

# EFEITO DA EVOLUÇÃO DA TOPOGRAFIA DE SUPERFÍCIE NO COMPORTAMENTO TRIBOLÓGICO DE MATERIAIS DE FRICÇÃO PARA EMBREAGENS<sup>1</sup>

*Graciliano Pereira Fernandes<sup>2</sup>*

*Walter Haertel Jr<sup>2</sup>*

*Paulo Zanotto<sup>2</sup>*

*Ivan Gregori<sup>2</sup>*

*José Daniel Biasoli de Mello<sup>3</sup>*

## **Resumo**

Diversos trabalhos têm sido realizados para avaliar a influência da topografia da superfície no comportamento tribológico (taxa de desgaste e coeficiente de atrito) dos materiais de fricção utilizados em sistemas de embreagem automotiva. Alguns autores têm observado uma forte influência da natureza topográfica no comportamento tribológico desses materiais, indicando que há uma grande potencialidade de otimização do sistema embreagem através do pré-condicionamento superficial dos materiais de fricção. Este trabalho teve como objetivo avaliar o comportamento tribológico (taxa de desgaste e coeficiente de atrito) dos materiais de fricção, através da produção de amostras com a topografia de superfície pré-condicionada por dois processos (retificação industrial e lixamento laboratorial), a fim de eliminar a fase de regime transiente inicial da taxa de desgaste, e proporcionar um coeficiente de atrito mais elevado e estável. Os resultados obtidos mostram um ganho em termos de taxa de desgaste e aumento do coeficiente de atrito.

**Palavras-chave:** Retificação; Materiais de fricção; Topografia de superfície; Regime transiente de desgaste.

## **EFFECT OF THE EVOLUTION OF THE SURFACE TOPOGRAPHY ON THE TRIBOLOGICAL BEHAVIOUR OF FRICTION MATERIAL USED IN CLUTCHES**

### **Abstract**

Several studies have been realized to evaluate the surface topography influence on the tribological behavior (wear rate and friction coefficient) of friction materials used in automotive clutch system. Some authors have observed a strong influence from topographic nature on the tribological behavior in these materials, pointing that there is a strong optimization potential of the clutches system through surface preconditioning of the friction materials. The aim of this workshop is to evaluate the tribological behavior (wear rate and friction coefficient) of friction materials by producing sample with the surface topographic preconditioned by two processes (industrial grinding and laboratorial sanding), to eliminate the wear running-in and improve friction coefficient and make it more stable. The results have shown an eliminating wear running-in and a better rising of friction coefficient.

**Key words:** Grinding; Friction material; Surface topographic; Wear running-in.

<sup>1</sup> *Contribuição técnica ao 64º Congresso Anual da ABM, 13 a 17 de julho de 2009, Belo Horizonte, MG, Brasil.*

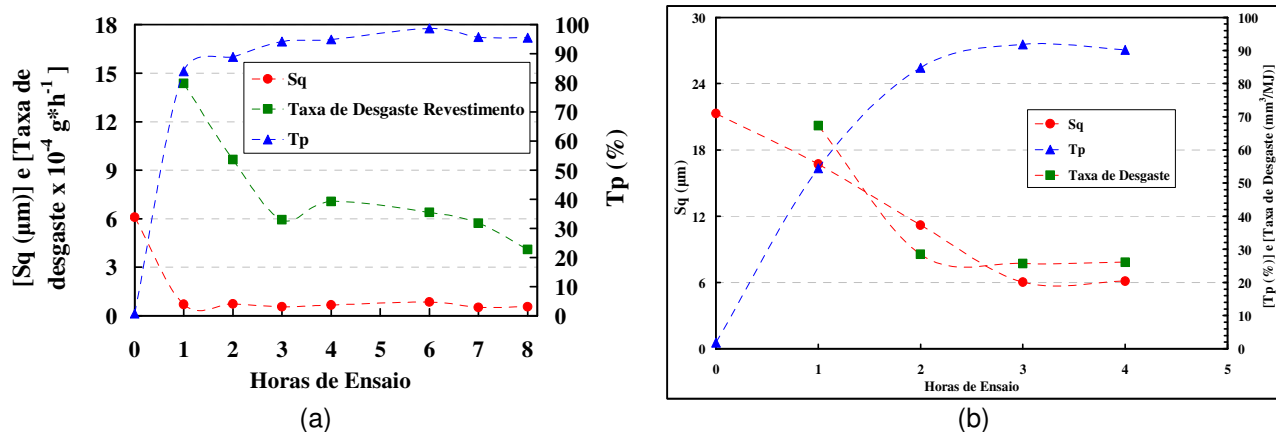
<sup>2</sup> *ZF do Brasil – Divisão Sachs, graciliano.fernandes@zf.com*

<sup>3</sup> *Universidade Federal de Uberlândia (UFU), ltm-demello@ufu.br*

# 1 INTRODUÇÃO

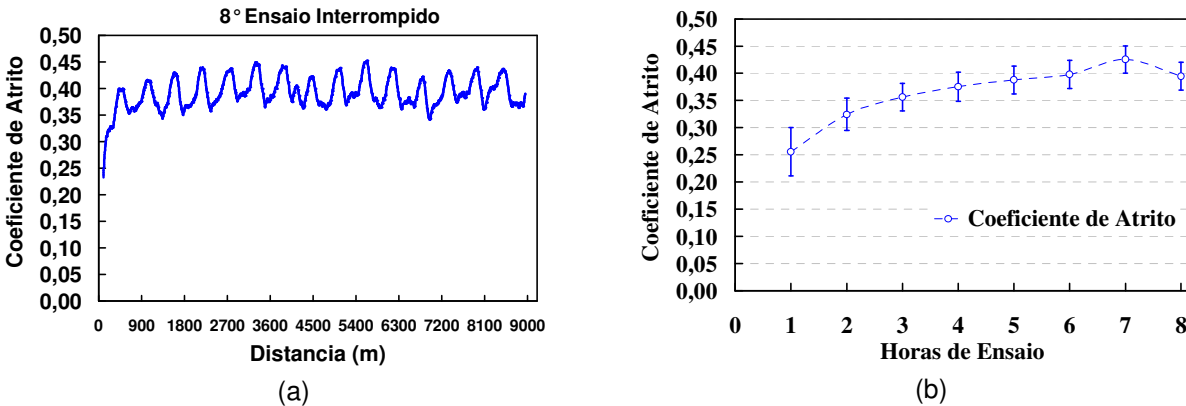
Durante o curto período de tempo de acoplamento da embreagem, contato por deslizamento ocorre entre o volante do motor, a placa de pressão e os discos de revestimento. Neste trabalho discos de revestimentos, ou seja, os materiais de fricção das embreagens serão referenciados como revestimentos. Os materiais constituintes têm que apresentar excelente desempenho para proporcionar uma vida útil desejável e um coeficiente de atrito que proporcione uma transmissão de torque regular e eficiente. Diversos trabalhos<sup>(1-9)</sup> tem sido realizados para avaliar a influencia da topografia no comportamento tribológico dos materiais. Esses trabalhos mostram que após certo tempo de uso, a superfície dos revestimentos sofre uma redução da rugosidade quadrática média (Sq). Acredita-se que isto se deve ao amaciamento que ocorre na superfície do material, ou seja, em função do desgaste os picos das irregularidades são eliminados, tornando a superfície mais plana e lisa.

Fernandes, em 2007,<sup>(10)</sup> realizou um trabalho para avaliar a influência da duração do ensaio no comportamento tribológico (coeficiente de atrito, taxa de desgaste e topografia de superfície) dos materiais utilizados em embreagem. Em seu trabalho foram realizadas duas séries de ensaios. A primeira série consistiu em fazer oito ensaios, sendo uma hora o tempo de duração de cada ensaio, aplicando uma força normal (Fn) de 10N. A segunda série consistiu em fazer cinco ensaios interrompidos, também com o tempo de uma hora cada ensaio, mas com força normal igual a 200N. Durante os ensaios utilizando um tribômetro pino-disco foi observada uma grande influência da topografia da superfície dos revestimentos no comportamento da taxa de desgaste e do coeficiente de atrito. Fernandes<sup>(10)</sup> constatou que com a evolução dos ensaios a rugosidade quadrática média diminui, havendo um aumento da capacidade de apoio (Tp) e uma redução da taxa de desgaste e que quando a rugosidade quadrática média e a capacidade de apoio tendem a permanecer constante, a taxa de desgaste também tende a permanecer constante. A Figura 1 apresenta uma correlação entre a evolução da topografia da superfície e a taxa de desgaste com a evolução dos ensaios realizados com força normal de 10N e 200N.



**Figura 1:** Correlação do comportamento da rugosidade quadrática média e da capacidade de apoio com a taxa de desgaste do revestimento. (a) – Fn 10N; (b) – Fn 200N.<sup>(10)</sup>

A Figura 2-a apresenta a evolução do coeficiente de atrito em função da distância de deslizamento. Observa-se que o coeficiente de atrito apresenta um crescimento rápido e acentuado após o início do ensaio, e que após uma determinada distância de deslizamento, o coeficiente de atrito tende a atingir um regime permanente com oscilações periódicas. Após a estabilização do atrito, Fernandes<sup>(10)</sup> calculou o valor do atrito médio para os ensaios realizados com força normal de 10N (figura 2-b). Com isso observou-se que o coeficiente de atrito médio é crescente nos três primeiros ensaios, fase esta onde foi observada uma redução da rugosidade quadrática média e um aumento da capacidade de apoio.



**Figura 2:** Evolução do coeficiente de atrito em função das horas de ensaio. Fernandes, G. P.<sup>(10)</sup>

Os resultados obtidos por Fernandes<sup>(10)</sup> mostraram que o transiente inicial apresentado pelo comportamento tribológico (coeficiente de atrito e desgaste) está aparentemente associado ao condicionamento inicial da topografia de superfície, indicando grande potencialidade de otimização do sistema de embreagem, através do pré-condicionamento inicial da topografia de superfície dos discos de revestimento. Neste trabalho discos de revestimentos serão referenciados como revestimentos. Durante o ciclo de manufatura os revestimentos passam por um processo de retificação para retirar as rebarbas e dar acabamento final na superfície.

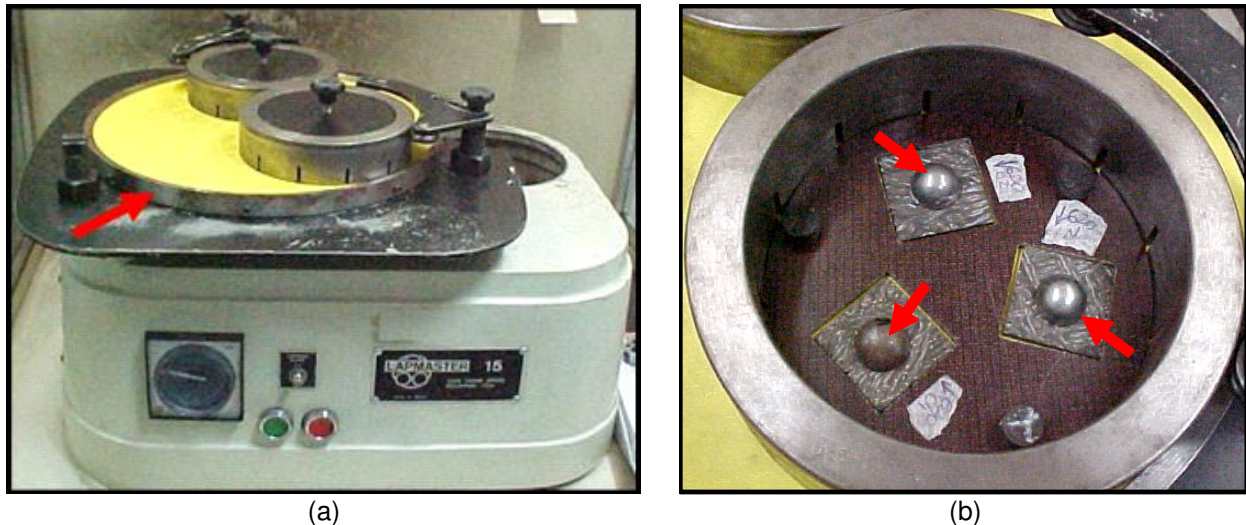
Este trabalho teve como objetivo avaliar o comportamento tribológico (taxa de desgaste e coeficiente de atrito) dos discos de revestimentos através da produção de amostras com a topografia de superfície pré-condicionada pelo processo de retificação, objetivando assim, eliminar a fase de regime transiente inicial da taxa de desgaste.

Eliminando esta fase de regime transiente inicial, busca-se obter discos de revestimentos que apresentem menor taxa de desgaste e que possam proporcionar uma maior estabilidade do coeficiente do atrito. Obtendo-se menor taxa de desgaste do revestimento, espera-se que, conseqüentemente, aumente sua vida útil. Com o atrito mais estabilizado, por sua vez, será aumentada a eficiência do sistema de embreagem.

## 2 MATERIAL E MÉTODO

Discos de revestimentos de tipo A e D foram retificados industrialmente em três diferentes condições. Neste trabalho as condições foram denominadas de C2, C4 e Normal (retificação de linha de produção) e que foi utilizada como referência. O processo foi realizado pela empresa ZF do Brasil – divisão Sachs. Discos de

revestimentos A e D retificados nas três condições industriais, passaram também no processo de pré-condicionamento topográfico em laboratório, denominado de lixamento LTM. Para tal foi utilizada uma lapidadora LAPMASTER Modelo 15” (Figura 3-a).



**Figura 3:** (a)- Lapidadora LAPMASTER Modelo 15” utilizada para a realização do pré-condicionamento laboratorial da superfície dos revestimentos: (b) e (c)– detalhes.

Este equipamento é uma lapidadora de precisão dotado de um prato de lapidação de 0,381 m, e três anéis posicionadores que comportam as amostras a serem lapidadas. Para a realização deste trabalho, algumas adaptações tiveram que ser feitas. Foi especialmente fabricado um anel (seta vermelha Figura 3-a) para fixar a lixa abrasiva ao prato de lapidação. Amostras de revestimento com dimensões 3,5 x 3,5 cm, são acomodadas nos anéis posicionadores. Dentro destes, é colocado um disco fabricado em celeron com três furos quadrados defasados de 120° e com dimensões de 3,7 x 3,7 cm (Figura 3-b) para guiar as amostras e garantir que as mesmas fiquem em posição equidistante em relação ao centro do disco e em relação uma as outras. Os anéis com as amostras são posicionados sobre a superfície do prato de lapidação. O peso morto atua sobre três meia-esferas (setas vermelhas Figura 3-b) que estão diretamente sobre a superfície de cada amostra dentro do anel posicionador. Dessa forma, a carga normal é uniformemente distribuída sobre as amostras durante o movimento. O movimento do prato de lapidação é dado através de um motor elétrico que gira a uma rotação fixa de 350 rpm. O movimento do prato de lapidação faz com que os anéis posicionadores girem em torno do próprio eixo e isto, simultaneamente, faz com que as amostras também girem em torno do próprio eixo. Para a realização do lixamento, lixas abrasivas com granulometria #180, #320 e #400 foram especialmente fabricadas pela empresa Saint-Gobain Abrasivos, com dimensões de 40 x 40 cm, para atender às especificações e adaptações feitas no equipamento. Pesos mortos de 1 Kg e 3,2 Kg foram utilizados neste processo. O tempo estabelecido para o processo de pré-condicionamento laboratorial foi o tempo em que a perda de massa encontra-se em regime permanente. Então foi calculada a espessura usinada, através das equações:

$$Eu = \frac{\text{Volume}_{\text{desgastado}}}{\text{Área}}; \quad \text{Volume}_{\text{desgastado}} = \frac{\text{PerdaMassa}}{\rho} \quad \rho = \text{Densidade do revestimento}$$

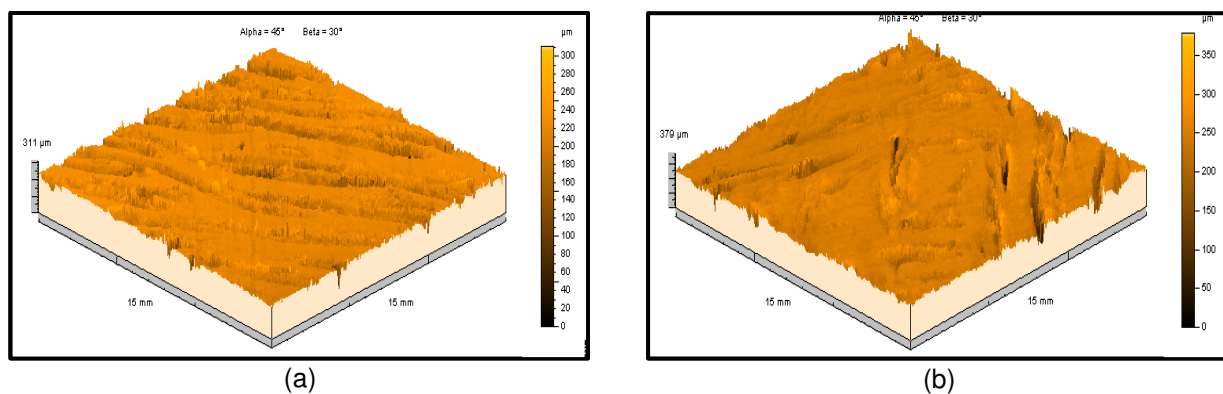
A caracterização topográfica foi realizada via interferometria a laser (IL) utilizando o equipamento Micro Focus Expert IV da UBM. As análises foram feitas no modo contínuo. As dimensões das áreas de varredura foram 15 x 15 mm. Foram utilizadas resoluções de 500 x 15 pontos por mm no eixo X e Y, respectivamente.

A superfície dos revestimentos foi caracterizada quanto à rugosidade quadrática média ( $S_q$ ), capacidade de apoio ( $T_p$ ) e foi determinada a distância média entre os picos mais altos e os vales mais profundos, que é obtida através do parâmetro topográfico  $St$ . Para tal foi utilizado o programa Mountains Map Universal 3.0. Ensaios tribológicos de deslizamento a seco foram realizados em um tribômetro universal da Plint & Partners, modelo TE 67 na configuração pino-sobre-disco. Os parâmetros de testes foram mantidos constantes. Utilizou-se uma força normal de 200N, rotação igual a 750 rpm e raio médio de 0,027m. Discos de revestimentos com 13,2 mm de diâmetro foram obtidos para a realização dos ensaios tribológicos.

Foram realizados cinco ensaios interrompidos com a duração de uma hora cada. Amostras representativas de revestimentos foram caracterizadas via microscopia eletrônica de varredura (MEV), Modelo Leo 940 A, fabricante Zeiss.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

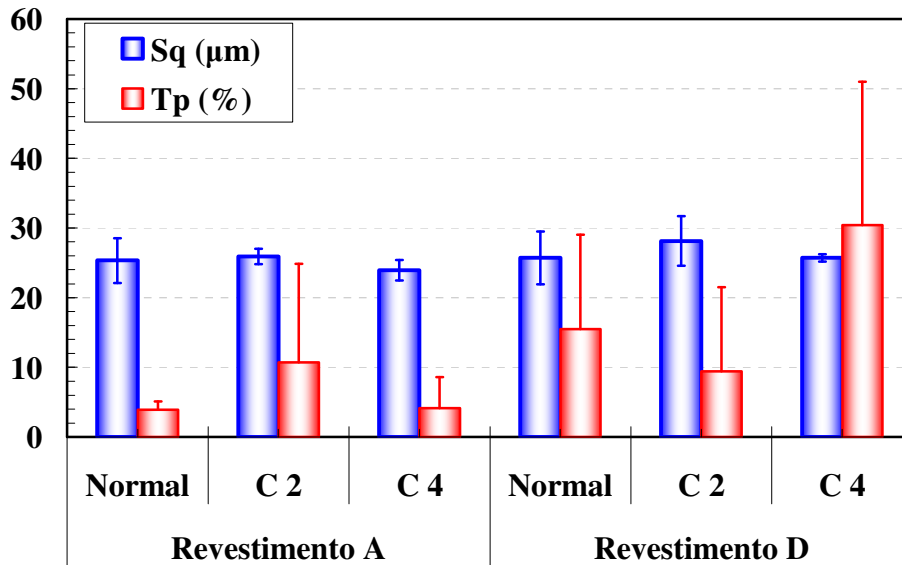
A Figura 4 apresenta superfícies típicas dos revestimentos A e D, retificados industrialmente na condição C4. Observa-se que amostras com diferentes aspectos topográficos são obtidas quando diferentes materiais são submetidos as mesmas condições de retificação. Através da topografia de superfície obtida por interferometria nota-se que o revestimento A apresenta uma superfície mais irregular, com maior presença de buracos. Observando a topografia do revestimento D é possível determinar que a superfície também apresenta buracos, mas em menor intensidade e observa-se também que a superfície esta mais lisa.



**Figura 4:** Para diferentes tipos de revestimento, geração de diferentes aspectos topográficos para a mesma condição de retificação C4. (a)- revestimento A; (b)- revestimento D.

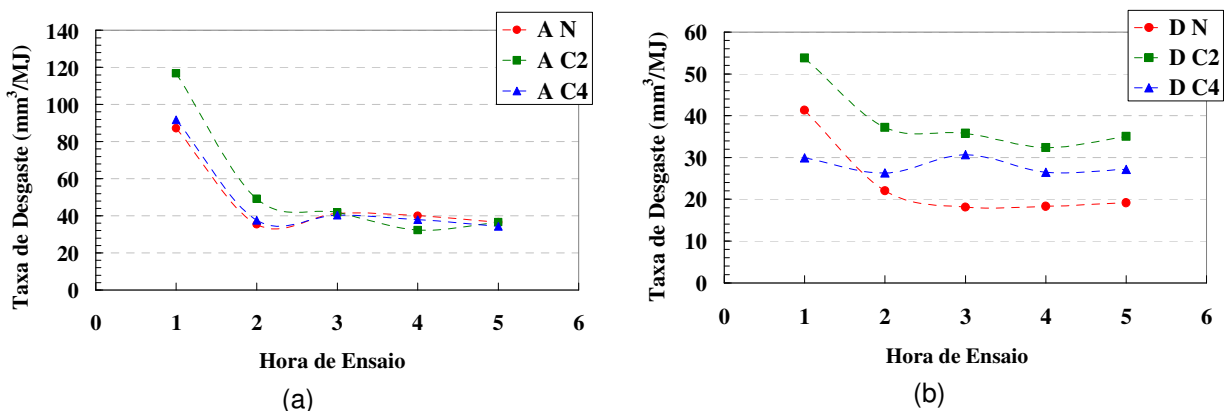
A Figura 5 apresenta a quantificação topográfica, da rugosidade quadrática média e da capacidade de apoio. Observa-se que para o mesmo revestimento quando submetido a diferente condição de retificação, apresentam os valores da rugosidade quadrática média e da capacidade de apoio, estatisticamente, iguais. A Figura 5 mostra que, para o revestimento A, a condição de retificação C2 foi a melhor, por apresentar a maior média nominal da capacidade de apoio e a condição C4 foi a pior. Por outro lado

para o revestimento D, a melhor condição foi a C4, por apresentar a maior média nominal da capacidade de apoio e a condição de retificação C2 foi a pior, pois apresenta maior valor de média nominal da rugosidade quadrática média e menor da capacidade de apoio. Estes resultados mostram que as condições de retificação são de caráter sistêmico, ou seja, para diferentes tipos de revestimentos submetidos às mesmas condições de retificação, a qualidade topográfica irá depender da natureza do material.



**Figura 5:** Correlação entre os parâmetros topográficos dos revestimentos A e D retificados industrialmente nas condições C2, C4 e Normal.

A Figura 6 apresenta a evolução da taxa de desgaste em função das horas dos ensaios interrompidos dos conjuntos A e D respectivamente, ensaiados no tribômetro, cujos revestimentos foram retificados industrialmente nas condições C2, C4 e Normal.



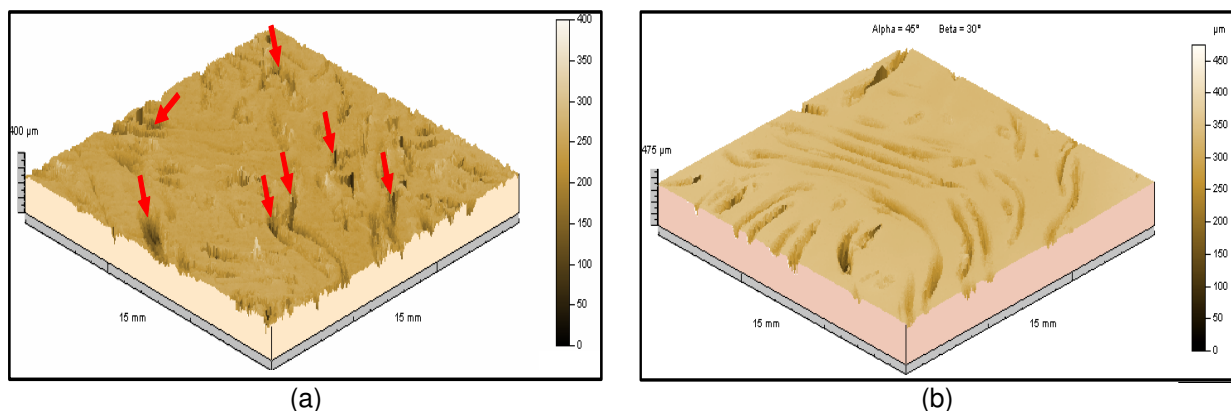
**Figura 6:** Evolução da taxa de desgaste dos conjuntos que tiveram os revestimentos submetidos há diferentes processos de retificação industrial; (a)- revestimento A; (b)- revestimento D.

Verificou-se que a retificação industrial não exerceu influência em termos de melhoria da taxa de desgaste para o conjunto A, pois se esperava que o transiente inicial da taxa de desgaste fosse eliminado. A Figura 6 mostra que a taxa de desgaste é



maior nas primeiras horas de ensaio, tendendo a estabilizar a partir da terceira hora, para as três condições ensaiadas. A Figura 6-b, por sua vez, apresenta a taxa de desgaste do conjunto D. O conjunto retificado na condição C2 apresenta a maior taxa de desgaste, sendo maior nas primeiras horas de ensaio, tendendo a permanecer constante a partir da terceira hora. Este resultado pode ser justificado, pois conforme foi apresentado, esta condição de retificação proporcionou pior qualidade topográfica para o revestimento D. Observando a taxa de desgaste do conjunto retificado na condição C4, pode-se ver que o regime transiente da taxa de desgaste foi eliminado, condição esta buscada com o processo de retificação, e lembrando que esta condição proporcionou ao revestimento D melhor qualidade topográfica. Mas, em longo prazo, observa-se que o conjunto normal apresenta a menor taxa de desgaste no regime permanente, apesar de ter maior taxa de desgaste durante o regime transiente em relação ao conjunto C4.

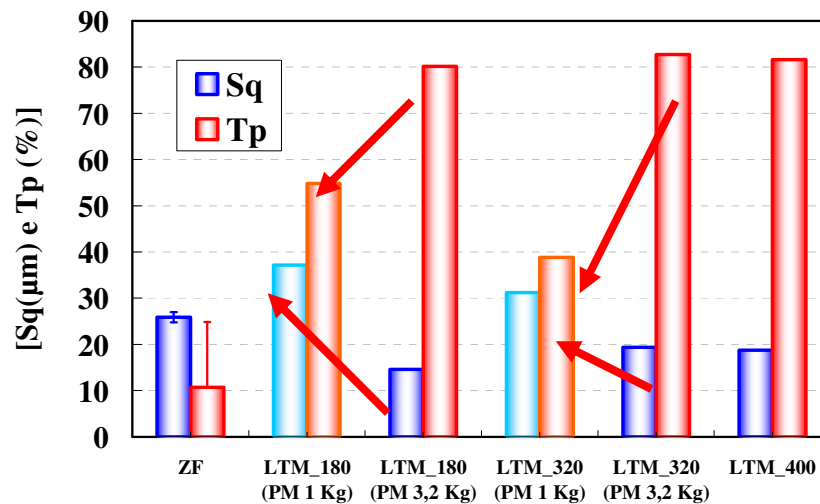
A Figura 7 apresenta a topografia de superfície dos revestimentos antes e após o processo de lixamento LTM. Observa-se antes do processo de lixamento que há presença de buracos na superfície das amostras (setas Figura 7-a) e que após o lixamento as regiões planas tornaram-se mais lisas, mas ainda há presença de buracos na superfície do revestimento.



**Figura 7:** Topografias de superfície de revestimentos D Normal lixado em laboratório: (a)- antes; (b)- após; Setas indicam presença de “buracos” na superfície do revestimento antes do lixamento.

A Figura 8 mostra os valores da rugosidade quadrática média e da capacidade de apoio dos revestimentos C2 e que foram lixados com lixas abrasivas nas granulometrias #180, #320 e #400, e peso morto de 1 kg e 3,2 kg. Como os revestimentos A e D apresentaram, no lixamento LTM resultados semelhantes, serão apresentados apenas os resultados obtidos para o revestimento D. Observa-se na figura 8 que os revestimentos lixados nas lixas #180 e #320, com peso morto de 1 kg, apresentaram maior rugosidade quadrática média e menor capacidade de apoio (setas vermelhas), em relação aos revestimentos lixados com peso morto de 3,2 kg. Estes resultados foram o oposto ao esperado, pois, com a diminuição da pressão de contato, esperava-se uma melhoria na qualidade superficial, diminuindo o valor da rugosidade quadrática média e elevando o valor da capacidade de apoio. Os valores dos parâmetros topográficos para o lixamento na lixa #400 não foram apresentados na figura 8, porque após um determinado tempo de lixamento foi observado que a superfície do revestimento não estava desgastada por igual, ou seja, as amostras ainda

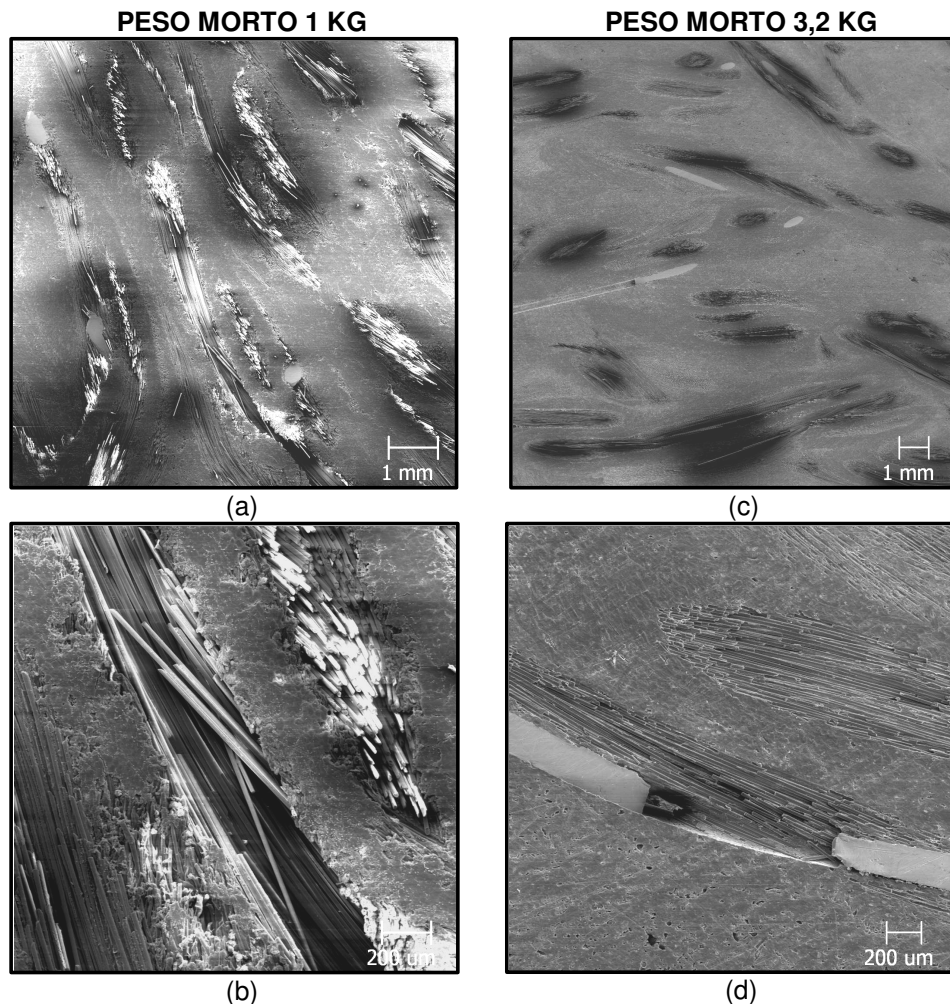
apresentavam regiões que não haviam sido desgastadas. Inicialmente buscaram-se justificativas físicas que ajudassem a explicar os resultados obtidos.



**Figura 8:** Correlação entre os parâmetros topográficos de revestimento D submetido ao processo de lixamento com peso morto de 1 kg e 3,2 kg; Setas indicam aumento da rugosidade quadrática média e redução da capacidade de apoio quando se utiliza peso morto de 1 kg.

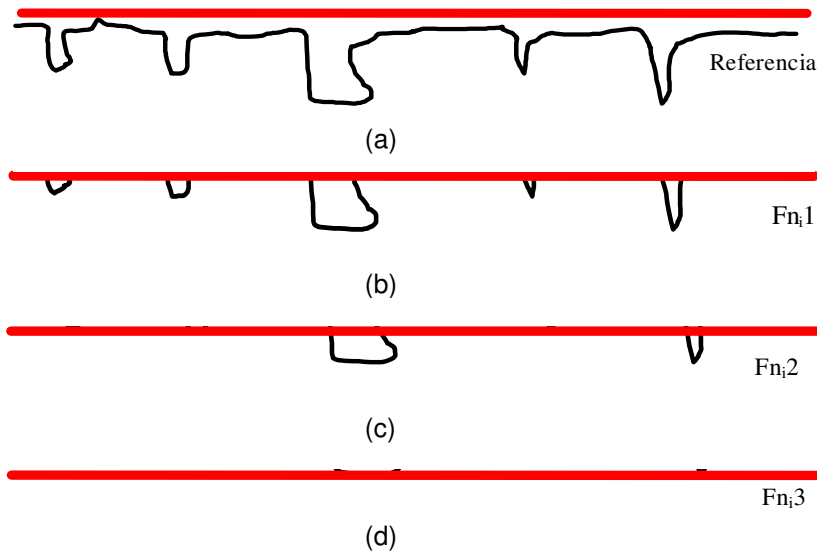
Conforme reportado, há presença de “buracos” na superfície das amostras quando no seu estado virgem, como está apresentado nas Figuras 4-a, 4-b e 7-a (setas vermelhas). Quando se observa essa superfície via MEV (Figura 9), pode-se de fato comprovar a presença dos “buracos”. Em menores aumentos (Figuras 9-a e 9-c), pode-se ver ainda que o revestimento submetido ao processo de lixamento utilizando peso morto de 3,2 kg, apresentou uma qualidade superficial melhor, em relação ao revestimento submetido ao lixamento com peso morto de 1 kg. Nota-se que a amostra lixada com peso morto de 1 kg apresenta um arrancamento das fibras de reforço de forma mais desordenada, enquanto que a amostra lixada com peso morto de 3,2 kg apresenta uma superfície mais planejada, com menores quantidades de levantamento das fibras de reforço. Com os aumentos maiores (Figuras 9-b e 9-d) este efeito se torna ainda mais evidente. Ainda em maiores aumentos, pode-se ver ainda, que a amostra lixada com peso morto de 1 kg apresenta “buracos” profundos, havendo arrancamento de fibras de reforço nestes “buracos”, ficando as mesmas de forma desprendidas e desordenadas na matriz do revestimento. Por outro lado, na superfície da amostra lixada com peso morto de 3,2 kg, os “buracos” são mais “rasos”, indicando que houve arrancamento total das fibras de reforço na matriz, não deixando as fibras de reforço levantadas e de forma desordenada na matriz do revestimento. Para uma melhor compreensão, a Figura 10 mostra uma representação esquemática para justificar os resultados apresentados nas Figuras 7, 8 e 9.





**Figura 9:** Correlação entre topografia de superfícies, obtidas via MEV, de revestimentos A retificado na condição C2 e posteriormente lixado na lixa #320 com peso morto de 1 kg e 3,2 kg.

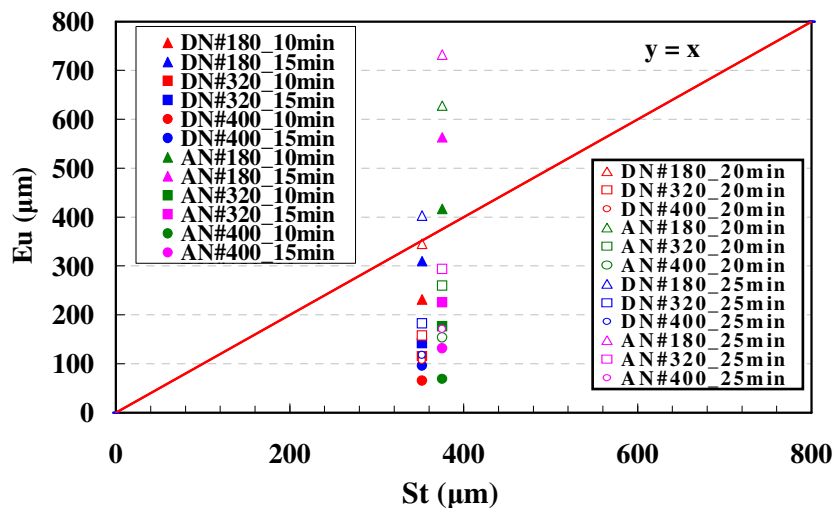
Na Figura 10, o perfil referência representa um perfil de uma superfície virgem. A  $F_{ni}$  é a força normal individual em cada partícula abrasiva, ou seja, o que é verdadeiramente efetivo, e está em função do tamanho do abrasivo. Quanto maior for o diâmetro do abrasivo, maior será a  $F_{ni}$ , e quanto maior for a força normal aplicada (peso do contra-corpo), maior será a força efetiva na partícula abrasiva. A Figura 10 mostra a atuação de três forças:  $F_{ni1}$ ,  $F_{ni2}$  e  $F_{ni3}$ . Considerando  $F_{ni3}$  maior que  $F_{ni2}$  que é maior que  $F_{ni1}$ , pode-se ver que a superfície submetida a  $F_{ni3}$  (Figura 10-d) apresentou uma maior espessura usinada, eliminando uma maior quantidade de irregularidades iniciais da superfície.



**Figura 10:** Representação esquemática do processo de lixamento na superfície das amostras.

Com esta analogia, acredita-se que utilizando peso morto de 3,2 kg as irregularidades superficiais que as amostras herdaram durante o seu processo de fabricação, estavam sendo eliminadas e havendo a geração de uma nova superfície. Acredita-se também que o peso morto de 1 kg não foi suficiente para eliminar as irregularidades da superfície virgem e gerar uma nova superfície. Este fato é a razão das amostras lixadas com peso morto de 3,2 kg apresentarem melhor qualidade topográfica. Com isso, acredita-se que, quando as amostras são submetidas ao processo de lixamento, a severidade do sistema não causa a geração dos “buracos” na superfície das amostras, uma vez que, como foi visto, as amostras “herdaram” esses “buracos” durante o processo de produção (retificação industrial).

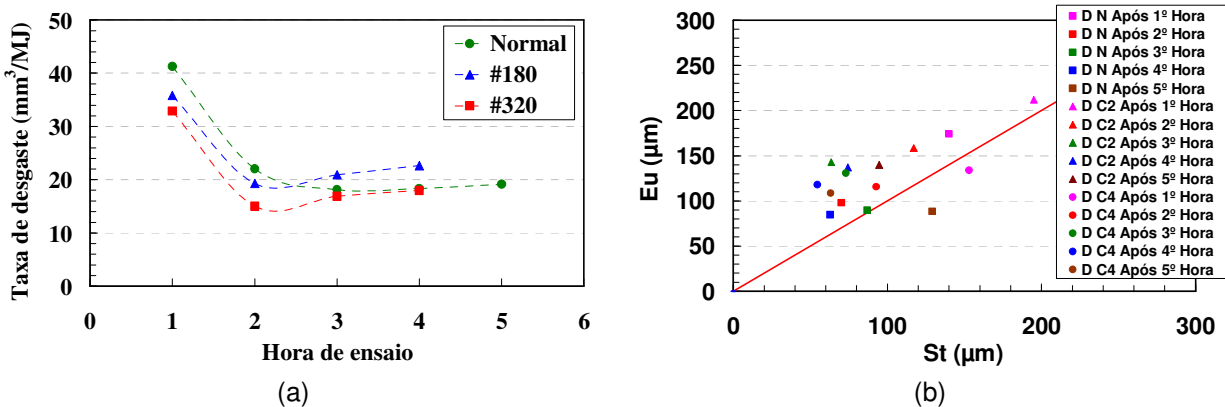
A Figura 11 apresenta uma correlação linear da espessura usinada com o parâmetro topográfico St. Através desta correlação pôde-se comprovar se, de fato, que novas superfícies estavam sendo geradas.



**Figura 11:** Correlação entre a espessura usinada e o valor médio de St, das amostras de revestimento A e D retificadas na condição Normal e lixadas com peso morto de 3,2 kg.

Conforme está apresentado na Figura 11 observa-se que após dez minutos de lixamento, somente o revestimento A, retificado na condição normal e lixado na lixa #180, teve uma nova superfície gerada, pois apresenta uma espessura usinada maior do que o valor médio de St. Tendo-se uma espessura usinada maior do que o valor médio de St indica que o perfil topográfico da superfície virgem foi eliminado devido ao desgaste causado pela lixa abrasiva, e assim gerando um novo perfil topográfico. A Figura 11 mostra também que o lixamento durante o tempo de 10 minutos não foi suficiente para gerar uma nova superfície, pois os pontos encontram-se abaixo da reta de correlação linear da espessura usinada com o parâmetro topográfico St. Isto indica que a espessura desgastada foi menor do que o valor de St, conseqüentemente não havendo a eliminação da superfície virgem. Após 25 minutos de lixamento, somente o revestimento A retificado na condição normal e lixada na lixa #180 e o revestimento D normal e lixada na lixa #320 tiveram uma nova superfície gerada.

A Figura 12 apresenta os resultados da taxa de desgaste das amostras que tiveram a nova superfície gerada após vinte cinco minutos de lixamento. Como os revestimentos A e D apresentaram valores semelhantes, serão apresentados apenas os resultados obtidos com o revestimento D. Para efeito de comparação, estes valores foram correlacionados com a taxa de desgaste dos conjuntos retificados industrialmente na condição normal. Através da Figura 12-a pode-se comprovar que, para este caso, a geração de uma nova superfície não exerceu um efeito significativo no transiente inicial da taxa de desgaste. Observa-se que a taxa de desgaste é maior nas primeiras horas de ensaio, tendendo a permanecer constante a partir da terceira hora.

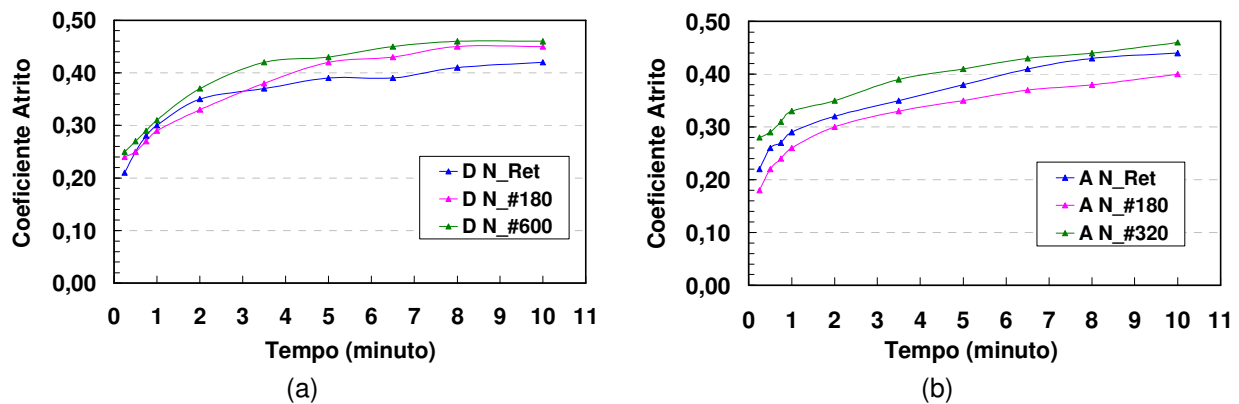


**Figura 12:** (a)- efeito da influência da nova superfície gerada na evolução da taxa de desgaste; (b)- correlação linear entre a Eu e St.

Para confirmar e deixar ainda mais claro que a geração de uma nova superfície não exerce efeito sobre o regime transiente inicial da taxa de desgaste, foi determinado o valor médio de St e a espessura usinada (Eu) das amostras de revestimento D retificadas nas condições C2, C4 e normal e submetidos a serie de cinco ensaios interrompidos no tribômetro. Foram determinados os valores de St e Eu para cada hora de ensaio, e a Figura 12-b apresenta a correlação entre os dados. Observando a correlação entre o St médio e a Eu nota-se que todos os pontos estão acima da reta linear de correlação, exceto para o revestimento D condição normal após 5º hora de ensaio e o revestimento C4 após a 1ª hora de ensaio. Este comportamento mostra que a Eu para cada hora de ensaio foi maior do que o valor médio de St, o que significa que

houve a geração de uma nova superfície. Com esta análise, concluiu-se que, após cada hora de ensaio interrompido, uma nova superfície foi gerada, mas não exercendo influência no regime transiente da taxa de desgaste. Comportamento similar a este também foi observado para o revestimento A.

Quando se avalia a influência da geração de uma nova superfície no coeficiente de atrito inicial, constata-se que gerando uma nova superfície há um ganho no coeficiente de atrito inicial. Observa-se através da Figura 13-a que o revestimento D normal lixado na lixa #320 e na lixa #180 apresentaram um coeficiente de atrito inicial superior ao revestimento que foi apenas retificado industrialmente. Para o revestimento A (Figura 13-b), observa-se que somente a amostra lixada na lixa #320 apresentou um coeficiente de atrito inicial superior a amostra que foi apenas retificada. Apesar da amostra lixada com lixa #180 ter tido uma nova superfície gerada, neste caso a nova superfície não proporcionou um ganho no coeficiente de atrito inicial, pois o seu valor encontra-se abaixo do coeficiente de atrito inicial obtido para a amostra apenas retificada industrialmente na condição normal.



**Figura 13:** Efeito da nova superfície gerada no coeficiente de atrito inicial; (a)- revestimento D; (b)- revestimento A.

## 4 CONCLUSÕES

O processo de pré-condicionamento superficial obtido pela retificação industrial não exerceu influência no regime transiente da taxa de desgaste. Através da correlação linear entre a  $E_u$  e o parâmetro topográfico  $St$  pôde-se comprovar que o pré-condicionamento superficial obtido pelo processo de lixamento laboratorial gera uma nova superfície topográfica. A geração da nova superfície não exerceu influência no regime transiente inicial da taxa de desgaste, mas proporcionou um aumento no coeficiente de atrito inicial.

## REFERÊNCIAS

- 1 Bezzazi, M. et al. "Experimental characterization of frictional behaviour of clutch facings using Pin-on-disk machine", *Materials & Design*, v. 28, Issue 7, p 2148-2153, 2007.
- 2 Eriksson, M.; Bergman, F; Jacobson, S. "Surface characterisation of brake pads after running under silent and squealing conditions", *Wear*, v. 232, p. 163-167, 1999.
- 3 Eriksson, M; Jacobson, S. "Tribological surfaces of organic pads", *Tribology International*, v. 33, p. 817-827, 2000.

- 4 Eriksson, M.; Bergman, F; Jacobson, S. "On the nature of tribological contact in automotive brakes", *Wear*, v. 252, p. 26-36, 2002.
- 5 Harlin, P. et al, "Influence of surface roughness of PVD coatings on tribological performance in sliding contacts", *Surface & Coatings Technology*, p. 781-788, 2006.
- 6 Ho, S. C et al, "Effect of carbonization on mechanical and tribological behavior of a copper-phenolic-based friction material", *Carbon*, v. 43, p. 491-502, 2005.
- 7 Nyman, P. et al, "Influence of surface topography on friction characteristics in wet clutch applications", *Wear*, v. 261, p. 46-52, 2005.
- 8 Ost, W. et al, "The tribological behaviour of paper friction plates for wet clutch application investigated on SAE#II and pin-on-disk test rigs", *Wear*, v. 249, p. 361-371, 2001.
- 9 O' Sterle, W.; Urban, I. "Third body formation on brake pads and rotors", *Tribology International*, v. 39, p. 401-408, 2006.
- 10 Fernandes, G. P., "Application of Tribology the Study and Development of Materials to Automotive Clutch", 2007, 142 f. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.