



## ALTERAÇÕES NA TOPOGRAFIA DA SUPERFÍCIE GERADA POR “PLATEAU HONING” NA VIDA ÚTIL DE MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA

**Guilherme Antônio Assis Machado**

Fiat Automóveis S.A., Engenharia de Produção do Motor Fire

[guimatheus@hotmail.com](mailto:guimatheus@hotmail.com) - Betim, MG, Brasil

**Wisley Falco Sales**

Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, PUC Minas, Depto. de Engenharia Mecânica

[wisley@pucminas.br](mailto:wisley@pucminas.br) - Belo Horizonte, MG, Brasil

***Resumo.** Este trabalho tem como objetivo determinar a influência da topografia “Plateau Honing” sobre a performance dos cilindros de um bloco motor. Sabe-se que a qualidade do brunimento do cilindro é um fator essencial para uma boa performance e durabilidade de um motor. Um mau acabamento da superfície pode resultar em num consumo excessivo de óleo, alto desgaste dos anéis, “blow-by”, riscos nos cilindros e marcas de queima nos anéis. O brunimento “Plateau Honing” é uma técnica de acabamento empregada para se criar estruturas que resultam em áreas de deslizamento para cilindros de longa duração combinando de forma ideal as propriedades antifricção das superfícies lisas com a capacidade de retenção de óleo das superfícies ásperas, levando a otimização das propriedades de deslizamento entre os elementos em contato, proporcionando exigências relativas ao comportamento funcional do motor: pouco tempo de amaciamento, baixo consumo de óleo, bom comportamento deslizante e pouco desgaste nas superfícies em contato. Partiu-se de um motor sem uso e levantou-se os parâmetros de superfície submetendo-o a ciclos de 1, 12 e 50 horas de funcionamento num banco de provas. Após cada um dos ciclos foram confrontados os parâmetros da superfície remanescente e rendimento alcançado para avaliação do desgaste ocorrido.*

***Palavras-chave:** Brunimento, Plateau honing, Topografia da superfície.*

### 1. INTRODUÇÃO

A indústria automobilística tem ao longo dos anos desenvolvido técnicas de fabricação que proporcionem aos seus produtos uma relação eficiente entre qualidade e funcionalidade com menores custos. Em um passado não muito distante os manuais de proprietário dos veículos eram cheios de recomendações sobre amaciamento de motor. Hoje em dia estes manuais já não contam com tantos procedimentos relativos ao amaciamento de motores. Esta característica se tornou possível devido ao desenvolvimento de um processo de fabricação: o brunimento a “Plateau Honing” (Flores, 1982 e 1985 e Tomanik 1992).

Sabe-se que a qualidade do brunimento do cilindro é um fator primordial para uma boa performance e durabilidade de um motor a combustão. Um brunimento mau executado pode ocasionar em elevado consumo de óleo, desgaste nos anéis, “blow-by”, riscos no cilindro, marcas de queima nos anéis e um elevado tempo de amaciamento.

Durante o processo de amaciamento do motor a superfície dos cilindros que originalmente era constituída de vales e picos torna-se lisa devido ao desaparecimento em parte dos picos, formando nestes pontos platôs nivelados com grande área de deslizamento. Este material removido provoca um grande desgaste abrasivo em regiões indesejáveis como pistões, anéis e cilindros. Tornou-se necessário então o desenvolvimento de um processo de fabricação que abreviasse o tempo de amaciamento do motor. Este processo é o sistema de brunimento “Plateau Honing”.

O brunimento a “Plateau Honing” é uma técnica de acabamento de precisão empregada para se criar uma micro-geometria na estruturas de superfícies que resultam em áreas de deslizamento para cilindros de longa duração. O brunimento “Plateau Honing” combina de forma ideal as boas propriedades antifricção das superfícies lisas com a capacidade de retenção de óleo das superfícies ásperas. A meta deste processo é a otimização das propriedades de deslizamento entre os parceiros de atrito, os anéis de segmento do pistão e as paredes de deslizamento dos cilindros.

Este trabalho tem por objetivo verificar a influência dos parâmetros de topografia superficial da usinagem “Plateau Honing” sobre a performance dos cilindros de um bloco motor. Foi utilizado um motor Fire 1242 cm<sup>3</sup>, 16 V da Fiat Automóveis para ensaios de vida e performance do motor. O motor foi mensurado quando novo e após ciclo de 1, 12 e 50 horas foi feito o comparativo de desgaste.

## **2. PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS**

### **2.1. Materiais e equipamentos utilizados.**

Foi utilizado um bloco motor Fire da Fiat Automóveis usinado por brunimento a “Plateau Honing”. Este bloco é construído em ferro fundido GH 190 com uma dureza superficial nominal de 190 Kgf/mm<sup>2</sup>.

A operação de brunimento foi realizada na brunidora Nagel utilizada na linha “transfer” de fabricação do motor FIRE.

Esta brunidora é composta de uma estação de desbaste onde os cilindros são submetidos a uma usinagem com ferramentas diamantadas especificação D151X4450 do fornecedor Nagel. Esta etapa do processo visa preparar os cilindros corrigindo os erros de forma e reduzindo o R<sub>a</sub> oriundo das operações anteriores. A retirada de material é da ordem de 0.060mm.

Após a estação de desbaste o bloco motor é submetido ao acabamento com ferramentas diamantadas especificação D107X4450 do fornecedor Nagel. Esta etapa determina a forma final da peça. Após a conclusão desta é efetuada a etapa de “Plateau Honing” onde são cortados os picos com o rebolo abrasivo SCG600KE156472S do fornecedor Nagel.

A rugosidade foi medida por meio de um rugosímetro Taylor Hobson modelo Form TalySurf Series.

A potência e o torque foram medidos por meio de dinamômetro por corrente de Foucault.

A pressão no cárter (“blow-by”), avaliada por meio da vazão de gases que fluem da parte superior do pistão para o cárter foi medida fabricada pela AVL.

## 2.2 Metodologia

- Foi usinado um bloco motor pelo sistema de brunimento a “Plateau Honing” e adotado os seguintes procedimentos:

- Controle da topografia superficial conforme norma Fiat e adotado como parâmetro de referência  $R_a$  entre 0,5 a 1,0  $\mu\text{m}$ .

- Neste projeto foram medidos os seguintes parâmetros:  $R_{pk}$ ,  $R_{vk}$ ,  $R_k$ ,  $M_{r1}$ ,  $M_{r2}$ ,  $R_a$ ,  $R_t$ , etc. Neste trabalho mostrou-se apenas os resultados de  $R_a$  pois a combinação com os demais parâmetros deve ser melhor investigada.

- Tomando como referência 0 grau o lado anterior do bloco, foram medidos 8 pontos a 0, 90, 180, 270°. As medidas foram realizadas a 40 mm e a 75 mm abaixo do ponto morto superior.

- Os intervalos de parada para medição da rugosidade foram estipulados conforme ciclo de rodagem.

- Os ciclos foram de 1, 12 e 50 horas.

- Após os ciclos foram medidos a potência, o torque e a pressão no cárter (“blow-by”).

## 3. RESULTADOS

Os resultados obtidos, relativos ao desgaste do motor após os ciclos de rodagem, estão indicados conforme tabelas e figuras listadas na seqüência.

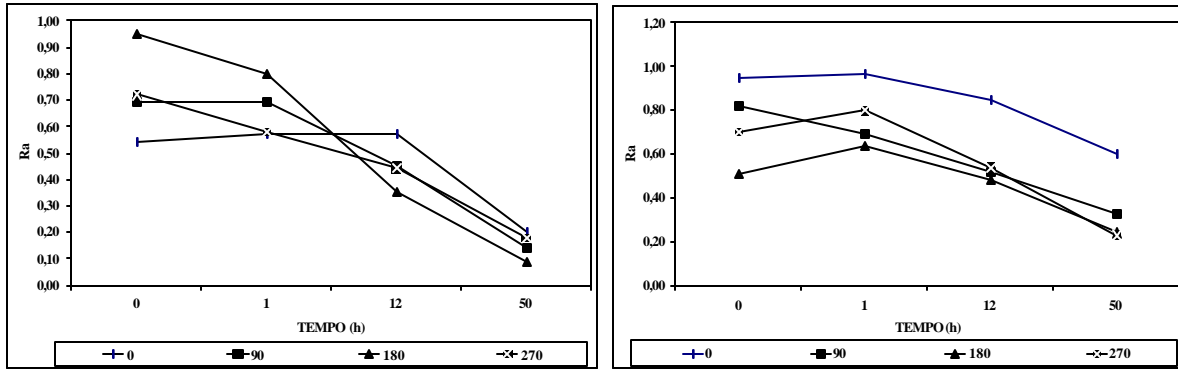
A Tabela 1 mostra os resultados do desvio médio aritmético de rugosidade,  $R_a$ , para o primeiro e segundo cilindros, medidos a 40 e a 75 mm do ponto morto superior (PMS). Em cada um deste plano, foram realizadas medidas em distâncias angulares incrementadas de 90°.

Tabela 1 – Resultados de rugosidade para os cilindros n<sup>os</sup>. 1 e 2.

CILINDRO 1					CILINDRO 2				
ALTURA DE MEDIÇÃO 40 mm					ALTURA DE MEDIÇÃO 40 mm				
POSIÇÃO GRAUS	CICLO DE RODAGEM (h)				POSIÇÃO GRAUS	CICLO DE RODAGEM (h)			
	0	1	12	50		0	1	12	50
0	0,54	0,57	0,57	0,20	0	0,78	0,59	0,53	0,23
90	0,69	0,69	0,45	0,14	90	0,62	0,53	0,51	0,26
180	0,95	0,80	0,35	0,09	180	0,80	0,67	0,43	0,14
270	0,72	0,58	0,44	0,18	270	0,68	0,55	0,28	0,16
ALTURA DE MEDIÇÃO 75 mm					ALTURA DE MEDIÇÃO 75 mm				
POSIÇÃO GRAUS	CICLO DE RODAGEM (h)				POSIÇÃO GRAUS	CICLO DE RODAGEM (h)			
	0	1	12	50		0	1	12	50
0	0,95	0,97	0,85	0,60	0	0,76	0,60	0,55	0,32
90	0,82	0,69	0,52	0,33	90	0,58	0,45	0,45	0,25
180	0,51	0,64	0,48	0,24	180	0,76	0,66	0,43	0,20
270	0,70	0,80	0,54	0,23	270	0,54	0,43	0,30	0,17

A Figura 1 mostra os resultados do desvio médio aritmético de rugosidade,  $R_a$ , encontrados no cilindro 1 a 40 e a 75 mm medidos a partir do PMS.

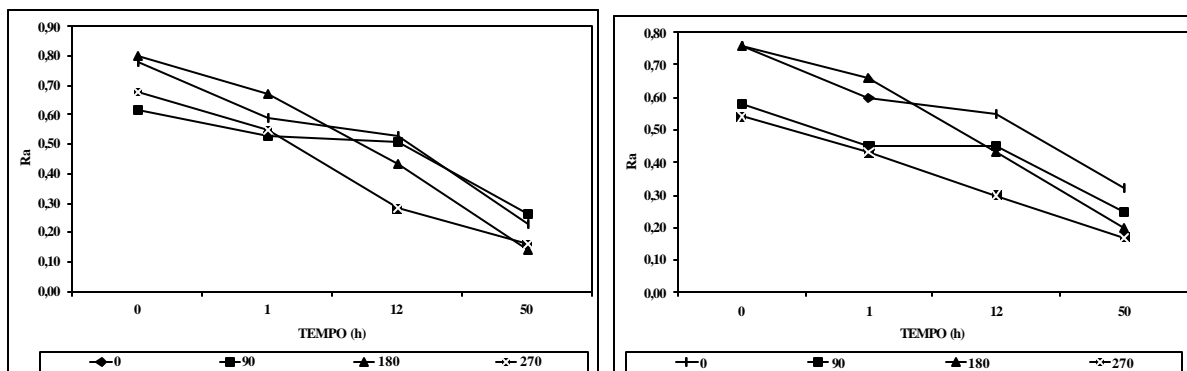
A Figura 2 mostra os resultados do desvio médio de rugosidade,  $R_a$ , encontrados no cilindro 2 a 40 e a 75 mm medidos a partir do PMS.



a) Medidas a 40 mm do PMS.

b) Medidas a 75 mm do PMS

Figura 1 – Cilindro 1:  $R_a$  medido em 4 diferentes posições angulares (0, 90, 180 e 270°).



a) Medidas a 40 mm do PMS.

b) Medidas a 75 mm do PMS

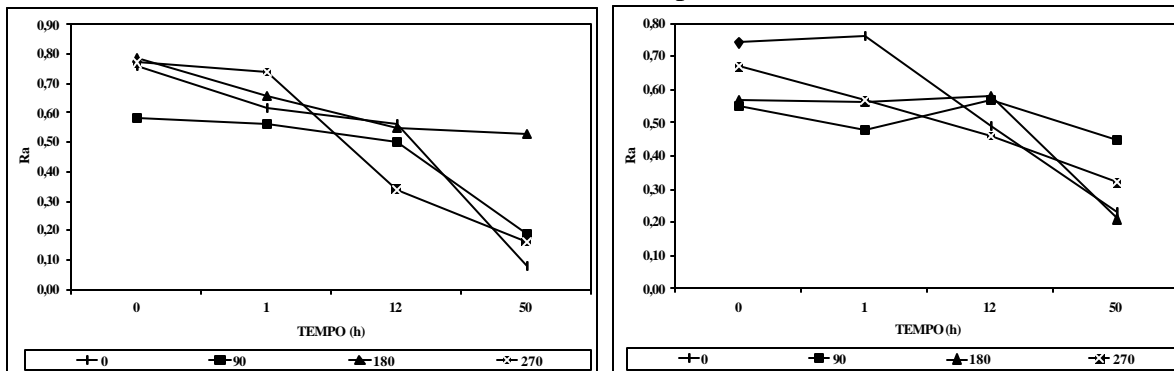
Figura 2 – Cilindro 2:  $R_a$  medido em 4 diferentes posições angulares (0, 90, 180 e 270°).

A Tabela 2 mostra os resultados do desvio médio aritmético de rugosidade,  $R_a$ , para o terceiro e quarto cilindros, medidos a 40 e a 75 mm do ponto morto superior (PMS). Em cada um deste plano, foram realizadas medidas em distâncias angulares incrementadas de 90°.

Tabela 2- Resultados de rugosidade para os cilindros n<sup>os</sup>. 3 e 4.

CILINDRO 3					CILINDRO 4				
ALTURA DE MEDIÇÃO 40 mm					ALTURA DE MEDIÇÃO 40 mm				
POSIÇÃO GRAUS	CICLO DE RODAGEM (h)				POSIÇÃO GRAUS	CICLO DE RODAGEM (h)			
	0	1	12	50		0	1	12	50
0	0,76	0,62	0,56	0,08	0	0,54	0,57	0,57	0,12
90	0,58	0,56	0,50	0,19	90	0,69	0,69	0,45	0,48
180	0,79	0,66	0,55	0,53	180	0,95	0,80	0,35	0,15
270	0,77	0,74	0,34	0,16	270	0,72	0,58	0,44	0,31
ALTURA DE MEDIÇÃO 75 mm					ALTURA DE MEDIÇÃO 75 mm				
POSIÇÃO GRAUS	CICLO DE RODAGEM (h)				POSIÇÃO GRAUS	CICLO DE RODAGEM (h)			
	0	1	12	50		0	1	12	50
0	0,74	0,76	0,49	0,23	0	0,80	0,75	0,60	0,18
90	0,55	0,48	0,57	0,45	90	0,60	0,67	0,53	0,21
180	0,57	0,56	0,58	0,21	180	0,56	0,65	0,44	0,3
270	0,67	0,57	0,46	0,32	270	0,59	0,56	0,40	0,17

A Figura 3 mostra os resultados do desvio médio aritmético de rugosidade,  $R_a$ , encontrados no cilindro 3 a 40 e a 75 mm, medidos a partir do PMS.

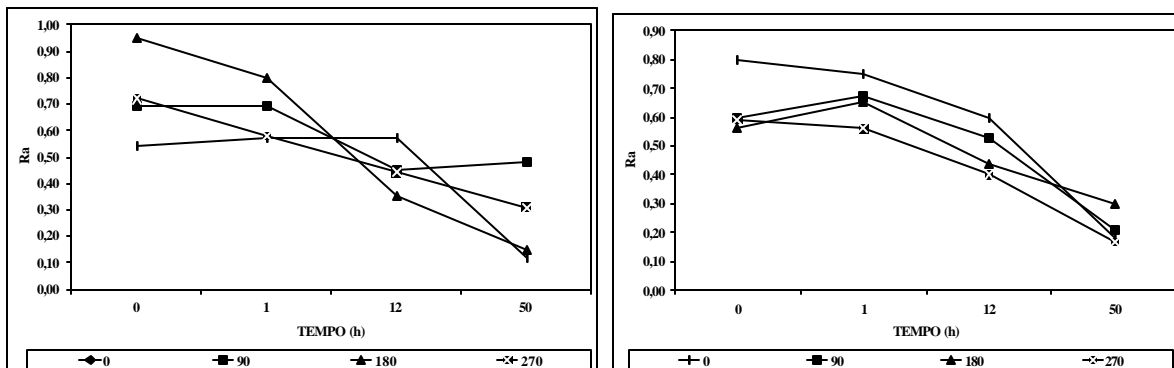


a) Medidas a 40 mm do PMS.

b) Medidas a 75 mm do PMS

Figura 3 – Cilindro 3:  $R_a$  medido em 4 diferentes posições angulares (0, 90, 180 e 270°).

A Figura 4 mostra os resultados do desvio médio aritmético de rugosidade,  $R_a$ , encontrados no cilindro 4 a 40 e a 75 mm, medidos a partir do PMS.



a) Medidas a 40 mm do PMS.

b) Medidas a 75 mm do PMS

Figura 4 – Cilindro 4:  $R_a$  medido em 4 diferentes posições angulares (0, 90, 180 e 270°).

A Tabela 3 mostra os resultados encontrados de potência e de torque após cada ciclo de rodagem.

Tabela 3 – Performance do motor medida no final de cada ciclo de rodagem.

CURVA DE POTÊNCIA	CICLO DE RODAGEM (h)		
	1	12	50
Potência (KW)	53,64	56,44	57,87
Torque (Kgm)	10,85	11,89	11,89
Blow-by (l / h)	761,00	600,00	720,00

A Figura 5 mostra graficamente os resultados de potência do motor após cada ciclo de rodagem no banco de ensaios.

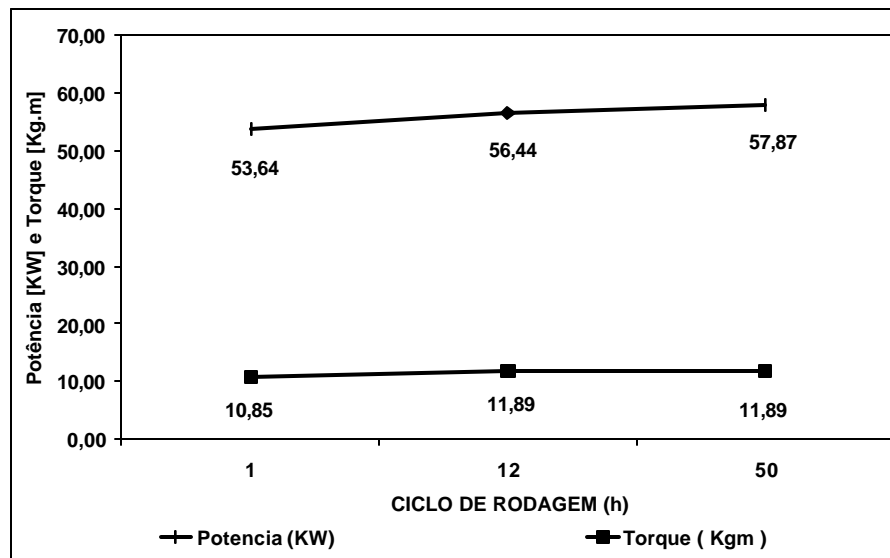


Figura 5 - Performance do motor após cada ciclo de rodagem.

A Figura 6 mostra os resultados da pressão de gases no cárter, medido durante o ciclo de rodagem no banco de ensaios.

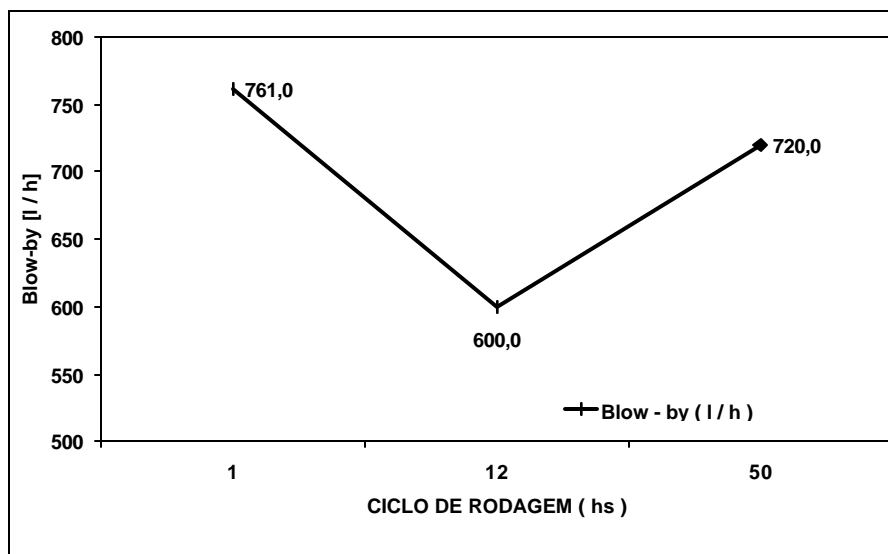


Figura 6 – Compressão no cárter (“blow-by”) após cada ciclo realizado.

#### 4. ANÁLISES DOS RESULTADOS

Analizando os resultados, mostrados nas Figuras de 1 a 4, verifica-se que o motor apresenta uma redução do desvio médio aritmético de rugosidade,  $R_a$ , em sua superfície, a medida que o mesmo é submetido aos ciclos de rodagem. Esta queda do  $R_a$  é mais acentuada em regiões próximas ao ponto morto superior dos cilindros devido a ocorrência de grandes ciclos térmicos, elevadas pressões e pelo movimento de desaceleração e de reversão dos pistões (Tomanik, 1992).

A análise da superfície na região de 75 mm abaixo do PMS, região situada a meio curso dos pistões, observa-se um desgaste menos acentuado não sendo registrado o aparecimento de superfícies espelhadas.

As regiões em que os valores de  $R_a$  foram próximos do valor mínimo previsto no projeto ( $0.5 \sim 0.6 \mu\text{m}$ ) quando novo, mostraram uma tendência de uma menor queda do mesmo ao longo do uso do motor já que este tipo de superfície apresenta uma grande área de deslizamento com poucos picos (Mummery, 1992 e Taylor Hobson, 1998).

Observa-se nas Figuras 1, 2 (b) e 3 que alguns valores de  $R_a$  aumentaram levemente da superfície virgem para a superfície com 1 hora de ensaio. Isto ocorre devido a deformação plástica de alguns picos que não são completamente arrancados. O pico deformado apresenta característica de preencher alguns vales provocando a redução de  $R_a$  em regiões localizadas. O motor apresentou valores crescentes de potência e torque após as primeiras horas de funcionamento, conforme Figura 5, devido ao amaciamento ocorrido no motor. O motor com as superfícies virgens apresenta elevados valores de  $R_a$  (Flores, 1982 e 1985), o que promove perda nas características de vedação elevando as fugas de gases para o cárter e consequentemente elevando o valor do “blow-by”. Os valores de “blow-by” obtidos (Figura 6) confirmam esta tendência devido a queda após doze horas de funcionamento.

Após cinquenta horas o valor de “blow-by” apresenta uma elevação devido ao aparecimento de áreas de espelhamento nos cilindros embora este aumento de “blow-by” não provoque queda de rendimento do motor e este se encontra com os atritos internos minimizados pelo amaciamento, promovendo o aumento da potência líquida. Ou seja, o efeito da redução de  $R_a$ , provocando o espelhamento das superfícies o que poderia reduzir a potência líquida é superado pelo efeito da redução do coeficiente de atrito devido ao arrancamento e/ou deformações plásticas dos picos. Como efeito resultante tem-se melhora no rendimento do motor.

## 5. CONCLUSÕES

- O motor apresentou uma redução do valor de  $R_a$  à medida que o mesmo era submetido aos ciclos de funcionamento.
- Na altura de 40 mm o cilindro apresentou uma queda mais acentuada no  $R_a$  devido ao fato que o topo do cilindro ser uma região exposta a elevadas temperaturas e pressões e o pistão sofrer inversão de velocidade em seu movimento alternativo propiciando uma região de elevado desgaste.
- Na região situada a 75 mm o desgaste do  $R_a$  se demonstrou mais uniforme.
- Em regiões onde o cilindro apresentava valores de  $R_a$  entre 0.5 e 0.6 $\mu$ m, observou se uma tendência de se manter este valor até o regime de 12 horas de funcionamento. Isto foi ocasionado por ser uma região muito lisa praticamente sem picos.
- Os valores de “blow-by” se mostraram mais elevado em 1 e 50 horas de funcionamento devido o motor não estar totalmente assentado após uma hora de rodagem (ocorrência de  $R_a$  em valores acima de 0.8  $\mu$ m), e já apresentar superfícies extremamente lisas após 50 horas provocando falhas na vedação dos cilindros.
- Os valores de potência foram cada vez maiores devido ao amaciamento do motor após ciclo de 12 horas e redução de atritos após ciclo de 50 horas.

### *Agradecimentos*

À FIAT Automóveis S.A., pela disponibilização e todo o suporte técnico-científico e liberação dos equipamentos e instrumentos necessários à realização deste trabalho.

### REFERÊNCIAS

- FLORES, G., 1982, “Qualitätsbegriffe des Honens”, Werkstatt und Betrieb, 115. Jahrgang 1982 s.751 – 756, Carl Hanser Verlag, Muenchen
- FLORES,G., 1985, “Plateauhonen Von Kolben-Lautbahen”, Teil 1 und 2, MTZ 1985.
- MUMMERY, L., 1992, “Surface Texture Analysis: The Handbook”, Hommelwerke, Printed by Schnurr Druck, West Germany.
- TAYLOR HOBSON, 1998, “Exploring Surface Texture”, Taylor Hobson Limited, United Kingdon, UK.
- TOMANIK, Eduardo, 1992, “Brunimento de Cilindros – Principais Caracteristicas”, SAE Technical Paper Series, 921453P, SAE Brasil 92.

### **ALTERATIONS ON THE SURFACE TOPOGRAPHY GENERATED BY "PLATEAU HONING" IN THE LIFE OF INTERNAL COMBUSTION MOTORS**

*Abstract.* The goal of this work is to determine the influence of the "Plateau Honing" topography on the performance of the cylinders of a motor block. It is known that the quality of the honing of the cylinder is an essential factor for a good performance and durability of a motor. A rough surface can result in an excessive consumption of oil, high rings wear, blow-by, scratches on the cylinders and marks of burns on the rings. The “Plateau Honing” is a finishing technique employed to create structures that result in sliding areas for cylinders of long duration combining in an ideal way the anti-friction properties of flat surfaces with the ability of oil capacity retention of the rough surfaces. This leads to the optimization of the sliding properties between the elements in contact, with requirements related to the functional behavior of the motor: little time for smoothing, low oil consumption, good sliding behavior and little wear on the surfaces in contact. Starting with a motor without use, the surface



*parameters were evaluated and then this was submitted to cycles of 1, 12 and 50 hours of operation on a test bench. After each cycle, the parameters of the remaining surface and reached revenue were confronted for evaluation of the wear which has taken place.*

**Keywords:** *Honing, Plateau honing, Surface topography*