

AVALIAÇÃO DO PARÂMETRO DE RUGOSIDADE CV DE CILINDROS DE BLOCOS DE COMPRESSORES HERMÉTICOS USINADOS PELO PROCESSO DE BRUNIMENTO FLEXÍVEL

Leandro Carvalho Pereira¹, cp.leandro@hotmail.com
Rosenda Valdés Arencibia¹, rosenda.arencibia@ufu.br
Luciano José Arantes¹, ljarantes@femec.ufu.br
Márcio Bacci da Silva¹, mbacci@ufu.br
Eder Silva Costa¹, eder@mecanica.ufu.br
Cristiano Rafael Schramm², cristiano.r.schramm@embraco.com

¹Universidade Federal de Uberlândia, Av. João Naves de Ávila, 2121, Bairro Santa Mônica, Campus Santa Mônica, Uberlândia, Minas Gerais, Brasil.

²Whirlpool S.A - Embraco, Rua Rui Barbosa, 1020, Zona Industrial Norte, Joinville, Santa Catarina, Brasil.

Resumo: O objetivo deste trabalho é avaliar por meio de um planejamento fatorial completo o efeito das condições de usinagem (rotação, velocidade de avanço e números de golpes da ferramenta) empregados durante o processo de brunimento flexível no coeficiente de vazio CV do cilindro de blocos de compressores herméticos. O brunimento convencional foi efetuado por meio de uma máquina brunidora vertical multifuso, do fabricante Gehring, utilizando um conjunto de três brunidores, sendo um de desbaste (120 mesh), um de semi-acabamento (270 mesh) e um de acabamento (600 mesh). O brunimento flexível foi realizado utilizando um centro de usinagem CNC e um brunidor flexível que é composto por uma haste metálica e cerdas de nylon com lóbulos abrasivos nas pontas. A avaliação do coeficiente de vazio CV foi efetuada por meio de um rugosímetro eletromecânico. A incerteza de medição foi estimada, aplicando o método proposto no GUM. Os resultados indicaram que o processo de brunimento flexível utilizando 3 golpes da ferramenta, rotação de 700 rpm e velocidade de avanço de 1400 mm/min proporcionou o menor coeficiente de vazio CV dentre os parâmetros de usinagem utilizados. A ANOVA indicou que os valores médios do CV antes e após o brunimento flexível são estatisticamente diferentes e, portanto este parâmetro caracteriza de forma adequada as superfícies brunidas. A redução do coeficiente de vazio é um indicativo de superfícies mais lisas o que pode acarretar em um aumento da resistência ao desgaste e, conseqüentemente, maior eficiência do compressor.

Palavras-chave: ANOVA, brunidor flexível, incerteza de medição, planejamento de experimentos.

1. INTRODUÇÃO

Em busca do desenvolvimento de seus produtos a indústria de refrigeração, particularmente o setor destinado à produção de compressores, procura constantemente investir para melhorar seus componentes. Desta forma, o cilindro do bloco do compressor recíproco alternativo hermético, tem recebido uma atenção especial por parte dos fabricantes e pesquisadores, pois requerem elevada exatidão dimensional e geométrica, afim de evitar dificuldades na montagem, o aparecimento de esforços que levam ao desgaste do componente, possíveis vazamentos e a perda de eficiência do compressor. Então, a indústria de refrigeração percebeu a necessidade de melhorar, principalmente, a rugosidade do cilindro de seus compressores herméticos visando otimizar o desempenho deste, propondo a utilização do processo de brunimento flexível utilizando-se a ferramenta *Flex-Hone*.

Segundo Miller (1993), o brunimento flexível é um processo utilizado após o brunimento convencional que atua por intermédio de partículas abrasivas de maneira a não alterar as características geométricas, tais como, cilindricidade, concentricidade e coaxialidade, bem como as dimensões da peça. A ferramenta remove picos e imperfeições das paredes de cilindros, criando o acabamento desejável para diversas aplicações práticas. O resultado é a redução do atrito, do aquecimento localizado e a melhoria geral no desempenho.

A ferramenta brunidora flexível tipo esferas, Fig. (1), é constituída por uma haste metálica rígida, “cerdas” poliméricas com pontas em forma de glóbulos abrasivos, que são arrançadas no formato de escova, ideal para brunir e gerar um superacabamento difícil de ser obtido por qualquer outro método de abrasão em baixa temperatura e pressão. Esta ferramenta é ideal para brunir, rebarbar, limpar, polir, remover óxido de ferro e dar acabamento em cilindros e tubos de qualquer material.

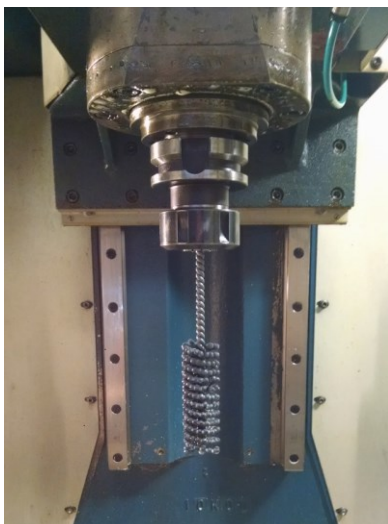


Figura 1. Ferramenta brunidora flexível tipo esferas.

De acordo com a norma ISO 13565-2 (ISO, 1996), o acabamento das superfícies brunidas pode ser melhor caracterizado por meio dos seguintes parâmetros: R_k (Rugosidade do núcleo do perfil); Rvk (Região de vale) e Rpk (Região de pico) e duas fronteiras ($Mr1$ e $Mr2$), os quais são definidos a partir da curva de *Abbott-Firestone*. Estes foram empregados por Anderberg et al. (2009), Corral e Calvet (2011), e Pawlus et al. (2009) para caracterizar superfícies brunidas. Entretanto, existem outros parâmetros que fornecem informações valiosas para este tipo de superfície, como o coeficiente de vazão dado pela relação Rp/Rt . A combinação entre o Rp e Rt pode ser considerada como um dos parâmetros mais importantes para avaliar a evolução do desgaste da superfície. Cabe ressaltar que as partículas de desgaste desprendidas durante as primeiras horas de funcionamento do compressor hermético se unem ao óleo lubrificante tornando-se um abrasivo.

Pawlus (1994, 1997) após analisar diversos cilindros brunidos, obtidos por diferentes ferramentas abrasivas e tamanhos de grãos, concluiu que é possível fazer uma descrição clara e precisa de uma superfície de um cilindro brunido utilizando parâmetros como o coeficiente de vazão.

Neste contexto, surgiu a proposta do presente trabalho, que tem como objetivo principal avaliar o coeficiente de vazão CV do cilindro de blocos de compressores herméticos submetidos ao processo de brunimento flexível utilizando-se um centro de usinagem CNC e a ferramenta *Flex-Hone* considerando diferentes valores dos parâmetros de corte (rotação, velocidade de avanço e números de golpes da ferramenta). Para tanto se propõe um planejamento fatorial completo $2 \times 2 \times 3$. A análise dos resultados foi efetuada por meio da análise de variância ANOVA utilizando o *software* Statistica. Se apresenta, ainda, a avaliação da incerteza de medição através da aplicação do método proposta no JCGM 100 (BIPM et al., 2008).

2. METODOLOGIA

Foi utilizada uma amostra de 36 cilindros, inicialmente usinados pelo processo de brunimento convencional e em seguida usinados pelo processo de brunimento flexível. O brunimento convencional foi efetuado pela EMBRACO por meio de uma máquina brunidora vertical multifuso, do fabricante Gehring, utilizando um conjunto de três brunidores, sendo um de desbaste (120 mesh), um de semi-acabamento (270 mesh) e um de acabamento (600 mesh). Ainda, foram efetuados dois golpes em cada operação. Os parâmetros de corte foram definidos pela empresa como sendo: profundidade de corte 0,014 mm; velocidade de avanço 300 mm/min; e rotação para o desbaste de 550 rpm, para o semi-acabamento 550 rpm e para o acabamento 500 rpm. Por sua vez, o brunimento flexível foi realizado no Laboratório de Pesquisa e Ensino em Usinagem (LEPU) da Universidade Federal de Uberlândia, utilizando uma máquina fresadora CNC, modelo Discovery 760 da Romi, cuja potência do motor principal é de 12,5 CV, com rotação máxima de 10000 rpm. Esta máquina apresenta cursos dos eixos X , Y e Z iguais a 762 mm, 406 mm e 508 mm, respectivamente, dimensões da mesa de 915 mm de largura e 360 mm de comprimento e, avanços rápidos de 30 m/min para os eixos X e Y e de 20 m/min para o eixo Z . A ferramenta brunidora flexível utilizada é composta por carboneto de silício e ligante resinoide, possui diâmetro nominal de 24,2 mm e granulometria de 800 mesh.

Devido à geometria complexa do bloco do compressor recíproco alternativo hermético, Fernandes (2014) projetou e fabricou um dispositivo para fixar a peça na máquina fresadora CNC. Para construção do mesmo foi utilizado o ferro fundido, com dimensões de 55 mm de largura, 40 mm de altura e 90 mm de comprimento. O dispositivo possui três furos em sua superfície, um no centro com diâmetro igual a 40 mm, e dois posicionados em diagonal com diâmetro de 4 mm, Fig. (3a). O primeiro tem por objetivo escoar o fluido de corte enquanto os dois últimos foram utilizados para colocar dois pinos aonde o bloco é encaixado, Fig. (3b).

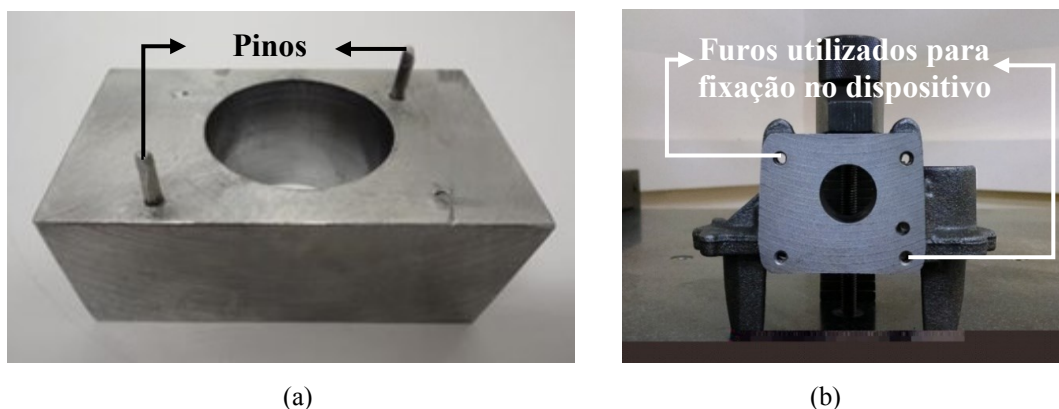


Figura 3. (a) Dispositivo utilizado para fixação do bloco no centro de usinagem CNC durante a realização do brunimento flexível (Fernandes, 2014) e (b) furos do bloco do compressor utilizados para fixação no dispositivo.

O dispositivo é fixado na máquina CNC através das castanhas, conforme a Fig. (4).

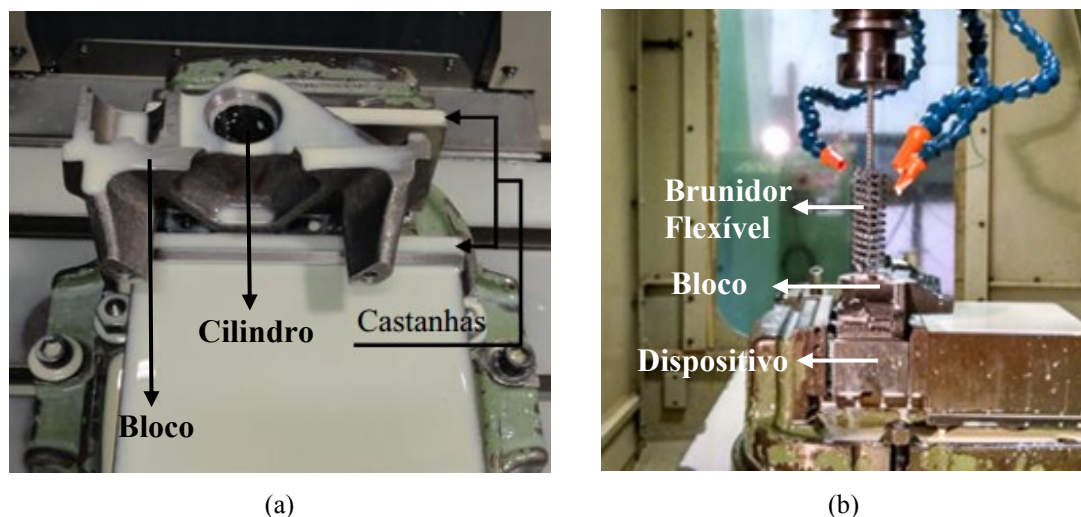


Figura 4. (a) Vista superior e (b) e vista lateral da fixação do bloco do compressor na máquina CNC.

A avaliação da rugosidade foi efetuada após cada operação (brunimento convencional e brunimento flexível), utilizando um rugosímetro eletromecânico portátil Surtronic 3+, do fabricante Taylor Hobson, modelo 112/1590, com resolução de $0,01 \mu\text{m}$, apalpador com ponta de diamante de raio de $2 \mu\text{m}$ e certificado de calibração nº 0001/2016. O rugosímetro e a peça foram posicionados e fixados sobre a mesa de medição da máquina de medir por coordenadas, Fig. (5).



Figura 5. Rugosímetro portátil Surtronic 3+ da Taylor Hobson posicionado na mesa de desempenho da máquina de medir por coordenadas.

O comprimento de amostragem adotado foi de 0,8 mm, conforme recomenda a ABNT 4288 (ABNT, 2008) e foi utilizado o filtro Gaussiano para retirada das ondulações do perfil. A coleta dos dados foi realizada através do *software* Talyprofile Gold 4.0. Foram efetuadas cinco medições em cada cilindro.

Todas as medições foram conduzidas à temperatura ambiente controlada de $(20,0 \pm 1,0) ^\circ\text{C}$. Um termo-higrômetro digital com resolução de $0,1 ^\circ\text{C}$ e faixa nominal de $(-20,0 \text{ a } 60,0) ^\circ\text{C}$ foi utilizado para a medição da temperatura. Este equipamento possui certificado de calibração N. R4996/13, emitido pelo Laboratório de Temperatura e Umidade da Elus Instrumentação. Para a temperatura, a incerteza expandida é de $0,3 ^\circ\text{C}$ para k igual a 2,00 e infinitos graus de liberdade.

A incerteza de medição associada ao parâmetro CV foi avaliada utilizando o método proposto no JCGM 100 (BIPM et al., 2008). Como o coeficiente de vazão é determinado a partir dos parâmetros R_p e R_t , inicialmente foi avaliada a incerteza associada a estes parâmetros e para tanto foi proposto o modelo matemático mostrado na Eq. (1). Para a determinação da incerteza associada à medição do CV foi empregada a Eq. (2).

$$R_{Rug} = \bar{x}(L_{Rug}) + \Delta R_{Rug} + \Delta IC_{Rug} + \Delta A_R + \Delta D \quad (1)$$

$$CV = \bar{x}(L_{CV}) + \frac{\Delta R_p}{\Delta R_t} \quad (2)$$

Na Equação (1), R_{Rug} é o parâmetro de rugosidade medido, $\bar{x}(L_{Rug})$ é a média dos valores indicados pelo rugosímetro, ΔR_{Rug} é a correção associada à resolução do rugosímetro, ΔIC_{Rug} é a correção associada à incerteza da calibração do rugosímetro, ΔA_R é a correção associada ao raio da ponta do apalpador e ΔD é a correção associada à deformação do material durante a medição. Na Equação (2), CV é o coeficiente de vazão, $\bar{x}(L_{CV})$ é a média dos valores indicados pelo rugosímetro para o parâmetro CV , ΔR_p é a correção associada à incerteza do parâmetro R_p e ΔR_t é a correção associada à incerteza do parâmetro R_t .

Aplicando a Lei de Propagação de Incertezas nas Eqs. (1) e (2), obtêm-se as Eqs. (3) e (4), que permitem calcular a incerteza padrão combinada aos parâmetros R_p , R_t e CV .

$$u_c^2(R_{Rug}) = (1)^2 \cdot u^2(\bar{x}(L_{Rug})) + (1)^2 \cdot u^2(\Delta R_{Rug}) + (1)^2 \cdot u^2(\Delta IC_{Rug}) + (1)^2 \cdot u^2(\Delta A_R) + (1)^2 \cdot u^2(\Delta D) \quad (3)$$

$$u_c^2(CV) = (1)^2 \cdot u^2(\bar{x}(L_{CV})) + \left(\frac{1}{\Delta R_t}\right)^2 \cdot u^2(\Delta R_p) + \left(-\left(\frac{\Delta R_p}{\Delta R_t^2}\right)\right)^2 \cdot u^2(\Delta R_t) \quad (4)$$

O brunimento flexível dos blocos foi efetuado segundo o planejamento fatorial completo $2 \times 2 \times 3$, totalizando 12 experimentos. Para cada experimento foram feitas três réplicas. As variáveis independentes foram: rotação, velocidade de avanço e número de golpes da ferramenta, conforme apresentado na Tab. (1).

Tabela 1. Matriz de planejamento para o experimento fatorial completo $2 \times 2 \times 3$.

Experimento	Fator 1 Rotação (rpm)	Fator 2 Velocidade de avanço (mm/min)	Fator 3 Número de golpes
1	-1 (400)	-1 (1400)	-1 (1)
2	+1 (700)	-1 (1400)	-1 (1)
3	-1 (400)	+1 (2800)	-1 (1)
4	+1 (700)	+1 (2800)	-1 (1)
5	-1 (400)	-1 (1400)	0 (2)
6	+1 (700)	-1 (1400)	0 (2)
7	-1 (400)	+1 (2800)	0 (2)
8	+1 (700)	+1 (2800)	0 (2)
9	-1 (400)	-1 (1400)	+1 (3)
10	+1 (700)	-1 (1400)	+1 (3)
11	-1 (400)	+1 (2800)	+1 (3)
12	+1 (700)	+1 (2800)	+1 (3)

3. RESULTADOS

A Figura (6) mostra os valores médios do coeficiente de vazio CV dos cilindros usinados pelo brunimento convencional e flexível nas 12 condições de corte investigadas, com barra de erros associada à incerteza expandida (95%).

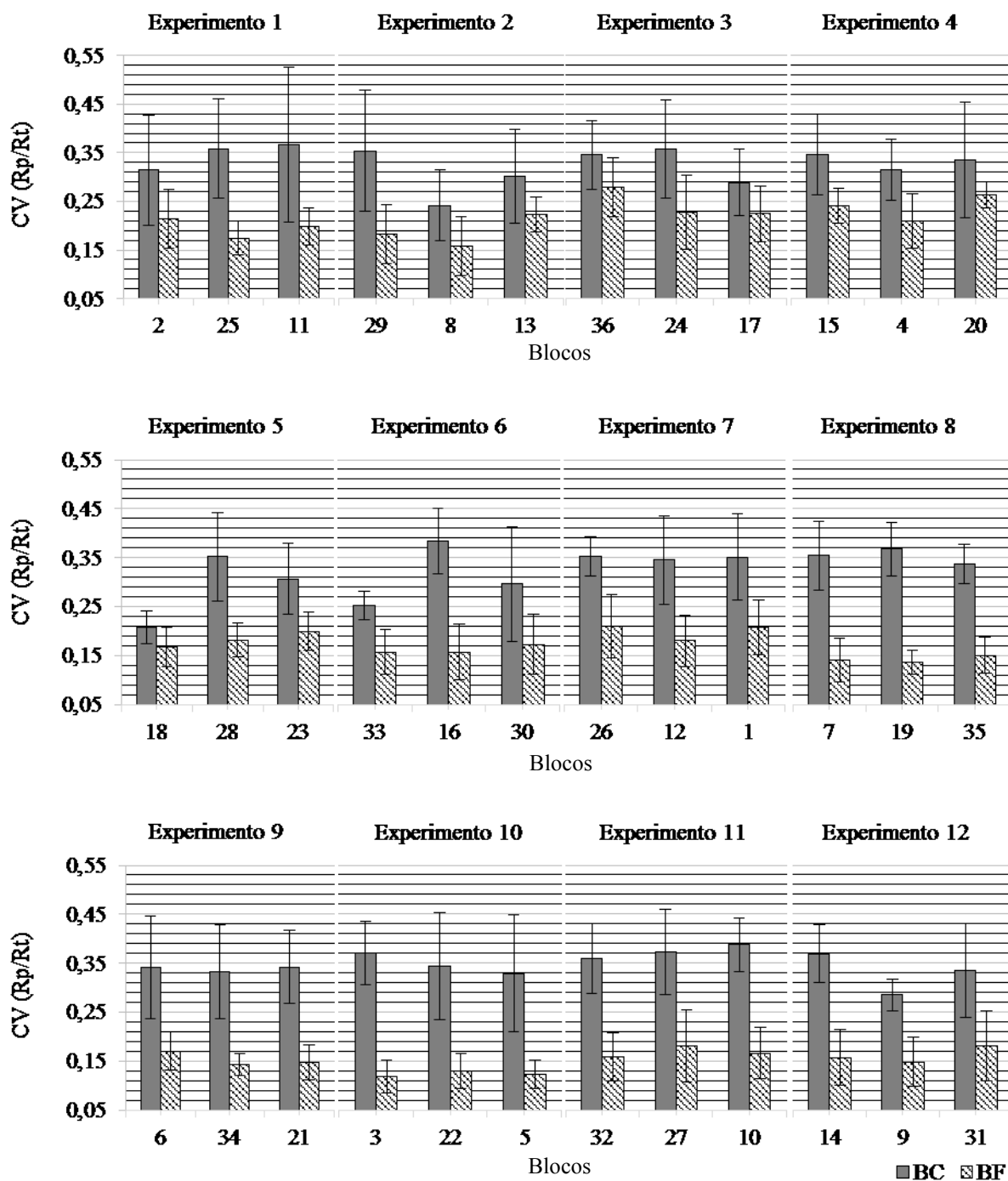


Figura 6. Valores médios do coeficiente de vazio CV para os cilindros usinados pelo brunimento convencional e flexível nas 12 condições de corte investigadas, com barra de erros associada à incerteza expandida (95%).

Os valores médios do CV são menores após o brunimento flexível para todos os cilindros, Fig. (6), sendo que para o brunimento convencional estão no intervalo de 0,21 até 0,39, enquanto que para o brunimento flexível se encontram entre 0,12 e 0,28. Os experimentos 3 e 10 foram os que proporcionaram a menor e a maior diferença percentual no CV entre os processos de brunimento convencional e flexível, sendo em média de 26,2% e 64,5%, respectivamente. Nota-se

que a repetibilidade dos valores de CV é dependente das condições de usinagem e apresenta menor dispersão para os cilindros usinados com maior número de golpes da ferramenta, como nos experimentos 9, 10, 11 e 12.

Os valores de incerteza expandida associados ao coeficiente de vazio CV , apresentados na Fig. (6), são menores para os cilindros usinados após o brunimento flexível, com exceção dos blocos 18 (experimento 5), 33 (experimento 6), 26 (experimento 7) e 9 (experimento 12), seguindo a tendência do desvio padrão experimental. Os valores da incerteza estão entre 0,03 e 0,16 após o brunimento convencional e entre 0,03 e 0,08 após o brunimento flexível. As barras de erros encontram-se parcialmente superpostas para 41,7% dos cilindros.

Na Tabela (2) são apresentados os dados relativos ao cálculo da incerteza de medição (95%) do coeficiente de vazio CV para o cilindro do bloco 16 (experimento 6) usinado pelo brunimento flexível. A variável que mais contribuiu para a incerteza final foi a incerteza associada à medição do parâmetro R_t e representa 97,6% da incerteza padrão combinada, seguida da incerteza associada à medição do parâmetro R_p com 1,5%. Para os demais blocos, após ambos os processos de brunimento, os resultados foram similares.

Tabela 2. Resultados da avaliação da incerteza do coeficiente de vazio CV para o cilindro 16 usinado pelo brunimento flexível. Em que: (TA) tipo de avaliação da incerteza; (DP) tipo de distribuição de probabilidades; (GL) número de graus de liberdade e (CS) coeficiente de sensibilidade.

Componentes de incerteza						
Grandeza	Estimativa	TA	DP	GL	CS	Incerteza padrão
$\bar{x}(L_{Rug})$	0,16	A	<i>t-student</i>	4	1	0,01746
ΔR_p	0,06	A	<i>t-student</i>	6	0,53706	0,02196
ΔR_t	0,50	A	<i>t-student</i>	4	0,08134	0,17852
Incerteza padrão combinada (u_c)						0,02559
Grau de liberdade efetivo (v_{eff})						11
Fator de abrangência (k)						2,20
Incerteza expandida (U)						0,05631

De acordo com a Tab. (2), a incerteza expandida para o coeficiente de vazio CV do cilindro 16 usinado pelo brunimento flexível é declarada como sendo 0,06, baseada em uma incerteza padrão combinada multiplicada pelo fator de abrangência k igual a 2,20, e para uma distribuição *t-student* e probabilidade de abrangência de 95%.

Na Figura (7) são apresentados os valores médios do CV para os 12 experimentos realizados nos cilindros brunidos com o brunidor flexível. Verifica-se que os cilindros do experimento 10 mostraram os menores valores do CV e os cilindros do experimento 3 os maiores valores. Os parâmetros de usinagem utilizados no brunimento flexível dos cilindros do experimento 10 foram: rotação de 700 rpm, velocidade de avanço de 1400 mm/min e 3 golpes da ferramenta. Já os cilindros do experimento 3 foram usinados com uma rotação de 700 rpm, velocidade de avanço de 2800 mm/min e 1 golpe da ferramenta.

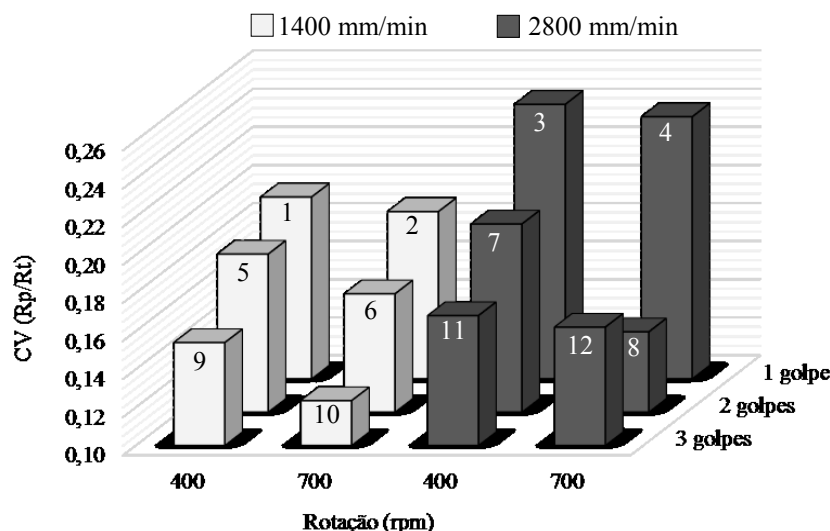


Figura 7. Valores médios do coeficiente de vazio CV para os 12 experimentos realizados nos cilindros brunidos com o brunidor flexível.

O quadro da ANOVA para a variável resposta CV é apresentado na Tab. (3). Tem-se que: NG é número de golpes da ferramenta, VA é a velocidade de avanço, ROT é a rotação, NG x VA é a interação entre o número de golpes e a velocidade de avanço, NG x ROT é a interação entre o número de golpes e a rotação, VA x ROT é a interação entre a velocidade de avanço e a rotação, p é a probabilidade de significância e F é a distribuição F de Fisher-Snedecor ou teste F .

Tabela 3. ANOVA do coeficiente de vazio CV .

	Soma quadrática	Grau de liberdade	Média quadrática	F	p
NG	0,024752	1	0,024752	46,57475	0,000000
VA	0,005399	1	0,005399	10,15909	0,003516
ROT	0,004108	1	0,004108	7,73041	0,009598
NG x VA	0,000781	1	0,000781	1,47047	0,235404
NG x ROT	0,000187	1	0,000187	0,35239	0,557527
VA x ROT	0,000026	1	0,000026	0,04936	0,825797
Erro	0,014880	28	0,000531		

De acordo com a Tab. (3), os fatores de controle número de golpes da ferramenta (NG), velocidade de avanço (VA) e rotação (ROT) produziram efeitos significativos nos valores do CV . Sendo o número de golpes da ferramenta o parâmetro de usinagem que produziu o maior efeito, seguido da velocidade de avanço e da rotação da ferramenta. O aumento do número de golpes e da rotação da ferramenta, bem como a diminuição da velocidade de avanço na usinagem dos cilindros produziram maiores efeitos no coeficiente de vazio, como foi apresentado para o experimento 10 na Fig. (7).

O coeficiente de vazio CV é pouco conhecido e pouco utilizado, mas é importante para a análise do desgaste da superfície brunida. O coeficiente é reduzido de forma considerável quando se aplica o processo de brunimento flexível, indicando melhorias nas propriedades de amaciamento da superfície. Isto pode ser observado na Tab. (4) que mostra o quadro da ANOVA para a variável resposta CV antes e após o brunimento flexível para o experimento 10 (rotação de 700 rpm, velocidade de avanço de 1400 mm/min e 3 golpes da ferramenta). A ANOVA indicou que os valores médios do CV antes e após o brunimento flexível são estatisticamente diferentes.

Tabela 4. ANOVA para a variável resposta CV antes e após o brunimento flexível.

	Soma quadrática	Grau de liberdade	Média quadrática	F	p
Interceptar	1,665877	1	1,665877	1059,660	0,000000
Processo	0,377185	1	0,377185	239,926	0,000000
Erro	0,044018	28	0,001572		

O acabamento da superfície do cilindro é o principal fator que afeta as propriedades no período inicial de sua vida e, com a redução do coeficiente de vazio e a criação de superfícies cada vez mais lisas proporciona aumento da resistência ao desgaste. Cabe ressaltar que o maior desafio encontrado na caracterização de superfícies brunidas é a identificação de parâmetros de rugosidade capazes de distinguir o acabamento superficial em diferentes fases do processo (Anderberg et al., 2009). A pesar dos esforços dedicados nas últimas décadas não há consenso sobre quais parâmetros devem ser usados para caracterizar as superfícies brunidas. Para estes autores estudos devem ser conduzidos visando à identificação do parâmetro ótimo capaz de descrever a rugosidade das superfícies brunidas do tipo *plateau*.

4. CONCLUSÕES

Os parâmetros de usinagem (rotação, velocidade de avanço e número de golpes da ferramenta) no brunimento flexível dos cilindros dos blocos dos compressores proporcionaram efeitos estatisticamente significativos nos valores médios do parâmetro de rugosidade CV .

O brunimento flexível realizado é recomendado após o brunimento convencional em cilindros de blocos de compressores herméticos, pois esta operação proporciona a redução do CV , que é um indicativo da obtenção de superfícies *plateau* proporcionando um aumento da resistência ao desgaste e, consequentemente, maior eficiência do compressor.

A partir da combinação dos parâmetros R_p e R_t foi possível estimar o coeficiente de vazio CV e este permitiu caracterizar de forma adequada as superfícies brunidas, uma vez que a ANOVA indicou que os valores médios do CV antes e após o brunimento flexível são estatisticamente diferentes.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Uberlândia, às instituições CNPq, CAPES e FAPEMIG pelo suporte financeiro e à EMBRACO S/A (*Whirlpool* - Unidade Compressores) pelo fornecimento do material, mas principalmente pela oportunidade de desenvolver esta pesquisa.

6. REFERÊNCIAS

- Anderberg, C., Pawlus, P., Rosén, B.G., Thomas, T.R., 2009, “Alternative Descriptions of Roughness for Cylinder Liner Production”, *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 209, pp. 1936-1942.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR ISO 4288, 2008, “Especificações Geométricas do Produto (GPS) - Rugosidade: Método do Perfil - Regras e Procedimentos para Avaliação de Rugosidade”, 10 p.
- BIPM, IEC, IFCC, ILAC, ISO, IUPAC, IUPAP and OIML, JCGM 100, 2008, “Evaluation of Measurement Data - Supplement 1 to the Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement - Propagation of Distributions Using a Monte Carlo Method”, 90 p.
- Corral, I.B., Calvet, J.V., 2011, “Roughness Variability in the Honing Process of Steel Cylinders with CBN Metal Bonded Tools”, *Precision Engineering*, Vol. 35, pp. 289-293.
- Fernandes, K.A., 2014, “Avaliação da Qualidade Dimensional e Geométrica de Cilindros de Blocos de Compressores Herméticos Usinados pelo Processo de Brunimento Flexível”, *Dissertação de Mestrado*, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 139 p.
- International Organization for Standardization. ISO 13565-2, 1996, “Geometrical Product Specifications (GPS) - Surface Texture: Profile Method - Part 2: Height Characterization Using the Linear Material Ratio Curve”, 6 p.
- Miller, M., 1993, “Flexible Honing: A Study of Cylinder Wall Micro-structure”, *Technical publication of SME - Society of Manufacturing Engineers*, 9 p.
- Pawlus, P., 1994, “A Study of the Functional Properties of Honed Cylinders Surface During Running-in. Wear”, Vol. 176, pp. 247-254.
- Pawlus, P., 1997, “Change of Cylinder Surface Topography in the Initial Stage of Engine Life. Wear”, Vol. 209, pp. 69-83.
- Pawlus, P., Cieslak, T., Mathia, T., 2009, “The Study of Cylinder Liner Plateau Honing Process”, *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 209, pp. 6078-6086.

7. DIREITOS AUTORAIS

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

EVALUATION OF THE PARAMETER OF RUGOSITY CV OF CYLINDERS OF BLOCKS OF HERMETIC COMPRESSORS MACHINED BY FLEXIBLE HONING PROCESS

Leandro Carvalho Pereira¹, cp.leandro@hotmail.com
Rosenda Valdés Arencibia¹, rosenda.arencibia@ufu.br
Luciano José Arantes¹, ljarantes@femec.ufu.br
Márcio Bacci da Silva¹, mbacci@ufu.br
Eder Silva Costa¹, eder@mecanica.ufu.br
Cristiano Rafael Schramm², cristiano.r.schramm@embraco.com

¹Federal University of Uberlândia, Avenue João Naves de Ávila, 2121, Neighborhood Santa Mônica, Campus Santa Mônica, Uberlândia, Minas Gerais, Brazil.

²Whirlpool S.A - Embraco, Street Rui Barbosa, 1020, Zona Industrial Norte, Joinville, Santa Catarina, Brazil.

Abstract: The purpose of this work is to evaluate, using a complete factorial design, the effect of machining conditions (speed, feed rate and tool strokes numbers) used during the flexible honing process in the empty coefficient CV of the hermetic compressors blocks cylinder. The conventional honing was performed using a multi-purpose vertical honing machine from the manufacturer Gehring using a set of three honing tools, one roughing (120 mesh), one half-finishing (270 mesh) and one finishing machine (600 mesh). The flexible honing was performed using a CNC machining center and a flexible honing tool which consists of a metal rod and nylon bristles with abrasive lobes at the tips. The evaluation of the empty coefficient CV was conducted by an electromechanical rugosimeter. The measurement uncertainty was estimated by applying the proposed GUM method. The results indicated that the flexible honing process using 3 strokes of the tool, speed 700 rpm and feed rate of 1400 mm/min provided the lowest empty coefficient among the machining parameters used. The ANOVA indicated that the mean CV values before and after the flexible honing are statistically different and therefore this parameter adequately characterizes the honed surfaces. The reduction of the empty coefficient is an indication of smoother surfaces which can lead to an increase in wear resistance and, consequently, greater efficiency of the compressor.

Keywords: ANOVA, flexible honing tool, measurement uncertainty, experiment planning.