

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

**INFLUÊNCIA DOS ERROS GEOMÉTRICOS DE AFIAÇÃO NAS BROCAS
HELICOIDAIS DE AÇO RÁPIDO NA QUALIDADE DOS FUROS
PRODUZIDOS**

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA À UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA
CATARINA PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM
ENGENHARIA MECÂNICA

CLEITON RODRIGUES TEIXEIRA

FLORIANÓPOLIS, JULHO DE 1995

INFLUÊNCIA DOS ERROS GEOMÉTRICOS DE AFIAÇÃO NAS BROCAS
HELICOIDAIS DE AÇO RÁPIDO NA QUALIDADE DOS FUROS PRODUZIDOS

CLEITON RODRIGUES TEIXEIRA

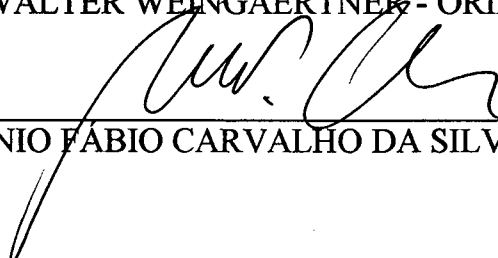
ESTA DISSERTAÇÃO FOI JULGADA PARA OBTENÇÃO DO TÍTULO DE

MESTRE EM ENGENHARIA

ESPECIALIDADE ENGENHARIA MECÂNICA E APROVADA EM SUA FORMA
FINAL PELO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA



Dr. -Ing. WALTER WENGAERTNER - ORIENTADOR



Dr. Eng. Mec. ANTÔNIO FÁBIO CARVALHO DA SILVA - COORDENADOR

BANCA EXAMINADORA



Dr. Eng. Mec. ARMANDO ALBERTAZZI GONÇALVES Jr. - PRESIDENTE



Dr. Eng. Mec. CARLOS HENRIQUE AHRENS



Ph.D. JOÃO CARLOS ESPÍNDOLA FERREIRA

Dedico este trabalho à minha mãe *ELEUTA*, a quem devo todas as vitórias hoje conquistadas.

AGRADECIMENTOS

À minha esposa **Mery** por sua compreensão, companheirismo e firmeza com que enfrentou os problemas durante este período.

Ao prof. **Walter L. Weingaertner**, por sua amizade e orientação durante o desenvolvimento deste trabalho.

Ao prof. **Abelardo Alves de Queiroz**, pelas sugestões feitas para melhoria da qualidade deste trabalho.

À **Fundação Universidade do Rio Grande** por permitir o meu crescimento profissional e a **CAPES/PICD** pelo apoio financeiro durante o desenvolvimento do trabalho.

À empresa **GÜHRING Brasil Ferramentas Ltda**, na pessoa do Sr. **Dilson Pahl**, por ter executado a maior parte das alterações geométricas nas ferramentas em caráter de gratuidade.

Ao Sr. **Hamilton Silveira** e **Nicolaus Geisthovel**, pela colaboração na manutenção de máquinas e equipamentos e na confecção de dispositivos auxiliares durante a fase experimental.

Um agradecimento especial aos futuros engenheiros **Rubens Z. Sgrott**, **Alexandre de Souza**, **Sérgio E. M. Macedo** e **Oliver Odebrecht**, pela amizade e efetiva participação durante todo o trabalho, sem a qual não seria possível sua conclusão neste prazo.

Meus sinceros agradecimentos a todos os integrantes do **LMP** pela cooperação prestada nas mais diversas situações.

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	iv
SUMÁRIO	v
LISTA DE FIGURAS	ix
SIMBOLOGIA	xi
RESUMO	xiii
ZUSSAMENFASSUNG	xiv
1 INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO DA LITERATURA	2
2.1 FURAÇÃO	2
2.1.1 Generalidades	2
2.1.2 Definição	3
2.2 FERRAMENTAS PARA FURAÇÃO	5
2.2.1 Generalidades	5
2.2.2 Classificação das ferramentas	5
2.2.3 Terminologia das brocas helicoidais	10
2.2.4 Ângulos de corte das brocas helicoidais	13
2.2.5 Materiais para brocas helicoidais	14
2.3 PARÂMETROS DE TRABALHO NA FURAÇÃO	16
2.3.1 Generalidades	16
2.3.2 Movimentos na furação	17
2.3.3 Grandezas de corte	18

2.3.4	Fluidos de corte	19
2.4	FORÇAS NA FURAÇÃO	20
2.4.1	Generalidades.....	20
2.4.2	Força de corte (F_c).....	22
2.4.3	Força de avanço (F_f)	22
2.4.4	Força passiva (F_p).....	22
2.4.5	Equações de respaldo.....	22
2.5	PROBLEMAS NA FURAÇÃO	24
2.5.1	Generalidades.....	24
2.5.2	Imperfeições geométricas do furo	24
2.5.3	Falhas no uso de brocas helicoidais.....	25
2.5.4	Recomendações para o uso correto das brocas	26
2.5.5	Desgaste das brocas	27
2.6	AFIAÇÃO DAS BROCAS.....	27
2.6.1	Generalidades.....	27
2.6.2	Tipos de afiações nas brocas helicoidais.....	28
2.6.3	Defeitos nas afiações das brocas helicoidais.....	31
2.6.4	Critérios para reafiação das brocas	31
2.7	FATORES INFLUENTES NA FURAÇÃO.....	32
2.7.1	Generalidades.....	32
2.7.2	Influência da geometria da broca	32
2.7.3	Variáveis de entrada do processo de furação	33
3	MATERIAIS E MÉTODOS	35
3.1	IDENTIFICAÇÃO DOS ERROS DE AFIAÇÃO.....	35
3.2	TIPOS DE ERROS	36
3.3	FERRAMENTAS UTILIZADAS NOS EXPERIMENTOS.....	40
3.4	EXECUÇÃO DOS ERROS NAS BROCAS.....	42
3.5	MATERIAIS UTILIZADOS NOS EXPERIMENTOS.....	43
3.6	CARACTERÍSTICAS DA OPERAÇÃO ESCOLHIDA PARA OS EXPERIMENTOS	44

3.7 CORPOS DE PROVA	44
3.8 PARÂMETROS DE CORTE UTILIZADOS NOS EXPERIMENTOS	45
3.9 GRANDEZAS ESCOLHIDAS PARA ANÁLISE DOS EXPERIMENTOS	46
3.10 EQUIPAMENTOS UTILIZADOS NA AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DAS BROCAS	46
3.11 EQUIPAMENTOS UTILIZADOS NA REALIZAÇÃO DOS EXPERIMENTOS	47
3.12 EQUIPAMENTOS UTILIZADOS NA MEDIÇÃO DAS FORÇAS	48
3.13 EQUIPAMENTOS UTILIZADOS NA DETERMINAÇÃO NA QUALIDADE DOS FUROS	49
4 DESENVOLVIMENTO EXPERIMENTAL	50
4.1 METODOLOGIA UTILIZADA NOS EXPERIMENTOS	50
4.1.1 Avaliação dos equipamentos	50
4.1.2 Montagem dos equipamentos	51
4.1.3 Calibração do sistema	52
4.1.4 Realização dos experimentos	52
4.1.5 Posicionamento do furo no corpo de prova	53
4.1.6 Codificação de identificação nos experimentos	53
4.1.7 Grandezas coletadas durante os ensaios	54
4.2 METODOLOGIA PARA DETERMINAÇÃO DA FORÇA/ MOMENTO	55
4.3 METODOLOGIA PARA DETERMINAÇÃO DA RUGOSIDADE DA PAREDE DO FURO	56
4.4 METODOLOGIA PARA DETERMINAÇÃO DO DIÂMETRO MÉDIO	57
4.5 METODOLOGIA PARA DETERMINAÇÃO DA CIRCULARIDADE/CILIN- DRICIDADE	57
4.6 PROGRAMAS COMPUTACIONAIS DE APOIO	59
4.7 VARIÁVEIS NÃO CONTROLADAS DURANTE OS EXPERIMENTOS	60
5 ANÁLISE DOS RESULTADOS	61
5.1 GENERALIDADES	61
5.2 ANÁLISE DA DISPERSÃO DAS GRANDEZAS DE REFERÊNCIA	62

5.3 INFLUÊNCIA DA ASSIMETRIA NO ÂNGULO DE PONTA (DAP)	65
5.4 INFLUÊNCIA DA ASSIMETRIA NOS ÂNGULOS DO GUME TRANSVERSAL (AGT)	67
5.5 INFLUÊNCIA DA EXCENTRICIDADE DO GUME TRANSVERSAL (EGT)	69
5.6 INFLUÊNCIA DA ASSIMETRIA NOS ÂNGULOS DE INCIDÊNCIA (DAI)	71
5.7 INFLUÊNCIA DA ASSIMETRIA NOS ÂNGULOS DE SAÍDA (DAS)	73
5.8 INFLUÊNCIA DA ASSIMETRIA NA FORMA DA GUIA (FDG)	75
5.9 INFLUÊNCIA DA ASSIMETRIA NA FORMA DA QUINA (FDQ)	78
5.10 CONSIDERAÇÕES COMPLEMENTARES	82
6 CONCLUSÕES E SUGESTÕES	83
6.1 CONCLUSÕES	83
6.2 SUGESTÕES PARA NOVOS ESTUDOS	83
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	85
ANEXOS	89

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Antiga furadeira manual com acionamento por arco e corda.....	2
Figura 2 - Furação em cheio.....	3
Figura 3 - Furação profunda em cheio.....	3
Figura 4 - Furação com pré - furo.....	3
Figura 5 - Furação escalonada.....	4
Figura 6 - Furação de centros.....	4
Figura 7 - Trepanação.....	4
Figura 8 - Broca chata.....	5
Figura 9 - Broca helicoidal.....	6
Figura 10 - Broca escalonada.....	6
Figura 11 - Broca helicoidal escalonada de guias múltiplas.....	6
Figura 12 - Broca com canais de refrigeração.....	7
Figura 13 - Broca helicoidal com pastilhas de metal duro.....	7
Figura 14 - Broca de centro.....	8
Figura 15 - Broca canhão.....	8
Figura 16 - Broca ejetor.....	9
Figura 17 - Broca oca para trepanação.....	9
Figura 18 - Broca de inserto reversível.....	10
Figura 19 - Analogia da broca com ferramenta simples de corte.....	11
Figura 20 - Partes integrantes de uma broca helicoidal.....	11
Figura 21 - Nomenclatura de uma broca helicoidal.....	12
Figura 22 - Ângulos na ponta da broca helicoidal.....	14
Figura 23 - Movimentos na furação com brocas helicoidais.....	17
Figura 24 - Profundidade de corte nas brocas helicoidais.....	18
Figura 25 - Grandezas de corte para broca helicoidal com 2 gumes.....	19
Figura 26 - Forças atuantes no gume principal.....	21
Figura 27 - Cones que definem a afiação normal.....	28

Figura 28 - Afição com formato A.....	29
Figura 29 - Afição com formato B.....	29
Figura 30- Afição com formato C.....	30
Figura 31 - Afição com formato D.....	30
Figura 32 - Afição com formato E.....	30
Figura 33 - Diferença de ângulo de ponta e suas intensidades.....	36
Figura 34 - Diferença nos ângulos do gume transversal e suas intensidades.....	37
Figura 35 - Excentricidade do gume transversal e suas intensidades.....	37
Figura 36 - Diferença no ângulo de incidência e suas intensidades.....	38
Figura 37 - Diferença no ângulo de saída e suas intensidades.....	38
Figura 38 - Alterações na forma da guia - vista frontal.....	39
Figura 39 - Alterações na forma da quina - vista lateral.....	39
Figura 40 - Regiões de medição da rugosidade nas brocas e seus valores.....	42
Figura 41 - Dimensões e detalhes da furação no corpo de prova.....	44
Figura 42 - Dispositivo utilizado para medida dos desvios de posição da parede do furo.....	49
Figura 43 - Peça gabarito de distâncias entre furos.....	53
Figura 44 - Forma de cavaco segundo a classificação de NAKAYAMA.....	55
Figura 45 - Tela de saída do programa YARA.....	56
Figura 46 - Posições das regiões de medição da rugosidade nos furos.....	57
Figura 47 - Fluxograma da sistemática empregada para análise dos resultados.....	61
Figura 48 - Curvas das grandezas de referência.....	64
Figura 49 - Curvas geradas pelo erro DAP.....	66
Figura 50 - Curvas geradas pelo erro AGT.....	68
Figura 51 - Curvas geradas pelo erro EGT.....	70
Figura 52 - Curvas geradas pelo erro DAI.....	72
Figura 53 - Curvas geradas pelo erro DAS.....	74
Figura 54 - Curvas geradas pelo erro FDG - chanfro.....	76
Figura 55 - Curvas geradas pelo erro FDG - raio.....	77
Figura 56 - Curvas geradas pelo erro FDQ - chanfro.....	79
Figura 57 - Curvas geradas pelo erro FDQ - raio.....	80

SIMBOLOGIA

SÍMBOLO	UNIDADE	DENOMINAÇÃO
A ₁	mm	Comprimento do gume 1
A ₂	mm	Comprimento do gume 2
Ag1	mm	Altura da guia 1
Ag2	mm	Altura da guia 2
Al ₂ O ₃		Óxido de alumínio
A _t	mm	Comprimento do gume transversal
C		Carbono
Co		Cobalto
D	mm	Diâmetro da broca
Dr	mm	Diâmetro real da broca
F	N	Força de usinagem
F _c	N	Força principal de corte
F _f	N	Força de avanço
F _p	N	Força passiva
K _f	N/mm ²	Pressão específica de corte na direção de avanço
K _c	N/mm ²	Pressão específica de corte
Lg1	mm	Largura da guia 1
Lg2	mm	Largura da guia 2
M _d	Nmm	Momento de corte
Mo		Molibdênio
N		Nitreto
P _c	kW	Potência de corte na furação
TiC		Carboneto de titânio
TiN		Nitreto de titânio
V		Vanádio

W		Tungstênio
a_p	mm	Profundidade de corte
b	mm	Largura de usinagem
f	mm/rot	Avanço
h	mm	Espessura de usinagem
l_c	mm	Intensidade dos chanfros
n		RPM da ferramenta/peça
r_e	mm	Intensidade dos raios
v_c	m/min	Velocidade de corte na quina da broca
α	°	Ângulo de incidência
δ	°	Ângulo de hélice
γ_f	°	Ângulo de saída
σ	°	Ângulo de ponta
ψ	°	Ângulo do gume principal
ΔA	mm	Diferença de posição dos gumes de corte

RESUMO

Neste trabalho são estudadas as correlações existentes entre os desvios geométricos gerados nas brocas helicoidais e suas influências sobre as características do processo de furação e sobre o resultado do trabalho.

Partindo-se dos desvios geométricos mais frequentes encontrados em brocas afiadas manualmente e mecanicamente em indústrias, procurou-se reproduzir estes erros individualmente em três níveis de intensidade, permitindo assim verificar a influência destes sobre a furação. As alterações geométricas foram introduzidas uma a uma em três lotes de brocas helicoidais de aço rápido ABNT NBR 7438 (DIN 338), com diâmetro nominal de 10mm e ângulos de ponta de 106° (gumes convexos), 118° (gumes retos) e 130° (gumes côncavos).

A análise do comportamento destas brocas com erros geométricos foi feita de forma comparativa com brocas com afiação normal (DIN 338) em três grupos de materiais mais empregados na indústria (alumínio 2011-73, bronze TM-23 e o aço ABNT 1020). Os ensaios foram realizados na furação maciça até uma profundidade de 25mm. Como grandezas características do processo foram medidas a força de avanço e o momento torçor e como resultado do trabalho foram determinados os desvios de circularidade e de cilindridade, a rugosidade da parede do furo, o diâmetro médio do furo e observou-se ainda a forma dos cavacos gerados.

ZUSAMMENFASSUNG

In dieser Arbeit werden der Zusammenhang zwischen den geometrischen Fehlern von Wendelbohrern und ihr Einfluß auf die Kenngrößen und das Arbeitsergebnis beim Bohren untersucht.

Ausgehend von den bei der Industrie meist vorgefundenen geometrischen Fehlern die beim manuellen und mechanischen Nachschleifen auftreten, wurden diese Fehler einzeln in drei Intensitätsniveaus an Bohrern eingebracht, so daß ihr Einfluß auf das Bohren untersucht werden konnte.

Die geometrischen Änderungen wurden an drei Gruppen von HSS Wendelbohrer nach DIN 338, mit einem nominellen Durchmesser von 10mm und Spitzenwinkel von 106° (Konvexe Schneide), 118° (gerade Schneide) und 130° (Konkave Schneide) eingebracht.

Das Arbeitsergebnis dieser Wendelbohrer mit geometrischen Fehlern, wurde mit dem von Bohrern, die nach ABNT NBR 7438 (DIN 338) angeschliffen waren, anhand von Bohrungen in drei der gebräuchlichsten Werkstückstoffe in der Industrie (Aluminium 2011 T3, Bronze TM23 und Stahl ABNT 1020) verglichen.

Die Untersuchungen wurden beim Bohren ins Volle bis zu einer Tiefe von 25mm durchgeführt. Als Kenngrößen des Verfahrens wurde die Vorschubkraft und der Drehmoment ermittelt und das Arbeitsergebnis wurde anhand der Rundheits- und Zylindrizitätsabweichung, der Rauheit der Bohrungswand und dem mittlerem Bohrungsdurchmesser untersucht. Auch die Spanform wurde in Betracht genommen.

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

A operação de furação com brocas helicoidais, possui grande importância dentro dos processos industriais, o que justifica plenamente o desenvolvimento de estudos com o objetivo de atingir melhoramentos técnicos e econômicos nesta operação.

Com o objetivo de contribuir para esta meta e salientar a importância dos cuidados necessários com as afiações destas ferramentas, este trabalho, aproveitando uma lacuna existente na literatura, mostra as correlações existentes entre os tipos de imperfeições mais frequentes geradas nas afiações de brocas helicoidais em chão de fábrica e as suas consequências na qualidade do furo produzido. Através destes resultados, pode-se verificar claramente os benefícios técnicos e econômicos que advém em adotar-se certos cuidados durante estas afiações.

Nos capítulos posteriores, este assunto será abordado de forma que possa ser transmitido ao leitor uma visão bastante clara de todo o desenvolvimento do trabalho. Para isto, este trabalho está assim subdividido:

CAPÍTULO 2 - Apresenta-se um embasamento teórico sobre a operação de furação, mais especificamente utilizando como ferramenta a broca helicoidal.

CAPÍTULO 3 - Mostram-se os critérios empregados no desenvolvimento deste trabalho, assim como faz-se a apresentação das máquinas, equipamentos e materiais utilizados.

CAPÍTULO 4 - Mostram-se as metodologias utilizadas na execução dos experimentos, e na determinação das variáveis para análise.

CAPÍTULO 5 - Apresentam-se, de forma sintetizada, os resultados obtidos durante a realização dos ensaios e também algumas considerações quanto a sistemática adotada na obtenção destes resultados.

CAPÍTULO 6 - Expõem-se as conclusões oriundas do trabalho e recomendam-se sugestões para novos estudos neste assunto.

CAPÍTULO 2

REVISÃO DA LITERATURA

2.1 - FURAÇÃO

2.1.1 - GENERALIDADES

A furação é um dos processos de fabricação mais antigos utilizados pelo homem. Na idade da pedra utilizou-se sílex e ossos como ferramentas em uma espécie de furadeira manual (figura 1), que dependia principalmente da habilidade de seu executor. Também existem registros que indicam que foi uma das primeiras operações de usinagem executadas em metal /1/ /2/ /3/ /4/.

Atualmente, segundo a ABNT, norma NBR - 6175, o processo de furação está incluído no grupo de processos de fabricação por remoção com gumes de geometria definida. Dentro dos processos produtivos, as ferramentas de furação ocupam um lugar de considerável importância, sendo sua parcela estimada em 20 a 25%. A ferramenta mais empregada para a produção de furos cilíndricos é a broca helicoidal, tendo seu aparecimento ocorrido por volta de 1800 e sofrendo poucas modificações até nossos dias /1/ /5/.

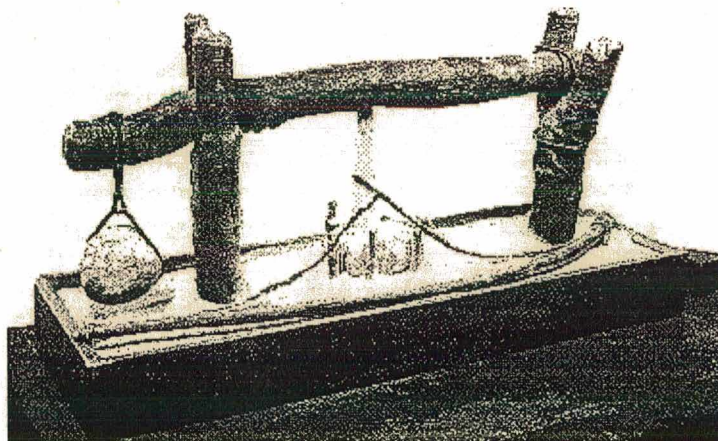


Figura 1 - Antiga furadeira manual com acionamento por arco e corda

2.1.2 - DEFINIÇÃO

Segundo a norma NBR - 6175 da ABNT, furação é o processo mecânico de usinagem destinado a 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 se desloca segundo uma trajetória retilínea, coincidente ou paralela ao eixo principal da máquina. A furação é subdividida em cinco operações básicas:

Furação em cheio - Processo de furação destinado à abertura de um furo cilíndrico numa peça, removendo todo o material compreendido no volume do furo final, na forma de cavaco (figura 2). No caso de furos de grande profundidade há necessidade de ferramenta especial (figura 3).

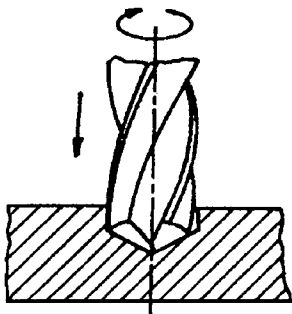


Figura 2 - Furação em cheio

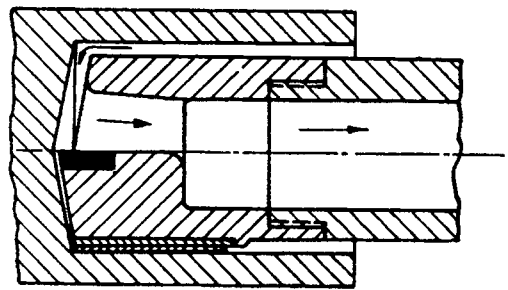


Figura 3 - Furação profunda em cheio

Escareamento - Processo de furação destinado ao aumento do diâmetro de um furo numa peça (figura 4).

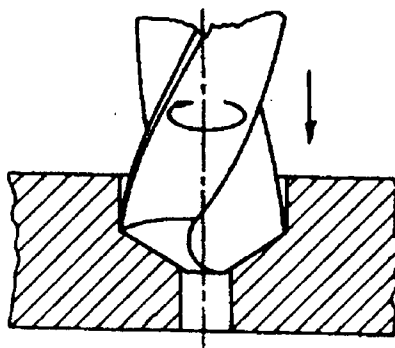


Figura 4 - Furação com pré-furo

Furação escalonada - Processo de furação destinado à obtenção de um furo com dois ou mais diâmetros, simultaneamente (figura 5).

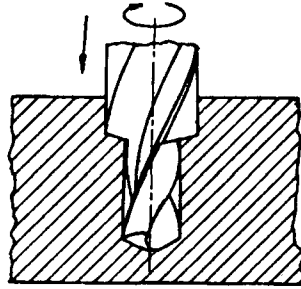


Figura 5 - Furação escalonada

Furação de centro - Processo de furação destinado à obtenção de furos de centro, visando uma operação posterior na peça (figura 6).

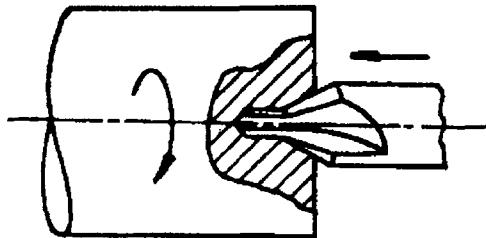


Figura 6 - Furação de centros

Trepanação - Processo de furação em que apenas uma parte do material compreendido no volume do furo final é reduzido a cavaco, permanecendo um núcleo maciço (figura 7).

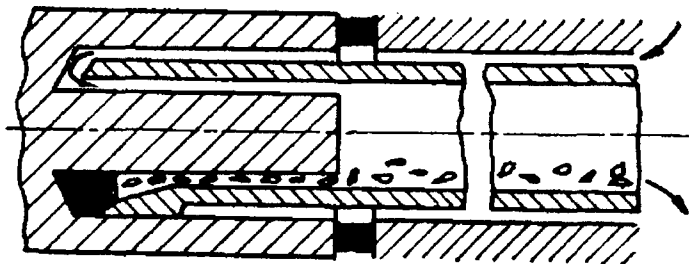


Figura 7 - Trepanação

2.2 - FERRAMENTAS PARA FURAÇÃO

2.2.1 - GENERALIDADES

Para a realização da operação de furação empregam-se ferramentas denominadas brocas. A furação com brocas é considerada uma operação de desbaste onde, em muitos casos, são necessárias operações subseqüentes para dar ao furo características operacionais, como por exemplo, melhor precisão dimensional, maior precisão de forma e de alinhamento, melhor acabamento superficial, etc. Como operações secundárias típicas, citam-se o torneamento interno, mandrilado, alargamento, brochamento, lapidação e a calibragem pela passagem forçada de esferas ("Honing") /6/ /7/.

2.2.2 - CLASSIFICAÇÃO DAS FERRAMENTAS

Em função das características da operação de furação (diâmetro do furo, profundidade, tolerâncias de forma e de medidas e volume de produção) pode-se utilizar /7/ /8/:

Brocas chatas - As brocas chatas são as ferramentas de furação mais antigas. São obtidas por achatamento a quente de uma parte de uma barra cilíndrica ou por encaixe de uma lâmina (figura 8). São utilizadas basicamente para operações pouco profundas, em materiais frágeis, realizadas em tornos revólver ou tornos automáticos, pelo fato de que suportam momentos torçores muito limitados e não conseguem uma remoção eficiente de cavacos /6/.

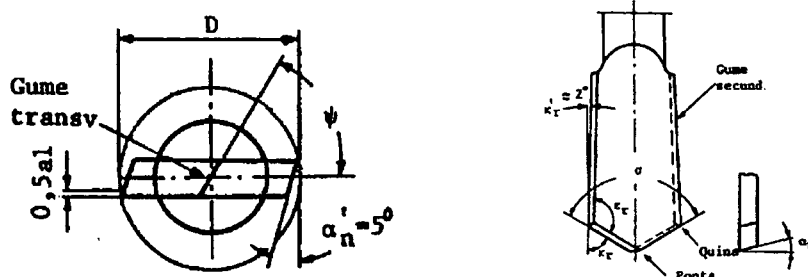


Figura 8 - Broca chata

Brocas helicoidais - As brocas helicoidais são as ferramentas que possuem maior significado na furação, sendo as principais utilizadas para a fabricação de furos cilíndricos, pré-furados ou maciços. Atualmente a furação com brocas helicoidais é responsável por uma parcela de 20 a 25 % dos processos de usinagem, sendo a ferramenta mais produzida e mais difundida para a usinagem /8/.

De modo simplificado uma broca helicoidal compreende uma haste e uma parte cortante (figura 9). Sua terminologia e conceitos básicos são apresentados em subcapítulos posteriores. As brocas helicoidais são projetadas para furação em cheio e em peças com pré-furos. São classificadas de acordo com o tipo de material do qual são feitas, a forma da haste, o número de canais, o sentido de corte, o comprimento, o diâmetro e a geometria da ponta /8/.



Figura 9 - Broca helicoidal

Brocas escalonadas - Brocas escalonadas são brocas que possuem dois ou mais diâmetros diferentes dispostos de forma escalonada e retificados conforme a padronização das brocas helicoidais (figura 10). São utilizadas frequentemente em produção seriada utilizando tornos automáticos para a execução de furos com dois ou mais diâmetros diferentes, ou para operações combinadas de furação, alargamento ou chanframento /7/.

As brocas escalonadas de guias múltiplas possuem duas guias diametralmente opostas para cada diâmetro. Todas as guias são colocadas radialmente, uma após outra, e são axialmente contínuas, até o final da hélice (figura 11). A vantagem destas brocas é que podem ser reafiadas mais facilmente do que as anteriores /6/.



Figura 10 - Broca escalonada

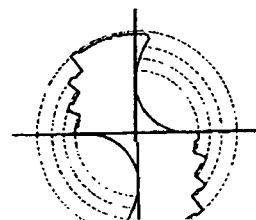


Figura 11 - Broca escalonada de guias múltiplas

Brocas com canais de refrigeração - As brocas com canais de refrigeração são usadas especialmente para furação profunda, onde a remoção do calor e do cavaco é problemática. Estas brocas possuem dois canais internos (figura 12) que começam junto à haste e desembocam nas duas superfícies de folga da broca. Estes canais levam o fluido de corte até os gumes, refrigerando-os, e ao mesmo tempo provocando o arraste dos cavacos para fora do furo /5/ /6/.

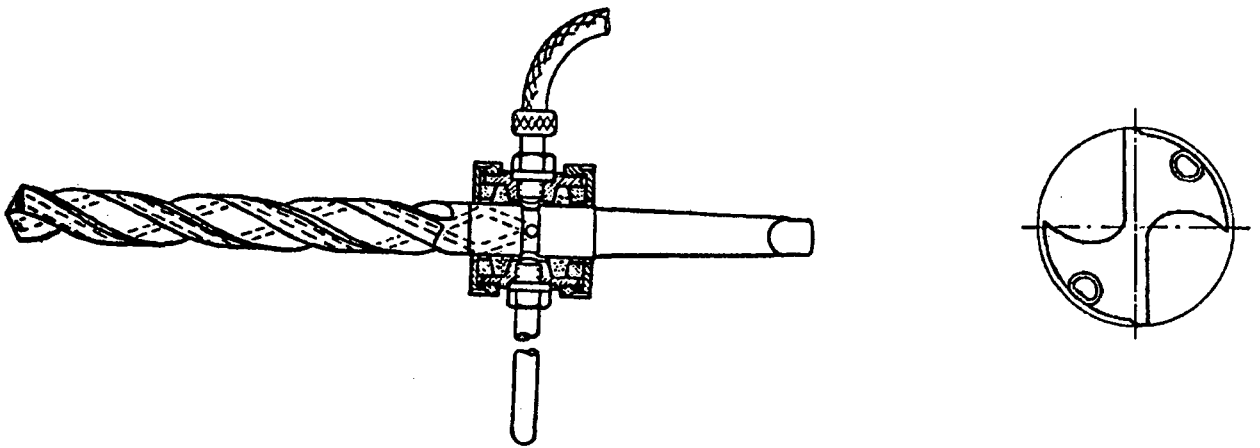


Figura 12 - Brocas com canais de refrigeração

Brocas helicoidais com pastilhas de metal duro - As brocas helicoidais com pastilhas de metal duro (figura 13) são utilizadas na execução de furos em materiais abrasivos. Na usinagem de aços são normalmente empregadas naqueles tipos de difícil usinabilidade, quando a vida das brocas de aço rápido se torna muito pequena. A condição para uso destas brocas é o emprego de furadeiras de alta potência, grande rigidez e elevada velocidade de rotação /6/.

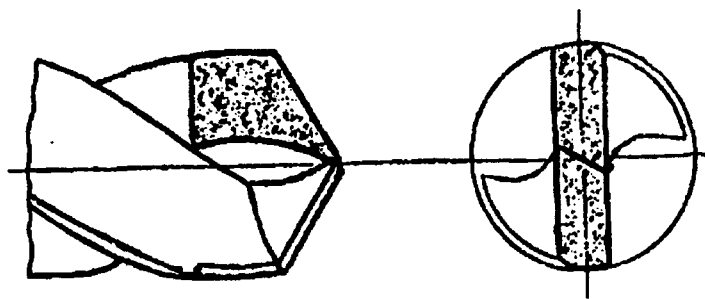


Figura 13 - Broca helicoidal com pastilhas de metal duro

Brocas de centro - As brocas de centro são usadas para execução de furos de centro, principalmente em peças que deverão ser usinadas entre pontas. As brocas normalizadas já produzem furos de centro padronizados. Na realidade, tratam-se de ferramentas de furar e escarear conjugadas (figura 14) /6/.



Figura 14 - Broca de centro

Brocas canhão - As brocas-canhão consistem tipicamente de um corpo de aço tenaz (com uma canaleta em V) e de uma cabeça de metal duro ou com inserto de metal duro (figura 15). também possuem guias adequadamente dispostas que são utilizadas para absorver os esforços de corte. É uma ferramenta de um só gume de corte, o que exige ser guiado no início do furo /9/. Estas brocas são usadas para furação profunda (10 a 100 diâmetros) e nos diâmetros de 2 a 32mm /6/ /8/.

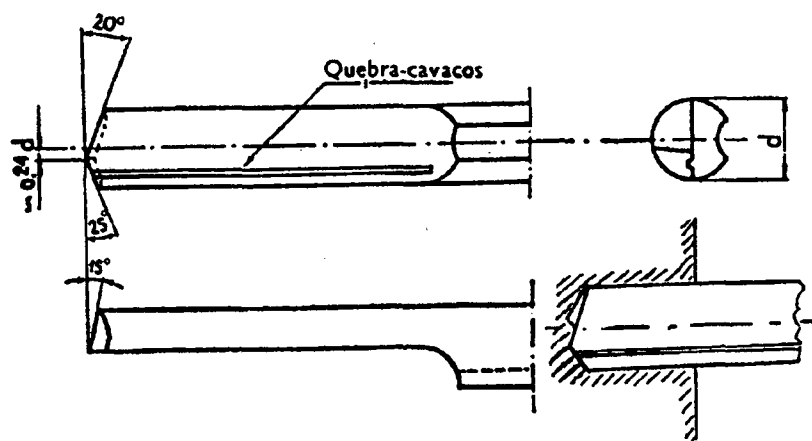


Figura 15 - Broca-canhão

Brocas Ejector - O sistema ejector foi desenvolvido para furos profundos, com diâmetros superiores a 15mm. Pode ser instalado em máquinas convencionais. O sistema consta de dois tubos

concêntricos, onde o fluido de corte é bombeado pelo espaço entre o tubo interno e o externo. A maior parte do fluido chega a zona de corte por furos convenientemente posicionados na cabeça da broca, onde realiza sua principal função: a lubrificação e refrigeração dos gumes principais e das guias de suporte. Parte do fluido é desviado através de ranhuras tipo Venturi antes de atingirem a cabeça da broca. Este desvio produz o efeito ejetor, ou seja, ocorre a formação de vácuo, próximo à cabeça, no tubo interior. Este vácuo permite a sucção do fluido, que já realizou sua função, para dentro do tubo interno, juntamente com os cavacos produzidos. Deste modo, ambos são conduzidos para a saída (figura 16) /17/.

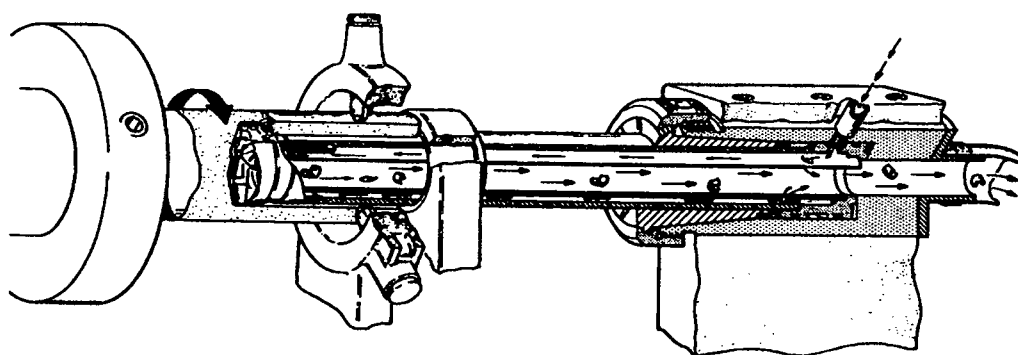


Figura 16 - Broca ejetor

Brocas ocas - São brocas utilizadas acima de 60mm de diâmetro para operação de trepanação. Nestas brocas reduz-se o trabalho de produção de cavacos e resulta num núcleo aproveitável. A broca oca se compõe de duas partes: um cabeçote possuindo de 2 a 16 gumes de corte, de larguras variáveis para produzir cavacos miúdos e uma haste composta de um tubo retificado de comprimento adequado (até 5 metros) (figura 17) /6/.

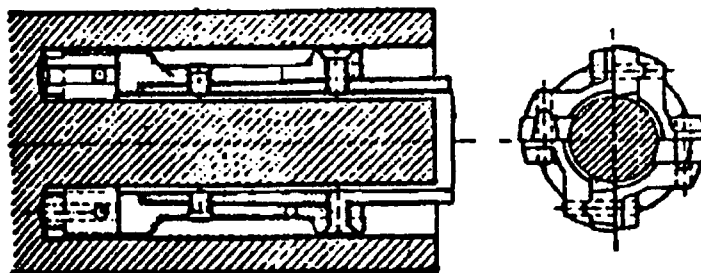


Figura 17 - broca oca para trepanação

Brocas de insertos reversíveis - As brocas de insertos reversíveis são empregadas para furação curta e, entre outras características de projeto, há a eliminação do gume transversal devido ao posicionamento dos gumes, o que permite um corte da peça até o eixo da ferramenta (figura 18). A reafiação é dispensada, quando atinge um desgaste máximo. Ocorre a simples troca de insertos /10/. Estas brocas podem ainda possuir insertos posicionados de forma a produzirem duas pontas, o que possibilita uma melhor centragem, eliminando em muitos casos as buchas guia. Esta geometria é responsável pela produção de cavacos estreitos e com melhor divisão, facilitando o transporte, diminuindo os ciclos e o tempo de usinagem e ocasionando um menor desgaste da ferramenta /8/ /11/ /12/.

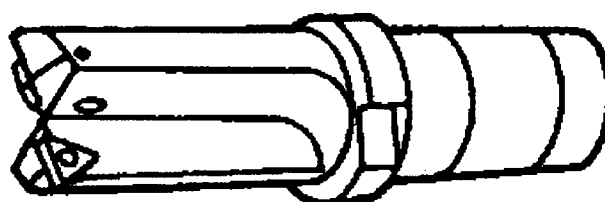


Figura 18 - Broca de inserto reversível

2.2.3 - TERMINOLOGIA DAS BROCAS HELICOIDAIS

Os conceitos básicos e a nomenclatura das diversas partes das brocas helicoidais são definidas pela norma ABNT - NBR 6176 (DIN 1412), onde se tem:

Gume principal - De acordo com a norma, o gume principal é composto pela parcela do gume localizado no lado geométrico da ferramenta que se mantém no sentido de avanço da mesma. Para a broca helicoidal, o gume principal é composto pelos gumes transversal e cortantes da ferramenta.

A parte cortante do gume principal de uma broca helicoidal pode ser analisada de forma análoga a uma ferramenta simples de corte (figura 19). Na parte cortante ocorre a separação do material da peça (formação do cavaco). Os dois gumes, vistos de frente, são paralelos entre si e vistos de lado formam entre si o ângulo de ponta, cujo valor depende do material a ser furado e das condições de trabalho /1/ /6/.

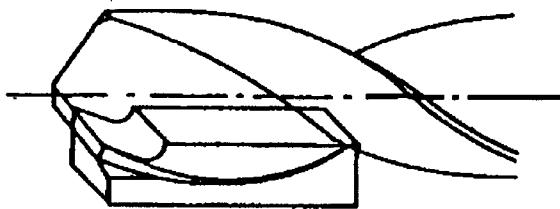


Figura 19 - Analogia da broca com ferramenta simples de corte

Gume transversal - O gume transversal é situado na ponta da broca e liga geometricamente os gumes cortantes um ao outro (figura 20). Seu comprimento depende do diâmetro da alma (núcleo da broca). O gume transversal corta em péssimas condições. No centro, a velocidade de corte é reduzida a zero, onde nesta faixa ocorre um escoamento do material para as extremidades. A forma e o comprimento do gume transversal determinam o comportamento da centragem e as forças de avanço da broca /1/ /6/.

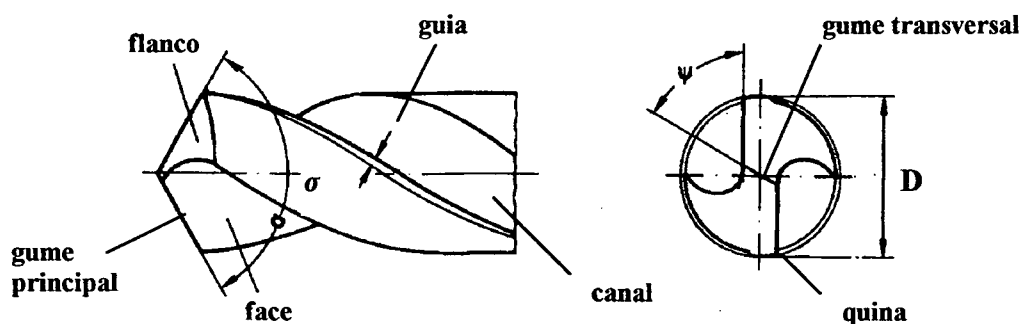


Figura 20 - Partes integrantes de uma broca helicoidal

Guias - As guias proporcionam um apoio lateral à broca, responsável por direcioná-la no furo. Devido ao atrito de contato entre as guias e a parede do furo, ocorre um alisamento da superfície do mesmo. As guias atuam também como gumes secundários (figura 20). Para evitar que as brocas engripem nos furos, as brocas helicoidais são levemente cônicas com uma redução no diâmetro em relação à haste (conicidade de 0,02 a 0,08mm por 100mm), o que produz um trabalho da guia somente na zona frontal da broca /1/ /6/.

Canais helicoidais - Os canais helicoidais são responsáveis pela formação da cunha da ferramenta de corte e pela retirada dos cavacos de dentro do furo (figura 20). O ângulo de hélice do canal é

adaptado ao material a ser usinado Para materiais duros e quebradiços, ângulos pequenos (entre 0 e 15 graus) e para materiais macios e tenazes, ângulos grandes (entre 30 e 40 graus) /1/ /5/ /6/.

Quina de corte - Na quina de corte tem-se a transição do gume principal para a guia (gume secundário de corte) (figura 20). Nesta posição tem-se as mais altas velocidades de corte e é onde ocorrem as maiores solicitações térmicas e mecânicas /1/ /8/.

Haste - A haste é usada para a fixação da broca, podendo ser uma haste cônica ou cilíndrica, de modo a permitir sua fixação na máquina (figura 21) /1/.

Dimensões da broca - As brocas são classificadas pelo seu diâmetro externo que deve estar dentro da tolerância h8. Quanto ao comprimento, distingue-se o comprimento total da broca, o comprimento da hélice e o comprimento da haste (figura 21) /6/.

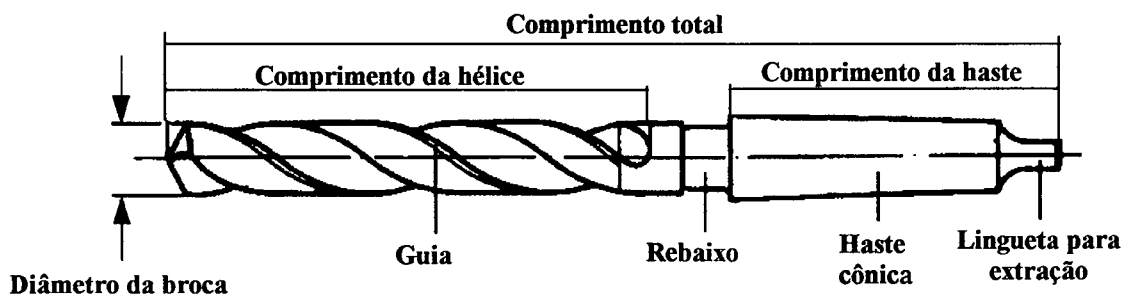


Figura 21 - Nomenclatura de uma broca helicoidal

Flanco - O flanco é inclinado de modo que a broca entre em contato com o material da peça, apenas na faixa dos gumes principais e transversal. Com ângulos de flanco pequenos o flanco sofre ação de atrito, o que resulta no surgimento de elevadas forças de avanço. Se o ângulo de incidência é grande demais tem-se como consequência um enfraquecimento do gume principal /1/.

Face - A superfície de saída de uma broca é a superfície do canal onde os cavacos são formados e transportados para fora do furo /1/.

2.2.4 - ÂNGULOS DE CORTE DAS BROCAS HELICOIDAIS

As brocas helicoidais, para que possam realizar o trabalho de corte de forma eficiente, devem possuir uma geometria apropriada para cada tipo de trabalho. Para isto, classificam-se alguns ângulos de grande importância neste contexto:

Ângulo de hélice (δ) - O ângulo de hélice é o ângulo da helicóide formada pelos canais da broca. As hélices usualmente são à direita. A norma ABNT-PB-286 (DIN 1836) classifica três tipos de brocas quanto ao ângulo de hélice: Tipo N (normal), Tipo H (para materiais duros e frágeis) e Tipo W (para materiais moles) /6/.

Ângulo de saída (γ_f) - O ângulo de saída é o ângulo responsável pelo corte do material. O seu valor define a estabilidade da cunha de corte. Para as brocas helicoidais, com afiação normal, o valor do ângulo de saída é variável ao longo dos gumes cortantes, sendo que no diâmetro externo (na quina) o seu valor é aproximadamente igual ao ângulo de hélice.

Ângulo de ponta (σ) - O Ângulo de ponta é o ângulo formado entre as partes cortantes do gume principal que devem estar simetricamente posicionados em relação ao eixo da broca (figura 22). Para os ângulos de hélices usuais, o ângulo de ponta de 118° produz gumes principais retos. Para ângulos maiores, os gumes tornam-se côncavos, o que provoca, durante a utilização da broca, a tendência do gume enganchar e quebrar nas pontas. Para ângulos menores que 118° , os gumes principais ficam convexos, o que produz uma tendência a vibrações na usinagem /6/.

O ângulo de ponta também é responsável pela espessura do cavaco formado na usinagem. Ângulos de ponta grandes geram cavacos com maiores espessuras de usinagem (h) e menor largura de cavaco (b), para um dado avanço. Estes ângulos trazem benefícios na furação de materiais com forte tendência ao encruamento. O efeito negativo é a concentração de desgaste abrasivo na quina dos gumes /8/ /10/.

Ângulo de incidência (α) - O ângulo de incidência é gerado por uma afiação adequada e obtido pelo rebaixamento da superfície de incidência (figura 22). Usualmente empregam-se ângulos entre 12 e 15 graus. O ângulo de incidência grande evita o esmagamento do material pelo flanco da broca e afeta

favoravelmente a força de avanço, contudo, se o valor do ângulo for excessivo, ocorre uma redução na resistência da cunha /1/ /6/ /7/ /8/.

Ângulo do gume transversal (ψ) - O ângulo do gume transversal é o ângulo formado entre os gumes cortantes e o gume transversal (figura 22). O valor do ângulo do gume transversal é afetado diretamente pelo valor do ângulo de flanco executado na afiação adequada da broca. Razão pela qual se verifica se o ângulo de flanco está correto através de uma observação transversal da broca, especialmente pelo ângulo do gume transversal (ψ) /6/.

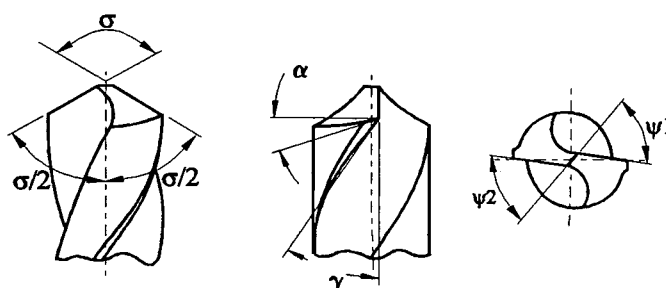


Figura 22 - Ângulos na ponta da broca helicoidal

2.2.5 - MATERIAIS PARA BROCAS HELICOIDAIS

Os materiais empregados para a confecção de brocas helicoidais devem atender a algumas características desejáveis: alta dureza, alta tenacidade, resistência ao desgaste e resistência a temperaturas com elevado gradiente. Os principais materiais que atualmente satisfazem essas exigências são o aço-rápido e o metal duro, que podem ser revestidos, melhorando assim, suas características de corte /8/ /10/.

Com o rápido desenvolvimento dos materiais cerâmicos, já estão sendo fabricadas brocas helicoidais com pontas de cerâmica para utilizações especiais, as quais atingem resultados superiores as brocas atuais /1/.

Aço rápido - O aço-rápido é sem, dúvida nenhuma, o material mais empregado para a confecção de brocas helicoidais /1/ /2/ /5/ /6/ /7/ /8/. Por esta razão, este trabalho é desenvolvido em cima de brocas helicoidais de aço rápido.

O aço-rápido, em relação aos aços-ferramenta, apresenta uma melhor característica de revenimento de sua estrutura (temperatura aproximadamente 600 °C) e uma dureza mais elevada (60 a 67 HRC), principalmente pelo tipo de distribuição e número de carbonetos. Os aços-rápidos contém carbono, tungstênio, cromo, vanádio, molibdênio, cobalto e ferro, em teores que podem variar de acordo com as propriedades que se deseja conferir à ferramenta. São responsáveis pelas características de revestimento os elementos que não formam os carbonetos mas ficam solubilizados na matriz (W, Mo, V e Co). A dureza e a resistência ao desgaste podem ser ampliadas pela martêmpera da estrutura básica e pela formação de carbonetos embutidos nesta martensita, principalmente o carboneto duplo molibdênio-tungstênio, o carboneto de cromo e o carboneto de vanádio. A formação de carbonetos e a têmpera sobre a seção transversal são melhorados pela adição do cromo /8/ /10/ /13/ /14/.

As brocas de aço-rápido, para melhorar suas características, podem receber tratamentos superficiais (revestimento à vapor, nitretação, oxidação negra, niquelação), revestimentos de nitreto de titânio e carbonitreto de titânio /8/ /10/ /14/ /15/ /16/.

Metal duro - O metal duro é um importante material para ferramentas. É um produto oriundo da metalurgia do pó, designado algumas vezes como carboneto de tungstênio sinterizado. Os seus constituintes fundamentais são misturados na forma de pós e submetidos a um processo que compreende: compressão, sinterização, retificação, etc, resultando em um produto completamente consolidado, praticamente denso. Apresenta as seguintes características de resistência mecânica: alta dureza (a frio e a quente) e tenacidade adequada para o emprego em ferramentas de corte.

O metal duro é essencialmente formado por dois constituintes:

a) Um carboneto extremamente duro e de alta resistência ao desgaste (o carboneto de tungstênio) é isolado ou associado com outros carbonetos (de titânio, de tântalo e de nióbio). Estes carbonetos é que conferem ao produto final a dureza e resistência ao desgaste e a altas temperaturas.

b) Como elemento aglomerante ou ligante é empregado um metal do grupo do ferro, usualmente o cobalto, cuja função é ligar as partículas duras dos carbonetos. É o responsável pela tenacidade do material.

As brocas de metal-duro tem maior dureza, maior resistência ao desgaste abrasivo e maior resistência à quente do que as brocas de aço-rápido, inclusive as que recebem tratamentos superficiais. Suas vantagens incluem uma maior vida (acima de 10x) e possibilidades de velocidades mais altas (por volta 2x) do que as brocas de aço-rápido. Esta superioridade das brocas de metal-duro sobre as de aço-rápido é compensada com custos mais elevados /1/ /2/ /8/ /10/ /14/ /15/ /16/.

Revestimentos - Os revestimentos em ferramentas de corte são largamente utilizados com o objetivo de melhorar significativamente o seu desempenho durante o trabalho. A técnica de revestir ferramentas com núcleos e substratos de materiais baratos e de fácil trabalhabilidade, e uma com camada externa de materiais nobres é de alta eficiência para o corte.

Os principais processos utilizados para a aplicação de revestimentos são:

Processo por deposição química de vapor (CVD) - É realizado em temperaturas que variam entre 900 e 1100 °C e pressões bem abaixo da atmosférica. Esta faixa de temperaturas torna impróprio o revestimento em materiais que perdem suas características mecânicas a essas temperaturas (por exemplo o aço-rápido). Recentes desenvolvimentos de revestimentos por plasma (temperatura aproximadamente 500 °C) e revestimentos por laser (temperatura maior que 100 °C) conduzem a reduções significativas na temperatura do substrato.

Processo por deposição física de vapor (PVD) - É realizado em temperaturas entre 450 e 500°C, que ficam abaixo das temperaturas de revenimentos da maioria dos aços-ferramenta de alta liga. No processo "Ion Plating", as temperaturas necessárias para o substrato estão abaixo de 160 °C possibilitando o revestimento da maioria dos materiais sem perda das suas propriedades.

As principais características dos revestimentos obtidos pelos processos de deposição por vapor (CVD, PVD) são: sua espessura (na faixa de 1 a 10 µm), sua rugosidade, sua dureza (acima de 2200 HV), sua resistência e sua adesão. Os revestimentos podem ser compostos por uma ou mais camadas, de modo a conferir as características desejadas a ferramenta. Os materiais usualmente empregados nestas camadas são: o TiC, Ti (C, N), TiN, Al₂O₃ e suas combinações /8/ /10/ /14/ /15/ /16/.

2.3 - PARÂMETROS DE TRABALHO NA FURAÇÃO

2.3.1 - GENERALIDADES

Parâmetros de trabalho é o termo designado para o conjunto de variáveis que fixam as condições em que ocorre a interação entre a ferramenta (broca) e a peça (formação de cavaco).

2.3.2 - MOVIMENTOS NA FURAÇÃO

Os movimentos nos processos de furação são movimentos relativos entre a peça e um ou mais gumes da ferramenta de corte. Estes movimentos são referentes à peça considerando-a como parada /17/ /18/. Durante a operação de furação tem-se os seguintes movimentos :

Movimento de corte - É o movimento entre a peça e a ferramenta em contato, o qual sem o movimento de avanço origina somente uma única remoção de cavaco durante uma volta (figura 23). Através deste movimento, define-se também, a velocidade de corte, que é a velocidade instantânea no ponto de referência do gume segundo a direção e sentido do movimento de corte. A velocidade de corte está relacionada com a distância do ponto de referência ao centro de rotação da broca (diâmetro) e com a rotação da broca /17/ /18/.

Movimento de avanço - O movimento de avanço é definido como sendo o movimento da ferramenta, segundo o seu eixo de rotação, no sentido do avanço durante a usinagem. O movimento de avanço é especificado em unidades de comprimento por rotação ou por tempo. Cada gume executa uma usinagem com uma espessura “h” correspondente à metade do avanço por rotação total da broca /5/ /6/ /17/ /18/.

Movimento efetivo de corte - O movimento efetivo de corte é resultante dos movimentos de corte e de avanço, realizados ao mesmo tempo (figura 23). Através deste movimento define-se a velocidade efetiva de corte, que é a velocidade instantânea do ponto referência do gume segundo a direção efetiva de corte /17/ /18/.

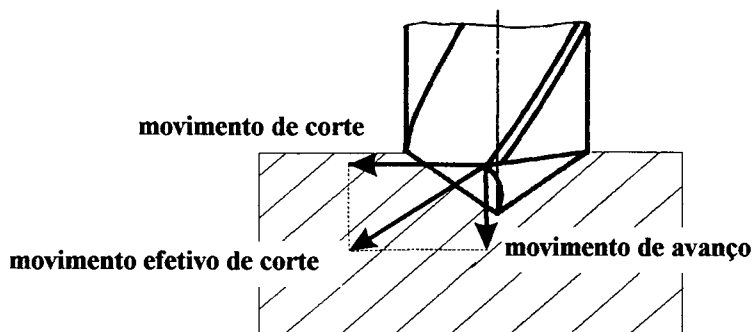


Figura 23 - Movimentos na furação com brocas helicoidais

2.3.3 - GRANDEZAS DE CORTE

As grandezas de corte são aquelas que devem ser ajustadas na máquina, direta ou indiretamente, para que a ferramenta execute a retirada de cavacos. As grandezas de corte são:

Avanço (f) - É o percurso de avanço em cada volta. Com o aumento do avanço, são obtidos cavacos de maior espessura. Assim, diminui a possibilidade de um enrolamento sobre o núcleo da broca. O avanço é limitado pela resistência estrutural da ferramenta e pela capacidade da máquina-ferramenta. Na furação com avanços pequenos ocorre vibração pela falta de pressão suficiente ao corte, aumentando o atrito e a geração de calor /6/ /8/ /17/ /18/.

Profundidade de corte (a_p) - A profundidade de corte é a profundidade de penetração do gume principal sobre a superfície da peça, medido perpendicularmente ao gume num plano que contém o eixo de rotação da ferramenta. Na furação em cheio corresponde à metade do diâmetro da broca (figura 24) /8 / 17/ /18/.

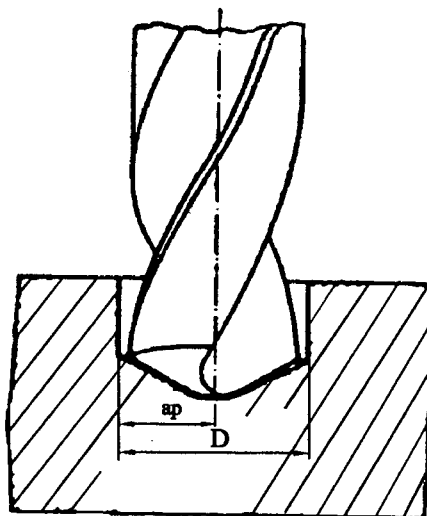


Figura 24 - Profundidade de corte nas brocas helicoidais

Largura de usinagem (b) - A largura de usinagem, na furação em cheio, corresponde ao comprimento de cada gume principal (figura 25) /8/ /17/ /18/.

Espessura de usinagem (h) - A espessura de usinagem é a espessura da seção de usinagem e é medida perpendicularmente ao gume, na direção de avanço (figura 25). Na furação esta espessura depende do número de gumes cortantes e do ângulo de ponta da broca /17/ /18/.

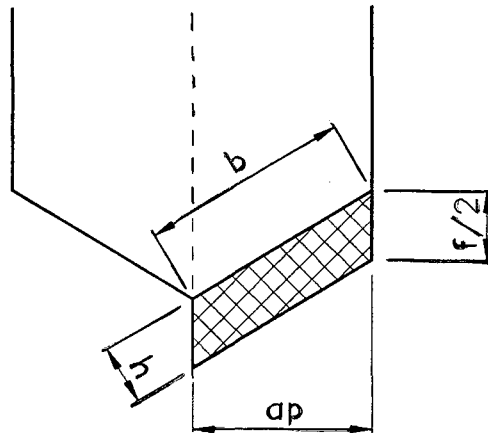


Figura 25 - Grandezas de corte para broca helicoidal com 2 gumes

Profundidade do furo - Profundidade do furo é a distância em que a broca irá penetrar na peça. Para brocas helicoidais a profundidade máxima usual é de 10 diâmetros. A operação de furação pode ser realizada de uma só vez quando a profundidade do furo é de até no máximo 5 diâmetros. A partir deste valor, é necessário retirar a broca para a retirada dos cavacos e para a sua refrigeração. Relações profundidade/diâmetro maiores que 5 são consideradas furações profundas e merecem considerações especiais /6/ /8/.

2.3.4 - FLUIDOS DE CORTE

Na fabricação por usinagem deseja-se fabricar peças dentro de tolerâncias pré-especificadas e em acabamentos superficiais pré-determinados com o menor custo possível. A exigência primária que deve ser feita a um fluido de corte para o processo de usinagem é que ele leve a uma redução dos custos de usinagem ou a uma redução do desgaste da ferramenta e/ou a uma melhoria da superfície do componente fabricado. Além disso, o fluido de corte tem funções, como por exemplo:

- O transporte de cavaco para fora da região de trabalho;

- Proteção contra a corrosão;
- Refrigeração e lubrificação do sistema peça/ferramenta.

São ainda desejáveis, nos fluidos de corte, qualidades adicionais como:

- Resistência à contaminação por bactérias e fungos,
- Não ter tendência ao envelhecimento (oxidação, perda da estabilidade);
- Não afetar a saúde do operador;
- Facilidade de preparação e manutenção;
- Não atacar metais, plásticos, tintas, borrachas, etc;
- Boa transparência, para permitir a observação da usinagem;
- Baixa inflamabilidade;
- Não afetar ou poluir o meio ambiente (na utilização e no descarte);
- Não ter odor incomodativo;
- Ter o poder de remover impurezas;
- Possuir boa molhabilidade e resistência a altas pressões;
- Ser de boa filtrabilidade.

As qualidades exigidas variam de acordo com as aplicações e, às vezes, são até contraditórias. Não existe um fluido de características universais que atenda a todas exigências de forma satisfatória. No desenvolvimento de meios lubri-refrigerantes, a melhoria de certas qualidades fundamentais é conseguida pelo uso de aditivos, o que induz frequentemente ao prejuízo de outras. Daí a necessidade do estudo de cada caso para a seleção do meio lubri-refrigerante mais adequado /8/ /17/.

2.4 - FORÇAS NA FURAÇÃO

2.4.1 - GENERALIDADES

O conhecimento das forças que atuam sobre a ferramenta durante o processo de furação são de fundamental importância para o desenvolvimento de uma máquina-ferramenta no que diz respeito ao

dimensionamento correto das estruturas, acionamentos, fixação de ferramentas, guias e outros elementos. Também apresentam importância na determinação dos fenômenos que ocorrem na região de formação do cavaco, para a explicação de mecanismos de desgaste e como critério para a determinação da usinabilidade de um material /8/.

A força de usinagem (F) que atua sobre a cunha cortante durante a furação pode ser decomposta em três componentes: Força de corte (F_c), Força de avanço (F_f) e a Força passiva (F_p) (figura 26).

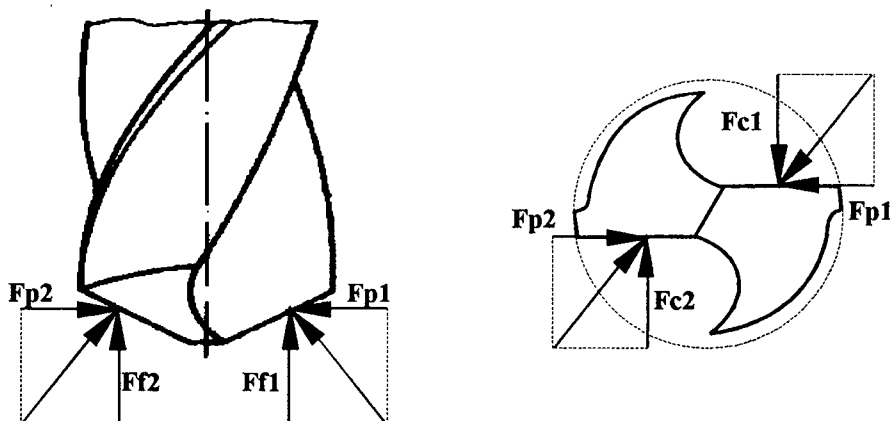


Figura 26 - Forças atuantes no gume principal

Qualquer que seja a operação de furação, durante o movimento de rotação e avanço, surgem as seguintes resistências (fatores):

- O esforço de corte do material nos dois gumes principais;
- O corte e esmagamento do material pelo gume transversal;
- Atrito das guias da broca e dos cavacos nas paredes do furo, atrito do cavaco nos canais da broca e atrito dos flancos (superfícies de incidência) da broca sobre o fundo do furo (quadro 1) /6/.

FATORES	FORÇA DE AVANÇO F_f	MOMENTO TORÇOR M_t
Gumes principais	40 a 50 %	70 a 90 %
Gume transversal	45 a 58 %	3 a 10 %
Atritos	2 a 5 %	5 a 20 %

Quadro 1 - Participação de cada fator nos esforços da furação.

2.4.2 - FORÇA DE CORTE (F_c)

A parcela da força de corte, em cada gume cortante, é decorrente da resistência ao corte do material usinado. Esta força é predominantemente responsável pelo momento torçor que atua na furação. O atrito das guias da broca e dos cavacos na parede do furo também contribuem para o aumento do momento torçor. Esta contribuição depende da qualidade da afiação e do fluido de corte utilizado /6/ /8/ /17/.

2.4.3 - FORÇA DE AVANÇO (F_f)

A força de avanço é decorrente da atuação do gume transversal (corte deficiente e esmagamento do material) e da resistência ao corte (penetração) do material usinado. Esta força também recebe pequena contribuição do atrito do cavaco nos canais da broca /6/ /8/ /17/.

2.4.4 - FORÇA PASSIVA (F_p)

A força passiva, atuante em uma parcela do gume principal, tem sentido oposto à força passiva atuante na outra. Presumindo-se que a geometria da ponta da broca tenha sido corretamente construída, a resultante é nula $F_{p1} + F_{p2} = 0$. Ela é desprezível quando comparada com as forças de corte (F_c) e as forças de avanço (F_f) /8/ /10/.

2.4.5 - EQUAÇÕES DE RESPALDO

A determinação das componentes da força de furação é feita em dinamômetros especificadamente projetados para esta finalidade. A maioria dos dinamômetros existentes não medem diretamente a força principal de corte (F_c). Esta deve ser calculada a partir do momento de corte (M_d), o qual é diretamente medido pelo dinamômetro. A relação existente entre " F_c " e " M_d ", para furação em cheio, é dado pela expressão /19/ /20/ :

Força de corte por gume:

$$F_c = \frac{Md}{380 \cdot D} \quad (1)$$

A força de avanço (Ff) pode ser determinada diretamente pelo dinamômetro.

É possível também determinar as forças através de equações empíricas, onde a qualidade do resultado está diretamente ligada ao valor atribuído às constantes específicas de corte (Kc e Kf). Estas constantes dependem basicamente do diâmetro da broca, do avanço e do material da peça. Além disso, tem-se como influência secundária, o ângulo de ponta, o ângulo de hélice, o fluido de corte e a qualidade da afiação da broca /6/ /19/ /20/. As relações existentes entre "Fc", "Ff" e "Md", para furação em cheio, neste caso, são dadas pelas expressões /6/:

Força de corte por gume:

$$F_c = K_c \cdot \frac{f \cdot D}{4} \quad (2)$$

Momento torçor:

$$Md = \frac{F_c \cdot D}{2000} = K_c \cdot \frac{f \cdot D^2}{8000} \quad (3)$$

Força de avanço total:

$$F_f = K_f \cdot \frac{f \cdot D \cdot \sin\left(\frac{\sigma}{2}\right)}{2} \quad (4)$$

Através do conhecimento das forças envolvidas, pode-se determinar a potência de corte exigida na operação, através da expressão /6/:

Potência de corte:

$$P_c = \frac{Md \cdot n}{9549} \quad (5)$$

Velocidade de corte (periférica):

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \quad (6)$$

2.5 - PROBLEMAS NA FURAÇÃO

2.5.1 - GENERALIDADES

A qualidade de um furo usinado, no que se refere aos erros de forma e de medida, é dependente principalmente da qualidade de afiação e da geometria da ponta da broca. Quanto mais estreitas forem as tolerâncias exigidas no furo, mais dispendiosa será a operação para executá-lo.

2.5.2 - IMPERFEIÇÕES GEOMÉTRICAS DO FURO

As imperfeições mais frequentes que ocorrem na geometria do furo durante o processo de furação são :

Erro de cilindridade - diferença de raio entre dois cilindros concêntricos que contém a superfície analisada.

Formação e altura das rebarbas na entrada e saída dos furos - dependem dos materiais da peça e da ferramenta, assim como das condições de usinagem empregadas.

Erros de posicionamento dos furos - dependem principalmente da qualidade da máquina-ferramenta e da geometria da ponta das brocas.

Erros de circularidade - assumem as mais diferentes formas, tendo como fator crítico para este tipo de imperfeição a rigidez do sistema árvore / cone / ferramenta / peça.

Erro de sobremedida - depende da simetria dos gumes de corte e da rigidez da ferramenta. A assimetria nos gumes principais de corte é produzida por erros na fabricação da broca ou surgem após um processo de afiação mal sucedido /2/ /10/.

2.5.3 - FALHAS NO USO DE BROCAS HELICOIDAIS

Para a execução econômica da operação de furação, além da escolha adequada do tipo de broca e dos parâmetros de corte, certos cuidados devem ser tomados para se obter o máximo rendimento das ferramentas. A seguir estão relacionadas as falhas mais comuns verificadas na utilização de brocas /21/.

Linguetas de extração quebradas ou torcidas - ocorre pela falta de ajuste entre os cones (da máquina e da haste da broca), resultando que a torção não se aplica sobre o cone da haste, mas sim, sobre a lingueta de extração.

Núcleo da broca trincado - pode ocorrer por varias razões :

- a) por golpeamento da ponta da broca a fim de se obter o encaixe no cone;
- b) por velocidade de corte excessivamente elevada;
- c) por queda da broca em superfícies duras, por ocasião da extração da mesma da árvore da máquina;
- d) pela afiação com ângulo de incidência insuficiente;
- e) pela redução do gume transversal.

Desgaste excessivo nas quinas - este tipo de desgaste ocorre quando a velocidade periférica da broca é excessiva para a dureza do material que se está usinando.

Gumes quebram ou lascam - estas falhas ocorrem geralmente quando se usinam peças de pequenas espessura e mal fixadas ou quando o ângulo de flanco é excessivo, o que causa um enfraquecimento da cunha de corte.

Quebra da broca no fim dos canais - esta falha pode ocorrer em duas situações: a primeira, se a peça a ser usinada está fixada inadequadamente, ocorrendo vibrações e a segunda, quando se deseja usinar uma superfície curva ou inclinada, com uma broca de diâmetro pequeno sem a utilização de buchas guias.

Obstrução dos canais da broca - ocorre pelo acúmulo de cavacos no canal da broca em furações profundas, impedindo o fluxo de cavacos e de fluido de corte.

2.5.4 - RECOMENDAÇÕES PARA O USO CORRETO DAS BROCAS

Para conseguir uma boa eficiência nas operações de furação são necessários alguns cuidados básicos /21/ /22/.

Seleção adequada do tipo de broca - para que se tenha uma seleção adequada do tipo de broca deve-se manter uma dependência direta entre a composição do material da peça, a rigidez da ferramenta, as dimensões do furo a ser usinado, o tipo de máquina-ferramenta utilizada, as tolerâncias desejadas e os custos envolvidos.

Utilização dos parâmetros de corte e fluidos lubri-refrigerantes recomendados - devem ser empregadas as velocidades recomendadas para o par ferramenta/peça e assegurar que o fluido indicado para estes materiais alcance a ponta da broca.

Verificação das condições da máquina-ferramenta e dispositivos - o eixo árvore da máquina não deve ter folgas ou empenamentos. No caso de utilização de buchas de guia ou outros dispositivos deve-se avaliar suas condições.

Fixação correta da ferramenta - o mandril ou pinças que fixam as brocas de haste paralela devem ser de boa qualidade. As brocas com haste cônica devem ser adequadamente fixadas no cone da máquina com martelos de borracha ou plástico mole.

Verificação do material a ser usinado - cuidados especiais devem ser tomados com a dureza da camada superficial dos materiais forjados e com as incrustações superficiais dos materiais fundidos. Estes materiais requerem afiação apurada, avanços adequados e uniformes, velocidades moderadas e alta refrigeração.

Planejamento correto das reafiações - um programa de reafiações, depois de um certo comprimento de furação ou de um determinado número de peças, independente da aparência da afiação, é altamente recomendável. Na retificação da ponta da broca deve-se assegurar que todo o desgaste das guias seja removido e que os ângulos corretos sejam reproduzidos.

Manuseio correto das ferramentas - devem ser empregados meios adequados para estocagem e transporte evitando o contato entre as ferramentas.

Segurança na operação - as ferramentas de corte podem estilhaçar ao quebrar. Por isso são necessários meios adequados de proteção para os operadores.

2.5.5 - DESGASTE DAS BROCAS

O desgaste é uma medida para o grau de utilização da ferramenta que, por sua vez, através dos custos da ferramenta e do tempo de corte, define basicamente a economia de um processo de fabricação.

As razões do desgaste de uma ferramenta estão na danificação das partes cortantes em consequência das solicitações mecânicas, químicas e térmicas. Um motivo essencial para o desgaste está na combinação de altas temperaturas de usinagem e fortes carregamentos mecânicos.

Na zona do gume transversal predominam as solicitações mecânicas e a velocidade de corte tende a zero. Isto leva a ocorrência do processo de esmagamento. Esse carregamento pode levar ao lascamento do gume transversal.

Na zonas das quinas de corte predominam as solicitações térmicas. A estas sobrepõe-se o calor gerado pelo atrito dos cavacos na superfície de saída e o atrito das guias. Esse carregamento pode levar à erosão da ferramenta (desgaste de cratera) /1/.

2.6 - AFIAÇÃO DAS BROCAS

2.6.1 - GENERALIDADES

A afiação de uma broca é definida principalmente pela forma de configuração de sua ponta. A observação de ângulos adequados, assim como, uma mínima rugosidade nas superfícies dos flancos são exigências fundamentais na afiação. Outro importante aspecto na afiação de brocas com múltiplos gumes é a simetria dos mesmos. Através desta simetria é que pode ser garantido um carregamento equilibradamente distribuído na broca. A não observação desta simetria ocasiona um desgaste desigual nos gumes e induz a ocorrência de erros dimensionais e erros de forma nos furos.

Os diversos tipos de afiações, são formados através de modificações no ângulo de ponta ou no comprimento do gume transversal, bem como através de correlação dos gumes principais. O ângulo de ponta da afiação deve ser escolhido em função do material a ser usinado/1/.

A afiação manual não permite cumprir estas exigências na reafiação de brocas, de forma que deve ser dada preferência à afiação mecânica.

2.6.2 - TIPOS DE AFIAÇÕES NAS BROCAS HELICOIDAIS

Atualmente existem aproximadamente 150 tipos diferentes de afiação de brocas e uma série de perfis específicos, desenvolvidos para materiais de peças diferentes, que levam a uma qualidade e performance adequada ao processo de furação /1/ /8/. Apesar deste grande número de variações na forma da ponta existem seis tipos padronizados pela norma ABNT-NBR 6176 (DIN 1412), que são usualmente empregados.

Afiação normal - é a afiação mais antiga e mais empregada nas brocas helicoidais, também chamada "afiação em cone de revolução" ou "afiação cônica"/5/. Consiste na afiação da broca com duplo tronco de cone, com a forma mais adequada. Tem-se um tronco de cone definido pela revolução dos gumes principais de corte e o outro tronco de cone definido pelo flanco de cada cunha de corte. As suas vantagens são decorrentes da facilidade de sua obtenção, facilidade de sua reafiação e pequena susceptibilidade a elevadas solicitações mecânicas. Como desvantagens citam-se: o pequeno efeito de auto-centragem, ocasionando erros de forma e posição, e o aumento natural do gume transversal com o aumento do diâmetro da broca, fato que provoca um aumento hiperproporcional das forças de avanço/8/.

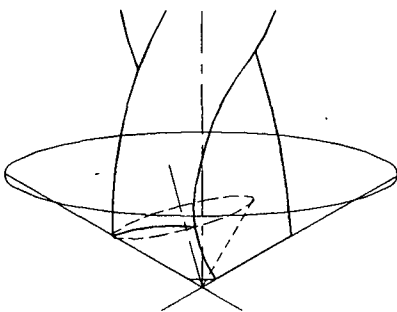


Figura 27 - Cones que definem a afiação normal

Nos casos em que são exigidas características especiais de uma ferramenta de furação, a ponta recebe afiações especiais.

Afiação com formato A - consiste em uma afiação normal, com a execução de uma redução do gume transversal (figura 28). Esta afiação melhora consideravelmente a capacidade de centragem da broca. Normalmente reduz-se o comprimento do gume transversal para $0,1D$ e utiliza-se para brocas com diâmetro a partir de 14mm /8/.

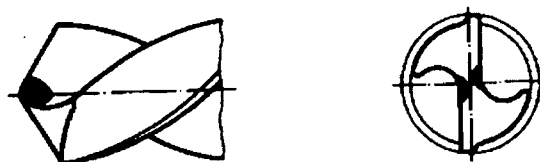


Figura 28 - Afiação com formato A

Afiação com formato B - consiste em uma afiação com formato A, com a execução de uma correção no ângulo de saída ao longo da cunha de corte (figura 29). Esta afiação causa uma estabilidade bastante grande da cunha, sem dificultar o transporte do cavaco. Normalmente, o ângulo de saída é reduzido para 10° . A afiação com formato B é empregada para furações com altas solicitações e na furação de chapas finas (evita a puxada da broca na saída do furo) /8/.

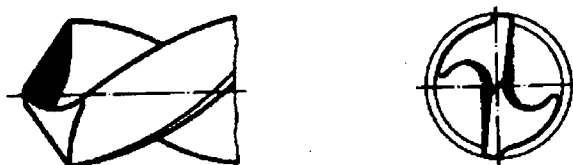


Figura 29 - Afiação com formato B

Afiação com formato C - consiste em uma afiação normal, com a eliminação completa do gume transversal, também chamada "afiação em cruz" (figura 30). Esta afiação ocasiona uma melhora considerável nas qualidades cortantes da broca, uma vez que o esmagamento produzido pelo gume transversal é reduzido por duas pequenas parcelas cortantes no sentido dos gumes principais. Com esta afiação obtém-se boa capacidade de centragem e uma redução da força de avanço. É adequada para furações profundas /8/.



Figura 30 - Afição com formato C

Afição com formato D - consiste em uma afiação com formato A, com a redução do tronco cone, definido pelo flanco das cunhas de corte e execução de outro tronco de cone com uma inclinação menor (figura 31). Esta afiação provoca uma melhora na transmissão de calor e reduz o desgaste através do aumento do comprimento do gume cortante. A afiação com formato D foi desenvolvida especialmente para furações em ferros fundidos /8/.

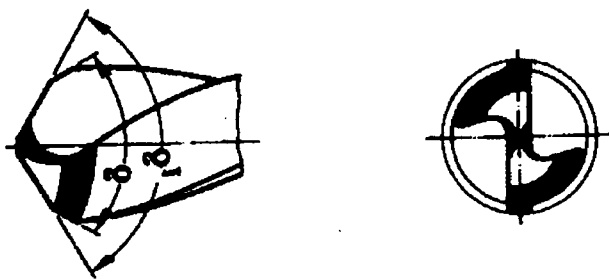


Figura 31 - Afição com formato D

Afição com formato E - é uma afiação onde o ângulo de ponta é de 180° , com uma ponta de centragem (figura 32). Esta afiação é utilizada quando se necessita uma furação centrada e isenta de rebarbas. Normalmente é empregada na furação de chapas finas /8/.

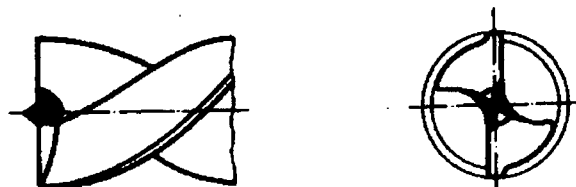


Figura 32 - Afição com formato E

2.6.3 - DEFEITOS NAS AFIAÇÕES DAS BROCAS HELICOIDAIS

Pesquisas específicas mostram que a qualidade superficial da parede do furo é pouco influenciada pelo tipo de afiação da ponta da broca, no entanto, a precisão de forma e de medida do furo depende basicamente da simetria da afiação da ponta da broca /7/. Com a simetria de afiação obtém-se uma eliminação mútua dos componentes da força passiva (F_p) de cada uma das parcelas do gume principal de corte.

Uma força radial, de valor constante (desequilíbrio nas forças passivas), provoca uma sollicitação de forma estática, na broca helicoidal e no fuso da máquina-ferramenta. Simultaneamente, provoca uma sollicitação dinâmica e alternante na peça e na sua fixação da peça.

Geralmente o surgimento de forças radiais está ligado a imprecisões (defeitos) na afiação do gume, tais como:

- comprimentos desiguais dos gumes;
- ângulos de posição desiguais;
- ângulos de incidência desiguais;
- assimetria na redução do gume transversal;
- assimetria nas hélices;
- diferenças de afiação nos gumes, bem como erros de flutuação no movimento circular /8/.

2.6.4 - CRITÉRIOS PARA REAFIAÇÃO DAS BROCAS

A utilização econômica das brocas helicoidais tem como fator fundamental a reafiação correta e no momento oportuno. Quanto mais desgastada a broca, mais material terá que ser removido para restaurar as suas condições de corte, o que acarreta maior gasto de material e mão de obra na reafiação.

Existem três critérios para avaliar a necessidade de reafiação de uma broca:

- a) através da marca de desgaste de flanco;
- b) através da marca de desgaste nas guias, reduzindo o diâmetro da broca;
- c) através da falha completa da broca, no momento em que ocorre um grande aumento da força de avanço.

Usualmente adota-se, como critério econômico para reafiação das brocas, o desgaste das guias, por ser de fácil verificação e medição e não comprometer as operações. Estudos mostram que o ponto de desgaste econômico é atingido quando, para a reafiação, não é necessário remover mais do que 0,5mm do comprimento da broca /6/ /8/.

2.7 - FATORES INFLUENTES NA FURAÇÃO

2.7.1 - GENERALIDADES

As operações de furação, como todo processo de usinagem, sofrem influências no seu desenvolvimento. Estas influências podem ser dadas principalmente pela forma geométrica da ponta da broca e pelas variáveis de processo.

2.7.2 - INFLUÊNCIA DA GEOMETRIA DA BROCA

Devido a interdependência entre os elementos geométricos, e destes com as variáveis de processo, não se pode explicar, isoladamente, a influência de variações em cada elemento sobre os resultados, podendo-se apenas generalizar algumas considerações para os principais elementos geométricos da broca.

Ângulo de ponta - um aumento do ângulo de ponta provoca um aumento da força de avanço (aumenta o gume transversal) e uma diminuição da força de corte. Ângulos menores, proporcionam um corte mais suave e melhora na capacidade de centragem. Na furação livre de materiais dúteis, onde sua influência é menor, seus valores podem ser aumentados. Também com o aumento do ângulo de ponta o fluxo de cavaco é melhorado /1/.

Gume transversal - em geral, um aumento do gume transversal leva a um aumento considerável na força de avanço e causa pouca influência sobre o momento torçor, sendo tanto menor a

influência quanto mais macio o material a usinar. Esta influência do gume transversal sobre a força de avanço pode ser minimizada através de afiações que reduzem o comprimento do mesmo e/ou modificam a sua geometria, facilitando a saída e a formação de cavaco /1/ /6/ /8/.

Ângulo de saída - através do aumento do ângulo de saída obtém-se uma diminuição da força de avanço e uma diminuição da temperatura no processo. Por outro lado, tem-se uma redução na estabilidade do gume, pela diminuição da cunha de corte, ficando mais sensível a elevadas solicitações /1/ /6/ /8/.

Ângulo de flanco - o ângulo de flanco, nas brocas helicoidais, aumenta de fora para dentro (na direção radial). Assim, no sentido do núcleo, o seu valor cresce continuamente. Isto causa uma diminuição da força de usinagem e possibilita valores maiores de avanço. O ângulo de flanco evita o esmagamento de material pela superfície frontal da broca. Um limite superior para o seu valor é dado pela redução da resistência da cunha de corte e pelas vibrações que ocorrem na broca /1/ /8/.

Ângulo de hélice - nas brocas helicoidais, geralmente, o ângulo de hélice define o ângulo de saída, que não é constante ao longo do gume principal, e sim tem seu valor diminuído no sentido do centro da broca, e passa a ser negativo na passagem para o gume transversal. O ângulo de hélice influi também na retirada dos cavacos na zona de corte. O ângulo de hélice é função do material a ser furado: ângulos pequenos para materiais duros (cavacos curtos) e ângulos maiores para materiais moles (cavacos longos) /6/ /8/.

2.7.3 - VARIÁVEIS DE ENTRADA DO PROCESSO DE FURAÇÃO

A furação, como em todos os processos de usinagem com ferramentas de geometria definida, é dependente das variáveis de entrada do processo. As variáveis de entrada com maior influência no processo de furação são:

Velocidade de corte - a velocidade de corte é variável ao longo do gume principal, sendo o valor da velocidade de corte da quina tomado como valor nominal. Esta velocidade afeta diretamente a potência de corte. O seu valor é limitado pelos materiais da ferramenta e da peça.

Dimensões de corte - As dimensões do corte, avanço e profundidade (seção de corte), estão diretamente relacionadas com as grandezas das forças de usinagem. O avanço é função do deslocamento da ferramenta por rotação da mesma. A profundidade de corte, teoricamente, é igual a metade do diâmetro da

broca, no entanto o mecanismo de formação de cavacos não é fundamentalmente distinto entre a região do gume transversal e principal, sendo ainda variável ao longo do gume principal.

Os fatores externos que influenciam o processo são: o fluido de corte, vibrações do sistema e a temperatura do material da peça. O material da ferramenta bem como seu tratamento superficial e o material da peça e seu tratamento térmico e mecânico, também influenciam fortemente o resultado do trabalho.

CAPÍTULO 3

MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 - IDENTIFICAÇÃO DOS ERROS DE AFIAÇÃO

Como primeira etapa deste trabalho, foi desenvolvido um criterioso levantamento dos tipos de imperfeições que usualmente ocorrem na reafiação de brocas helicoidais. Para isso, foi analisado um lote de brocas com diferentes procedências (quadro 2), de modo a reduzir a tendência de particularização do levantamento a um único processo de afiação.

Nesta coleta de ferramentas também tomou-se o cuidado de variar os diâmetros das brocas selecionadas, de forma a incorporar na amostragem os diversos graus de dificuldade de afiação nas brocas helicoidais. Os diâmetros variaram de 1mm a 22mm, igualmente distribuídos no lote.

Ferramentas	Origem	Quantidades	% Participação	
Reafiadas	Usuário 1	38	40,9	72,0
	Usuário 2	9	9,7	
	LMP- UFSC	10	10,7	
	USICON - UFSC	10	10,7	
Novas	Fabricante 1	8	8,6	28,0
	Fabricante 2	5	5,4	
	Fabricante 3	5	5,4	
	Fabricante 4	8	8,6	
Total		93	100	

Quadro 2 - Ferramentas utilizadas no levantamento dos erros.

As brocas foram, uma a uma, integralmente inspecionadas sendo registradas todas as imperfeições geométricas detectadas, independentemente do tipo de afiação empregada (formato da ponta da broca). Entende-se, por imperfeições geométricas, as assimetrias (de gume e cunhas de corte) em relação ao centro da broca.

3.2 - TIPOS DE ERROS

Após o levantamento das imperfeições, verificadas nas 93 brocas, foi utilizado como critério para seleção do tipo de imperfeição (erro), a sua ocorrência em, no mínimo, 50% das brocas inspecionadas.

Os valores nominais dos erros (intensidade) detectados nas brocas apresentaram uma distribuição bastante variável, não mostrando nenhuma tendência específica. Para permitir detectar o efeito de cada erro na operação de furação, foram arbitrados três valores de intensidade para cada tipo de erro levantado, de forma a provocar uma "fraca incidência", uma "moderada incidência", e uma "grande incidência" do erro.

Utilizando os critérios mencionados, foram eleitos sete tipos de erros:

ERRO 1 Diferença do ângulo de ponta (DAP) - Este erro ocorre devido a assimetria do ângulo de ponta em relação ao eixo da broca (figura 33). Os gumes principais apresentam inclinações diferentes em relação ao eixo. Para este tipo de erro foram arbitrados os valores de intensidade de 2,4 e 8 graus, conforme mostra a figura 33.

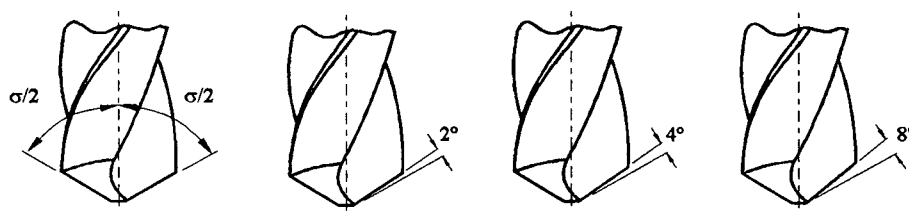


Figura 33 - Diferença de ângulo de ponta e suas intensidades

ERRO 2 Diferença nos ângulos do gume transversal (AGT) - Este erro ocorre devido a assimetria nos ângulos entre o gume transversal e os gumes principais. Os valores arbitrados para as intensidades deste erro foram de 2, 4 e 8 graus (figura 34).

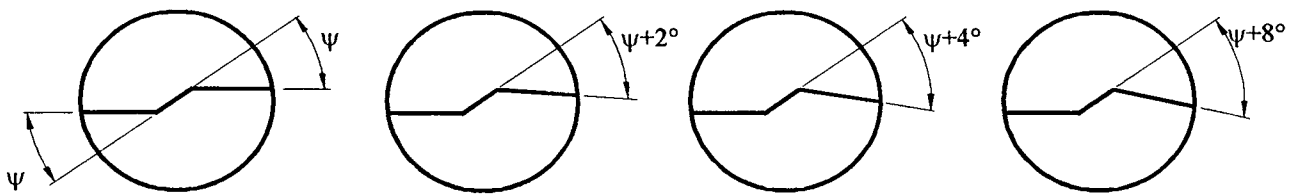


Figura 34 - Diferença nos ângulos do gume transversal e suas intensidades

ERRO 3 Excentricidade do gume transversal (EGT) - Este tipo de erro é gerado pelo mal posicionamento do gume transversal em relação ao eixo central da broca. Existe uma dificuldade em pré-estabelecer intensidades para este tipo de erro, pois, para deixar o gume excêntrico, é necessário uma alteração nas cunhas de corte, o que não é desejado. Para executar uma excentricidade no gume transversal foi adotada a solução mostrada na figura 35, o recuo paralelo de um dos gumes principais, o que forçosamente provoca ao mesmo tempo uma diferença de ângulo de ponta.

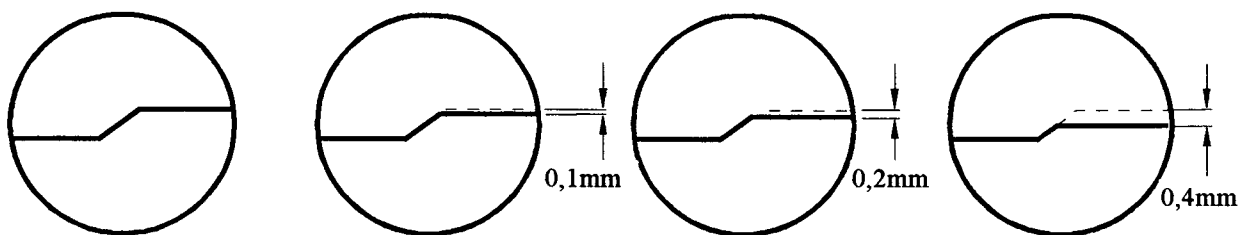


Figura 35 - Excentricidade do gume transversal e suas intensidades

ERRO 4 Diferença no ângulo de incidência (DAI) - Este tipo de erro é provocado pela diferença no valor do ângulo de incidência de cada uma das cunhas de corte. Para os valores de intensidade foram adotados 2,4 e 8 graus (figura 36).

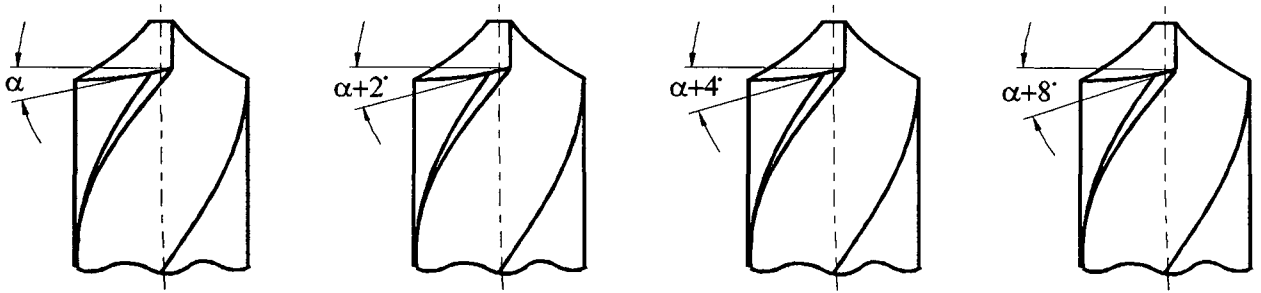


Figura 36 - Diferença no ângulo de incidência e suas propriedades

ERRO 5 Diferença no ângulo de saída (DAS) - Este tipo de erro é provocado pela diferença no valor do ângulo de saída de cada uma das cunhas de corte. Tal situação só acontece nas brocas helicoidais quando sofrem afiações especiais. Também, neste tipo de erro, existe uma dificuldade de reprodução (limitações do equipamento disponível). De modo a viabilizar a execução deste tipo de erro, com os equipamentos disponíveis, optou-se pela solução mostrada na figura 37, executando uma redução do ângulo de saída para 0° , nas duas cunhas de corte, e logo em seguida provocar o erro modificando uma das cunhas para 2° e 4° . Deste modo a intensidade do erro (diferença do ângulo) fica limitada a dois valores, 2° e 4° .

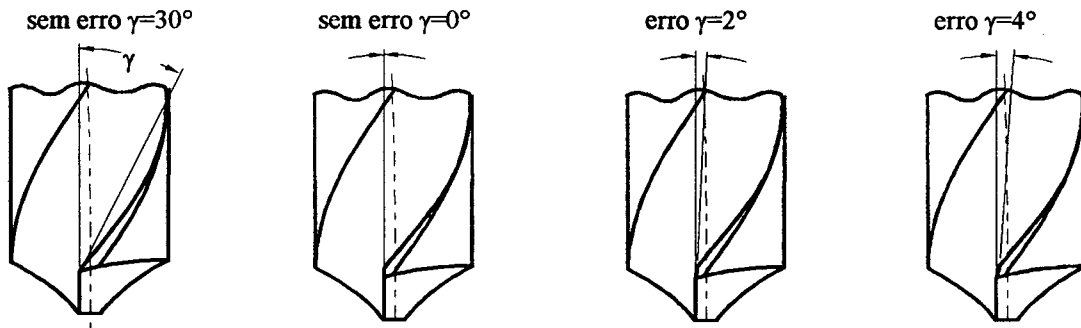


Figura - 37 Diferença no ângulo de saída e suas incidências

ERRO 6 Forma da guia (FDG) - Este tipo de erro é gerado por alterações na forma do gume secundário, onde a superfície (lateral da guia) não forma um canto vivo. Para as intensidades, foram escolhidas duas formas usuais em ferramentas, **CHANFROS** e **RAIOS** (figura 38), sendo que para cada forma destas, foi arbitrado três valores de intensidade :

Intensidade dos Chanfros:

$l_c = 0,1\text{mm}$ no gume principal com inclinação 15° .

$l_c = 0,2\text{mm}$ no gume principal com inclinação 15°

$l_c = 0,4\text{mm}$ no gume principal com inclinação 15°

Intensidade dos Raios:

$r_e = 0,2\text{mm}$

$r_e = 0,4\text{mm}$

$r_e = 0,8\text{mm}$

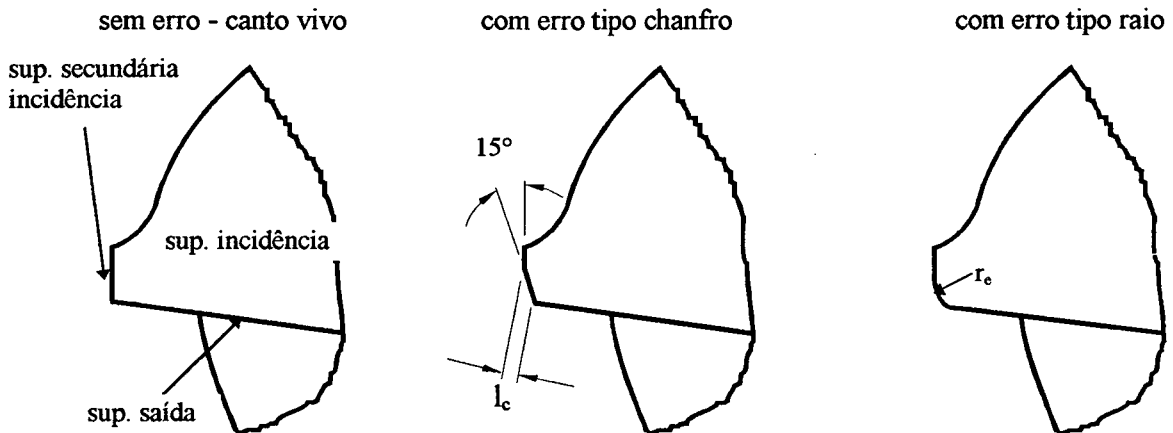


Figura 38 - Alterações na forma da guia - vista lateral

ERRO 7 Forma da quina (FDQ) - Este tipo de erro é gerado por alterações na forma de intercessão entre o gume principal e o gume secundário (guia), onde a quina deixa de possuir um canto vivo (figura 39). Para as intensidades foram mantidas as mesmas formas e valores do caso anterior.

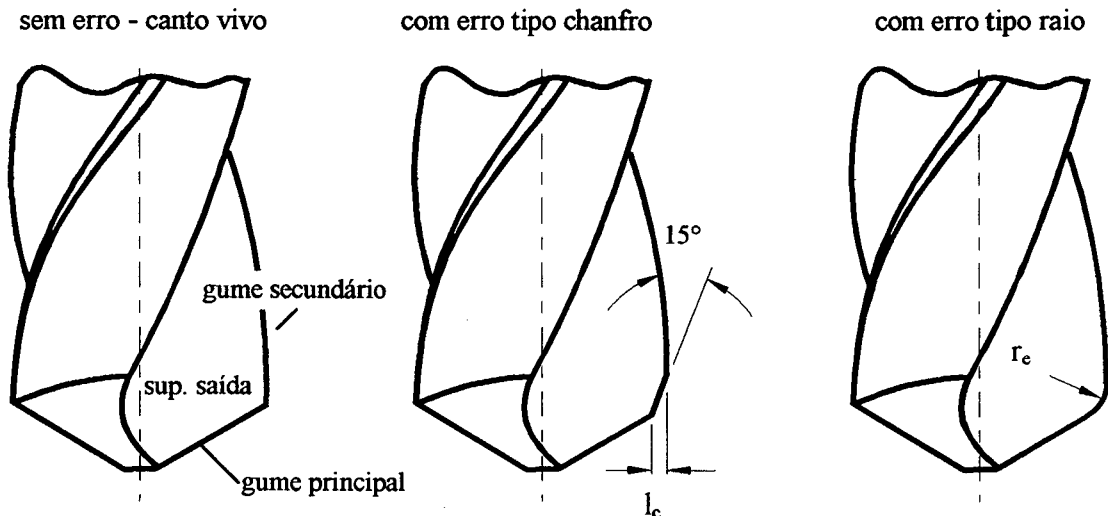


Figura 39- Alterações na forma da quina - vista lateral

Para a reprodução dos erros nas ferramentas (brocas) optou-se por provocar alterações em apenas uma das cunhas de corte da broca, facilitando desta forma as suas execuções. A outra cunha permanece inalterada, mantendo as características originais do fabricante.

Cada intensidade de um determinado erro foi reproduzido em uma broca específica, sendo esta marcada para posterior identificação.

Cabe ressaltar que foram detectados muitos outros tipos de erros no lote inspecionado, porém suas ocorrências não atingiram o limite estabelecido. Dentre estes pode-se citar:

- Lascas nos gumes;
- Inclusões de elementos abrasivos nas superfícies usinadas;
- Zonas com marcas de superaquecimento;
- Sulcos (de grãos abrasivos) de elevada proporção nas superfícies afiadas (retificadas);
- Assimetria nos canais da broca;
- Assimetria na posição das guias;
- Empenamentos na broca (corpo-haste);
- Existência de rebarbas em certas zonas dos gumes;
- Desvios de alinhamento dos gumes principais;
- Gume transversal não ortogonal ao eixo da broca;
- Existência de facetas de retificação devido a má composição dos movimentos na afiação.

3.3 - FERRAMENTAS UTILIZADAS NOS EXPERIMENTOS

Para o desenvolvimento deste trabalho foi escolhida a broca helicoidal de aço rápido, haste cilíndrica, com afiação normal (tipo N) com corte à direita, segundo as normas ABNT, NBR 7438 e NBR 6176 (DIN 338 e DIN 1412). Este tipo de broca é empregada na maioria das operações de furação com brocas helicoidais /1/ /5/ /6/ /8/.

Quanto ao diâmetro das brocas, optou-se pelo diâmetro de 10mm, levando em conta razões econômicas e técnicas. As razões econômicas se devem ao elevado número de ferramentas necessárias ao

estudo, uma vez que, quanto maior o diâmetro, maior o custo. E as razões técnicas consistem na limitação dos equipamentos para análise dos furos e na dificuldade de produzir os erros em diâmetros menores.

Com o objetivo de ampliar a análise do comportamento dos erros, foram escolhidos três tipos de ângulos de ponta, 106°, 118° e 130°. A principal razão desta variação está no fato de permitir o estudo em três grupos distintos de brocas, um grupo com GUMES RETOS (118°), um com GUMES CONVEXOS (106°) e outro com GUMES CÔNCAVOS (130°).

Todos os tipos de erros, com suas respectivas intensidades, foram reproduzidos igualmente nos três lotes com diferentes ângulos de ponta. Esta combinação resultou num total de 81 brocas para o estudo (quadro 3).

Erros Geométricos	Número de intensidades por grupo			Quantidade de brocas
	106°	118°	130°	
1 - DAP	3	3	3	9
2 - AGT	3	3	3	9
3 - EGT	3	3	3	9
4 - DAI	3	3	3	9
5 - DAS	3	3	3	9
6 - FDG	6	6	6	18
7 - FDQ	6	6	6	18
Total	27	27	27	81

Quadro 3 Distribuição da quantidade de brocas por erro geométrico.

De modo a formar uma base de dados de referência integrou-se, em cada um dos grupos, mais três ferramentas iguais, resultando num total de 90 brocas. Estas brocas não sofreram nenhuma alteração em suas geometrias, permanecendo com suas características originais de fabricação (padrões de referência). A razão de ensaiar três brocas iguais é para possibilitar o aumento do grau de certeza dos resultados obtidos, uma vez que serão utilizados como valores de referência na análise dos resultados.

Haja visto que a qualidade original da broca é um dos fatores fundamentais para o estudo, optou-se por um fornecedor idôneo e de renome internacional (fabricante 4).

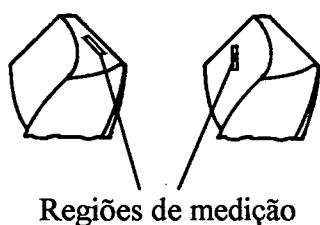
3.4 - EXECUÇÃO DOS ERROS NAS BROCAS

A tarefa de reproduzir os erros nas brocas consiste em outro fator de extrema importância neste trabalho, pois a certeza de produzir um determinado erro pré-estabelecido esbarra na capacidade técnica das máquinas de afiação, as quais são projetadas com o objetivo de executar as afiações com a maior simetria possível, dentro de sua qualidade de fabricação. Este fato faz com que faltem recursos técnicos para gerar erros com valores pré-estipulados.

Este problema foi resolvido parcialmente dentro do LMP- UFSC onde, contando com a experiência e habilidade dos funcionários, pode ser realizado os erros FDG e FDQ. Estes erros foram executados em uma retifica ótica de perfil, marca WMW, modelo SWPO 80, existente no laboratório.

O restante dos erros foram executados pelo fabricante⁴, que após uma perfeita compreensão dos objetivos do trabalho, prontificou-se a realizar as alterações geométricas necessárias ao trabalho.

Após concluída a reprodução dos erros, todas as brocas foram medidas e inspecionadas, para verificação e comprovação das alterações realizadas. Os resultados destas medições são apresentados no ANEXO II. Também efetuou-se uma medição por amostragem (em 20 % ,18 brocas), na rugosidade das superfícies de incidência e de saída das brocas, para dar uma idéia da ordem de grandeza dos valores conseguidos nestas afiações. Por limitações técnicas, efetuou-se as medições nas posições mostradas na figura 40, juntamente com os valores médios obtidos.



Valores médios obtidos		
Rugosidade	Sup. incidência	Sup. saída
Ra	1,22	1,03
DM _{95%}	0,90	1,55
Rt	6,47	5,37
DM _{95%}	3,7	8,0

Valores em mm

l=4,8mm

cut-off 0,8mm

Figura 40 - Regiões de medição da rugosidade nas brocas e seus valores

Um aspecto importante comprovado nestas medições, é que a execução de uma determinada alteração geométrica, normalmente acarreta outras alterações na geometria original, isto é, através das medições (ANEXO II), pode-se verificar que a indução de um tipo de erro geralmente produz outras anormalidades.

3.5 - MATERIAIS UTILIZADOS NOS EXPERIMENTOS

Os experimentos foram desenvolvidos em três materiais distintos. A escolha do material se deve à importância que eles apresentam nas indústrias com as quais o LMP desenvolve trabalhos de pesquisa. Os materiais escolhidos foram:

- Liga de alumínio - (2011 - T3);
- Liga de cobre - (TM - 23);
- Liga de ferro - (ABNT - 1020).

Adicionalmente, a realização de ensaios em diferentes materiais, tem por finalidade avaliar o comportamento das brocas em operação, usinando materiais que apresentam diferentes comportamentos ao corte. Consequentemente, amplia de forma significativa os resultados da pesquisa.

Abaixo, são apresentadas as propriedades típicas dos materiais ensaiados (quadro 4).

Material	Limite resist. à tração (MPa)	Limite escoam. (MPa)	Dureza (HB)	Alongamento em 50mm (%)	Dureza medida no CP (HB)
Alumínio 2011-T3	342	271	95	14	105
Bronze TM-23	221	108	73	20	70
Aço ABNT-1020	380	210	111	25	128

Quadro 4 - Propriedades típicas dos materiais usinados

3.6 - CARACTERÍSTICAS DA OPERAÇÃO ESCOLHIDA PARA OS EXPERIMENTOS

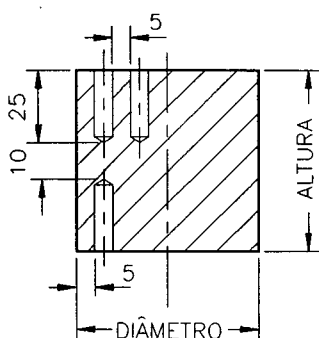
A escolha da operação de furação para o desenvolvimento do trabalho baseou-se na operação usualmente desenvolvida por brocas helicoidais, a furação em cheio sem furo de centro /5/ /8/. Quanto a profundidade de penetração no material, optou-se por furação não profunda, com profundidade de 2,5 vezes o diâmetro, no caso, 25mm.

Para o espaçamento entre furos e entre furo e borda do corpo de prova, foi seguida a recomendação de ECKHARDT /19/, que é de 0,5 vezes o diâmetro, no caso, 5mm (figura 41).

3.7 - CORPOS DE PROVA

A forma e as dimensões dos corpos de prova foram determinadas por três fatores: o sistema de fixação na plataforma de medição dos esforços de corte, as características da operação escolhida para os ensaios e a forma original de fornecimento dos materiais.

Baseado nestes aspectos e considerando uma furação em duas faces, foram preparados cilindros com alturas iguais nos três materiais, sendo as dimensões e detalhes de furação mostrados na figura 41.



Medidas do corpo de prova (mm)

Material	Diâmetro	Altura
Alumínio	63,5	60
Bronze	87,5	60
Aço	76,5	60

Figura 41 - Dimensões e detalhes da furação no corpo de prova

Como os diâmetros dos materiais foram diferentes, conseqüentemente foi necessário quantidades de cilindros diferentes. Para facilitar a identificação posterior dos furos, cada corpo de prova recebeu um código de identificação (AL-01, BZ-01, AC-01,...).

A execução dos furos foi previamente padronizada, de modo que o primeiro furo da face é marcado, e a partir deste, todos os outros foram executados no sentido horário. O primeiro furo foi sempre realizado próximo a borda (posição mais externa), de modo que os furos seguintes descreveram uma espiral em direção ao centro do cilindro. Este procedimento facilita o registro da posição dos furos para futuras medições.

3.8 - PARÂMETROS DE CORTE UTILIZADOS NOS EXPERIMENTOS

Na escolha dos parâmetros de corte foram levados em consideração três aspectos: os parâmetros recomendados pelo fabricante das brocas para os materiais escolhidos /23/, os valores disponíveis na furadeira utilizada nos ensaios /24/ e valores que facilitassem a análise dos resultados.

Considerando estes fatores, foram escolhidos os valores apresentados no quadro 5, onde percebe-se que foi mantido constante o valor do avanço para os três materiais, tal fato tem o objetivo de manter constante as secções de corte nos três materiais ensaiados.

Material	Rotação da árvore (RPM)	Velocidade de corte (m/min)	Avanço (mm/Rot)	Velocidade de avanço (m/min)
Alumínio 2011 T3	2240	70.3	0.125	0.28
Bronze TM - 23	2240	70.3	0.125	0.28
Aço ABNT 1020	900	28.3	0.125	0.11

Quadro 5 - Parâmetros de corte utilizados nos ensaios

O fluido de corte escolhido para ser utilizado em todos os ensaios, foi o óleo solúvel da Bardahl, MAXLUB-SO EP, na concentração 1:20, que por suas características de fabricação atende aos três tipos de materiais.

O fluido de corte foi alimentado através de um bico direcionador na região do furo, bombeado com uma vazão aproximada de 0,015 l/s e uma velocidade de saída média de 10m/s.

Estes valores não são os recomendados para o tipo de operação descrita no item 3.6, mas satisfazem, de forma razoável, as necessidades básicas de refrigeração e lubrificação, uma vez que estas condições foram mantidas constantes em todos experimentos.

3.9 - GRANDEZAS ESCOLHIDAS PARA ANÁLISE DOS EXPERIMENTOS

A escolha das grandezas levantadas em cada experimento baseou-se em dois aspectos: a importância da grandeza no contexto geral do trabalho e a capacidade de monitorá-la , e/ou medi-la com as condições e equipamentos existentes no LMP-UFSC. Com isto, foram escolhidas as seguintes grandezas para avaliar as características de cada operação de furação:

- a) Curva de comportamento da força axial durante a furação
- b) Curva de comportamento do momento torçor durante a furação
- c) Rugosidade da parede do furo
- d) Erro de circularidade do furo
- e) Erro de cilindricidade do furo
- f) Diâmetro médio do furo
- g) Forma do cavaco produzido durante a furação.

3.10 - EQUIPAMENTOS UTILIZADOS NA AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DAS BROCAS

Para a verificação da qualidade das brocas foram realizadas, em cada ferramenta, quatro diferentes tipos de análise, conforme segue:

Inspeção visual geral - Esta inspeção foi realizada com anormalidades grosseiras, realizada a olho nu, sem auxílio de nenhum equipamento.

Inspeção visual da ponta - Esta inspeção se deteve na qualidade das superfícies, gumes e quinas, realizada com auxílio de um microscópio para ferramentas, 30x, marca NIKON.

Medição da broca - Nesta inspeção foram levantadas todas as características geométricas da broca, conforme planilha mostrada no quadro 6. Para este levantamento foi empregado o microscópio medidor de brocas da GÜERING, modelo PG-100, 10x /25/.

Broca:			
Dr:	A1:	A2:	At:
Lg1:	Lg2:	Ag1:	Ag2:
ψ 1:	ψ 2:	σ 1:	σ 2:
α 1:	α 2:	Observações:	
β 1:	β 2:		
γ 1:	γ 2:		
δ :	Δ A:		
Observação visual:			

Quadro 6 - Planilha para medições das brocas

Medição da rugosidade na cunha de corte - Esta inspeção foi realizada em apenas algumas brocas (20%), onde se mediu a rugosidade da superfície de incidência e da superfície de saída. Nesta tarefa foi necessário bastante atenção e habilidade do operador. Foi empregado um rugosímetro portátil da FEINPRÜF PERTHEN GMBH, modelo PERTHOMETER M-3A.

3.11 - EQUIPAMENTOS UTILIZADOS NA REALIZAÇÃO DOS EXPERIMENTOS

Para a realização dos ensaios necessários a este trabalho foi utilizado o seguinte conjunto:

Máquina ferramenta - Furadeira de coordenadas marca WMW, modelo BKoE 315x500, por ser uma máquina precisa com características que atendem a usinagem de todos os três materiais.

Porta ferramenta - Mandril de precisão de aperto manual, marca RÖHM, faixa 3-13mm, diretamente adaptado a árvore da furadeira através de cone morse próprio da máquina.

Sistema de fluido de corte - Sistema adaptado à máquina ferramenta, confeccionado especialmente para estes testes, conforme mencionado anteriormente.

3.12 - EQUIPAMENTOS UTILIZADOS NA MEDIÇÃO DAS FORÇAS

Como neste trabalho optou-se por monitorar a força axial e o momento torçor ao longo de todo o processo de furação da ferramenta, o sistema de medição e aquisição destas variáveis necessitaram de equipamentos capazes de satisfazer com precisão esta tarefa. Para viabilizar com segurança este objetivo foi utilizado o seguinte conjunto de equipamentos:

Célula de carga - Como elemento sensor das forças desenvolvidas (força axial e momento torçor) durante a furação foi utilizado um dinamômetro piezoelétrico para furação, da KISTLER INSTRUMENTE AG, para 4 componentes, modelo 9273. Neste dinamômetro foi adaptada uma placa universal de torno com 3 castanhas para a fixação dos corpos de prova (cilindros).

Amplificador de sinais - Para amplificação dos sinais gerados no dinamômetro foi utilizado dois amplificadores (um para cada variável), um para cada canal, da KISTLER INSTRUMENTE AG, modelo 5006 com filtro de 180 KHz.

Aquisição das curvas de força axial e momento torçor - Para o registro das variações da força axial e momento torçor durante a execução da furação foi utilizado um sistema de aquisição sinais da HEWLETT-PACKARD, de 2 canais, modelo 3563 A.

Armazenagem das curvas de cada experimento - Para o armazenamento das diversas curvas geradas foi utilizado um micro computador da SAMSUNG, modelo IBM AT - 386 SX, com placa de aquisição GPIB. Nesta armazenagem utilizou-se também uma codificação para posterior identificação do experimento.

3.13 - EQUIPAMENTOS UTILIZADOS NA DETERMINAÇÃO DA QUALIDADE DOS FUROS

Para o levantamento das demais grandezas do sub-capítulo 3.9 foram utilizados os seguintes instrumentos:

Diâmetro médio do furo - Para a determinação desta grandeza foi utilizado um micrômetro de 3 pontas para internos, marca TESA, faixas de 8-10mm e 10-12mm.

Rugosidade da parede do furo - Para a medição da rugosidade na parede interna do furo foi utilizado um rugosímetro de contato portátil da FEINPRÜF PERTHEN GMBH, modelo PERTHOMETER M 3A, aferido a cada 500 medições com padrão de rugosidade da própria PERTHEN.

Formas de cavaco - Para determinação da forma de cavaco gerado durante cada operação de furação foi seguida a sugestão de NAKAYAMA /26/, conforme figura 44.

Circularidade/cilindricidade - Para a determinação dos erros de circularidade e cilindridade utilizou-se um método desenvolvido para este trabalho, que consiste em determinar a cada 30°, os desvios que a parede do furo sofre em relação ao eixo de rotação da árvore da máquina. Estes desvios são trabalhados por um programa específico, que fornece os erros detectados durante a varredura dos 360°. Este método será explicitado no Capítulo 4. Para a medição dos desvios utilizou-se um dispositivo auxiliar de centragem da própria máquina (figura 42).

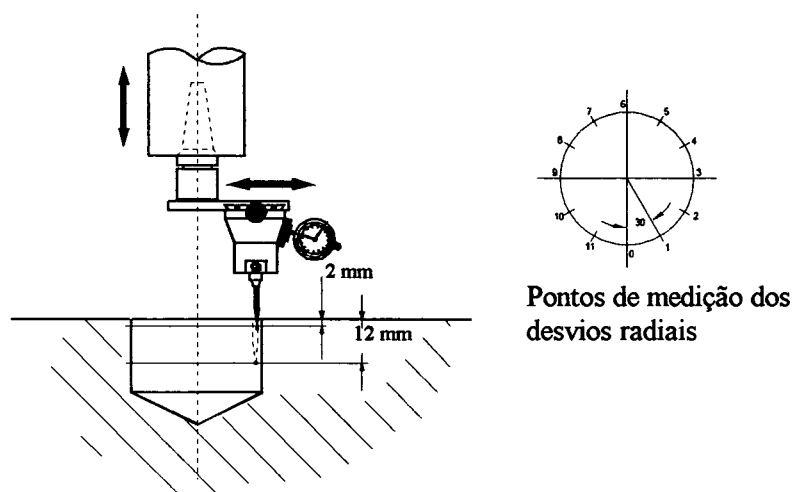


Figura 42 - Dispositivo utilizado para medida dos desvios de posição da parede do furo

CAPÍTULO 4

DESENVOLVIMENTO EXPERIMENTAL

4.1 - METODOLOGIA UTILIZADA NOS EXPERIMENTOS

4.1.1 - AVALIAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS

Com o objetivo de qualificar as reais condições de desenvolvimento dos experimentos todos os equipamentos, máquinas e instrumentos utilizados neste estudo passaram por um pré-teste, onde foram avaliadas as condições de funcionamento, precisão, repetibilidade, folgas, desvios, necessidade de ajuste e/ou manutenção, enfim, todos os itens recomendados para cada componente, de modo que os resultados gerados estivessem dentro das faixas originais de fabricação de cada componente.

Nesta etapa foram determinadas as incertezas dos sistemas utilizados, sugeridas por Gonçalves /27/:

- Furadeiras Coordenadas (WMW BKoE 315x500)/24/,

Posicionamento da árvore em relação a mesa..... $\pm 0,01\text{mm}$

Velocidade de avanço.....zero

Velocidade de rotação da árvore..... $\pm 5\%$

- Dinamômetro Piezoelétrico (KISTLER - 9273)/28/,

Força Axial..... $\leq \pm 1\%$

Momento Torçor..... $\leq \pm 1\%$

- Amplificador de Sinais (KISTLER - 5006)/28/,
 - Linearidade Escala Força (200x10 UM/V).....% FSO $<\pm 0,1$
 - Linearidade Escala Momento (100x10 UM/V).....% FSO $<\pm 0,1$
- Analizador de Sinais (HP 3562 A)/29/,
 - Distorção(conversão e registro): 25,6 MHz a 10KHz.....- 55dB
 - 10KHz a 100KHz.....- 40dB
- Dispositivo para medição do desvio do furo,
 - Desvios radiais..... $\pm 0,01\text{mm}$
- Rugosímetro portátil (PERTHEN-M3A)
 - Rugosidade Rt (escala 0-10)..... $\pm 0,1\mu\text{m}$
 - Rugosidade Ra (escala 0-3)..... $\pm 0,1\mu\text{m}$
- Micrômetro para internos com 3 pontas (TESA),
 - Para faixa 8-10mm..... $\pm 0,001\text{mm}$
 - Para faixa 10-12mm..... $\pm 0,001\text{mm}$
- Medidor de Brocas (GÜEHRING PG-100) /25/,
 - Medições lineares..... $\pm 0,01\text{mm}$
 - Medições angulares..... $\pm 10'$

4.1.2 - MONTAGEM DOS EQUIPAMENTOS

De modo a reduzir algumas fontes de erros, no desenvolvimento dos experimentos, todos foram realizados de uma só vez, isto é, todas as ferramentas foram ensaiadas, nos três materiais, utilizando uma única montagem dos equipamentos. Desta forma, a influência da montagem dos equipamentos (formas de fixação do dinamômetro, posições de montagem, cabos elétricos, etc) nos resultados obtidos foi praticamente anulada.

Para a verificação da regularidade de funcionamento, em cada início de turno de ensaio, após o devido aquecimento dos equipamentos foram aplicadas cargas padronizadas, de modo a aferir os valores medidos.

4.1.3 - CALIBRAÇÃO DO SISTEMA

Após a montagem do sistema de medição foi realizada sua calibragem, com a aplicação conveniente de massas padrão. Para a força axial foi utilizada a faixa de 0-500N, com variação de 50N, e para o momento torçor foi utilizada a faixa de 0-10 Nm, com variação de 1Nm.

A ordem de grandeza das maiores divergências encontradas em ambos canais foram menores que 1N, para a força, e menores que 0,05Nm, para o momento. Como a ordem de grandeza da força média a ser medida é de 1000N e do momento médio é de 7Nm, os erros detectados ficaram dentro de valores perfeitamente aceitáveis, evitando a utilização de fatores de correção em ambas as variáveis.

4.1.4 - REALIZAÇÃO DOS EXPERIMENTOS

Para a sequência de ensaios foi adotado o seguinte procedimento:

Ferramentas - foi arbitrada uma sequência inicial (brocas sem erro, brocas com erro 1, brocas com erro 2, ..., brocas com erro 7), que foi mantida igual para os três materiais.

Materiais - o critério empregado para a ordem de experimentação foi o grau de desgaste que o material provoca na broca de aço-rápido, uma vez que não se deseja ter a influência deste fator (desgaste) nos ensaios. Assim, os materiais foram ensaiados na ordem: alumínio, bronze e, por último, o aço.

Quanto ao número de repetições adotadas em cada experimento, de modo a produzir resultados com boa confiabilidade, não foi encontrado nada claramente definido /27/ /30/ /31/ /32/ /33/. Uma constatação óbvia é que quanto maior o número de repetições executadas por determinado experimento (igualdade de condições), maior a confiabilidade nos resultados obtidos, haja visto que este trabalho exige um número bastante grande de experimentos (elevado número de ferramentas) e ficaria impossível de realizar muitas repetições.

Baseado nestes fatos, juntamente com bom senso, foi adotado o número de 3 (três) repetições para cada situação de ensaio, o que parece, a princípio, satisfazer as necessidades do estudo.

Os resultados finais serão os valores médios obtidos das repetições consecutivas de uma determinada condição de ensaio.

4.1.5 - POSICIONAMENTO DO FURO NO CORPO DE PROVA

A distância estabelecida entre os furos, e entre o furo e a borda do corpo de prova, foi de $0,5D$ (5mm). Para agilizar a operação de reposicionamento da peça para um novo furo, foi confeccionado um gabarito distanciador (figura 43), que garante, com eficiência e rapidez, a distância padrão estabelecida.

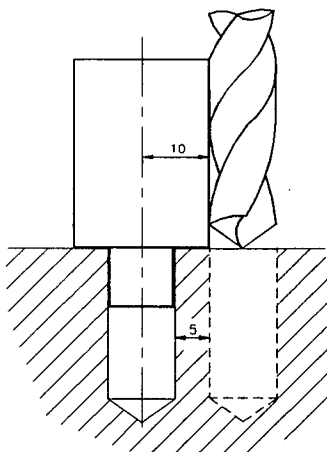


Figura 43 - Peça gabarito de distâncias entre furos

4.1.6 - CODIFICAÇÃO DE IDENTIFICAÇÃO NOS EXPERIMENTOS

Para padronizar e facilitar a identificação das ferramentas e operações de furação foram criadas duas formas distintas de codificação.

Codificação das ferramentas - as ferramentas foram marcadas com três grupos de caracteres que identificam:

- a) ângulo de ponta
- b) tipo de erro
- c) intensidade do erro

Exemplo: 106 - 6C - 04

Ângulo de ponta = 106 graus

Tipo de erro = erro 6 - FDG (forma da guia) chanfro

Intensidade = 0,4mm no gume principal com 15 graus.

Codificação das operações - cada operação realizada recebeu um nome, de forma que os resultados gerados pudessem ser correlacionados para futuras identificações. O nome de cada operação foi composto por 8 (oito) caracteres, divididos em 6 (seis) campos distintos, conforme segue:

NOME = X X X XXX X X

Âng. de ponta	Material	Repetibilidade	Tipo de erro			Intens. do erro		Curvas de:
			PDR	EGT	DAS	1	4	
A = 106°	1 - Alumínio	1 - 1º Furo	PDR	EGT	DAS	1	4	A - Força
B = 118°	2 - Bronze	2 - 2º Furo	DAP	FDG	DAI	2	5	B - Momento
C = 130°	3 - Aço	3 - 3º Furo	AGT	FDQ		3	6	

Exemplo:

B12DAP2 B

B - Broca com ângulo de ponta de 118°

Material usinado - alumínio

Ferramenta - com erro diferença de ponta intensidade 4°

Repetibilidade - 2º furo executado

B - identifica que é nome do arquivo da curva de momento

4.1.7 - GRANDEZAS COLETADAS DURANTE OS ENSAIOS

Os experimentos realizados neste trabalho visam o levantamento de grandezas características das operações de furação em estudo. Conforme estipulado no Capítulo 3 (Item 3.9), estas grandezas não são diretamente determinadas no momento do ensaio. A grande maioria necessita de um trabalho específico para sua determinação. Todas as informações a respeito de um determinado ensaio são apresentadas na planilha do ANEXO III.

No momento da realização do experimento, são gerados quatro tipos de informações:

a) Curva de comportamento da força axial - esta curva , produzida paralelamente a realização do furo, é identificada e armazenada para posterior tratamento.

b) Curva de comportamento do momento torçor - igualmente produzida,é também identificada e armazenada.

c) Forma de cavaco - é determinado, segundo a classificação de NAKAYAMA/26/, através da forma predominante em cada operação. Caso alguma outra forma apareça em volume significativo, paralelamente à forma predominante, esta é anotada em segundo lugar.



Figura 44 - Forma de cavaco segundo a classificação de NAKAYAMA

d) Desvio de circularidade/cilindricidade - estes desvios são medidos após a realização de cada furo. São anotados em posições pré-estabelecidas na planilha, para que, posteriormente, possam ser trabalhados por um programa computacional específico, a ser comentado ainda neste Capítulo (Item 4.5).

As demais grandezas são levantadas após a realização dos ensaios, retiradas das curvas e dos furos, conforme descrito nos próximos sub-capítulos.

4.2 - METODOLOGIA PARA DETERMINAÇÃO DA FORÇA/MOMENTO

Para a determinação dos valores médios das forças e momentos que atuaram nas ferramentas durante a operação de furação foi utilizado um software denominado YARA, especialmente desenvolvido para somar as três curvas geradas (nas três repetições), resultando em uma única curva correspondente ao comportamento médio da força/momento a um determinado par ferramenta/material. Este programa também calcula as curvas de dispersão, valor médio da grandeza, valor de pico máximo, valor de

pico mínimo, desvio padrão e ainda informa o número de oscilações que a grandeza medida sofreu no intervalo de medição. Todas estas informações complementares servem para aumentar o poder de análise dos resultados finais.

A figura 45 mostra, como exemplo, uma curva média de força e sua dispersão, ao longo do tempo de aquisição (tela de saída do programa YARA).

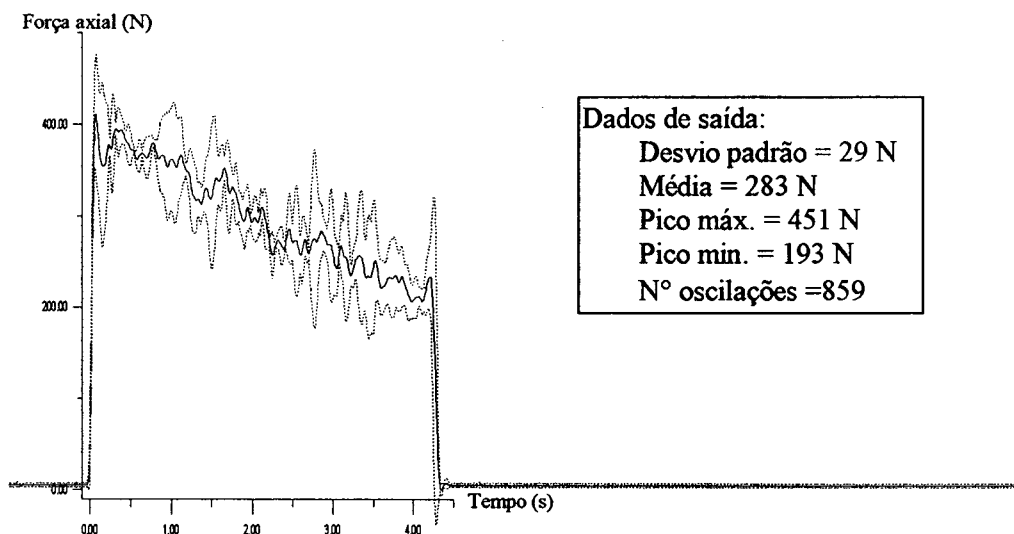


Figura 45 - Tela de saída do programa YARA (ensaio A10DAP1A)

Para todos os ensaios foi estipulado um tempo de aquisição, para a força e momento, de 12,8 segundos, o que implica, pelas características do sistema de aquisição (HP-3562 A), em um armazenamento de 160 pontos por segundo. Este fato é importante pois revela o grau de fidelidade da curva gerada nos experimentos.

4.3 - METODOLOGIA PARA DETERMINAÇÃO DA RUGOSIDADE DA PAREDE DO FURO

Durante a fase de pré-testes foi notada uma variação bastante significativa no valor da rugosidade, em função da posição de medição (distância da borda ao furo). Este fato levou a realização de um estudo específico, para a determinação de um procedimento de medições para a rugosidade, que expressasse, de forma mais fiel possível, um valor para a rugosidade da parede do furo.

Como o equipamento disponível só permite medições no sentido longitudinal ao eixo do furo, a forma encontrada para amenizar o problema da grande dispersão, foi realizar três medições ao longo da parede do furo, em cada terço (no centro do terço) da profundidade, em uma mesma linha de medição (figura 46). O valor final da rugosidade da parede do furo é a média aritmética destas três medições. Como cada broca realiza três repetições com cada condição de usinagem, o valor final da rugosidade será dado pela média final dos três furos executados.

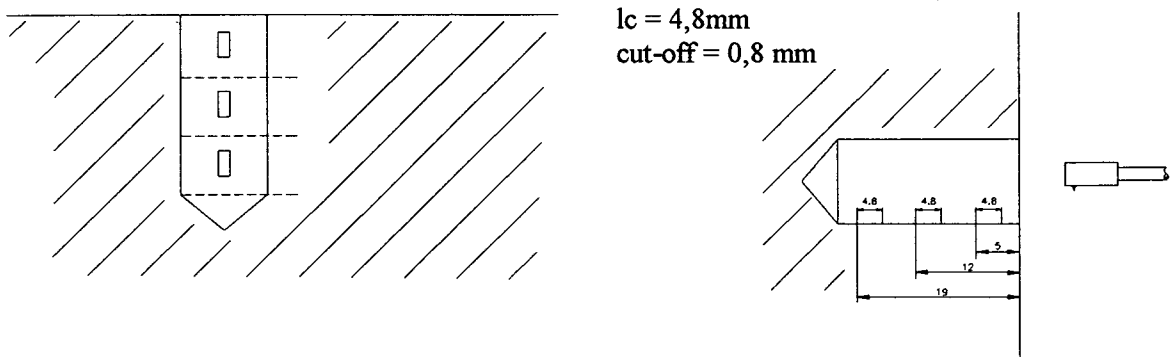


Figura 46 - Posições das regiões de medição da rugosidade nos furos

4.4 - METODOLOGIA PARA DETERMINAÇÃO DO DIÂMETRO MÉDIO

Para a determinação do diâmetro médio do furo foram realizadas três medições, com micrômetro apropriado, onde o valor final foi obtido da média aritmética destas medições. As medições foram efetuadas em uma mesma profundidade, a 4mm da borda, variando apenas a posição angular dos apalpadores do micrômetro (aproximadamente 40 graus).

4.5 - METODOLOGIA PARA DETERMINAÇÃO DA CIRCULARIDADE/CILINDRICIDADE

Após a medição dos desvios radiais, no furo a ser avaliado, conforme descrito no sub capítulo 3.13, os valores foram ordenadamente introduzidos no programa CIRCIL que calcula os desvios de

circularidade e cilindridade do referido furo. O método empregado para o cálculo de cada um dos desvios pode ser resumidamente descrito:

Circularidade - Para a determinação do desvio de circularidade foram utilizados os valores das variações radiais medidas no plano mais próximo à borda distante 2mm da borda. O dispositivo de medição foi zerado no ponto “zero” deste plano e a partir deste, foram realizadas todas as medições das variações radiais. Com estes valores, o programa transforma as variações radiais em coordenadas cartesianas e determina a circunferência que melhor se adapta a estes pontos, através das equações:

$$(x - x_c)^2 + (y - y_c)^2 = R^2 \quad (7)$$

$$x^2 + y^2 = 2 \cdot x \cdot x_c + 2 \cdot y \cdot y_c + 2 \cdot z \quad (8)$$

$$2 \cdot z = R^2 - x_c^2 - y_c^2 \quad (9)$$

$$C = \begin{bmatrix} x_1^2 + y_1^2 \\ x_2^2 + y_2^2 \\ \vdots \\ x_n^2 + y_n^2 \end{bmatrix} \quad B = 2 \begin{bmatrix} x_1 & y_1 & 1 \\ x_2 & y_2 & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ x_n & y_n & 1 \end{bmatrix} \quad A = \begin{bmatrix} x_c \\ y_c \\ z \end{bmatrix} \quad (10)$$

$$C = B \cdot A \quad (11)$$

$$A = (B^T \cdot B)^{-1} \cdot B^T \cdot C \quad (12)$$

Desta forma, determina-se o centro teórico e o raio médio. O desvio de circularidade é obtido pela diferença radial entre os pontos mais internos e mais externos à circunferência média calculada.

Cilindridade - Para a determinação do desvio de cilindridade utiliza-se mais um plano (distante 12mm da borda), de modo que o dispositivo de medição possa realizar mais uma série de medições numa outra profundidade, mantendo o referencial inicial. Utilizando-se agora os valores medidos nos dois planos, estes são sobrepostos e do mesmo modo anterior, é calculada a circunferência média. O valor do desvio de cilindridade é obtido pela diferença radial entre o ponto mais interno e mais externo a circunferência média.

A norma ABNT NBR 6409 define que o erro de cilindridade é a diferença de raios entre dois cilindros coaxiais que contém a superfície analisada, sem fixar o eixo dos cilindros. Neste método, o cálculo do desvio de cilindridade fixa o eixo de rotação da árvore como referência das medidas. Por esta razão o método determina os “desvios” e não os “erros”.

O programa CIRCIL tem como entrada o número de planos medidos, número de medições em cada plano, as variações radiais medidas em cada um dos pontos e o raio nominal do furo analisado. Com estes dados são realizados os cálculos acima citados.

Esta metodologia sofreu sistemáticas avaliações, obtendo-se resultados tecnicamente satisfatórios com dois planos e a medição de doze pontos em cada plano (figura 42). Quanto maior o número de pontos e o número de planos medidos, menor a incerteza dos valores obtidos, porém mais trabalhosa se torna a medição (o que pode inviabilizar sua utilização).

Um aspecto importante a ser salientado é que a utilização desta sistemática só foi empregada com segurança, porque a ordem de grandeza dos resultados gerados por este método ficaram em torno de dez vezes maior que os erros produzidos pelo sistema. Este fato valida seu emprego dentro deste trabalho.

4.6 - PROGRAMAS COMPUTACIONAIS DE APOIO

Os recursos computacionais cada vez mais auxiliam no desenvolvimento experimental dos trabalhos, contribuindo de forma significativa na melhora da qualidade dos resultados obtidos. Contando com o apoio do Centro de Processamento de Dados do LMP foram desenvolvidos programas para aplicações específicas deste trabalho, como também foram utilizados programas já desenvolvidos em trabalhos anteriores.

Ao longo de todas as etapas deste trabalho, foram utilizados os seguintes programas:

-FLOW - Programa desenvolvido para gerenciar o trabalho de aquisição das curvas de comportamento da força e do momento no analisador de sinais(HP-3562 A). Seu acionamento é automático, feito por um "trigger"gerado no momento de início da usinagem, através da força axial /34/.

-HP - Programa desenvolvido para transferir os dados capturados pelo analisador de sinais para o microcomputador. Simultaneamente permite nomear os arquivos de dados, armazenando-os no disco rígido para uma futura utilização /34/.

-SADA - Programa desenvolvido para efetuar uma análise das curvas de comportamento da força e do momento, permitindo a obtenção de valores característicos destas variáveis /34/.

-YARA - Programa desenvolvido para integrar as três curvas geradas pelas três repetições dos ensaios, reproduzindo a curva média de comportamento desta variável, bem como as curvas de dispersão, o desvio padrão, os valores máximo e mínimo, e as oscilações sofridas pela variável no intervalo de tempo estipulado /34/.

-CIRCIL - Programa desenvolvido para calcular a circularidade e cilindridade a partir dos desvios medidos no furo, no momento da furação. Este programa, juntamente com o método utilizado neste trabalho, foram devidamente testados e avaliados através dos resultados obtidos nos equipamentos do Laboratório de Metrologia (CERTI). Os resultados obtidos foram satisfatórios dentro das limitações deste método /34/.

4.7 - VARIÁVEIS NÃO CONTROLADAS DURANTE OS EXPERIMENTOS

Apesar de todos os esforços no sentido de reduzir as variáveis atuantes durante a realização dos experimentos (tentativa de reduzir as influências externas) existem algumas que não puderam sofrer controle, de modo que seus valores variaram ao longo dos ensaios. Entre estas variáveis podem ser citadas: a temperatura, que permaneceu entre 24 e 27°C, a umidade relativa do ar, que esteve entre 49 e 65%, e a tensão de alimentação da rede elétrica.

CAPÍTULO 5

ANÁLISE DOS RESULTADOS

5.1 - GENERALIDADES

Com o grande número de informações geradas tornou-se necessário o desenvolvimento de uma sistemática para realizar a análise dos resultados obtidos (figura 47). Esta sistemática teve por objetivo facilitar a retirada de informações concretas dos diversos grupos de resultados e também possibilitar uma boa contabilidade nestas informações.

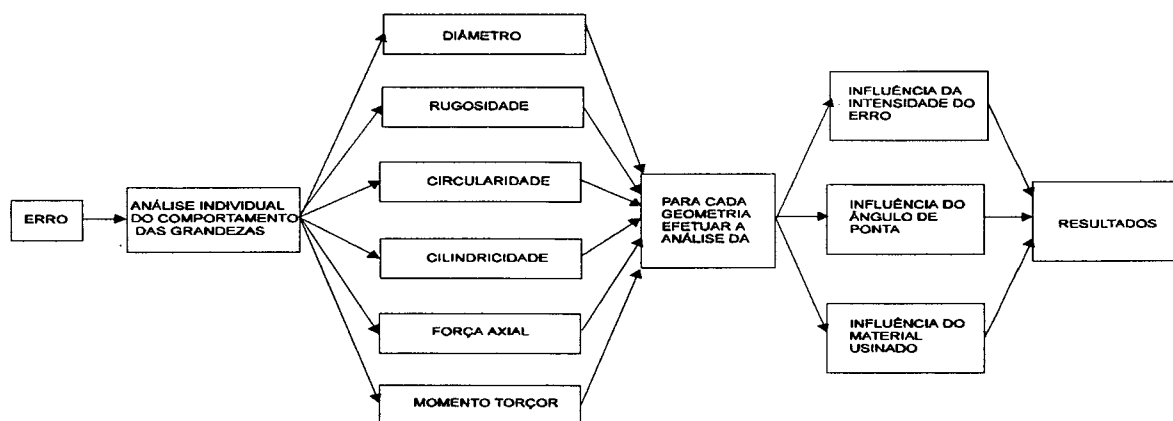


Figura 47 - Fluxograma da sistemática empregada para análise dos resultados

Para restringir a análise dentro dos objetivos do trabalho foram feitas as seguintes considerações:

- As grandezas foram analisadas individualmente, isto é, foram avaliadas isoladamente a influência de cada tipo de erro em cada uma das grandezas de saída;
- Durante a análise foram considerados os valores médios finais de cada grandeza;

- A análise foi desenvolvida de forma comparativa, isto é, foram gerados resultados com brocas afiadas de acordo com a norma ABNT NBR 6167 (afiação normal) e estes resultados foram tomados como referência para avaliar o comportamento das brocas com erros;

- No levantamento das grandezas de referência foram determinadas as faixas de dispersão de cada grandeza, de forma a possibilitar uma análise confiável;

- Para efeito de erro nas brocas foram considerados somente o erro induzido intencionalmente nas brocas, embora evidenciado que a reprodução de vários destes erros estudados acarretem outras alterações geométricas.

5.2 - ANÁLISE DA DISPERSÃO DAS GRANDEZAS DE REFERÊNCIA

Para o cálculo da dispersão das grandezas de referência foi adotada a probabilidade de 88%. Embora o número de experimentos realizados, para gerar cada grandeza de referência, tenha sido pequeno ($n = 3 \times 3 = 9$), com a determinação da dispersão torna-se possível avaliar o comportamento das referidas grandezas com baixo fator de incerteza.

Através da análise da figura 48, onde é mostrado o comportamento médio de cada grandeza e suas respectivas faixas de dispersão em função dos ângulos de ponta, pode-se observar:

Diâmetro: o alumínio apresentou a maior dispersão, mostrando uma tendência de diminuição da dispersão para os maiores ângulos de ponta. O bronze apesar de pequena dispersão, mostrou um aumento da dispersão com o aumento do ângulo de ponta. No aço nota-se uma baixa dispersão sem nenhuma tendência.

Rugosidade: pode-se observar uma grande dispersão nos três materiais sem nenhuma tendência. O aço apresentou a maior variação desta grandeza.

Desvio de circularidade: esta grandeza apresentou uma grande dispersão nos três materiais, sendo que o aço apresentou uma menor variação.

Desvio de cilindricidade: a grandeza apresentou uma grande dispersão nos três materiais, porém o aço apresentou uma grande elevação na dispersão para brocas com ângulo de ponta de 118° .

Força axial e momento torçor: o alumínio e o bronze apresentaram uma baixa dispersão nas duas grandezas. No aço ocorreu uma grande dispersão, mas pode-se perceber uma significativa redução na dispersão para as brocas com ângulo de ponta de 118°

Estas curvas e suas respectivas dispersões formam a base (referência) para a análise dos demais resultados. Através da comparação do comportamento de cada uma das grandezas torna-se possível avaliar as influências dos erros em cada grandeza. Para facilitar o acompanhamento do leitor durante a análise dos demais resultados, no ANEXO VI consta uma transparência com as curvas de referência e suas respectivas dispersões. Sobrepondo esta transparência nas curvas geradas pelo erro a ser analisado pode-se verificar o comportamento sofrido pelas grandezas.

Para todas as curvas foi utilizada a seguinte legenda:

- = curva de resultados Alumínio 2011-T3
- ▲— = curva de resultados Bronze TM-23
- ×— = curva de resultados Aço ABNT 1020
- = curva de limite de dispersão da medição

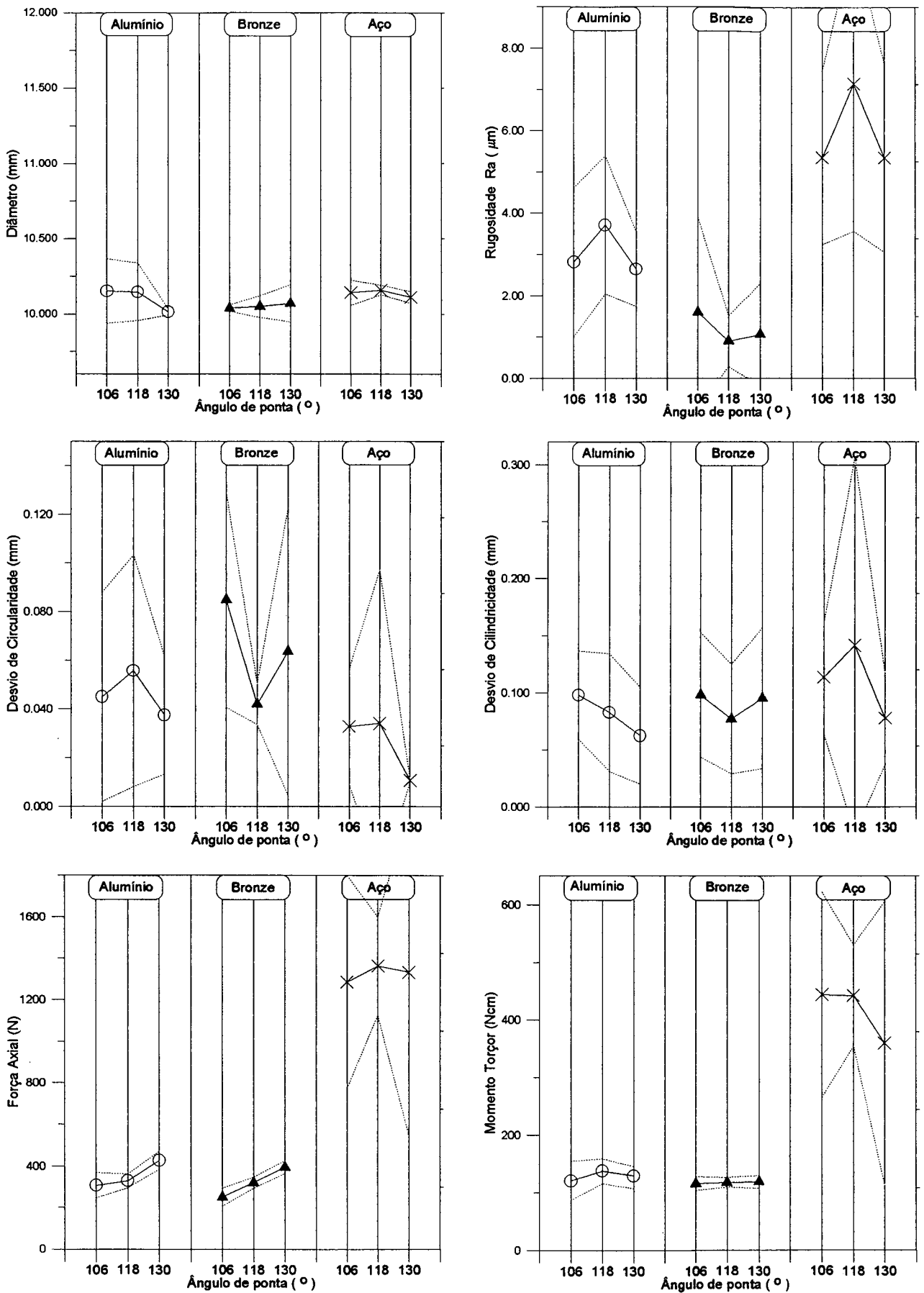


Figura 48 - Curvas das grandezas de referência

5.3 - INFLUÊNCIA DA ASSIMETRIA NO ÂNGULO DE PONTA (DAP)

A assimetria no ângulo de ponta foi obtida através da mudança de inclinação de apenas um dos gumes cortantes (figura 33) em brocas com afiação normal. Esta alteração geométrica produziu os resultados apresentados na figura 49. Através de uma comparação destes valores com os resultados de referência pode-se observar:

Diâmetro - Apresentou um aumento no seu valor nominal com o aumento da intensidade do erro. Este comportamento se manifesta nos três materiais e nos três ângulos de ponta.

Rugosidade - Como os resultados obtidos com este tipo de erro estão dentro da faixa de dispersão dos valores de referência, não é possível detectar algum tipo de influência.

Desvio de Circularidade - apresentou um comportamento bastante irregular, não evidenciando nenhuma tendência. O que pode ser observado como consequência deste tipo de erro foi uma instabilidade no valor nominal da circularidade em todas as situações.

Desvio de Cilindricidade - Nesta grandeza a única influência evidenciada foi no bronze, onde nos três ângulos de ponta observou-se um aumento da cilindridade com o aumento da intensidade do erro. Nos outros materiais os valores ficaram dentro da faixa de dispersão, o que não permite a observação de influência.

Força Axial - Através do comportamento apresentado pode ser evidenciado que este tipo de erro não afeta os valores da força axial.

Momento Torçor - Os resultados obtidos apresentaram-se dentro das faixas de dispersão, porém com uma pequena oscilação. Este comportamento não permite observar influência, mas mostra a ocorrência de pequena perturbação.

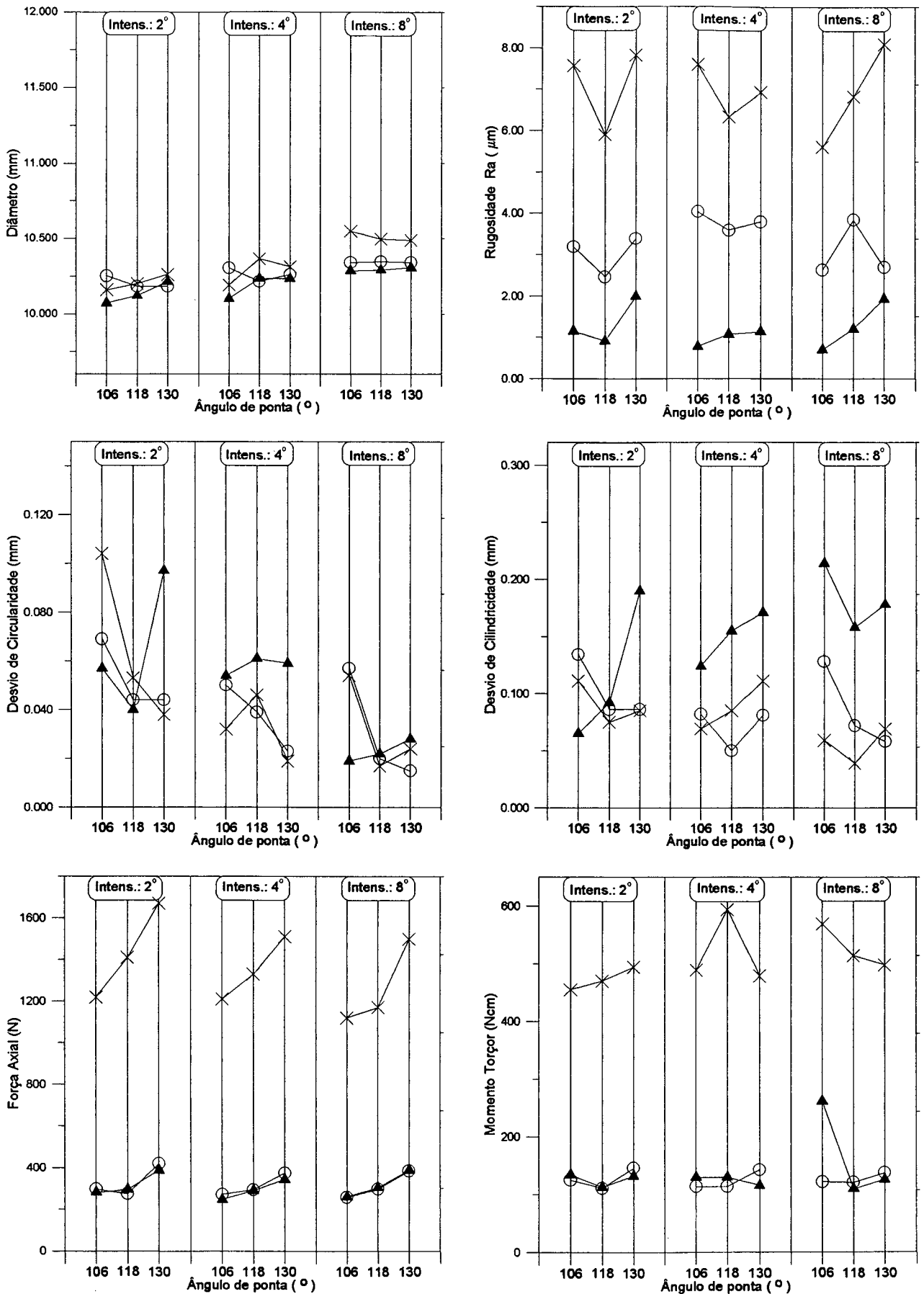


Figura 49 - Curvas geradas pelo erro DAP

5.4 - INFLUÊNCIA DA ASSIMETRIA NOS ÂNGULOS DO GUME TRANSVERSAL (AGT)

A assimetria nos ângulos do gume transversal foi obtida através de um aumento de apenas um dos ângulos do gume transversal (figura 34) em brocas com afiação normal. Esta alteração produziu os resultados mostrados na figura 50. Aplicando a mesma sistemática anterior pode-se observar:

Diâmetro - Apesar de apresentar pequena influência, pode-se perceber um aumento no diâmetro com o aumento da intensidade do erro. Este comportamento ocorreu nos três materiais.

Rugosidade - Não é possível perceber nenhuma influência pois os valores produzidos por este tipo de erro encontraram-se dentro das faixas de dispersão.

Desvio de Circularidade - Esta grandeza não apresentou uma influência definida, mas de um modo geral, pode ser observado que este tipo de erro provocou um aumento da circularidade. Este aumento foi mais pronunciado nas brocas com maiores ângulos de ponta.

Desvio de Cilindricidade - Do mesmo modo não foi possível observar uma influência definida. O que pode ser percebido para o alumínio é que este tipo de erro provocou uma elevação na cilindridade para as brocas com menores ângulos de ponta.

Força Axial - Pode ser observado que os valores da força axial não sofreram influência deste tipo de erro.

Momento Torçor - O momento torçor não apresentou nenhuma influência definida. O que pode ser percebido para o bronze e o aço foi uma pequena oscilação desordenada nos valores do momento. No alumínio observou-se que este tipo de erro provocou uma leve redução no momento para os maiores ângulos de ponta.

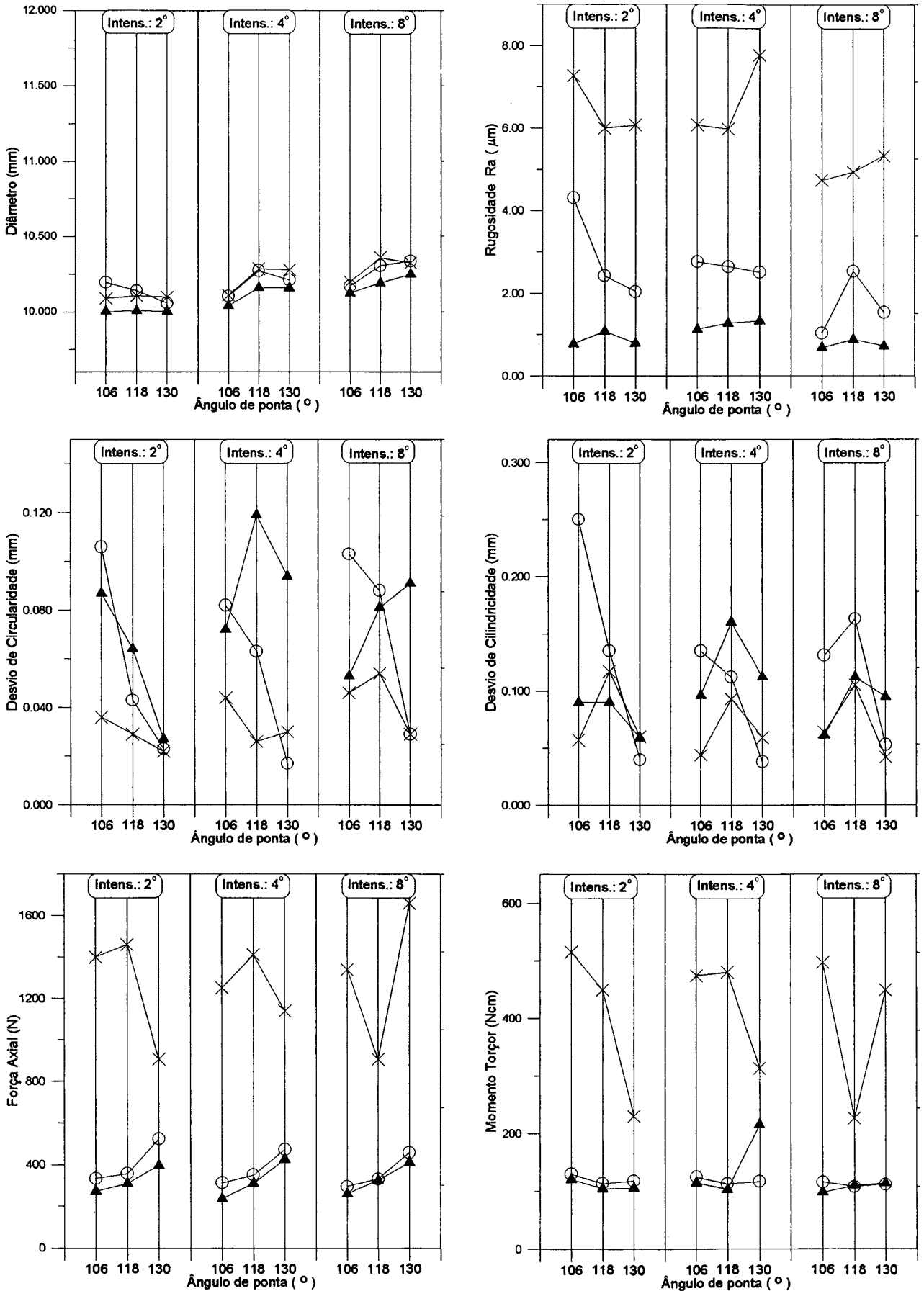


Figura 50 - Curvas geradas pelo erro AGT

5.5 - INFLUÊNCIA DA EXCENTRICIDADE DO GUME TRANSVERSAL (EGT)

Este tipo de erro foi obtido através do deslocamento paralelo de um dos gumes de corte, provocando a redução assimétrica do gume transversal (figura 35). A execução destas alterações, do mesmo modo que os casos anteriores, foi realizada em brocas com afiação normal. Através da análise dos resultados produzidos (figura 51) pode-se observar:

Diâmetro - Nesta grandeza pode-se claramente evidenciar a grande influência deste tipo de erro. O aumento da intensidade do erro provocou um aumento no diâmetro.

Rugosidade - Os resultados não permitem definir uma influência, mas pode ser observada, no alumínio e no bronze, uma tendência de aumento da rugosidade com o aumento da intensidade do erro.

Desvio de Circularidade - Com a grande oscilação desordenada dos valores produzidos por este tipo de erro, não foi possível observar influências.

Desvio de Cilindricidade - Quanto a cilindridade, pode-se observar que no alumínio os valores nominais desta grandeza foram aumentados pela ocorrência do erro, porém não foi evidenciada nenhuma relação. No bronze percebe-se também um aumento da cilindridade, mas de intensidade menor, sem manifestar relação. Para o aço, não foi possível nenhuma análise pois os valores estão dentro da faixa de dispersão.

Força Axial - Nesta grandeza, o único material que apresenta uma influência perceptível, foi o alumínio. Os resultados mostraram que, para o alumínio, a força axial aumenta para um aumento da intensidade deste tipo de erro. Isto ocorreu nos três ângulos de ponta.

Momento Torçor - Com os resultados gerados por este tipo de erro, não foi possível notar alguma influência evidente. O que pode ser percebido foi que no alumínio apareceu uma tendência de aumento do momento torçor com o aumento da intensidade do erro. Também pode ser observado para o bronze um elevado aumento do momento torçor nas brocas com ângulos de ponta de 106° a 118° , porém nada pode ser concluído.

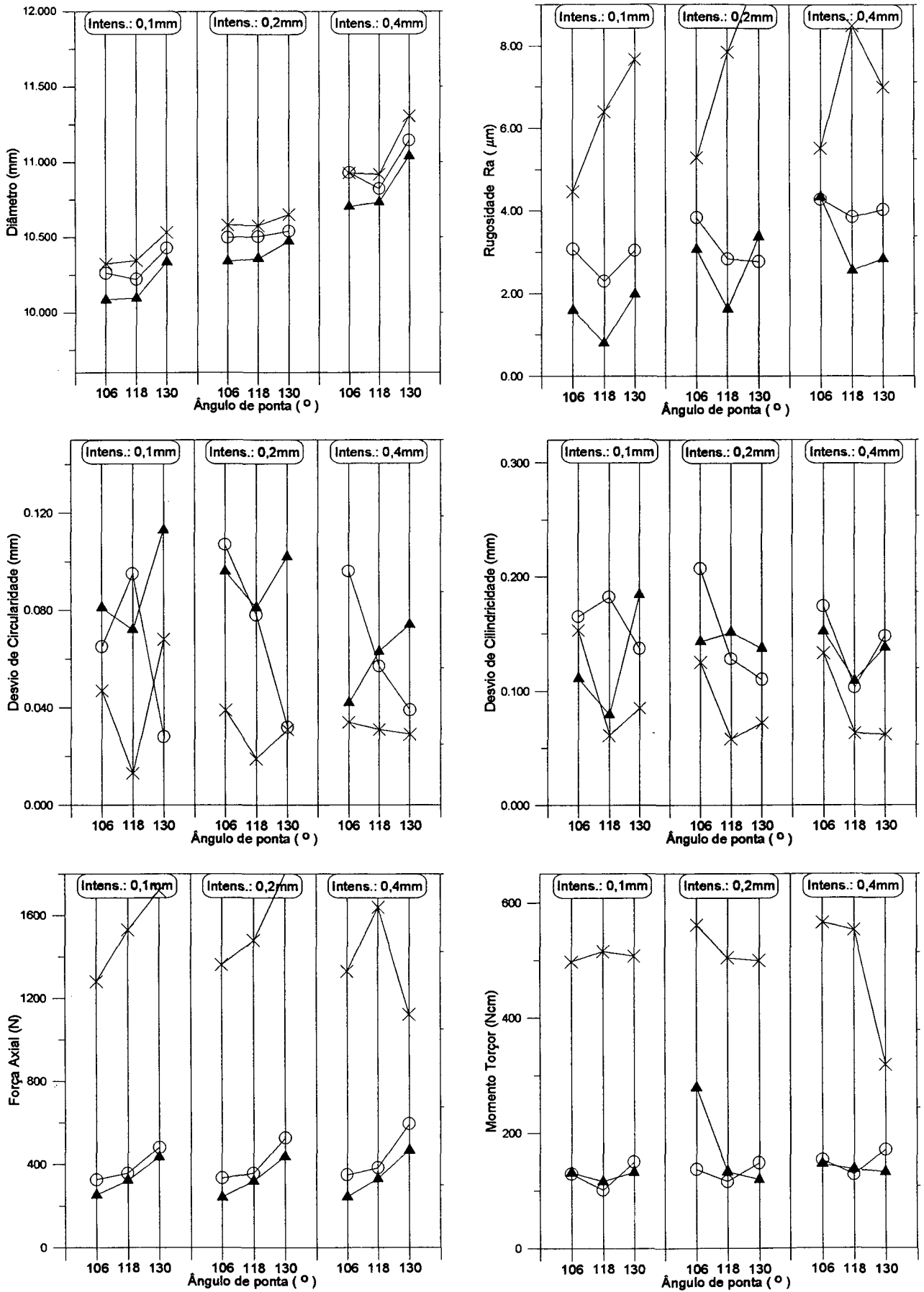


Figura 51 - Curvas geradas pelo erro EGT

5.6 - INFLUÊNCIA DA ASSIMETRIA NOS ÂNGULOS DE INCIDÊNCIA (DAI)

A assimetria nos ângulos de incidência foi obtida através do aumento do ângulo de incidência de apenas uma das cunhas de corte da broca (figura 36). Esta alteração foi realizada em brocas com afiação normal. Com a análise dos resultados obtidos (figura 52) pode-se observar:

Diâmetro - Não foi possível observar influência evidente, porém consegue-se perceber uma leve tendência de aumento do diâmetro com o aumento da intensidade do erro, isto para os três materiais.

Rugosidade - No alumínio e no aço não é possível detectar nenhuma influência. No bronze pode ser observado um pequeno aumento da rugosidade com o aumento da intensidade do erro, para os três ângulos de ponta.

Desvio de Circularidade - O único material que permite evidenciar uma influência é o alumínio, que apresentou um aumento praticamente igual da circularidade em todas as intensidades do erro. Isto mostra que este erro afetou a circularidade, porém sem indicar a relação. No bronze e no aço os resultados tiveram uma oscilação desordenada, acusando uma perturbação sem mostrar tendências.

Desvio de Cilindricidade - Nesta grandeza, consegue-se perceber, no alumínio e no bronze, sendo que mais pronunciado no alumínio, que ocorreu um aumento da cilindridade nas brocas com ângulos de ponta menores. Este aumento se apresentou inversamente proporcional a intensidade deste tipo de erro. No aço não foi possível retirar conclusões.

Força Axial - Não percebeu-se nenhuma influência.

Momento torçor - A única influência percebida foi no bronze, onde pode ser notado uma pequena elevação no valor nominal do momento torçor em todos os ângulos de ponta. Este aumento do momento foi irregular, mas manteve-se dentro de uma mesma faixa em todas as intensidades.

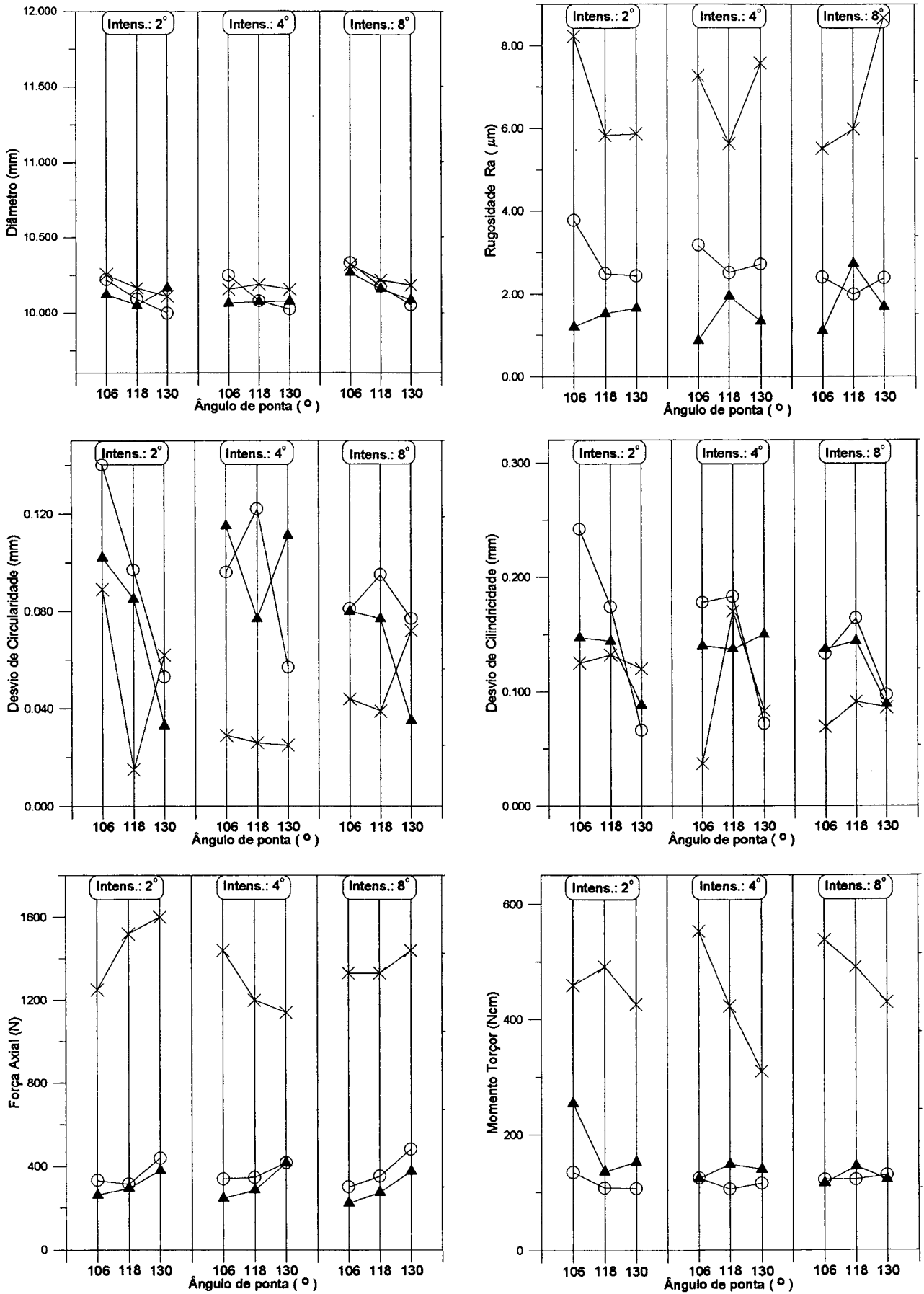


Figura 52 - Curvas geradas pelo erro DAI

5.7 - INFLUÊNCIA DA ASSIMETRIA NOS ÂNGULOS DE SAÍDA (DAS)

A assimetria nos ângulos de saída foi obtida através do aumento do ângulo de saída de apenas uma das cunhas de corte da broca (figura 37) sendo estas alterações realizadas em brocas com afiação normal. Devido a limitações técnicas, o procedimento para obter este tipo de erro está descrito no CAPÍTULO 3. Através da análise dos resultados gerados (figura 53) pode-se observar:

Diâmetro - Não foi possível detectar influência deste tipo de erro, pois os valores se apresentaram numa mesma faixa em todas as situações.

Rugosidade - Também nesta grandeza não foi possível nenhuma conclusão, pelo mesmo motivo apresentado no caso do diâmetro.

Desvio de Circularidade - Os resultados obtidos mostraram que a ocorrência de uma perturbação ocasionou um comportamento irregular dos resultados não permitindo nenhuma conclusão. Este efeito foi evidenciado nos três materiais.

Desvio de Cilindricidade - Os resultados se apresentaram dentro de uma mesma faixa de valores, impedindo alguma conclusão.

Força Axial - Mesmo caso anterior.

Momento Torçor - Mesmo caso anterior.

Um aspecto a ser apontado neste tipo de erro é que devido as limitações técnicas dos equipamentos disponíveis, as intensidades ensaiadas foram em número de duas (número inferior aos demais erros). Para efeito de análise comparativa foi produzida uma ferramenta específica, conforme CAPÍTULO 3.

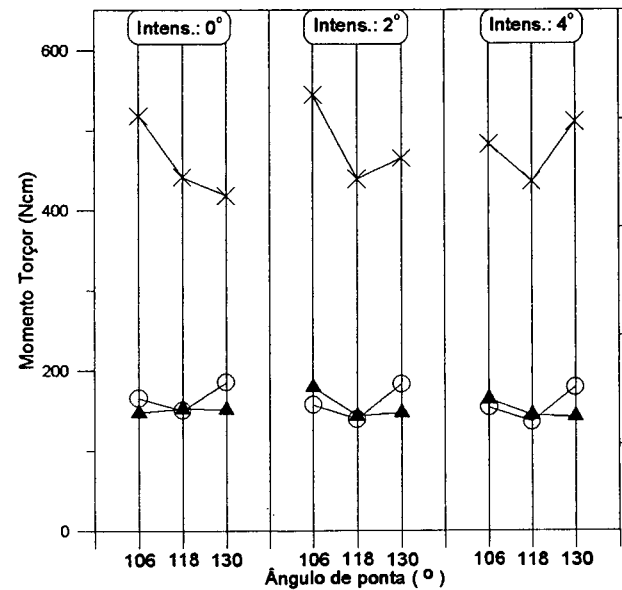
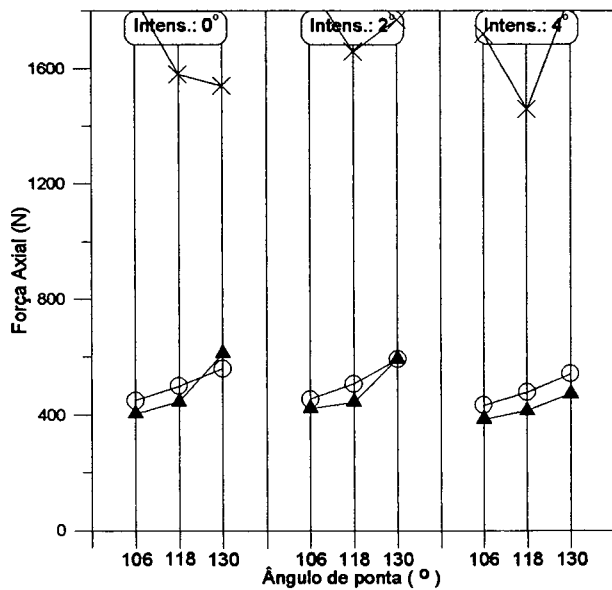
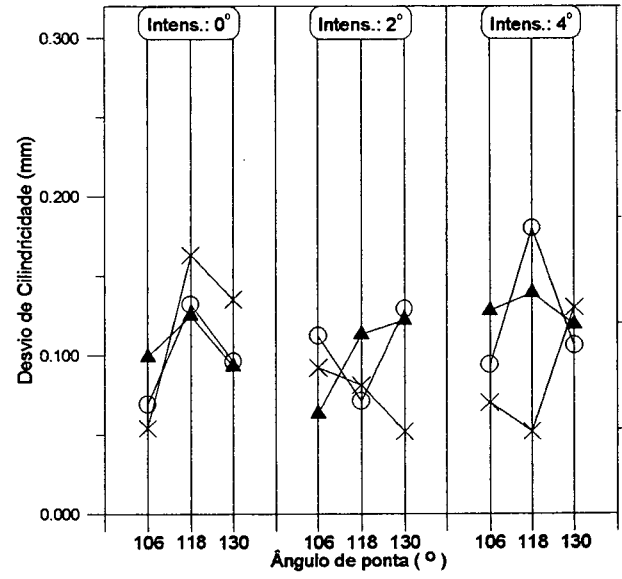
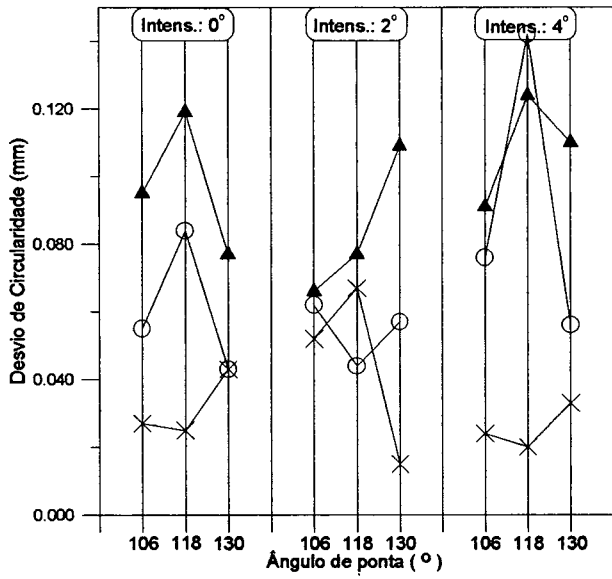
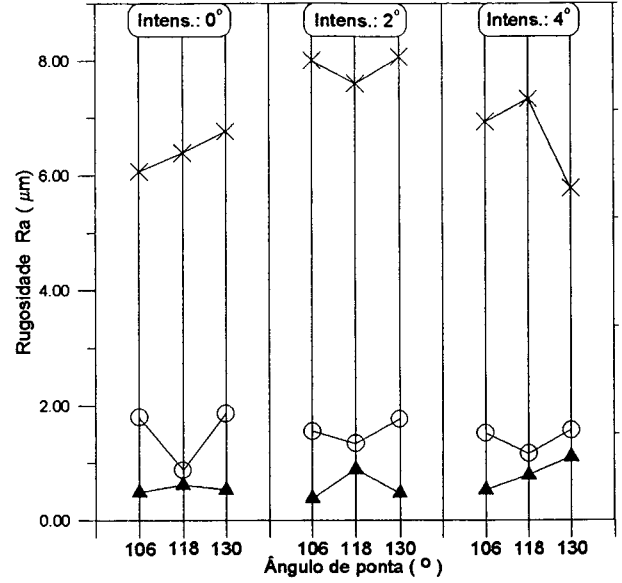
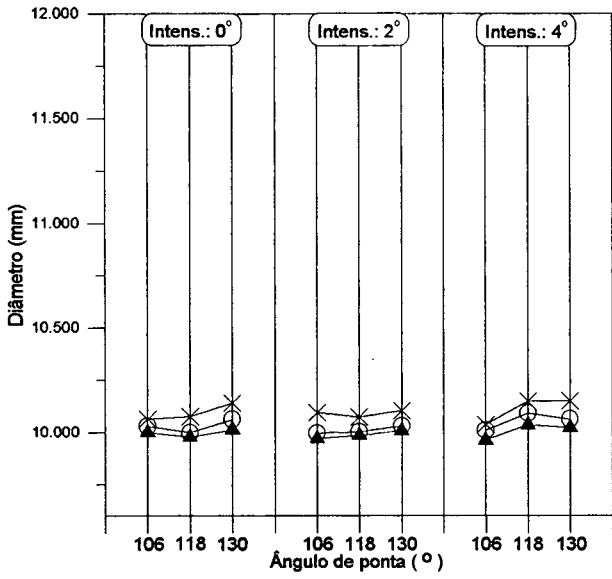


Figura 53 - Curvas geradas pelo erro DAS

5.8 - INFLUÊNCIA DA ASSIMETRIA NA FORMA DA GUIA (FDG)

A assimetria na forma da guia foi obtida alterando-se a forma de apenas uma das guias. Para isso foram utilizadas as formas tipo chanfro e tipo raio (figura 38). Estas alterações foram realizadas em brocas com afiação normal. Através da análise dos resultados gerados (figura 54 e 55), pode-se observar:

Diâmetro - Nas duas formas de guia estudadas (chanfro e raio), o comportamento desta grandeza não permitiu observar influência deste tipo de erro.

Rugosidade - Pela mesma razão apresentada para o diâmetro, os resultados ficaram dentro das faixas de dispersão, não sendo possível perceber alguma influência. O fato que pode ser observado para a forma tipo raio, é que no alumínio os valores da rugosidade apresentaram uma maior variação para os erros de intensidade maior.

Desvio de Circularidade - Esta grandeza apresentou resultados mostrando uma oscilação desordenada, nas duas formas estudadas e nos três materiais. Este fato indica que este tipo de erro produz uma perturbação nesta grandeza. Um fato que pode também ser percebido foi a ocorrência de uma maior variação dos resultados na menor intensidade.

Desvio de Cilindricidade - Também nesta grandeza não foi possível perceber uma influência evidente. Pode ser observado para o alumínio, que na forma tipo chanfro houve uma tendência de elevação da cilindridade com igual intensidade em todos os níveis de erro. Na forma tipo raio, pode-se perceber esta mesma elevação, porém com uma tendência de aumento para as intensidades de erro maiores.

Força Axial - Nesta grandeza não observou-se influência deste tipo de erro.

Momento Torçor - Os resultados não permitiram a observação de alguma influência. O que pode ser percebido na forma tipo raio, para o alumínio, foi uma leve tendência a diminuição do momento torçor com o aumento da intensidade do erro.

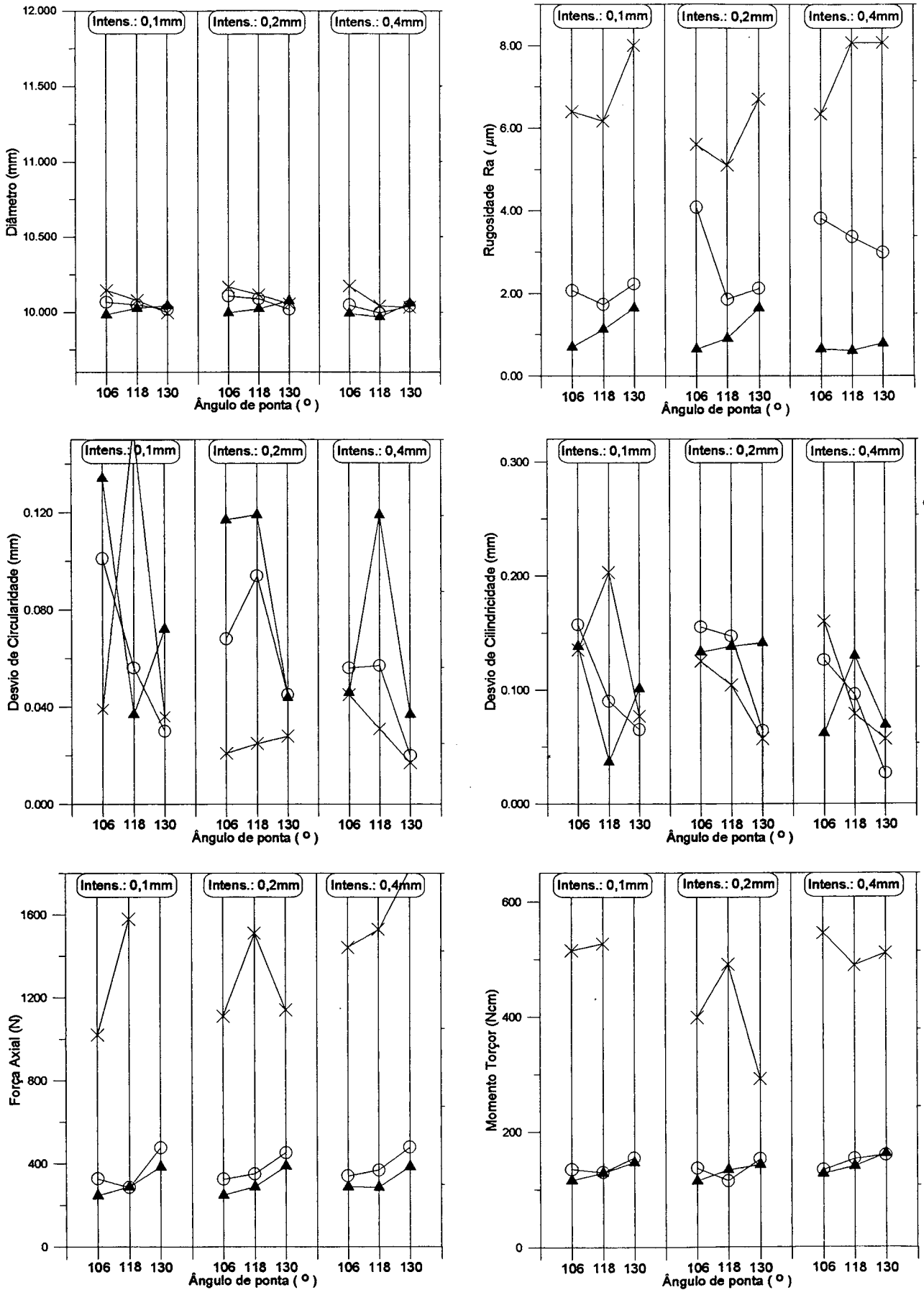


Figura 54 - Curvas geradas pelo erro FDG - chanfro

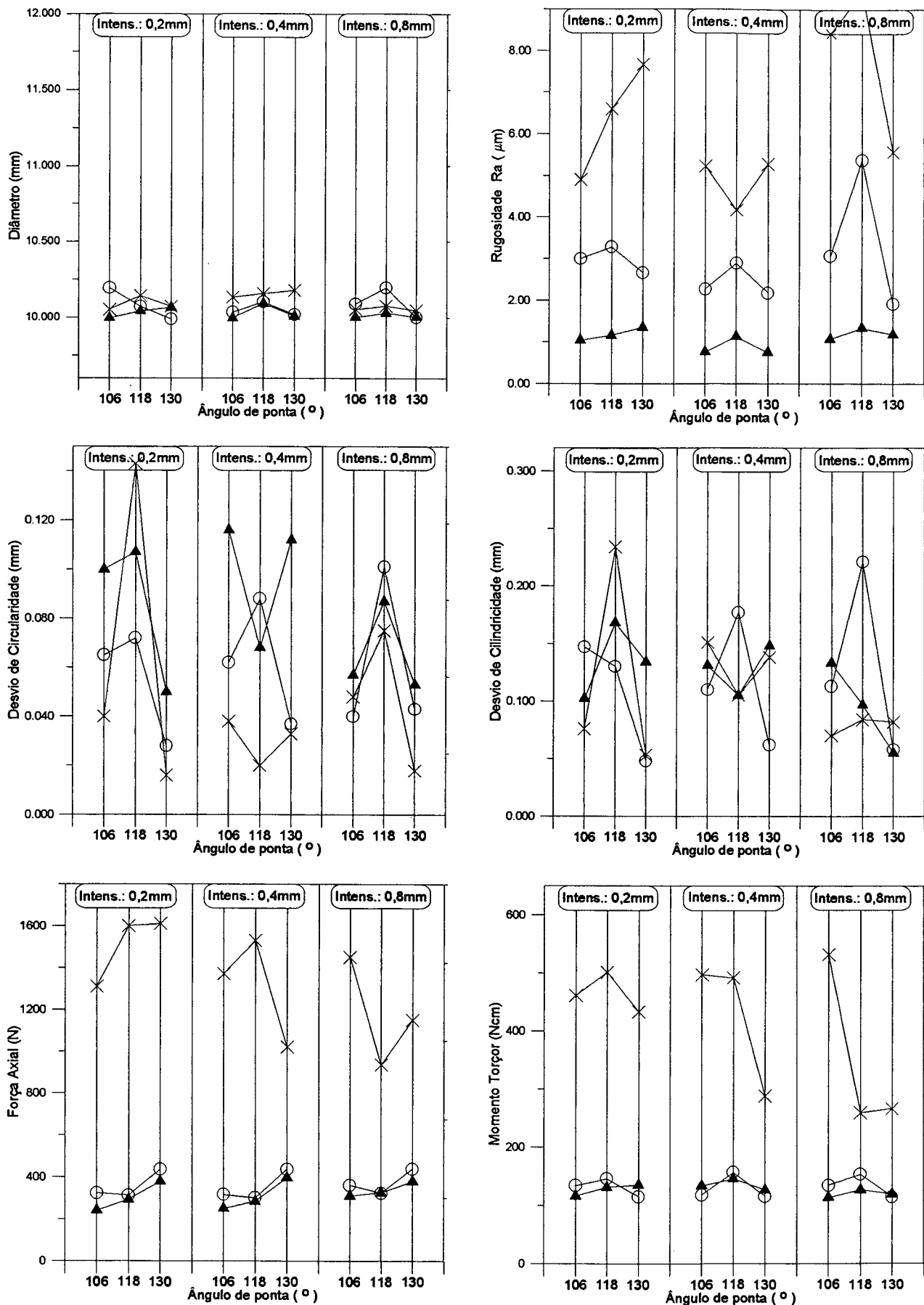


Figura 55 - Curvas geradas pelo erro FDG - raio

5.9 - INFLUÊNCIA DA ASSIMETRIA NA FORMA DA QUINA (FDQ)

A assimetria na forma da quina foi obtida alternando-se a forma de apenas uma das quinas da broca, utilizando para isto foi utilizado as formas tipo chanfro e tipo raio (figura 39). Estas alterações foram realizadas em brocas com afiação normal. Através da análise dos resultados (figuras 56 e 57) pode-se observar:

Diâmetro - Não foi possível observar alguma influência, uma vez que os resultados ficaram dentro da faixa de dispersão, para os dois tipos de forma.

Rugosidade - Os resultados apresentaram oscilações, mas sem indicar uma tendência definida. Este comportamento foi observado em todas as intensidades do erro, nos três materiais e para os dois tipos de forma.

Desvio de Circularidade - Os valores obtidos com este tipo de erro não permitem evidenciar uma relação de influência. O que pode ser observado nos dois tipos de forma e nos três materiais foi a ocorrência de uma forte perturbação na circularidade provocada por este tipo de erro .

Desvio de Cilindricidade - Esta grandeza sofreu um efeito idêntico a circularidade isto é, sofre uma perturbação nos resultados gerados por este tipo de erro. Fora este comportamento aleatório não foi possível evidenciar outra influência.

Força Axial - Também nesta grandeza não foi possível perceber nenhuma influência, em nenhum dos casos. O que pode ser observado é que para o aço, a forma tipo chanfro provocou uma maior variação da força axial em função do ângulo de ponta, para as três intensidades do erro. Já na forma tipo raio, esta variação foi bastante reduzida.

Momento Torçor - Os resultados não apresentaram uma influência definida. Porém, para o alumínio e o bronze, pode-se perceber nos dois tipos de forma que ocorreu um aumento no momento torçor gerado por este tipo de erro. Este aumento não apresentou nenhuma relação definida com a intensidade do erro e nem com o ângulo de ponta.

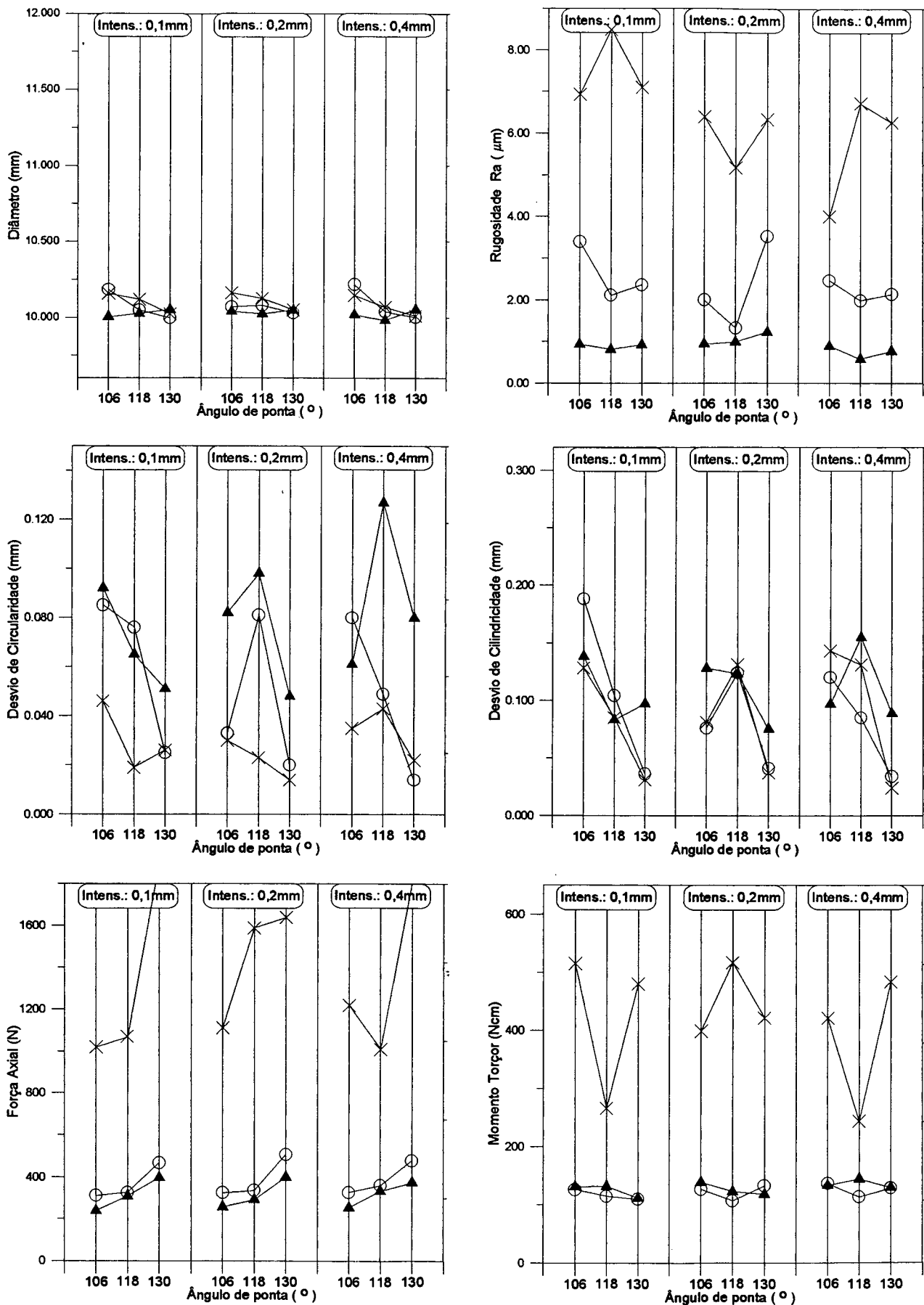


Figura 56 - Curvas geradas pelo erro FDQ - chafro

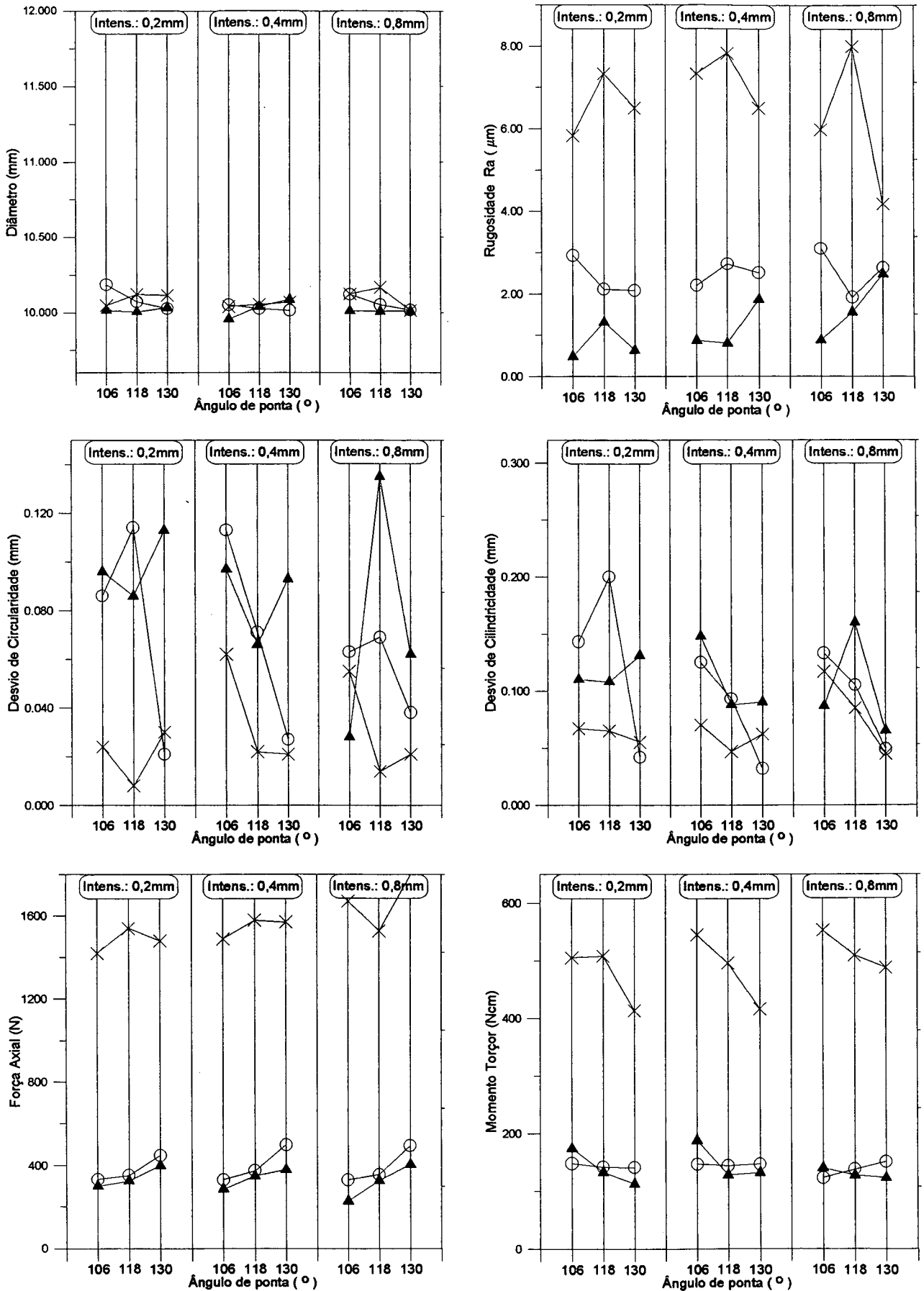


Figura 57 - Curvas geradas pelo erro FDQ - raio

SÍNTESE DOS RESULTADOS FINAIS

ERRO GRANDEZA	1. DAP	2. AGT	3. EGT	4. DAI	5. DAS	6. FDG		7. FDQ	
						chanfro	raio	chanfro	raio
Diâmetro	◼ ◊ ▲ ↑	◻ ↑ ◊ △	◼ ↑ ◊ ▲	◻ ↑ ◊ △	?	?	?	?	?
Rugosidade	?	?	◻ ↑ ◊ △	△ ↑	?	?	◊ ?	◻ ? ◊ △	◻ ? ◊ △
Desvio de Circularidade	◼ ? ◊ ▲	◻ ↑ ◊ △	◼ ? ◊ ▲	◊ ↑	◻ ? ◊ △	◼ ? ◊ ▲	◼ ? ◊ ▲	◼ ? ◊ ▲	? ▲
Desvio de Cilindricidade	△ ↑	◻ ↑ ◊	◻ ↑ ◊ △	◻ ↑ ◊ △	◻ ? ◊ △	◊ ↑	◊ ↑	◼ ? ◊ ▲	? ▲
Força Axial	Não	Não	◊ ↑	Não	?	Não	Não	◼ ?	?
Momento Torçor	◻ ? ◊ △	◻ ? ◊ △	◻ ? ◊ △	△ ↑	?	?	◊ ↓	◊ ▲ ↑	◊ ▲ ↑

Legenda:

	Aço	Alumínio	Bronze
Elevada Perturbação	◼	◊	▲
Média Perturbação	◻	◊	△
Baixa Perturbação	◻	◊	△

Aumento Proporcional ao Erro	Diminuição Proporcional ao Erro	Não foi possível avaliar	Não apresentou alteração
↑	↓	?	Não

5.10 - CONSIDERAÇÕES COMPLEMENTARES

Durante a análise dos resultados foi desenvolvida uma análise simultânea entre as curvas características de comportamento da força axial e do momento torçor de cada situação ensaiada com os resultados da grandeza de saída. Devido a necessidade de um elevado número de confrontos entre os diversos dados, a execução desta análise ficou inviabilizada. A realização deste tipo de avaliação, tinha como objetivo tentar identificar possíveis anormalidades ocorridas no comportamento da força axial e no momento torçor durante a operação de furação, correlacionando-as com possíveis alterações nas demais grandezas de saída

Também, a partir das curvas de comportamento da força axial e momento torçor, foi efetuada uma análise da frequência de oscilação em cada grandeza. Os resultados obtidos não permitiram evidenciar nenhuma relação definida. Este tipo de análise merece um estudo específico com análise das vibrações atuantes no momento da furação, o que foge dos objetivos deste trabalho. Por enquanto, atribui-se estas flutuações ao processo de formação de cavacos irregulares nos gumes .

Um aspecto a ressaltar, é que com o baixo número de repetições, realizadas em cada situação estudada (par material/ferramenta), fica comprometida a interpretação de pontos duvidosos. Talvez por este fato, o trabalho apresente diversas situações indefinidas. A utilização de métodos estatísticos de forma mais efetiva, possivelmente ajudaria a reduzir o número destas situações.

CAPÍTULO 6

CONCLUSÕES E SUGESTÕES

6.1 - CONCLUSÕES

Após uma análise geral de todas as informações geradas durante o desenvolvimento deste trabalho, pode-se concluir:

- O trabalho atingiu os objetivos propostos inicialmente, mostrando as influências dos erros geométricos no desempenho das brocas helicoidais de aço-rápido;
- Que os erros geométricos usualmente encontrados nas brocas helicoidais (assimetrias) afetam diretamente a qualidade do trabalho produzido por estas ferramentas;
- Cada tipo de alteração geométrica nas brocas possui um comportamento característico, produzindo consequências específicas em cada uma das alterações;
- Os resultados gerados pelo trabalho vêm reforçar a importância de manter uma boa qualidade e/ou um bom controle nas afiações das brocas helicoidais.

6.2 - SUGESTÕES PARA NOVOS ESTUDOS

No desenvolvimento deste trabalho ficou evidenciado vários pontos que merecem um estudo específico, de modo a poder complementar e aprimorar os resultados aqui apresentados. Entre estes pontos, sugere-se:

- Um estudo individual de cada tipo de erro, mais amplo e mais profundo, de forma a possibilitar um maior conhecimento de seus efeitos na furação;
- Desenvolver um estudo semelhante em brocas helicoidais de materiais mais nobres (mais sensíveis aos erros), para permitir uma ampliação do conhecimento neste assunto;

- Desenvolver outra metodologia para analisar os mesmos erros aqui estudados, de modo a produzir resultados comprobatórios dos aqui apresentados;

- Realizar um estudo específico na área de análise de vibrações para conhecimento de suas influências e consequências na furação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- /1/ TIKAL, F. **Vollhartmetallboher und - fräser: Qualität und Leistungsfähigkeit Moderner Schneidstoffe.** Landsberg/Lech: Verl. Moderner Industrie, 1993.
- /2/ Society of Manufacturing Engineers. **Tool and Manufacturing Engineers Handbook - Machining.** 4^a Ed., Dearborn: One S.M.E. Drive, V 1, 1983.
- /3/ DE BEER, C. **The Web Thickness of Twist Drills.** Annals of CIRP, V.19, p. 247-254, 1971.
- /4/ DEVRIES, M. F., CROSHECK, M. K., NEGISHI, H. **An Investigation of the Cutting Mechanisms of the New Point Drill.** Annals of CIRP, V.37, p. 73-78, 1988.
- /5/ Associação Brasileira de Metais. **Usinagem dos Metais.** 4^a Ed., São Paulo, 1972.
- /6/ STEMMER, C.E. **Ferramentas de Corte II: Brocas, Alargadores, Ferramentas de Roscar, Fresas, Brochas, Rebolos e Abrasivos.** Florianópolis, Ed. da UFSC, 1992.
- /7/ WEINGAERTNER, W. L., SCHROETER, R. B. **Fundamentos de Usinagem, Furação, Torneamento Interno, Mandrilamento e Rebarbação.** 1^o Relatório Convênio Rudolph-LMP, Florianópolis, UFSC, 1993.
- /8/ KÖNIG, W., WEINGAERTNER, W. L. **Tornear, Fresar e Furar.** Traduzido e adaptado do *Fertigungsverfahren: Drehen, Fräsen, Bohren.* Florianópolis, UFSC, 1990.
- /9/ HATSCHEK, R. **Fundamentals of Drilling.** American Machinist, p. 107-130, Feb. 1979.

/10/ VILLARROEL, J. C. **Análise Comparativa entre Furação com Brocas para Furos Curtos de Insertos Reversíveis e Brocas Helicoidais.** Dissertação, UFSC, Florianópolis, 112 p, 1991.

/11/ ANSCHUTZ, E. **Vollhartmetall-Spiralbohrer mit Zwei Spitzen.** Wekstatt und Betrieb, V.116, n.5, p. 253-254, 1983.

/12/ VENKATESH, V. C., XUE, W., QUINTO, D. T. **Surface Studies During Indexable Drilling with Coated Carbides of Different Geometry.** Annals of CIRP, V.41, p. 613-616, Jan. 1992.

/13/ CHIAVERINI, V. **Aços e Ferros Fundidos.** Associação Brasileira de Metais, 518p, São Paulo, 1987.

/14/ BOEHS, L., BORGES, R. **Curso de Usinagem dos Metais.** Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 1988.

/15/ Brasimet S.A. **Revestimento de Nitreto de Titânio em Ferramentas através do Processo PVD.** Artigo publicado na revista Mundo Mecânico, p. 28-33, Nov. 1986.

/16/ GABOR, H. **Ferramentas de Furação com TIN e Novas Geometrias.** Artigo publicado na revista Máquinas e Metais, p. 14-16, Out. 1987.

/17/ FERRARESI, D. **Fundamentos da Usinagem dos Metais.** Editora Edgard Blücher Ltda, São Paulo, 1970.

/18/ STEMMER, C. E. **Ferramentas de Corte I.** Ed. da UFSC, 3ª Ed., Florianópolis, 1993.

/19/ ECKHARDT, M. **Utilização de Alargadores de gume único regulável para obtenção de furos de precisão.** Dissertação, UFSC, 1993.

/20/ ROCHA, A. S. **Determinação de um Modelo de Força de Usinagem para a Furação, a partir do Modelo de Força de Usinagem do Torneamento.** Dissertação, UFSC, 117 p., 1985.

/21/ SKF Ferramentas S. A. **Manual Técnico SKF**. SKF Ferramentas S. A., 261 p., São Paulo 1987.

/22/ ASM International. **Metals Handbook: Machining**. V.16, Ohio, USA, 1989.

/23/ Gühring. **Gühring 92 Präzisions-Scheidwerkzeuge**. 977p, Albstadt, Deutschland, Ausgabe, 1992.

/24/ Werkzeugmaschinen-Metallwaren-Werkzeuge. **Instrucciones de Servicio - Taladradora por Coordenadas de Un Solo Montante BKoE 315x500**. Dresden, Deutshland, 112 p., 1969.

/25/ Guehring Automation. **Instruction Manual for Test Measuring Gauge - Guehring PG-100**. Guehring Automation GmBh & Co., Federal Republic of Germany, Frohnstetten, 26 p.

/26/ NAKAYAMA, K. **Basic Rules on the Form of Chip in Metal Cutting**. Annals of CIRP, Vol. 27, p. 17-21, Jan. 1978.

/27/ GONÇALVES, A. A. **Apostila da Disciplina de Metrologia do Curso de Graduação em Eng. Mecânica**. Laboratório de Metrologia e Automação, UFSC, Florianópolis, 1992.

/28/ Kistler Instrumente GmBh. **Kistler Piezo-Meßtechnik**. Ostfildern 2, Germany, 1987.

/29/ Hewlett Packard. **Test & Measurement Catalog**. Hewlett-Packard Company, 760 p., Santa Clara, USA, 1991.

/30/ BOX, G. E. P., HUNTER, W. G., HUNTER, J. S. **Statistics for Experimenters**. John Wiley & Sons, N.Y., USA, 1978.

/31/ DANIEL, C. **Aplications of Statistics in Industrial Experimentation**. John Wiley & Sons, N.Y., USA, 1976.

/32/ COOPER, B. E. **Statistics for Experimentalists**. Pergamon Press Ltd., Oxford, England, 1975.

/33/ YOUNG, H. D. **Statistical Treatment of Experimental Data**. McGraw-Hill Book Company, New York, USA, 1978.

/34/ Laboratório de Mecânica de Precisão - UFSC **Arquivo de Programas Desenvolvidos para Uso Experimental**. UFSC, Florianópolis, 1995.

ANEXOS

ANEXO I

Procedência das Ferramentas Utilizadas no Levantamento dos Erros

Usuário 1 - RUDOLPH USINADOS DE PRECISÃO LTDA.

Usuário 2 - EMPRESA BRASILEIRA DE COMPRESSORES S.A.

Fabricante 1 - SKF FERRAMENTAS S.A.

Fabricante 2 - INDÚSTRIA E COMÉRCIO TWILL S.A.

Fabricante 3 - GÜNTHER & Co. GMBH & Co. - TITEX PLUS

Fabricante 4 - GÜRING

ANEXO II

RESULTADO DAS MEDIÇÕES EFETUADAS NAS BROCAS DE TESTE

CÓDIGO DAS BROCAS	COMPRIMENTO DOS GUMES (mm)			ÂNG. GUME TRANSVER. (°)		ÂNGULO PONTA (°)		ÂNGULO INCIDÊN. (°)		ÂNGULO CUNHA (°)		DIF. ALT. GUMES (mm)
	A ₁	A ₂	A _t	ψ ₁	ψ ₂	σ ₁	σ ₂	α _{x1}	α _{x2}	β _{x1}	β _{x2}	ΔA
106 P1	4,42	4,33	2,17	58	58	37	38	15	14	45	46	0,01
106 P2	4,55	4,32	2,10	57	58	38	37	15	13	45	47	0,02
106 P3	4,38	4,40	2,17	58	59	38	37	15	14	45	46	0,04
118 P1	4,35	4,38	2,03	56	56	31	30	10	10	51	51	0,01
118 P2	4,47	4,34	2,10	56	56	30	30	10	10	50	50	0,02
118 P3	4,41	4,34	2,05	57	58	30	30	10	11	50	49	0,01
130 P1	4,56	4,39	1,98	59	59	26	26	14	12	46	48	0,02
130 P2	4,43	4,41	1,99	58	59	26	26	12	13	48	47	0,02
130 P3	4,43	4,49	1,97	60	60	26	26	12	12	48	48	0,02
106 1-2	4,32	4,36	2,33	58	59	38	40	17	15	43	45	0,15
106 1-4	4,41	4,32	2,29	58	62	38	41	20	15	40	45	0,24
106 1-8	4,15	4,48	2,32	55	62	39	33	15	24	45	36	1,05
118 1-2	4,43	4,34	2,05	56	58	32	30	15	17	45	43	0,17
118 1-4	4,36	4,52	1,99	55	58	30	34	16	15	44	45	0,27
118 1-8	4,28	4,49	2,12	54	61	37	30	15	16	45	44	0,55
130 1-2	4,60	4,38	2,02	63	60	28	26	14	15	46	45	0,06
130 1-4	4,52	4,38	1,92	61	58	26	29	17	16	43	44	0,22
130 1-8	4,47	4,38	2,03	64	59	33	26	13	15	47	45	0,47
106 2-3	4,38	4,35	2,21	62	59	38	38	17	17	43	43	0,02
106 2-5	4,43	4,42	2,08	63	58	38	38	17	17	58	43	0,06
106 2-8	4,52	4,43	2,18	66	58	38	38	14	15	61	45	0,15
118 2 - 3	4,38	4,39	2,05	58	56	30	31	16	15	59	45	0,02
118 2 - 7	4,38	4,57	1,94	59	64	30	31	15	15	61	45	0,14
118 2-11	4,38	4,51	2,12	58	69	30	32	13	16	63	44	0,16
130 2 - 4	4,54	4,38	1,91	63	59	26	26	15	15	60	45	0,07
130 2 - 6	4,63	4,54	1,96	67	59	27	26	15	15	45	60	0,13
130 2-10	4,61	4,44	1,91	70	59	26	28	12	15	64	45	0,14
106 3-0,1	4,17	4,44	2,40	57	58	37	38	15	16	45	44	0,14
106 3-0,2	4,08	4,59	2,27	57	57	38	38	16	15	44	45	0,23
106 3-0,4	4,80	3,88	2,29	56	56	38	38	15	17	45	43	0,42
118 3-0,1	4,34	4,51	2,06	57	58	30	31	15	15	45	45	0,14
118 3-0,2	4,19	4,60	2,05	58	58	31	31	15	15	45	45	0,22
118 3-0,4	4,85	3,87	2,21	59	57	31	31	15	15	45	45	0,41
130 3-0,1	4,75	4,01	2,15	57	57	25	26	15	15	45	45	0,15
130 3-0,2	4,82	3,94	2,15	57	57	25	26	15	15	45	45	0,18
130 3-0,4	5,06	3,64	2,26	58	56	26	25	15	14	45	46	0,40

CÓDIGO DAS BROCAS	COMPRIMENTO DOS GUMES (mm)			ÂNG. GUME TRANSVER. (°)		ÂNGULO PONTA (°)		ÂNGULO INCIDÊN. (°)		ÂNGULO CUNHA (°)		DIF. ALT. GUMES (mm)
	A ₁	A ₂	A _t	ψ ₁	ψ ₂	σ ₁	σ ₂	α _{x1}	α _{x2}	β _{x1}	β _{x2}	ΔA
106 4-2	4,45	4,30	2,21	60	59	38	38	17	15	43	45	0,09
106 4-4	4,36	4,35	2,26	59	60	39	39	17	22	43	38	0,12
106 4-8	4,41	4,44	2,17	59	60	37	40	24	16	36	44	0,25
118 4-2	4,34	4,32	2,19	56	57	30	30	17	15	43	45	0,04
118 4-4	4,17	4,37	2,19	53	52	30	30	21	16	39	44	0,08
118 4-8	4,51	4,00	2,33	50	49	30	30	15	23	45	37	0,02
130 4-2	4,45	4,33	2,06	56	57	26	26	16	14	44	46	0,00
130 4-4	4,44	4,26	2,13	56	57	26	26	15	19	45	41	0,02
130 4-8	4,43	4,03	2,26	50	50	26	26	15	22	45	38	0,01
106 5-0	4,61	4,50	1,89	63	63	38	38	15	15	75	75	0,02
106 5-2	4,48	4,48	1,92	61	62	38	38	14	15	76	73	0,01
106 5-4	4,56	4,49	1,93	61	62	38	38	15	15	75	71	0,02
118 5-0	4,55	4,53	1,85	63	63	31	31	14	14	76	76	0,00
118 5-2	4,52	4,62	1,85	66	67	31	31	13	13	77	75	0,00
118 5-4	4,55	4,60	1,82	63	64	31	31	13	13	77	73	0,04
130 5-0	4,54	4,61	1,89	63	64	26	26	15	15	75	75	0,03
130 5-2	4,62	4,57	1,85	66	67	27	27	15	15	75	73	0,00
130 5-4	4,58	4,61	1,75	65	65	27	27	14	14	72	76	0,02
106 6C-0,1	4,20	4,42	2,27	58	58	38	38	15	15	45	45	0,01
106 6C-0,2	4,42	4,16	2,23	58	58	38	38	15	18	45	42	0,03
106 6C-0,4	3,71	4,36	2,19	58	58	38	38	15	20	45	40	0,00
106 6R-0,2	4,11	4,34	2,25	57	58	38	38	15	14	45	46	0,02
106 6R-0,4	3,95	4,32	2,24	58	58	38	38	15	20	45	40	0,03
106 6R-0,8	3,80	4,54	2,11	65	66	38	38	15	17	45	43	0,02
118 6C-0,1	4,24	4,40	2,05	57	57	30	31	15	15	45	45	0,01
118 6C-0,2	4,40	4,16	2,03	58	58	31	31	15	17	45	43	0,03
118 6C-0,4	3,68	4,38	2,11	57	57	31	30	15	18	45	43	0,01
118 6R-0,2	4,18	4,19	2,06	57	57	30	31	15	18	45	42	0,03
118 6R-0,4	4,40	4,06	2,07	57	57	31	31	15	18	45	43	0,05
118 6R-0,8	3,71	4,36	2,11	57	57	30	30	15	18	45	43	0,01
130 6C-0,1	4,26	4,45	1,94	58	58	26	26	15	15	45	45	0,04
130 6C-0,2	4,46	4,15	2,00	58	58	26	26	15	15	45	45	0,01
130 6C-0,4	4,45	3,75	1,92	58	58	26	26	15	20	45	43	0,05
130 6R-0,2	4,45	4,19	2,02	58	58	26	26	15	17	45	43	0,00
130 6R-0,4	4,40	4,14	2,03	58	58	26	26	15	15	45	45	0,01
130 6R-0,8	4,50	4,03	1,94	58	59	26	26	15	20	45	43	0,03

CÓDIGO DAS BROCAS	COMPRIMENTO DOS GUMES (mm)			ÂNG. GUME TRANSVER. (°)		ÂNGULO PONTA (°)		ÂNGULO INCIDÊN. (°)		ÂNGULO CUNHA (°)		DIF. ALT. GUMES (mm)
	A ₁	A ₂	A _t	ψ ₁	ψ ₂	σ ₁	σ ₂	α _{x1}	α _{x2}	β _{x1}	β _{x2}	ΔA
106 7C-0,1	4,20	4,29	2,25	57	58	38	38	15	15	45	45	0,00
106 7C-0,2	4,49	4,18	2,12	58	58	38	38	15	15	45	45	0,04
106 7C-0,4	4,24	3,84	2,22	57	58	38	38	18	15	45	45	0,01
106 7R-0,2	4,25	4,22	2,27	58	58	38	38	15	15	45	45	0,02
106 7R-0,4	4,23	4,11	2,30	58	58	38	38	15	17	45	43	0,01
106 7R-0,8	4,49	4,14	1,89	58	58	38	38	15	15	45	47	0,00
118 7C-0,1	4,32	4,40	2,10	58	58	31	31	15	15	45	45	0,00
118 7C-0,2	4,17	4,41	2,09	58	58	31	31	15	15	45	45	0,01
118 7C-0,4	3,83	4,34	2,17	58	58	31	31	15	18	45	46	0,01
118 7R-0,2	3,95	4,37	2,12	58	58	31	31	15	15	45	45	0,00
118 7R-0,4	4,47	4,18	1,93	58	58	31	31	15	15	45	45	0,00
118 7R-0,8	4,33	4,15	2,12	58	58	31	31	15	15	45	45	0,03
130 7C-0,1	4,37	4,22	2,03	58	58	26	26	15	15	45	45	0,00
130 7C-0,2	4,23	4,40	2,04	58	58	26	26	15	15	45	45	0,00
130 7C-0,4	4,40	4,02	1,88	58	58	26	26	15	18	45	45	0,00
130 7R-0,2	4,41	4,27	1,99	58	58	26	26	15	15	45	45	0,01
130 7R-0,4	4,30	4,36	2,02	58	58	26	26	15	15	45	45	0,01
130 7R-0,8	3,83	4,37	2,00	58	58	26	26	15	18	45	45	0,03

ANEXO III

ENSAIO DE FURAÇÃO - LMP		
Executor:	Ferramenta:	Avanço:
Data/Hora:	Material:	Rotação:
Temp. Amb.:	Nº do CDP:	Veloc. Corte:
Umid. Relat.:	Profundidade:	Esc. Força:
Máquina:	Fluido:	Esc Momento:

RESULTADOS					
Grandeza	Furo 1	Furo 2	Furo 3	Result. Final	Obs.:
1. Força					
2. Momento					
3. Diâmetro					
4. Rug. Ra					
5. Rug. Rt					
6. Cavaco					
7. Circular.					
8. Cilíndric.					
9. Alt. Rebar					
10. Arquivos					

Rugosidade					
Região 1	Ra				Obs.:
	Rt				
Região 2	Ra				
	Rt				
Região 3	Ra				
	Rt				

Diâmetro					
Diâmetro 1					Obs.:
Diâmetro 2					
Diâmetro 3					

Desvios							
pos.	Furo 1		Furo 2		Furo 3		Obs.:
	2 mm	12 mm	2 mm	12 mm	2 mm	12 mm	
0°							
30°							
60°							
90°							
120°							
150°							
180°							
210°							
240°							
270°							
300°							
330°							

ANEXO IV

RESULTADOS MÉDIOS FINAIS

BROCAS PADRÃO

ALUMÍNIO

INTENSIDADE: broca 1

ÂNG.	FORÇ. (N)	MOM.(Ncm)	Ra(μm)	Rt (μm)	DIAM. (mm)	CIR. (mm)	CIL. (mm)	CAVACO
106°	285	108	2,34	17,33	10,035	0,042	0,078	C
118°	336	135	4,28	27,56	10,251	0,061	0,083	C
130°	411	130	2,54	16,67	10,017	0,041	0,053	C

INTENSIDADE: broca 2

ÂNG.	FORÇ. (N)	MOM.(Ncm)	Ra(μm)	Rt (μm)	DIAM. (mm)	CIR. (mm)	CIL. (mm)	CAVACO
106°	314	132	2,89	20,22	10,224	0,052	0,098	C
118°	340	145	3,54	22,33	10,093	0,058	0,109	C
130°	420	129	2,98	17,98	10,007	0,035	0,050	C

INTENSIDADE: broca 3

ÂNG.	FORÇ. (N)	MOM.(Ncm)	Ra(μm)	Rt (μm)	DIAM. (mm)	CIR. (mm)	CIL. (mm)	CAVACO
106°	318	120	3,20	20,28	10,194	0,042	0,118	C
118°	360	131	3,31	18,33	10,091	0,048	0,056	C
130°	445	128	2,41	16,00	10,014	0,037	0,083	C

BRONZE

INTENSIDADE: broca 1

ÂNG.	FORÇ. (N)	MOM.(Ncm)	Ra(μm)	Rt (μm)	DIAM. (mm)	CIR. (mm)	CIL. (mm)	CAVACO
106°	235	116	0,93	5,88	10,049	0,079	0,092	C
118°	331	122	0,82	4,78	10,056	0,038	0,062	C
130°	413	125	1,64	8,08	10,148	0,033	0,099	C

INTENSIDADE: broca 2

ÂNG.	FORÇ. (N)	MOM.(Ncm)	Ra(μm)	Rt (μm)	DIAM. (mm)	CIR. (mm)	CIL. (mm)	CAVACO
106°	234	109	2,71	4,87	10,025	0,066	0,074	C
118°	303	114	0,67	5,37	10,010	0,047	0,064	C
130°	380	115	0,84	4,93	10,037	0,065	0,063	C

INTENSIDADE: broca 3

ÂNG.	FORÇ. (N)	MOM.(Ncm)	Ra(μm)	Rt (μm)	DIAM. (mm)	CIR. (mm)	CIL. (mm)	CAVACO
106°	277	121	1,18	10,32	10,040	0,110	0,128	C
118°	319	115	1,20	7,53	10,084	0,041	0,105	C
130°	387	115	0,70	4,39	10,023	0,093	0,125	C

AÇO

INTENSIDADE: broca 1

ÂNG.	FORÇ. (N)	MOM.(Ncm)	Ra(μm)	Rt (μm)	DIAM. (mm)	CIR. (mm)	CIL. (mm)	CAVACO
106°	1260	458	5,56	34,78	10,149	0,037	0,116	A/B
118°	1380	450	4,97	33,17	10,150	0,071	0,230	A/B
130°	1220	321	4,03	25,17	10,118	0,011	0,073	A/B

INTENSIDADE: broca 2

ÂNG.	FORÇ. (N)	MOM.(Ncm)	Ra(μm)	Rt (μm)	DIAM. (mm)	CIR. (mm)	CIL. (mm)	CAVACO
106°	1160	396	5,49	36,44	10,120	0,042	0,088	A/B
118°	1360	411	8,67	49,67	10,149	0,010	0,132	A/B
130°	1380	383	5,70	27,50	10,124	0,011	0,060	A/B

INTENSIDADE: broca 3

ÂNG.	FORÇ. (N)	MOM.(Ncm)	Ra(μm)	Rt (μm)	DIAM. (mm)	CIR. (mm)	CIL. (mm)	CAVACO
106°	1440	476	5,00	27,11	10,155	0,019	0,137	A/B
118°	1360	465	7,82	38,33	10,176	0,021	0,063	A/B
130°	1400	371	6,32	36,50	10,092	0,010	0,100	A/B

ALUMÍNIO

INTENSIDADE: 2°

ÂNG.	FORÇ. (N)	MOM.(Ncm)	Ra(μm)	Rt (μm)	DIAM. (mm)	CIR. (mm)	CIL. (mm)	CAVACO
106°	297	125	3,19	24,89	10,251	0,069	0,134	C
118°	275	111	2,46	16,44	10,181	0,044	0,086	C
130°	419	146	3,39	21,11	10,182	0,044	0,086	D

INTENSIDADE: 4°

ÂNG.	FORÇ. (N)	MOM.(Ncm)	Ra(μm)	Rt (μm)	DIAM. (mm)	CIR. (mm)	CIL. (mm)	CAVACO
106°	272	114	4,04	28,89	10,305	0,050	0,082	C
118°	294	114	3,59	20,11	10,216	0,039	0,050	C
130°	374	143	3,79	24,11	10,261	0,023	0,081	D

INTENSIDADE: 8°

ÂNG.	FORÇ. (N)	MOM.(Ncm)	Ra(μm)	Rt (μm)	DIAM. (mm)	CIR. (mm)	CIL. (mm)	CAVACO
106°	257	122	2,63	18,89	10,340	0,057	0,128	C
118°	297	121	3,84	26,44	10,348	0,020	0,072	D
130°	384	138	2,69	19,67	10,340	0,015	0,058	D

BRONZE

INTENSIDADE: 2°

ÂNG.	FORÇ. (N)	MOM.(Ncm)	Ra(μm)	Rt (μm)	DIAM. (mm)	CIR. (mm)	CIL. (mm)	CAVACO
106°	282	134	1,15	7,33	10,071	0,057	0,065	C
118°	295	113	0,91	5,45	10,122	0,040	0,092	C
130°	388	132	1,99	11,04	10,214	0,097	0,190	C

INTENSIDADE: 4°

ÂNG.	FORÇ. (N)	MOM.(Ncm)	Ra(μm)	Rt (μm)	DIAM. (mm)	CIR. (mm)	CIL. (mm)	CAVACO
106°	247	130	0,78	5,08	10,102	0,054	0,124	C
118°	290	130	1,07	6,23	10,234	0,061	0,155	C
130°	343	116	1,13	6,90	10,234	0,059	0,171	C

INTENSIDADE: 8°

ÂNG.	FORÇ. (N)	MOM.(Ncm)	Ra(μm)	Rt (μm)	DIAM. (mm)	CIR. (mm)	CIL. (mm)	CAVACO
106°	261	262	0,70	3,16	10,287	0,019	0,214	C
118°	304	110	1,20	6,93	10,293	0,022	0,158	C
130°	388	126	1,93	8,03	10,307	0,028	0,178	C

AÇO

INTENSIDADE: 2°

ÂNG.	FORÇ. (N)	MOM.(Ncm)	Ra(μm)	Rt (μm)	DIAM. (mm)	CIR. (mm)	CIL. (mm)	CAVACO
106°	1220	455	7,57	39,67	10,159	0,104	0,111	A/B
118°	1410	470	5,90	38,33	10,200	0,053	0,075	A/B
130°	1670	494	7,83	36,67	10,260	0,038	0,085	A/B

INTENSIDADE: 4°

ÂNG.	FORÇ. (N)	MOM.(Ncm)	Ra(μm)	Rt (μm)	DIAM. (mm)	CIR. (mm)	CIL. (mm)	CAVACO
106°	1210	489	7,60	38,00	10,192	0,032	0,069	A/B
118°	1330	594	6,33	31,67	10,365	0,046	0,085	A/B
130°	1510	479	6,93	30,67	10,314	0,019	0,111	A/B

INTENSIDADE: 8°

ÂNG.	FORÇ. (N)	MOM.(Ncm)	Ra(μm)	Rt (μm)	DIAM. (mm)	CIR. (mm)	CIL. (mm)	CAVACO
106°	1120	569	5,60	32,67	10,548	0,054	0,059	A/B
118°	1170	514	6,83	43,00	10,498	0,017	0,039	A/B
130°	1500	498	8,10	45,33	10,489	0,024	0,069	A/B

ALUMÍNIO

INTENSIDADE: 2°

ÂNG.	FORÇ. (N)	MOM.(Ncm)	Ra(μm)	Rt (μm)	DIAM. (mm)	CIR. (mm)	CIL. (mm)	CAVACO
106°	334	130	4,31	25,44	10,193	0,106	0,250	C
118°	357	114	2,42	15,76	10,138	0,043	0,135	C/D
130°	524	118	2,04	11,56	10,057	0,023	0,040	D

INTENSIDADE: 4°

ÂNG.	FORÇ. (N)	MOM.(Ncm)	Ra(μm)	Rt (μm)	DIAM. (mm)	CIR. (mm)	CIL. (mm)	CAVACO
106°	313	125	2,76	15,16	10,103	0,082	0,135	C/D
118°	351	113	2,64	16,97	10,272	0,063	0,112	C/D
130°	473	117	2,50	15,44	10,210	0,017	0,038	C/D

INTENSIDADE: 8°

ÂNG.	FORÇ. (N)	MOM.(Ncm)	Ra(μm)	Rt (μm)	DIAM. (mm)	CIR. (mm)	CIL. (mm)	CAVACO
106°	296	116	1,03	9,59	10,169	0,103	0,131	D
118°	332	108	2,53	11,42	10,306	0,088	0,163	C/D
130°	458	112	1,53	7,89	10,334	0,029	0,053	D

BRONZE

INTENSIDADE: 2°

ÂNG.	FORÇ. (N)	MOM.(Ncm)	Ra(μm)	Rt (μm)	DIAM. (mm)	CIR. (mm)	CIL. (mm)	CAVACO
106°	273	121	0,78	4,05	10,002	0,087	0,090	C
118°	309	105	1,08	5,77	10,005	0,064	0,090	C
130°	396	106	0,79	5,05	10,000	0,027	0,059	C

INTENSIDADE: 4°

ÂNG.	FORÇ. (N)	MOM.(Ncm)	Ra(μm)	Rt (μm)	DIAM. (mm)	CIR. (mm)	CIL. (mm)	CAVACO
106°	236	115	1,12	6,02	10,039	0,072	0,096	C
118°	310	103	1,27	7,52	10,158	0,119	0,160	C
130°	426	216	1,32	8,43	10,157	0,094	0,112	C

INTENSIDADE: 8°

ÂNG.	FORÇ. (N)	MOM.(Ncm)	Ra(μm)	Rt (μm)	DIAM. (mm)	CIR. (mm)	CIL. (mm)	CAVACO
106°	261	98	0,68	4,28	10,123	0,053	0,061	C
118°	325	110	0,88	5,23	10,190	0,081	0,112	C
130°	410	114	0,72	3,98	10,247	0,091	0,095	C

AÇO

INTENSIDADE: 2°

ÂNG.	FORÇ. (N)	MOM.(Ncm)	Ra(μm)	Rt (μm)	DIAM. (mm)	CIR. (mm)	CIL. (mm)	CAVACO
106°	1400	515	7,27	38,67	10,086	0,036	0,057	A/B
118°	1460	449	6,00	42,67	10,105	0,029	0,117	A/B
130°	908	230	6,07	35,33	10,096	0,022	0,060	A/B

INTENSIDADE: 4°

ÂNG.	FORÇ. (N)	MOM.(Ncm)	Ra(μm)	Rt (μm)	DIAM. (mm)	CIR. (mm)	CIL. (mm)	CAVACO
106°	1250	474	6,07	35,33	10,109	0,044	0,044	A/B
118°	1410	480	5,97	31,33	10,284	0,026	0,093	A/B
130°	1140	313	7,77	42,67	10,277	0,030	0,059	A/B

INTENSIDADE: 8°

ÂNG.	FORÇ. (N)	MOM.(Ncm)	Ra(μm)	Rt (μm)	DIAM. (mm)	CIR. (mm)	CIL. (mm)	CAVACO
106°	1340	497	4,73	23,33	10,198	0,046	0,064	A/B
118°	906	227	4,93	29,33	10,358	0,054	0,105	A/B
130°	1660	449	5,33	28,00	10,322	0,029	0,042	A/B

ALUMÍNIO

INTENSIDADE: 0,1 mm

ÂNG.	FORÇ. (N)	MOM.(Ncm)	Ra(μm)	Rt(μm)	DIAM. (mm)	CIR. (mm)	CIL. (mm)	CAVACO
106°	325	129	3,07	23,67	10,260	0,065	0,165	D
118°	356	101	2,29	14,22	10,220	0,095	0,182	D
130°	481	150	3,04	19,44	10,427	0,028	0,137	A/D

INTENSIDADE: 0,2 mm

ÂNG.	FORÇ. (N)	MOM.(Ncm)	Ra(μm)	Rt(μm)	DIAM. (mm)	CIR. (mm)	CIL. (mm)	CAVACO
106°	333	137	3,83	23,67	10,498	0,107	0,207	C/D
118°	356	116	2,84	18,00	10,503	0,078	0,128	A/D
130°	526	148	2,77	15,78	10,541	0,032	0,110	A/D

INTENSIDADE: 0,4 mm

ÂNG.	FORÇ. (N)	MOM.(Ncm)	Ra(μm)	Rt(μm)	DIAM. (mm)	CIR. (mm)	CIL. (mm)	CAVACO
106°	349	153	4,27	27,22	10,929	0,096	0,174	C/D
118°	382	128	3,84	21,56	10,822	0,057	0,103	A/D
130°	593	171	4,02	24,89	11,143	0,039	0,148	A/D

BRONZE

INTENSIDADE: 0,1 mm

ÂNG.	FORÇ. (N)	MOM.(Ncm)	Ra(μm)	Rt(μm)	DIAM. (mm)	CIR. (mm)	CIL. (mm)	CAVACO
106°	252	131	1,59	9,77	10,083	0,081	0,111	C
118°	322	116	0,80	5,67	10,096	0,072	0,079	C
130°	434	132	1,98	10,98	10,335	0,113	0,184	C

INTENSIDADE: 0,2 mm

ÂNG.	FORÇ. (N)	MOM.(Ncm)	Ra(μm)	Rt(μm)	DIAM. (mm)	CIR. (mm)	CIL. (mm)	CAVACO
106°	241	279	3,06	8,08	10,339	0,096	0,143	C
118°	319	133	1,63	10,40	10,358	0,081	0,151	C
130°	436	119	3,37	9,82	10,473	0,102	0,137	C

INTENSIDADE: 0,4 mm

ÂNG.	FORÇ. (N)	MOM.(Ncm)	Ra(μm)	Rt(μm)	DIAM. (mm)	CIR. (mm)	CIL. (mm)	CAVACO
106°	243	146	4,32	11,42	10,703	0,042	0,152	C
118°	330	137	2,55	10,08	10,732	0,063	0,109	C
130°	466	132	2,83	19,17	11,038	0,074	0,138	C

AÇO

INTENSIDADE: 0,1 mm

ÂNG.	FORÇ. (N)	MOM.(Ncm)	Ra(μm)	Rt(μm)	DIAM. (mm)	CIR. (mm)	CIL. (mm)	CAVACO
106°	1280	497	4,47	35,00	10,323	0,047	0,153	A/D
118°	1530	515	6,40	32,00	10,344	0,013	0,061	A/D
130°	1720	507	7,67	47,67	10,531	0,068	0,085	A/D

INTENSIDADE: 0,2 mm

ÂNG.	FORÇ. (N)	MOM.(Ncm)	Ra(μm)	Rt(μm)	DIAM. (mm)	CIR. (mm)	CIL. (mm)	CAVACO
106°	1360	561	5,27	37,00	10,579	0,039	0,125	A/D
118°	1480	504	7,83	42,33	10,576	0,019	0,058	A/B
130°	1800	499	9,77	40,00	10,650	0,031	0,072	A/D

INTENSIDADE: 0,4 mm

ÂNG.	FORÇ. (N)	MOM.(Ncm)	Ra(μm)	Rt(μm)	DIAM. (mm)	CIR. (mm)	CIL. (mm)	CAVACO
106°	1330	566	5,50	36,67	10,926	0,034	0,133	A/D
118°	1640	553	8,50	41,67	10,916	0,031	0,063	A/B
130°	1120	319	7,00	37,00	11,305	0,029	0,062	A/D

ERRO TIPO DAI

ALUMÍNIO

INTENSIDADE: 2°

ÂNG.	FORÇ. (N)	MOM.(Ncm)	Ra(μm)	Rt (μm)	DIAM. (mm)	CIR. (mm)	CIL. (mm)	CAVACO
106°	333	135	3,78	23,33	10,220	0,140	0,242	C/D
118°	315	108	2,49	15,11	10,090	0,097	0,174	A/D
130°	441	107	2,44	14,86	9,997	0,053	0,066	C/D

INTENSIDADE: 4°

ÂNG.	FORÇ. (N)	MOM.(Ncm)	Ra(μm)	Rt (μm)	DIAM. (mm)	CIR. (mm)	CIL. (mm)	CAVACO
106°	340	125	3,18	23,22	10,245	0,096	0,178	C/D
118°	347	106	2,52	17,11	10,077	0,122	0,183	A/D
130°	418	116	2,72	17,11	10,022	0,057	0,072	C/D

INTENSIDADE: 8°

ÂNG.	FORÇ. (N)	MOM.(Ncm)	Ra(μm)	Rt (μm)	DIAM. (mm)	CIR. (mm)	CIL. (mm)	CAVACO
106°	302	122	2,40	16,00	10,330	0,081	0,133	A/D
118°	352	122	1,99	12,78	10,173	0,095	0,164	C/D
130°	483	130	2,38	14,82	10,050	0,077	0,097	A/D

BRONZE

INTENSIDADE: 2°

ÂNG.	FORÇ. (N)	MOM.(Ncm)	Ra(μm)	Rt (μm)	DIAM. (mm)	CIR. (mm)	CIL. (mm)	CAVACO
106°	263	254	1,20	7,80	10,121	0,102	0,147	C
118°	295	136	1,53	6,52	10,049	0,085	0,144	C
130°	381	153	1,66	8,20	10,163	0,033	0,088	C

INTENSIDADE: 4°

ÂNG.	FORÇ. (N)	MOM.(Ncm)	Ra(μm)	Rt (μm)	DIAM. (mm)	CIR. (mm)	CIL. (mm)	CAVACO
106°	247	124	0,88	4,93	10,062	0,115	0,140	C
118°	286	149	1,95	8,75	10,073	0,077	0,137	C
130°	417	140	1,34	6,63	10,074	0,111	0,150	C

INTENSIDADE: 8°

ÂNG.	FORÇ. (N)	MOM.(Ncm)	Ra(μm)	Rt (μm)	DIAM. (mm)	CIR. (mm)	CIL. (mm)	CAVACO
106°	224	116	1,11	6,52	10,266	0,080	0,137	C
118°	275	145	2,73	13,50	10,159	0,077	0,144	C
130°	376	122	1,68	8,25	10,084	0,035	0,089	C

AÇO

INTENSIDADE: 2°

ÂNG.	FORÇ. (N)	MOM.(Ncm)	Ra(μm)	Rt (μm)	DIAM. (mm)	CIR. (mm)	CIL. (mm)	CAVACO
106°	1250	459	8,23	41,67	10,254	0,089	0,125	A/B
118°	1520	491	5,83	27,67	10,163	0,015	0,132	A/B
130°	1600	426	5,87	28,00	10,109	0,062	0,120	A/B

INTENSIDADE: 4°

ÂNG.	FORÇ. (N)	MOM.(Ncm)	Ra(μm)	Rt (μm)	DIAM. (mm)	CIR. (mm)	CIL. (mm)	CAVACO
106°	1440	553	7,27	41,67	10,155	0,029	0,037	A/B
118°	1200	423	5,63	36,33	10,189	0,026	0,170	A/B
130°	1140	310	7,57	40,00	10,154	0,025	0,083	A/B

INTENSIDADE: 8°

ÂNG.	FORÇ. (N)	MOM.(Ncm)	Ra(μm)	Rt (μm)	DIAM. (mm)	CIR. (mm)	CIL. (mm)	CAVACO
106°	1330	538	5,50	34,67	10,318	0,044	0,069	A/B
118°	1330	491	5,97	30,33	10,215	0,039	0,091	A/B
130°	1440	430	8,67	42,33	10,181	0,072	0,086	A/B

ALUMÍNIO

INTENSIDADE: 0°

ÂNG.	FORÇ. (N)	MOM.(Ncm)	Ra(μm)	Rt (μm)	DIAM. (mm)	CIR. (mm)	CIL. (mm)	CAVACO
106°	450	165	1,80	9,38	10,028	0,055	0,069	C
118°	499	150	0,88	5,78	9,997	0,084	0,132	C
130°	560	185	1,87	11,38	10,061	0,043	0,096	C

INTENSIDADE: 2°

ÂNG.	FORÇ. (N)	MOM.(Ncm)	Ra(μm)	Rt (μm)	DIAM. (mm)	CIR. (mm)	CIL. (mm)	CAVACO
106°	454	157	1,56	9,19	9,996	0,062	0,112	C
118°	507	139	1,34	7,56	10,002	0,044	0,071	C
130°	593	183	1,77	10,71	10,030	0,057	0,129	C

INTENSIDADE: 4°

ÂNG.	FORÇ. (N)	MOM.(Ncm)	Ra(μm)	Rt (μm)	DIAM. (mm)	CIR. (mm)	CIL. (mm)	CAVACO
106°	433	154	1,52	10,37	10,007	0,076	0,094	C
118°	477	136	1,16	7,81	10,089	0,142	0,180	C
130°	541	179	1,57	10,05	10,061	0,056	0,106	C

BRONZE

INTENSIDADE: 0°

ÂNG.	FORÇ. (N)	MOM.(Ncm)	Ra(μm)	Rt (μm)	DIAM. (mm)	CIR. (mm)	CIL. (mm)	CAVACO
106°	404	147	0,49	2,73	9,999	0,095	0,099	C
118°	446	152	0,62	4,30	9,978	0,119	0,125	C
130°	613	151	0,53	3,72	10,012	0,077	0,093	C

INTENSIDADE: 2°

ÂNG.	FORÇ. (N)	MOM.(Ncm)	Ra(μm)	Rt (μm)	DIAM. (mm)	CIR. (mm)	CIL. (mm)	CAVACO
106°	422	179	0,38	2,77	9,969	0,066	0,063	C
118°	444	143	0,89	5,93	9,984	0,077	0,113	C
130°	594	147	0,47	3,72	10,007	0,109	0,122	C

INTENSIDADE: 4°

ÂNG.	FORÇ. (N)	MOM.(Ncm)	Ra(μm)	Rt (μm)	DIAM. (mm)	CIR. (mm)	CIL. (mm)	CAVACO
106°	384	164	0,53	3,37	9,962	0,091	0,128	C
118°	414	144	0,79	4,59	10,035	0,124	0,139	C
130°	472	142	1,10	6,23	10,020	0,110	0,119	C

AÇO

INTENSIDADE: 0°

ÂNG.	FORÇ. (N)	MOM.(Ncm)	Ra(μm)	Rt (μm)	DIAM. (mm)	CIR. (mm)	CIL. (mm)	CAVACO
106°	1850	518	6,07	30,67	10,062	0,027	0,054	C/D
118°	1580	441	6,40	33,33	10,074	0,025	0,163	C/D
130°	1540	418	6,77	33,67	10,140	0,043	0,135	C/D

INTENSIDADE: 2°

ÂNG.	FORÇ. (N)	MOM.(Ncm)	Ra(μm)	Rt (μm)	DIAM. (mm)	CIR. (mm)	CIL. (mm)	CAVACO
106°	1890	544	8,00	36,00	10,092	0,052	0,092	C/D
118°	1660	439	7,60	40,33	10,071	0,067	0,081	C/D
130°	1770	465	8,07	41,33	10,102	0,015	0,052	C/D

INTENSIDADE: 4°

ÂNG.	FORÇ. (N)	MOM.(Ncm)	Ra(μm)	Rt (μm)	DIAM. (mm)	CIR. (mm)	CIL. (mm)	CAVACO
106°	1720	483	6,93	35,33	10,034	0,024	0,070	C/D
118°	1460	436	7,33	40,00	10,147	0,020	0,052	C/D
130°	1860	511	5,77	33,33	10,149	0,033	0,130	C/D

ALUMÍNIO

INTENSIDADE: chanfro 0,1 mm

ÂNG.	FORÇ. (N)	MOM.(Ncm)	Ra(μm)	Rt (μm)	DIAM. (mm)	CIR. (mm)	CIL. (mm)	CAVACO
106°	326	135	2,07	14,59	10,067	0,101	0,157	C
118°	284	130	1,73	11,89	10,048	0,056	0,090	C/D
130°	477	155	2,23	15,77	10,016	0,030	0,065	C/D

INTENSIDADE: chanfro 0,2 mm

ÂNG.	FORÇ. (N)	MOM.(Ncm)	Ra(μm)	Rt (μm)	DIAM. (mm)	CIR. (mm)	CIL. (mm)	CAVACO
106°	324	137	4,09	24,33	10,106	0,068	0,155	C/D
118°	350	115	1,86	12,00	10,086	0,094	0,147	C/D
130°	452	153	2,12	14,94	10,017	0,045	0,064	C/D

INTENSIDADE: chanfro 0,4 mm

ÂNG.	FORÇ. (N)	MOM.(Ncm)	Ra(μm)	Rt (μm)	DIAM. (mm)	CIR. (mm)	CIL. (mm)	CAVACO
106°	340	134	3,81	25,44	10,046	0,056	0,126	A/D
118°	368	153	3,36	20,44	9,994	0,057	0,096	C/D
130°	478	160	2,98	20,22	10,038	0,020	0,027	C/D

INTENSIDADE: raio 0,2 mm

ÂNG.	FORÇ. (N)	MOM.(Ncm)	Ra(μm)	Rt (μm)	DIAM. (mm)	CIR. (mm)	CIL. (mm)	CAVACO
106°	323	134	3,00	23,56	10,193	0,065	0,147	A/C
118°	312	146	3,28	22,67	10,073	0,072	0,130	C/D
130°	435	115	2,66	15,44	9,990	0,028	0,048	C/D

INTENSIDADE: raio 0,4 mm

ÂNG.	FORÇ. (N)	MOM.(Ncm)	Ra(μm)	Rt (μm)	DIAM. (mm)	CIR. (mm)	CIL. (mm)	CAVACO
106°	315	118	2,27	16,33	10,036	0,062	0,110	A/C
118°	300	157	2,89	18,89	10,103	0,088	0,177	C/D
130°	436	116	2,17	13,44	10,019	0,037	0,062	A/C

INTENSIDADE: raio 0,8 mm

ÂNG.	FORÇ. (N)	MOM.(Ncm)	Ra(μm)	Rt (μm)	DIAM. (mm)	CIR. (mm)	CIL. (mm)	CAVACO
106°	361	135	3,06	17,11	10,091	0,040	0,113	A/C
118°	323	154	5,37	36,33	10,198	0,101	0,221	C/D
130°	439	115	1,91	14,00	10,003	0,043	0,058	C/D

BRONZE

INTENSIDADE: chanfro 0,1 mm

ÂNG.	FORÇ. (N)	MOM.(Ncm)	Ra(μ m)	Rt (μ m)	DIAM. (mm)	CIR. (mm)	CIL. (mm)	CAVACO
106°	246	116	0,70	4,73	9,982	0,134	0,138	C
118°	287	129	1,13	7,48	10,025	0,037	0,037	C
130°	385	147	1,65	6,87	10,042	0,072	0,101	C

INTENSIDADE: chanfro 0,2 mm

ÂNG.	FORÇ. (N)	MOM.(Ncm)	Ra(μ m)	Rt (μ m)	DIAM. (mm)	CIR. (mm)	CIL. (mm)	CAVACO
106°	248	115	0,65	5,82	9,995	0,117	0,133	C
118°	288	134	0,91	6,68	10,020	0,119	0,138	C
130°	387	143	1,65	9,20	10,075	0,044	0,141	C

INTENSIDADE: chanfro 0,4 mm

ÂNG.	FORÇ. (N)	MOM.(Ncm)	Ra(μ m)	Rt (μ m)	DIAM. (mm)	CIR. (mm)	CIL. (mm)	CAVACO
106°	288	127	0,65	4,54	9,990	0,046	0,062	C
118°	286	140	0,61	4,23	9,968	0,119	0,130	C
130°	384	162	0,79	4,52	10,058	0,037	0,069	C

INTENSIDADE: raio 0,2 mm

ÂNG.	FORÇ. (N)	MOM.(Ncm)	Ra(μ m)	Rt (μ m)	DIAM. (mm)	CIR. (mm)	CIL. (mm)	CAVACO
106°	240	116	1,04	6,33	9,996	0,100	0,102	C
118°	292	131	1,16	6,37	10,042	0,107	0,168	C
130°	378	135	1,35	7,52	10,066	0,050	0,134	C

INTENSIDADE: raio 0,4 mm

ÂNG.	FORÇ. (N)	MOM.(Ncm)	Ra(μ m)	Rt (μ m)	DIAM. (mm)	CIR. (mm)	CIL. (mm)	CAVACO
106°	249	134	0,76	5,15	9,998	0,116	0,131	C
118°	283	146	1,13	6,05	10,092	0,068	0,105	C
130°	396	127	0,75	4,58	10,010	0,112	0,148	C

INTENSIDADE: raio 0,8 mm

ÂNG.	FORÇ. (N)	MOM.(Ncm)	Ra(μ m)	Rt (μ m)	DIAM. (mm)	CIR. (mm)	CIL. (mm)	CAVACO
106°	310	114	1,07	7,50	10,003	0,057	0,133	C
118°	326	127	1,33	8,00	10,032	0,087	0,097	C
130°	378	120	1,18	7,50	10,005	0,053	0,055	C

AÇO

INTENSIDADE: chanfro 0,1 mm

ÂNG.	FORÇ. (N)	MOM.(Ncm)	Ra(μm)	Rt (μm)	DIAM. (mm)	CIR. (mm)	CIL. (mm)	CAVACO
106°	1020	515	6,40	39,00	10,146	0,039	0,135	A/C
118°	1580	527	6,17	33,00	10,079	0,154	0,203	A/B
130°	--	--	8,00	42,67	9,995	0,036	0,077	A/B

INTENSIDADE: chanfro 0,2 mm

ÂNG.	FORÇ. (N)	MOM.(Ncm)	Ra(μm)	Rt (μm)	DIAM. (mm)	CIR. (mm)	CIL. (mm)	CAVACO
106°	1110	399	5,60	34,67	10,166	0,021	0,125	C/D
118°	1510	491	5,10	28,00	10,114	0,025	0,104	A/B
130°	1140	292	6,70	33,00	10,054	0,028	0,057	A/B

INTENSIDADE: chanfro 0,4 mm

ÂNG.	FORÇ. (N)	MOM.(Ncm)	Ra(μm)	Rt (μm)	DIAM. (mm)	CIR. (mm)	CIL. (mm)	CAVACO
106°	1440	546	6,33	32,00	10,172	0,045	0,160	C/D
118°	1530	490	8,07	49,67	10,042	0,031	0,079	A/B
130°	1820	511	8,07	38,67	10,033	0,017	0,057	A/B

INTENSIDADE: raio 0,2 mm

ÂNG.	FORÇ. (N)	MOM.(Ncm)	Ra(μm)	Rt (μm)	DIAM. (mm)	CIR. (mm)	CIL. (mm)	CAVACO
106°	1310	461	4,90	27,33	10,052	0,040	0,076	A/C
118°	1600	501	6,60	34,67	10,141	0,143	0,234	A/B
130°	1610	433	7,67	38,00	10,071	0,016	0,053	A/B

INTENSIDADE: raio 0,4 mm

ÂNG.	FORÇ. (N)	MOM.(Ncm)	Ra(μm)	Rt (μm)	DIAM. (mm)	CIR. (mm)	CIL. (mm)	CAVACO
106°	1370	497	5,23	27,00	10,132	0,038	0,151	A/C
118°	1530	492	4,17	29,33	10,158	0,020	0,105	A/B
130°	1020	288	5,27	28,00	10,178	0,033	0,138	A/B

INTENSIDADE: raio 0,8 mm

ÂNG.	FORÇ. (N)	MOM.(Ncm)	Ra(μm)	Rt (μm)	DIAM. (mm)	CIR. (mm)	CIL. (mm)	CAVACO
106°	1450	532	8,43	48,67	10,055	0,048	0,070	A/C
118°	936	260	9,40	44,67	10,079	0,075	0,084	A/B
130°	1150	267	5,57	37,67	10,047	0,018	0,082	A/B

ALUMÍNIO

INTENSIDADE: chanfro 0,1 mm

ÂNG.	FORÇ. (N)	MOM.(Ncm)	Ra(μ m)	Rt (μ m)	DIAM. (mm)	CIR. (mm)	CIL. (mm)	CAVACO
106°	311	126	3,40	20,44	10,181	0,085	0,188	C/D
118°	325	115	2,11	15,78	10,047	0,076	0,104	C/D
130°	467	110	2,36	13,78	9,996	0,025	0,036	C/D

INTENSIDADE: chanfro 0,2 mm

ÂNG.	FORÇ. (N)	MOM.(Ncm)	Ra(μ m)	Rt (μ m)	DIAM. (mm)	CIR. (mm)	CIL. (mm)	CAVACO
106°	324	127	2,00	12,00	10,070	0,033	0,076	C/D
118°	335	107	1,32	8,44	10,078	0,081	0,124	C/D
130°	507	133	3,52	22,00	10,028	0,020	0,041	C/D

INTENSIDADE: chanfro 0,4 mm

ÂNG.	FORÇ. (N)	MOM.(Ncm)	Ra(μ m)	Rt (μ m)	DIAM. (mm)	CIR. (mm)	CIL. (mm)	CAVACO
106°	327	137	2,46	15,11	10,217	0,080	0,120	C/D
118°	359	114	1,98	13,78	10,039	0,049	0,085	C/D
130°	478	129	2,13	14,78	10,003	0,014	0,034	A/C

INTENSIDADE: raio 0,2 mm

ÂNG.	FORÇ. (N)	MOM.(Ncm)	Ra(μ m)	Rt (μ m)	DIAM. (mm)	CIR. (mm)	CIL. (mm)	CAVACO
106°	331	148	2,93	20,11	10,184	0,086	0,143	C/D
118°	351	142	2,11	15,00	10,071	0,114	0,200	C/D
130°	447	141	2,08	13,11	10,027	0,021	0,042	A/C

INTENSIDADE: raio 0,4 mm

ÂNG.	FORÇ. (N)	MOM.(Ncm)	Ra(μ m)	Rt (μ m)	DIAM. (mm)	CIR. (mm)	CIL. (mm)	CAVACO
106°	329	147	2,29	14,56	10,051	0,113	0,125	C/D
118°	373	144	2,72	19,56	10,027	0,071	0,093	C/D
130°	498	147	2,50	18,02	10,013	0,027	0,032	C/D

INTENSIDADE: raio 0,8 mm

ÂNG.	FORÇ. (N)	MOM.(Ncm)	Ra(μ m)	Rt (μ m)	DIAM. (mm)	CIR. (mm)	CIL. (mm)	CAVACO
106°	330	123	3,09	20,67	10,121	0,063	0,133	C/D
118°	354	138	1,91	11,17	10,052	0,069	0,105	C/D
130°	494	151	2,63	13,78	10,016	0,038	0,049	A/C

BRONZE

INTENSIDADE: chanfro 0,1 mm

ÂNG.	FORÇ. (N)	MOM.(Ncm)	Ra(μm)	Rt(μm)	DIAM. (mm)	CIR. (mm)	CIL. (mm)	CAVACO
106°	238	131	0,93	5,63	10,003	0,092	0,138	C
118°	308	132	0,81	5,53	10,025	0,065	0,083	C
130°	396	112	0,92	5,43	10,049	0,051	0,097	C

INTENSIDADE: chanfro 0,2 mm

ÂNG.	FORÇ. (N)	MOM.(Ncm)	Ra(μm)	Rt(μm)	DIAM. (mm)	CIR. (mm)	CIL. (mm)	CAVACO
106°	257	139	0,94	5,55	10,039	0,082	0,128	C
118°	291	123	0,99	5,78	10,022	0,098	0,123	C
130°	399	118	1,22	7,13	10,047	0,048	0,075	C

INTENSIDADE: chanfro 0,4 mm

ÂNG.	FORÇ. (N)	MOM.(Ncm)	Ra(μm)	Rt(μm)	DIAM. (mm)	CIR. (mm)	CIL. (mm)	CAVACO
106°	254	134	0,89	6,05	10,017	0,061	0,097	C
118°	333	145	0,58	3,88	9,982	0,127	0,155	C
130°	373	130	0,77	5,38	10,052	0,080	0,089	C

INTENSIDADE: raio 0,2 mm

ÂNG.	FORÇ. (N)	MOM.(Ncm)	Ra(μm)	Rt(μm)	DIAM. (mm)	CIR. (mm)	CIL. (mm)	CAVACO
106°	300	174	0,48	4,43	10,015	0,096	0,110	C
118°	324	133	1,31	9,03	10,005	0,086	0,108	C
130°	398	113	0,63	4,48	10,032	0,113	0,131	C

INTENSIDADE: raio 0,4 mm

ÂNG.	FORÇ. (N)	MOM.(Ncm)	Ra(μm)	Rt(μm)	DIAM. (mm)	CIR. (mm)	CIL. (mm)	CAVACO
106°	284	188	0,87	6,02	9,956	0,097	0,148	C
118°	347	128	0,80	5,03	10,040	0,066	0,088	C
130°	378	132	1,86	7,88	10,087	0,093	0,090	C

INTENSIDADE: raio 0,8 mm

ÂNG.	FORÇ. (N)	MOM.(Ncm)	Ra(μm)	Rt(μm)	DIAM. (mm)	CIR. (mm)	CIL. (mm)	CAVACO
106°	228	140	0,88	6,08	10,011	0,028	0,087	C
118°	326	127	1,55	4,72	10,010	0,135	0,160	C
130°	403	123	2,47	13,08	10,010	0,062	0,065	C

AÇO

INTENSIDADE: chanfro 0,1 mm

ÂNG.	FORÇ. (N)	MOM.(Ncm)	Ra(μ m)	Rt (μ m)	DIAM. (mm)	CIR. (mm)	CIL. (mm)	CAVACO
106°	1020	515	6,93	39,00	10,158	0,046	0,128	A/B
118°	1070	266	8,50	41,67	10,119	0,019	0,085	A/B
130°	1890	480	7,10	40,00	10,022	0,026	0,031	A/B

INTENSIDADE: chanfro 0,2 mm

ÂNG.	FORÇ. (N)	MOM.(Ncm)	Ra(μ m)	Rt (μ m)	DIAM. (mm)	CIR. (mm)	CIL. (mm)	CAVACO
106°	1110	399	6,40	38,67	10,162	0,030	0,081	A/B
118°	1590	517	5,17	32,00	10,124	0,023	0,131	A/B
130°	1640	422	6,33	33,00	10,049	0,014	0,037	A/B

INTENSIDADE: chanfro 0,4 mm

ÂNG.	FORÇ. (N)	MOM.(Ncm)	Ra(μ m)	Rt (μ m)	DIAM. (mm)	CIR. (mm)	CIL. (mm)	CAVACO
106°	1220	422	4,00	25,00	10,144	0,035	0,143	A/B
118°	1010	244	6,73	38,00	10,070	0,043	0,131	A/B
130°	1820	484	6,27	34,33	10,010	0,022	0,024	A/B

INTENSIDADE: raio 0,2 mm

ÂNG.	FORÇ. (N)	MOM.(Ncm)	Ra(μ m)	Rt (μ m)	DIAM. (mm)	CIR. (mm)	CIL. (mm)	CAVACO
106°	1420	504	5,83	28,67	10,048	0,024	0,067	A/B
118°	1540	508	7,33	44,67	10,120	0,008	0,065	A/B
130°	1480	413	6,50	35,67	10,115	0,030	0,055	A/B

INTENSIDADE: raio 0,4 mm

ÂNG.	FORÇ. (N)	MOM.(Ncm)	Ra(μ m)	Rt (μ m)	DIAM. (mm)	CIR. (mm)	CIL. (mm)	CAVACO
106°	1490	545	7,33	36,00	10,040	0,062	0,070	A/B
118°	1580	496	7,83	36,33	10,054	0,022	0,047	A/B
130°	1570	416	6,50	33,67	10,070	0,021	0,062	A/B

INTENSIDADE: raio 0,8 mm

ÂNG.	FORÇ. (N)	MOM.(Ncm)	Ra(μ m)	Rt (μ m)	DIAM. (mm)	CIR. (mm)	CIL. (mm)	CAVACO
106°	1670	553	5,97	30,67	10,123	0,055	0,117	A/B
118°	1530	509	8,00	47,67	10,168	0,014	0,085	A/B
130°	1800	488	4,17	20,67	10,014	0,021	0,045	A/B

ANEXO V

Dispersões das Grandezas Geradas pelas Brocas de Referência (Sem erro induzido)

Material: Alumínio 2011-T3

Diâmetro (mm)

ÂNGULO PONTA	DESVIO PADRÃO	MÉDIA	D.M. (88%)
106°	0.109	10.151	0.214
118°	0.097	10.146	0.191
130°	0.010	10.013	0.020

Rugosidade (μm)

ÂNGULO PONTA	DESVIO PADRÃO	MÉDIA	D.M. (88%)
106°	0.92	2.81	1.81
118°	0.85	3.71	1.67
130°	0.46	2.64	0.90

Circularidade (mm)

ÂNGULO PONTA	DESVIO PADRÃO	MÉDIA	D.M. (88%)
106°	0.021	0.045	0.043
118°	0.024	0.056	0.048
130°	0.012	0.038	0.024

Cilindricidade (mm)

ÂNGULO PONTA	DESVIO PADRÃO	MÉDIA	D.M. (88%)
106°	0.020	0.098	0.039
118°	0.026	0.082	0.051
130°	0.021	0.062	0.042

Força axial (N)

ÂNGULO PONTA	DESVIO PADRÃO	MÉDIA	D.M. (88%)
106°	30	306	59
118°	17	327	33
130°	22	426	43

Momento Torçor (Ncm)

ÂNGULO PONTA	DESVIO PADRÃO	MÉDIA	D.M. (88%)
106°	17	120	33
118°	11	137	21
130°	8	129	16

Material: Bronze (TM-23)

Diâmetro (mm)

ÂNGULO PONTA	DESVIO PADRÃO	MÉDIA	D.M. (88%)
106°	0.011	10.038	0.022
118°	0.037	10.050	0.071
130°	0.063	10.070	0.124

Rugosidade (μm)

ÂNGULO PONTA	DESVIO PADRÃO	MÉDIA	D.M. (88%)
106°	1.17	1.60	2.30
118°	0.32	0.90	0.62
130°	0.63	1.06	1.24

Circularidade (mm)

ÂNGULO PONTA	DESVIO PADRÃO	MÉDIA	D.M. (88%)
106°	0.023	0.085	0.044
118°	0.004	0.042	0.008
130°	0.030	0.063	0.060

Cilindricidade (mm)

ÂNGULO PONTA	DESVIO PADRÃO	MÉDIA	D.M. (88%)
106°	0.028	0.098	0.054
118°	0.024	0.077	0.048
130°	0.031	0.095	0.061

Força axial (N)

ÂNGULO PONTA	DESVIO PADRÃO	MÉDIA	D.M. (88%)
106°	22	248	43
118°	13	318	26
130°	15	394	31

Momento Torçor (Ncm)

ÂNGULO PONTA	DESVIO PADRÃO	MÉDIA	D.M. (88%)
106°	6	115	12
118°	4	117	8
130°	5	118	11

Material: Aço Carbono (ABNT 1020)

Diâmetro (mm)

ÂNGULO PONTA	DESVIO PADRÃO	MÉDIA	D.M. (88%)
106°	0.043	10.141	0.085
118°	0.017	10.158	0.032
130°	0.019	10.111	0.037

Circularidade (mm)

ÂNGULO PONTA	DESVIO PADRÃO	MÉDIA	D.M. (88%)
106°	0.012	0.033	0.024
118°	0.032	0.034	0.063
130°	0.000	0.011	0.001

Força axial (N)

ÂNGULO PONTA	DESVIO PADRÃO	MÉDIA	D.M. (88%)
106°	261	1286	513
118°	121	1363	238
130°	402	1333	788

Rugosidade (μm)

ÂNGULO PONTA	DESVIO PADRÃO	MÉDIA	D.M. (88%)
106°	1.08	5.35	2.11
118°	1.83	7.15	3.59
130°	1.17	5.35	2.29

Cilindricidade (mm)

ÂNGULO PONTA	DESVIO PADRÃO	MÉDIA	D.M. (88%)
106°	0.024	0.113	0.049
118°	0.084	0.142	0.164
130°	0.020	0.078	0.040

Momento Torçor (Ncm)

ÂNGULO PONTA	DESVIO PADRÃO	MÉDIA	D.M. (88%)
106°	90	443	178
118°	44	442	87
130°	125	359	246

ANEXO VI

TRANSPARÊNCIA COM AS CURVAS DE REFERÊNCIA