

# QUALIDADE DOS FUROS USINADOS EM FUNÇÃO DE DIFERENTES SISTEMAS LUBRI-REFRIGERANTES NA USINAGEM DO AÇO DIN 38MnS6.

**Éder Silva Costa**

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET-MG  
Unidade Descentralizada de Divinópolis – 35502-036 / eder@div.cefetmg.br

**Álison Rocha Machado\***

alissonm@mecanica.ufu.br

**Sílvia do Nascimento Rosa\***

slviarn@yahoo.com.br

**Egmar Antônio de Sousa Júnior\***

egmarjunior@yahoo.com.br

\* Universidade Federal de Uberlândia – UFU – Centro de Ciências Exatas e Tecnologia  
Faculdade de Engenharia Mecânica – 38400-902

**Resumo.** Este trabalho mostra a qualidade de furos usinados não passantes em termos de erros geométricos e acabamento superficial das paredes dos furos, quando se utiliza diferentes sistemas lubri-refrigerantes. Os erros geométricos avaliados foram a circularidade, medida na entrada, meio e final do furo e a cilindridade. O acabamento superficial foi quantificado pelas rugosidades médias  $R_a$  e  $R_{z(DIN)}$ . Utilizou-se como ferramenta de corte brocas helicoidais maciças de aço-rápido com diâmetros de 10 mm revestidas com TiN na furação do aço microligado DIN 38MnS6. A usinagem foi realizada sob os sistemas lubri-refrigerantes: seco, aplicação externa de Mínima Quantidade de Fluido de Corte (MQF) de óleo vegetal e fluido de corte integral aplicado na forma convencional (jorro). Os resultados mostraram que a usinagem com MQF, em geral, proporcionou valores para os erros geométricos e rugosidades um pouco inferiores ao sistema jorro, porém, para a condição de corte mais severa este resultado foi invertido. A usinagem a seco produziu furos de piores qualidades. A análise dos resultados entre os erros de circularidade e cilindridade e as rugosidades  $R_a$  e  $R_{z(DIN)}$  mostraram as mesmas tendências, quando da variação dos sistemas lubri-refrigerantes, o que demonstra existir relação entre rugosidades e desvios geométricos.

**Palavras-chave:** Qualidade de furos, Mínima Quantidade de Fluido (MQF), Erros geométricos, Rugosidades, Furação com brocas helicoidais.

## 1 - INTRODUÇÃO

Os erros geométricos e dimensionais, a presença de rebarbas e a textura superficial definem usualmente a qualidade do processo de furação. A precisão resultante dos furos depende do tipo de processo de furação, da peça, da ferramenta, da máquina, dos parâmetros do processo e rigidez do sistema máquina-ferramenta-peça. Além disso, o grau de afiação e geometria da ponta da broca também influenciam fortemente a precisão do furo<sup>(1)</sup>.

São denominados desvios de forma (erros de forma) os desvios de um elemento geométrico em relação à sua forma teórica, tais como retas, planos, círculos, cilindros, perfis e superfícies. Entre os erros de forma comumente usados como avaliadores da qualidade de furos usinados, destacam-se os erros de circularidade e cilindridade. Estes erros são causados principalmente pela falta de rigidez (fixações inadequadas das peças e condições da máquina), desgaste das ferramentas, variações de temperatura e na furação de furos profundos<sup>(2,3)</sup>.

A integridade superficial, que é o termo utilizado para denotar as condições das superfícies usinadas, descreve a qualidade dessas superfícies. Ela afeta as condições de funcionamento e a confiabilidade de componentes mecânicos, principalmente aqueles sob condições de carregamento mecânico e térmico<sup>(4,5)</sup>. O acabamento superficial, que é uma das divisões da integridade superficial, sofre influência de vários parâmetros de usinagem, incluindo: a geometria da ferramenta de corte, geometria da peça, rigidez da máquina ferramenta, material da peça, condições de corte e material da ferramenta. O acabamento superficial pode ser determinado pela medição de alguns parâmetros inerentes, as rugosidades médias “ $R_a$ ” e “ $R_{z(DIN)}$ ” são normalmente usadas. O  $R_a$  é obtido medindo-se os desvios dos picos e vales em relação a uma linha de centro, dentro do comprimento de medição total e o  $R_{z(DIN)}$  é a média entre as rugosidades máximas (distância entre o pico mais alto e o vale mais profundo) medidas dentro de cada comprimento de rugosidade da amostra<sup>(5)</sup>.

Embora com significativa importância dentro da produção no setor metal-mecânico (melhoria no acabamento superficial, expulsão do cavaco da região de corte, controle dimensional, etc.) Os fluidos de corte vem encontrando, durante os últimos anos, sérias restrições com relação ao seu uso nos processos de usinagem. Os fatores importantes que justificam este procedimento incluem os altos custos operacionais, as questões ecológicas, as exigências legais relacionadas à preservação do meio ambiente e a saúde do ser humano<sup>(6)</sup>.

Os fatores apontados anteriormente têm levado as empresas da área produtiva, em especial a indústria metal-mecânica, a reverem seus processos, direcionando-os no sentido da “produção limpa”<sup>(7)</sup>. Do esforço deste direcionamento tem surgido novas alternativas de trabalho em funções de inovações tecnológicas que os processos de usinagem vem experimentando. Dentre as mais importantes alternativas podemos citar:

- Uso de máquinas-ferramentas equipadas com sistema de exaustão, para minimizar o problema da névoa que pode ser gerada durante a usinagem e inalada pelo operador<sup>(8)</sup>;
- Utilização de produtos novos conhecidos como “ecologicamente corretos ou verdes” que são óleos à base vegetal ou animal<sup>(9)</sup>;
- A redução ou eliminação de alguns produtos químicos constituintes dos fluidos de corte extremamente prejudiciais ao meio ambiente e a saúde do operador, como produtos clorados e a base de nitrito de sódio<sup>(10)</sup>;
- Usinagem sem fluido (usinagem a seco) e com Mínima Quantidade de Fluido de Corte (MQF).

A Técnica MQF promete ser uma alternativa promissora quando a usinagem a seco, batizada por muitos autores como usinagem ecológica, for economicamente inviável ou esbarrar em limitações operacionais para algumas aplicações como é o caso do processo de furação, onde a inexistência do fluido e a conseqüente falta do meio transportador de cavacos podem causar danos à integridade da ferramenta precocemente. O sistema de mínima quantidade de fluido de corte (MQF) pode ser definido como a pulverização de uma quantidade mínima de lubrificante em um fluxo de ar comprimido<sup>(11)</sup>. Segundo Sahm e Schneider<sup>(12)</sup> a vazão do sistema MQF varia, geralmente, de 10 a 100 ml/h, a uma pressão de 4 a 6 kgf/cm<sup>2</sup>. Estas quantidades mínimas de fluido são suficientes para reduzir substancialmente o atrito na ferramenta e evitar a aderência de material, já que a área de contato cavaco-ferramenta é muito pequena e sugere-se que a vazão de fluido necessária para promover a ação lubrificante seja também muito pequena. Machado e Wallbank<sup>(13)</sup> fizeram estudos e cálculos teóricos e chegaram a 0,1 ml/h, nesta vazão necessária a lubrificação é assegurada pelo óleo e a refrigeração principalmente pelo ar comprimido<sup>(6)</sup>. O surgimento de novas tecnologias como: máquinas operatrizes com maior potência, rigidez e rotações mais elevadas e, principalmente, pelo grande desenvolvimento dos materiais, revestimentos e geometrias que

aumentam a resistência das ferramentas de corte ao desgaste, tem tornado a usinagem com aplicação de MQF cada vez mais possível<sup>(14)</sup>.

Este trabalho visa comparar a qualidade de furos não passantes na usinagem com aplicação externa de mínima quantidade de fluido de corte vegetal (MQF), em relação à aplicação convencional de fluido integral (jorro) e a usinagem sem fluido de corte (a seco). Os parâmetros avaliadores da qualidade foram: circularidade, medida na entrada, meio e fundo do furo, cilindricidade e as rugosidades médias  $R_a$  e  $R_{z(DIN)}$ . As variáveis sob as quais se realizou a comparação foram vazão MQF e parâmetros de corte (velocidade e avanço por rotação).

## 2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Os teste de furação foram realizados na posição vertical, sentido descendente, sem pré-furo e sem furo de centro (furação em cheio). Os parâmetros que foram variados durante os testes com os seus respectivos valores estão ilustrados na Tabela 1. Cada teste foi repetido (corrida B), e quando o desvio entre o teste e sua repetição era superior a 20% uma nova corrida era realizada (corrida C).

Tabela 1. Variáveis utilizadas nos testes de usinagem.

VARIÁVEL	VALOR	
Sist. Lubri-Refrigerante	MQF (óleo vegetal)	30, 100 e 200 [ml/h]
	JORRO (óleo integral)	750 l/h
	SECO	-
Velocidade de Corte	45 e 60 [m/min]	
Avanço	0,15 e 0,25 [mm/volta]	

A Tabela 2 apresenta todos os testes de furação realizados. Os testes com MQF na vazão de 200 ml/h foram realizados apenas na condição mais suave (45 m/min e 0,15 mm/volta) e mais severa (60 m/min e 0,25 mm/volta) devido ao número limitado de brocas com a mesma geometria disponível. Como critério de fim de vida para os ensaios foi utilizado o colapso das brocas<sup>(15)</sup>.

Tabela 2. Número dos testes e suas respectivas condições de corte.

Teste N°	Sist. Lubri-Refrigerante	Vel. Corte (m/min)	Avanço (mm/volta)
01	SECO	45	0,15
02	SECO	45	0,25
03	SECO	60	0,15
04	SECO	60	0,25
05	MQF-30 ml/h	45	0,15
06	MQF-30 ml/h	45	0,25
07	MQF-30 ml/h	60	0,15
08	MQF-30 ml/h	60	0,25
09	MQF-100 ml/h	45	0,15
10	MQF-100 ml/h	45	0,25
11	MQF-100 ml/h	60	0,15
12	MQF-100 ml/h	60	0,25
13	MQF-200 ml/h	45	0,15
14	MQF-200 ml/h	60	0,25
15	JORRO	45	0,15
16	JORRO	45	0,25
17	JORRO	60	0,15
18	JORRO	60	0,25

A máquina-ferramenta usada para os ensaios foi um Centro de Usinagem Vertical CNC linha Discovery modelo 760 com potência do motor principal de 9 KW, rotação máxima de 10.000 rpm e potência total instalada de 15 KVA, fabricado pelas Indústrias Romi S.A. Os furos usinados eram

não passantes e apresentavam profundidade de 30 mm, proporcionando uma relação do comprimento pelo diâmetro do furo igual a 3 ( $L/D = 3$ ).

O material dos corpos de provas para os testes de vida das brocas foi o aço microligado perlítico de forja DIN 38MnS6, com dureza média de 252 HV. A composição química deste aço fornecido pelo fabricante Aços Villares S.A, está ilustrada na Tabela 3.

Tabela 3. Composição química do aço DIN 38MnS6.

<b>C</b>	<b>Mn</b>	<b>P</b>	<b>S</b>	<b>Si</b>	<b>Ni</b>	<b>Cr</b>	<b>Mo</b>	<b>V</b>	<b>Al</b>
0,3960	1,4400	0,0180	0,0650	0,5900	0,0500	0,1300	0,0200	0,0040	0,0040
<b>Cu</b>	<b>Pb</b>	<b>Ti</b>	<b>Nb</b>	<b>B</b>	<b>Sn</b>	<b>Ca</b>	<b>H2</b>	<b>N2</b>	<b>Te</b>
0,1000	0,0030	0,0021	0,0050	0,0008	0,0050	0,0006	0,0002	0,0171	0,0001

Este material apresentava seção aproximadamente quadrada de 100 mm e foi recebido em barras de 3,5 m de comprimento, que foram serradas transversalmente e posteriormente faceadas em tarugos de 65 mm, o permitiu furar os dois lados dos corpos de prova.

Para otimizar o número de furos, foi gerado um programa CNC que permitia a obtenção de 67 furo por face, alternados em fileiras de 7 e 8 furos. A distância lateral e o espaçamento entre o fundo dos furos no corpo de prova foram de 2,11 mm e 5 mm, respectivamente.

Para realização dos testes de furação utilizou-se brocas de aço-rápido/cobalto com revestimento TiN (10HSS-Co.TiN®), diâmetro de 10 mm, ângulos de hélice e ponta iguais a 30° e 130°. O revestimento apresenta dureza de 2300 HV e coeficiente de atrito contra o aço de 0,4. Esta broca traz a superfície de folga dividida em 3 estágios e foi fabricada pela OSG do Brasil.

Um fluido biodegradável, atóxico e insolúvel em água, com composição química de óleos vegetais (soja, milho e canola) e aditivos anticorrosivos, Accu-Lube®/LB-2000, foi utilizado para aplicação externa de MQF. A Tabela 4 mostra algumas características típicas deste óleo.

Tabela 4. Características típicas do óleo vegetal Accu-Lube®/LB-2000.

<b>Propriedade</b>	<b>Valor</b>
Densidade, g/ml (20/-3 °C)	0,900 – 0,940
Ponto de Ebulição	>100°C
Ponto de Fulgor	>300°C

O aparelho pulverizador do fluido, Modelo O2AO-STD fabricado pela ITW Fluid Products Group, trabalhava com um fluxo contínuo de ar comprimido, ajustado em torno de 4,3 bar, e “spray” intermitente de fluido na frequência de 1 pulso por segundo. O fluido de corte é conduzido através de uma mangueira de menor diâmetro que chega ao bico, dentro de uma outra maior que conduz o ar comprimido. A mistura ar comprimido-fluido era injetada sobre a ferramenta-peça por meio de 2 bicos.

Para aplicação do fluido na forma de jorro, foi usado o óleo integral DMI 410® fabricado pela Shell do Brasil S.A., que traz na sua composição: óleos minerais refinados, parafínicos derivados de petróleo, enxofre, gordura de origem animal e aditivos de extrema pressão, anticorrosivo e antiespuma. Este óleo é recomendado para operações severas de usinagem de metais ferrosos de alta resistência. A Tabela 5 mostra algumas características típicas deste óleo.

O sistema utilizado para aplicação do fluido por jorro foi o sistema do próprio Centro de Usinagem CNC, que proporcionava uma vazão de 750 l/h distribuída por três bicos. Na condição de usinagem a seco somente o ar ambiente estava presente durante a execução do ensaio.

Tabela 5. Características típicas do óleo integral DMI 410®.

<b>Propriedade</b>	<b>Valor</b>
Densidade 20/4 °C	0,9032
Viscosidade Cinemática a 40 °C, cSt	10
Ponto de Fulgor, vaso aberto (COC), °C	178
Ponto de Fluidez °C	-9

Devido à impossibilidade de avaliar todos os furos usinados adotou-se um procedimento que dividia a vida das ferramentas em 7 pontos. Estes pontos correspondiam aos furos referentes a 1%, 18%, 36%, 50%, 64%, 82% e 98% do total de furos usinados. Para cada furo representativo destes 7 níveis de desgaste, avaliava-se também o furo anterior e o posterior, portanto, para cada corrida (repetição do teste) tinha-se a análise de 21 furos. Os valores médios para os erros geométricos e rugosidades para cada corrida e para o teste foram dados pela média de todas as medições realizadas nas corridas e no teste, respectivamente.

Os erros geométricos avaliados foram os de circularidade e cilindridade. Estes erros foram medidos usando um circularímetro modelo Talyrond 131 fabricado pela Taylor Hobson. Este instrumento é constituído basicamente de um fuso, que gira automaticamente a peça colocada manualmente sobre a sua mesa, de um braço radial e uma coluna para o posicionamento do medidor, cuja extremidade apresenta uma pequena esfera de rubi de 2 mm de diâmetro (apalpador). A inclinação dada ao medidor foi de 13° com a vertical, o que garantiu o contato permanente da superfície da esfera com a parede do furo, em todas situações de medições. Acoplado ao circularímetro está um computador com um software dedicado, que movimenta o medidor e analisa todas as informações sobre as medições. A precisão deste equipamento é de 0,03  $\mu\text{m}$  e sua capacidade máxima de medição é de 370 e 225 mm para o diâmetro e altura, respectivamente.

Os desvios de circularidade foram medidos em três planos, localizados a 25 mm, 15 mm e 5 mm e os erros de cilindridade em cinco planos, localizados a 25, 20, 15, 10 e 5 mm da borda de entrada dos furos.

A qualidade do acabamento superficial das paredes dos furos usinados foi avaliada com relação aos parâmetros médios de rugosidades  $R_a$  e  $R_{z(DIN)}$ . Para medição destes valores foi usado um rugosímetro portátil Surtronic 3+ modelo 112/1590 fabricado pela Taylor Hobson. Este instrumento possui agulha do apalpador de diamante com raio de ponta de 5  $\mu\text{m}$ , resolução de 0,01  $\mu\text{m}$  e trabalha com carga de 150 a 300 mg. As medições de  $R_a$  e  $R_{z(DIN)}$ , realizadas sobre os mesmos furos selecionados para medições dos desvios geométricos, foi feita em um único ponto da parede do furo, a escolha desse ponto para posicionamento da agulha do apalpador, foi tal que o intervalo de medição ficou na região central do furo.

### **3. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

#### **3.1. Erros de Cilindridade e Circularidade**

Os erros médios de circularidade e cilindridade para os testes estão apresentados na Tabela 6. As circularidades desta tabela são relativas as médias entre os três planos medidos (início, meio e final do furo). As medições dos erros geométricos de cilindridade e circularidade mostraram dispersões consideráveis para os resultados. Os desvios padrões médios foram 11,68 e 5,71  $\mu\text{m}$ , que em relação aos valores médios dos testes (36,62  $\mu\text{m}$  e 13,69  $\mu\text{m}$ ) correspondentes a 31,9% e 41,7%, respectivamente, Tabela 6. As Figuras 1 e 2 mostram graficamente os resultados da Tabela 6 para os erros de cilindridade e circularidade, respectivamente.

A Tabela 7 apresenta o teste de hipótese relacionado com a diferença entre as médias dos sistemas lubri-refrigerantes. Nesta tabela quando o valor “p” é menor ou igual a 0,05 ( $p \leq 0,05$ ) dizemos que “p” está dentro da região de rejeição da hipótese, que é a igualdade estatística entre os resultados, então neste caso, podemos dizer que as variáveis em questão produzem resultados deferentes, considerando um erro máximo de 5%. Caso contrário, os resultados são estatisticamente iguais. As células sombreadas da Tabela 7 indicam confrontos estatisticamente iguais entre os sistemas lubri-refrigerantes. A análise desta tabela em conjunto com as Figuras 1 e 2 nos permite destacar a capacidade que os sistemas com vazões MQF e jorro tem de apresentarem, em geral, valores iguais para os erros de cilindridade e circularidade e inferiores ao sistema seco.

A Tabela 8 mostra o efeito médio nos erros geométricos de cilindridade e circularidade quando da mudança do sistema lubri-refrigerante. Estes efeitos foram calculados através de um planejamento fatorial com dois níveis. Não foi considerado nesta tabela o sistema MQF com 200 ml/h em função de não se ter realizado este teste para todas as condições de corte.

Tabela 6. Erros médios de cilindridade e circularidade para os testes da Tabela 2.

Teste	Corrida / Cilindric. e Circul. [ $\mu\text{m}$ ]						N° Furos Cil./Circ.	Desv. Padrão		Média [ $\mu\text{m}$ ]	
	A		B		C			Cil.	Circ.	Cil.	Circ.
	Cil.	Circ.	Cil.	Circ.	Cil.	Circ.					
01	47,66	15,50	46,85	14,65	-	-	42 / 126	19,08	4,97	47,26	15,07
02	35,90	17,07	41,98	17,14	-	-	42 / 126	8,34	6,01	38,94	17,11
03	34,04	14,54	45,71	17,68	39,91	16,34	63 / 189	9,12	7,04	39,89	16,19
04	36,00	18,55	34,13	19,12	50,31	24,11	63 / 189	10,96	9,83	39,78	20,74
05	43,09	13,05	42,65	13,79	-	-	42 / 126	23,91	6,91	42,87	13,42
06	25,11	10,96	28,53	12,12	-	-	42 / 126	4,56	3,53	26,82	11,54
07	51,57	13,59	37,89	12,88	-	-	42 / 126	25,98	7,97	44,73	13,23
08	29,26	12,17	31,16	12,66	23,47	10,63	63 / 189	5,93	3,74	27,96	11,82
09	36,47	12,95	41,68	13,08	-	-	42 / 126	13,29	5,37	39,08	13,01
10	28,57	11,86	24,74	10,64	-	-	42 / 126	5,29	3,18	26,66	11,25
11	40,24	13,14	61,32	16,98	31,56	12,22	63 / 189	20,29	6,95	44,37	14,11
12	38,77	14,24	33,22	13,28	-	-	42 / 126	7,66	4,18	36,00	13,76
13	31,12	11,88	27,61	12,62	-	-	42 / 126	8,29	5,10	29,37	12,25
14	32,67	13,58	25,17	9,57	-	-	42 / 126	7,09	4,85	28,92	11,58
15	44,09	12,70	46,40	15,47	-	-	42 / 126	15,47	6,48	45,24	14,08
16	29,33	10,81	39,59	15,13	-	-	42 / 126	7,90	5,43	34,46	12,97
17	42,58	14,55	35,83	13,10	-	-	42 / 126	11,14	6,27	39,21	13,83
18	30,36	12,01	24,83	8,98	-	-	42 / 126	6,02	4,97	27,59	10,49

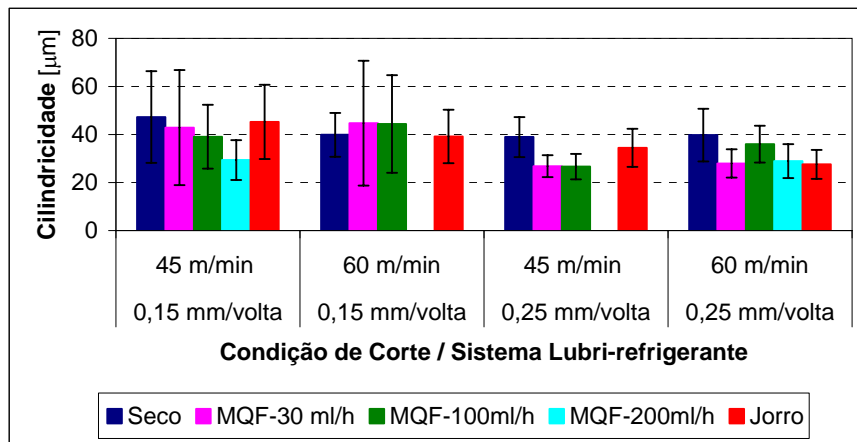


Figura 1. Cilindridade média referente aos resultados da Tabela 6.

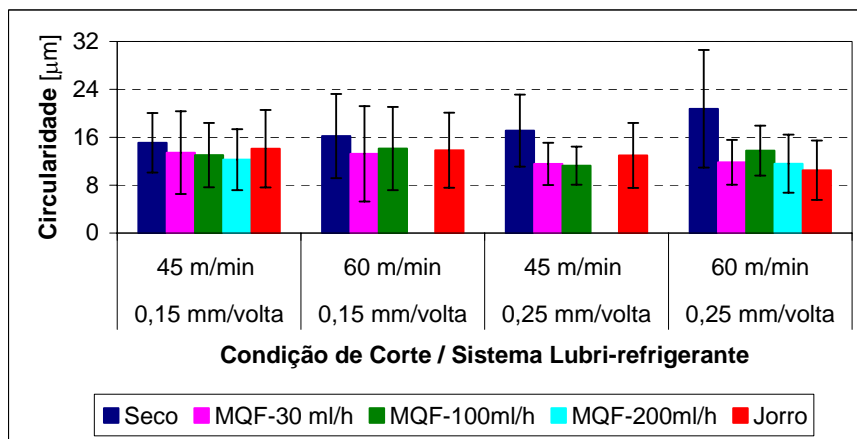


Figura 2. Circularidade média referente aos resultados da Tabela 6.

Tabela 7. Teste de hipótese relacionado com a diferença entre duas médias para os erros de cilindricidade e circularidade. Para “p” > 0,05 os resultados são estatisticamente iguais.

	CONDIÇÃO DE CORTE / “P”							
	45 m/min		60 m/min		45 m/min		60 m/min	
	x		x		x		x	
	0,15 mm/volta		0,15 mm/volta		0,25 mm/volta		0,25 mm/volta	
	Cilind.	Circul.	Cilind.	Circul.	Cilind.	Circul.	Cilind.	Circul.
<b>SECO X MQF 30</b>	0,36	0,04	0,18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>SECO X MQF 100</b>	0,02	0,00	0,12	0,00	0,00	0,00	0,06	0,00
<b>SECO X MQF 200</b>	0,00	0,00	-	-	-	-	0,00	0,00
<b>SECO X JORRO</b>	0,60	0,18	0,74	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00
<b>MQF 30 X MQF 100</b>	0,38	0,60	0,94	0,28	0,88	0,50	0,00	0,00
<b>MQF 30 X MQF 200</b>	0,00	0,12	-	-	-	-	0,46	0,62
<b>MQF 30 X JORRO</b>	0,60	0,44	0,20	0,48	0,00	0,02	0,76	0,00
<b>MQF 100 X MQF 200</b>	0,00	0,26	-	-	-	-	0,00	0,00
<b>MQF 100 X JORRO</b>	0,05	0,16	0,14	0,72	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>MQF 200 X JORRO</b>	0,00	0,02	-	-	-	-	0,36	0,08

Tabela 8. Efeito médio nas cilindridades e circularidades quando da variação do sistema lubri-refrigerante para todos os testes realizados.

	Erro Geométrico Médio [ $\mu\text{m}$ ]		Efeito no Erro Geométrico Médio [ $\mu\text{m}$ ]	
	Cilindricidade	Circularidade	Cilindricidade	Circularidade
<b>SECO <math>\Rightarrow</math> MQF 30</b>	37,97	14,89	-4,75 ( $\downarrow$ 13%)	-4,78 ( $\downarrow$ 32%)
<b>SECO <math>\Rightarrow</math> MQF 100</b>	38,44	15,16	-3,82 ( $\downarrow$ 10%)	-4,25 ( $\downarrow$ 28%)
<b>SECO <math>\Rightarrow</math> JORRO</b>	38,48	15,06	-3,72 ( $\downarrow$ 10%)	-4,44 ( $\downarrow$ 29%)
<b>MQF 30 <math>\Rightarrow</math> MQF 100</b>	36,06	12,77	+0,93 ( $\uparrow$ 03%)	+0,53 ( $\uparrow$ 04%)
<b>MQF 30 <math>\Rightarrow</math> JORRO</b>	36,11	12,67	+1,03 ( $\uparrow$ 03%)	+0,34 ( $\uparrow$ 03%)
<b>MQF 100 <math>\Rightarrow</math> JORRO</b>	36,58	12,94	+0,10 ( $\uparrow$ 0,3%)	-0,19 ( $\downarrow$ 01%)

A Tabela 8 é conclusiva no fato de que, para uma análise geral dos resultados, a usinagem a seco proporcionou os maiores desvios de cilindridades e circularidades e a usinagem com vazões MQF os menores (em média 11% e 30% menores que o sistema a seco, respectivamente), porém, os resultados para as vazões MQF estão muito próximos dos resultados obtidos para o sistema jorro, aumentos médios próximos de 2% e 3% nos erros de cilindricidade e circularidade, respectivamente, quando se passa da usinagem dos sistemas MQF para o sistema jorro.

Teixeira<sup>(10)</sup> furando aço ABNT 1040 com brocas de aço-rápido com vários sistemas lubri-refrigerantes (seco, MQF 100 ml/h de óleo vegetal, MQF 50 ml/h de óleo mineral e emulsão na forma de jorro) obteve resultados similares para os erros de circularidade, ou seja, a furação a seco gerou os maiores valores e os demais sistemas valores inferiores e muito próximos. O fato de a usinagem a seco proporcionar os maiores valores para os desvios geométricos de cilindricidade e circularidade, se deve principalmente às elevadas temperaturas desenvolvidas na operação de corte.

### 3.2 Rugosidades Médias $R_a$ e $R_{z(DIN)}$

Os resultados médios das rugosidades  $R_a$  e  $R_{z(DIN)}$ , medidas ao longo da vida das ferramentas, para cada corrida, assim como os valores médios dos testes, estão descritos na Tabela 9. As Figuras 3 e 4 ilustram graficamente os resultados desta tabela em função das condições de corte e dos sistemas lubri-refrigerantes utilizados.

Os valores medidos de  $R_a$  e  $R_{z(DIN)}$ , assim como os erros de cilindricidade e circularidade, apresentaram dispersões relativamente altas, os desvios padrões médios foram de 1,01 e 5,08  $\mu\text{m}$ , que correspondem a 28,9% e 25,5% em relação aos valores médios de  $R_a$  e  $R_{z(DIN)}$ , 3,49 e 19,96  $\mu\text{m}$ , respectivamente, Tabela 9.

Tabela 9. Rugosidades médias  $R_a$  e  $R_{z(DIN)}$  para os testes da Tabela 2.

Teste	Corrida / Rugosidade [ $\mu\text{m}$ ]						Nº Dados	Desv. Padrão Médio [ $\mu\text{m}$ ]		Rugosidade Média [ $\mu\text{m}$ ]	
	A		B		C			$R_a$	$R_{z(DIN)}$	$R_a$	$R_{z(DIN)}$
	$R_a$	$R_{z(DIN)}$	$R_a$	$R_{z(DIN)}$	$R_a$	$R_{z(DIN)}$					
01	4,92	26,33	4,50	25,95	-	-	42	1,54	7,18	4,71	26,14
02	4,45	27,69	5,69	34,27	-	-	42	1,38	7,90	5,07	30,98
03	3,44	21,37	4,28	25,24	2,09	13,60	63	1,35	7,75	3,27	20,07
04	5,35	32,65	5,28	32,06	6,27	37,76	63	1,25	7,41	5,59	33,86
05	2,79	15,51	2,48	14,75	-	-	42	0,83	4,05	2,63	15,13
06	3,12	18,89	3,69	20,72	-	-	42	0,59	3,01	3,40	19,80
07	2,28	13,18	1,82	10,45	-	-	42	0,75	3,29	2,05	11,81
08	3,27	18,91	3,54	20,87	2,72	16,76	63	0,55	3,02	3,18	18,85
09	3,42	18,80	4,19	21,56	-	-	42	1,24	5,21	3,80	20,18
10	3,34	20,03	2,54	15,89	-	-	42	0,81	4,63	2,94	17,96
11	2,75	14,81	3,16	14,75	2,69	15,69	63	0,77	3,32	2,86	15,08
12	3,86	22,36	3,95	22,88	-	-	42	0,50	2,63	3,91	22,62
13	3,56	20,24	2,81	16,69	-	-	42	1,00	4,76	3,18	18,47
14	3,68	20,62	2,65	15,46	-	-	42	0,74	4,02	3,17	18,04
15	3,81	20,59	3,97	21,47	-	-	42	2,06	10,17	3,89	21,03
16	2,75	15,40	3,44	19,50	-	-	42	0,75	4,46	3,09	17,45
17	4,16	20,92	2,74	14,12	-	-	42	1,58	6,18	3,45	17,52
18	2,74	14,49	2,51	14,00	-	-	42	0,52	2,42	2,62	14,25

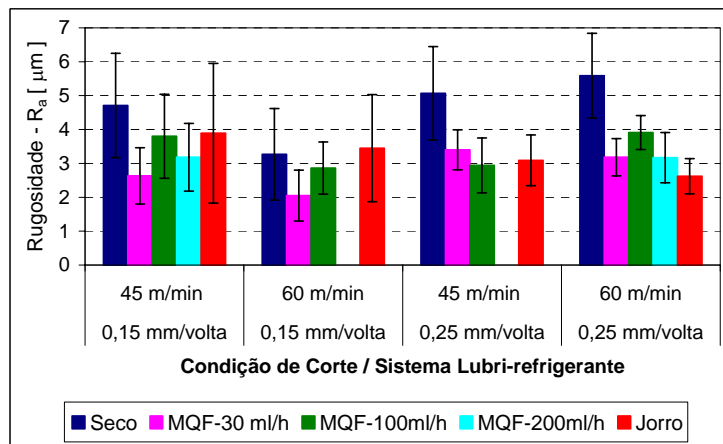


Figura 3 – Rugosidade média  $R_a$  referentes aos resultados da Tabela 6.

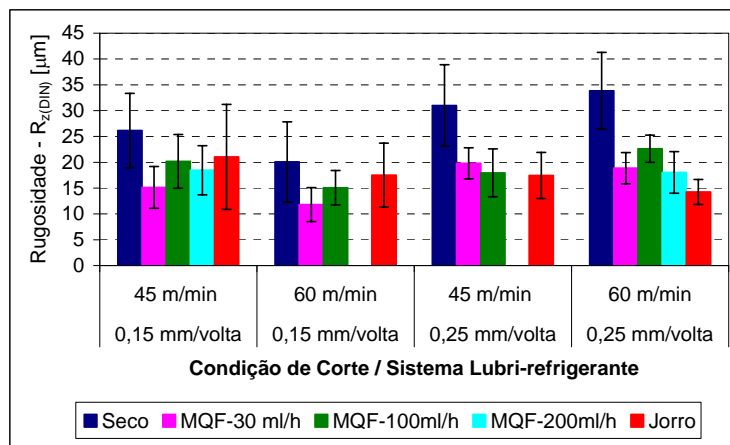


Figura 4 – Rugosidade média  $R_{z(DIN)}$  referentes aos resultados da Tabela 6.



A Tabela 10 mostra o teste de hipótese entre os sistemas lubri-refrigerantes e as condições de corte. As células sombreadas nesta tabela indicam que o confronto em questão resulta em valores estatisticamente iguais de rugosidades ( $p > 0,05$ ). O confronto entre a usinagem a seco e os sistemas MQF produziram sempre resultados diferentes para as rugosidades. A usinagem com vazão de 100 ml/h e jorro proporcionaram valores iguais de  $R_a$  e  $R_{z(DIN)}$  para a primeira e terceira condição de corte. Para a condição mais severa, quarta condição, o confronto entre as vazões MQF de 30 e 200 ml/h proporcionaram valores iguais para as rugosidades, Tabela 10.

Os efeitos médios, calculados através de um planejamento fatorial com dois níveis, proporcionados pela mudança do sistema lubri-refrigerante nas rugosidades, estão disponíveis na Tabela 11. Não foi considerado nesta tabela o sistema MQF com 200 ml/h em função de não se ter realizado este teste para todas condições. Destaca-se nesta tabela as reduções significativas nos valores de  $R_a$  e  $R_{z(DIN)}$  quando se passa da usinagem a seco para os sistemas MQF (principalmente para a vazão de 30 ml/h) e jorro, assim como efeitos relativamente baixo nas rugosidades quando se alterna a usinagem entre os sistemas MQF e jorro. Teixeira<sup>(10)</sup> furando aço ABNT 1040 com brocas de aço-rápido com vários sistemas lubri-refrigerantes obteve resultados similares para o  $R_a$ .

Tabela 10. Teste de hipótese relacionado com a diferença entre duas médias para as rugosidades  $R_a$  e  $R_{z(DIN)}$ . Para “p” > 0,05 os resultados são estatisticamente iguais.

	CONDIÇÃO DE CORTE / “P”							
	45 m/min		60 m/min		45 m/min		60 m/min	
	x		x		x		x	
	0,15 mm/volta		0,15 mm/volta		0,25 mm/volta		0,25 mm/volta	
	$R_a$	$R_{z(DIN)}$	$R_a$	$R_{z(DIN)}$	$R_a$	$R_{z(DIN)}$	$R_a$	$R_{z(DIN)}$
SECO X MQF 30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SECO X MQF 100	0,00	0,00	0,04	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00
SECO X MQF 200	0,00	0,00	-	-	-	-	0,00	0,00
SECO X JORRO	0,04	0,00	0,52	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00
MQF 30 X MQF 100	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00
MQF 30 X MQF 200	0,00	0,00	-	-	-	-	0,94	0,24
MQF 30 X JORRO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MQF 100 X MQF 200	0,02	0,12	-	-	-	-	0,00	0,00
MQF 100 X JORRO	0,80	0,62	0,02	0,02	0,38	0,60	0,00	0,00
MQF 200 X JORRO	0,04	0,14	-	-	-	-	0,00	0,00

Tabela 11. Efeitos médios nas rugosidades  $R_a$  e  $R_{z(DIN)}$  para os testes realizados.

	Rugosidade média [ $\mu\text{m}$ ]		Efeito na Rugosidade Média [ $\mu\text{m}$ ]	
	$R_a$	$R_{z(DIN)}$	$R_a$	$R_{z(DIN)}$
SECO $\Rightarrow$ MQF 30	3,74	22,08	-1,85 ( $\downarrow$ 49%)	-11,37 ( $\downarrow$ 51%)
SECO $\Rightarrow$ MQF 100	4,02	23,36	-1,28 ( $\downarrow$ 32%)	-8,8 ( $\downarrow$ 38%)
SECO $\Rightarrow$ JORRO	3,97	22,66	-1,40 ( $\downarrow$ 35%)	-10,2 ( $\downarrow$ 45%)
MQF 30 $\Rightarrow$ MQF 100	3,10	17,68	+0,56 ( $\uparrow$ 18%)	+2,56 ( $\uparrow$ 14%)
MQF 30 $\Rightarrow$ JORRO	3,04	16,98	+0,45 ( $\uparrow$ 15%)	+1,17 ( $\uparrow$ 7%)
MQF 100 $\Rightarrow$ JORRO	3,32	18,26	-0,12 ( $\downarrow$ 4%)	-1,40 ( $\downarrow$ 8%)

#### 4. CONCLUSÕES

1. As mesmas tendências encontradas para os efeitos nos erros de cilindricidade e circularidade, quando da variação dos sistemas lubri-refrigerantes, se repetiram para as rugosidades  $R_a$  e  $R_{z(DIN)}$ , ou seja, em geral o sistema seco proporcionou os maiores valores para estes parâmetros e a usinagem com as vazões MQF de 30, 100, 200 ml/h e jorro valores inferiores e próximos um dos outros, o que demonstra existir relação estreita entre rugosidades e desvios geométricos;
2. Em geral a usinagem com os sistemas MQF produziram valores de cilindricidade, circularidade e rugosidades  $R_a$  e  $R_{z(DIN)}$  ligeiramente inferiores ao sistema jorro, porém, para a condição de corte mais severa este resultado foi invertido;

3. A vazão MQF de óleo vegetal de 30 ml/h, em geral, proporcionou os menores valores para os erros geométricos e rugosidades;
4. A usinagem com os sistemas MQF 30, MQF100 e jorro diminuíram em média: o desvio de cilindridade de 13%, 10% e 10%, o desvio de circularidade de 32%, 28% e 29%, a rugosidade  $R_a$  de 49%, 32% e 35% e a rugosidade  $R_{z(DIN)}$  de 51%, 38% e 45%, respectivamente.

## 5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FAPEMIG, à CAPES, ao IFM e ao CNPq, pelo suporte financeiro, e às empresas: Aços Villares S.A., Shell do Brasil S.A. e OSG-Ferramentas de Precisão Ltda, pelo fornecimento do aço, dos fluidos de corte e das brocas, respectivamente.

## 6.0. REFERÊNCIAS

1. TOOL and MANUFACTURING ENGINEERS HANDBOOK, Machining. 4. ed., v.1, Society of Manufacturing Engineers, Dearbon, Michigan, 1983. p.10.1-10.76.
2. SANDVIK COROMANT, 1994, "Modern metal cutting – a practical handbook. Sweden, 1. ed. ISBN 91972299-0-3, 1994. 840 p.
3. MIRANDA, G. W. A. A. **Uma contribuição ao processo de furação sem fluidos de corte com brocas de metal duros revestidas com TiAlN**. 2003. 157 f. Tese (Doutorado Eng. Mecânica) - UFSC, Florianópolis-SC, junho, 2003.
4. ZEILMANN, R. P. **Furação de liga de titânio Ti6Al4V com mínimas quantidades de fluido de corte**. 2003. 170 f. Tese (Doutorado Eng. Mecânica) - UFSC, Florianópolis, 2003.
5. MACHADO, A. R. e SILVA M. B. Usinagem dos Metais. Laboratório de Ensino e Pesquisa em Usinagem, Universidade federal de Uberlândia, 7º versão, agosto, 2000.
6. HEISEL, U.; LUTZ, M.; SPATH, D.; WASSMER, R.; WALTER, U. A técnica da quantidade mínima de fluidos e sua aplicação nos processos de corte. **Máquinas e Metais**: Editora aranda, p. 22-38, fev. 1998.
7. CASTRO, P. R. A. **Aspectos tecnológicos da usinagem a seco e com mínima quantidade de fluido de corte na furação com broca helicoidal**. 2001. 178 f. Dissertação (Mestrado Eng. Mecânica) - UFSC, Florianópolis-SC, julho, 2001.
8. SCANDIFFIO, I. **Uma contribuição ao estudo do corte a seco e ao corte com mínima quantidade de lubrificante em torneamento de aço**. 2000. 63 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – UNICAMP, Campinas-SP, 2000.
9. TANIO, F. Lubrificantes industriais: soluções mais inteligentes e menos agressiva ao meio ambiente. **Revista Metal-Mecânica**, São Paulo-SP, p. 16-32, fev./Mar. 1999.
10. TEIXEIRA, C. R. **Benefícios ecológicos da redução e eliminação de fluidos de corte nos processos de usinagem com ferramentas de geometria definida**. 2001. 153 f. Tese (Doutorado em Eng. Mecânica) - UFSC, Florianópolis-SC, out. 2001.
11. MACHADO, A. R. e DINIZ A. D. Corte a seco, com mínima quantidade de fluido e com fluido em abundância: usos, aplicações, vantagens e desvantagens. In: Congresso Usinagem 2000, São Paulo-SP, 2000.
12. SAHM, D. and SCHNEIDER. A produção sem refrigeração é interessante e deve ser mais conhecida. **Máquinas e Metais**. Editora Aranda, p. 38-55, agosto 1996.
13. MACHADO, A. R. and WALLBANK, J. The effect of extremely low lubricant volumes in machining. **Wear**, 210, p. 76-82, 1997.
14. MIRANDA, G. W. A. et al. Quando as brocas de metal duro revestidas dispensam os fluidos de corte. **O Mundo da Usinagem**, ISSN 1518-6091, RG.BN 217.147, p. 20-25, março 2001.
15. NT MECH 038. Cutting fluids for drilling: evaluation by drill life test. Published by NORDTEST, 1997.

# INFLUENCE OF THE COOLING SYSTEM ON THE QUALITY OF DRILLED HOLES IN Din 38MnS6 STEELS

**Éder Silva Costa**

Federal Center of Technological Education of Minas Gerais, – CEFET-MG, Brazil  
Divinópolis Division Unit/ eder@div.cefetmg.br

**Álison Rocha Machado\***

alissonm@mecanica.ufu.br

**Sílvia do Nascimento Rosa\***

slviarn@yahoo.com.br

**Egmar Antônio de Sousa Júnior\***

egmarjunior@yahoo.com.br

\* Federal University of Uberlândia – Faculty of Mechanical Engineering, Brazil

**Abstract:** *The present work studies the quality of blind holes in terms of cylindricity, roundness and surface roughness ( $R_a$  and  $R_z$  parameters) when different cooling systems were used. The roundness were measured at the entrance, mid and exit of the hole machined. DIN 38MnS6 steel bars were used as work material and 10 mm diameter TiN coated HSS twist drills as the tool material. Dry cutting, external application of minimum quantity of cutting fluid – MQF (vegetal oil) and flood cooling of neat mineral oil were the cooling systems investigated. Generally the MQF systems showed smaller geometric errors and better surface roughness than the flood cooling system, however, under the higher cutting conditions tested the results were inversed. Dry condition showed the worst results. The same pattern of results was encountered when considering form errors (cylindricity and roundness) and surface roughness ( $R_a$  and  $R_z$  parameters), what suggests a certain relationship between them.*

**Key words:** *Holes quality, MQF – minimum quantity of cutting fluids, form errors, Surface roughness, Drilling with HSS twist drills.*