

## IMPORTÂNCIA DO ÂNGULO DE HÉLICE NO DESEMPENHO DOS ALARGADORES MULTICORTANTES

**Alexandre Araújo Bezerra**

**Álison Rocha Machado**

Universidade Federal de Uberlândia - Departamento de Engenharia Mecânica - Av. João Naves de Ávila, nº 2160 - Campus Santa Mônica - CEP: 38400-902 - Uberlândia - MG - E-mail: alissonm@mecanica.ufu.br.

**Antônio Maria de Souza Júnior**

FIAT Automóveis S.A. - BR 381 - KM 429 - CEP: 32501-970 - Betim - MG.

**Resumo.** Este trabalho apresenta um estudo da estabilidade dimensional (diâmetro, cilindridade e circularidade) e o acabamento de furos cilíndricos obtidos pelo processo de alargamento, com alargadores multicortantes de lâminas soldadas de metal duro K10 na usinagem de uma liga de alumínio-silício, em função de diferentes valores de ângulo de hélice:  $-10^\circ$ ;  $-7^\circ$ ;  $0^\circ$ ;  $7^\circ$ ; e  $10^\circ$ . Observou-se o comportamento de tais valores do ângulo de hélice em duas condições de avanço diferentes. A potência consumida foi monitorada durante a usinagem por um sensor de corrente que utiliza efeito Hall. No geral, observou-se menores erros de circularidade e cilindridade, além de melhor precisão de diâmetro quando se usou alargadores com ângulos de hélice de  $0^\circ$ . Em contrapartida, melhores resultados quanto ao acabamento foi obtido com os alargadores helicoidais.

**Palavras-chave:** Alargadores multicortantes, Ângulo de hélice, Estabilidade dimensional, Acabamento.

### 1. INTRODUÇÃO

A necessidade de produzir grande número de furos cilíndricos com bom acabamento e precisão geométrica exige ferramentas capazes de atender tais requisitos.

A broca helicoidal convencional, ferramenta de aresta frontal que produz furo em material sólido de forma bem econômica, não é capaz de produzir furos com tais níveis de exigências, pois o espaço nas suas estrias helicoidais para conduzir os cavacos para fora do furo nem sempre é suficiente para não comprometer o acabamento da superfície do furo. O corpo da broca deve ser ainda bastante resistente e rígido para transmitir o torque e as forças sem se quebrar e sem submeter o sistema a deformações e vibrações intoleráveis (Tönshoff *et al.*, 1994).

O alargador multicortante, ao contrário, além de atender tais requisitos, é capaz de alargar um grande número de furos pois tem características geométricas adequadas e executa apenas

um leve corte no furo circular. Pode também ser realizado com quase todas as máquinas-ferramentas que possuam árvore rotativa (Soratgar, 1987). O alargador multicortante possui duas ou mais estrias paralelas ao eixo da ferramenta ou em hélice, as quais propiciam dentes para o corte e ranhuras para a remoção dos cavacos (Metals Handbook, 1989). As lâminas estão num único conjunto e encontram-se simultaneamente em contato com a peça. A usinagem é subdividida em duas operações básicas: corte pelas arestas principais de corte e alisamento pelas arestas secundárias, as quais se apoiam numa extensão relativamente grande contra a superfície do furo já usinado e conduzem a ferramenta. Para isto as cunhas cortantes dispõem de uma superfície secundária que têm forte influência no resultado da usinagem durante o processo de alargamento (Weinert *et al.*, 1998).

Um elemento geométrico muito importante é o ângulo de hélice, pois a hélice das lâminas é fundamental para uma execução perfeita do furo. Ela pode ter sentido direito ou esquerdo. Aconselha-se para o alargamento de materiais dúcteis uma hélice a esquerda (ângulo de hélice negativo); para os materiais frágeis, como o ferro fundido e o bronze, uma hélice nula (canais retos) ou quase nulas, e para os materiais mais duros e tenazes, uma hélice direita (ângulo de hélice positiva) (Rossi, 1970). Os sentidos da hélice das lâminas cortantes, e os ângulos de hélice, têm sido razões de numerosas experiências que, às vezes, tem dado resultados contrastantes. Achou-se, segundo Rossi (1970), que os alargadores com dentes helicoidais de sentido esquerdo e de rotação direita têm produzido furos calibrados e perfeitamente lisos também num aço duro; requereu-se porém uma maior pressão axial. Desta forma, este trabalho avalia a influência do ângulo de hélice sobre a qualidade final dos furos alargados.

## 2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Os testes foram realizados na liga de alumínio-silício SAE 322 (ou A.A. 355.0) com dureza média de 95 HV e a seguinte composição química: 6,00 % Si; 2,06 % Cu; 0,38 % Mg; 0,15 % Ti; 1,00 % Fe; 0,50 % Mn; 1,00 % Zn; 0,20 % Ni; 0,15 % Pb; 0,10 % Sn; e o restante de Al.

Tanto o pré-furo como a operação de alargamento foram realizados na fresadora CNC Romi Interact IV. O pré-furo foi realizado com brocas de aço-rápido (velocidade de corte ( $V_c$ ) = 30 m/min e avanço ( $f$ ) = 0,16 mm/rot) e o alargamento foi executado com alargadores com lâminas soldadas de metal duro K10 (ângulo de folga de 22°, ângulo de saída de 10°, guia cilíndrico de 0,4 mm, acabamento do plano de saída D15 ( $R_a$  na faixa de 0,05  $\mu$ m) e número de lâminas ( $z$ ) igual a 5), sem uso de bucha de guia. A Tabela 1 identifica os alargadores utilizados. O furo alargado tem diâmetro nominal e comprimento de 12 mm, sendo o mesmo cego e sem chanfro. Foi utilizado um fluido de base semi-sintética emulsionável a 3% para todos os ensaios, com vazão de 5,3 l/min.

Tabela 1: Identificação dos alargadores utilizados nos ensaios.

ITEM \ ALARGADOR	01	02	03	04	05
diâmetro (mm)	11,999	11,995	11,995	11,997	11,995
ângulo de hélice (°)	0	- 7	- 10	+ 7	+ 10
batimento do diâmetro (mm)	0,003	0,004	0,003	0,005	0,006

As variáveis dependentes analisadas foram: diâmetro ( $\varnothing$ ), rugosidade média ( $R_a$ ), erro de circularidade, ou simplesmente circularidade (Cr), erro de cilindridade, ou simplesmente cilindridade (Cl) e potência. Em cada etapa variou-se o valor do avanço, permanecendo constantes os demais, e para cada condição de usinagem, chamada de sub-etapa, foram

realizados 32 furos com ângulos de hélice ( $\gamma_f$ ) diferentes, considerando a média desses resultados para análise. As etapas dos ensaios foram divididas conforme é mostrado na Tabela 2. Para medir o diâmetro, a rugosidade, a circularidade e a cilindridade, usou-se um Micrômetro Interno Tesa, com resolução de 0,001 mm e faixa de indicação da escala principal de 10 a 12 mm, um Rugosímetro SurfTest 211 da Mitutoyo e um Talyrond 3 da Rank Taylor Hobson, respectivamente. Para a medição da potência usou-se um sensor de corrente Hallsensor NW-SC-50 e uma placa A/D de aquisição de sinais CYRDAS 1602.

Tabela 2: Etapas dos ensaios de alargamento.

etapa	variável	sub-etapa e valor da variável respectiva				
1	sub-etapa	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5
	$\gamma_f$ (°)	-10	-7	0	7	10
	alargador n°	03	02	01	04	05
	sobremetal (mm) = 0,2; velocidade de corte (m/min) = 25; <b>f (mm/rot) = 0,8</b>					
2	sub-etapa	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5
	$\gamma_f$ (°)	-10	-7	0	7	10
	alargador n°	03	02	01	04	05
	sobremetal (mm) = 0,2; velocidade de corte (m/min) = 25; <b>f (mm/rot) = 0,1</b>					

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os valores constantes nos gráficos, apresentados a seguir, representam as médias de 32 furos executados nas mesmas condições e foram submetidos ao critério de rejeição Chauvenet (Holman, 1978). Detalhes desses valores são fornecidos por Bezerra (1998). A Tabela 3 mostra um resumo dos resultados médios e dos desvios padrões das variáveis dependentes nos furos alargados obtidos com a mudança do valor do ângulo de hélice para o caso de avanço igual a 0,8 mm/rot.

Tabela 3 - Resumo dos resultados encontrados na etapa 1.

sub-etapa	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5
$\gamma_f$ (°)	<b>-10</b>	<b>-7</b>	<b>0</b>	<b>7</b>	<b>10</b>
$\varnothing$ (mm)	12,0401	12,0316	12,0193	12,0308	12,0291
desvio(mm)	0,0076	0,0062	0,0055	0,0081	0,0067
$R_a$ ( $\mu$ m)	2,5258	2,6753	3,1406	2,6119	2,1259
desvio( $\mu$ m)	0,8828	0,9624	0,7923	0,7737	0,6431
Cr( $\mu$ m)	0,0352	0,0374	0,0119	0,0096	0,0467
desvio( $\mu$ m)	0,0121	0,0119	0,0049	0,0037	0,0194
Cl( $\mu$ m)	0,0315	0,0296	0,0156	0,0142	0,0338
desvio( $\mu$ m)	0,0133	0,0113	0,0094	0,0064	0,0126
potência(W)	84,4198	91,6592	73,5297	72,5098	87,0993
desvio(W)	21,0090	22,5739	16,3431	18,8090	22,7899

A Tabela 4 mostra um resumo dos resultados médios e desvios padrões das variáveis dependentes nos furos alargados obtidos com a mudança do valor do ângulo de hélice para o caso de avanço igual a 0,1 mm/rot.

Tabela 4 - Resumo dos resultados encontrados na etapa 2.

sub-etapa	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5
$\gamma_f(^{\circ})$	-10	-7	0	7	10
$\varnothing(\text{mm})$	12,0531	12,0320	12,0310	12,0387	12,0439
desvio(mm)	0,0019	0,0093	0,0072	0,0067	0,0066
$R_a(\mu\text{m})$	2,0171	2,0780	2,7810	2,1152	2,2097
desvio( $\mu\text{m}$ )	0,4425	0,4026	0,5394	0,4447	0,4293
Cr( $\mu\text{m}$ )	0,0268	0,0286	0,0154	0,0235	0,0328
desvio( $\mu\text{m}$ )	0,0127	0,0145	0,0038	0,0077	0,0119
Cl( $\mu\text{m}$ )	0,0200	0,0227	0,0145	0,0460	0,0544
desvio( $\mu\text{m}$ )	0,0077	0,0096	0,0085	0,0096	0,0111
potência(W)	9,9528	12,2196	26,0201	20,3240	28,2032
desvio(W)	6,8808	6,3981	5,3886	9,6070	9,2591

As Figuras de 1 a 10 apresentam os resultados na forma de gráficos. Em cada gráfico a curva central corresponde aos valores médios e as outras duas curvas representam a faixa de variação da grandeza, considerando um desvio padrão.

### 3.1 Influência do ângulo de hélice sobre a precisão de diâmetro

O ângulo de hélice de  $0^{\circ}$  apresentou melhor precisão de diâmetro, tanto com valor de avanço igual a 0,8 mm/rot (Fig. 1) quanto a 0,1 mm/rot (Fig. 2). Verifica-se uma leve redução na precisão de diâmetro quando se usa avanço pequeno, o que está de acordo com Soratgar (1987), o qual afirma que, para as operações de alargamento, a maioria dos artigos publicados recomenda avanços maiores que nas operações de furação para um diâmetro correspondente. É importante lembrar que o avanço utilizado na furação foi de 0,16 mm/rot.

Segundo Stemmer (1992), os alargadores de dentes retos são perfeitos para trabalhos de precisão. Os resultados deste trabalho confirmam esta tendência.

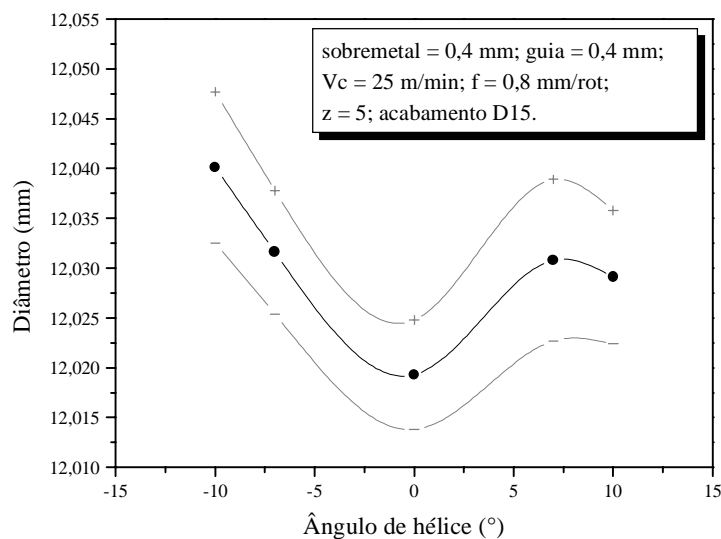


Figura 1: Influência da ângulo de hélice sobre diâmetro (avanço igual a 0,8 mm/rot).

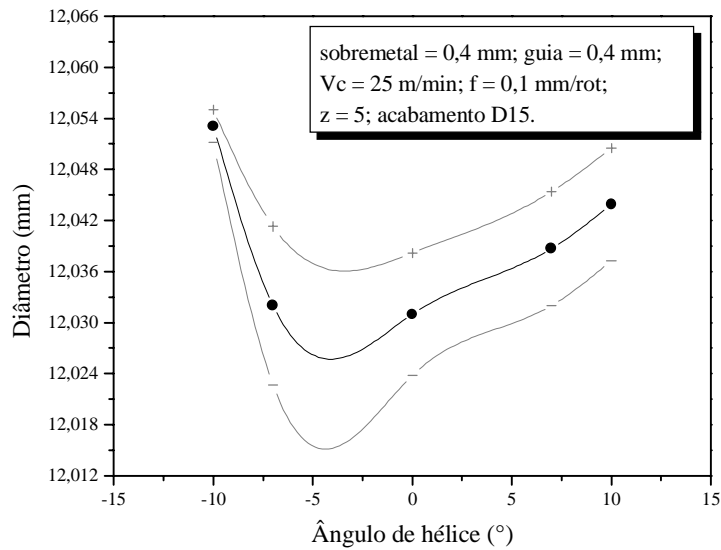


Figura 2: Influência da ângulo de hélice sobre diâmetro (avanço igual a 0,1 mm/rot).

### 3.2 Influência do ângulo de hélice sobre a rugosidade

As Figuras 3 e 4 mostram a influência do ângulo de hélice sobre a rugosidade média. Os dentes helicoidais, em relação aos de dentes retos, favorecem o acabamento, pois permitem maior área de contato com a parede interna do furo através do guia cilíndrico, que tem função, além de guiar o próprio alargador dentro do furo, de alisar a parede do furo (Schroeter, 1989), apesar desta maior área aumentar as forças de atrito e, conseqüentemente, a potência e as vibrações, o que pode ser um fator desfavorável na obtenção de um furo com boa qualidade dimensional e superficial.

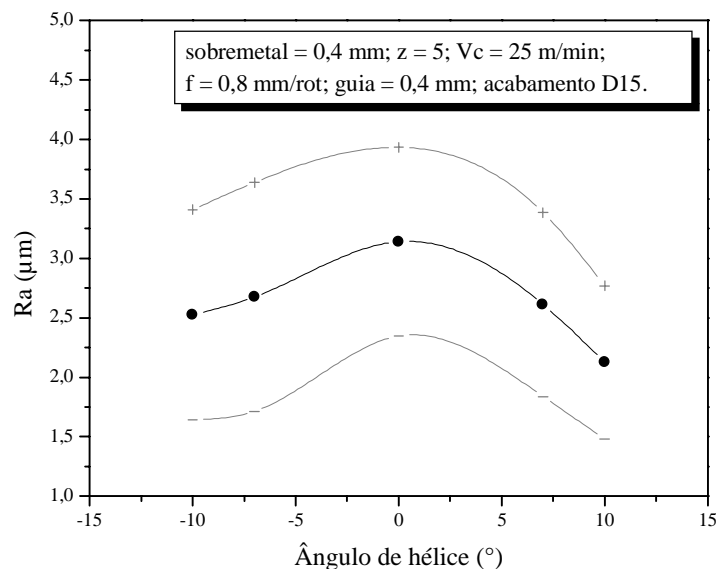


Figura 3 – Influência do ângulo de hélice sobre a rugosidade (avanço igual a 0,8 mm/rot).

No caso em estudo, acredita-se que nos alargadores com dentes helicoidais, a capacidade de alisar do guia cilíndrico foi preponderante comparado ao aumento das forças de atrito no

resultado final do acabamento. Da mesma forma, nos experimentos de Schroeter (1989) verificou-se um aumento da rugosidade com a diminuição do ângulo de hélice.

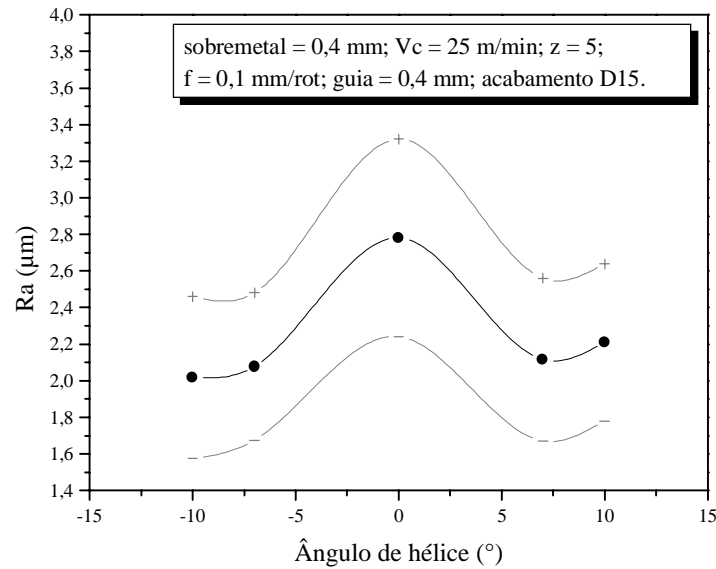


Figura 4 – Influência do ângulo de hélice sobre a rugosidade (avanço igual a 0,1 mm/rot).

Observa-se nos dois gráficos que o ângulo de hélice nulo proporciona pior acabamento. Estes resultados coincidem com os encontrados por Miller (1986, apud Schroeter, 1989).

### 3.3 Influência do ângulo de hélice sobre a circularidade

As Figuras 5 e 6 mostram menores variações dimensionais quanto à circularidade para os ângulos de hélice de 0° e 7° quando o avanço foi igual a 0,8 mm/rot (Fig. 5) e 0° para um avanço de 0,1 mm/rot (Fig. 6).

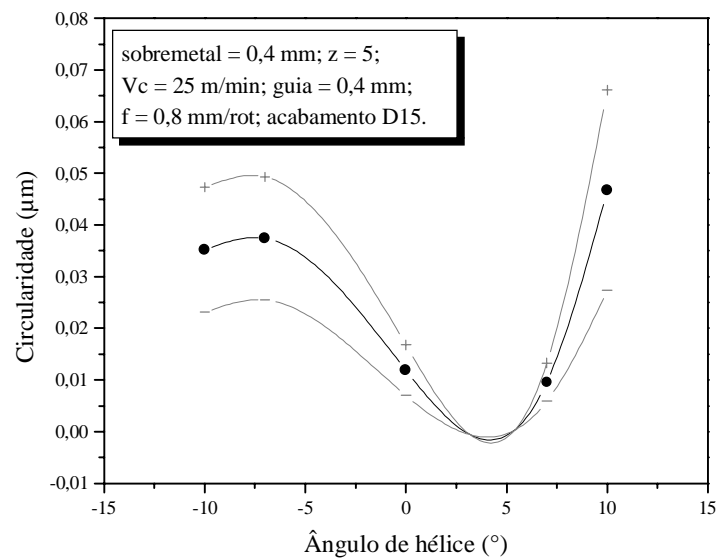


Figura 5 – Influência do ângulo de hélice sobre a circularidade (avanço igual a 0,8 mm/rot).

Segundo Miller (1986, apud Schroeter, 1989), os alargadores de dentes retos, de menor custo, são os mais utilizados e preferidos para trabalhos de precisão.

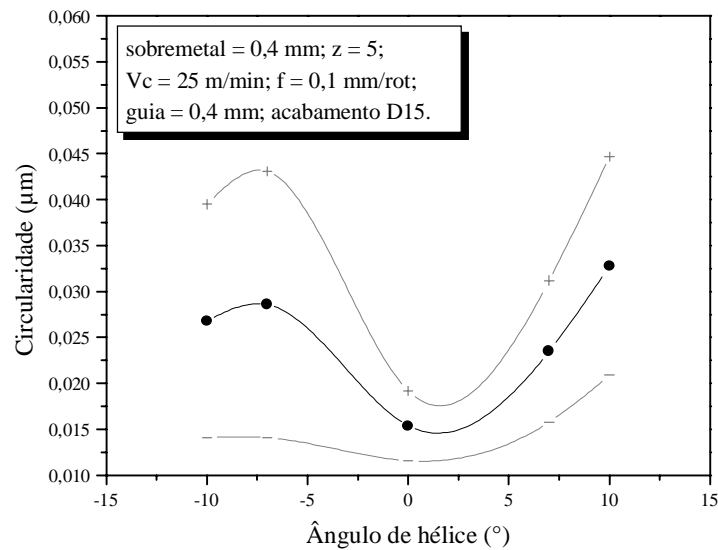


Figura 6 – Influência do ângulo de hélice sobre a circularidade (avanço igual a 0,1 mm/rot).

### 3.4 Influência do ângulo de hélice sobre a cilindridade

Nas Figuras 7 e 8, onde temos o comportamento da cilindridade dos furos alargados em função da variação do ângulo de hélice, notam-se a mesma tendência encontrada com a circularidade para avanço igual a 0,8 mm/rot (Fig. 7).

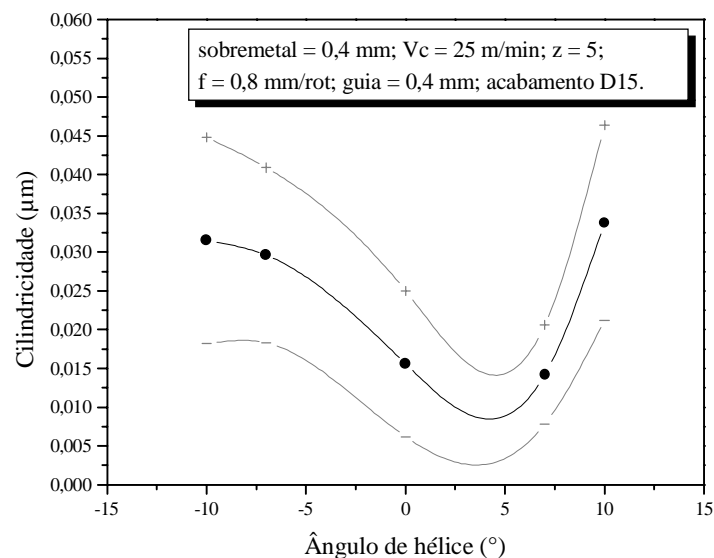


Figura 7 – Influência do ângulo de hélice sobre a cilindridade (avanço igual a 0,8 mm/rot).

Observa-se também que o menor erro de cilindridade foi obtido com o alargador de canal reto para o avanço de 0,1 mm/rot (Fig. 8). Isto confirma a tendência do alargador com ângulo de hélice igual a  $0^{\circ}$  proporcionar maior estabilidade dimensional que os alargadores helicoidais. Entretanto, Ohgo *et al.* (1979) observaram que o uso de um alargador de hélice a

esquerda com um chanfro de dois estágios e uma quantidade muito pequena de fluido de corte solúvel preveniram os efeitos adversos da APC e dos cavacos sobre a precisão do alargamento dos ferro-fundidos cinzentos.

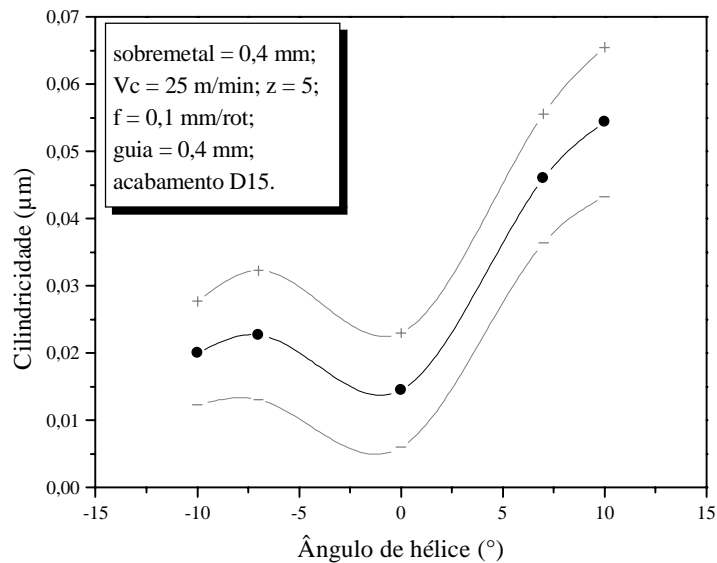


Figura 8 – Influência do ângulo de hélice sobre a cilindridade (avanço igual a 0,1 mm/rot).

### 3.5 Influência do ângulo de hélice sobre o consumo de potência

As Figuras 9 e 10 apresentam a influência do ângulo de hélice sobre o consumo de potência.

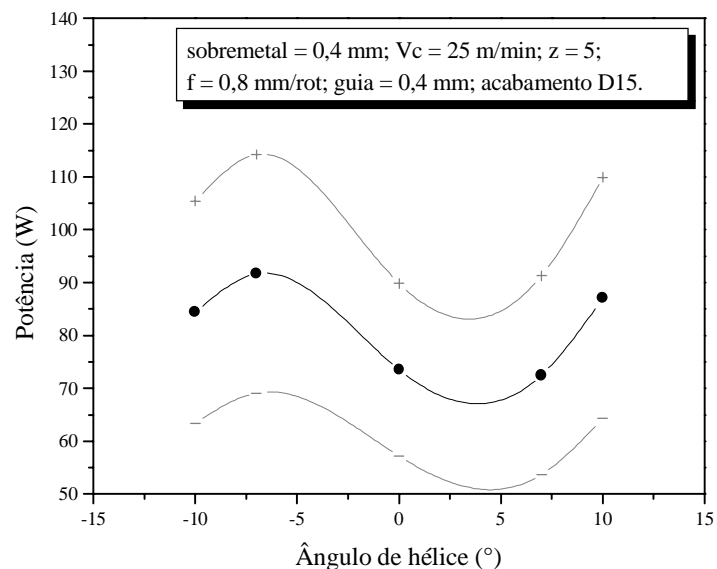


Figura 9 – Influência do ângulo de hélice sobre o consumo de potência (avanço igual a 0,8 mm/rot).

Os alargadores em geral são de corte à direita. Usando-se, então, uma hélice esquerda, o cavaco é empurrado para frente, evitando que prejudique a superfície já usinada. Além disto,



ocorre um empuxo axial que fixa melhor a ferramenta no cone e elimina eventuais folgas da máquina. O emprego de uma hélice direita com alargador de corte à direita faz com que o cavaco seja puxado para cima, onde, se penetrar entre as paredes do furo e as guias do alargador, provoca arranhões. O empuxo é no sentido de arrancar o alargador do mandril. Por estas razões, a hélice direita só deve ser usada no alargamento de furos cegos, nos quais o cavaco, jogado para frente, não encontraria lugar para se alojar (Stemmer, 1992). Teoricamente, um alargador corta mais facilmente e requer menos força se ele é um alargador com hélice à direita (Soratgar, 1987).

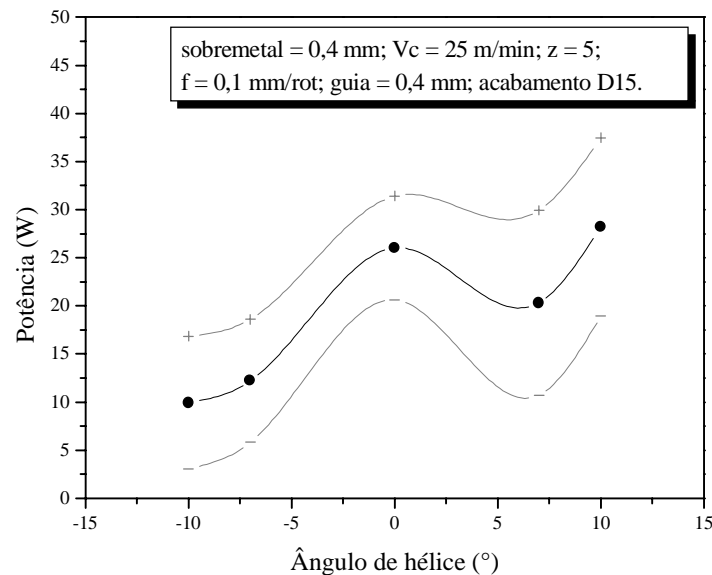


Figura 10 – Influência do ângulo de hélice sobre o consumo de potência (avanço igual a 0,1 mm/rot).

Os resultados apresentados pelas Figuras 9 e 10 mostram que o avanço tem influência nesta análise. Com o avanço de 0,8 mm/rot. a vantagem foi para os alargadores com ângulo de hélice à direita, o que confirma a teoria de Soratgar (1987), enquanto o avanço de 0,1 mm/rot. os melhores resultados foram com os alargadores de ângulo de hélice à esquerda.

Pode-se notar uma grande diferença no consumo de potência quando se alterou o avanço. Isso mostra que o avanço apresenta uma grande influência sobre a potência.

#### 4. CONCLUSÕES

O ângulo de hélice é uma importante variável no alargamento de furos cilíndricos. Para cada parâmetro considerado vai existir um valor mais indicado.

Alargadores com ângulo de hélice de 0° são mais adequados para trabalhos de precisão, enquanto o alargador com dentes helicoidais proporciona melhor acabamento, e menor consumo de potência, embora o avanço possa alterar esta conclusão.

#### *Agradecimentos*

Os autores agradecem à FIAT Automóveis S.A. pelo suporte técnico, à CAPES pelo financeiro e ao Técnico Reginaldo Ferreira de Souza pelo apoio na condução dos experimentos.

## REFERÊNCIAS

- Bezerra, A.A., 1998, Influência dos principais parâmetros no alargamento de uma liga de alumínio-silício, Dissertação de Mestrado, UFU, Uberlândia, pp. 120-139.
- Holman, J.P., 1978, Experimental Methods for Engineers, 3<sup>rd</sup> edition, McGraw-Hill, USA, pp. 59-67.
- Metals Handbook, 1989, Reaming, vol. 16 - Machining, 9<sup>th</sup> edition, American Society for Metals, pp. 239-248.
- Miller, P.C., 1986, Better tools upgrade boring and reaming, Tooling and Production, vol. 10, pp. 30-32, apud Schroeter, R.B., 1989, Alargamento de precisão em alumínio aeronáutico com ferramentas de gume único regulável, Dissertação de Mestrado, UFSC, Florianópolis, 113 pags.
- Ohgo, K., Satoh, A., Mizuno, T. and Itoh, T., 1979, Relation between cutting conditions and precision in the reaming of gray iron castings, Wear, vol. 52, n. 1, pp. 79-88.
- Rossi, M., 1970, Máquinas-Operatrizes Modernas, Livro Ibero-Americano Ltda., Rio de Janeiro, 562 pags.
- Schroeter, R.B., 1989, Alargamento de precisão em alumínio aeronáutico com ferramentas de gume único regulável, Dissertação de Mestrado, UFSC, Florianópolis, 113 pags.
- Soratgar, M.S., 1987, An analysis of the effectiveness of reaming as a secondary operation for hole production, Ph.D. Thesis, Texas Technology University, USA, 298 pags.
- Stemmer, C.E., 1992, Ferramentas de Corte II: brocas, alargadores, ferramentas de roscar, fresas, brochas, rebolos, abrasivos, Editora da UFSC, Florianópolis, pp. 33-43.
- Tönshoff, H.K., Spintig, W., König, W. and Neises, A., 1994, Machining of holes developments in drilling technology, Annals of the CIRP, vol. 43/2, pp. 551-561.
- Weinert, K., Adams, F., Biermann, D. and Thamke, D., 1998, Alargadores de corte único: corte mais eficiente, além de vantagens econômicas, Máquinas e Metais, Aranda Editora, Ano XXXIV, n. 384, pp. 38-57.

### IMPORTANCE OF THE HELIX ANGLE ON THE PERFORMANCE OF MULTI-BLADES REAMERS

**Abstract.** *This work presents a study of the dimensional stability (diameter, cylindricity and roundness) and surface finishing of cylindrical holes produced by reaming process with K10 cemented carbide welded blade reamers possessing several helix angles (-10°; -7°; 0°; 7°; and 10°) in aluminium-silicon alloy. Two different feed rates were used. The power consumption were monitored during tests with a Hall sensor based equipment. In general the minor error of cylindricity and roundness, besides better diameter precision, was obtained when using reamers with 0° of helix angle. On the other hand, better results with relationship to the surface finishing were obtained with the helical reamers.*

**Key words:** *Multi-blades reamers, Helix angle, Dimensional stability, Surface finishing.*