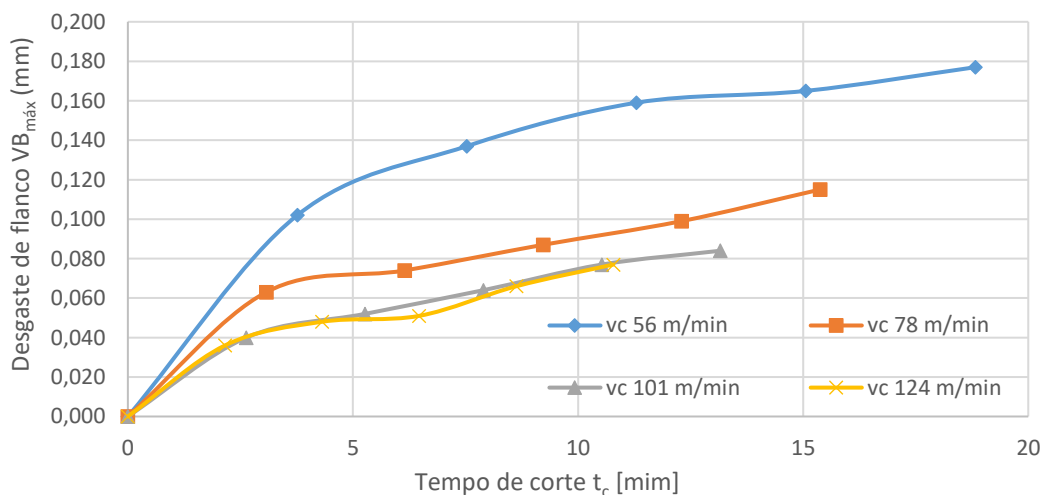
Figura 11 - Curva de vida da ferramenta ($f = 0,11$), bedames n° 5, 6, 7, 8.



Fonte: do Autor (2020)

Na Fig.11 nota-se que a ferramenta n° 5 teve desgaste acentuado, apresentando o seu valor final 0,16 mm, enquanto que as outras apresentaram valores finais próximos à 0,8 mm. Destaque para ferramenta n° 6, que mesmo usando fora do intervalo de velocidade de corte (v_c) especificado pelo fabricante, não apresentou desgaste irregular.

Figura 12 - Curva de vida da ferramenta ($f = 0,14$), bedames n° 9, 10, 11, 12.



Fonte: do Autor (2020)

Na Fig. 12 pode-se verificar que a ferramenta n° 9 e 10 apresentaram desgaste acentuado, sendo a última, menos expressivo que a primeira. Nesses testes

a ferramenta foi submetida ao máximo de avanço permitido pelo fabricante, uma condição que viria a causar ruídos e vibração no processo de corte, resultando em quebras de ferramental. Curiosamente as ferramentas nº 11 e 12 não apresentaram desgaste excessivo, mesmo trabalhando em condições adversas.

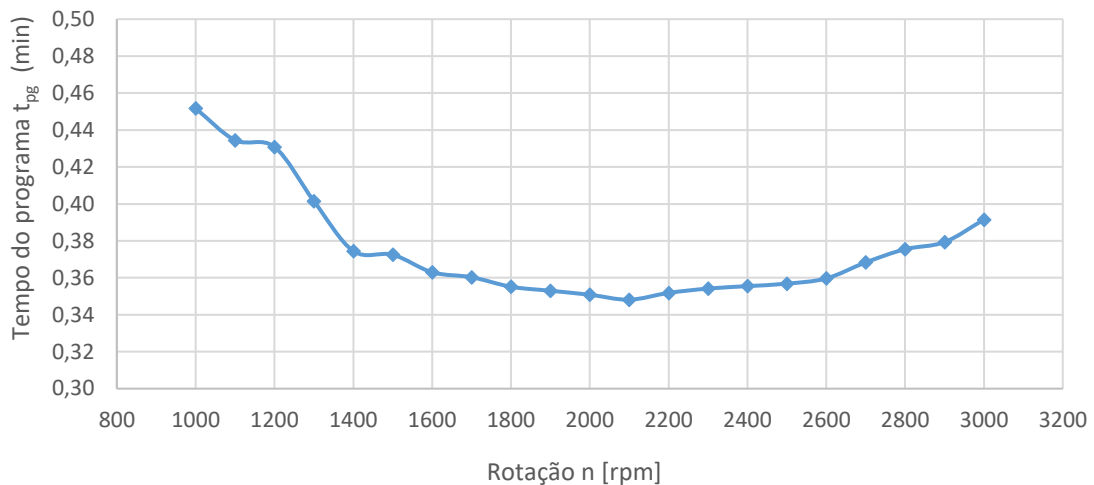
A fratura total de uma pastilha acarreta no maior gasto de fabricação, uma vez que uma pastilha sofrendo fratura total compromete as demais arestas novas de corte. Além disso, devido ao movimento de avanço do suporte da ferramenta, que entraria em contato com a peça, esse contato poderia danificar o braço do suporte da ferramenta, necessitando de uma troca imediata do suporte, gerando custos adicionais para o processo.

As ferramentas que apresentaram os menores desgaste foram a dos ensaios nº 7, 8, 11 e 12 com valores próximos a 0,08 mm, sendo que foram as únicas que estavam ao mesmo tempo dentro do intervalo de avanço e velocidade de corte especificada pelo fabricante. É possível identificar que a pior combinação feita para essa ferramenta foi trabalhar com altos valores de avanço e rotações baixas, como as feitas no ensaio nº 5 e 9.

O estudo de Santana (2011), afirma que o parâmetro determinante analisado para a vida do desgaste da ferramenta é a velocidade corte. Aumentando a velocidade de corte, a temperatura aumenta, com o aumento de temperatura pode causar expansão periódica e contração das ferramentas ocasionando formação de trincas e conseqüentemente ao lascamento de arestas, em velocidades de corte muito baixas essas trincas não se formam, mas adesão e lascamento ocorrem devido ao carregamento mecânico e a natureza instável da aresta postiça, pois a geometria da ferramenta está fora da sua condição de uso.

Foi realizada uma segunda experiência, a partir de uma dúvida do primeiro experimento, qual a faixa de rotação que compreende o menor tempo de execução do programa. O segundo teste foi a aplicação de diferentes rotações sendo adicionado 100 rpm a cada novo teste iniciando com rotações de 1.000 rpm e finalizando com 3.000 rpm e utilizando o mesmo valor de avanço, $f = 0,1$ mm/rot. O tempo do programa, disponível na tela do torno, os resultados dos tempos de programa estão mostrados pela Fig. 13.

Figura 13 - Efeito da variação da rotação no tempo do programa.



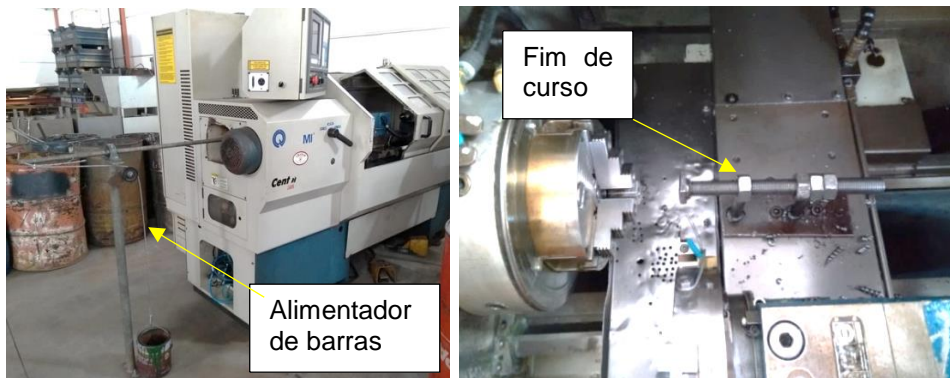
Fonte: do Autor (2020)

Em relação ao tempo e utilizando o programa padrão, a melhor faixa de trabalho foi de 2.100 rpm, sendo o único que ficou com o t_{pg} abaixo dos 0,35 min.

Após a escolha dos parâmetros de usinagem, foram implementados o sistema de alimentação de barra por gravidade e o fim de curso (Fig.14a), propostos no anteprojeto, visando à redução de tempo total de usinagem (t_t). Com a utilização do mesmo foi possível reduzir o tempo de carga, pois o operador não precisa abrir e nem fechar a porta de segurança e puxar ou empurrar a peça até o seu fim de curso. O ciclo pode ser ainda otimizado utilizando um programa repetidor e com retirada do acionamento manual do botão *cicle start* e assim, o operador não necessita apertar manualmente o comando a cada novo ciclo. Com esse dispositivo foi possível à redução do tempo de carga (t_s) de 0,2550 min para 0,1535 min.

A fabricação do fim de curso do torno, tem como objetivo reduzir o tempo de aproximação e afastamento da ferramenta no início e final de cada ciclo. Anteriormente, o próprio corpo da ferramenta era o batente do tubo e, o operador necessitava colocar as coordenadas G0 X-65. Z2. ao finalizar o programa, e quando reiniciava o ciclo, os primeiros comandos seriam para afastar a ferramenta do tubo, G0 Z8. e então posicionar a ferramenta em X, neste caso o diâmetro do tubo, mais a distância de segurança para o deslocamento em G0. Com a utilização do batente (Fig.14b) foi possível à redução de tempo do deslocamento (t_a) de 0,1145 min para 0,0893 min.

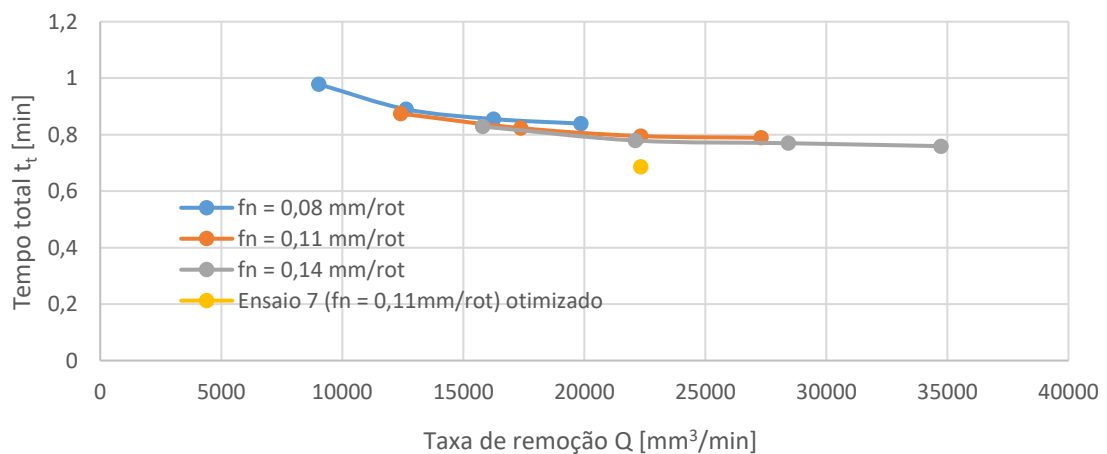
Figura 14 – Sistemas instalados no torno CNC. a) alimentador de barras e b) Protótipo de sistema fim de curso



Fonte: do Autor (2020)

Os resultados dos tempos totais (t_t) dos testes dos bedames são mostrados na Fig. 15.

Figura 15 – Tempos totais x taxa de remoção dos bedames.



Fonte: do Autor (2020)

Na otimização foi escolhido o ensaio n° 7 por questões de prudência, o sistema de alimentação necessita de algumas retificações, como pode ser visto na tabela 6, a utilização dos parâmetros do ensaio n° 8, diminuiriam ainda mais o tempo de usinagem.

Utilizando os recursos gerados foi possível reduzir o tempo total (t_t) de um ciclo de usinagem de 0,7950 min para 0,6865 min, uma diferença de 6,51 segundos por cada ciclo, lembrando que esses modelos de peças representam aproximadamente 60% da produção do setor de usinagem. Porém, o maior benefício

é que o alimentador de barras, juntamente com uma programação específica, permite que o colaborador possa operar praticamente dois tornos CNC, aumentando consideravelmente a produção (na condição atual, a fábrica possui três tornos CNC e apenas dois operadores).

5.2 Ensaio com brocas

Com auxílio do painel do torno foram cronometrados os tempos do ciclo de furação G74 (t_c da broca) e o tempo total do programa (t_{pg}).

Os tempos e parâmetros de usinagem, utilizados nos testes das brocas estão mostrados pela Tab. 7.

Tabela 7 – Parâmetros e tempos nos ensaios das brocas.

Descrição	n [rpm]	f_n [mm/rot]	v_c [mm/min]	Tempo ciclo G74 [min]	t_{pg} [min]
Broca A100-5.0 (antigo)	1.200	0,15	19	0,2667	1,2833
Broca A100-5.0 (máximo)	2.228	0,13	35	0,1167	1,1833
Broca A002-5.0 (máximo)	2.992	0,17	47	0,0833	1,1500
Broca A901-5.0 (máximo)	3.820	0,17	60	0,0667	1,1333
Broca A510-5.0 (máximo)	3.629	0,25	57	0,0500	1,1333
Broca R100-5.0 (máximo)	4.500	0,03	70,69	0,2667	1,3667

Fonte: do Autor (2020)

A broca MD DIN338R100 tem a rotação indicada de 5.411 rpm, porém o torno Romi G240, atualmente atinge a rotação máxima de 4.500 rpm, sendo esta utilizada na execução desse estudo.

Considerando os tempos de programas t_{pg} , as brocas que apresentaram os melhores resultados foram as PFX (A901-5.0) e ADX (A510-5.0), porém o tempo do programa é apenas uma das partes do tempo total de usinagem, e para obter um resultado mais global, deve-se contabilizar os efeitos de desgaste das ferramentas e quantificar intervalos dos tempos para afiar ou trocar as ferramentas e o número de trocas de ferramenta.

5.2.1 Desgaste das brocas

Cada broca por serem de diferentes geometrias, revestimentos, parâmetros e materiais apresentou particularidades no seu desgaste. Com o auxílio do microscópio digital foram extraídos os seus $VB_{máx}$, e tabulados no Excel para melhor visualização e comparação, sendo de fundamental importância, para encontrar qual modelo de broca apresenta menor desgaste. Algumas brocas atingiram o seu final de vida e outras não.

A Tab. 8 apresenta a quantidade de ciclo que o modelo consegue executar, os seus respectivos desgastes, e a indicação de quando esse tipo de broca deve ser reafiada ou trocada, sendo que ciclo de vida se repete.

Tabela 8 – Desgaste $VB_{máx}$ nos ensaios das brocas

Quantidade De ciclos	Broca A100-5.0	Broca A002-5.0	Broca A901-5.0	Broca A510-5.0	Broca R100-5.0
0	0	0	0	0	0
30	0,084	0,130	0,149	0,045	
60	0,121	0,196	0,169	0,050	
90	0,135	0,293	0,217	0,055	
120	0,237		0,326	0,061	
150	0,268		0,543	0,070	
180	0,329			0,081	
210				0,088	
240				0,096	

Fonte: do Autor (2020)

A broca A100-5.0 era a utilizada na empresa antes desse estudo, aplicando os parâmetros mais agressivos foi possível retirar 6 segundos por tempo de programa, conseqüentemente a mesma apresentou um desgaste maior e, os sinais de queima começaram a surgir a partir ciclo nº 15, tendo que ser afiada mais vezes em uma produção de lote maior de peças. A broca tem que passar pelo processo de afiação e zeramento no ciclo 0 (quando inicia o lote de peças), mais a do ciclo 180, para este parâmetro de corte, com este modelo de broca em um lote de 240 ciclos, n_t é igual a 2.

A broca A002-5.0 tem geometria autocentrante e sua principal característica é a precisão, não durabilidade. Este modelo apresentou os piores resultados com relação ao desgaste, os primeiros sinais de revestimento queimado

sugiram a partir do ciclo n° 5 e, este modelo de broca deve ser reafiada após 120 ciclos (em um lote de 240 ciclos, n_t é igual a 3).

A broca A901-5.0 apresentou um desgaste $VB_{méd}$ baixo, em contrapartida, este modelo tem um desgaste acentuado na sua quina de corte, representando em desgaste $VB_{máx}$ relativamente alto, o que impediu de furar mais peças. Este foi o único modelo de broca que não apresentou o flanco queimado nos primeiros 30 ciclos, aparecendo a queima somente após o ciclo 120. Este modelo de broca deve ser reafiada após 150 furos deste modelo de peça (em um lote de 240 ciclos, n_t é igual a 2).

A broca A510-5.0 conseguiu a maior vida e o menor tempo de programa t_{pg} (empatado com a broca A901-5.0), sendo que é do mesmo material e com o mesmo revestimento da broca A002-5.0 (que demonstrou os piores resultados, no sentido de desgaste), ou seja, somente a geometria é o fator de mudança desses dois modelos. O flanco começou a ficar queimado a partir do ciclo n° 30, porém, em nenhum momento até o final dos testes, apresentou sinais de desgaste significativos, sendo desconhecido a quantidade de peças que este modelo de broca pode fazer (em um lote de 240 ciclos, n_t é igual a 1).

A broca R100-5.0 apresentou os piores resultados em relação aos tempos de programa, e quebrou no quinto ciclo, ficou evidente que para a utilização desse modelo de broca deve-se usar seu porta ferramenta com extrema rigidez, gerando mais gastos, sendo assim não foi mais realizados testes com este modelo de broca, pois é um modelo de alto custo, sendo que apresentou os piores tempos, dificilmente seria a melhor opção (neste caso foi usado o valor estipulado pelo *selector 2.0*, 152 furos, logo n_t é igual ao valor 2).

Com auxílio de um cronômetro digital foram definidos os tempos de preparação da máquina 16,6167 min (t_p), tempo de carga e descarga 0,3445 min (t_s), tempo de realização de um programa (t_{pg}) e tempo de troca de ferramenta 8,2533 min (t_{tr}) (foi considerando que o tempo de troca da ferramenta compreende o tempo de retirada, afiação e zeramento da broca), foi contabilizado também o número de trocas das brocas (n_t), para a realização de um lote (z) de 240 peças.

De acordo com Stemmer (1995) brocas com afiações de ângulos de ponta de 140° e 130° aumentam a resistência mecânica e a dissipação de calor, em relação ao ângulo de ponta de 118°, podendo assim aumentar a vida útil da ferramenta.

O tempo total de usinagem das brocas está mostrado pela Tab 9., sendo o A primeira broca A100-5.0A mostra os valores dos tempos de usinagem antigos, antes da realização do estudo.

Tabela 9 – Quantificação dos tempos de usinagem dos testes nas brocas.

Broca	n_t [unid]	t_p/Z [min]	t_s [min]	t_{pg} [min]	$(t_{tr} \cdot n_t)/Z$ [min]	t_t [min]
A100-5.0 A	1	0,0692	0,3445	1,2833	0,0344	1,7314
A100-5.0	2	0,0692	0,3445	1,1833	0,0688	1,6658
A002-5.0	3	0,0692	0,3445	1,15	0,1032	1,7013
A901-5.0	2	0,0692	0,3445	1,1333	0,0688	1,6669
A510-5.0	1	0,0692	0,3445	1,1333	0,0344	1,5814
R100-5.0	2	0,0692	0,3445	1,3667	0,0688	1,8492

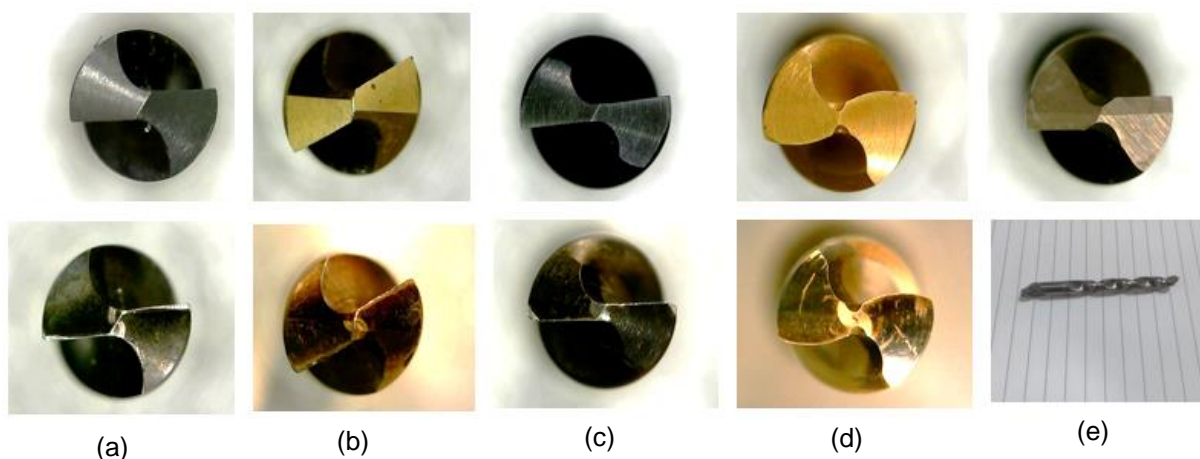
Fonte: do Autor (2020)

Utilizando tempo total (t_t) tem-se um comportamento global para a melhor escolha de ferramenta, nos tempos de programa (t_{pg}) as brocas A901-5.0 e a A510-5.0 estavam empatadas, mais a longevidade da broca A510-5.0 sendo superior, não teve que ser reafiada e zerada novamente, e apresentou o menor tempo total de usinagem (t_t).

Outra importante informação que se pode retirar da Tab. 9, é sobre a utilização da broca: A100-5.0, comparando os tempos de usinagem da broca com o seu máximo de performance e os parâmetros utilizados antes do estudo, mesmo com um número maior de trocas de ferramentas (n_t), apresentou um menor tempo total de usinagem (t_t).

O comportamento das brocas foi semelhante aos estudos de Schmitt (2014), que comprovam que brocas com ângulos de ponta de 130° apresentam o melhor desempenho (brocas A510-5.0 e A901-5.0) e proporcionam maior durabilidade (broca A510-5.0 e A901-5.0, sendo que este último modelo operou em parâmetros agressivos comparado a broca A100-5.0 e apresentou o mesmo número de trocas de ferramentas para o mesmo lote de peças). Outro comportamento que se assemelham dos dois estudos são os sinais de queima das brocas, o ângulo de ponta de 130° dissipa mais calor em relação ao ângulo de ponta de 118° , diminuindo assim o aquecimento da broca. Na Fig. 16 está apresentado o desgaste total das brocas antes e depois dos ensaios.

Figura 16 – Face de corte das brocas: A100-5.0 (a), A002-5.0 (b), A901-5.0 (c), A510-5.0 (d) e R100-5.0 (e)



Fonte: do Autor (2020)

5.3 Análise de custos

Foi feito um levantamento de custos no setor de usinagem mediante a realização deste trabalho, para confrontar qual parâmetro de usinagem e ferramentas apresentam o melhor custo benefício, sendo tabelados os valores de matéria prima, valores de ferramental e instrumentos (porta ferramentas, inserto, brocas e o microscópio digital), hora máquina (com o custo aproximado de 22,79 R\$), hora do operador do torno CNC (custo aproximado de 24,78 R\$) e o tempo para realização para cada um deste trabalho, indicado pela Tab. 10.

Tabela 10 – Custos e tempos de realização do trabalho.

Procedimentos	Matéria-Prima [R\$]	Custo das ferramentas [R\$]	Hora máquina [R\$]	Operador torno CNC [R\$]	Tempo de execução [horas]
Ensaio com bedames	616,20	585,00	2.082,32	2.849,70	115
Microscópio e suporte	14,84	281,50	-	37,17	1,5
Alimentador de barras	114,47	-	-	173,46	7
Fim de curso	39,10	-	-	49,56	2
Testes brocas	183,15	362,00	1.948,29	2.118,69	85,5

Fonte: do Autor (2020)

O tempo de realização prática do trabalho foi de 211 horas, e seu custo total foi de 11.455,44 R\$, ficando evidente que os maiores custos no setor de usinagem são a hora máquina e do operador.

5. CONCLUSÃO

Em um ciclo de produção, para se obter uma melhor estratégia deve-se realizar a análise de custos, com ela é possível identificar os limites de aceitação de custo e gasto do ferramental. Tendo como base, a soma dos custos totais dos ensaios dos bedames e brocas verificou-se que os gastos maiores do setor, são os custos do salário do operador (46,2%) e custo da hora máquina (37,5%), não sendo vantajoso proteger ferramental (apenas 8,8% total dos gastos) para reduzir gastos do setor.

É importante comprar ou criar dispositivos que permitam o operador do torno CNC avaliar o desgaste do ferramental, pois cada ferramenta apresenta comportamento diferenciado de deterioração, tendo como exemplo, os testes dos bedames, em que utilizando a menor rotação apresentou os maiores níveis de desgaste, se utilizando do senso comum, ao baixar a rotação significa maior vida da ferramenta, utilizando o microscópio digital foi possível identificar que essa frase não representa a realidade.

Com a utilização dos mecanismos de alimentador de barras e fim de curso foi possível reduzir 13% do tempo total de usinagem (t_t) na fabricação dos espaçadores, equivalente a 0,1085 min (6,51 segundos), em um único ciclo, pode não ser muito representativo, porém, como o ciclo total na fabricação deste modelo de peças e relativamente curto, $t_t = 0,6865$ (41,19 segundos) e executado repetitivamente todos os dias (corresponde a aproximadamente 60% da produção total) é um grande benefício gerado.

Em uma escolha dos parâmetros de usinagem, não deve ser seguida usando critérios exclusivamente dos fabricantes, pois a fatores externos desconhecidos a estes, como material a ser usinado, formato da peça, potência e rigidez da máquina e do formato e rigidez da ferramenta, que modificam o comportamento das ferramentas, é necessário que o operador tenha a sensibilidade de quais os parâmetros são possíveis de executar.

Nos ensaios dos bedame as rotações 1.800 e 2.200 rpm apresentaram os menores desgastes, isso se deve porque aplicando essas rotações as ferramentas trabalham dentro do intervalo da velocidade de corte (v_c) indicada pelo fabricante, de 100-200 m/min, ficou notável que quanto mais longe desse intervalo o ferramental trabalha, maior será seu desgaste. Marcas como Sandvik, Dormer e KLP afirmam que, o uso de velocidade de corte abaixo do recomendado, acarreta em vida útil da ferramenta inadequada.

O bedames que apresentaram as menores tempo de usinagem foram os que possuíam os maiores avanços por rotação ($f = 0,14$ mm/rot), n° 11 e 12 com tempo corte (t_c) de 0,1755 min e 0,1460 min, respectivamente, porém com a utilização dos parâmetros desses bedames acontece a quebra regular do ferramental, e aumenta o risco de avaria no próprio torno CNC, sendo perigoso a sua utilização, sendo assim a melhor condição de trabalho foi considerada o bedame n° 8 com rotação $n = 2200$ rpm e avanço $f = 0,11$ mm/rot, com tempos de corte (t_c) de 0,1790 min.

Nos ensaios das brocas, o modelo A510-5.0 apresentou os menores desgastes e tempos totais de usinagem ($t_t = 1,581$ min) cerca de 8,66% mais rápido da versão antes do estudo ($t_t = 1,7314$ min), porém sua utilização foi em um primeiro momento descartada, pois em um lote de 240 peças, representava custos aproximadamente 8,3% maiores (28,25 R\$), porém foram modificados os parâmetros de usinagem da broca A100-5.0 para aumentar a produção, mesmo com desgastes maiores, os novos parâmetros utilizados representam aproximadamente redução de 3,8% do tempo total e 1,1% do custo.

Agradecimentos

Aos professores da faculdade SATC, em especial Luiz de Cesaro Cavaler, pelas correções e ensinamentos que me permitiram apresentar um melhor desempenho no meu processo de formação profissional.

6. BIBLIOGRAFIA

CADEM Technologies. *“Tool life – a common definition”*. 2016. Disponível em: <<https://www.cadem.com/single-post/tool-life-in-cnc-machining>>. Acesso em 05 de outubro de 2019.

CAPUTO, Patrick Croko. **Estudo comparativo entre a temperatura no torneamento convencional a seco por imagem termográfica e o modelo analítico de trigger e chão**. 2016. 18 p. Monografia de graduação - Universidade de Juiz de Fora – UFJF, Juiz de Fora/MG, Brasil, 2016.

DINIZ, Anselmo Eduardo, MARCONDES, Francisco Carlos, COPPINI, Nivaldo Lemos. **Tecnologia da Usinagem dos Materiais**. 1 ed. São Paulo: 1999. 242p.

DINIZ, Anselmo Eduardo, MARCONDES, Francisco Carlos, COPPINI, Nivaldo Lemos. **Tecnologia da Usinagem dos Materiais**. 5 ed. São Paulo: 2006. 17p.

CATÁLOGO: Brocas Inteiriças. Catálogo DORMER, 2018. 30p.

DORMERPRAMET. **Produtos Brocas Inteiriças**. 2020. Disponível em: <<https://www.dormerpramet.com/pt-pt/products/hole-making/solid-drills/general-purpose-jobber-length-drills>>. Acesso em: 12 de abril de 2020.

Fata, A., Nikuei B., 2010, *“The Effect of the Tool Geometry and Cutting Conditions on the Tool Deflection and Cutting Forces”* Vol. 4, pp. 806-810.

FERRARESI, Dino. **Fundamentos da usinagem dos metais**. 1. ed. Edgard Blucher: 1970. 648-714p.

CATÁLOGO: Inseto DNG, KLP Cutting tools, 2017. 43p.

MACHADO, A. R.; COELHO, R. T.; ABRÃO, A. M.; SILVA, M. B. **Teoria de Usinagem dos Materiais**. 9 ed. São Paulo: Editora Blucher, 2009. 384p.

MEDEIROS, G. P., **Material didático processos de fabricação**. Disponível em: https://docente.ifsc.edu.br/gianpaulo.medeiros/MaterialDidatico/Processos%20de%20Fabrica%C3%A7%C3%A3o%20I/Usinagem/Aula%205/Parametros_de_corte.pdf. Acesso em: 12 de agosto de 2018.

PIMENTEL, Ricardo. **Melhoria do processo de furação de ferro fundido cinzento com brocas helicoidais de metal-duro**. 2014. 161f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014.

SANDVIK. **Fórmulas de furações e definições**. 2020. Disponível em: <<https://www.sandvik.coromant.com/pt-pt/knowledge/machining-formulas-definitions/pages/drilling.aspx>>. Acesso em 06 de maio de 2020.

SANTANA, Mysael Silva. **Estudo de parâmetros de usinagem do aço SAE 4140 no torneamento CNC**. 2011. 62f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Sergipe Centro de Ciências Exatas e Tecnologia Núcleo de Engenharia Mecânica, São Cristóvão, 2011.

SCHMITT, Jackson Antônio. **Análise e aperfeiçoamento do processo de afiação das brocas de aço-rápido utilizadas na usinagem dos perfis “U”**. 2014. 81f. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Caxias do Sul centro de ciências exatas e da tecnologia curso de engenharia mecânica, Caxias do Sul, 2014.

SENAI-RJ. **Tornearia mecânica. Parâmetros de corte**. 2020. Disponível em: <https://perdiamateria.eng.br/Mecanismos/TORNEARIA%20parametro%20de%20corte%20061%20A%20076%20_%204.pdf>. Acesso em 29 de março de 2020.

STEMMER, Caspar Erich. **Ferramentas de corte**. 2 ed. UFSC, 1995. 21p.