



**INSTITUTO
FEDERAL**

Bahia

Campus
Jequié

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E
TECNOLOGIA DA BAHIA
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ENGENHARIA MECÂNICA
CURSO SUPERIOR EM ENGENHARIA MECÂNICA**

BRENO SOUZA SANTOS CARDOSO

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO USO DE FLUIDO DE CORTE NO
DESGASTE DE BROCAS HELICOIDAIS DE AÇO RÁPIDO APÓS A
FURAÇÃO DE CHAPAS DE AÇO ASTM - A36**

JEQUIÉ-BA

2023

BRENO SOUZA SANTOS CARDOSO

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO USO DE
FLUIDO DE CORTE NO DESGASTE DE
BROCAS HELICOIDAIS DE AÇO RÁPIDO APÓS
A FURAÇÃO DE CHAPAS DE AÇO ASTM - A36**

Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Mecânica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Esp. Arthur Gomes Lima França

JEQUIÉ-BA
2023

BRENO SOUZA SANTOS CARDOSO

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO USO DE
FLUIDO DE CORTE NO DESGASTE DE
BROCAS HELICOIDAIS DE AÇO RÁPIDO APÓS
A FURAÇÃO DE CHAPAS DE AÇO ASTM - A36**

A banca examinadora, abaixo listada, aprova o Trabalho de Conclusão de Curso “ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO USO DE FLUIDO DE CORTE NO DESGASTE DE BROCAS HELICOIDAIS DE AÇO RÁPIDO APÓS A FURAÇÃO DE CHAPAS DE AÇO ASTM - A36 ” elaborado por Breno Souza Santos Cardoso como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Mecânica pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia.

Jequié-BA, 12/12/2023

Comissão Examinadora

Prof. Esp. Arthur Gomes Lima França
IFBA - Campus Jequié
(Orientador)

Prof. Dr. Raimison Bezerra de Assis
IFBA - campus Salvador

**Professor. Me. Marcus Vinícius
Pascoal Ramos**
IFBA - Campus Simões Filho

DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ENGENHARIA MECÂNICA
CURSO SUPERIOR EM ENGENHARIA MECÂNICA
JEQUIÉ-BA
2023

À minha família, amigos mais próximos e professores.

Agradecimentos

A Deus, pela vida que me proporciona e permitir a mim a conclusão deste trabalho.

Agradeço aos meus pais, Jucilei e Reginaldo, pelo apoio e orientação que moldaram quem sou hoje, e reconheço a grande influência positiva que tiveram em minha vida e por todo suporte que me deram ao longo da graduação, e aos demais familiares que confiaram em mim desde o início da minha jornada no curso.

Ao meu orientador, Prof. Esp. Arthur Gomes Lima França, gostaria de expressar minha profunda gratidão pela orientação excepcional ao longo do meu TCC. Seu conhecimento, orientação e paciência foram fundamentais para o desenvolvimento e conclusão bem-sucedida deste projeto.

A todo o corpo docente do IFBA campus Jequié, pelo comprometimento e dedicação ao longo do período acadêmico. Suas aulas e ensinamentos foram valiosos e fundamentais para o meu desenvolvimento.

Aos meus amigos e colegas de sala, Lucas Meira, Rafael Oliveira, Gabriel Beltrão e Matheus Carvalho que me ajudaram não só na condução deste trabalho, mas também no decorrer de todo o curso.

Aos meus amigos da vida e amigos que fiz durante a graduação, foram importantes nessa caminhada, me incentivando, dando suporte e proporcionando momentos de felicidade.

“O homem não teria alcançado o possível se, repetidas vezes, não tivesse tentado o impossível”.

Max Weber (1864 - 1920).

ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO USO DE FLUIDO DE CORTE NO DESGASTE DE BROCAS HELICOIDAIS DE AÇO RÁPIDO APÓS A FURAÇÃO DE CHAPAS DE AÇO ASTM - A36

Resumo

A furação é um dos processos de usinagem mais utilizados na indústria e consiste na remoção de material de uma peça utilizando uma broca, resultando na formação de um furo. O desgaste da broca representa um ponto crítico nesse processo. Uma estratégia comum para reduzir esses desgastes é a utilização do fluido de corte, o qual tem como principais funções a refrigeração e lubrificação no contato entre a ferramenta e a peça. Neste estudo, visou-se analisar se o uso ou não dos fluidos de corte integral e sintético contribuem para a redução do desgaste em brocas helicoidais do tipo N produzidas em aço rápido, do inglês *High Speed Steel* (HSS), utilizando duas rotações por minuto diferentes, 900 RPM e 1390 RPM, e comparando com à furação sem o uso desses fluidos. Para realizar essas análises, foram feitas furações em chapas de aço ASTM-A36 com 6 mm de espessura. Os fluidos de corte utilizados foram do tipo integral e sintético. Estes foram utilizados em conjunto com brocas helicoidais de aço rápido do tipo N, conforme as especificações das normas DIN 338. Seis brocas do mesmo modelo foram empregadas, cada uma sujeita a diferentes condições durante o processo de furação, que teve como características a ausência de furo guia, furação contínua e passante. As brocas foram separadas em três pares, sendo que em cada par, uma broca operava a 900 RPM e a outra a 1390 RPM. O primeiro par realizou a furação a seco, o segundo utilizou o fluido de corte sintético, e o terceiro empregou o fluido de corte integral. Cada broca executou um total de dez furos, sendo que, a cada cinco furos, os cavacos foram coletados e analisados posteriormente. Os registros fotográficos do flanco de cada broca foram capturados utilizando um microscópio USB com um zoom de até 1600x. Posteriormente, esses registros foram submetidos à análise no software *ImageJ*, com o objetivo de mensurar o desgaste do flanco baseando na norma ABNT NBR ISO 3685 (2017). A coleta dos dados permitiu a identificação dos principais mecanismos de desgaste em cada broca e possibilitou comparações entre os resultados obtidos. Observou-se que as brocas que conduziram a furação a seco apresentaram um desgaste mais elevado em comparação com aquelas que utilizaram fluido de corte. As pequenas diferenças entre os resultados foram atribuídas principalmente a erros de medição e à ausência de avanço automático.

Palavras-chave: Furação; Usinagem; Cavacos; Fluido de corte; Aço rápido.

ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF THE USE OF CUTTING FLUID ON THE WEAR OF HIGH SPEED STEEL HELICAL DRILLS AFTER DRILLING ASTM - A36 STEEL SHEET

Abstract

Drilling is one of the most widely used machining processes in the industry, involving the removal of material from a workpiece using a drill to create a hole. The wear and tear on the drill represent a critical aspect of this process. A common strategy to mitigate wear is the use of cutting fluid, which serves to cool and lubricate the interaction between the tool and the workpiece. This study aimed to analyze whether the use of integral and synthetic cutting fluids contributes to the reduction of wear in helical drills of type N, manufactured from high-Speed Steel (HSS). Two different rotations per minute, 900 RPM and 1390 RPM, were considered, and a comparison was made with drilling without the use of these fluids. To conduct these analyses, drilling was performed on ASTM-A36 steel sheets with a thickness of 6 mm. Integral and synthetic cutting fluids were employed in conjunction with helical drills made of HSS type N, following DIN 338 standards. Six identical drills were used, each subjected to different conditions during the drilling process, including no pilot hole, continuous drilling, and through drilling. The drills were grouped into three pairs, with each pair operating at 900 RPM and 1390 RPM. The first pair performed dry drilling, the second used synthetic cutting fluid, and the third employed integral cutting fluid. Each drill executed a total of ten holes, and after every five holes, chips were collected and subsequently analyzed. Photographic records of the flank of each drill were captured using a USB microscope with a zoom of up to 1600x. Subsequently, these records were subjected to analysis using the ImageJ software to measure flank wear based on the ABNT NBR ISO 3685 (2017) standard. The data collection allowed for the identification of the main wear mechanisms in each drill and facilitated comparisons between the results obtained. It was observed that drills conducting dry drilling exhibited higher wear compared to those using cutting fluid. The slight differences between the results were primarily attributed to measurement errors and the absence of automatic feed.

Keywords: Drilling; Machining; Chips; Cutting Fluid; High-speed steel.

Lista de figuras

Figura 1 – Processos de fabricação.	4
Figura 2 – Categorias da furação.	5
Figura 3 – Tipos de cavaco.	8
Figura 4 – Influência do avanço e da profundidade.	8
Figura 5 – Geometria da Broca.	9
Figura 6 – Desgaste em função da temperatura.	12
Figura 7 – Principais desgastes nas brocas helicoidais.	13
Figura 8 – Modos de falha.	14
Figura 9 – Fluxograma do trabalho.	19
Figura 10 – Variação da velocidade.	20
Figura 11 – Furadeira utilizada.	20
Figura 12 – Fluido de corte.	21
Figura 13 – Fluido de corte sintético.	22
Figura 14 – Microscópio utilizado.	22
Figura 15 – Modelagem da base.	26
Figura 16 – Software <i>ImageJ</i>	26
Figura 17 – Desgaste de flanco em mm a 900 RPM.	28
Figura 18 – Desgaste de flanco em mm a 1390 RPM.	28
Figura 19 – Desgaste sem fluido após 10 furos.	29
Figura 20 – Desgastes a 900 RPM.	29
Figura 21 – Desgastes a 1390 RPM.	30
Figura 22 – Cavacos a seco.	32

Lista de tabelas

Tabela 1 – Especificações do microscópio.	23
Tabela 2 – Composição química do aço ASTM-A36.	23
Tabela 3 – Variações do experimento.	25
Tabela 4 – Numeração das brocas helicoidais.	27
Tabela 5 – Desgastes ocorridos nas brocas.	31

Lista de abreviaturas e siglas

IFBA	Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
NBR	Normas Brasileiras
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
DIN	<i>Deutsches Institut für Normung</i>
HSS	<i>High Speed Steel</i>
TCC	Trabalho de conclusão de curso
RPM	Rotação por minuto
MQL	Quantidade mínima de lubrificação
FDM	<i>Fused Deposition Modeling</i>

Lista de símbolos

rot	Rotação
V_c	velocidade de corte
f	Avanço
a_p	Profundidade de corte
V_f	velocidade de avanço
n	Número de rotação por minuto
V_b	Desgaste de flanco
K_t	Profundidade de cratera
D	Diâmetro
m	Metros
mm	Milímetros
min	Minutos
Cv	Cavalos
Mn	Manganês
C	Carbono
S	Enxofre
Cu	Cobre
P	Fósforo
Si	Silício
Fe	Ferro

Sumário

1 – Introdução	1
1.1 Justificativa	2
1.2 Objetivos	2
1.2.1 Objetivo geral	2
1.2.2 Objetivos específicos	2
2 – REFERÊNCIAL TEÓRICO	4
2.1 Processo de usinagem por furação	4
2.1.1 Operações de usinagem	4
2.1.2 Furação	5
2.1.3 Parâmetros de corte	5
2.1.4 Formação de cavacos	6
2.1.5 Tipos de cavacos	8
2.2 Broca helicoidal	9
2.2.1 Geometria da Broca	9
2.2.2 Material da Broca	10
2.2.3 Aço rápido	11
2.2.4 Mecanismos de desgaste	11
2.2.5 Quantificação do desgaste	13
2.2.6 Desgaste da broca helicoidal	13
2.2.7 Critérios para fim de vida da ferramenta	15
2.3 Fluido de corte	15
2.3.1 Óleos	16
2.3.2 Emulsões	17
2.3.3 Soluções	17
3 – Metodologia	18
3.1 Classificação da pesquisa	18
3.2 Etapas do Trabalho	19
3.3 Furadeira de coluna	20
3.4 Broca	20
3.5 Fluidos de corte	21
3.6 Microscópio	22
3.7 Chapa	23
3.8 Processo de furação	24
3.8.1 Parâmetros de corte	24

3.8.2	Metodologia aplicada ao processo de furação	24
3.9	Lubrificação	24
3.10	Experimentos	24
3.10.1	Análise do cavaco	25
3.10.2	Medição do Desgaste	25
4	– Resultados	28
4.1	Desgaste de flanco	28
4.1.1	Resultados das brocas sem fluido de corte	29
4.1.2	Resultados das brocas a 900 RPM	29
4.1.3	Resultados das brocas a 1390 RPM	30
4.2	Mecanismos de desgastes observados	30
4.3	Tipos de cavacos formados	31
5	– Conclusão	33
	Referências	34
	Apêndices	36
	APÊNDICE A – Resultados dos desgastes	37
	APÊNDICE B – Cavacos gerados	39

1 Introdução

A usinagem é uma operação fundamental na fabricação de peças mecânicas, é um processo de fabricação utilizado para dar forma, dimensões e acabamento a materiais através da remoção de parte do material bruto, dentre as operações, furação é uma das mais comuns. Durante o processo de furação, a broca deve conseguir remover o material da peça de maneira eficiente e sem sofrer desgastes excessivos que possam comprometer a qualidade do processo ou a durabilidade da ferramenta de corte. Para reduzir o desgaste e melhorar a eficiência do processo, os fluidos de corte são amplamente utilizados (GROOVER, 2001).

Entre os fluidos de corte, os fluidos de corte integral e sintético se destacam por apresentarem uma maior estabilidade térmica, possuem boas propriedades para redução de atrito e resistem a altas temperaturas sem evaporar. Porém, sua utilização deve ser cuidadosamente avaliada, pois a seleção inadequada do fluido de corte pode afetar negativamente a vida útil da ferramenta (FERRARESI, 1970).

Diferentes centros de pesquisa têm se dedicado a encontrar maneiras de reduzir o uso desses fluidos; nesse contexto, em muitos casos específicos, a aplicação da quantidade mínima de lubrificação (MQL) surge como uma solução praticável para implementação industrial, como observado no processo de furação de ligas de alumínio-silício (BRAGA et al., 1999).

Diante disso, o presente trabalho visa investigar a influência do uso ou não dos fluidos de corte integral e sintético na redução do desgaste de brocas helicoidais do tipo N com 8 mm de diâmetro fabricadas em aço rápido durante o processo de furação de chapas de aço ASTM-A36 com 6 mm de espessura em diferentes rotações por minuto. Sendo assim, a escolha desses fluidos de corte se justificam por suas propriedades e características como resistência a pressões e temperaturas elevadas sem evaporar e boas propriedades para redução do atrito.

Para alcançar os objetivos desta pesquisa, foram realizados experimentos com e sem o uso dos fluidos de corte. Para proporcionar uma comparação eficiente, foram utilizadas seis brocas do mesmo modelo, essas brocas foram divididas em três pares. Em cada um dos pares uma broca realizou a furação a 900 RPM e a outra a 1390 RPM. O primeiro par realizou a furação a seco, o segundo a furação utilizou o fluido de corte sintético e o terceiro utilizou o fluido de corte integral. Sendo assim, foi possível avaliar o desgaste da ferramenta de corte baseando-se no desgaste de flanco que ocorreu na ferramenta em cada uma das diferentes situações. Além disso, foram coletados os cavacos que saem durante a furação e foram feitas análises deles e posteriormente foram realizadas análises visuais

para avaliar os desgastes que ocorreram na ferramenta.

1.1 Justificativa

A justificativa para este trabalho de conclusão de curso (TCC) está na necessidade de aprofundar o entendimento sobre o papel dos fluidos de corte integral e sintético na redução do desgaste em brocas helicoidais do tipo N, conforme especificações da norma DIN 338. O uso desses fluidos durante o processo de furação tem a finalidade de melhorar o desempenho das ferramentas e prolongar sua vida útil.

Ao realizar experimentos com duas rotações por minuto (RPM) diferentes, 900 RPM e 1390 RPM, permitiu investigar como essas variáveis afetam o desgaste das brocas. A escolha dessas rotações por minuto se baseia nos valores suportado pela broca, onde uma está abaixo e a outra acima. A velocidade de corte é fornecida pelo fabricante, a partir desta velocidade foi possível calcular a rotação por minuto.

A comparação entre furações com o uso dos fluidos de corte integral e sintético e furações a seco (sem fluido de corte) permitirá identificar diferenças significativas no desgaste das brocas, contribuindo para a compreensão do impacto desses fluidos no processo de usinagem.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

Analisar o impacto do uso ou não de fluidos de corte integral e sintético sobre o desgaste de brocas helicoidais do tipo N, confeccionadas em aço rápido de acordo com a norma DIN 338, no contexto da usinagem de chapas de aço ASTM A36 após o processo de furação.

1.2.2 Objetivos específicos

- (i) Realizar testes experimentais em laboratório fazendo experimentos com e sem o uso dos fluidos de corte e com diferentes RPMs;
- (ii) Coletar os cavacos gerados durante os processos de furação para identificar os seus tipos;
- (iii) Realizar registros fotográficos das ferramentas após os processos de furação;
- (iv) Analisar os resultados dos testes experimentais, especificando os tipos de cavacos que foram coletados em cada uma das condições e comparando os resultados dos

desgastes das brocas helicoidais de aço rápido quando utilizadas com e sem o uso de fluidos de corte.

2 REFERÊNCIAL TEÓRICO

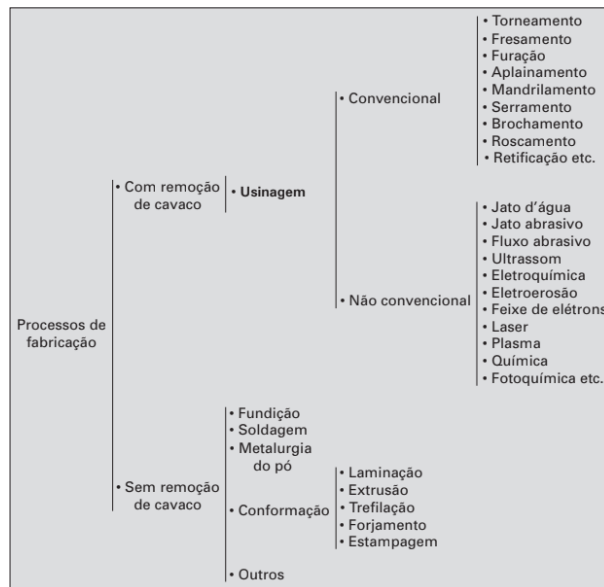
2.1 Processo de usinagem por furação

2.1.1 Operações de usinagem

Entende-se como operações de usinagem um conjunto de processos de fabricação que envolvem a remoção de material de uma peça bruta para atingir as dimensões desejadas, formas específicas ou acabamentos superficiais e resultam na remoção de material em forma de cavaco. O cavaco é definido como a porção de material da peça retirada pela ferramenta de corte, que apresenta uma forma geométrica irregular (FERRARESI, 1970).

A usinagem é um processo que apresenta tanto complexidade quanto simplicidade. É complexo, pois é difícil determinar as condições ideais de corte, que são imprevisíveis por ser o único processo de deformação plástica cuja limitação é imposta apenas pela ferramenta de corte. No entanto, é simples, pois, uma vez que essas condições são determinadas, os cavacos se formam corretamente. Ela pode ser dividida em diversos grupos e tipos, como pode ser vistas na Figura 1 (MACHADO et al., 2009).

Figura 1 – Processos de fabricação.



Fonte: MACHADO et al., 2009.

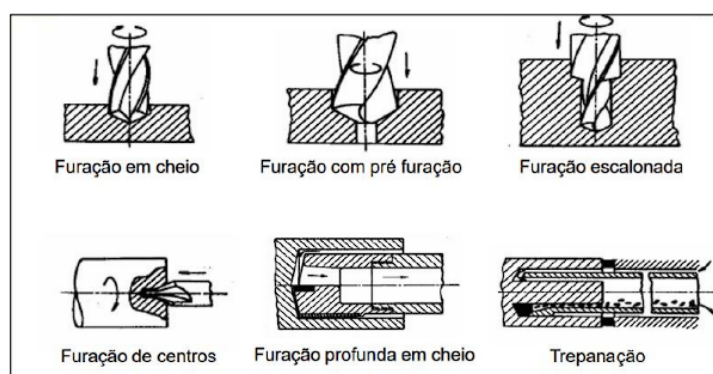
A usinagem é considerada o processo de fabricação mais versátil e preciso. Isso se deve à sua habilidade em produzir peças com uma ampla gama de características geométricas. Essa variedade é alcançada através de dois fatores: (1) os movimentos relativos

entre a peça e a ferramenta e (2) a forma da ferramenta de corte utilizada. (GROOVER, 2014).

2.1.2 Furação

De acordo com WAKIL (2002), o processo de usinagem por furação é utilizado para criar um orifício cilíndrico em uma peça utilizando uma ferramenta multi-corte denominada broca. A qualidade da furação é influenciada por vários fatores, como o diâmetro e a forma da broca, velocidade de corte, taxa de avanço e tipo de material a ser furado. Durante o processo, ferramenta ou a peça podem girar, enquanto se movem em uma trajetória linear, que pode estar alinhada ou paralela ao eixo diretor da máquina. O procedimento pode ser segmentado em várias categorias, incluindo furação em cheio, escareamento, furação escalonada, furação de centros e trepanação. Alguns desses processos podem ser visualizados na figura 2 (FERRARESI, 1970; GROOVER, 2014).

Figura 2 – Categorias da furação.



Fonte: Adaptado de FERRARESI, 1970.

Existem diversos tipos de brocas que podem ser utilizados, como: brocas chatas, brocas helicoidais, brocas canhão (para furos profundos), brocas ocas para trepanação, entre outras. Porém, entre as diversas opções de brocas, as helicoidais geralmente são as mais utilizadas no mercado (STERMMER, 1992).

2.1.3 Parâmetros de corte

É de extrema importância controlar as forças que agem durante os processos de usinagem para garantir a efetividade do processo. Por exemplo, as forças de corte que normalmente atuam na cunha da ferramenta, têm influência significativa em todo o processo de usinagem. Portanto, é crucial para garantir um resultado satisfatório (FISCHER, 2016 apud SANTOS; SALES, 2007),

Conforme mencionado por MACHADO et al. (2009), o princípio fundamental para todas as máquinas-ferramenta é gerar o movimento relativo apropriado entre a peça e a

ferramenta selecionada, a fim de obter a superfície desejada. Sendo assim, no processo de usinagem, é de suma importância definir as grandezas físicas envolvidas no processo de corte. Os principais parâmetros são:

- **Avanço**(f): O movimento de avanço é caracterizado pelo movimento relativo entre a peça e a ferramenta, ou seja, é o quanto a ferramenta se desloca durante o processo (FERRARESI, 1970);
- **Profundidade de corte**(a_p): Normalmente, a profundidade máxima de perfuração é de 10 vezes o diâmetro da broca. Na primeira etapa de perfuração, é possível atingir uma profundidade de até 5 diâmetros. Entretanto, após atingir essa profundidade, é necessário retirar a broca para remover os cavacos e resfriar a ferramenta (STERMMER, 1992);
- **Velocidade de avanço**(V_f): De acordo com MACHADO et al. (2009), é a velocidade instantânea do ponto de referência da aresta cortante da ferramenta, levando em consideração a direção e o sentido do avanço da ferramenta em relação à peça. Calcula-se a velocidade de avanço usando a equação 1;

$$V_f = f * n \quad [mm/min] \quad (1)$$

Onde: f = avanço(mm/rot) e n = rotações por minuto (rpm)

- **Velocidade de corte**(V_c): Segundo MACHADO et al. (2009), ela é definida como a velocidade instantânea do ponto de referência da aresta cortante da ferramenta, levando em consideração a direção e sentido do corte. Em processos de usinagem que envolvem movimentos de rotação, a velocidade é calculada pela equação 2:

$$V_c = \frac{\pi * d * n}{1000} \quad [mm/min] \quad (2)$$

Onde: d = diâmetro da broca(mm) e n = rotações por minuto (rpm)

A velocidade de rotação é um componente essencial da velocidade de corte e, portanto, influencia diretamente o desgaste da ferramenta durante processos de usinagem. A rotação por minuto, juntamente com o diâmetro da ferramenta, determina a velocidade de corte efetiva. Uma velocidade de corte mais alta, alcançada por uma rotação maior, geralmente resulta em maior desgaste da ferramenta (DINIZ, 1999).

2.1.4 Formação de cavacos

Durante o processo de usinagem, a formação de cavacos é um dos principais fatores que influenciam na qualidade das peças produzidas e no desgaste da ferramenta de corte.

Os cavacos são pequenos fragmentos de material que são removidos da peça pela ação da ferramenta de corte sobre a peça, gerando atrito e calor que levam à deformação e remoção do material. Além disso, a formação de cavacos influencia diversos fatores ligados à usinagem, como os esforços de corte, o calor gerado na usinagem e a penetração do fluido de corte (DINIZ, 1999; FERRARESI, 1970; MACHADO et al., 2009). É importante compreender a formação dos cavacos para otimizar a produção e garantir a qualidade das peças usinadas. O processo da formação de cavacos se divide em quatro eventos:

1. **Recalque inicial:** A ferramenta de corte penetra no material da peça, uma pequena porção deste ainda presa à peça é comprimida contra a superfície de saída da ferramenta. Isso ocorre devido à ação da cunha cortante que faz parte da geometria da ferramenta (MACHADO et al., 2009).
2. **Deformação e ruptura:** A deformação plástica continua a aumentar gradualmente até que as tensões de cisalhamento atinjam um nível suficientemente alto para iniciar o deslizamento entre a porção de material recalcado e a peça (MACHADO et al., 2009).
3. **Deslizamento dos cavacos:** À medida que a ferramenta continua a penetrar, pode ocorrer uma ruptura parcial ou completa na região de cisalhamento, cuja extensão será determinada pela propagação da trinca. As velocidades de avanço e corte, bem como as propriedades do material da peça, determinarão a quantidade de material rompido que permanecerá unido ao cavaco recém-formado, resultando em cavacos contínuos ou descontínuos (JAIN, 2009).
4. **Saída dos cavacos:** O movimento relativo entre a ferramenta e a peça provoca o escorregamento da porção do material deformado e cisalhado (cavaco) sobre a superfície de saída da ferramenta. Concomitantemente, uma nova porção de material está se formando e sendo cisalhada (JAIN, 2009).

Sob condições normais de trabalho com ferramentas de aço rápido, o fenômeno de formação de cavacos é periódico, mesmo quando se trata de cavacos contínuos. Para cada pequena porção de material removido, ocorre alternadamente uma fase de recalque e uma fase de escorregamento (FERRARESI, 2018).

Caso os cavacos não se formem de maneira a permitir sua fácil remoção do interior do furo, há o risco de obstrução do furo, aumento do momento torsor e conseqüentemente a possibilidade de quebra da ferramenta. Portanto, é essencial promover a formação de cavacos com uma geometria que permita sua remoção com mais facilidade. Cavacos helicoidais ou em lascas são particularmente propícios para facilitar a remoção dos furos (DINIZ, 1999).

2.1.5 Tipos de cavacos

Em relação à sua geometria, os cavacos podem ser classificados da seguinte maneira: em fita, helicoidais, em espiral, em lascas ou pedaços. O material da peça é o principal fator que influencia a forma e o tipo de cavacos. Independentemente da forma, seja ela contínua, parcialmente contínua ou segmentada, pode-se produzir cavacos conforme ilustrado na figura 3 (MACHADO et al., 2009).

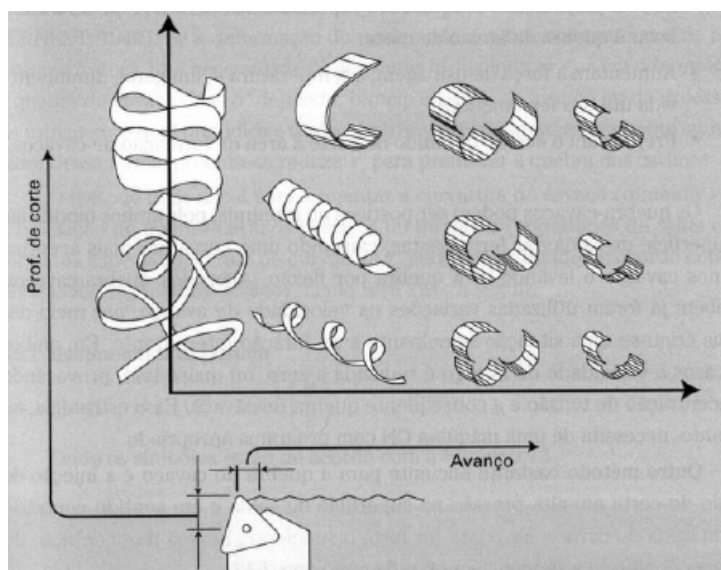
Figura 3 – Tipos de cavaco.

1- Cavaco em fita	2- Cavaco tubular	3- Cavaco espiral	4- Cavaco helicoidal tipo arruela	5- Cavaco helicoidal cônico	6- Cavaco em arco	7- Cavaco fragmentado	8- Cavaco tipo agulha
1-1- Longo	2-1- Longo	3-1- Plano	4-1- Longo	5-1- Longo	6-1- Conectado		
1-2- Curto	2-2- Curto	3-2- Cônico	4-2- Curto	5-2- Curto	6-2- Solto		
1-3- Emaranhado	2-3- Emaranhado		4-3- Emaranhado	5-3- Emaranhado			

Fonte: MACHADO et al., 2009.

Quanto aos parâmetros de corte, de maneira geral, aumentos na velocidade de corte e reduções no avanço têm a tendência de alterar a geometria do cavaco. O avanço é o parâmetro mais impactante, seguido pela profundidade de corte, ao influenciar a configuração do cavaco. A influência desses parâmetros podem ser observadas na figura 4 (MACHADO et al., 2009).

Figura 4 – Influência do avanço e da profundidade.



Fonte: MACHADO et al., 2009.

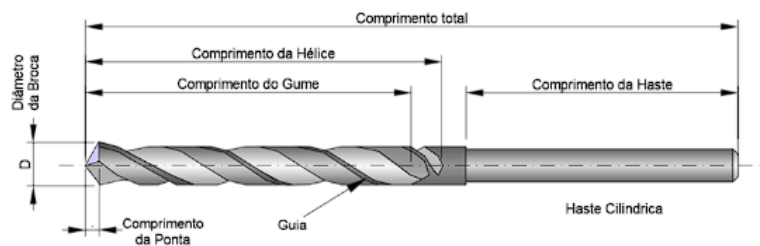
2.2 Broca helicoidal

No processo de furação, a broca helicoidal é a ferramenta mais utilizada. Essa ferramenta pode ser fabricada de diversos materiais, porém os mais utilizados são os metais duros e o aço rápido (FERRARESI, 1970; DINIZ, 1999).

2.2.1 Geometria da Broca

A norma ABNT NBR ISO 5419 (2009) estabelece as especificações dimensionais e geométricas das brocas helicoidais produzidas em metal duro ou aço rápido, abrangendo parâmetros como diâmetros, comprimentos, ângulos e outros aspectos importantes. Isso resulta em um conjunto padronizado de diretrizes para a fabricação e utilização dessas ferramentas de corte, assegurando sua adequação para diversas aplicações de perfuração. A adoção dessa norma contribui para a homogeneidade e qualidade das brocas helicoidais no mercado brasileiro, o que, por sua vez, melhora a eficiência e segurança das operações de perfuração (STERMMER, 2007).

Figura 5 – Geometria da Broca.



Fonte: ABNT NBR ISO 5419, 2009.

- **Haste:** É utilizada para fixação da broca na máquina operatriz. No caso de brocas com diâmetro de até 15 mm, as hastes geralmente são cilíndricas e fixadas com mandril. Já para brocas de diâmetro maior, é preferível fixá-las em um cone morse, que por sua vez é preso na máquina, garantindo uma fixação mais segura (DINIZ, 1999).
- **Guias:** São duas regiões na broca, localizadas em cada uma das arestas de corte, em que o diâmetro da superfície externa é maior do que o diâmetro de suas paredes. Essas regiões têm como objetivo guiar a broca dentro do furo e evitar que a parede externa da broca entre em atrito com as paredes do furo (DINIZ, 1999).
- **Diâmetros (D):** É a distância entre suas guias (DINIZ, 1999).
- **Núcleo:** Sendo a parte interna da broca é responsável por conferir sua rigidez, sendo que essa região corresponde a 16 por cento do diâmetro total da broca (DINIZ, 1999).

- **Canais helicoidais:** São as superfícies de saída da ferramenta, por elas ocorre a remoção do cavaco, sendo que tal remoção é mais difícil durante o processo de furação (DINIZ, 1999).
- **Arestas principais de corte:** Essas são as principais arestas de corte, as quais formam o ângulo de ponta da broca, que geralmente é de 118° (DINIZ, 1999).
- **Arestas transversais de corte:** Elas ligam as principais arestas de corte, seu tamanho depende do diâmetro do núcleo (DINIZ, 1999).

Segundo DINIZ (1999), as brocas helicoidais possuem três ângulos de hélices normalizadas. Esses ângulos são do tipo W que possuem um passo curto e são indicadas para materiais que formam cavacos longos, as mesmas tem um ângulo de 35° a 45° , as do tipo N contendo um passo normal e com um ângulo entre 18° e 30° e por fim as do tipo H que possuem um passo longo, sendo indicadas para materiais que formam cavacos curtos e tem ângulo de 10° a 15° .

2.2.2 Material da Broca

Os materiais mais comuns empregados na fabricação de ferramentas são o aço rápido e o metal duro. Contudo, quando se trata da escolha do material, diversos aspectos precisam ser ponderados. A seguir, destacam-se alguns dos principais pontos a serem considerados (DINIZ, 1999):

- **Material que será usinado:** O tipo de cavaco que se forma durante o processo de usinagem e a dureza do material da peça precisam ser levados em consideração;
- **Processo de usinagem:** Existem algumas ferramentas que o seu material exigem um processo de usinagem com uma rotação mais elevada, ou seja, uma furação mais rápida;
- **Condições da máquina operatriz:** A situação em que a máquina que será utilizada se encontra, levando em consideração que aspectos como a potência e a velocidade interferem na escolha da ferramenta;
- **Custo da ferramenta:** Algumas ferramentas de acordo com o seu material de fabricação podem ter uma vida útil mais longa, porém muitas vezes o seu custo/benefício a torna inviável;
- **Condição de usinagem:** De acordo com o processo a ser realizado devem ser escolhidas ferramentas específicas as condições, como ,por exemplo, a realização de um acabamento, que necessita de uma velocidade mais reduzida.

Sendo assim, para que a ferramenta possa executar o processo superando as diversas condições, a mesma deve possuir algumas propriedades importantes, sendo elas: ter uma boa tenacidade com o intuito de evitar a falha por fratura, ter a habilidade de manter a sua dureza nas altas temperaturas que são alcançadas no processo e possuir uma dureza elevada para que ela possa resistir ao principal mecanismo de desgaste da ferramenta, a abrasão (GROOVER, 2014).

2.2.3 Aço rápido

O aço rápido, também conhecido como HSS (do inglês, *High Speed Steel*), é uma liga de aço que mantém sua dureza em temperaturas elevadas, exibindo um desempenho superior em relação a aços de alto teor de carbono e aços de baixa liga. Sua notável capacidade de manter dureza em altas temperaturas permite o uso de ferramentas de aço rápido em velocidades de corte mais elevadas. A dureza aumenta quando a temperatura sobe, devido à transformação da austenita para martensita e à formação de carbonetos. Isso resulta em uma preservação da dureza mesmo em temperaturas de até 600°C (SANTOS e SALES, 2007).

Segundo GROOVER (2014), As ferramentas feitas de HSS são amplamente utilizadas pelos operadores devido ao seu custo acessível e à facilidade de reafiação. Com o passar do tempo, foram feitas descobertas contínuas no aprimoramento das técnicas de afiação, para manter essas ferramentas competitivas em diversas operações. Além disso, essas ferramentas podem ser revestidas para proporcionar um notável aumento no desempenho de corte.

2.2.4 Mecanismos de desgaste

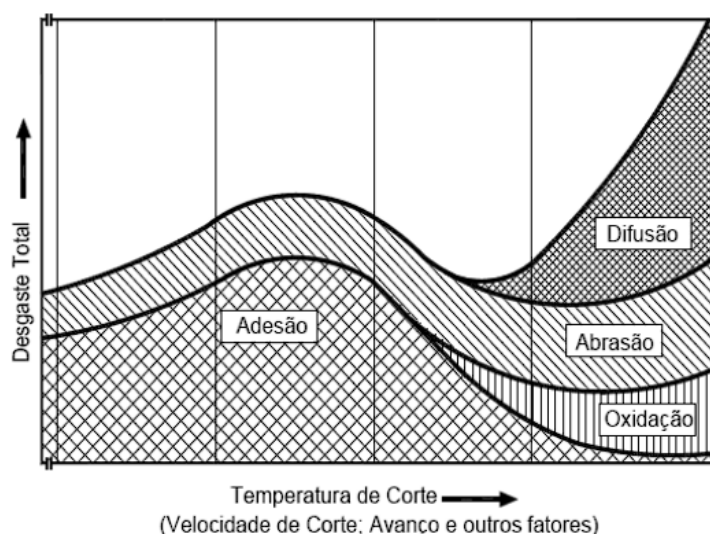
Os mecanismos de desgaste são responsáveis por causar desgaste na superfície de folga e de saída da ferramenta devido à interação com outros materiais, carga, movimento ou ambiente. Quando se trata de ferramentas de corte, existem quatro mecanismos principais que desempenham um papel fundamental no desgaste e na falha: abrasão, adesão, difusão e oxidação (MACHADO et al., 2009; FERRARESI, 1970).

- **Abrasão:** Esse mecanismo é um dos principais responsáveis pelo desgaste frontal (flanco) nas superfícies de contato. Consiste na remoção ou deslocamento de material da superfície devido à presença de partículas duras soltas entre duas superfícies em movimento relativo. Essas partículas podem estar presentes no próprio material da peça ou ser originadas da própria ferramenta, sendo arrancadas devido ao atrito, por exemplo. Esse processo de desgaste pode resultar tanto em deformação plástica quanto em fratura frágil, levando à perda ou deslocamento de material por meio de

mecanismos como microsulcamento, microcorte ou microlascamento (MACHADO et al., 2009).

- **Adesão:** Acontece normalmente, em baixas velocidades de corte, ocorre uma irregularidade no fluxo de material sobre a superfície de saída. Isso leva ao surgimento da ação de pressão sobre a superfície da ferramenta, resultando em um contato menos contínuo. Nessas condições, fragmentos microscópicos são arrancados da superfície da ferramenta e arrastados juntamente com o fluxo de material. Esse fenômeno é conhecido como arrancamento de partículas da ferramenta (SANTOS e SALES, 2007).
- **Difusão:** Ocorre entre a ferramenta e o cavaco, é um processo microscópico que ocorre quando há temperatura na região de corte. A difusão no estado sólido envolve a transferência de átomos de um metal para outro, dependendo da temperatura e da afinidade físico-química entre esses metais. A movimentação dos átomos de ferro do cavaco para a ferramenta altera o equilíbrio entre os componentes da ferramenta, levando a uma reação química entre eles. A difusão é a principal responsável pelo desgaste de cratera em altas velocidades de corte (DINIZ, 1999).
- **Oxidação:** Elevadas temperaturas e a presença de oxigênio no ar e água resultam em oxidação na maioria dos metais. O desgaste causado pela oxidação é notadamente observado nas extremidades da área de contato entre o cavaco e a ferramenta, devido à exposição ao ar nessa região. Essa situação poderia ser uma das razões para o desenvolvimento do desgaste em forma de entalhe (DINIZ, 1999).

Figura 6 – Desgaste em função da temperatura.



Fonte: MACHADO et al., 2009.

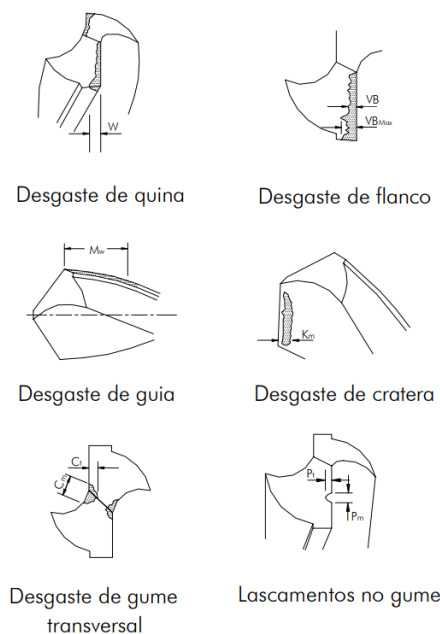
2.2.5 Quantificação do desgaste

Em muitos casos é possível medir os desgastes que ocorrem na ferramenta, sendo assim, os locais onde podem ocorrer essas medições são estabelecidos. Um dos desgastes mais comuns que ocorrem nas brocas é o desgaste de flanco, o mesmo é identificado pela sigla V_B , a norma ABNT NBR ISO 3685 (2017) estabelece alguns critérios para a medição deste desgaste em aços rápidos, metais duros e cerâmicos (SANTOS e SALES, 2007):

- Desgaste de flanco médio (VB_{med}) = 0,3 mm;
- Desgaste de flanco máximo (VB_{max}) = 0,6 mm
- Profundidade de cratera, (K_t) = $0,06 + 0,3f$, onde f é o avanço em mm/rot;
- Falha catastrófica.

Alguns dos desgastes citados podem ser identificados na figura 7.

Figura 7 – Principais desgastes nas brocas helicoidais.



Fonte: CAASTILLO et al., 2005.

2.2.6 Desgaste da broca helicoidal

As solicitações mecânicas e térmicas geradas durante os processos de usinagem podem causar desgaste e sobrecarga nos gumes das ferramentas de corte. Isso se manifesta como desgaste de cratera, desgaste no flanco, lascamentos ou até mesmo deformações plásticas. Diversos mecanismos de desgaste agem de maneira simultânea, tornando difícil

diferenciar a causa e o efeito do desgaste, gerando a interação de vários fatores de desgaste. A figura 8 ilustra os modos de falha que podem levar ao desgaste da ferramenta (CAASTILLO et al., 2005).

Figura 8 – Modos de falha.



Fonte: CAASTILLO et al., 2005.

- **Desgaste de flanco:** segundo SANTOS e SALES (2007), o desgaste de flanco, também chamado de desgaste frontal, ocorre na superfície principal de folga da broca e é resulta do contato entre a ferramenta e a peça. É o principal desgaste que leva ao término da vida útil da ferramenta, sendo observado em praticamente todos os processos de usinagem por furação.
- **Desgaste de cratera:** Esse tipo de desgaste pode levar a perda completa da ferramenta, é o resultado do atrito entre a ferramenta e o cavaco e ocorre na superfície de saída da broca. Esse desgaste geralmente é associado às altas temperaturas ocorrem na região de contato entre o cavaco e a ferramenta. Isso acontece devido à combinação de dois mecanismos de desgaste conhecidos como difusão e adesão, acontece na superfície de saída da ferramenta durante o deslizamento do cavaco (SANTOS; SALES, 2007).
- **Deformação plástica:** É um tipo de deformação permanente que ocorre na ferramenta quando elas são submetidas a tensões ou forças que excedem sua capacidade de recuperação elástica. Costuma acontecer na aresta principal de corte da broca, em alguns casos podendo levar a quebra da aresta de corte (FISCHER, 2016).
- **Lascamento:** O lascamento em ferramentas de corte é um desgaste no qual pedaços da superfície da ferramenta se quebram durante a usinagem. Isso pode ocorrer devido a condições adversas, como forças de corte elevadas ou materiais abrasivos, prejudicando a qualidade do corte e a vida útil da ferramenta. Em alguns casos coma expansão do lascamento podem levar a quebra da ferramenta (FISCHER, 2016).

- **Trincas:** São rachaduras ou fissuras que se formam na superfície da ferramenta, surgem a partir da variação da temperatura ou devido aos esforços mecânicos, essas trincas podem se desenvolver ao longo do tempo devido à repetição de cargas e tensões durante a usinagem (DINIZ, 1999).

2.2.7 Critérios para fim de vida da ferramenta

A vida útil da ferramenta é o período em que ela desempenha seu trabalho de forma efetiva, sem perder sua capacidade de corte, ou até que seja alcançado um critério pré-determinado para o fim de sua vida (FERRARESI, 1970).

O fim de vida de uma ferramenta de corte é determinado pelo nível de desgaste estabelecido antecipadamente. A extensão desse desgaste dependerá de vários fatores. Alguns fatores são (SANTOS e SALES, 2007):

- Receio de quebra da cunha cortante;
- Elevadas temperaturas na interface cavaco-ferramenta;
- As tolerâncias dimensionais estabelecidas no projeto já estão comprometidas;
- O acabamento da superfície usinada não é mais satisfatório;
- Aumento nas dimensões das rebarbas;
- Elevação da força de usinagem;
- Nível de ruído maior;
- Crescente nível de vibrações.

2.3 Fluido de corte

Em 1890, F.W. Taylor foi o precursor na introdução de fluidos de corte durante o processo de usinagem. Inicialmente, ele utilizou água como refrigerante para a ferramenta, evoluindo posteriormente para uma solução de refrigerante composta por água e, em alguns casos, sabão, visando proteger contra a oxidação. No entanto, a água apresentava duas limitações significativas, sendo elas a promoção da oxidação e uma lubrificação ineficiente. Ao contrário da água, os óleos conseguem reduzir o calor gerado no atrito entre o cavaco e a ferramenta, assim como entre a ferramenta e a peça. (DINIZ, 1999).

Os fluidos refrigerantes lubrificantes são usados principalmente para reduzir a geração de calor por meio da redução do atrito, eliminando os efeitos que geram o aumento de temperatura e transportar e remover os cavacos gerados durante o processo de usinagem. Quando o processo de usinagem é realizado sem fluido de corte, o atrito e a aderência

entre a ferramenta e a peça aumentam, levando a uma grande carga térmica que pode causar desgaste da ferramenta, formação de crateras, dificuldades na obtenção de tolerâncias precisas e formação de cavacos mais dúcteis e alongados, especialmente em processos de furação (MIRANDA, 2003).

O objetivo do fluido de corte é aprimorar o processo de usinagem, trazendo melhorias em termos funcionais. O fluido pode deixar a usinagem mais fácil e eficiente, melhorando o desempenho geral. Entre essas melhorias, destacam-se (FERRARESI, 2018):

- Refrigeração da ferramenta e da peça;
- Redução do coeficiente de atrito;
- Expulsão do cavaco presente na zona de corte;
- Refrigeração da máquina-ferramenta;
- Melhor acabamento superficial na peça.

Os fluidos de corte líquidos desempenham várias funções durante a operação de usinagem. Entre elas, destacam-se a redução do atrito, a expulsão do cavaco da região de corte e a refrigeração das partes envolvidas no processo. A refrigeração é alcançada através de dois fatores: a remoção do calor das fontes do processo e o consumo de calor durante a mudança de estado líquido para gasoso (FERRARESI, 1970).

Existem diversas maneiras de aplicar fluidos de corte durante as operações de usinagem. O método mais comum é através de um jorro de fluido em baixa pressão, frequentemente referido como aplicação de fluido refrigerante, pois geralmente é utilizado um fluido de corte refrigerante. Nesse método, um fluxo contínuo de fluido é direcionado às interfaces entre os cavacos-ferramentas ou a ferramenta-peça durante a operação de usinagem (GROOVER, 2014).

A ausência de fluido de corte no processo de usinagem prejudica a ferramenta, especialmente devido à ativação ampliada dos mecanismos de desgaste associados com o aumento de temperatura. A elevação da temperatura, resultante da falta de refrigeração, ajuda no surgimento de deformações plásticas, aderências, difusão, oxidação e aumento do atrito entre peça, ferramenta e cavaco. Sendo assim, reduz de maneira significativa na vida útil da ferramenta (KLOCKE et al., 1998).

2.3.1 Óleos

Os óleos podem ser categorizados em óleos minerais, óleos graxos, óleos compostos e óleos de extrema pressão. Os óleos minerais são derivados de hidrocarbonetos obtidos por meio do refino do petróleo, e suas propriedades dependem do tamanho da molécula, da

estrutura e do grau de refinamento. Devido ao seu custo acessível e menor suscetibilidade à oxidação, eles são os mais comuns na usinagem. Os óleos graxos têm origem em fontes vegetais ou animais e foram os primeiros lubrificantes utilizados. No entanto, seu uso tornou-se impraticável devido ao alto custo e sua facilidade em deteriorar (MACHADO et al., 2009).

Os óleos compostos são basicamente uma combinação de óleos minerais e graxos, os mesmos são conhecidos por sua notável estabilidade química e a viscosidade pode ser ajustada variando a quantidade de óleo mineral, que geralmente varia de 10% a 30%. Os óleos de extrema pressão contêm elementos que o deixam com a capacidade de resistir a altas pressões sem evaporar, sendo assim, eles são amplamente empregados em operações que envolvem velocidades muito altas e forças de corte elevadas (DINIZ, 1999).

2.3.2 Emulsões

São combinações bifásicas de óleo e água, contendo uma quantidade de um emulsificante. Geralmente, o emulsificante é adicionado a mistura de óleo mineral, água e outros componentes. Os emulsificantes reduzem a tensão superficial da água, tornando mais fácil a dispersão do óleo na água e mantendo-o de forma estável como uma emulsão. Contendo principalmente água em sua composição, oferecendo um excelente poder de resfriamento. Além disso, devido à presença de óleo, elas também atuam como inibidores de corrosão. Portanto, essas emulsões são particularmente adequadas para operações de usinagem em que a principal necessidade é o resfriamento (DINIZ, 1999).

2.3.3 Soluções

São substâncias monofásicas de óleo que têm a capacidade de se dissolver completamente na água, eliminando a necessidade de emulsificantes, pois os compostos contidos nele interagem entre si e formam uma única fase. São também conhecidas como “fluidos sintéticos” e não contêm óleo mineral em sua composição. Em vez disso, incluem diversos componentes, como óleos orgânicos e inorgânicos, lubrificantes, anticorrosivos, entre outros. Os fluidos sintéticos mais comuns possuem uma excelente proteção anticorrosiva além de atuarem como refrigerantes (MACHADO et al., 2009).

3 Metodologia

3.1 Classificação da pesquisa

Conforme destacado por GIL et al. (2002), a presente pesquisa é classificada como experimental, explicativa e bibliográfica. É experimental devido a utilização de experimentos. Dentro desse escopo, a pesquisa experimental direciona-se para a identificação de um objeto de estudo, a determinação das variáveis que podem afetá-lo, o estabelecimento de métodos para controlar essas variáveis e a observação de como elas exercem influência sobre o objeto em análise.

A parte explicativa da pesquisa está centrada na identificação dos fatores determinantes para a ocorrência dos fenômenos investigados. Este tipo de pesquisa busca esclarecer as razões que levam aos eventos estudados. Nas ciências naturais, as pesquisas explicativas frequentemente levam em consideração o método experimental (CERVO e BERVIAN, 1996).

Por último, é categorizada como bibliográfica, dado que sua fundamentação baseia-se em materiais já existentes, com ênfase em artigos científicos e livros relacionados à área de estudo. A principal vantagem da pesquisa bibliográfica está na capacidade de proporcionar diversos fatores que ajudam a esclarecer o tema estudado (GIL et al., 2002).

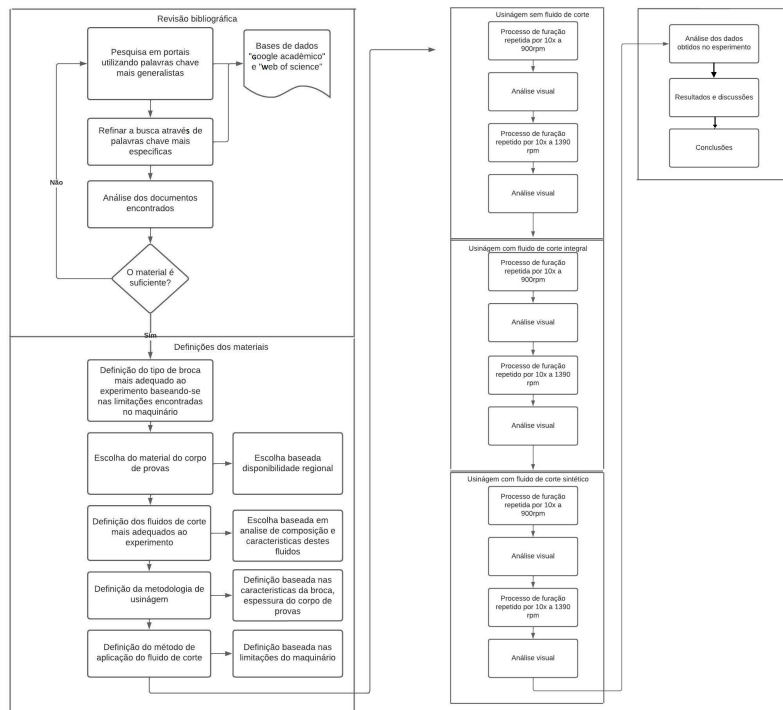
A pesquisa em foco tem como objetivo analisar o desgaste de brocas helicoidais do tipo N fabricadas em aço rápido após o processo de furação, considerando a aplicação ou não de fluidos de corte. Os elementos experimentais são centrados na manipulação controlada dos parâmetros de corte para a perfuração, incluindo a variação do tipo de fluido de corte utilizado, com ênfase nas variações de RPM acima (1390 RPM) e abaixo (900 RPM) das especificações do fabricante da ferramenta. O estudo foi realizado no ambiente do laboratório de usinagem do IFBA *Campus* Jequié. O escopo abrange o uso de brocas helicoidais baseadas na norma DIN 338, chapas de aço ASTM-A36 com 6 mm de espessura, e a utilização de dois fluidos de corte, sendo um integral e outro sintético. Importante destacar que a pesquisa adota uma abordagem quantitativa, onde a coleta de dados por meio de experimentos viabiliza a obtenção de resultados relacionados ao desgaste das ferramentas e qualitativa em um contexto de experimento de furação, concentra-se em compreender aspectos não mensuráveis diretamente por números, como percepções, pontos subjetivos, acontecimentos e características qualitativas do experimento.

3.2 Etapas do Trabalho

A execução das pesquisas implica em seguir etapas para garantir a abrangência e a qualidade dos materiais utilizados. A investigação iniciou-se em consultas a livros de referência especializados em processos de fabricação como FERRARESI (1970) e MACHADO et al. (2009), fornecendo uma boa base teórica. Em seguida, a pesquisa redirecionou-se para portais online, utilizando palavras-chave como “furação” e “usinagem” e explorando bancos de dados como Google Acadêmico, Periódico Capes e *Science Direct*. Após a coleta inicial, a busca se dá por meio da utilização de palavras-chave mais específicas como “HSS” e “Desgaste de flanco”, sobre o tema nos mesmos bancos de dados.

O processo de tomada de decisão avalia se o material coletado é adequado para avançar, baseando-se na possibilidade da excussão. Caso afirmativo, as etapas para buscar os materiais a serem utilizados, como máquina, brocas, fluidos de corte e corpos de prova, são iniciadas. Entretanto, se houver a necessidade de mais informações, o processo retrocede à fase de pesquisa generalista para expandir e aprimorar os dados disponíveis. Em seguida foi definida a metodologia ideal para serem aplicadas de acordo com os materiais e ferramentas selecionados. Por fim, foram realizados os experimentos que permitiu a coleta dos dados que foram analisados e discutidos. Essas etapas podem ser visualizadas na Figura 9.

Figura 9 – Fluxograma do trabalho.

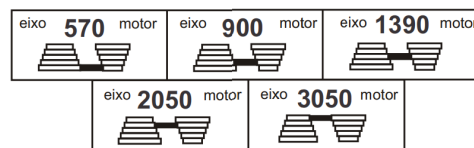


Fonte: Auto, 2023.

3.3 Furadeira de coluna

A operação de furação foi conduzida utilizando uma furadeira de coluna do modelo FGC-16, fabricada pela marca Ferrari. Este equipamento dispõe de um sistema de rotação do eixo-árvore que abrange uma faixa variável entre 570 e 3050 RPM, sendo essa variação controlada através de polias escalonadas. Para selecionar uma determinada rotação do eixo, é necessário posicionar a correia na velocidade desejada, conforme ilustrado na Figura 10.

Figura 10 – Variação da velocidade.



Fonte: Ferrari, 2023.

A furadeira de coluna em questão apresenta um curso máximo de furação de 60 mm e possui uma potência de 1/2 cv. A Figura 11 exibe o equipamento utilizado.

Figura 11 – Furadeira utilizada.



Fonte: Autor, 2023.

3.4 Broca

Foram empregadas seis brocas produzidas em aço rápido com diâmetro de oito milímetros. Elas foram fabricadas pela IRWIN com padrões dimensionais baseados na norma DIN 338, possuem um ângulo da ponta de 118° e são do tipo N.

As brocas foram selecionadas baseando-se na rotação do eixo árvore da furadeira. De acordo com STERMMER (1992), a velocidade de corte é diretamente ligada ao diâmetro da broca. A velocidade máxima suportada pela a broca é fornecida pela fabricante

IRWIN (2023). De acordo com o fabricante, para realizar a furação no material das chapas selecionadas a velocidade de corte recomendada deve ser de 25 a 30 m/min. Tendo conhecimento do valor da velocidade de corte, foi possível calcular a RPM correta utilizando a seguinte equação 3:

$$RPM = \frac{Vc * 1000}{D * 3,14} \quad [rot/min] \quad (3)$$

Onde, Vc = Velocidade de corte(m/min) e D = Diâmetro da broca

3.5 Fluidos de corte

Foram utilizados dois fluidos de corte, um integral e o outro sintético. O fluido de corte integral que foi utilizado pode ser visto na Figura 12, ele possui uma baixa viscosidade, recomendado na maioria das operações de usinagem, é formulado com hidrocarbonetos de petróleo e adicionado de substâncias de extrema pressão, que melhoram a capacidade de lubrificação e evitam a formação de ferrugem. É recomendado em uma variedade de processos, como rosqueamento, serramento, mandrilhamento, furação, torneamento, fresamento, afiação, sendo adequado para metais ferrosos e não ferrosos (BIOLUB, 2023).

Figura 12 – Fluido de corte.



Fonte: Biolub, 2023.

Os fluidos de corte sintéticos são lubrificantes e refrigerantes utilizados em processos de usinagem. Diferentemente dos integrais, não possuem óleos minerais e petróleo em sua composição, são compostos por substâncias químicas sintéticas, proporcionando excelente resfriamento, compatibilidade com diversos materiais, baixa toxicidade, estabilidade operacional, redução de resíduos e vida útil estendida. Na Figura 13 está o fluido de

corrente sintético que foi utilizado. Esses fluidos são preferidos por sua versatilidade, menor impacto ambiental e aplicação em diversas operações de usinagem e geralmente são mais baratos que os integrais (ECOLUB, 2023).

Figura 13 – Fluido de corte sintético.



Fonte: Ecolub, 2023.

3.6 Microscópio

O microscópio utilizado, Figura 14, foi um modelo USB com um zoom óptico de, é um dispositivo óptico que utiliza a tecnologia USB para transmitir dados visuais diretamente a um computador. Com capacidade de ampliação variável e ajuste de foco, a partir dele é possível realizar observação em tempo real em alta resolução através de uma interface digital. Possui uma iluminação LED integrada, dispensando frequentemente a necessidade de fontes de luz externas (FIGUEIRÓ et al., 2003).

Figura 14 – Microscópio utilizado.



Fonte: Autor, 2023.

A integração de software amplia ainda mais suas funcionalidades, possibilitando medições, calibrações e anotações nas imagens obtidas. O microscópio USB mostrou-se uma alternativa eficaz e acessível em relação aos microscópios ópticos tradicionais, na Tabela 1 encontram-se as especificações do microscópio.

Tabela 1 – Especificações do microscópio.

Zoom	Até 1600X
Iluminação	8 Leds ajustáveis
Resolução da imagem	640X480 / 1280x720 / 1920x1080
<i>Software</i>	HiView
Comprimento focal	3mm a 60mm
Conexão	Cabo USB de 1,5 metros

Fonte: Autor, 2023.

3.7 Chapa

Foram utilizadas chapas com 6mm de espessura produzidas de Aço ASTM-A36, um material de baixo teor de carbono amplamente utilizado na indústria devido às suas propriedades mecânicas, usinabilidade e soldabilidade, por ser um aço versátil pode ser utilizado em diversas aplicações, como na construção de edifícios, pontes e na fabricação de componentes de máquinas. O Aço ASTM-A36 apresenta características favoráveis e é amplamente disponível no mercado, o que o torna uma escolha versátil AÇOSNOBRES (2023). A espessura das chapas foi de 6 mm. A Tabela 2 apresenta a composição química do Aço ASTM-A36.

Tabela 2 – Composição química do aço ASTM-A36.

Elemento	Concentração %
Manganês, Mn	1,03
Carbono, C	0,25 a 0,29
Enxofre, S	0,05
Cobre, Cu	0,20
Fósforo, P	0,04
Silício, Si	0,280
Ferro, Fe	98,0

Fonte: Autor, 2023.

3.8 Processo de furação

3.8.1 Parâmetros de corte

Uma das restrições identificadas para a execução do experimento foi a ausência de um sistema de avanço automático na furadeira, resultando na impossibilidade de determinar avanços específicos. Conseqüentemente, apenas as rotações por minuto foram configuradas. Como detalhado anteriormente, as variações de RPM suportadas pela broca foram calculadas. A fabricante da ferramenta, IRWIN, fornece as velocidades de corte, considerando o material do corpo de prova. Com base nesses dados, que abrangem uma faixa de 25 a 30 m/min, a variação de RPM foi calculada como sendo de 995,22 RPM a 1194,27 RPM. Dado o esquema de polias escalonadas na furadeira para ajustar as RPM predefinidas, optou-se por utilizar uma abaixo (900 RPM) e outra acima (1390 RPM) das faixas suportadas pela ferramenta.

3.8.2 Metodologia aplicada ao processo de furação

O processo de furação foi realizado em configuração de furo cheio, ou seja, sem a utilização de um furo guia e passante. O avanço da ferramenta em relação à peça foi contínuo, pois a espessura das chapas utilizadas foi de 6 mm de espessura, tendo em vista que essa espessura seria o bastante para gerar desgastes na região que foi analisada. De acordo com DINIZ (1999), para brocas de aço rápido, recomenda-se uma profundidade máxima de até cinco vezes o diâmetro da broca. Tendo em vista que o avanço da furação será menor que cinco vezes o diâmetro da broca, classifica-se como furação curta.

3.9 Lubrificação

Como em quatro das seis brocas foram utilizados fluidos de corte para realizar o processo de furação, a aplicação do fluido foi feita a meio de um jorro de fluido a baixa pressão. Conforme mencionado por GROOVER (2014), esse é o método mais comum, onde um fluxo contínuo de fluido é direcionado para a interface entre a ferramenta e a peça durante a furação, os fluidos foram aplicados manualmente.

3.10 Experimentos

Os experimentos foram conduzidos utilizando seis brocas helicoidais de aço rápido do tipo N com 8mm de diâmetro, sendo que duas delas foram submetidas ao processo de furação utilizando fluido de corte integral, outras duas utilizando o fluido de corte sintético e duas sem a utilização do fluido de corte. Em cada um dos pares de brocas citados ocorreu

a variação entre 900 RPM e 1390 RPM, sendo assim, permitiu a comparação entre os resultados obtidos. Na Tabela 3 temos o esquema de variação utilizado.

Tabela 3 – Variações do experimento.

	Sem fluido	Fluido sintético	Fluido Integral
900 RPM	10 Furos	10 Furos	10 Furos
1390 RPM	10 Furos	10 Furos	10 Furos

Fonte: Autor, 2023.

Foram estipulados um total de dez furos utilizando cada uma das brocas. Os critérios adotados para o fim da vida útil da ferramenta foram: a falha catastrófica da ferramenta, micro-lascamento no gume e desgaste do flanco com largura de $V_b = 0,3mm$ baseando-se na norma ABNT NBR ISO 3685 (2017), sendo determinante o critério que primeiro se apresentar. Considerando que o principal critério de análise foi o desgaste no flanco, antes do experimento foram feitos registros do flanco de cada uma das brocas, após cinco furos e depois de dez furos com o intuito de avaliar o desgaste ocorrido.

3.10.1 Análise do cavaco

Após a finalização das sessões de dez furos para cada uma das ferramentas, os cavacos gerados durante as usinagens foram coletados. Essa coleta possibilitou a análise do cavaco e a partir dela foi possível obter informações sobre a qualidade da operação de usinagem, o desempenho da ferramenta e alguns pontos da saúde geral do processo. Para isso foram seguidos alguns passos básicos para identificar o tipo de cavaco e os fatores que influenciaram na formação do tipo:

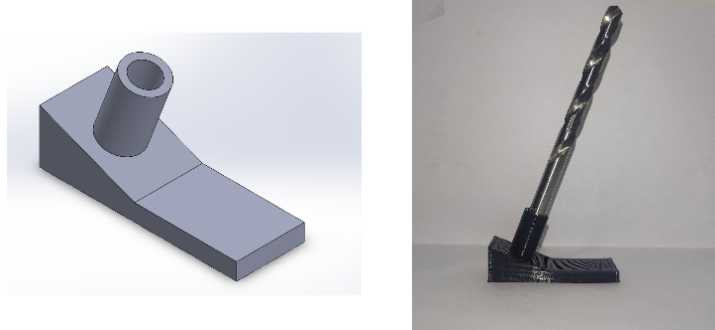
- Coleta do cavaco;
- Identificação de tipos de cavacos de acordo com suas características como:
 - Coloração;
 - Características geométricas.

3.10.2 Medição do Desgaste

Para a realização da medição do desgaste, a primeira etapa consistiu em fotografar as ferramentas. As brocas eram retiradas da furadeira, e fotografadas utilizando um microscópio eletrônico USB. Com o intuito de permitir que as brocas ficassem com a mesma distância e ângulo em relação ao microscópio foi modelada uma base e posteriormente ela foi impressa em 3D, em uma impressora modelo ender 3 que baseia-se no processo de

fabricação do tipo FDM (*Fused Deposition Modeling*) e o material utilizado foi o PLA. O desenho técnico e a base impressa podem ser vistos na Figura 15.

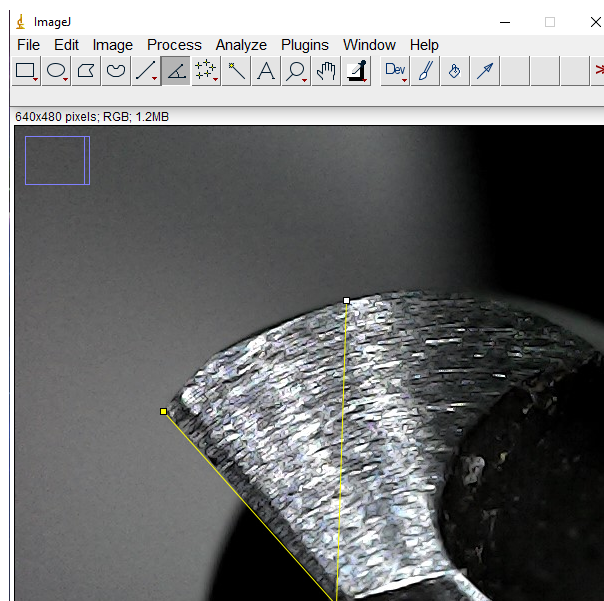
Figura 15 – Modelagem da base.



Fonte: Autor, 2023.

O registro visual de cada broca foi feita a cada cinco furos consecutivos. A avaliação do desgaste de flanco foi conduzida utilizando o software *ImageJ*. Seu *layout* pode ser visto na Figura 16, este software possibilita medições de áreas em regiões específicas de uma imagem, assim como o cálculo dos perímetros associados a essas áreas. Essa metodologia de medição fundamenta-se na contagem de *pixels* em uma área designada. O usuário fornece ao software as dimensões de uma área cujas medidas são conhecidas, permitindo ao programa utilizar essa informação para estabelecer relações entre a quantidade de pixels presentes nessa região e efetuar medições em outras áreas da imagem.

Figura 16 – Software *ImageJ*.



Fonte: Autor, 2023.

Com o intuito de facilitar a realização dos experimentos e as análises posteriores,

as brocas foram numeradas de 1 a 6, a numeração de cada broca com sua respectiva condição de usinagem podem ser vistas na Tabela 4.

Tabela 4 – Numeração das brocas helicoidais.

N°	RPM	Tipo de fluido de corte
1	900	Sem fluido de corte
2	900	Sintético
3	900	Integral
4	1390	Sem fluido de corte
5	1390	Sintético
6	1390	Integral

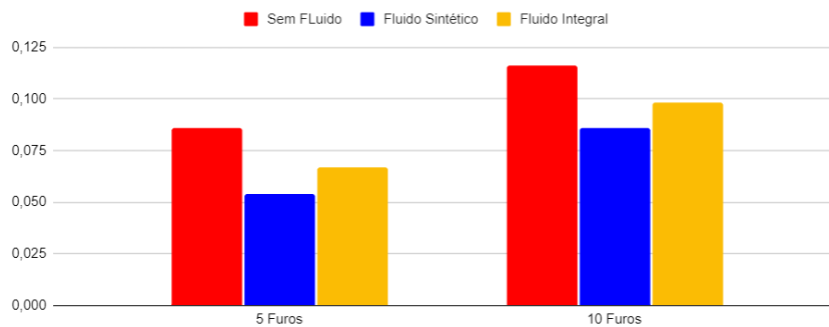
Fonte: Autor, 2023.

4 Resultados

4.1 Desgaste de flanco

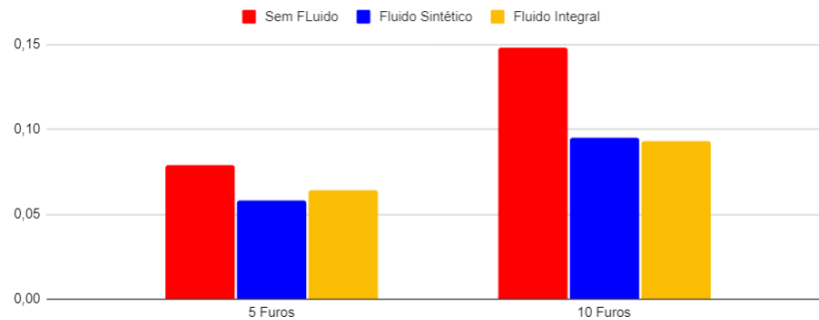
Os dados referentes ao desgaste de flanco em milímetros estão apresentados nos gráficos abaixo. A Figura 17 exibe os valores do desgaste de V_b a 900 RPM e a Figura 18 os valores a 1390 RPM.

Figura 17 – Desgaste de flanco em mm a 900 RPM.



Fonte: Autor, 2023.

Figura 18 – Desgaste de flanco em mm a 1390 RPM.



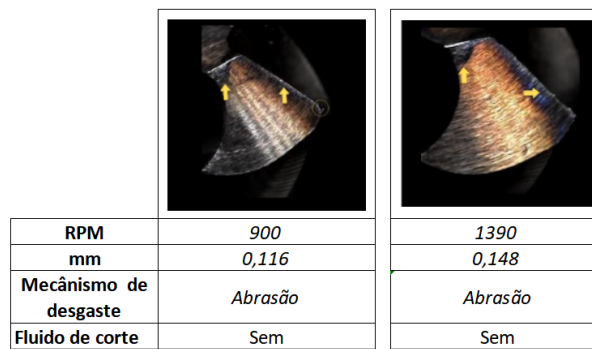
Fonte: Autor, 2023.

Conforme indicado pelos resultados dos experimentos, as brocas que realizaram o processo de furação sem o emprego de fluido de corte apresentaram um desgaste de flanco mais pronunciado. Após a execução de dez furos com cada broca sem o uso de fluido de corte os desgastes para o valor de V_b foram de 0,116 mm para a broca operando a 900 RPM, enquanto a broca operando a 1390 RPM teve um desgaste de flanco de 0,148 mm. As brocas que não utilizaram fluido de corte podem ser vistas na Figura 19.

4.1.1 Resultados das brocas sem fluido de corte

Na Figura 19 estão as brocas que não utilizaram fluido de corte durante realização dos dez furos, os principais desgastes que ocorreram foram o de desgaste do flanco e do gume transversal.

Figura 19 – Desgaste sem fluido após 10 furos.



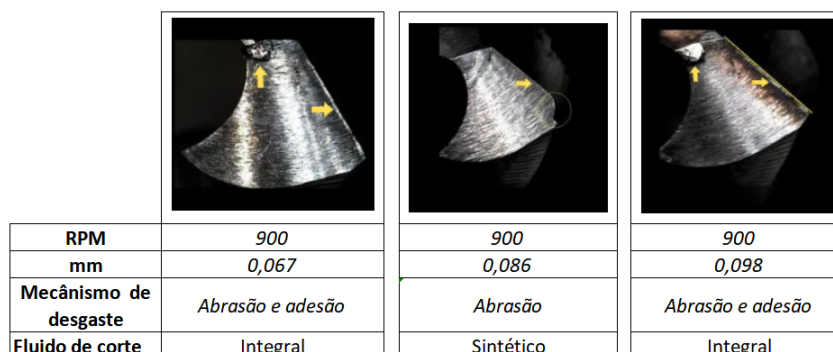
Fonte: Autor, 2023.

Na broca que realizou a furação a 900 RPM, foram identificados desgastes no flanco, desgaste do gume transversal e um pequeno lascamento no gume. Por outro lado, na broca que operou a 1390 RPM, os principais desgastes observados foram o desgaste de flanco e o desgaste do gume transversal. Apesar do desgaste de flanco ser mais pronunciado na broca que trabalhou a 1390 RPM, um aspecto a ser considerado foi o lascamento no gume da broca que operou a 900 RPM.

4.1.2 Resultados das brocas a 900 RPM

Nas brocas que executaram o processo de furação utilizando fluidos de corte, os desgastes de flanco apresentaram semelhanças com as brocas que realizaram a furação a 1390 RPM. No entanto, em algumas brocas, observou-se a formação de aresta postíça, e em uma delas, ocorreu o lascamento do gume. Esses resultados estão na Figura 20.

Figura 20 – Desgastes a 900 RPM.



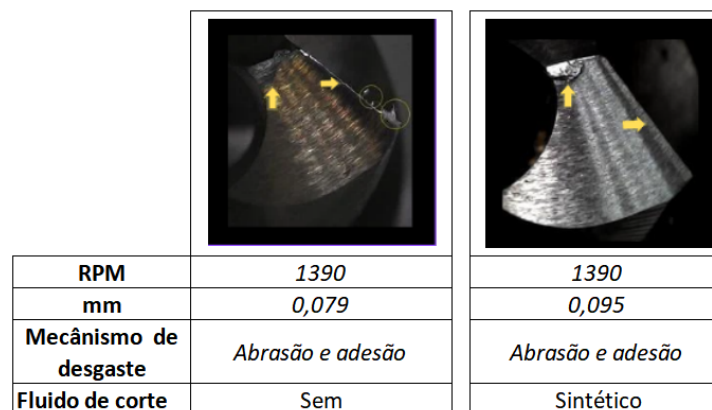
Fonte: Autor, 2023.

Nas três brocas apresentadas observa-se um desgaste de flanco, à esquerda está a broca após a realização de cinco furos com o uso do fluido de corte integral, nela ocorreu a formação de aresta postiça. Ao centro uma broca após a realização de dez furos com o uso do fluido de corte sintético, neste caso ocorreu o lascamento do gume. À direita está uma broca após dez furos com o uso do fluido integral, neste caso a aresta postiça se manteve. Os resultados das demais brocas que realizaram a furação a 900 RPM podem ser vistos no Apêndice A.

4.1.3 Resultados das brocas a 1390 RPM

Em todas as brocas que realizaram a furação a 1390 RPM ocorreu o desgaste de flanco. Em uma das brocas ocorreu o desgaste do gume transversal e a adesão, e em outra a formação de arestas postiças, como pode ser observado na Figura 21.

Figura 21 – Desgastes a 1390 RPM.



Fonte: Autor, 2023.

A esquerda está a broca que realizou o processo de furação sem o uso do fluido de corte após cinco furos e a direita está a broca que utilizou o fluido de corte sintético após dez furos. Os demais resultados das brocas que realizou o processo de furação a 1390 RPM podem ser vistos no Apêndice A.

4.2 Mecanismos de desgastes observados

Um dos mecanismos de desgaste que ocorreu nas brocas foi a abrasão, esse mecanismo é um dos principais responsáveis pelo desgaste frontal (flanco) nas superfícies de contato. Consiste na remoção ou deslocamento de material da superfície devido à presença de partículas duras soltas entre duas superfícies em movimento relativo. Essas partículas podem estar presentes no próprio material da peça ou ser originadas da própria ferramenta, sendo arrancadas devido ao atrito, por exemplo (SANTOS e SALES, 2007; MACHADO et al., 2009).

Outro mecanismo de desgaste que ocorreu em algumas brocas foi a formação de arestas postiças, que são camadas de cavacos aderentes à superfície de corte da ferramenta. Esse fenômeno ocorre quando o cavaco, em contato com a ferramenta, é pressionado na zona de aderência, permanecendo sem movimento relativo por tempo suficiente para se soldar à ferramenta (DINIZ, 1999). A Tabela 5 apresenta os desgastes que foram observados e as prováveis causas para a ocorrência deles.

Tabela 5 – Desgastes ocorridos nas brocas.

Desgaste	Possíveis causas
Desgaste de flanco	V_c Alta; Abrasão; Aresta postiça de corte.
Desgaste do gume transversal	Abrasão; V_c Alta; Sobrecarga
Lascamento da aresta	Vibrações; Interrupção do corte; Avanço rápido.
Aresta postiça	Avanço mais lento; V_c baixa.

Fonte: DINIZ, 1999.

Um outro fator que pode ter contribuído para o desgaste das brocas foi a precipitação dos carbonetos para a superfície da peça devido ao aquecimento, é um fenômeno relacionado ao tratamento térmico de alguns materiais metálicos, como aços. Carbonetos são compostos químicos estáveis, formam-se em temperaturas elevadas com a combinação química entre elementos metálicos e carbono, portanto, são elementos extremamente duros. Durante o aquecimento do material da peça, os carbonetos podem se separar da matriz metálica e migrar para a superfície da peça. Isso é conhecido como precipitação de carbonetos na superfície. Essa precipitação pode ter efeitos significativos nas propriedades do material. Por exemplo, a presença de carbonetos na superfície pode aumentar a resistência ao desgaste e melhorar a durabilidade. Por se tratar de processos de furação, o aquecimento durante a operação pode ter influenciado na precipitação dos carbonetos para superfície da peça, impactando o desgaste da broca (CALLISTER, 2002).

4.3 Tipos de cavacos formados

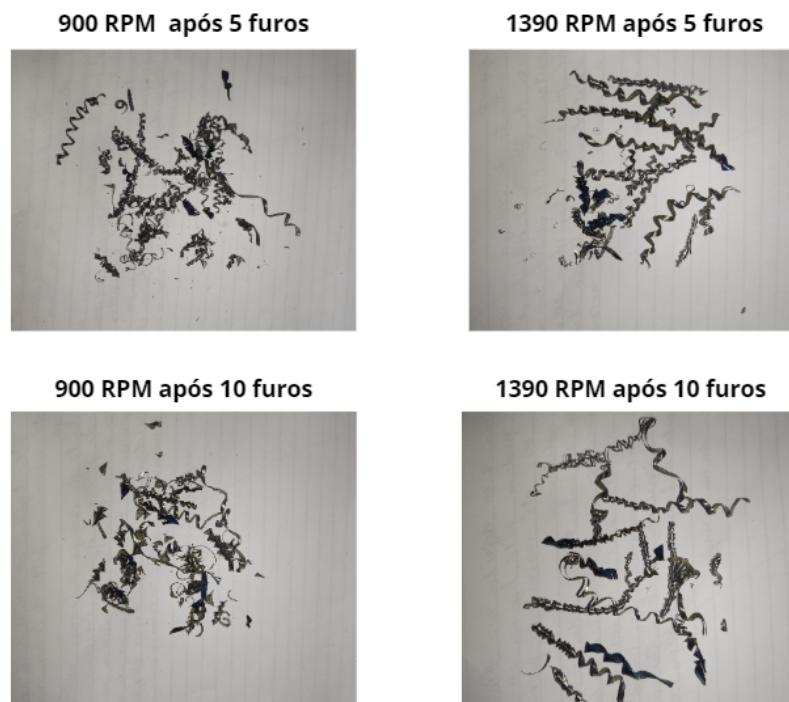
O material selecionado para as peças utilizadas foi o ASTM-A36, um material de baixo teor de carbono. Essa particularidade confere-lhe uma menor resistência à tração, mas maior ductilidade. Uma característica fundamental é sua capacidade de sofrer deformação plástica considerável antes de falhar, evidenciando um comportamento de

alongamento visível antes da ruptura. Além disso, apresenta uma resistência à ruptura significativa e demonstra maleabilidade e conformabilidade, sendo capaz de absorver energia antes da fratura, caracterizando um comportamento tenaz (CALLISTER, 2002).

Por se tratar de um material dúctil, no que diz respeito a formação de cavacos destaca-se pela capacidade de deformação plástica, resultando em cavacos longos e contínuos. Sendo assim, minimiza o atrito ferramenta-cavaco, e proporciona melhor controle de temperatura durante a usinagem. Materiais dúcteis favorecem a geração de cavacos helicoidais (MACHADO et al., 2009).

Em todas as instâncias em que o fluido de corte foi empregado, os cavacos formados assumiram uma configuração helicoidal. No início de cada processo de furação, os cavacos eram fragmentados e foram evoluindo para cavacos mais longos. Nas situações em que não houve a utilização do fluido de corte, alguns cavacos exibiram uma tonalidade mais escura, indicando um transporte maior de calor gerado durante a usinagem TRENT e WRIGHT (2000). Como pode ser observado na Figura 3, outra característica notável foi a formação de cavacos emaranhados e helicoidais do tipo arruela, conforme ilustrado na Figura 22. Os demais cavacos podem ser observados no Apêndice B.

Figura 22 – Cavacos a seco.



Fonte: Autor, 2023.

5 Conclusão

Este trabalho teve como objetivo analisar a influência do uso de fluidos de corte integral e sintético na furação de chapas de aço ASTM-A36, com espessura de 6 mm. Para realizar essas análises, foram feitas furações com e sem o uso desses fluidos de corte, utilizando brocas helicoidais de aço rápido com diâmetro de 8 mm, conforme especificações da norma DIN 338. A análise foi realizada por meio da avaliação dos mecanismos de desgaste nas brocas, com foco no desgaste de flanco, e pela comparação dos cavacos obtidos.

A partir dos resultados dos experimentos executados, pode-se perceber que a utilização de fluidos de corte, tanto integral quanto sintético, desempenhou um papel importante na redução do desgaste das brocas helicoidais do tipo N, fabricadas em aço rápido conforme as normas DIN 338, durante o processo de furação de chapas de aço ASTM A36. É perceptível que os dois fluidos desempenharam seu papel na redução do desgaste de flanco, outro ponto é que a diferença entre o desempenho dos dois fluidos foram baixas, mesmo que o fluido de corte integral apresente um preço mais elevado.

No que diz respeito a variação das rotações por minuto (RPM), as diferenças nos desgastes de flanco foram mais acentuadas apenas nas brocas que não utilizaram o fluido de corte. Este fator pode ter ocorrido devido à baixa quantidade de furos realizados com cada uma das brocas e possíveis erros que podem ter ocorrido na medição dos desgastes.

Os cavacos formados apresentaram uma característica homogênea. Uma das características de cavacos gerados a partir da usinagem em materiais com baixo carbono e alta ductibilidade, que é o caso do ASTM-A36, são cavacos helicoidais e longos. É válido ressaltar que as alterações na geometria do cavaco foram nas brocas que não utilizaram fluido de corte.

Com o objetivo de proporcionar melhorias futuras, propõe-se o aumento na quantidade de furações realizadas, a diversificação na implementação de fluidos de corte e a adoção de maquinário com avanço automático. Além disso, sugere-se a utilização de um microscópio de maior resolução para análises mais detalhadas e investigar os aspectos tribológicos de forma mais aprofundada. Essas iniciativas têm o potencial de enriquecer a pesquisa, proporcionando resultados mais abrangentes e contribuindo significativamente para o avanço do estudo.

Referências

ABNT NBR ISO 3685. Ensaio de vida. 2017.

ABNT NBR ISO 5419. Brocas helicoidais. 2009.

AÇOSNOBRES. **Tudo sobre o Aço A36.** 2023. Url <https://acosnobre.com.br/blog/aco-a36/>. Acessado: 04-08-2023.

BIOLUB. **Roscão.** 2023. Url <https://biolub.com.br/fluidos-corte/roscao>. Acessado: 15-06-2023.

BRAGA, D.; DINIZ, A.; COPPINI, N.; MIRANDA, G. Performance do processo de furação de liga de alumínio-silício utilizando a técnica de mínima lubrificação por névoa. In: **Performance of the Drilling Process of Aluminium–Silicon Alloy Using the Minimum Quantity of Fluid Technique**, Proceedings of XV Brazilian Conference on Mechanical Engineering-COBEM–Águas de Lindóia, SP, Brazil. [S.l.: s.n.], 1999. p. 22–26.

CAASTILLO, W. J. G. et al. Furação profunda de ferro fundido cinzento gg25 com brocas de metal-duro com canais retos. Florianópolis, SC, 2005.

CALLISTER, W. D. Ciência e engenharia de materiais. **Uma introdução**, LTC, v. 5, p. 189–250, 2002.

CERVO, A. L.; BERVIAN, P. A. Metodologia científica. In: **Metodologia científica**. [S.l.: s.n.], 1996. p. xiv–209.

DINIZ. **Tecnologia da usinagem dos metais**. [S.l.]: M M Editora, 1999.

ECOLUB. **Solúvel sintético - eco 100.** 2023. Url <https://ecolubquimica.com.br/produto/soluvel-sintetico-eco-100/>. Acessado: 04-12-2023.

FERRARESI. **Fundamento da usinagem dos metais**. [S.l.]: Blucher, 1970.

FERRARESI, D. **Fundamentos da usinagem dos metais**. [S.l.]: Editora blucher, 2018.

FERRARI. **Manual FGC - 16.** 2023. Url <https://conteudoproduto.magazineluiza.com.br/manual/22/220736600/AAF1020003M.pdf>. Acessado: 07-08-2023.

FIGUEIRÓ, T. R.; SCHUCH, N.; GUIMARAES, L. V.; SOCAL, F. R. P. Saimo: Sistema de aquisição de imagens de baixo custo para o uso em microscopia óptica. **Salão de Iniciação Científica (15.: 2003: Porto Alegre, RS). Livro de resumos. Porto Alegre: UFRGS, 2003.**, 2003.








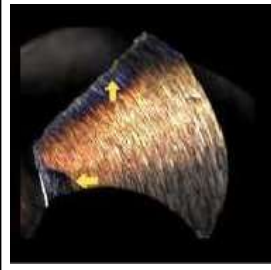

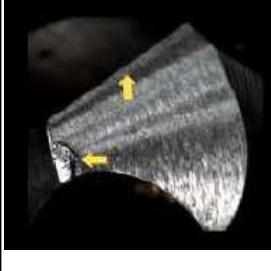


FISCHER, C. Avaliação do desgaste de brocas helicoidais de aço rápido boretadas+ tin na furação a seco. 2016.

GIL, A. C. et al. **Como elaborar projetos de pesquisa**. [S.l.]: Atlas São Paulo, 2002. v. 4.

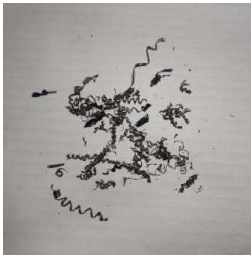

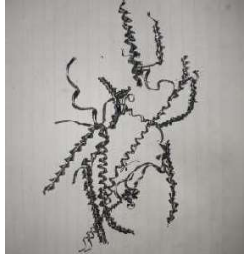
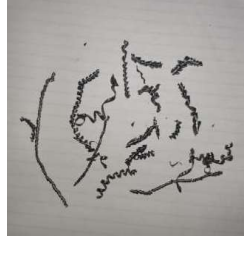

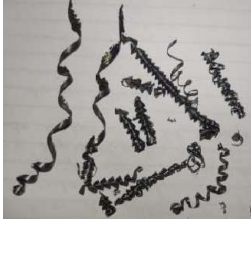





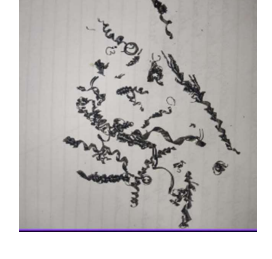
- GROOVER. **Fundamentals of Modern Manufacturing: Materials, Processes, and Systems**. [S.l.]: Wiley, 2001. v. 4.
- GROOVER. **Introdução aos processos de fabricação**. [S.l.]: LPC, 2014.
- IRWIN. **Brocas para metal**. 2023. Url [whhttps://devirwinbr.sbdinc.com/uploads/products/brochure/867_Brocas - para - Metal.pdf](https://devirwinbr.sbdinc.com/uploads/products/brochure/867_Brocas_-_para_-_Metal.pdf). *Acessado* : 02 - 08 - 2023.
- JAIN, V. K. **Advanced machining processes**. [S.l.]: Allied publishers, 2009.
- KLOCKE, F.; KRIEG, T.; GERSCHWILER, K.; FRITSCH, R.; ZINKANN, V.; PÖHLS, M.; EISENBLÄTTER, G. Improved cutting processes with adapted coating systems. **CIRP Annals**, Elsevier, v. 47, n. 1, p. 65–68, 1998.
- MACHADO, Á. R.; COELHO, R. T.; ABRÃO, A. M.; SILVA, M. B. da. **Teoria da usinagem dos metais**. [S.l.]: Editora Blucher, 2009.
- MIRANDA, G. W. Uma contribuição ao processo de furação sem fluido de corte com broca de metal duro revestida com tialn. **Doutorado (Tese)**. **Campinas**, 2003.
- SANTOS, S. C.; SALES, W. F. Aspectos tribológicos da usinagem dos materiais. **São Paulo: Artliber Editora**, v. 246, 2007.
- STERMMER. **Ferramentas de corte 2**. [S.l.]: Editora da UFSC, 1992.
- STERMMER. **Ferramentas de corte 1**. [S.l.]: Editora da UFSC, 2007.
- TRENT, E. M.; WRIGHT, P. K. **Metal cutting**. [S.l.]: Butterworth-Heinemann, 2000.
- WAKIL, S. D. E. **Processes and design for manufacturing**. [S.l.]: Waveland Press, 2002. v. 2.

Apêndices

APÊNDICE A – Resultados dos desgastes

Medição de desgaste das brocas helicoidais IRWIN HSS DIN 338 tipo N de 8 mm de diâmetro						
Sem fluido de corte		Com fluido de corte sintético			Com fluido de corte integral	
	Broca #1	Broca #4	Broca #2	Broca #5	Broca #3	Broca #6
Após 5º furo						
Rotação (RPM)	900	1390	900	1390	900	1390
Varição de desgaste de flanco (mm)	0.086	0.079	0.054	0.058	0.067	0.064
Mecanismo de	Abrasão	Abrasão e Adesão	Abrasão	Abrasão	Abrasão e Adesão	Abrasão
Após 10º furo						
Rotação (RPM)	900	1390	900	1390	900	1390
Varição de desgaste de flanco (mm)	0.116	0.148	0.086	0.095	0.098	0.093
Mecanismo de	Abrasão	Abrasão	Abrasão	Abrasão e Adesão	Abrasão e Adesão	Abrasão

APÊNDICE B – Cavacos gerados

Tipologia de cavacos após processo de furação das chapas de aço ASTM A36 de 6 mm de espessura						
Sem fluido de corte		Com fluido de corte sintético		Com fluido de corte integral		
Broca #1		Broca #4	Broca #2	Broca #5	Broca #3	Broca #6
Após 5º furo						
	900	1390	900	1390	900	1390
Rotação (RPM)	Helicoidais e emaranhado	Helicoidais e emaranhado	Helicoidais longos	Fragmentados e Helicoidais longos	Fragmentados e Helicoidais longos	Helicoidais
Tipo de cavaco						
	900	1390	900	1390	900	1390
Rotação (RPM)	Helicoidais e emaranhado	Helicoidais e emaranhado	Helicoidais longos	Helicoidais longos	Fragmentados e Helicoidais longos	Fragmentados e Helicoidais longos
Tipo de cavaco						