



INSTITUTO FEDERAL
PIAUI

**IFPI – INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO
PIAUI
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA**

WANDERSON CARVALHO DE SOUZA

**A INFLUÊNCIA DA NITRETAÇÃO A PLASMA E DA UTILIZAÇÃO DE FLUIDO DE
CORTE NA ANÁLISE DE DESGASTE DE BROCAS DE AÇO RÁPIDO (HSS).**

TERESINA

2020

WANDERSON CARVALHO DE SOUZA

A INFLUÊNCIA DA NITRETAÇÃO A PLASMA E DA UTILIZAÇÃO DE FLUIDO DE
CORTE NA ANÁLISE DE DESGASTE DE BROCAS DE AÇO RÁPIDO (HSS).

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado como exigência parcial para obtenção do diploma do Curso de Bacharelado em Engenharia Mecânica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí. Campus Teresina Central.

Orientador: Prof. Msc. José Matias Ferreira Filho.
Coorientador: Prof. Msc. Petteson Linniker Carvalho Serra.

TERESINA

2020

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD

Souza, Wanderson Carvalho de
S726i A influencia da nitretação a plasma e da utilização de fluido de corte na
análise de desgaste de brocas de aço rápido (HSS) / Wanderson Carvalho de
Souza. - 2020.
50 f.: il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica)
- Instituto Federal do Piauí, Campus Teresina Central, 2020.
Orientador : Prof Me. José Matias Ferreira Filho..

1. Desgaste de boca. 2. Nitretação a plasma. 3. Fluido de corte. I.Título.

CDD - 620

Elaborado por Tanize Maria Sales CRB 3/1024



INSTITUTO FEDERAL DE
EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
DO PIAUÍ

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO PIAUÍ
CAMPUS TERESINA-CENTRAL
DIRETORIA DE ENSINO
DEPARTAMENTO DE INDÚSTRIA, SEGURANÇA E PRODUÇÃO CULTURAL

FOLHA DE APROVAÇÃO

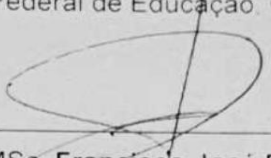
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

ALUNO **WANDERSON CARVALHO DE SOUZA**

MATRÍCULA Nº: 20111EME0392

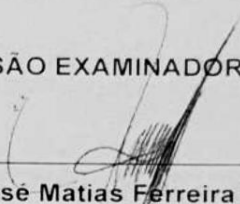
DATA: **16 de janeiro de 2020**

Este trabalho foi julgado adequado e aprovado para a obtenção do título de graduação em Engenharia Mecânica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí:

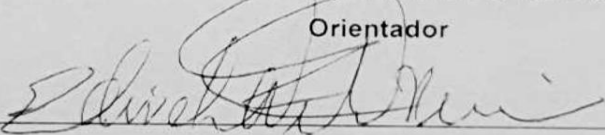


Prof. MSc. **Francisco José Patricio Franco**
Coordenador do Curso de Engenharia Mecânica

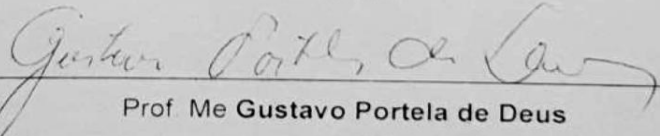
COMISSÃO EXAMINADORA



Prof. Me. **José Matias Ferreira Filho**
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí
Orientador



Prof. Me. **Edivaldo Feitosa Pereira**
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí
Avaliador



Prof. Me. **Gustavo Portela de Deus**
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí
Avaliador

Teresina, 16 de janeiro de 2020.

Dedico este trabalho a Deus e a minha mãe que estiveram sempre presentes me apoiando e me guiando na realização dos meus sonhos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por sempre estar comigo, me aconselhando, me guiando e me iluminando, permanentemente me fazendo acreditar que manter a fé sempre é o mais importante.

À minha mãe, que independente de qualquer adversidade, nunca me deixou estremecer. Que diante de qualquer oportunidade, sempre me fez agradecer a Deus, pois sempre acreditou que não importava qual caminho iria tomar, pois se Ele estivesse em minha companhia, algo de bom estaria a minha espera mais a frente.

À minha esposa, pelo seu amor, sua compreensão e pela sua força sempre me incentivando a concluir o curso.

Ao meu orientador, Prof. Msc. José Matias Ferreira Filho, pela sua disponibilidade, sua amizade, seu otimismo e até mesmo suas cobranças, pois elas me ajudaram chegar até aqui. Agradeço também pela oportunidade de aprofundamento na área de usinagem, pois suas aulas sempre foram incentivadoras. E pela tão importante ajuda na realização deste trabalho

Ao meu coorientador, Prof. Msc. Petteson Linniker Carvalho serra, que apesar do pouco tempo de convivência, se mostrou uma pessoa altruísta, sempre me ajudando quando necessário.

Aos meus colegas de curso, Alley, Amaury, Flávia, Guilherme, Ítalo, Pedro Lopes, Roberto e Silvan, por sempre estarem ao meu lado dentro do curso, não somente nos bons momentos, mas também durante as dificuldades e por esse motivo aprendemos a respeitar a jornada de cada de um.

Aos amigos e companheiros da equipe EcoOpala de eficiência energética do IFPI, pois depois de tanto tempo trabalhando juntos, descobrimos que trabalho duro e companheirismo são a chave para o sucesso pessoal e profissional.

Aos colaboradores do Instituto Federal do Piauí – IFPI e da Universidade Federal do Piauí – UFPI, por serem sempre solícitos quando precisava de suas ajudas para realizar este trabalho.

“Não importa o que se faz,
independentemente do sucesso ou do
fracasso, a experiência é uma forma de
sucesso em si mesmo”

Jack Ma

RESUMO

O desgaste das ferramentas de corte é um problema recorrente dentro da indústria metal mecânica, sendo que este problema pode ser reduzido, todavia não pode ser eliminado. Nesse contexto, é de grande importância o estudo de novos materiais, processos e mecanismos de desgaste aspirando ao desempenho que estes podem ter em serviço. Tendo isso em vista, a nitretação a plasma apresenta significativos resultados em algumas propriedades mecânicas como o aumento da microdureza e resistência ao desgaste. Da mesma maneira que a aplicação de fluidos de corte durante os processos de usinagem também apresentam ótimos resultados no que tange o prolongamento da vida útil das ferramentas. A partir disso, este trabalho tem por objetivo avaliar a aplicação de nitretação a plasma (nas temperaturas de 400 °C e 450 °C) e a utilização de fluido de corte no processo de furação do aço SAE 5160 com brocas de aço rápido – HSS e brocas de aço rápido ao cobalto – HSS-Co. Para este trabalho, foi realizada a caracterização das brocas por ensaio de Microdureza Vickers, Microscopia óptica e ensaio de desempenho, onde foram medidos o desgaste de flanco na aresta de corte. Os tratamentos termoquímicos resultaram na elevação da dureza superficial das brocas comparadas ao estado inicial. A microscopia óptica comprovou que a nitretação a plasma efetivamente realizou uma deposição de camada de nitretos sobre as brocas, entretanto, devido às camadas formadas serem muito espessas, isso influenciou negativamente o desenho das mesmas. A análise de desempenho revelou que a broca de aço rápido ligada ao cobalto – HSS-Co juntamente com a aplicação de fluido de corte, obteve o melhor desempenho no processo de furação, comprovando que a aplicação de fluido pode aumentar a produtividade quando comparado ao processo realizado a seco.

Palavras-chave: Desgaste de broca. Nitretação a Plasma. Fluido de Corte.

ABSTRACT

Cutting tool wear is a recurring problem within the metalworking industry, and this problem can be reduced but cannot be eliminated. In this context, it is of great importance the study of new materials, processes and wear mechanisms aspiring to the performance they can have in service. With this in mind, plasma nitriding has significant results in some mechanical properties such as increased microhardness and wear resistance. Just as the application of cutting fluids during machining processes also yields excellent results in extending tool life. From this, this work aims to evaluate the application of plasma nitriding (at temperatures of 400 ° C and 450 ° C) and the use of cutting fluid in the drilling process of SAE 5160 steel with high speed steel drill bits - HSS and cobalt fast steel drills - HSS-Co. For this work, the characterization of the drills was performed by Vickers Microhardness test, Optical microscopy and performance test, where the flank wear on the cutting edge was measured. Thermochemical treatments resulted in the elevation of the surface hardness of the drills compared to the initial state. Optical microscopy proved that plasma nitriding effectively performed nitride layer deposition on the drills, however, because the layers formed are very thick, this negatively influenced their design. Performance analysis revealed that the HSS-Co cobalt-fast drill with the application of cutting fluid achieved the best performance in the drilling process, proving that application of fluid can increase productivity when compared to the dry process.

Keywords: Drill Wear. Plasma Nitriding. Cutting Fluid

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Representação de um sistema de nitretação a plasma.....	19
Figura 2 – Variantes do processo de furação.....	22
Figura 3 – Partes básicas de uma broca helicoidal	23
Figura 4 – Características da broca utilizada neste trabalho: A) valor do ângulo de ponta; B) tipo de ponta da broca HSS; C) tipo de ponta da broca HSS-Co.....	24
Figura 5 – Formas de desgaste em brocas helicoidais	25
Figura 6 – Brocas: A) HSS; B) HSS-Co.....	26
Figura 7 – Equipamento de ultrassom utilizado na limpeza das brocas	27
Figura 8 – Equipamento: A) reator de plasma; B) brocas posicionadas dentro do reator	28
Figura 9 – Seções de corte A, B e superfície de folga	29
Figura 10 – Microdurômetro Vickers	30
Figura 11 – Durômetro	31
Figura 12 – Microscópio óptico.....	32
Figura 13 – Centro de Usinagem por Comando Numérico.....	33
Figura 14 – Corpo de prova.....	34
Figura 15 – Equipamento utilizado para obtenção de imagens.....	35
Figura 16 – Gráfico com os valores médios de microdureza das brocas HSS, HSS-Co, N400 e N450.....	36
Figura 17 – Micrografias obtidas através do microscópio óptico com aumento de 200x: A) região central da broca N400; B) gume da broca N400	37

Figura 18 – Micrografias obtidas através do microscópio óptico com aumento de 200x: A) região central da broca N450; B) gume da broca N450	37
Figura 19 – Número de furos realizados por cada broca.....	38
Figura 20 – Broca HSS sem uso do fluido de corte: A) estado inicial; B) estado final	40
Figura 21 – Broca HSS com uso do fluido de corte: A) estado inicial; B) estado final	40
Figura 22 – Desgaste de flano da broca HSS	40
Figura 23 – Broca HSS-Co sem uso do fluido de corte: A) estado inicial; B) estado final.....	41
Figura 24 – Broca HSS-Co com uso do fluido de corte: A) estado inicial; B) estado final.....	41
Figura 25 – Desgaste de flano da broca HSS-Co	42
Figura 26 – Broca N400 sem uso do fluido de corte: A) estado inicial; B) estado final	42
Figura 27 – Broca N400 com uso do fluido de corte: A) estado inicial; B) estado final	43
Figura 28 – Desgaste de flano da broca N400	43
Figura 29 – Broca N450 sem uso do fluido de corte: A) estado inicial; B) estado final	44
Figura 30 – Broca N450 com uso do fluido de corte: A) estado inicial; B) estado final	44
Figura 31 – Desgaste de flano da broca N450	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Influência do cobalto na ferramenta	18
Tabela 2 - Parâmetros utilizados no pré-sputtering	27
Tabela 3 - Parâmetros utilizados na nitretação a plasma.....	28
Tabela 4 - Composição química do aço SAE 5160	31
Tabela 5 - Valor médio da espessura de camada depositada nas brocas N400 e N450.....	38

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
DIN	<i>Deutsches Institut für Normiing</i> (Instituto Alemão de Normatização)
IFPI	Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí
SAE	<i>Society of Automotive Engineers</i> (Sociedade de Engenheiros da Mobilidade)
UFPI	Universidade Federal do Piauí
mBar	milibar – unidade de medida de pressão
°C	Graus Celsius – Unidade de medida de temperatura
N2	nitrogênio
H2	hidrogênio
°	Graus – Unidade de medida de ângulo
TiN	Nitreto de titânio
HSS	<i>High Speed Steel</i>
Co	Cobalto
Ar	Argônio
Mo	Molibdênio
W	Tungstênio
CNC	<i>Computer NumericaControl</i> (Comando Numérico Computadorizado)
VB	Desgaste de flanco
VB _{máx}	Desgaste de flanco máximo
HRC	Dureza Rockel C – Unidade de medida de dureza
HV	Dureza Vickers – Unidade de medida de dureza
kgf	Quilograma-força – Unidade de medida de força
Mesh	Unidade de referência de granulometria
mm	milímetro – Unidade de medida de comprimento
µm	micrometro – Unidade de medida de comprimento

CAD	<i>Computer aided design</i> (Desenho assistido por computador)
CAM	<i>Computer aided manufacturing</i> (Manufatura assistida por computador)
V	Vanádio
V	Volts
RPM	Rotações por minuto – unidade de medida de rotação
torr	Unidade de medida de pressão
%	Porcentagem

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
2. REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1 AÇO RÁPIDO E AÇO RÁPIDO AO COBALTO	17
2.2 NITRETAÇÃO A PLASMA	18
2.3 FLUIDOS DE CORTE	20
2.4 FURAÇÃO	21
2.4.1 Geometria das Brocas	22
2.5 DESGASTE	24
3. MATERIAIS E MÉTODOS	25
3.1 NOMENCLATURA	26
3.2 LIMPEZA DAS BROCAS	26
3.3 NITRETAÇÃO	27
3.4 CORTE E EMBUTIMENTO	28
3.5 ENSAIO DE MICRODUREZA NAS BROCAS	29
3.6 ENSAIO DE DUREZA NO MATERIAL BASE	30
3.7 PREPARAÇÃO METALOGRÁFICA	31
3.8 MICROSCOPIA ÓPTICA	32
3.9 PROGRAMA CNC E PARÂMETROS DE USINAGEM	32
3.10 CRITÉRIOS DE PARADA	33
3.11 CORPO DE PROVA E ANÁLISE DE DESEMPENHO	33
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	36
4.1 MICRODUREZA NA SUPERFÍCIE DE FOLGA	36
4.2 MICROSCOPIA ÓPTICA	37
4.3 ENSAIO DE DESEMPENHO	38
5. CONCLUSÕES	46
REFERÊNCIAS	47

1. INTRODUÇÃO

No setor industrial é de grande importância que as máquinas e ferramentas estejam sempre em boas condições para a realização do trabalho. Dentro desse contexto, a furação, que é um dos mais importantes, tradicionais e um dos mais usados processos de usinagem, exige cada vez mais que, estudos sejam realizados constantemente para poder aprimorar a vida útil das ferramentas chamadas de brocas e desta maneira aumentar a produtividade e reduzir os custos de produção.

Dentre vários tipos de brocas encontradas no mercado, está a broca de aço rápido – HSS, amplamente utilizada na indústria. Devido o processo de furação geralmente tomar longos períodos de tempo e também a utilização de altas velocidades de corte, a vida útil da ferramenta reduz acentuadamente.

Tratamentos termoquímicos superficiais, tendo como exemplo a nitretação a plasma, surge como alternativa para se auferir maior dureza, maior resistência ao desgaste, tendo como consequência aumento da vida útil da ferramenta. Sendo que um dos revestimentos mais utilizados é o nitreto de titânio TiN, que tem como características, elevada dureza, estabilidade térmica e resistência à abrasão (BASHIR et al., 2017).

A utilização de fluidos de corte aparece do mesmo modo como alternativa para se obter uma maior vida útil das brocas, pois esses fluidos conseguem reduzir significativamente o atrito entre a ferramenta e a peça a ser furada e sua ação refrigerante dissipa o calor, e por consequência diminuindo as tensões térmicas.

Nesta circunstância torna-se possível uma análise mútua da atuação da nitretação a plasma a diferentes temperaturas e a influência da utilização do fluido de corte na vida útil das brocas, proporcionando a redução do desgaste das brocas, ganho real de desempenho, crescimento da produção e redução de custos.

O objetivo deste trabalho é analisar o desgaste de brocas helicoidais de aço rápido (HSS), e realizar um comparativo entre brocas que foram submetidas a tratamento superficial e as brocas comerciais assim como a utilização ou não do fluido de corte.

Neste trabalho foram aplicados os tratamentos de nitretação a plasma com temperaturas de 400°C e 450°C, caracterizando-se assim duas formas distintas de nitretação realizadas em brocas comerciais de aço rápido com o objetivo de avaliar a viabilidade da aplicação desses tratamentos nas ferramentas. Além da broca de aço

rápido sem tratamento, foi utilizada uma broca comercial ligada ao cobalto (Co) como parâmetro de comparação.

Objetivos específicos:

- Medir microdureza das brocas HSS e HSS-Co sem nitretação;
- Realizar nitretação a plasma das amostras;
- Medir microdureza das brocas HSS após o tratamento;
- Mensurar a espessura da camada de nitretos depositada;
- Medir dureza do aço SAE 5160 para comparação com a literatura;
- Realizar processo de furação no corpo de prova de aço SAE 5160 sem fluido de corte;
- Realizar processo de furação no corpo de prova de aço SAE 5160 com fluido de corte;
- Captura de imagens através de um estereoscópio;
- Medição do desgaste de flanco das brocas;
- Identificar qual melhor associação de parâmetros promove um maior desempenho da broca.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 AÇO RÁPIDO E AÇO RÁPIDO AO COBALTO

Os aços rápidos são essencialmente empregados na fabricação de ferramentas de corte. A característica principal desse material é sua capacidade de operar em velocidades e outras condições de corte que podem elevar a temperatura da aresta de corte da ferramenta a cerca de 550°C - 600°C, durante a operação de usinagem. Essa característica é chamada de dureza a quente e constitui a mais importante propriedade dos aços rápidos (CHIAVERINI, 2008). Outras características importantes são resistência ao desgaste e abrasão, estabilidade dimensional e boa tenacidade (SILVA e MEI, 2010). O termo *aço rápido* vem a partir da sigla HSS, que significa High Speed Steel.

A tenacidade por sua vez, “é a capacidade do material absorver energia sem apresentar falhas, ou capacidade de deformação quando as ferramentas estão sujeitas à sobrecarga, choques, cantos vivos, que excedam o limite elástico. Esta propriedade pode ser afetada por fatores como: tensões internas produzidas pela têmpera; ou pelo reaquecimento muito rápido; ou retificação inadequada; ou encruamento; granulação grosseira; dureza excessivamente alta; segregação elevada de elementos de liga; teor dos elementos de liga” (SCHLATTER, 2012).

Segundo Chiaverini (1986), a resistência ao desgaste é a capacidade da ferramenta de suportar o desgaste promovido por diversos fenômenos advindos do atrito entre a peça e ou cavaco e a ferramenta. Esta propriedade depende da natureza e da composição da matriz, dos carbonetos precipitados, responsáveis pela dureza secundária, da quantidade e natureza dos carbonetos de liga. Os melhores resultados são obtidos mediante o aumento da quantidade de carbonetos de vanádio, que são extremamente duros.

Nas palavras de Klocke (2011) as propriedades de desgaste dos aços rápidos podem ser aprimoradas por meio de tratamentos de superfície como, por exemplo, a nitretação (enriquecimento da camada superficial com nitrogênio por tratamento termoquímico).

Dentro do grupo dos aços rápidos, existem duas categorias: a categoria T que compreende os tipos predominantemente ao tungstênio e a categoria M que compreende os tipos predominantemente ao molibdênio, sendo que ambas subdividem-se quanto encontra a presença do cobalto, como a tabela 1 expressa.

Tabela 1 – Influência do cobalto na ferramenta

Tipo de aço	% de Co na composição química	Tenacidade	Resistência ao desgaste	Dureza a quente
Ao W	-	Baixa	Média	Muito Boa
Ao W-Co	5 a 12	Baixa	Alta	Excelente
Ao Mo	-	Baixa	Média	Muito Boa
Ao Mo-Co	5 a 13	Baixa	Alta	Excelente

Fonte: Adaptado de FREITAS, F. (2017).

De acordo com Machado (2009, p.183), “o cobalto aumenta significativamente a dureza a quente, aumentando também a eficiência das ferramentas em operações de altas temperaturas, como é o caso de corte de desbaste e a altas velocidades. O Co se dissolve grandemente na matriz, proporcionando, por conseguinte, uma dureza média mais elevada (endurecimento por solução sólida) tanto a temperatura ambiente como a altas temperaturas. O ponto de fusão da liga é aumentado e ele proporciona uma queda na taxa de difusão dos elementos da liga (W, Mo, V etc.), inibindo, consequentemente, a coalescência de carbonetos secundários. Isso permite temperaturas de têmpera mais elevadas sem o risco de sérios problemas de crescimento de grão. Maiores temperaturas de têmpera permitem que uma maior quantidade de elementos de liga entre em solução e, assim, aumentem a dureza a quente. O cobalto aumenta, ainda, a condutividade térmica do aço rápido. Os aços com Co produzem grandes quantidades de austenita retida na têmpera, resultando em maiores endurecimentos secundários no revenido.”

2.2 NITRETAÇÃO A PLASMA

Nas palavras de Chiaverini (2008, p. 144); Silva e Mei, (2010, p.171), “Nitretação é o processo de introdução superficial de nitrogênio no aço, até uma certa profundidade, pelo aquecimento deste, a uma temperatura determinada, para formar uma camada dura de nitretos.”

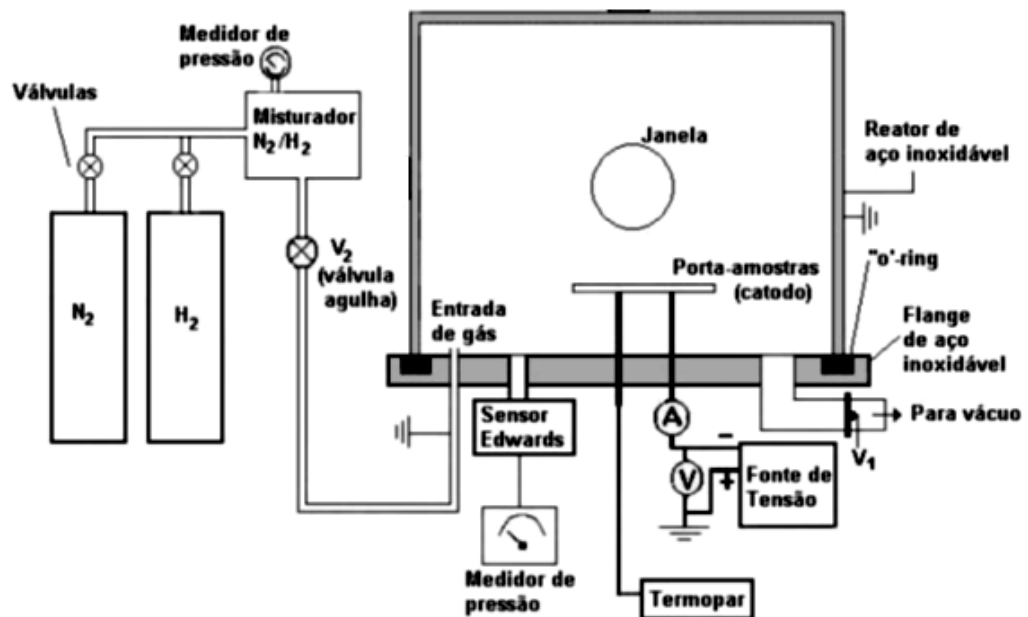
Segundo Alves (2001), o termo "plasma" também referido como "descarga elétrica", "descarga gasosa" ou "descarga luminescente" se aplica a um gás

contendo espécies neutras e eletricamente carregadas como elétrons, íons positivos, íons negativos, átomos e moléculas.

Em comparação com os outros processos de nitretação, tais como a nitretação a gás e a nitretação líquida, o processo a plasma oferece as seguintes vantagens: alta concentração de nitrogênio, tempo de tratamento curto, ambiente limpo, baixo consumo de energia, não toxicidade (SOUSA *et al.*, 2007; NISHIMOTO *et al.*, 2010; MOHAMMADZADEH, AKBARI, e DROUET, 2014), possibilidade de tratamento em apenas partes das peças, camada com espessura mais uniforme. Entretanto, a nitretação a plasma também apresenta as seguintes desvantagens: custo inicial mais elevado, falta de mão de obra especializada em países como o Brasil (ARAÚJO, 2015).

A figura 1 apresenta de maneira simples os componentes básicos de um equipamento de nitretação a plasma.

Figura 1 – Representação de um sistema de nitretação a plasma.



Fonte: ARAÚJO, A. G. F. (2015).

2.3 FLUIDOS DE CORTE

Além da nitretação como método de prolongamento de vida útil de ferramentas, a utilização de fluido de corte é bastante empregada na indústria metal mecânica. Originalmente, a grande quantidade de calor produzido na operação de furação, devido à energia necessária para conseguir retirar o cavaco e a energia decorrente do atrito entre o cavaco-ferramenta causa resultados indesejáveis na superfície da peça trabalhada, assim como na própria ferramenta, influenciando no custo e na qualidade do produto final. Dessa forma surgiram os fluidos de corte, com o intuito de facilitar as operações de corte.

Segundo Ferraresi (1969), durante o processo de usinagem, o cavaco produzido se torna indesejável tão logo este é criado. Sendo assim, sua presença na região de corte pode provocar danificações na ferramenta ou na superfície da peça usinada. Por este motivo, a utilização de fluido de corte facilita a expulsão do cavaco em alguns processos, como no torneamento, na furação, no fresamento, entre outros.

O objetivo final ao usar fluidos de corte é reduzir o custo total de fabricação ou aumentar a taxa de produção. Além disso, o fluido de corte pode evitar alterações macroestruturais na peça decorrentes de elevadas temperaturas de usinagem. (MACHADO *et al* 2009)

De acordo com Diniz (2006), os diversos fluidos de corte podem ser classificados da seguinte maneira:

- Ar
- Tipo Aquosos: água / emulsões
- Óleos: minerais / graxos / compostos / de extrema pressão

Sendo que, os tipos aquosos constituem o grupo maior, o mais importante e mais largamente empregado (FERRARESI, 1969) na indústria metal mecânica. Durante o processo de usinagem, o fluido de corte é impulsionado por uma bomba do reservatório até o local de contato entre a ferramenta e a peça. Subsequentemente, o fluido de corte retorna ao reservatório por gravidade.

No entanto, a tendência mundial intenta à usinagem sem fluido de corte, o que objetiva reduzir de forma significativa os custos com a compra de fluidos de corte e sua destinação final, bem como problemas ocupacionais, tais como doenças

de pele e variações de sintomas respiratórios (THOMÉ et al, 2007). Com a usinagem a seco procura-se, ainda, a redução de problemas relacionados ao meio ambiente, onde os fluidos de corte tornam-se graves poluentes da água, do solo e do ar (MIRANDA, 2003).

2.4 FURAÇÃO

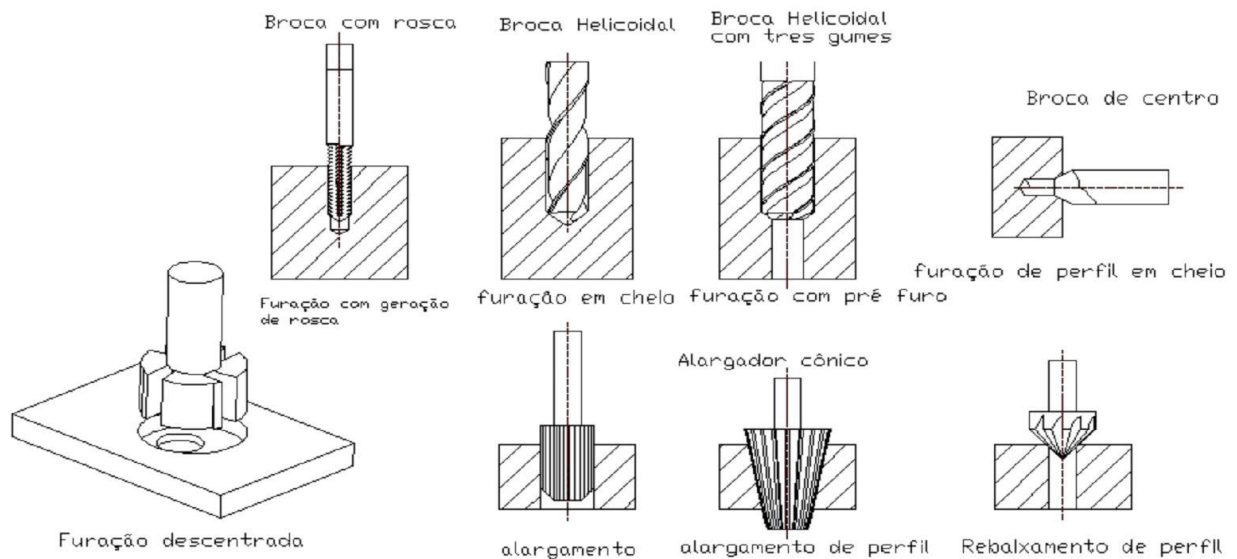
Para Ferraresi (1969), durante o processo de furação a ferramenta ou a peça giram e simultaneamente a ferramenta ou as peças se deslocam segundo uma trajetória retilínea, coincidente ou paralela ao eixo principal da máquina. A norma alemã DIN 8589 define a furação como um processo com movimento rotativo principal, ou seja, um processo de usinagem que apresenta movimento de corte circular.

A norma brasileira ABNT NBR 6175 (2015): *Usinagem – Processos mecânicos*, define furação como sendo:

“Processo mecânico de usinagem destinado à obtenção de um furo geralmente cilíndrico em uma peça, com auxílio de uma ferramenta geralmente multicortante. Para tanto, a ferramenta ou a peça gira e, simultaneamente a ferramenta ou a peça se desloca segundo uma trajetória retilínea, coincidente ou paralela ao eixo principal de rotação da máquina.”

O processo de furação pode ser ramificado em várias operações, dentre essas, destacam-se a furação em cheio, o escareamento, a furação de centro, a trepanação, entre outros. A figura 2 ilustra algumas destas operações.

Figura 2 – Variantes do processo de furação.



Fonte: SANTOS, D. V. (2013).

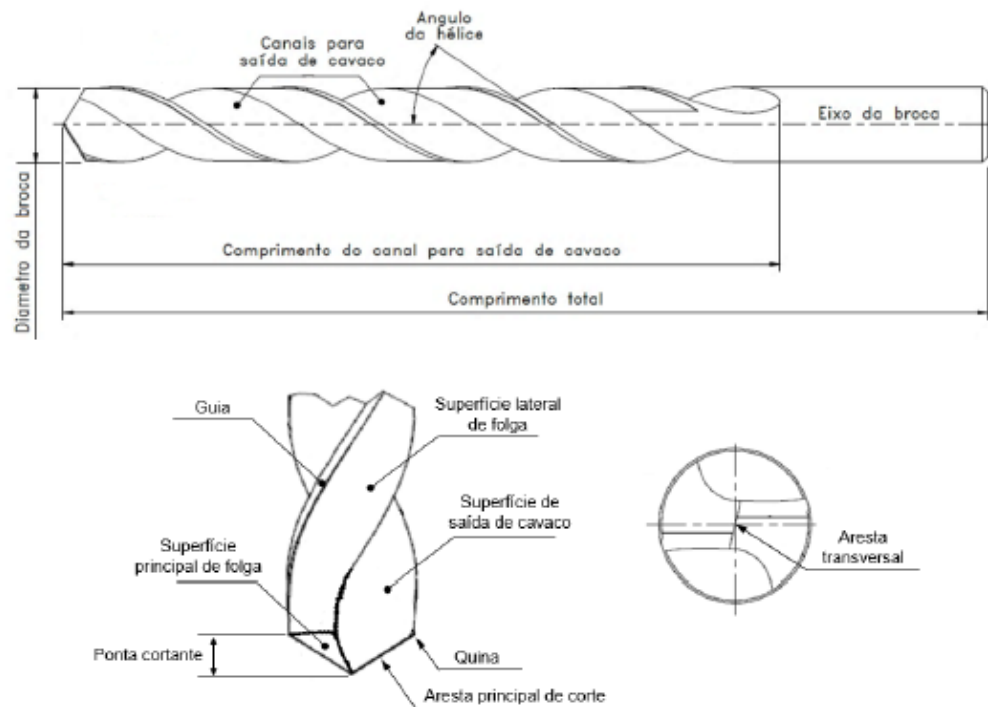
Segundo Klocke (2011), o processo de furação possui algumas peculiaridades, como: uma velocidade de corte que tende a zero em direção ao centro do furo, dificuldade de remoção do cavaco, distribuição de calor desfavorável no ponto de ação, desgaste acentuado nas quinas com canto vivo e as guias apresentam desgaste em função do atrito com a parede do furo.

2.4.1 Geometria das Brocas

Os conceitos básicos e a nomenclatura das diversas partes das brocas helicoidais são definidas pela norma ABNT NBR ISO 5419 (2009): *Brocas Helicoidais – Termos, definições e tipos*.

De acordo com Shaw (2005), uma broca helicoidal é uma ferramenta de corte complexa usada para produzir furos. Em geral, existem duas arestas cortantes que produzem cavacos. Ambas as arestas de corte de uma broca operam com ângulo de saída, ângulo de inclinação e ângulo de folga variáveis ao longo da aresta de corte. Os canais de uma broca possuem um papel importante em levar os cavacos para fora do furo e o ângulo da hélice é importante nesta conexão. As principais partes constituintes de uma broca helicoidal estão ilustradas na figura 3.

Figura 3 – Partes básicas de uma broca helicoidal.



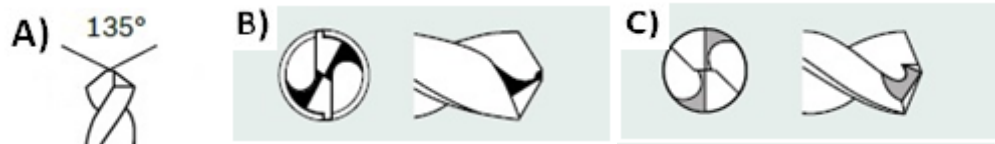
Fonte: ABNT NBR ISO 5419. (2009).

Oliveira (2008) relata que o ângulo de ponta é constituído pelos dois gumes principais, no plano que se inicia o eixo principal da broca. O ângulo de ponta tem influência na espessura do cavaco para um mesmo avanço.

Segundo Santos (2013), quando se utiliza um ângulo de ponta menor, o cavaco torna-se mais fino e mais largo. No caso de materiais com baixa usinabilidade, o cavaco mais grosso é vantajoso pelo fato de permitir contato na face, num ponto mais afastado do gume.

As características das brocas utilizadas neste trabalho são identificadas na figura 4. Onde a figura 4(A) representa o ângulo de ponta no valor de 135° e a figuras 4(B) e 4(C) representam a ponta da broca HSS tipo C e a ponta da broca HSS-Co tipo C otimizado para aços de elevada dureza, de acordo com a norma DIN 1412 respectivamente. Segundo BOSCH (2019) a ponta da broca em cruz e autocentragem, não necessita marcação com punção, nem pré-furar até $\varnothing 10$ mm.

Figura 4 – Características da broca utilizada neste trabalho: A) valor do ângulo de ponta; B) tipo de ponta da broca HSS; C) tipo de ponta da broca HSS-Co.



Fonte: Bosch.

2.5 DESGASTE

De acordo com Diniz (2006), existem vários fenômenos causadores dos desgastes da ferramenta. As principais são a aresta postiça de corte, a abrasão mecânica, a adesão, a difusão e a oxidação.

Alem dos mecanismos causadores, existem também diversos tipos de desgaste e avarias que acontecem em uma ferramenta durante uma operação de usinagem e que, conseqüentemente, causam a sua destruição ou substituição, ocasionando paradas da máquina para troca e assim, elevando os custos do processo e perda de produtividade. (FREITAS, F. 2017).

Segundo Diniz (2006), os tipos mais comuns de desgaste são do tipo:

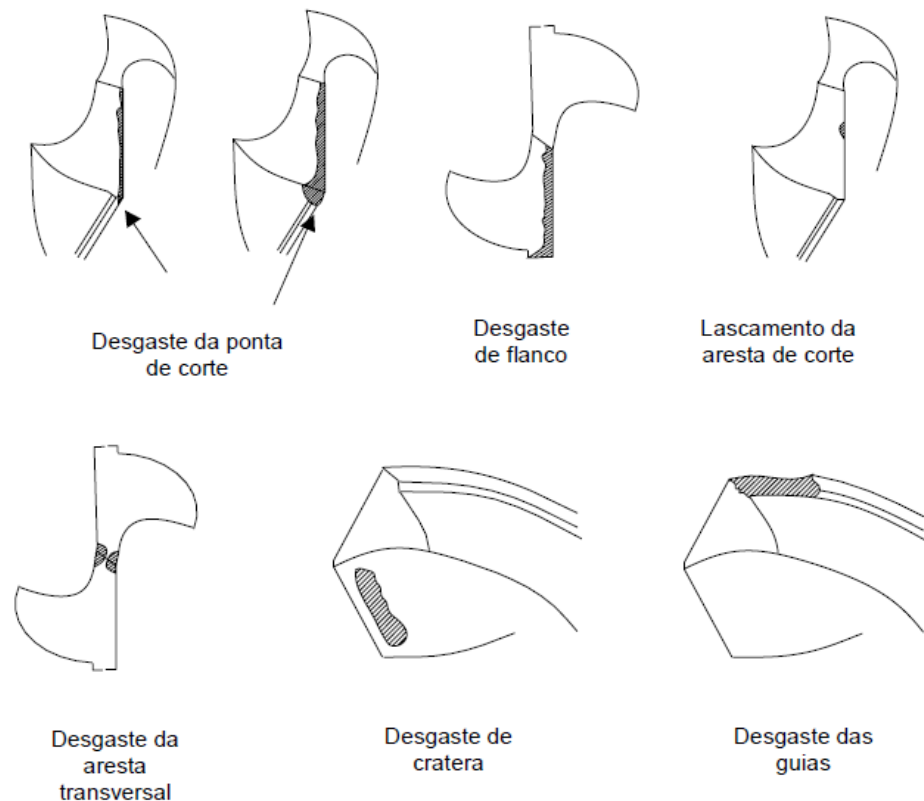
- Frontal ou de flanco
- Cratera
- Deformação plástica da aresta de corte
- Lascamento
- Trincas
- Quebra

Sendo um dos desgastes mais comuns e também objeto de estudo deste trabalho, o desgaste de flanco aumenta a força de corte e a temperatura na região de contato, aumentando a vibração na operação de corte e diminuindo a precisão dimensional das peças usinadas. (SERRA, 2018).

Segundo Shaw (2005), as situações práticas de desgaste dificilmente envolvem apenas uma dessas formas de desgaste, isto é, há interações importantes entre elas, embora uma delas deva prevalecer.

A figura 5 apresenta alguns dos tipos de desgaste que podem ocorrer em brocas helicoidais durante a furação.

Figura 5 – Principais formas de desgaste em brocas helicoidais.

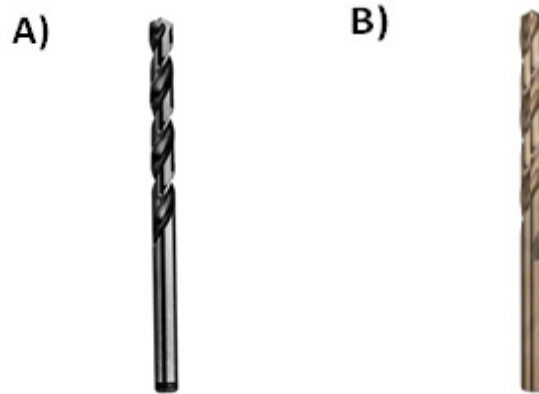


Fonte: FREITAS, F. (2017).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Foram utilizadas onze brocas comerciais helicoidais de aço rápido – HSS sem revestimento superficial, figura 6(A), e três com cobalto em sua composição química – HSS-Co, figura 6(B). Das brocas sem revestimento, foram submetidas quatro ferramentas ao tratamento de nitretação convencional na temperatura de 400°C e quatro brocas foram tratadas na temperatura de 450°C. As três brocas sem revestimento restantes e as três com cobalto foram utilizadas como parâmetro de comparação. Segundo a classificação da ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2009), as brocas são do tipo N, com comprimento da hélice de 87 mm, comprimento total de 133 mm e diâmetro de 10 mm.

Figura 6 – Brocas: A) HSS; B) HSS-Co.



Fonte: Bosch.

3.1 NOMENCLATURA

Para facilitar a compreensão deste trabalho, foi utilizada a nomenclatura a seguir para determinar o tipo de broca usado em cada momento.

- HSS – Broca comercial de aço rápido sem revestimento.
- HSS-Co – Broca comercial de aço rápido com Cobalto em sua composição química.
- N400 – Broca comercial de aço rápido sem revestimento nitretada a 400° C.
- N450 – Broca comercial de aço rápido sem revestimento nitretada a 450° C.

3.2 LIMPEZA DAS BROCAS

Antes de dar início ao tratamento termoquímico, faz-se necessário a realização de limpeza por ultrassom das brocas a serem nitretadas. Com a finalidade de obter superfícies limpas e livres de óxidos. A limpeza se dá através do mergulho das amostras em álcool e submetendo-as à vibração por ultrassom durante dez minutos. O equipamento utilizado aparece na figura 7 abaixo. Logo em seguida, as brocas foram secas com o auxílio de um secador.

Figura 7 – Equipamento de ultrassom utilizado na limpeza das brocas.



Fonte: Elaborada pelo autor.

3.3 NITRETAÇÃO

A nitretação convencional foi executada nas temperaturas de 400°C e 450°C, resultando em duas nitretações em diferentes condições. A temperatura desejada em cada caso foi obtida com a aplicação gradativa da tensão elétrica, sendo que foi evitada a utilização de temperaturas mais altas para reprimir a instabilidade durante o aquecimento das brocas helicoidais.

O *pré-sputtering* foi realizado a uma temperatura de 350°C, por um período de 60 minutos e com atmosfera formada por 50% de argônio e 50% de hidrogênio para todas as brocas.

Tabela 2 – Parâmetros utilizados no pré-sputtering

Comp. da mistura	Pressão	Tempo	Temperatura (°C)	Brocas
50% Ar e 50% H2	1,5 mBar	1 hora	350°	N400
				N450

Fonte: Elaborada pelo autor.

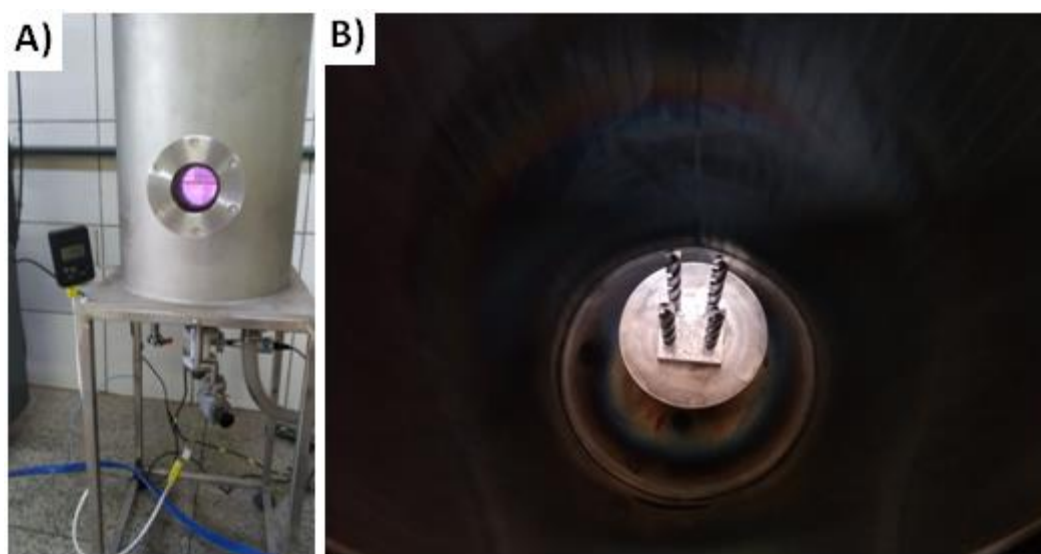
Encerrado este processo, o segundo estágio de admissão da mistura de gases e a regulagem da pressão de atividades foram iniciados. A tabela a seguir descreve os parâmetros de nitretação utilizados para cada tratamento realizado.

Tabela 3 – Parâmetros utilizados na nitretação a plasma.

Comp. da mistura	Pressão	Tempo	Temperatura (°C)	Brocas
20% N ₂ e 80% H ₂	3 mBar	3 hora	400°	N400
			450°	N450

Fonte: Elaborada pelo autor.

Os tratamentos foram realizados em um reator no domínio do Laboratório de Processamento de Materiais por Plasma – LabPlasma, da Universidade Federal do Piauí – UFPI. A Figura 8 mostra uma imagem do reator utilizado no tratamento e disposição das brocas dentro do mesmo durante a nitretação, respectivamente.

Figura 8 – Equipamento: A) reator de plasma; B) brocas posicionadas dentro do reator.

Fonte: Elaborada pelo autor.

3.4 CORTE E EMBUTIMENTO

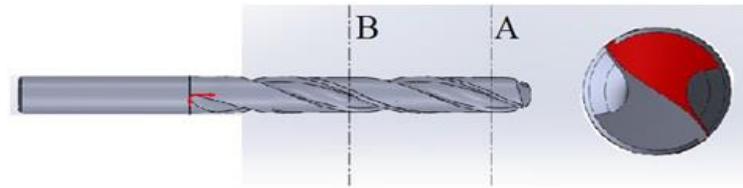
As amostras foram cortadas utilizando a cortadeira metalográfica da oficina mecânica do bloco de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Piauí (UFPI).

As brocas HSS e HSS-Co sofreram corte na seção A e as brocas N400 e N450 sofreram cortes nas seções A e B. O corte na seção A foi realizado no intuito de facilitar a execução do ensaio de microdureza na superfície de folga e o corte da

seção B é para facilitar o embutimento e posterior verificação da espessura da camada de nitretos formada na seção A, como ilustra a figura 9 abaixo.

A posteriori, foi realizado o embutimento das amostras cortadas em uma embutidora a quente com o intuito de moldar o material em forma de peça única de fácil manuseio durante os processos de lixamento, polimento e até mesmo o ensaio de microdureza e a microscopia óptica.

Figura 9 – Seções de corte A, B e superfície de folga.



Fonte: Adaptada de SERRA, P. L. C. (2018).

3.5 ENSAIO DE MICRODUREZA NAS BROCAS

Os ensaios de microdureza foram realizados em um microdurômetro do Laboratório de Materiais do Instituto Federal do Piauí – IFPI.

Para mensurar a dureza na superfície de folga das brocas, foram executadas cinco medidas e posteriormente calculada a média aritmética em cada amostra. O tempo de aplicação utilizado foi de 15 segundos juntamente com uma carga de 0,2 kgf. A microdureza foi utilizada para a determinação da dureza de pequenas áreas de um corpo de prova. A norma de realização do ensaio foi a ASTM E384.

Figura 10 – Microdurômetro Vickers.



Fonte: Elaborada pelo autor.

3.6 ENSAIO DE DUREZA NO MATERIAL BASE

Segundo Gonzales (2009), o aço SAE 5160 possui um alto limite de escoamento e limite de resistência máxima, boa tenacidade, média temperabilidade, má soldabilidade e uma dureza de 39,2 HRC. E por isso, este material oferece bastante dificuldade para ser usinado ou soldado quando a lâmina é conformada a quente pelo seu alto teor de carbono e cromo.

Devido este aço vir na condição de temperado e revenido, foi realizado um ensaio de dureza Rockwell com o intuito de se comprovar sua elevada dureza. A escala Rockwell é definida por HRC devido o penetrador utilizado neste ensaio ser do tipo cone de diamante e a carga utilizada ser de 150 kgf. A norma que trata sobre este ensaio é a NBR NM ISO 6508 (2008).

A tabela 4 mostra a composição química do aço SAE 5160 e figura 11 representam o ensaio de dureza realizado no Laboratório de Materiais do Instituto Federal do Piauí – IFPI respectivamente, sendo que, o ensaio apresentou um resultado médio na grandeza de 40 HRC, valor este muito próximo do que se esperava, comprovando assim a elevada dureza do material.

Tabela 4 – Composição química do aço SAE 5160.

Carbono	Manganês	Fósforo	Enxofre	Silício	Cromo
0,56 – 0,64%	0,75 – 1,0%	máx. 0,030%	máx. 0,040%	0,15 – 0,35%	0,70 – 0,90%

Fonte: Favorit.

Figura 11 – Durômetro.

Fonte: Elaborada pelo autor.

3.7 PREPARAÇÃO METALOGRÁFICA

Logo após o corte e o embutimento, as amostras que sofreram o corte na seção B, foram lixadas com lixa d'água com granulometria de 220, 360, 400, 600 e 1200 mesh, alternando em 90° a posição da amostra a cada troca de lixa, com o intuito de se obter uma superfície sem irregularidades devido o corte. Subsequentemente foram submetidas a polimento mecânico em disco de feltro com pasta de diamante de granulometria de 3 µm. Logo em seguida ao polimento, as amostras foram atacadas quimicamente por imersão em solução de Nital 4% (4% de ácido nítrico e 96% de álcool etílico PA) com o tempo de imersão variando entre 6 e 9 segundos. Logo após o ataque, as amostras foram lavadas em água corrente,

imersas em álcool etílico e secas com auxílio de um secador, evitando a formação de óxidos naturais.

3.8 MICROSCOPIA ÓPTICA

As camadas de nitretos formadas durante a nitretação foram medidas através da microscopia óptica. Sendo que o equipamento utilizado foi Microscópio Bel Photonics, modelo MTM – 1A e software ScopelImage 9.0, no domínio da Universidade Federal do Piauí – UFPI representado na figura 12, com a ampliação de 200 vezes para a captura das imagens.

Figura 12 – Microscópio óptico.



Fonte: Elaborada pelo autor.

3.9 PROGRAMA CNC E PARÂMETROS DE USINAGEM

A simulação de desempenho foi realizada em um Centro de Usinagem por Comando Numérico – CNC, modelo D600, da marca Romi, no domínio do Instituto Federal do Piauí – IFPI representado na figura 13.

O ensaio de furação foi realizado seguindo os parâmetros de corte definidos para usinagem de aço liga de beneficiamento com velocidade de corte entre 3 a 15 m/min (LENOX TWILL, 2019), onde dentro dessa variação, foi selecionada a velocidade de corte de 9 m/min e por consequência, rotação de 286,6 RPM e avanço de 0,025 mm/volta. O fluido de corte foi utilizado na tentativa de se reduzir o atrito entre a peça e a ferramenta durante a furação. Foi empregado fluido de corte em abundância. O fluido aplicado é o Quakercool® 2880 BF da fabricante Quaker, diluído em água com concentração de 10%.

Segundo Serra (2018), os procedimentos executados em um centro de usinagem CNC são comandados por um programa na linguagem G, que compreende uma linguagem de programação desenvolvida especialmente para o comando de máquinas CNC. O programa foi obtido a partir da integração entre as plataformas CAD e CAM do SolidWorks, que permite obter a programação da operação a partir do modelo em 3D desenvolvido na plataforma de desenho, acrescentando como dados de entrada os parâmetros de corte consultados nos catálogos.

Figura 13 – Centro de Usinagem por Comando Numérico.



Fonte: Elaborada pelo autor.

3.10 CRITÉRIOS DE PARADA

Foram considerados três critérios de parada: o desgaste de flanco máximo “ $V_{Bmáx}$ ” de 0,5 mm, a falha completa da ferramenta e a ocorrência excessiva de ruído e/ou vibração.

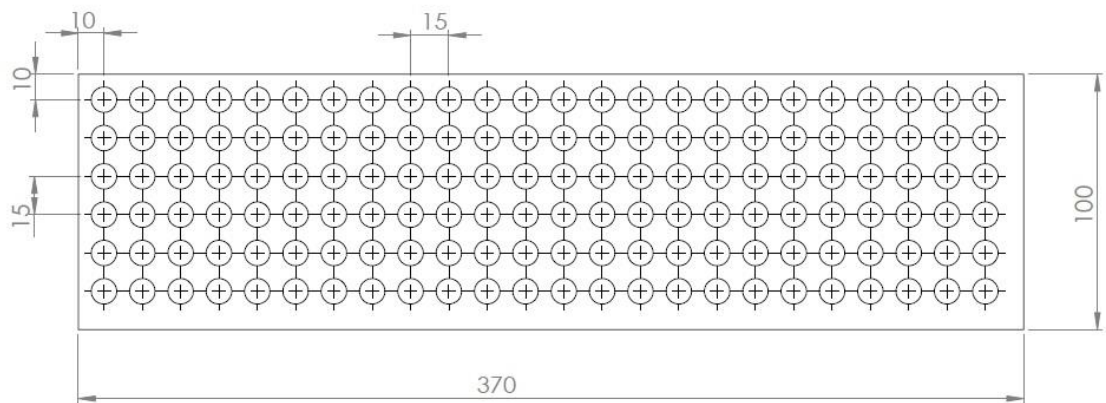
3.11 CORPO DE PROVA E ANÁLISE DE DESGASTE

Para a realização do processo de furação foi escolhido o aço SAE 5160, um aço liga de médio carbono para beneficiamento, na condição de temperado e revenido segundo Cindumel (2019). Aço de alta temperabilidade e boa ductilidade.

Na condição beneficiada apresenta alta resistência mecânica e boa resistência à fadiga. (FAVORIT, 2019)

O software SolidWorks foi utilizado para a criação do corpo de prova como mostra a figura 14. Foi tomado o cuidado em relação às distâncias entre furos e entre os furos e as bordas do corpo de prova, distâncias que ficaram nos valores de 15 mm e 10 mm respectivamente. Em cada corpo de prova era possível realizar até 144 furos com a profundidade de 19 mm cada, sendo que, sempre após a realização de dois furos, o processo era interrompido para se realizar a análise de desempenho e logo em seguida retomava-se o a furação.

Figura 14 – Corpo de prova.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Para a análise de desgaste, foi utilizado um estereoscópio óptico modelo SZ-EWS-I007160, com conexão USB e software para aquisição de imagens. Logo após, as imagens foram mensuradas utilizando o software ImageJ com a ferramenta de conversão de pixels para milímetros. Para se obter uma posição adequada para a captura de imagem da aresta de corte, utilizou-se um suporte de apoio para a câmera, que respeitava o ângulo de ponta da broca e assim permanecendo perpendicular a mesma.

Figura 15 – Equipamento utilizado para obtenção de imagens.



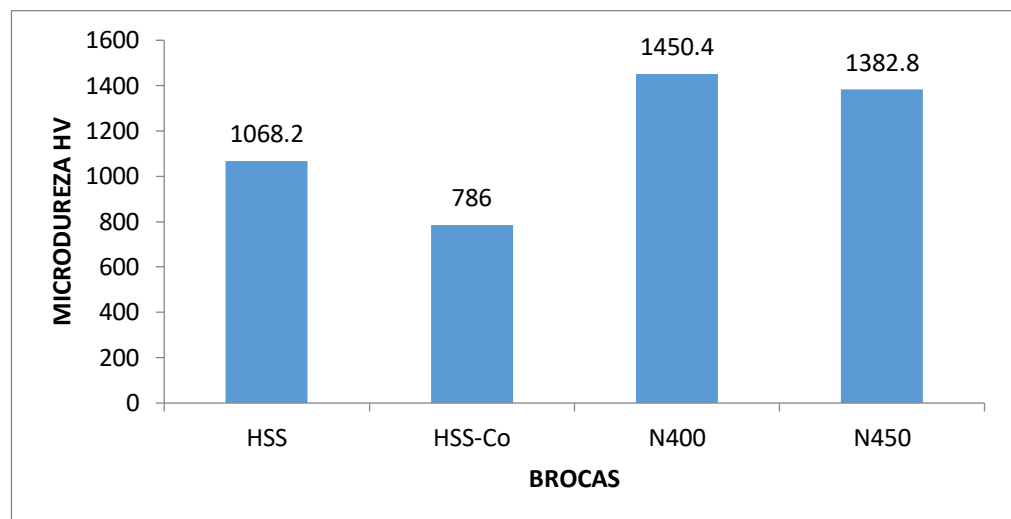
Fonte: Elaborada pelo autor.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 MICRODUREZA NA SUPERFÍCIE DE FOLGA

A figura 16 mostra um gráfico com os valores médios das medidas de microdureza realizadas na superfície de folga das brocas. Foram representados os resultados referentes às brocas comerciais (HSS e HSS-Co) e as brocas nitretadas (N400 e N450).

Figura 16 – Gráfico com os valores médios de microdureza das brocas HSS, HSS-Co, N400 e N450.



Fonte: Elaborada pelo autor.

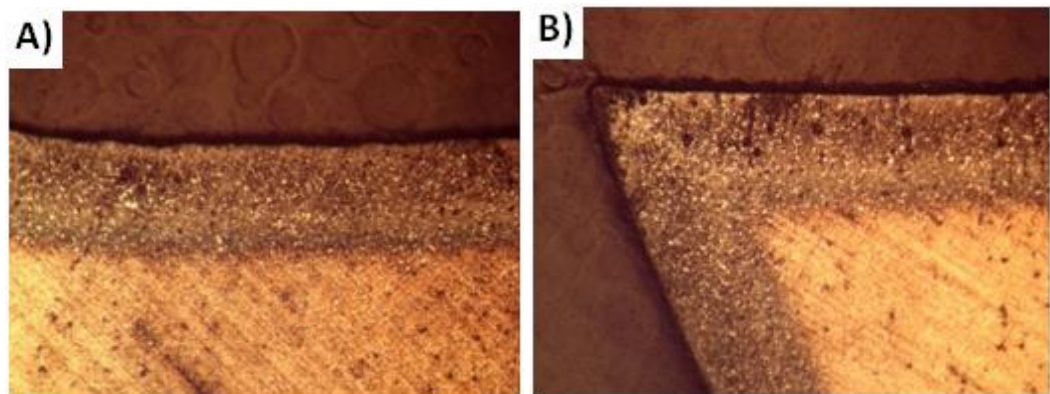
De acordo com Zagonel (2006), era esperado que a dureza superficial fosse elevada com o aumento da temperatura de tratamento. No entanto, as brocas tratadas a 400°C obtiveram dureza superficial superior as brocas tratadas a 450°C, com uma diferença de apenas 67,6 HV.

Segundo Machado (2009, p.183), “o cobalto aumenta significativamente a dureza a quente, aumentando também a eficiência das ferramentas em operações de altas temperaturas, como é o caso de corte de desbaste e a altas velocidades”, no entanto não significa que a dureza a temperatura ambiente também seja elevada, já que foi observado uma dureza superficial inferior a HSS.

4.2 MICROSCOPIA ÓPTICA

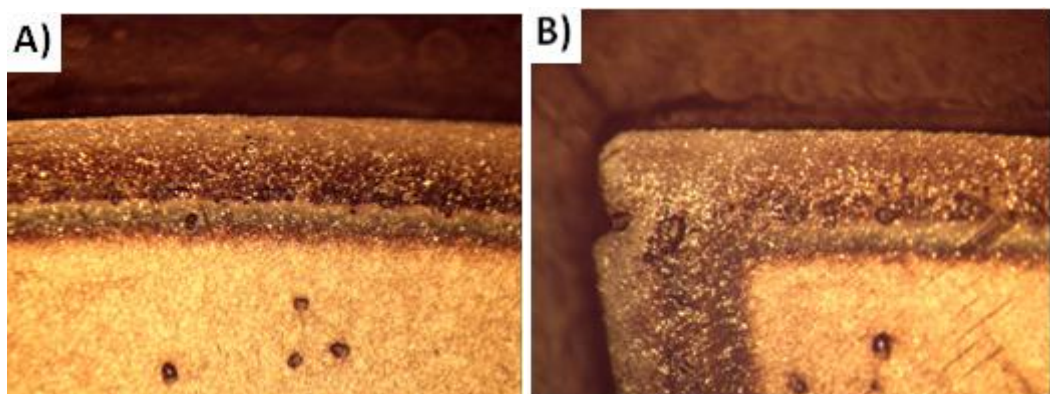
Através da microscopia óptica foi possível visualizar e medir a camada de nitretos depositadas nas brocas N400 e N450, como é possível observar nas micrografias a seguir.

Figura 17 – Micrografias obtidas através do microscópio óptico com aumento de 200x: A) região central da broca N400; B) guia da broca N400.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 18 – Micrografias obtidas através do microscópio óptico com aumento de 200x: A) região central da broca N450; B) guia da broca N450.



Fonte: Elaborada pelo autor.

A tabela 5 a seguir apresenta o valor médio medido das camadas depositadas na ferramenta, onde se percebe o aumento da camada devido o aumento da temperatura do tratamento.

Tabela 5 – Valor médio da espessura de camada depositada nas brocas N400 e N450.

Brocas	Espessura média da camada (μm)
N400	112,31
N450	131,77

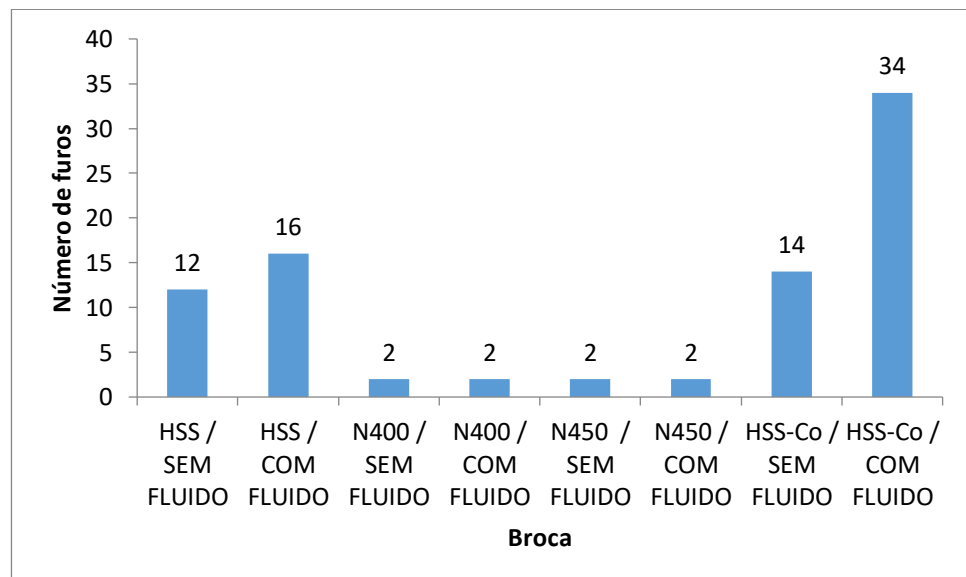
Fonte: Elaborada pelo autor.

É importante observar esta questão, uma vez que, camadas de nitretos espessas formam uma região frágil, e esta fragilidade da ferramenta pode comprometer o processo de furação.

4.3 ENSAIO DE DESEMPENHO

Foi observado que o melhor resultado no ensaio de desempenho foi obtido utilizando-se a broca HSS-Co juntamente com a aplicação do fluido de corte, combinação esta que resultou em um total de 34 furos. A figura 19 a seguir apresenta o número de furos que cada broca conseguiu desempenhar.

Figura 19 – Número de furos realizados por cada broca.



Fonte: Elaborada pelo autor.

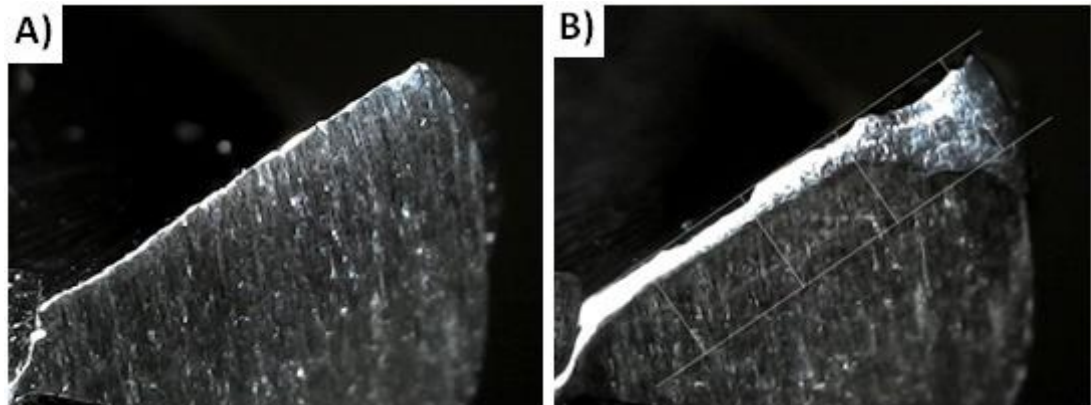
Segundo Wanke (2003), a fratura da camada superficial ocorrida nas brocas pode estar relacionada à formação de uma camada de nitretos muito dura e simultaneamente frágil, levando as ferramentas a não suportar os esforços

solicitados e, conseqüentemente, obtendo um tempo de vida menor que as ferramentas não nitretadas. Desta forma, as brocas N400 e N450 apresentaram desempenhos muito baixos, já que as mesmas só conseguiram efetuar dois furos cada, independente da utilização ou não de fluido de corte.

Através do estereoscópio, foi realizada a captura das imagens das brocas e sua posterior medição, para se determinar o valor do desgaste de flanco. Vale lembrar que, dificilmente ocorre apenas uma forma de desgaste, isto é, há possibilidade de identificação de outros tipos de desgaste, embora prevaleça o desgaste de flanco como objeto de estudo deste trabalho.

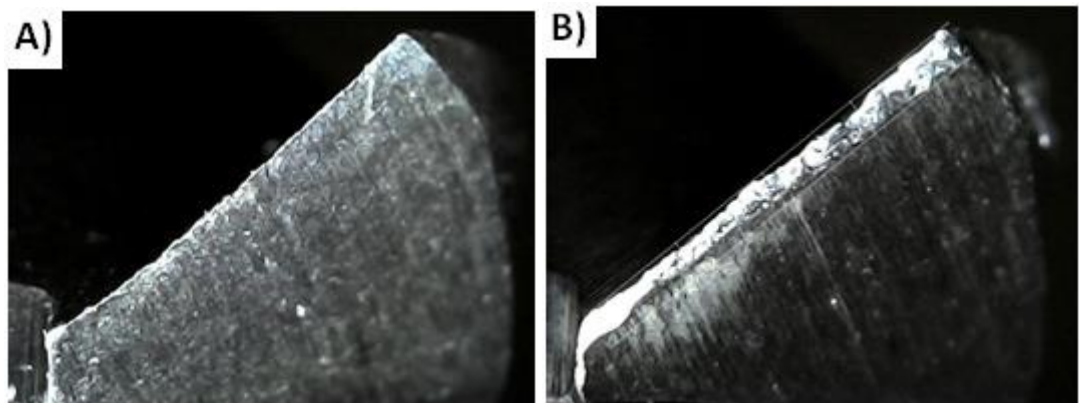
As brocas sem tratamento de nitretação a plasma apresentaram um desempenho superior as brocas nitretadas. Foi possível observar que na condição de furação a seco, a broca HSS teve um desgaste excessivo na ponta, figura 20, finalizando assim sua vida útil. Já na condição de aplicação de fluido de corte, figura 21, obteve-se um aumento de aproximadamente 33% no número de furos realizados, sendo que neste caso foi utilizado o critério de parada referente a ruído e vibração excessiva, já que não foi atingido o desgaste de flanco máximo no valor de 0,5 mm, como representa a figura 22.

Figura 20 – Broca HSS sem fluido de corte: A) estado inicial; B) estado final.



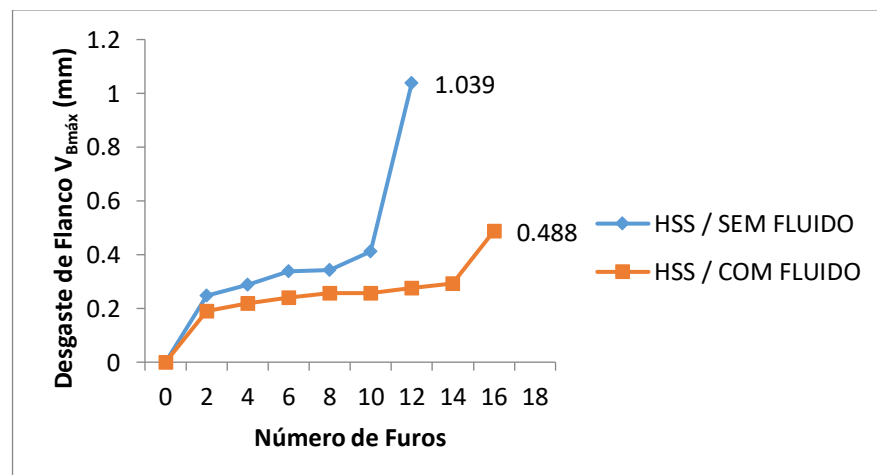
Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 21 – Broca HSS com uso do fluido de corte: A) estado inicial; B) estado final.



Fonte: Elaborada pelo autor.

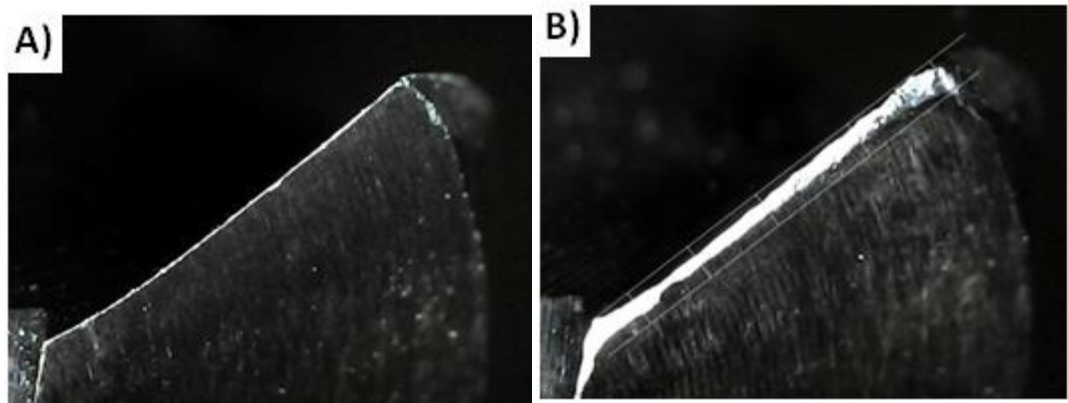
Figura 22 – desgaste de flanco da broca HSS.



Fonte: Elaborada pelo Autor.

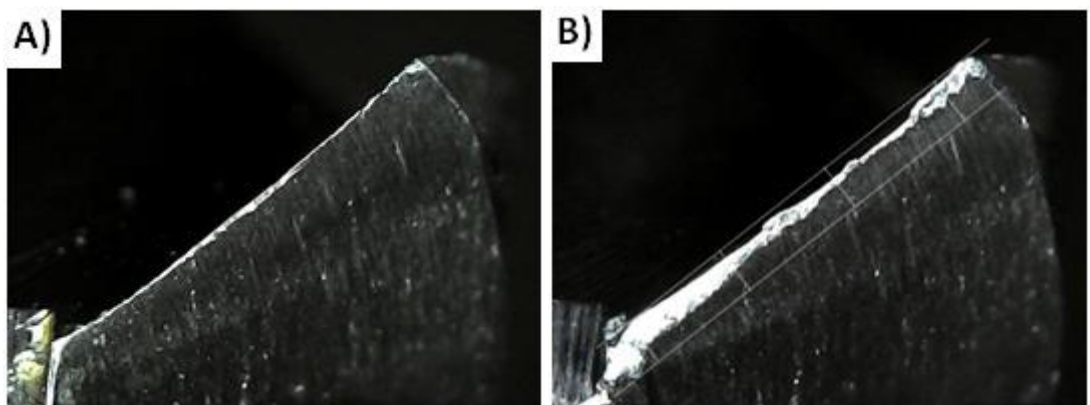
Para as brocas HSS-Co foi observado o melhor desempenho dentre as todas as brocas apresentadas neste trabalho. Foi possível observar que na condição de furação a seco, figura 23, foi utilizado o critério de parada referente a ruído e vibração excessiva, já que não foi atingido o desgaste de flanco máximo no valor de 0,5 mm. Já na condição de aplicação de fluido de corte, figura 24, obteve-se um aumento de aproximadamente 143% no número de furos realizados e como critério de parada, avaliou-se o desgaste de flanco que atingiu o valor de 0,501 mm, indicado na figura 25.

Figura 23 – Broca HSS-Co sem uso do fluido de corte: A) estado inicial; B) estado final.



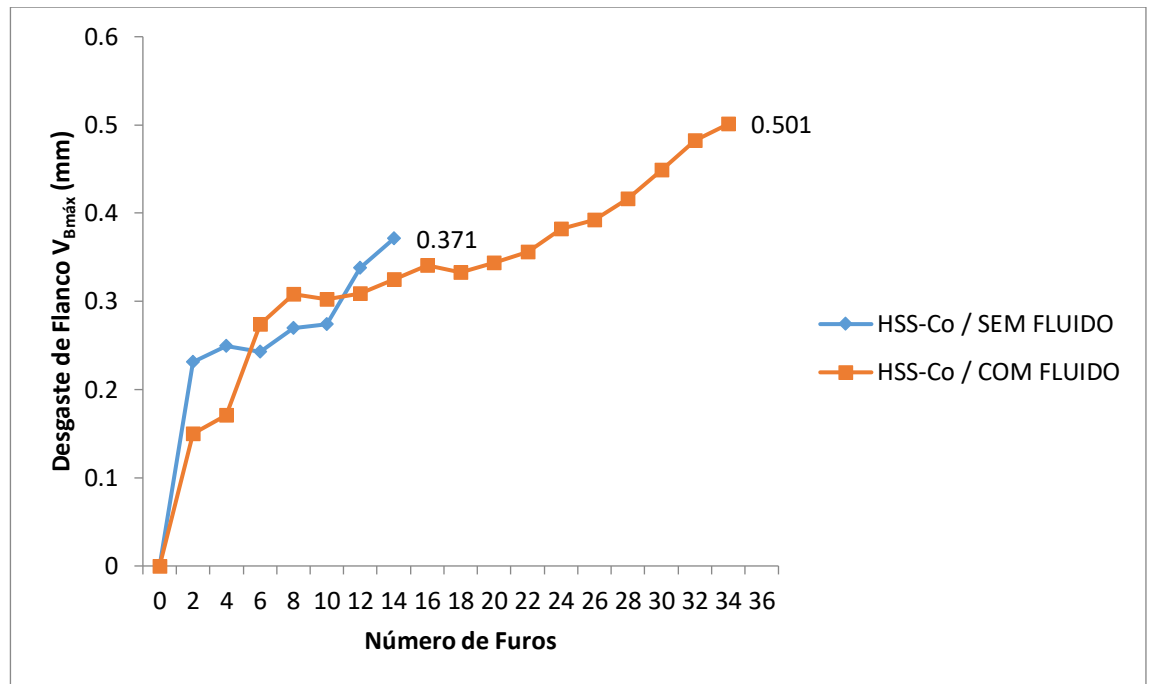
Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 24 – Broca HSS-Co com uso do fluido de corte: A) estado inicial; B) estado final.



Fonte: Elaborada pelo autor.

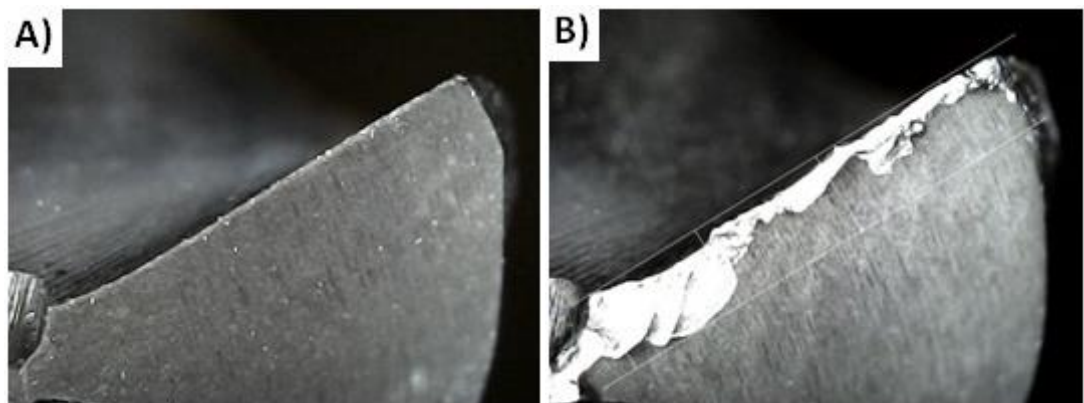
Figura 25 – Desgaste de flanco da broca HSS-Co.



Fonte: Elaborada pelo autor.

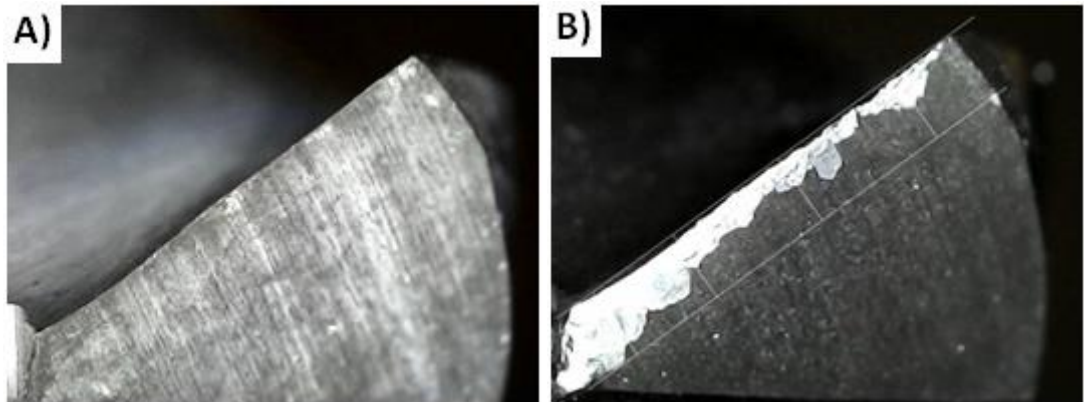
Para as brocas nitretadas com a temperatura de 400°C, pode se observar o desgaste de flanco excessivo, independentemente da utilização ou não de fluido de corte, já que em ambas as situações o valor de V_B superou o limite de 0,5 mm como apresenta a figura 28.

Figura 26 – Broca N400 sem uso do fluido de corte: A) estado inicial; B) estado final.



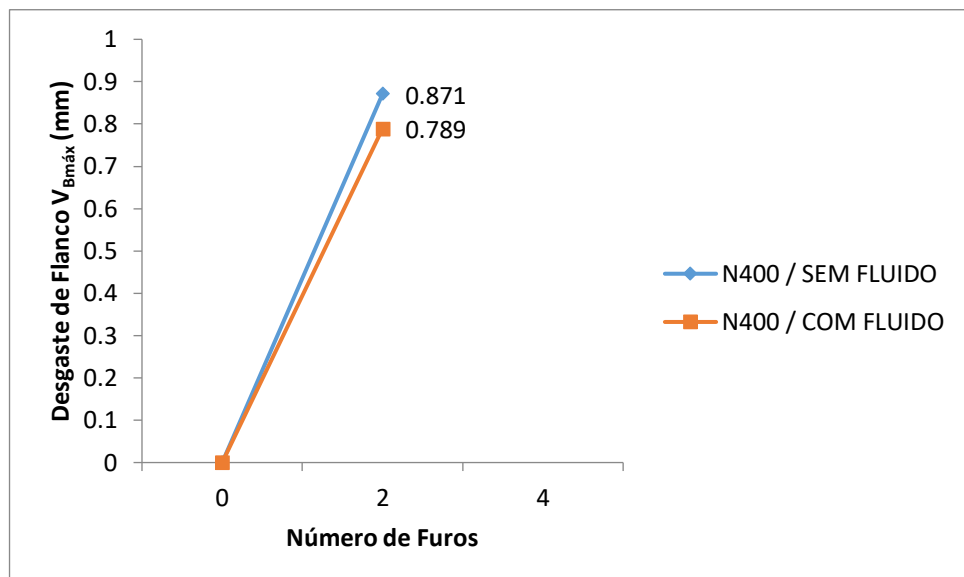
Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 27 – Broca N400 com uso do fluido de corte: A) estado inicial; B) estado final.



Fonte: Elaborada pelo autor.

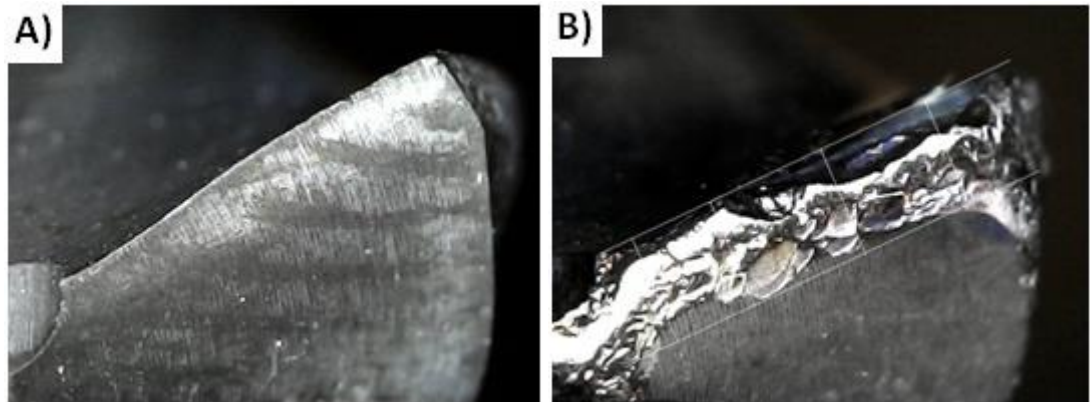
Figura 28 – Desgaste de flanco da broca N400.



Fonte: Elaborada pelo autor.

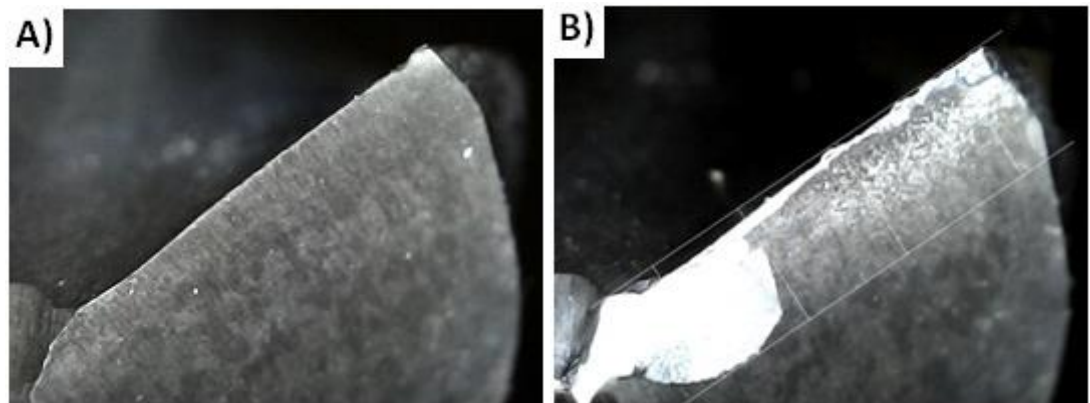
Para as brocas nitretadas com a temperatura de 450°C, o desgaste de flanco excessivo é extremamente perceptível, já que na condição a seco, figura 29, quanto na condição de utilização de fluido, figura 30, o V_B ultrapassou 1 mm, Percebe-se também que a ferramenta na condição a seco apresentou falha completa, onde apresentou além do desgaste de flanco, o desgaste da ponta de corte, o desgaste da aresta transversal e o desgaste de cratera.

Figura 29 – Broca N450 sem uso do fluido de corte: A) estado inicial; B) estado final.



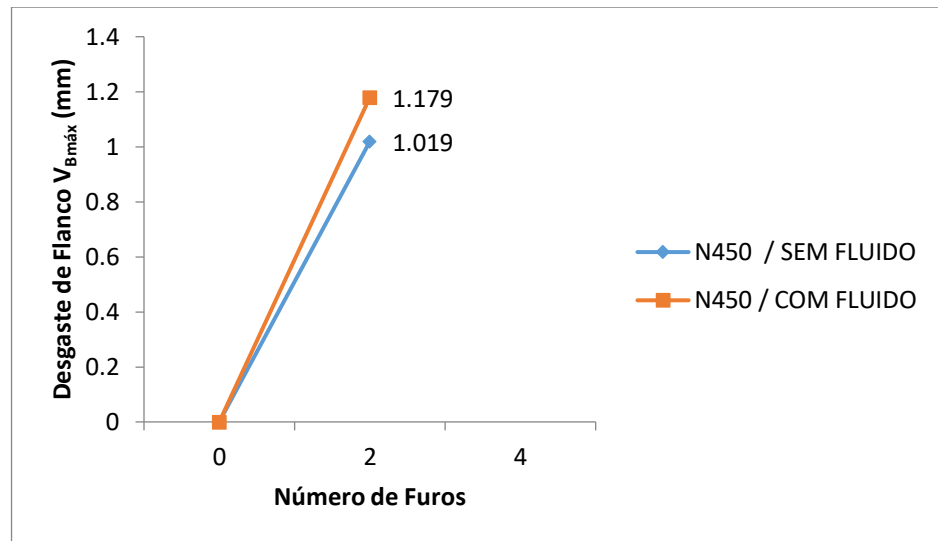
Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 30 – Broca N450 com uso do fluido de corte: A) estado inicial; B) estado final.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 31 – Desgaste de flanco da broca N450.



Fonte: Elaborada pelo autor.

5. CONCLUSÕES

Foi possível comprovar através dos ensaios de microdureza, que a nitretação a plasma aumenta a dureza superficial das brocas HSS. Sendo que, nas condições de tratamento adotadas, a broca N400 obteve maior valor de dureza.

Na verificação da camada de nitretos através da microscopia óptica, foi possível comprovar que com o aumento da temperatura de nitretação, também ocorrerá o aumento da espessura da camada. Entretanto, camadas muito extensas são indesejáveis, já que as mesmas tornam a região frágil e assim provocando o desgaste prematuro da broca.

Durante a análise de desempenho, foi constatado que as grandes camadas de nitretos influenciam negativamente a vida útil das ferramentas, independentemente da utilização ou não do fluido de corte. Já para as brocas HSS e HSS-Co, é perceptível como a presença do cobalto na composição química da broca e a utilização de fluido de corte contribuem positivamente no processo de furação do aço SAE 5160.

Sendo assim, é possível concluir que a broca HSS-Co, juntamente com a utilização do fluido de corte, é o processo recomendado na furação do aço SAE 5160, pois estas condições apresentaram o maior número de furos realizados.

REFERÊNCIAS

ALVES, JR, C. ***Fenomenologia da nitretação iônica: fundamentos e aplicações***. Natal: Ed. UFRN. 2001.

ARAÚJO, A. G. F. ***Influência Da Temperatura Na Nitretação Iônica Aplicada A Ferramentas De Corte De Aço Rápido M2***. Dissertação de Mestrado em Ciência dos Materiais, Universidade Federal do Piauí, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6175: Usinagem – Processos mecânicos**, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6508: Materiais metálicos – Ensaio de dureza Rockwell**, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 5419: Brocas helicoidais - Termos, definições e tipos**. Rio de Janeiro, 2009.

BASHIR, M. I. et al. **Enhanced surface properties of aluminum by PVD-TiN coating combined with cathodic cage plasma nitriding**. *Surface and Coatings Technology*, 327, 59–65. 2017.

CHIAVERINI, V. **Aços e Ferros Fundidos: características gerais, tratamentos térmicos, principais tipos**. 7ª ed. São Paulo: Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, 2008.

CHIAVERINI, V. **Materiais de Construção Mecânica**, 2a ed., São Paulo, McGraw-Hill, 1986.

CINDUMEL . (2019). ***Catalogo Feixes de mola – Linha geral***. Disponível em: <<http://www.cindumel.com/main/cdownload.php?arquivo=31&target=>> Acesso em: 15 nov. 2019.

DIN 1412, **Twist drills made of high-speed steel - Shapes of points**, 2001.

DIN 8589, **Manufacturing processes chip removal**, 2003.

DINIZ, A. E.; MARCONDES, F. C.; COPPINI, N. L. **Tecnologia da Usinagem dos Materiais**. 4a ed., Artliber Ltda., São Paulo, SP. 2006.

FAVORIT. (2019). Tabela - Aços para Construção Mecânica. Disponível em: <http://www.favorit.com.br/sites/default/files/tabelas/acos_para_construcao_mecanica_2.html> Acesso em: 15 nov. 2019.

FERRARESI, D. **Fundamentos da Usinagem dos Materiais**. UFRG. Editora Edgard Blucher LTDA. 1969.

FREITAS, F. **Estudo do desempenho da nitretação em brocas de HSS M2 com revestimento à base de AlCr na furação de ferro fundido cinzento**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica, Universidade federal de Minas Gerais, 2017.

GONZALES, M,A,C. **Análise numérico-experimental das tensões residuais induzidas por jateamento com granalha em molas automotivas**. Dissertação de Doutorado Engenharia Mecânica. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2009.

KLOCKE, F. **Manufacturing Processes 1: Cutting**. RWTH ed. Berlin: Springer, 2011.

LENOX TWILL. (2019). **Brocas para aplicação geral**. Disponível em: <http://www.zaipoferramentas.com.br/arquivos/99255ccf320aa573ee2abff6762b939d_arquivo.pdf> Acesso em: 15 nov. 2019.

MACHADO, A.R; ABRÃO, A. M; COELHO, R. T; SILVA, M. B. **Teoria da usinagem dos materiais**. 1ª Ed. São Paulo: Blucher, 2009

MIRANDA, G. W. A. **Uma contribuição ao processo de furação sem fluido de corte com broca de metal duro revestida com TiAlN**. Tese de doutorado, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003..

NISHIMOTO, A., NAGATSUKA, K., NARITA, R., NII, H., AKAMATSU, K. **Effect of the distance between screen and sample on active screen plasma nitriding properties**. *Surface and Coatings Technology*, 205, 365–368. 2010.

OLIVEIRA, V. V. **Influência da geometria de brocas na furação do ferro fundido vermicular**. Dissertação (Mestre Em Pós-graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais) - Curso de Engenharia Mecânica, Departamento de Pesquisa e Pós- Graduação, do Campus de Curitiba, da UTFPR, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba-PR, 2008.

SANTOS, D. V. **Análise dos esforços de usinagem na furação do ferro fundido vermicular ASTM A 842/2004**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de São João del-Rei, 2013.

SCHLATTER, D. **Efeito da têmpera e revenido nas propriedades mecânicas e microestruturais de aços rápidos obtidos por processos convencionais e metalurgia do pó**. Dissertação de Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais. Universidade Federal de Santa Catarina. 2012.

SERRA, P. L. C. **Aplicação de nitretação e tratamento duplex em brocas de aço rápido - HSS**. Dissertação de Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais. Universidade Federal do Piauí, 2018.

SHAW, M. C. **Metal Cutting Principles**. 2ª ed. New York: Oxford University Press, 2005.

SILVA, A. L. V. C.; MEI, P. R. **Aços e Ligas Especiais**. 3ª ed. São Paulo: Blucher, 2010.

THOMÉ, R.; BIANCHI, E. C.; ARRUDA, O. S.; AGUIAR, P. R. **Doenças causadas por microbactérias: uma revisão de trabalhos**. Revista Máquinas e Metais, São Paulo, n. 492, 2007.

WANKE, C. H. **Influência da Temperatura e da Atmosfera do Plasma na Nitretação Iônica do Aço Rápido M2 Convencional e Sinterizado**. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Materiais e Processos Avançados, Universidade do Estado de Santa Catarina, 2003.

ZAGONEL, L. F. et al. **Influence of the process temperature on the steel microstructure and hardening in pulsed plasma nitriding**. *Surface and Coatings Technology*, 201, 452–457. 2006.