



COMPROMETIDA COM A PROMOÇÃO DO DESENVOLVIMENTO DA ENGENHARIA E DAS CIÊNCIAS MECÂNICAS

VI CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA
VI NATIONAL CONGRESS OF MECHANICAL ENGINEERING
18 a 21 de agosto de 2010 – Campina Grande – Paraíba - Brasil
August 18 – 21, 2010 – Campina Grande – Paraíba – Brazil

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO PROCESSO DE FURAÇÃO COM BROCA ESCALONADA DE CANAL RETO EM UMA LIGA DE ALUMÍNIO UTILIZADA NA INDÚSTRIA AUTOMOTIVA

Fabício José Nóbrega Cavalcante, fabicio.nobrega@bol.com.br¹
Allan Coutinho Pereira, allan.coutinho@bol.com.br¹
Paulo André de Camargo Beltrão, beltrao@utfpr.br¹

¹Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Avenida Sete de Setembro, 3165, Rebouça – Curitiba – Paraná.

Resumo: O alumínio e suas ligas são materiais aplicados na indústria automotiva por apresentar boa resistência mecânica e densidade relativa baixa, em comparação com os metais tradicionais utilizados, como o aço e ferro fundido. Dentre os processos de manufatura para o beneficiamento do alumínio, a usinagem se destaca por ainda hoje, ser um processo bastante utilizado, com destaque para o processo de furação, que representa 28% do tempo efetivo de corte. Na fabricação dos componentes automotivos, alguns furos necessitam de um acabamento superficial e de uma tolerância dimensional diferenciada e quando se utiliza do processo de furação, geralmente os requisitos do projeto não são alcançados com a utilização de uma única ferramenta de corte, necessitando de operações subsequentes. Alterações na ferramenta e nos parâmetros de corte podem contribuir significativamente para melhorar o processo de furação, podendo eliminar operações subsequentes e reduzir o custo de fabricação do produto. Neste estudo procurou avaliar um processo de usinagem de um furo escalonado com rugosidade superficial máxima R_t de $6,5\mu\text{m}$ e tolerância dimensional IT9, utilizando uma broca de canal reto no processo de furação de uma liga de alumínio utilizada na indústria automotiva. Os ensaios foram realizados mediante a variação dos parâmetros de avanço e velocidade de corte, buscando avaliar a qualidade do furo estudado com relação às condições testadas. Os resultados foram avaliados através do monitoramento da rugosidade superficial e do diâmetro dos furos ao longo dos testes, assim como avaliações das ferramentas utilizadas. Para avaliação da influência dos parâmetros no processo, foi utilizado o planejamento fatorial do experimento como tratamento estatístico, verificando a influência das variáveis envolvidas bem como suas correlações. Os valores encontrados mostraram a tolerância dimensional obtida com esse tipo de ferramenta assim como a influência da velocidade de corte, do avanço e da geometria da ferramenta em relação à rugosidade superficial e ao diâmetro, definindo-se a melhor condição de usinagem para a furação da liga em estudo.

Palavras-chave: *usinagem, furação, broca de canal reto, planejamento do experimento*

1. INTRODUÇÃO

O constante crescimento da indústria automotiva tem grande participação dos fabricantes de motocicletas que apresentou crescimento médio de 20% nos últimos anos, fazendo deste seguimento um mercado bastante atraente. Durante a fabricação do motor de uma motocicleta, a utilização do processo de usinagem é bastante significativa por, ainda hoje, fabricar produtos com um mínimo de variação dimensional, além de atender boas condições de custo e produtividade. Dentre os processos de usinagem utilizados na fabricação de um motor de combustão interna, a furação se destaca por apresenta tempo médio efetivo de corte de 28%, em relação aos demais processos utilizados, (Andrade, 2005).

No processo de furação, algumas particularidades são verificadas, como: variação da velocidade de corte ao longo da aresta principal da ferramenta, dificuldade de remoção dos cavacos, dificuldade de lubrificação na região de corte, presença de vibração durante a realização do processo e atrito decorrente das guias da ferramenta em contato com o furo, todas essas particularidades tem influência no processo de fabricação e na furação geralmente é considerado como um processo impreciso ou primário, obtendo-se furos na classe de tolerância dimensional IT11. Na necessidade de obtenção de furos mais precisos, geralmente na indústria utiliza-se uma broca helicoidal, como primeiro processo, e em seguida o furo passa por uma operação de acabamento, com a utilização de um alargador, alcançando tolerância na faixa de IT9 e a rugosidade especificada.

Com a evolução dos equipamentos utilizados nos processo de usinagem, tem-se possibilitado recursos de rotação e avanço mais satisfatórios para a fabricação, juntamente e com o desenvolvimento de ferramentas construídas com novos materiais, novas afiações e novos conceitos de construção geométrica, buscando a melhoria dos processos de usinagem,

em especial no processo de furação, melhorando os níveis de qualidade dos furos e diminuindo o custo de produção. Tendo em vista a necessidade de melhoria do processo de furação, essas particularidades têm despertado interesse dos pesquisadores, na obtenção de furos com tolerâncias dimensionais IT9, utilizando-se de única ferramenta de usinagem. Atualmente, essa tolerância já é obtida com os processos de torneamento e fresamento, que evoluíram tecnologicamente no decorrer dos anos, (Diniz et al 2001). Tendo em vista as dificuldades existentes, é constante o crescimento da aplicação de brocas especiais tais como: broca canhão e broca de canal reto, que apresentam maior estabilidade durante o processo de furação, assegurando uma qualidade dimensional superior a broca helicoidal, que é comumente utilizada.

O objetivo do estudo é avaliar o processo de furação em uma liga de alumínio em atendimento as dimensões de um furo escalonado com tolerância dimensional IT9 e rugosidade superficial R_t máxima de $6,5\mu\text{m}$, com variação dos parâmetros de usinagem, velocidade de corte e avanço, e utilizando-se de dois tipos de brocas de canais retos, determinando a condição de processo que melhor atende as especificações do furo estudado, assim como a influência de cada parâmetro monitorado nos resultados obtidos.

2. O PROCESSO DE FURAÇÃO

A usinagem é um processo de fabricação com remoção de material na forma de cavaco, e é considerado um dos mais populares do mundo (Machado et al 2009). Apesar disso, há muita incerteza quanto à determinação das condições ideais para o processo, devido ao grande número de variáveis envolvidas. Estudos relacionados ao tema vêm contribuindo para o melhor entendimento e melhoria do processo de fabricação como um todo.

Dentre os processos de usinagem, a furação se destaca por ser um dos mais importantes e mais utilizados na indústria, podendo ser aplicado à maioria dos materiais e nos diversos componentes mecânicos. Parigrácio (2003), afirma que a furação é um dos processos mais competitivos e utilizados na obtenção de furos, cilíndricos ou cônicos, em diversos materiais. Sua definição pode ser descrita como a retirada de material através do movimento relativo de avanço entre a ferramenta e a peça, seguindo uma trajetória coincidente com o eixo longitudinal da ferramenta por meio de movimento de rotação.

A furação sempre foi considerada como uma operação de desbaste, sendo necessárias operações subseqüentes para a obtenção de furos com tolerâncias dimensionais mais fechadas, tais como melhor precisão dimensional, maior precisão de forma e de alinhamento, melhor acabamento superficial, dentre outros (Stemmer, 1995). Essas limitações são verificadas nos resultados obtidos no processo usualmente verificado nas indústrias, que geralmente resulta em furos com tolerância dimensional na ordem de IT11, o que torna limitado em algumas aplicações nos componentes mecânicos, e dependendo das condições de usinagem, essa desvantagem faz com que seja necessário um acréscimo no número de processos, elevando o custo de fabricação do item produzido.

O processo de furação pode ser evoluído e melhorado com o surgimento de novos materiais para as ferramentas de corte, novos equipamentos de usinagem e novas construções de ferramentas, contribuindo para a utilização de melhores condições de corte e resultando em furos mais precisos. Segundo Diniz et al (2001), uma das evoluções do processo é a utilização de brocas especiais em alta rotação, o que permite a obtenção de furos mais precisos.

2.1. Ferramentas para furação

Para a realização do furo, geralmente são utilizadas ferramentas de corte denominadas de broca, podendo ser classificadas de diversas formas conforme: estrutura; haste; comprimento; material; ângulo de hélice e geometria da secção reta. A utilização de brocas especiais, como as brocas de canais retos, tem despertado interesse em algumas aplicações na indústria, por proporcionar furos com melhor tolerância dimensional, quando comparada à utilização das brocas tradicionais, como as helicoidais. Na aplicação da broca de canal reto, a ferramenta apresenta uma maior estabilidade durante o processo de usinagem devido aos guias laterais lineares existentes, essas guias (arestas secundárias) ajudam a melhorar o acabamento superficial e a qualidade dimensional do furo (Diniz et al 2001).

Algumas particularidades das brocas de canais retos são: possuem ângulo de hélice e de saída iguais a 0° , diferenciando das brocas helicoidais. São brocas mais resistentes a torção e geralmente são empregadas na furação de furos profundos. No entanto, algumas outras aplicações são verificadas na indústria, como em aplicações de furação em cheio. Seu desenvolvimento inicial foi direcionado para materiais com geração de cavacos curtos, mas, com a evolução dos tipos de afiações e dos materiais, esse tipo de broca tem sido aplicado na usinagem de outros tipos de materiais, como as ligas de alumínio, resultando numa melhora da tolerância dimensional do furo. A Fig. (1) ilustra uma broca de canal reto.



Figura 1. Broca de canal reto

Com relação ao material da ferramenta de corte, o metal duro (compostos de carbonetos de tungstênio e cobalto) é um dos materiais mais indicados para utilização em ferramentas para furação, apresentando boa combinação de propriedades necessárias para a realização do processo como: dureza a altas temperaturas, boa resistência ao desgaste e tenacidade. O metal duro é dividido em classes, de acordo com sua composição, e a classe K10 é a mais indicada para a usinagem das ligas de alumínio (Reis et al 2005).

2.2. Parâmetros de corte

Os parâmetros de corte na furação podem ser administrados e controlados para atender necessidades como: tempo de operação, tolerância dimensional do furo, limitação do equipamento, limitação da ferramenta, dentre outros. Estes são determinados avaliando-se fatores como os recursos do equipamento, material a ser usinado e o tipo da ferramenta de corte. O controle dos parâmetros fornece uma estimativa da vida da ferramenta, tendo também influência no processo, como no acabamento superficial (Andrade, 2005).

Dentre todos os parâmetros de usinagem, tem-se destaque para a velocidade de corte e o avanço, por serem parâmetros de fácil monitoramento, quando a usinagem é realizada com equipamentos com comando numérico, como é o caso do estudo proposto.

A velocidade de corte na furação definiu-se como a velocidade periférica da broca, considerada como um movimento de corte e de avanço concomitante. A velocidade de corte é calculada conforme Eq. (1), considerando d =diâmetro da ferramenta [mm] e n =número de rotações da broca [rpm].

$$V_c = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000} [m/min] \quad (1)$$

No caso do avanço, é definido como o percurso de cada volta medido em mm por rotação. Devendo-se observar o limite pré-estabelecido pela ferramenta utilizada ou pelo equipamento, evitando danos a ferramenta de corte e conseqüentemente em resultados não satisfatórios. Para o cálculo da velocidade de avanço, V_c , tem-se a relação conforme Eq. (2), onde f =avanço [mm/rot] e n =número de rotações de broca [rpm], conforme Eq. (2).

$$V_f = f \cdot n [mm/min] \quad (2)$$

Os parâmetros de avanço e velocidade de corte são essenciais para qualquer processo de usinagem, por terem influência na qualidade do produto e no custo de fabricação. São importantes no processo por serem fatores que influenciam no tempo de processo e no desgaste das ferramentas, e determinam os limites das variáveis envolvidas mediante a necessidade solicitada pelo produto. Uma das grandes dificuldades de qualquer processo de usinagem é a determinação de parâmetros que resulte na melhor condição de usinagem.

2.3. Qualidade superficial

A fabricação de componentes através do processo de usinagem resulta em alterações da superfície, apresentando irregularidades e normalmente a qualidade superficial é monitorada através da rugosidade. Sua avaliação é classificada em termos de parâmetros, e alguns destes medem a variação vertical, horizontal ou uma combinação dos dois. No caso da avaliação de processos produtivos, os parâmetros mais utilizados são: R_a , R_t e R_z , sendo respectivamente, desvio médio aritmético, altura do pico mais alto e da profundidade do vale mais profundo e total das duas médias entre: os cinco picos mais altos e a profundidade média dos cinco valem mais profundos.

A qualidade de uma superfície usinada irá depender da aplicação a que se destina, podendo influenciar no desempenho do produto final. Segundo Breitinger (1973) toda superfície usinada, por mais perfeita que seja sempre apresenta irregularidades, devido ao processo de fabricação, referenciando a uma superfície geométrica ideal, e essas irregularidades devem ser controladas de acordo com a necessidade do componente. A norma DIN 4766, define a faixa de rugosidade média para o processo de furação, estando compreendida entre 1,6 à 25 μ m, sendo difícil estabelecer um valor médio para furos usinados (Barbosa 2009). Esta condição faz com que novos estudos sejam desenvolvidos, suprimindo novas necessidades dos produtos e sem impactar no custo final de produção.

3. METODOLOGIA

Geralmente as condições de usinagem em uma produção seriada são definidas empiricamente e baseadas apenas na especificação do produto e no tempo de ciclo. Esta estratégia muitas das vezes não garante uma condição ideal de fabricação, não atingindo as melhores condições para a operação, acarretando em custos elevados.

Visando contribuir cientificamente e melhorar o processo de usinagem aplicada na indústria, a metodologia avalia o processo de furação buscando o entendimento da usinagem da liga, através de critérios de saída pré-estabelecidos, buscando melhorar o nível de qualidade do processo utilizando única broca.

Com base nas informações contidas na norma ISO 3685, que descreve a metodologia de ensaio sistemático para a avaliação do processo de furação, procurou-se estabelecer um estudo aliando a norma, a resultados já consistentes na

literatura, como no estudo de Braga et al (2002), e com aplicações similares existentes na indústria, buscando a avaliação de resultados representativos para a usinagem da liga de alumínio em estudo.

Desta forma, aliando-se as situações mencionadas, definiu-se, para alcançar uma boa representação do processo, um total de 30 metros de comprimento usinado para avaliação do processo. Na aplicação, correspondente a 800 furos usinados e definiu-se realizar uma réplica em cada condição proposta. Por se tratar de um experimento realizado em uma linha de produção seriada, algumas variáveis foram fixadas, como: o fluido lubri-refrigerante, o material a ser usinado e a profundidade de usinagem. A seguir é demonstrado na Fig. (2) um fluxo com o procedimento experimental seguido.

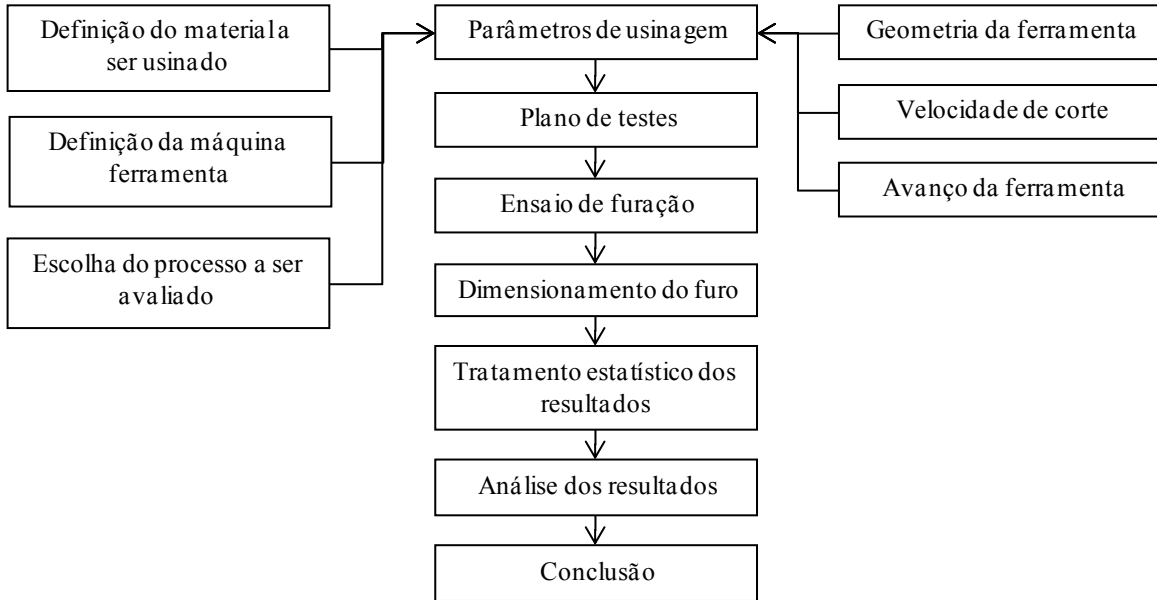


Figura 2. Fluxo do procedimento experimental

4. Caracterização do material e equipamento

O material utilizado nos testes foi uma liga de alumínio denominada de AL-HD2G, com composição química determinada através da utilização de um espectrômetro de massa de fabricação *Shimadzu* e modelo OES-5500 II, conforme Tab. (1).

Os ensaios de furação foram realizados em um centro de usinagem CNC, da marca *Fanuc*, modelo *Robodrill* α T21iEL. Esse equipamento permite uma rotação máxima de até 8.000rpm, possuindo um sistema de quatro eixos e uma potência instalada de 15,9 kVA. Para o eixo de acionamento do *spindle*, apresenta uma potência média de 3,7kW. A ferramenta foi montada em um mandril porta-pinça com um cone ISSO BT-30.

Tabela 1. Composição da liga de alumínio AL-HD2G testada (% de componentes)

Si	Cu	Fe	Mg	Zn	Mn	Ti	Ni
9,81	1,27	0,95	0,3	0,96	0,29	0,04	0,06

4.1. Caracterização do processo estudado

Para o estudo, definiu-se um processo conforme Fig. (3), onde se observa um furo escalonado e dois diâmetros, apresentando algumas particularidades como a região da parede do furo do diâmetro maior apresentando rugosidade máxima de 6,5 μ m e uma tolerância de 0,05mm. O que torna um desafio para uma furação em cheio com a utilização de uma única ferramenta de corte em obtenção dos furos solicitados.

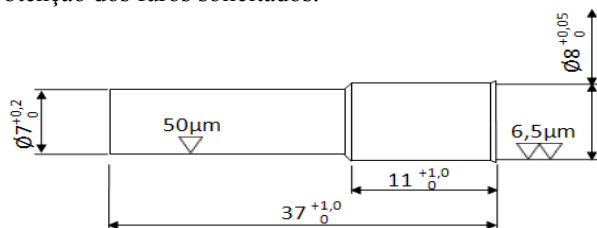


Figura 3. Detalhe do furo estudado

4.2. Definição da ferramenta de corte

Visando explorar as guias laterais das ferramentas de corte para proporcionar uma melhor qualidade dos furos, definiu-se a utilização de duas geometrias de brocas de canais retos a serem testadas, geometria A e geometria B, compondo quatro guias e seis guias, respectivamente, ambas com afiação da em X e ângulo de ponta de 118° . As Fig. (4) e Fig. (5) mostram detalhe da seção transversal de cada tipo de broca testada, com destaque para as indicações das guias em relação a um dos gumes de corte.

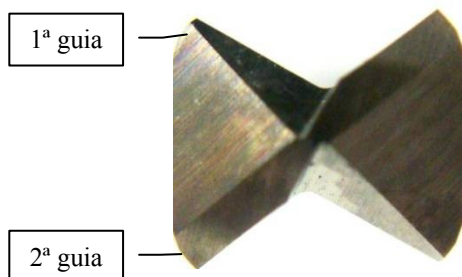


Figura 4. Broca com geometria A

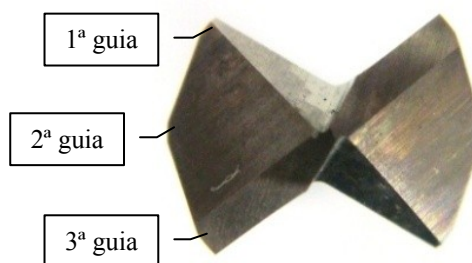


Figura 5. Broca com geometria B

4.3. Definição dos parâmetros de corte e medidas para avaliação dos resultados

Na definição das condições de corte da liga estudada, foram utilizadas recomendações obtidas na literatura em Weingaertner et al (1991) e avaliações de processos similares existentes na indústria participante da pesquisa. Com base nestas informações, definiram-se duas faixas de velocidade de corte e duas faixas de avanço da ferramenta, conforme distribuição na Tab. (2), sempre procurando atender as condições especificadas do furo, conforme Fig. (3).

Tabela 2. Parâmetros de corte para os ensaios

Broca	Geometria A				Geometria B			
	1	2	3	4	1	2	3	4
V_C (m/min)	150	150	170	170	150	175	170	170
f_c (mm/rot)	0,05	0,025	0,05	0,025	0,05	0,025	0,05	0,025

Visando um melhor acompanhamento dos resultados, foi proposto um plano para coleta das amostras dos furos da seguinte maneira: usinagem de 800 furos e coleta de duas amostras a cada 200 furos, totalizando 8 amostras de cada condição estabelecida para análise, o que reflete um acompanhamento ao longo de todo o experimento. O intervalo da coleta foi baseado em condições similares já existentes na indústria colaboradora, estabelecendo a frequência de inspeção dos furos em função do próprio monitoramento do processo produtivo, uma vez que, todos os componentes processados seguiram o fluxo normal de produção e foram utilizados no produto final.

Após os testes de furação foram feitas medidas e análises do nível de rugosidade na parede interna do furo, para as medições da rugosidade com utilização de um rugosímetro SJ 400 de fabricação da *Mitutoyo*. O parâmetro de rugosidade avaliado foi o R_t (soma da altura do pico mais alto) por ser o de maior importância para o processo estudado. Avaliação do diâmetro também foi realizada através na verificação da classe de tolerância alcançada. A análise dos resultados obtidos foi realizada através de gráficos e análise de significância.

A análise de significância deu-se através da avaliação do experimento fatorial de ordem 2^3 , realizando o cruzamento das condições avaliadas, com objetivo de detectar a relação de possíveis desvios nas dimensões do furo, mediante a interação entre os parâmetros testados. Para o cálculo estatístico utilizou-se o software *Minitab*, considerando-se um nível de significância de 95%. Montgomery et al (2008), explica detalhadamente todas as etapas para o cálculo de experimento fatorial, onde o tema pode ser melhor esclarecido.

5. RESULTADOS

Os resultados obtidos foram referentes à avaliação da qualidade superficial e do diâmetro dos furos, mediante a análise gráfica e estatística além de avaliações das ferramentas de corte utilizadas nos testes e a verificação da influência dos parâmetros de usinagem monitorados nos ensaios.

Com relação à rugosidade superficial, os resultados obtidos estão demonstrados nas Fig. (6), (7), (8) e (9), apresentando os valores de R_t ao longo das diferentes condições de usinagem. Conforme os gráficos gerados, verifica-se um menor nível de rugosidade nos furos obtidos com a usinagem da broca de geometria A. Para as mesmas condições de corte, os processos realizados com a broca de geometria B, apresentam furos com níveis de rugosidade em maior valor, no entanto, o processo é considerado mais estável com a geometria B, por demonstrar melhor regularidade nos resultados ao longo dos testes.

Conforme gráficos obtidos com os valores de R_t , verifica-se a influência dos parâmetros de usinagem testados, geralmente apresentando um decréscimo na rugosidade R_t quando o avanço é diminuído e quando a velocidade de corte é elevada, o que demonstra a coerência nos resultados, quando comparados com a literatura. O menor nível de rugosidade é em função da utilização das maiores velocidades de corte em função da diminuição da formação da aresta postiça de corte (APC) na ferramenta. A presença da APC eleva o nível de rugosidade da superfície e a alteração no valor da velocidade de corte contribui para a diminuição da aresta postiça de corte na ferramenta e conseqüentemente para um menor nível de rugosidade. Para o avanço, tem-se uma relação entre a altura dos picos e a profundidade dos vales, onde a rugosidade se eleva em proporções quadráticas ao avanço da ferramenta, (Machado et al 2009). Stemmer (1995), explica que a grande influência do avanço sobre os acabamentos superficiais é atribuída ao percurso do raio da ferramenta. Quanto menor o percurso a distância entre os raios gerados diminui, e conseqüentemente a rugosidade é minimizada. Resultados similares aos encontrados são verificados em Manna et al (2003), na ocasião, com o aumento do avanço tem-se uma elevação no nível de rugosidade R_a e R_t , estando de acordo com Machado et al (2009) e Stemmer (1995).

Dentre as condições testadas, a condição 4 foi a que não apresentaram resultados satisfatórios, com utilização da broca de geometria B, para tal, os níveis de rugosidade R_t apresentou-se acima do esperado, em decorrência de uma maior aderência de material nas ferramentas. Para os parâmetros testados, esperava-se que com a diminuição do avanço, a rugosidade superficial R_t deveria apresentar valores inferiores ao que não foi observado na condição 3, uma vez que a velocidade de corte foi mantida e o avanço foi reduzido. A explicação para tais resultados pode ser justificada pela análise visual da broca utilizada nessa condição, observando-se aderência de material usinado nas guias das brocas, o que influenciou nos resultados negativos, tornando os parâmetros de $V_c=170\text{m/min}$ e $f=0,025\text{mm/rot}$ inadequados para a utilização da broca com geometria B.

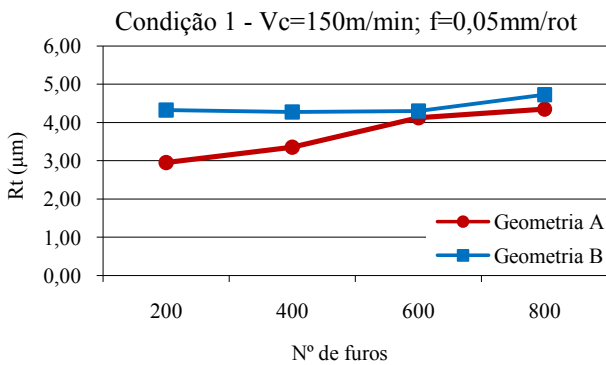


Figura 6. Avaliação da Rugosidade R_t

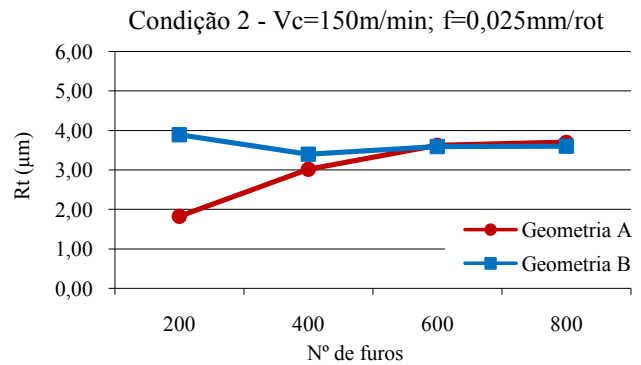


Figura 7. Avaliação da Rugosidade R_t

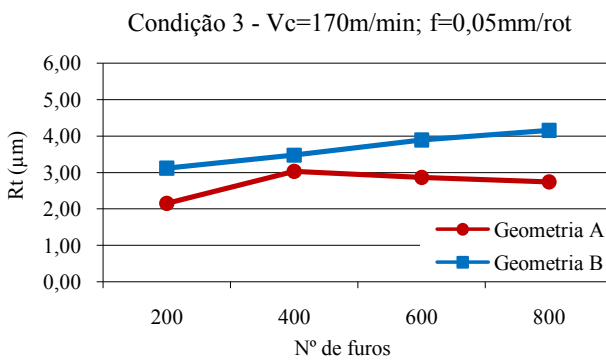


Figura 8. Avaliação da Rugosidade R_t

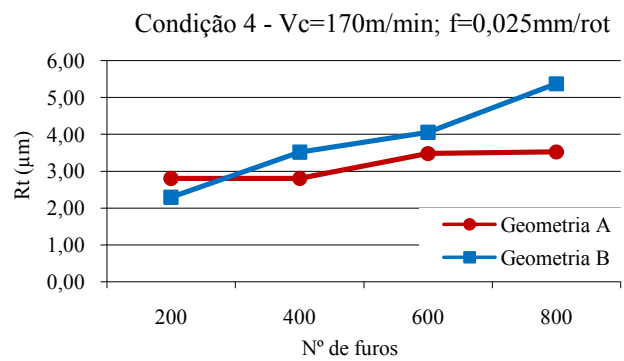


Figura 9. Avaliação da Rugosidade R_t

Para a avaliação do processo mediante o dimensionamento do diâmetro, observam-se os resultados obtidos nas condições testadas comparando-se as duas geometrias utilizadas, Fig. (10), (11), (12) e (13). Todos os dados apresentam-se dentro da tolerância dimensional e de acordo com a variação estabelecida.

Os furos obtidos com a broca de geometria A, apresentam valores mais próximos do valor nominal, a exceção foi os resultados na condição 1, que foram influenciados pela presença de aderência nas guias da ferramenta, conforme avaliação das ferramentas na condição testada.

Para a broca com geometria B, os resultados apresentaram-se mais estáveis, com menor variação do processo, no entanto, os valores mais elevados do diâmetro para a broca com geometria B podem ser atribuídos ao maior atrito na parede do furo, em virtude da geometria apresentar um maior número de guias em sua lateral, apresentando como ganho na estabilidade ao longo de todo o processo.

Conforme o monitoramento do diâmetro estudado, verifica-se que a tolerância dimensional IT9 é alcançada em todas as condições de usinagem aplicadas, quando se avalia o diâmetro 8.

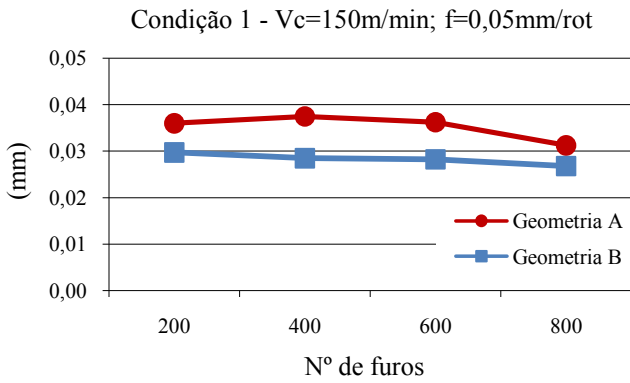


Figura 10. Avaliação do diâmetro

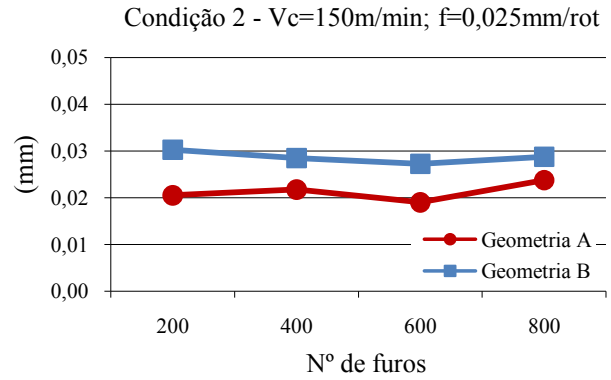


Figura 11. Avaliação do diâmetro

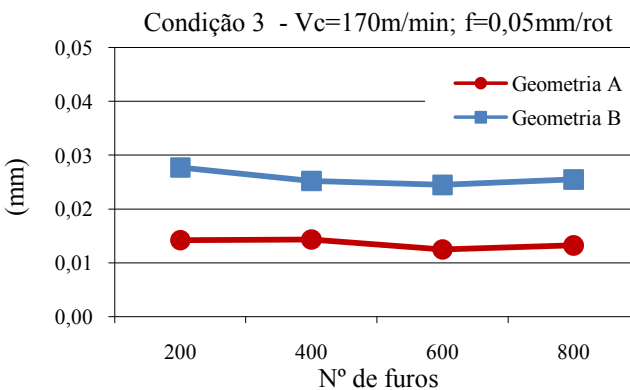


Figura 12. Avaliação do diâmetro

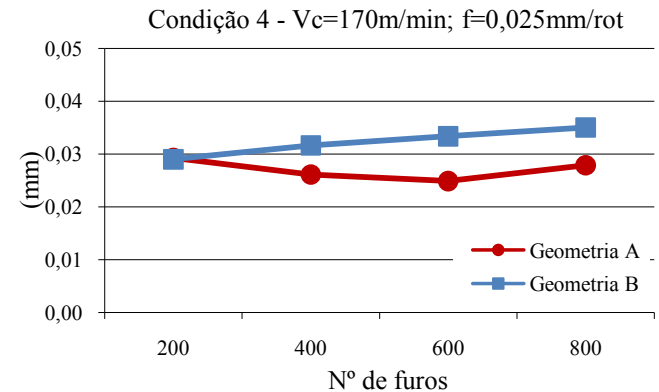


Figura 13. Avaliação do diâmetro

A Tab. 3 apresenta a análise de significância dos efeitos dos parâmetros de usinagem monitorados, utilizando uma confiabilidade de 95% e 5% de nível de significância para a avaliação da rugosidade e do diâmetro do furo. Na avaliação da rugosidade R_t verifica-se uma maior influência atribuída isoladamente ao avanço e no conjunto com a velocidade de corte, considerando o menor valor encontrado para P , indicando que são variáveis significativas no processo. Para a avaliação do diâmetro, a Tab. 3 informa uma forte interação entre os três parâmetros envolvidos: avanço, velocidade de corte e geometria da ferramenta, o que reflete nos resultados obtidos.

Tabela-3 – Análise de significância entre as condições testadas

	Valor de P	
	Rugosidade R_t	Diâmetro
Avanço [mm/rot]	0,159	0,553
Geometria da ferramenta	0,717	0,154
Vel. de corte [m/min]	0,626	0,196
Avanço x Geometria	0,333	0,565
Avanço x Vel. de corte	0,193	0,016
Geometria x Vel. de corte	0,987	0,152
Avanço x Geometria x Vel. de corte	0,483	0,071

Para um melhor entendimento e influência nos resultados, a análise das ferramentas de corte foi realizada através da visualização da aderência do material usinado na ponta e nas guias de cada broca. A Fig. (14) mostra as condições de cada ferramenta após os testes, usinagem de 800 furos.

Na avaliação das condições das ferramentas de corte, verifica-se uma diminuição na aderência de material na ponta da ferramenta, aresta postiça de corte, na medida em que a velocidade de corte é elevada, essa observação é verificada para ambas as brocas testadas. Para avaliação das guias das ferramentas, a geometria B apresentou maior aderência de material nessa região, particularmente quando se utilizou da velocidade de 170m/min, o que refletiu nos resultados da rugosidade e do diâmetro do furo para a condição 4. Essa afirmação deve-se a baixa taxa de avanço utilizada, uma vez que o atrito da broca com geometria B é maior, devido seu formato transversal. A geometria A apresentou aderência no centro das guias da broca, condição 1 de usinagem, o que refletiu num aumento no diâmetro.

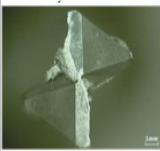
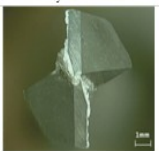
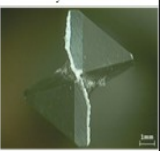
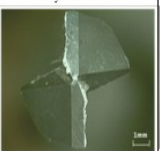
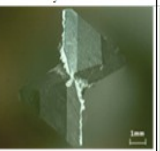
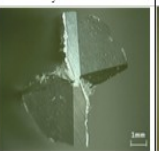
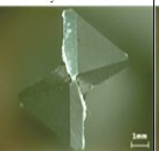
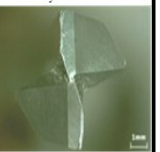

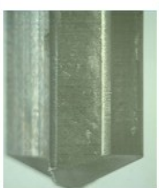

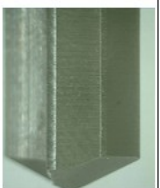

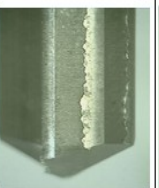

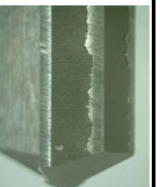
Avaliação da aderência das ferramentas (mm)							
Condição 1		Condição 2		Condição 3		Condição 4	
Vc=150m/min; f=0,05mm/rot		Vc=150m/min; f=0,025mm/rot		Vc=170m/min; f=0,05mm/rot		Vc=170m/min; f=0,025mm/rot	
Grometria A	Grometria B	Grometria A	Grometria B	Grometria A	Grometria B	Grometria A	Grometria B
1,39mm	1,31mm	1,32mm	1,34mm	1,27mm	1,30mm	1,31mm	1,32mm
							
							

Figura -14 – Avaliação das ferramentas testadas em cada condição

6. CONCLUSÕES

Os ensaios de furação realizados na liga de alumínio AL-HD2G, tornaram possíveis algumas conclusões, mediante as condições utilizadas. Os resultados obtidos refletem o comportamento de um processo de usinagem com a utilização das brocas testadas, verificando-se o comportamento do processo ao longo do experimento.

De uma forma geral a rugosidade superficial R_t ficou dentro do especificado, $6,5\mu\text{m}$. Para os furos obtidos com a utilização da broca com geometria A apresentaram-se com menores valores de rugosidade R_t , no entanto, os furos realizados com a broca de geometria B apresentaram resultados mais estáveis com menor variação da rugosidade ao longo do teste. Esses resultados concluem que, para uma aplicação que se deseja maior estabilidade no processo a broca com geometria B é a mais indicada, devendo-se levar em consideração o valor inicial da rugosidade obtida na condição de usinagem.

Com relação à avaliação do diâmetro, a geometria A apresentou resultados com valores mais próximos do nominal, no entanto, a geometria B mostrou-se, da mesma forma que foi obtido nos resultados da rugosidade R_t , com o processo mais estável. Para ambas as brocas testadas, a tolerância dimensional IT9 foi alcançada em todas as condições, apresentando resultados satisfatórios.

Para uma resposta sobre a interação dos parâmetros testados, o planejamento fatorial do experimento mostrou-se importante na determinação de situações singulares, apresentando o avanço e a velocidade de corte como os principais parâmetros de influência na alteração da rugosidade R_t e no diâmetro do furo.

Na avaliação das ferramentas, a broca com geometria B apresentou-se com aderência nas guias na aplicação do avanço de $0,025\text{mm/rot}$, justificado pelo maior atrito na parede dos furos em virtude do maior número de guias (arestas secundárias) que caracterizam a ferramenta.

Com base nas informações coletadas, conclui-se que dentre as brocas e parâmetros testados a melhor condição de usinagem observada para o processo estudado foi obtida para, a velocidade de corte de 170m/min com um avanço de $0,05\text{mm/rot}$, utilizando a broca de geometria A.

7. AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi desenvolvido no programa de Mestrado Interinstitucional – MINTER entre a UTFPR e o IFAM, Instituto Federal do Amazonas, que recebeu financiamento da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES – através do projeto ACAM 1379/2006 e da Superintendência da Zona Franca de Manaus – SUFRAMA – através do convênio 084/2005. O autor deste trabalho foi bolsista do PROGRAMA RH-INTERINSTITUCIONAL da Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado do Amazonas - FAPEAM – no ano de 2009. Nossos sinceros agradecimentos pelo apoio recebido.

8. REFERÊNCIAS

- Andrade, C. L. F., Análise da furação do ferro fundido vermicular com brocas de metal-duro com canais retos revestidas com TiN e TiAlN, Dissertação de mestrado em Engenharia Mecânica, UFSC, Florianópolis, 2005.
- Barbosa, A. P., Furação de ferro fundido austemperado e nodular perlítico, Dissertação de mestrado em Engenharia Mecânica, UFU, Uberlândia, 2009.

- Braga, D. U., Diniz A. E., Miranda G. W. A., Coppini N. L., Using a minimum quantity of lubricant (MQL) and a diamond coated tool in the drilling of aluminum–silicon alloys; *Journal of Materials Processing Technology* 122, 127–138p, 2002.
- Diniz, A. E., Marcondes, F. C.; Coppini, N. L., *Tecnologia da Usinagem dos Materiais*. Art Liber Ltda. São Paulo – SP, 2001.
- International Organizations for Standardization. *Tool-life testing with single-point turning tools: ISO 3685*. 2 ed. Genève, Switzerland, 1993.
- Manna, A., Bhattacharayya, B., A study on machinability of Al/SiC-MMC. *Jornal of Materials Processing Technology*, 140, 711-716p, 2003.
- Montgomery, D. C.; Runger, G. C., *Estatística aplicada e probabilidade para engenheiros*. 2ª edição – Rio de Janeiro: LTC, 2008.
- Novaski, O. *Contribuições ao Processo de Furação com Brocas Helicoidais*. UNICAMP Tese de Livre Docência, Campinas – SP, 1996.
- Perigrácio, M.; Luiz, *Análise da qualidade de furos realizados por fresamento helicoidal interpolado*. Dissertação de Mestrado Apresentada à Universidade Federal do Paraná, 103p, 2003.
- Stemmer, E. C. *Ferramentas de Corte I*. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 4a ed. 1995.
- Weingaertner, W. L.; Schroeter, R. B. – *Tecnologia de Usinagem do Alumínio e suas Ligas*. ALCAN – 1991.

9. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.



VI CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA
VI NATIONAL CONGRESS OF MECHANICAL ENGINEERING
18 a 21 de agosto de 2010 – Campina Grande – Paraíba - Brasil
August 18 – 21, 2010 – Campina Grande – Paraíba – Brazil

ANALYSIS OF QUALITY IN THE PROCESS OF DRILLING WITH DRILL SLIDING SCALE OF STRAIGHT CHANNEL IN AN ALUMINUM ALLOY USED IN AUTOMOTIVE INDUSTRY

Fabício José Nóbrega Cavalcante, fabicio.nobrega@bol.com.br¹

Allan Coutinho Pereira, allan.coutinho@bol.com.br¹

Paulo André de Camargo Beltrão, beltrao@utfpr.br¹

¹Federal University of Technology - Paraná, Avenida Sete de Setembro, 3165, Rebouça – Curitiba – Paraná.

Abstrac: *The aluminium and its alloys are materials applied in the automotive industry by offering good mechanical resistance and gravity low, compared with traditional used metals such as steel and iron. Among the manufacturing processes for the processing of aluminium, machining excels by still a fairly used processes, with an emphasis on the process of drilling, representing 28% of the time effective of machining. In the manufacture of automotive components, some holes require a surface finish of 6,5µm and a tolerance dimensional IT9, usually this condition is not achieved with a single tool, requiring subsequent operations. Changes in the tool and cutting parameters can contribute significantly to improve the process of drilling as a whole and eliminate subsequent operations and reduce the cost of manufacturing. This study sought to evaluate a staggered process of drilling using drill straight channel in machining of an aluminium alloy used in the automotive industry, service desired hole tolerance using single tool. The tests were carried out by the variation of parameters of advancement and cut-off speed, seeking to assess the quality countersink studied by conditions tested. The results found were assessed by the monitoring of surface roughness and diameter of the holes along the tests, as well as evaluations of proven tools. Statistical treatment was performed using the method of planning factorial experiments, noting the influence of the variables involved as well as their correlations. Values found showed the influence of cut-off speed, advancement and geometry with respect to surface roughness and diameter, the best condition machining for drilling in the study.*

Keywords: *machining, drilling, gundrills, surface quality, design of eperiment.*