

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ESCOLA DE ENGENHARIA - CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA  
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Influência dos parâmetros de corte na furação de chapas de alumínio 7075-T6

por

Fábio Kirsch Carvalho

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Mecânica da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Engenheiro Mecânico.

Porto Alegre, janeiro de 2020

## DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO

Página obrigatória com a ficha catalográfica que consiste na descrição dos dados internacionais de catalogação na publicação, sendo sua elaboração de responsabilidade do aluno a partir da utilização do Catalográfica disponível na página do Sistema de Bibliotecas da UFRGS (SBUFRGS). A ficha catalográfica gerada pelo sistema deve ser copiada como imagem e colada no verso da folha de rosto.

<p>Sobrenome, Nome do Autor, ano de nascimento-</p> <p>Título principal: subtítulo / Nome e sobrenome do autor. Ano de conclusão.</p> <p>n. de f. : il. color. (<i>"ilustrado" e "colorido" abreviado. Considere ilustrado se contiver ilustrações relevantes. Tabelas contendo apenas palavras e/ou números não são consideradas ilustrações. Caso não seja ilustrado ou esta seja em preto e branco, não mencionar; exemplos: "n. de f. ; altura..." ou "n. de f. : il. ; altura..."</i>) ; altura da encadernação ou das folhas em cm (<i>arredondando as frações para cima</i>)</p> <p>Orientador: Xxxx Xxxx xx Xxxx. (<i>Apesar do AACR2 não destacar esta informação, a prática o registra</i>)</p> <p>Trabalho de conclusão de curso (graduação) – Universidade Xxxx Xxxx, Curso de XXXXXXXXX, ano de conclusão.</p>
---

Fábio Kirsch Carvalho

Influência da escolha dos parâmetros iniciais na qualidade da furação em chapa de alumínio 7075

ESTA MONOGRAFIA FOI JULGADA ADEQUADA COMO PARTE DOS  
REQUISITOS PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE  
**ENGENHEIRO MECÂNICO**  
APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELA BANCA EXAMINADORA DO  
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

Prof. Mário Roland Sobczyk Sobrinho  
Coordenador do Curso de Engenharia Mecânica

Escolher uma das áreas de concentração: Processos de Fabricação

Orientador: Dr. Eng. Flávio José Lorini

Coorientador: Dr. Eng. Heraldo José Amorim

Comissão de Avaliação: Dr. Eng. Heraldo José Amorim

Dr. Eng. Flávio José Lorini

Dr. Eng. Patric Neis

Porto Alegre, janeiro de 2020

## DEDICATÓRIA

Este trabalho só foi possível graças: aos valores morais e apoio que recebi de meus pais, Alvino Lima Carvalho e Helena Vera Kirsch Carvalho; meu coorientador, Heraldo José Amorim, em diversas vezes me apoiou nessa etapa final de curso; ao técnico de laboratório, Guilherme Vargas Schirmer que me auxiliou em todos experimentos com muita prestatividade e aos meus amigos que sempre me apoiaram. Agradeço também a funcionária da Biblioteca de Engenharia (BIBENG), Vera Lúcia Longaray pelas diversas vezes que esteve disposta a me ouvir.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ESCOLA DE ENGENHARIA - CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA  
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO – 2019

INFLUÊNCIA DA ESCOLHA DOS PARÂMETROS INICIAIS NA QUALIDADE DA FURAÇÃO EM CHAPA DE ALUMÍNIO 7075-T6

**Carvalho, Fábio Kirsch**

kirsch.carvalho@ufrgs.com

**Resumo.** Os processos de usinagem possuem vasta aplicação na indústria, em grande parte por permitir a obtenção de superfícies complexas, com bons acabamentos superficiais e boa precisão dimensional. Entre os processos de usinagem, o processo de furação se destaca por sua variada aplicação, sendo usado em diversos materiais, geralmente com o objetivo de gerar furos para montagem ou como uma operação intermediária. No processo de furação a escolha de um parâmetro de entrada que melhore um determinado parâmetro de qualidade pode prejudicar outro, por isso deve-se primeiramente especificar o objetivo do processo. Desse modo, este trabalho pretende avaliar a influência dos parâmetros de processo e do método lubrificante sobre os esforços, acabamento superficial, geração de rebarbas e qualidade dimensional na furação da liga de alumínio ABNT 7075-T6. Para tanto, optou-se por utilizar um projeto de experimentos do tipo Box-Behnken, onde velocidade de corte, avanço e o ângulo de ponta da broca foram avaliados em três níveis para dois métodos lubrificantes (corte a seco e MQL). A análise dos resultados indica que a melhor qualidade de rebarba e menor rugosidade média ( $R_a$ ) decorrem do corte a seco com avanço de 25 mm/rev, ângulo de ponta de 118° e velocidade de corte de 30 m/min. O menor erro dimensional foi obtido com avanço de 5 mm/rev, ângulo de ponta de 96° e velocidade de corte de 10 m/min.

**Palavras-chave:** Furação, alumínio AISI 7075-T6, qualidade de furação, MQL, corte a seco.

**Abstract:** Machining processes are broadly used in manufacturing industry, since they allow the obtaining of complex surfaces with good surface finishes and dimensional precision. Among these processes, drilling stands out for its varied application, being used in several materials, usually in order to provide holes for assembly or as an intermediate operation. This process is very sensitive to the machining parameters: a variable that improves a certain quality parameter may deteriorate another, thereby, is very important to correctly specify the goal of the process. Thus, this work aims to evaluate the influence of the process parameters, drill tip angle, and the lubricating method over the machining forces, surface finish, burr generation, and dimensional quality in the drilling of ABNT 7075-T6 aluminum. The influence of the tested variables was accessed through a box-behnken design of experiments, where cutting speed, feed, and the drill tip angle were evaluated at three levels for two lubricating methods (dry cutting and MQL). The analysis of the results indicates that the best burr quality and lower mean roughness ( $R_a$ ) resulted from dry cutting with  $f=25$  mm/rev, tip angle of 118° and cutting speed of 30 m/min. The lowest dimensional error was obtained with  $f=5$  mm/rev, tip angle of 96° and cutting speed of 10 m/min.

**Keywords:** Drilling, AISI 7075-T6 aluminum, drilling quality, MQL, dry cutting.

## 1. INTRODUÇÃO

O processo de furação é indispensável em diversos setores da indústria, tais como a automotiva, aeroespacial e até mesmo na medicina. Na indústria aeroespacial, milhares de furos são necessários para montar o corpo de uma aeronave, exigindo tolerâncias muito pequenas para fins de ajuste bastante preciso de acordo com Armarego (1972).

O processo de furação é um dos processos mais utilizados para obtenção de furos por causa da sua simplicidade, velocidade e economia. Ao mesmo tempo é considerado como um processo complexo, pois no centro da broca, o corte é combinado com extrusão, de acordo com Rivero et al. (2006).

Entre os aspectos que afetam a qualidade dos furos gerados com brocas helicoidais está o ângulo de ponta. Brocas com ângulo de  $130^\circ$  costumam ter menor valor de erro de circularidade quando comparadas com brocas de  $118^\circ$ , que é o valor mais comum. No entanto, o uso dessas ferramentas resultou em maiores valores de rugosidade média Ra, segundo Vieira et al. (2017). Em relação aos parâmetros de processo, o avanço costuma ser determinante para a obtenção de furos com bom acabamento superficial. Apesar de estar associado a rugosidades elevadas, Coelho et al. (2017) observaram que avanços elevados, da ordem de cinco a dez vezes o recomendado pelo fabricante, resultam em menor rugosidade média Ra ( $\mu\text{m}$ ) e forças de avanço mais elevadas na furação de alumínio ABNT 7075-T6. Altas taxas de avanço geram tempos de furação menores, o que contribui para o aumento da produtividade. Os autores ainda observaram pouca influência da velocidade de corte sobre a rugosidade.

Um bom trabalho de usinagem depende da escolha adequada de parâmetros. Visto que a furação é um dos processos finais na manufatura, além de ser muito solicitada, é muito importante que se tenha um bom acabamento do furo, seja um processo rápido e não prejudique a vida da ferramenta.

Este trabalho busca avaliar a influência dos parâmetros de processo velocidade de corte e avanço, do ângulo de ponta da ferramenta e do método lubrificante sobre os esforços, a rugosidade média Ra, o desvio dimensional e a geração de rebarba na saída dos furos.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

Nesta sessão, é abordada a definição teórica de parâmetros relacionados ao processo de furação e material utilizado no ensaio: Alumínio 7075-T6, avanço, velocidade de corte, ângulo de ponta e força de avanço.

### 2.1. Alumínio 7075-T6

A liga de alumínio AISI 7075-T6 se caracteriza por ter dureza elevada, entre 140 e 160 HB, excelente usinabilidade e alta resistência mecânica. Este material ainda possui elevada resistência à fadiga e ao esforço mecânico. Segundo Allumicooper, 2019, esta liga é equiparável ao aço, pois tem características de dureza e resistência semelhantes.

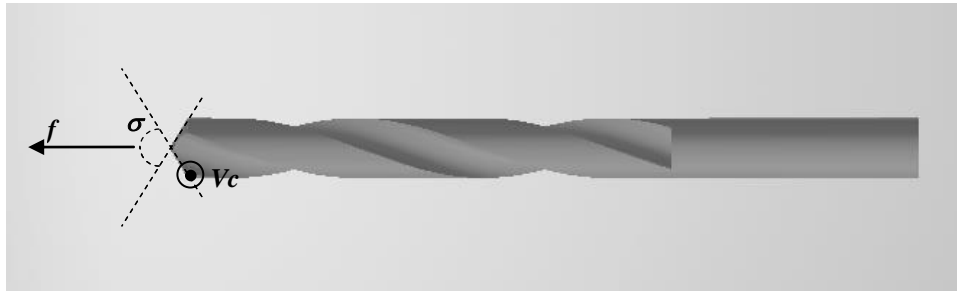
Tabela 1. Composição química da liga de alumínio 7075-T6. (fonte: Allumicooper, 2019)

Si[%]	Fe[%]	Cu[%]	Mn[%]	Mg[%]	Cr[%]	Zn[%]	Ti[%]	Al[%]
0,4	0,5	1,2-2,0	0,3	2,1-2,9	0,18-0,28	5,1-6,1	0,2	Restante

### 2.2. Parâmetros de processo

Os principais parâmetros de processo em furação são a velocidade de corte e o avanço. Estes parâmetros estão representados na Figura 1. Segundo Amorim (2002), a velocidade de corte ( $V_c$ ) é a taxa na qual a superfície não cortada da peça passa pela aresta da ferramenta. No processo de furação, este parâmetro varia do centro para a periferia da ferramenta. O avanço é o deslocamento da ferramenta numa direção perpendicular à de  $V_c$  (direção de avanço) durante uma revolução da ferramenta, e é o movimento que permite que o movimento de corte remova material de forma contínua. O avanço está intrinsicamente ligado à força de corte. A escolha de avanços muito elevados pode inclusive ocasionar a quebra da ferramenta dependendo do material a ser usinado.

Figura 1. Principais parâmetros de processo em furação.



O ângulo de ponta ( $\sigma$ ) é o ângulo formado pelas arestas principais da broca, que devem ter o mesmo comprimento (Souza, 2011). A escolha do ângulo de ponta deve ser selecionada de acordo com o material a ser furado. Os ângulos de ponta de brocas helicoidais costumam estar na faixa entre  $90^\circ$  e  $150^\circ$ . Os ângulos de  $90^\circ$  costumam ser utilizados para materiais de dureza mais baixa, como a madeira, enquanto ângulos mais elevados, próximos a  $150^\circ$ , para materiais de dureza elevada, como aços alta liga.

A velocidade de corte é dada em m/min, e depende da rotação do eixo árvore e do diâmetro da broca, como ilustra a equação (1). A direção da velocidade de corte é perpendicular ao movimento do avanço.

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

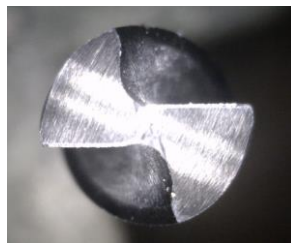
### 3. METODOLOGIA

Este trabalho foi realizado utilizando uma chapa de liga de alumínio 7075 T6 com  $150 \times 70 \times 12 \text{ mm}^3$ . Para gerar o plano de combinação dos ensaios foi utilizado o programa Minitab® 19, foi selecionado o método Box Behnken para aleatorizar as combinações, gerando 30 ensaios com 1 repetição, conforme a Tabela 2. Foram feitos furos passantes de 8 mm de diâmetro com brocas helicoidais de aço rápido marca DTOOLS com 3 diferentes ângulos de ponta ( $96^\circ$ ,  $118^\circ$  e  $140^\circ$ ), está exemplificado na Figura 2 a seguir. O comprimento da broca foi de 115 mm, com 35 mm usados para a fixação.

Figura 2. Brocas helicoidais de aço rápido (HSS) utilizada para ensaio de furação com ângulo de ponta de (a)  $96^\circ$ , (b)  $118^\circ$  e (c)  $140^\circ$ .



(a)



(b)

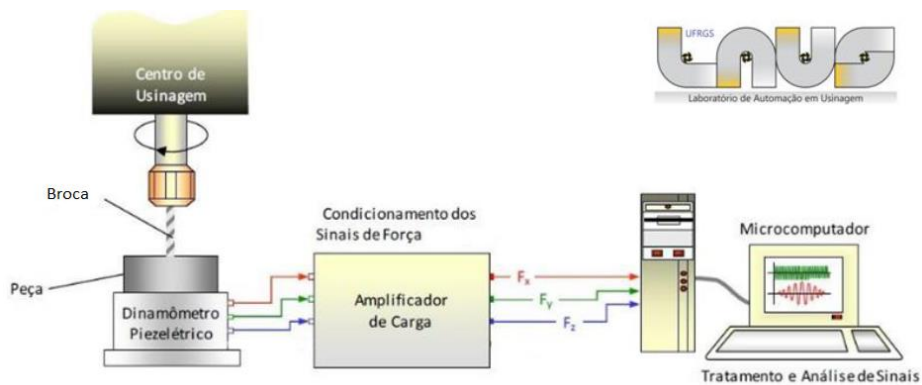


(c)

Para a execução dos furos, utilizou-se um centro de usinagem CNC de marca ROMI Discovery 308 com comando Mach 8, rotação máxima de 4000 rpm e potência máxima de 5,5 kW. Foram feitos inicialmente 4 furos para fixação do corpo de prova. Foi conferido um batimento de  $\delta = 0,05 \text{ mm}$ . O fluido de corte (Quimatic Jet) foi aplicado com auxílio de um nebulizador Tapmatic modelo Nebulizador IV, numa vazão de 2 l/h e uma pressão de 3 bar. Para a medição dos esforços

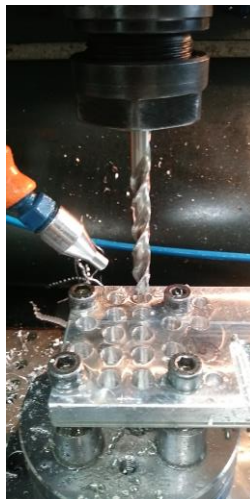
foi utilizado um dinamômetro piezelétrico KISTLER modelo 9129AA, conectado a um computador através de um amplificador de carga Kistler 5070A e um conversor A/D, representada na Figura 3. As taxas de amostragem utilizadas foram escolhidas de modo a permitir a captura de 1700 pontos por revolução da broca.

Figura 3. Representação esquemática do sistema de aquisição de dados utilizado (cortesia LAUS)



A Figura 4 ilustra o ensaio de furação, com a chapa de alumínio 7075-T6 fixada ao dinamômetro e o aspersor do Nebulizador IV posicionado a um Ângulo de 45°. Na imagem também é possível conferir a forma como foi fixada a placa utilizada no ensaio, parafusada.

Figura 4 Processo de furação de chapa de alumínio após fixação.



Os experimentos foram configurados em três níveis (-1,0,1) contínuos e dois níveis qualitativos (seco, MQL), como ilustra a Tabela 2. Essa definição de níveis foi utilizada para gerar as condições de experimentos que foram descritos na Figura 4.



Tabela 2. – Parâmetros de entrada.

Parâmetros de entrada	Níveis	Valor
Velocidade de corte, Vc [m/min]	3	10, 20 e 30
Ângulo de ponta, $\sigma$ [graus]	3	96, 118 e 140
Avanço, f [mm/rev]	3	0,05, 0,15, 0,25
Método lubrificante	2	Seco, MQL

Tabela 3. Condições utilizadas para a realização dos ensaios.

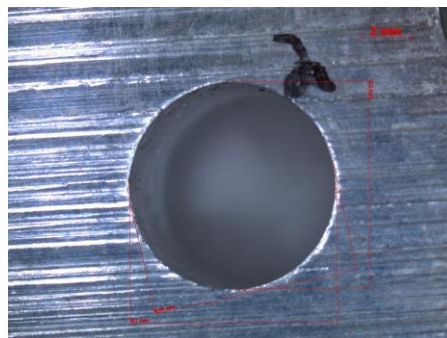
Condição	Ângulo de ponta $\sigma$ (°)	Velocidade Vc (m/s)	Avanço f (mm/rev)	Lub	Condição	Ângulo de ponta $\sigma$ (°)	Velocidade Vc (m/s)	Avanço f (mm/rev)	Lub
#1	118	10	0,15	MQL	#16	96	20	0,05	Seco
#2	118	20	0,15	MQL	#17	118	30	0,25	Seco
#3	96	20	0,25	MQL	#18	96	20	0,25	Seco
#4	118	20	0,05	MQL	#19	118	20	0,25	Seco
#5	96	30	0,15	MQL	#20	118	30	0,05	Seco
#6	118	10	0,05	MQL	#21	96	10	0,15	Seco
#7	96	20	0,15	MQL	#22	118	30	0,05	Seco
#8	140	20	0,05	MQL	#23	140	10	0,05	Seco
#9	96	30	0,05	MQL	#24	118	20	0,15	Seco
#10	118	30	0,15	MQL	#25	96	10	0,15	Seco
#11	140	30	0,15	MQL	#26	118	10	0,15	Seco
#12	118	20	0,25	MQL	#27	140	20	0,15	Seco
#13	140	10	0,15	MQL	#28	140	20	0,25	Seco
#14	118	30	0,25	MQL	#29	118	20	0,15	Seco
#15	140	20	0,25	MQL	#30	140	10	0,15	Seco

Após a obtenção de todas as amostras, tanto na usinagem a seco quanto com MQL, foi realizada a medição da rugosidade média dos corpos de prova com um rugosímetro portátil Mitutoyo modelo SJ-201P, com resolução de 0,01  $\mu\text{m}$ . Foram utilizados os comprimentos de amostragem  $l_r=0,8$  mm e comprimento de avaliação  $l_n=4$  mm.

Foi analisada a rebarba na saída dos furos por estes terem sido visualmente mais significativos, utilizando um relógio comparador de marca STARRETT modelo No 25E com resolução de 0.001mm.

Os dados obtidos foram inseridos no programa Minitab® 19, a partir deste, foram gerados gráficos de superfície e contorno para verificar a influência dos parâmetros de processo na qualidade dos furos e esforço. O erro dimensional foi medido utilizando uma lupa eletrônica da marca Zeiss, modelo Stemi 508, conforme ilustrado na Figura 5. Para realizar esta medida foi mensurada três vezes a medida do diâmetro gerado e a partir destes valores foi feita a média

Figura 5. Foto de entrada do furo para medição de desvio dimensional



## 4. RESULTADOS

A Tabela 4 apresenta os resultados obtidos estão organizados os parâmetros de processo encontrados no processo de furação, a ordem de condições corresponde à mesma ordem numerada na Tabela da Tabela 3.

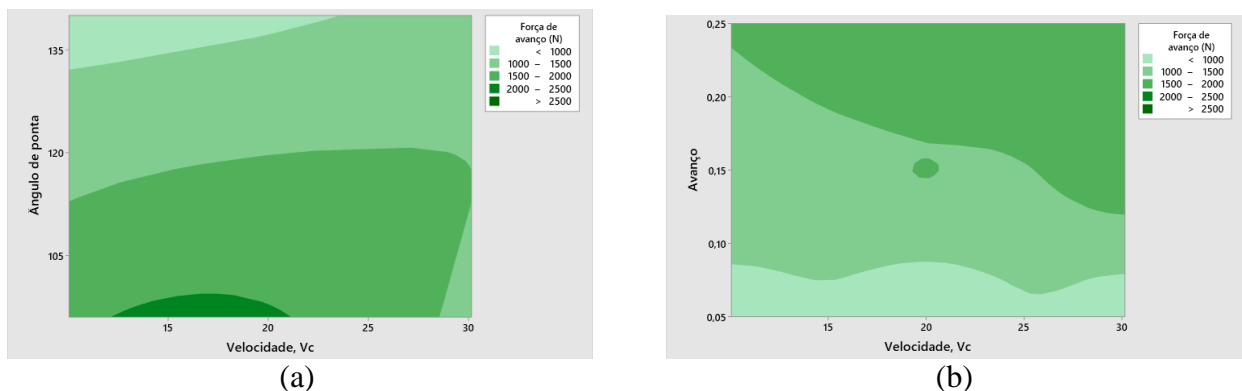
Tabela 4. Valores médios medidos para as condições avaliadas.

Condição	Momento (N.m)	Força de avanço (N)	Rugosidade Ra ( $\mu\text{m}$ )	Rebarba Ra ( $\mu\text{m}$ )	Erro dimensional (mm)	Condição	Momento (N.m)	Força de avanço (N)	Rugosidade Ra ( $\mu\text{m}$ )	Rebarba Ra ( $\mu\text{m}$ )	Erro dimensional (mm)
#1	3,2	1574,1	1,8	350	0,1	#16	1,2	518,5	2,0	0	0,08
#2	3,2	1574,1	1,8	350	0,06	#17	3,9	1795,6	1,2	300	0,05
#3	4,6	2744,1	1,5	0	0,11	#18	4,6	2744,1	1,5	0	0,08
#4	2,1	951,9	1,5	320	0,16	#19	5,1	2076,7	1,4	300	0,07
#5	3,3	2140,7	1,7	0	0,14	#20	2,4	1119,3	1,4	180	0,03
#6	2,2	1030,2	1,3	250	0,05	#21	2,6	1671,7	1,5	0	0,02
#7	3,5	2136,3	2,0	0	0,02	#22	2,3	857,1	1,3	280	0,05
#8	0,8	509,6	1,9	70	0,1	#23	0,7	528,8	1,3	80	0,04
#9	1,2	516,2	2,2	5	0,03	#24	4,0	1477,8	1,1	110	0,04
#10	3,4	1601,6	1,1	450	0,04	#25	3,3	2140,7	1,7	0	0,01
#11	2,7	1219,2	2,2	5	0,18	#26	3,6	1509,4	2,6	120	0,12
#12	3,7	1713,4	1,4	400	0,1	#27	1,6	863,6	1,9	0	0,02
#13	1,8	912,9	2,0	0	0,06	#28	2,3	1009,3	2,1	0	0,06
#14	5,8	2119,2	1,1	300	0,13	#29	4,0	1467,6	1,2	150	0,1
#15	2,1	1276,0	2,4	0	0,15	#30	1,8	903,1	2,4	45	0,06

### 4.1 FORÇA DE AVANÇO

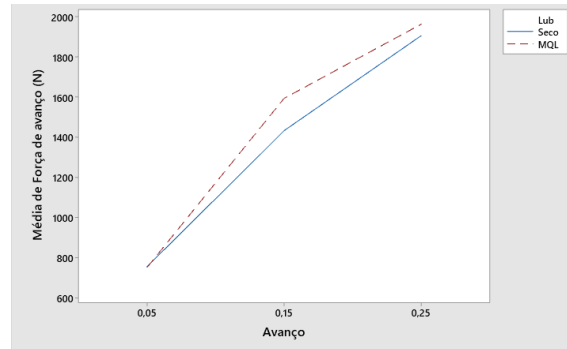
Após análise dos resultados foram analisadas as combinações de fatores que teriam influência da variação da qualidade e força aplicada no processo através de gráficos de contorno e de dois fatores. A análise de variância não apontou influência significativa de nenhum dos parâmetros testados sobre a força de avanço. No entanto, a interação entre o avanço e o ângulo de ponta da ferramenta apresentou influência significativa. A Figura 6a apresenta os valores médios de força de avanço em função da velocidade de corte e do ângulo de ponta da ferramenta. A região de menor valor de força de avanço ocorreu para Ângulos de ponta superiores a  $135^\circ$ . Na Figura 6b, observa-se menores forças de avanço para avanços próximos do valor mínimo avaliado.

Figura 6. Força de avanço em função (a) da velocidade de corte e do ângulo de ponta da ferramenta; (b) da velocidade de corte e do avanço.



A Figura 7 ilustra a baixa influência do método lubrificante sobre a força de avanço, com valores muito próximos obtido para as duas condições avaliadas. Apesar dessa diferença não ser significativa, o uso de MQL ocasionou uma média de força de avanço levemente superior à observada no corte a seco, em especial para os avanços médio e alto.

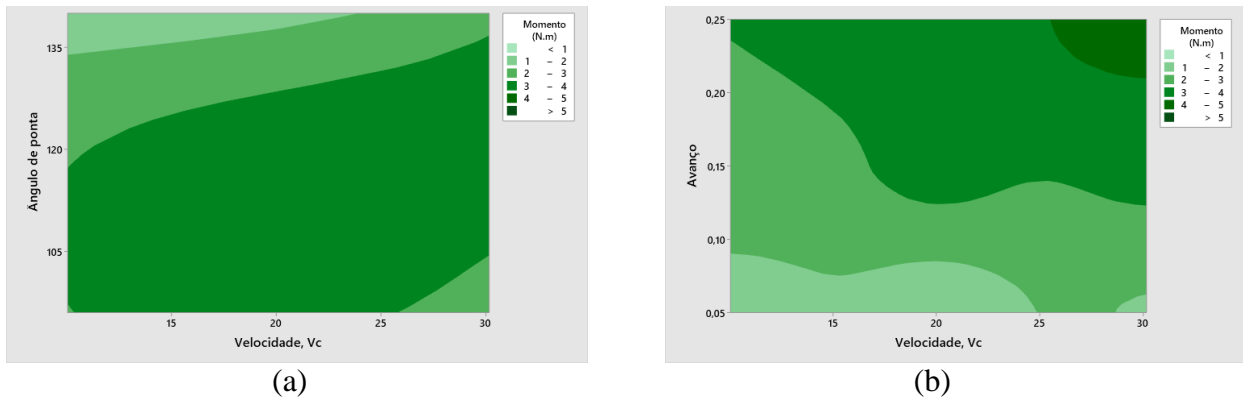
Figura 7. Força de avanço em função do avanço e do método lubrificador.



## 4.2 MOMENTO TORÇOR

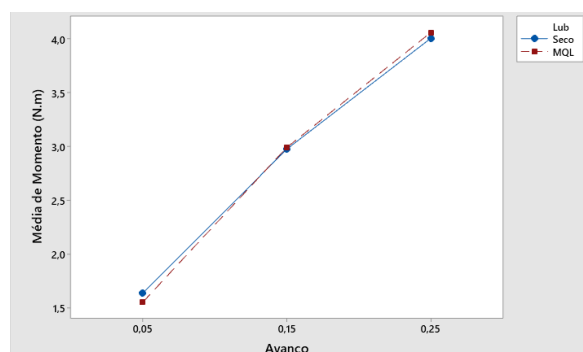
A análise de variância indicou somente influências significativas de somente duas combinações de parâmetros sobre o momento torçor: o ângulo de ponta (quadrático) e a interação entre o ângulo de ponta e o avanço. A Figura 8a demonstra a influência de ângulos de ponta maiores para diminuição do esforço torçor, que também diminui com a redução do avanço (Figura 8b). A velocidade de corte não apresentou influência significativa sobre o momento.

Figura 8. Momento torçor em função (a) da velocidade de corte e do ângulo de ponta; (b) do avanço e da velocidade de corte.



A Figura 9 apresenta um gráfico de dois fatores onde o momento torçor é plotado em função do avanço para os dois métodos lubrificantes utilizados. A análise dos resultados indica que, assim como a velocidade de corte, o método lubrificante não apresentou influência significativa sobre o momento torçor.

Figura 9. Momento torçor em função do avanço e do método lubrificante.



### 4.3 REBARBA NA SAÍDA DO FURO

A análise de variância realizada indicou como única influência significativa sobre o rebarba na saída do furo a interação entre o ângulo de ponta da ferramenta e o método lubrificador utilizado. A Figura 10 apresenta a dimensão das rebarbas encontradas em função do avanço, ângulo de ponta e velocidade de corte. O ângulo de ponta intermediário proporcionou melhor resultado, de acordo com a Figura 10a, e conforme foi aumentando a velocidade de corte, de forma geral, foram encontrados melhores resultados, ainda que a influência não seja significativa para o intervalo de confiança de 0,05. A Figura 11 apresenta gráficos de dois fatores onde a rebarba média é plotada para os dois métodos lubrificantes testados em função da velocidade de corte (Figura 11a) e do ângulo de ponta da ferramenta (Figura 11b). O cruzamento das linhas correspondentes ao corte a seco e MQL na figura Figura 11b evidencia a influência da interação entre ângulo de ponta e método lubrificante.

Figura 10. Rebarba média em função (a) do ângulo de ponta e do avanço; (b) do ângulo de ponta e da velocidade de corte.

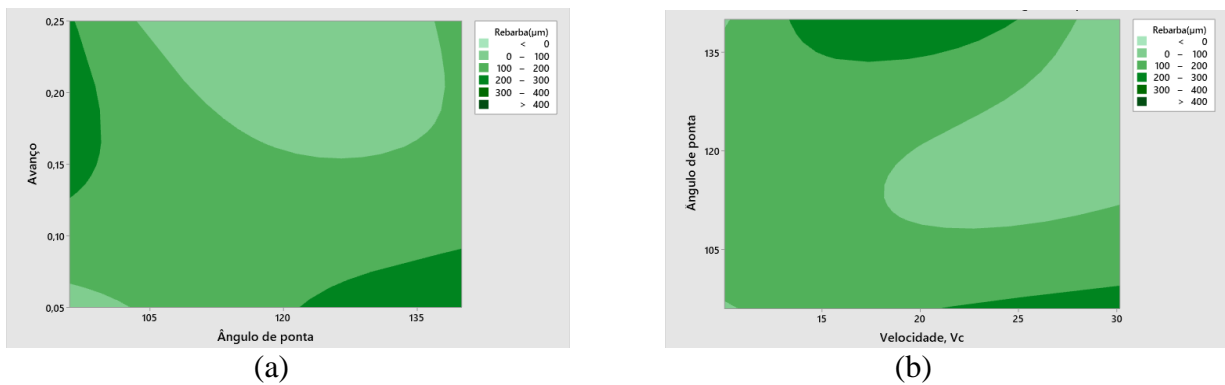
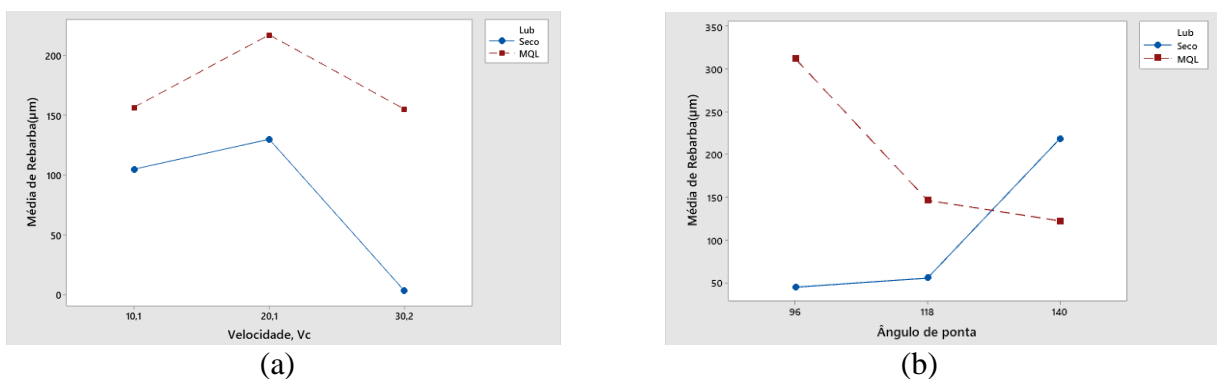


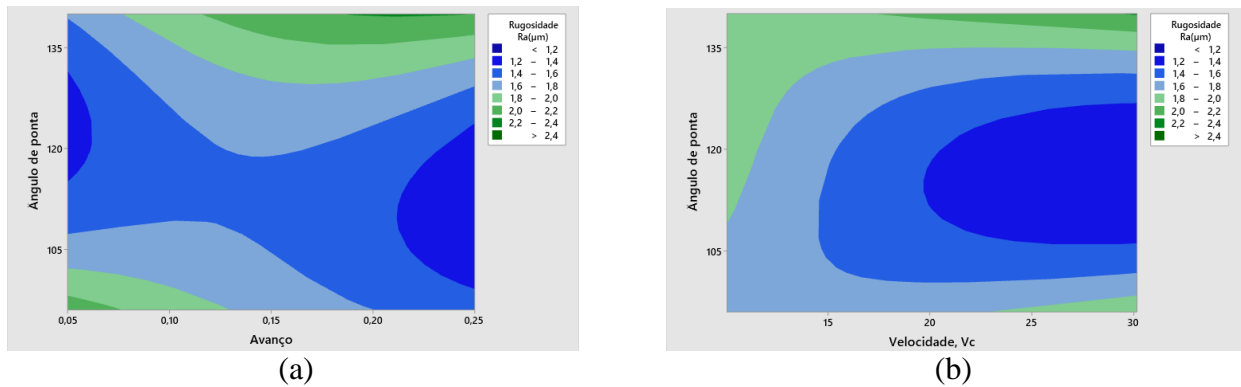
Figura 11. Rebarba média observada para os dois métodos lubrificantes em função (a) da velocidade de corte; (b) do Ângulo de ponta da ferramenta.



### 4.4 RUGOSIDADE

Segundo a análise de variância, a rugosidade média Ra dos furos foi influenciada de forma significativa por pelo ângulo de ponta da ferramenta (quadrático) e pela interação entre o ângulo de ponta e o avanço. As Figuras 12a e 12b apontam que o melhor resultado de rugosidade foi alcançado para furos produzidos com ângulos de ponta próximos a 118° e velocidades de corte mais elevadas.

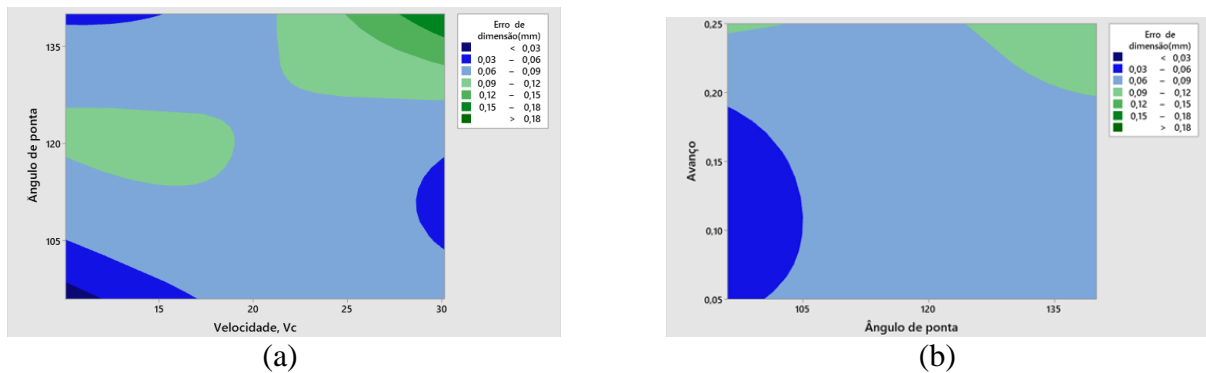
Figura 12. Rugosidade média Ra em função (a) do avanço e do ângulo de ponta; (b) da velocidade de corte e do ângulo de ponta.



#### 4.5 ERRO DIMENSIONAL

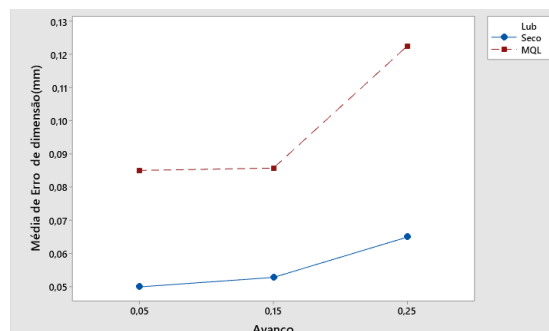
A ANOVA não indicou nenhuma influência significativa dos parâmetros testados sobre o erro dimensional dos furos produzidos. A Figura 13, no entanto, indica que o menor erro dimensional foi encontrado para a menor velocidade de corte, menor ângulo de ponta e menor avanço.

Figura 13. Erro dimensional dos furos em função: (a) da velocidade de corte e do ângulo de ponta da ferramenta; (b) do ângulo de ponta da ferramenta e do avanço.



Apesar de nenhuma influência significativa ter sido observada, o corte a seco resultou em menores erros dimensionais em comparação com o MQL (Figura 14); caso essa influência se confirme em testes futuros, isso indica que a necessidade de tolerâncias diferentes para o corte a seco e com MQL.

Figura 14. Erro dimensional em função do avanço para os diferentes métodos lubrificadorantes.



## 5. CONCLUSÕES

Os testes realizados mostraram pouca influência do método lubrificador sobre as variáveis de resposta analisadas. Isso indica que, considerando os parâmetros de processo estudados neste trabalho, o corte a seco é, salvo exceções, mais recomendável que o MQL.

Em relação às variáveis de resposta analisadas, é possível concluir que:

- A força de avanço só é influenciada de forma significativa por uma interação entre avanço e ângulo de ponta da ferramenta. Isso significa que, para a mesma ferramenta, seu comportamento será ditado pelo avanço, com efeitos diferentes para cada ângulo de ponta utilizado;
- O momento torçor foi influenciado significativamente pelo ângulo de ponta da ferramenta (quadrático) e pela interação entre o ângulo de ferramenta e o avanço. Ambos os parâmetros estão relacionados à definição da pressão específica de corte, com o avanço sendo novamente utilizado no cálculo da força de corte, de modo que este resultado não é inesperado. No entanto, estranha-se a baixa influência direta do avanço sobre esta variável de resposta.
- A rugosidade foi influenciada de forma significativa pelo ângulo de ponta da ferramenta (quadrático) e pela interação entre este e o avanço. Em teoria, o avanço é o parâmetro de processo mais importante no cálculo da rugosidade, de modo que este resultado concorda com a literatura. No entanto, seria esperada uma influência quadrática.
- A rebarba média formada foi influenciada de forma significativa pela interação entre o ângulo de ponta e o método lubrificador utilizado, sendo esta a única influência significativa do uso de MQL. Desse modo, o uso de MQL na furação do alumínio ABNT 7075-T6 só é vantajoso em relação ao corte a seco para a velocidade mais elevada usada neste trabalho.

Não foi possível dizer qual parâmetro de entrada vai gerar a melhor combinação de esforço e qualidade de acabamento superficial e dimensional. Quando for realizar um corte de furação é necessário optar por um fator ou outro.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMORIM, Heraldo José, **Estudo da relação entre velocidade de corte, desgaste de ferramenta, rugosidade e força de usinagem em torneamento com ferramenta de metal duro**, Dissertação para obtenção do título de Mestre em Engenharia, Porto Alegre: UFRGS, 2002.
- ARMAREGO, E.J.A.; Cheng, CY (1972) *Drilling with flat rake face and conventional twist drills. I- Theoretical investigations and II Experimental investigations. International Journal for Machine Tool Design and Research* 12:17–54
- ALLUMICOOPER, Alumínio 7075-T651, 2019.  
Disponível em: <[https://www.alumicopper.com.br/produtos\\_aluminio\\_7075t651.html](https://www.alumicopper.com.br/produtos_aluminio_7075t651.html)>
- CARVALHO, Andressa Caroline da Silva, **Análise da furação do aço inoxidável AISI 304 com a aplicação externa de nanofluidos em quantidade reduzida**, Porto Alegre: UFRGS, 2018.
- CATAPAN, M. F. **Apostila de desenho mecânico 1**. Curitiba: UFPR, 2013.
- Minitab®19**, Suporte ao Minitab.  
Disponível em <<https://support.minitab.com/pt-br/minitab/19/>>
- COELHO, Wasley Amaral et al. **Estudo do processo de furação com altas taxas de avanço na liga de alumínio 7075**. 9<sup>o</sup>COBEF.
- DINIZ, A. E., Marcondes, F. C., Coppini, N. L., 2000. **Tecnologia da Usinagem dos Metais**, Artliber, São Paulo.

RIVERO, A. Et al. (2006). *An experimental investigation of the effect of coatings and cutting parameters on the dry drilling performance of aluminium alloys*. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 28. 1-11. 10.1007/s00170-004-2349-3.

SÓRIA, B. S., Figueiredo, M. T., Souza, A. J., **Influência da geometria da broca de metal-duro na qualidade do furo realizado em ferro fundido DIN GGG50**, 9º Congresso Nacional de Engenharia Mecânica (Anais do IX CONEM), Fortaleza, CE, 2016

SOUZA, André de. **Processos de Fabricação por Usinagem parte 2**. Porto Alegre: UFRGS 2011

VIEIRA, Jéssica Tito. **Influência da afiação de brocas HSS nos erros micro e macro geométricos no processo de furação da liga de alumínio 7075**. 9º COBEF 2017

## NOMENCLATURA

$Ra$	Rugosidade superficial	[ $\mu\text{m}$ ]
$L$	Comprimento usinado por minuto	[ $\text{mm}\cdot\text{min}^{-1}$ ]
$n$	Rotação por minuto	[ $\text{rev}\cdot\text{min}^{-1}$ ]
$f$	Avanço	[ $\text{mm}$ ]
$Ff$	Força de avanço	[N]
$M$	Momento torçor	[N.m]
$d$	Diâmetro da broca	[ $\text{mm}$ ]
$\sigma$	Ângulo de ponta da broca	[graus]