

CORRELAÇÃO ENTRE TESTES LABORATÓRIAS PINO-SOBRE-DISCO EM PEQUENA ESCALA E TESTES DE BANCADA EM GRANDE ESCALA DE EMBREAGENS AUTOMOTIVAS A SECO

Graciliano Pereira Fernandes

José Daniel Biasoli de Mello

Universidade Federal de Uberlândia

gpfernandes@mecanica.ufu.br

Ivan Roger Scansani Gregori

Paulo Zanotto

Walter Haertel Jr.

ZF do Brasil, divisão Sachs

Resumo: *Para desenvolver um material de fricção muitos testes são necessários para que se possa entender como uma ou várias matérias primas se comportam em relação aos aspectos tribológicos. Neste tipo de desenvolvimento, existe um alto grau de empirismo surgindo a necessidade de várias repetições nos testes para que se façam as escolhas mais assertivas das matérias primas ou mesmo dos processos envolvidos.*

Este trabalho tem como objetivo mostrar a correlação, expressa através da taxa de desgaste do material de fricção de embreagem automotiva a seco, existente entre testes tradicionais de durabilidade em dinamômetro (ensaios mais demorados, complexos e mais caros, devido há necessidade da confecção completa dos protótipos) e testes conduzidos em tribômetro tipo Pino-Disco (ensaios mais rápidos e mais simples, conseqüentemente menos onerosos).

Foi constatado que, após otimização dos parâmetros tribológicos impostos, o tribômetro Pino-Disco (carga atuante contínua no tempo, amostra de 13 mm de diâmetro externo) consegue reproduzir os resultados das taxas de desgaste apresentadas pelo dinamômetro tradicional, ainda que este último aplique a carga de forma cíclica e utilize peça padrão de teste de 200 mm de diâmetro externo.

Palavras-chave: *embreagem automotiva, materiais de atrito, contato por deslizamento, pino-sobre-disco, teste de bancada.*

1 – INTRODUÇÃO

Durante o curto período de tempo de acoplamento da embreagem automotiva, contato por deslizamento ocorre entre o volante do motor, os discos de revestimento e a placa de pressão. Os materiais constituintes da embreagem têm que apresentar excelente desempenho para proporcionar um coeficiente de atrito que seja suficientemente alto e estável, proporcionando assim um movimento de transmissão de rotação regular e eficiente.

Para desenvolver um material de atrito muitos testes são necessários para que se possa entender como uma ou várias matérias primas se comportam em relação aos aspectos tribológicos. Neste tipo de desenvolvimento, existe um alto grau de empirismo surgindo a necessidade de várias repetições nos testes para que se façam as escolhas mais assertivas das matérias primas ou mesmo dos processos envolvidos.

Testes realizados em campo em escala real, seriam preferencialmente usados para avaliar as interações tribológicas, por causa de sua representatividade, se não apresentassem as seguintes

desvantagens: longos períodos de testes, alto custo e a elaboração dos métodos para a realização dos testes. Outro fator importante é que determinados parâmetros envolvidos não podem ser variados separadamente ou podem ser somente variados dentro de certos limites.

A variação nos produtos, o fato das condições de teste não serem constantes, a falta de conhecimento nas variáveis dos materiais e condições de operação das condições reais são alguns outros fatores que tornam os testes em campo complexos e difíceis de serem realizados.

Devido as grandes dificuldades e complexidade apresentadas para a realização dos estudos através de testes que são realizados em campo, busca-se produzir em laboratórios, com equipamentos mais simples, menores custos e tempo de ensaio reduzido, a reprodução das interações tribológicas em condições reais

O estudo em laboratório das interações tribológicas que ocorrem entre os materiais utilizados no sistema de embreagens automotivas auxilia no seu desenvolvimento tecnológico, gerando maior eficiência em trabalho (qualidade e maior vida útil dos materiais), tornando a transmissão dos veículos mais segura com custo de fabricação destes componentes reduzido.

A figura 1 apresenta uma representação esquemática proposta por Czichos (1983), onde testes tribológicos que são realizados em teste de campo (categoria I) com componentes em escala de tamanho real, foram reduzidos para um teste de modelo (categoria VI) com amostra de geometrias simplificadas, que seja capaz de simular em laboratório, de forma semelhante, as interações tribológicas que ocorrem no teste de campo. Czichos (1983) assumiu que para que seja possível simular as interações tribológicas utilizando um teste de modelo (categoria VI), a quantidade de energia gerada no sistema teria que ser igual ou equivalente a energia gerada no teste de campo (categoria I).

Ost et al (2001) utilizaram os modelos de teste proposto por Czichos (1983) para investigar as características dos discos de revestimentos de embreagens. Ost et al (2001) utilizaram dois equipamentos: SAE#II (categoria III) e pino sobre disco (categoria VI).

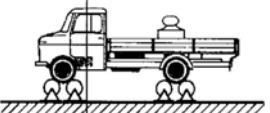
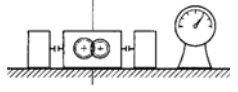
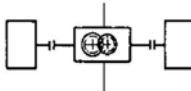
CATEGORIA		DESCRIÇÃO	ILUSTRAÇÃO
I	Testes de desempenho em peças reais	Campo de teste	
II		Teste de bancada (Simulação)	
III		Teste de alguns componentes em tamanho real	
IV	Modelo de atrito e Mecanismos de desgaste	Teste de alguns componentes em escala reduzida	
V		Teste de um único componente	
VI		Modelo de teste	

Figura 1: Classificação dos diferentes tipos de testes tribológicos proposto por Czichos (1983).

1.1 Embreagem

Definimos embreagem como um dispositivo mecânico constituído basicamente de quatro peças. O volante do motor, a placa de pressão (conhecida também como platô ou chapéu chinês) e os dois discos de revestimento, um que é acoplado a placa de pressão e o outro ao volante do motor. Estes

quatro componentes estão montados entre o motor e a caixa de mudanças de marcha (câmbio). O volante do motor está fixado por meio de parafusos ao virabrequim e roda solidário com este. O revestimento encaixa, por meio de estrias, no eixo primário da caixa de câmbio e, assim, roda com este. A placa de pressão fixa os revestimentos de encontro ao volante do motor, transmitindo a rotação do volante do motor para o eixo primário da caixa de câmbio e esta transmite a rotação para o diferencial, que transmite para as rodas. A figura 2 mostra os principais componentes de um conjunto de embreagem automotiva.

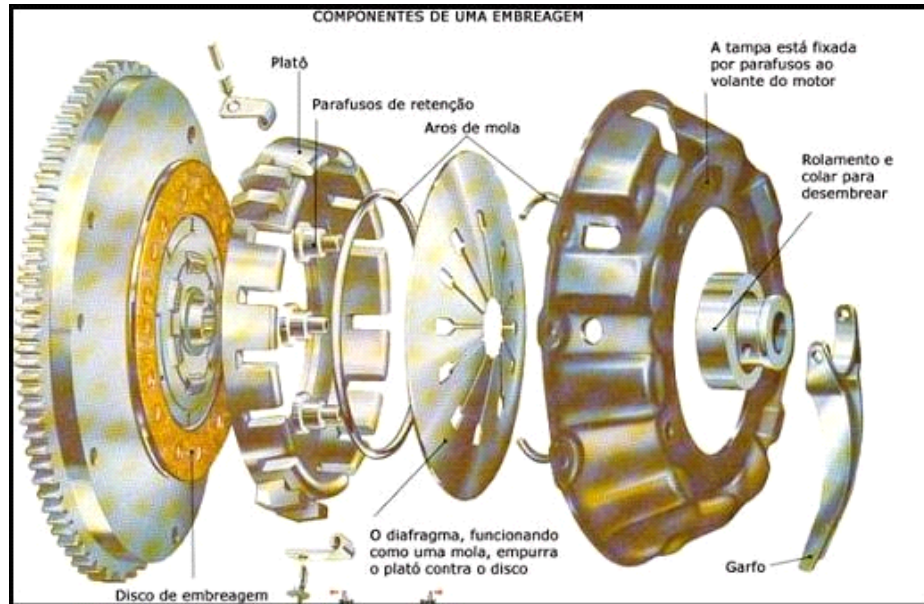


Figura 2: Principais componentes de um conjunto de embreagem automotiva.

A força de atrito foi definida como a resistência que um corpo desenvolve ao movimento relativo de outro corpo.

A embreagem faz uso do atrito para transmitir o movimento de rotação do volante do motor para o eixo primário da caixa de transmissão. Pode-se dizer então que o sistema de embreagem tem por finalidade, "ligar" e "desligar" a transmissão de movimentos do volante do motor para a caixa de mudanças. Além desta finalidade, a embreagem apresenta outras funções, como proteger o motor e a transmissão contra sobre cargas e também para amortecer as vibrações que ocorrem durante a transmissão. Além destas funções possibilitam quando o veículo estiver parado, um movimento inicial de forma suave, permitindo a passagem das marchas no câmbio de forma precisa e eficiente.

Quando se diminui a pressão da placa de pressão sobre os discos de revestimento, através do acionamento do pedal da embreagem, o volante do motor e o eixo primário da caixa de câmbio passam a ter movimentos independentes. A medida que o pedal da embreagem é liberado, a placa de pressão vai de encontro aos discos de revestimento, comprimindo-os contra o volante do motor, e os mesmos se tornam solidários. Quando os discos de revestimento estão pressionados contra o volante do motor por meio da placa de pressão, a força de aperto deverá ser suficientemente grande para evitar qualquer deslizamento, termo também conhecido como patinação ou patinação da embreagem. Isto se deve para que se tenha uma máxima transmissão, suave e eficiente do movimento de rotação do volante do motor para o eixo primário da caixa de câmbio.

2. PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

A primeira etapa do trabalho consistiu em caracterizar os mecanismos de desgaste atuantes nas embreagens utilizadas em condições reais, para posteriormente procurar simular estes mecanismos em laboratório. Para a realização desta atividade foram enviadas pela empresa ZF_SACHS do Brasil ao Laboratório de Tribologia e Materiais (LTM) alguns conjuntos de embreagem.. Os conjuntos foram classificados em quatro tipos diferentes: A, B, C e D.

As amostras foram avaliadas topograficamente em um interferômetro a laser tridimensional da UBM MESSTECHNIK GmbH, modelo Microfocus Expert IV. Todas as áreas analisadas tiveram dimensões de 5 x 5 mm. A densidade de pontos adotada foi de 1000 (x) x 50 (y), no modo contínuo.

Foi utilizado o microscópio eletrônico de varredura – MEV (Modelo Leo 940 A, fabricante Zeiss), para caracterizar os mecanismos de desgaste atuantes. Todas as fotos obtidas no MEV, foram realizadas com as amostras inclinadas de 35° em relação ao plano horizontal.

Após a etapa de caracterização dos mecanismos de desgaste que atuam no conjunto de embreagens utilizados em condições reais, a próxima etapa consistiu na realização de alguns ensaios laboratoriais. Para a realização destes ensaios laboratoriais preliminares as amostras foram confeccionadas pela ZF_Sachs, dentro das especificações estabelecidas pelos membros do LTM para atender as dimensões da máquina de ensaio. Amostras de revestimento do tipo (A, B, C e D) e discos de ferro fundido cinzento utilizado para simular a placa de pressão e o volante do motor, foram confeccionados e enviados pela empresa ZF_Sachs do Brasil ao LTM, para a realização dos ensaios laboratoriais. A tabela 1 apresenta as principais características destas amostras, a figura 3, por sua vez, apresenta as amostras utilizadas para realização dos ensaios laboratoriais.

Tabela 1: Características das amostras laboratoriais utilizadas nos ensaios preliminares.

Amostra	Tipo de Material	Geometria	Quantidade
Revestimento (Corpo)	A B C D	$\varnothing = 13 \text{ mm}$	5 de cada tipo de revestimento
Placa de Pressão (Contra-Corpo)	Ferro Fundido Cinzento	$\varnothing_{\text{ext}} = 76 \text{ mm}$ $\varnothing_{\text{int}} = 8 \text{ mm}$	20



(a)



(b)

Figura 3: Amostra laboratorial de revestimento do tipo A com sua nova dimensão.(a): revestimento; (b): conjunto (placa de pressão mais amostra de revestimento no pino porta amostra).

Para a realização dos ensaios tribológicos foi utilizado o equipamento Plint e Partners modelo TE 67, na configuração pino-sobre-disco (categoria VI dos modelos de testes propostos por Czichos (1983)). A tabela 2 sintetiza os parâmetros laboratoriais utilizados na realização dos ensaios.

Tabela 2: Parâmetros laboratoriais utilizados na realização dos ensaios.

PARÂMETROS	VALORES
Velocidade de rotação (RPM)	750
Força Normal (N)	8,8
Tempo de Teste (h)	1
Raio (mm)	21
Lubrificação	Sem

O coeficiente de atrito foi monitorado durante todo o tempo de ensaio e os dados foram armazenados em um computador que está conectado a máquina de ensaio.

Os ensaios foram realizados com a finalidade de reproduzir no laboratório os mecanismos que atuam em condições reais.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A figura 4 apresenta, graficamente, a evolução do coeficiente de atrito em função da distância de deslizamento. A evolução do coeficiente de atrito dos diferentes conjuntos A, B e C (conjunto pequeno) apresentaram comportamentos similares. Desta forma será apresentado para o conjunto pequeno somente o comportamento do conjunto A. A mesma figura apresenta também a evolução do coeficiente de atrito do conjunto D (conjunto grande). Observa-se que o coeficiente de atrito cresce rapidamente, atingindo um regime permanente após o início do ensaio. Após atingir este regime permanente o coeficiente de atrito apresenta oscilações com a evolução do ensaio. Pode-se observar este comportamento tanto para o conjunto A, quanto para o conjunto D. Comportamento similar a este também foram observados por Ost et al (2001) em seus experimentos.

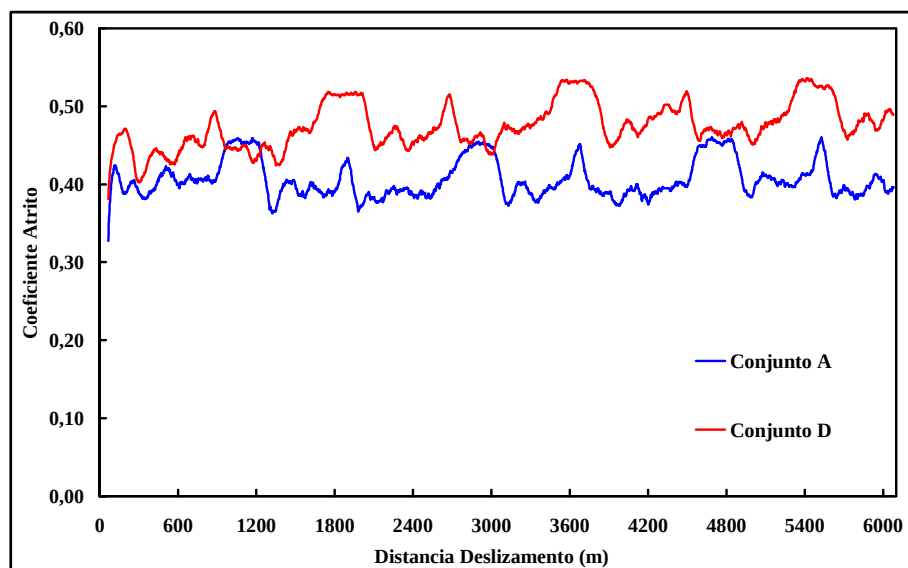


Figura 4: Evolução do coeficiente de atrito em função da distancia de deslizamento.

As figuras 5.a – 5.c apresentam aspectos típicos das superfícies (mecanismos de desgastes) que foram observados nas amostras utilizadas em campo, e as figuras 5.d - 5.f apresentam os mecanismos de desgastes que foram reproduzidos em laboratório, para o revestimento B.

As figura 5.a e 5.d mostram uma região onde há o aparecimento de fibras na superfície das amostras. Este aparecimento de fibras pode estar relacionado ao fato das amostras terem sido submetidas aos ensaios, havendo o arrancamento de material matriz polimérica que protege estas fibras, ocorrendo então o desprendimento das fibras.

Na figura 5.b e 5.e pode-se ver uma região considerada plana, e observa-se que esta região sofreu desgaste abrasivo, conforme pode ser visto pelo riscamento da superfície da amostra, causado por partículas abrasivas que podem ter sido geradas durante o funcionamento da embreagem.

Em aumentos maiores, figura 5.c e 5.f, pode-se observar geração de trincas e degradação do material do revestimento, fazendo com haja arrancamento de material e geração de partículas de desgaste. Pode-se ver claramente nestas figuras que há uma grande similaridade entre os mecanismos de desgaste observados em campo (figura 5.c) com os mecanismos reproduzidos em laboratório (figura 5.f).

Através da correlação feita entre os mecanismos de desgastes observados nas amostras utilizadas em ensaios de campo com os mecanismos de desgastes que foram simulados em

laboratório, conclui-se que é possível reproduzir em laboratório, de forma semelhante os mecanismos de desgaste atuantes em campo.

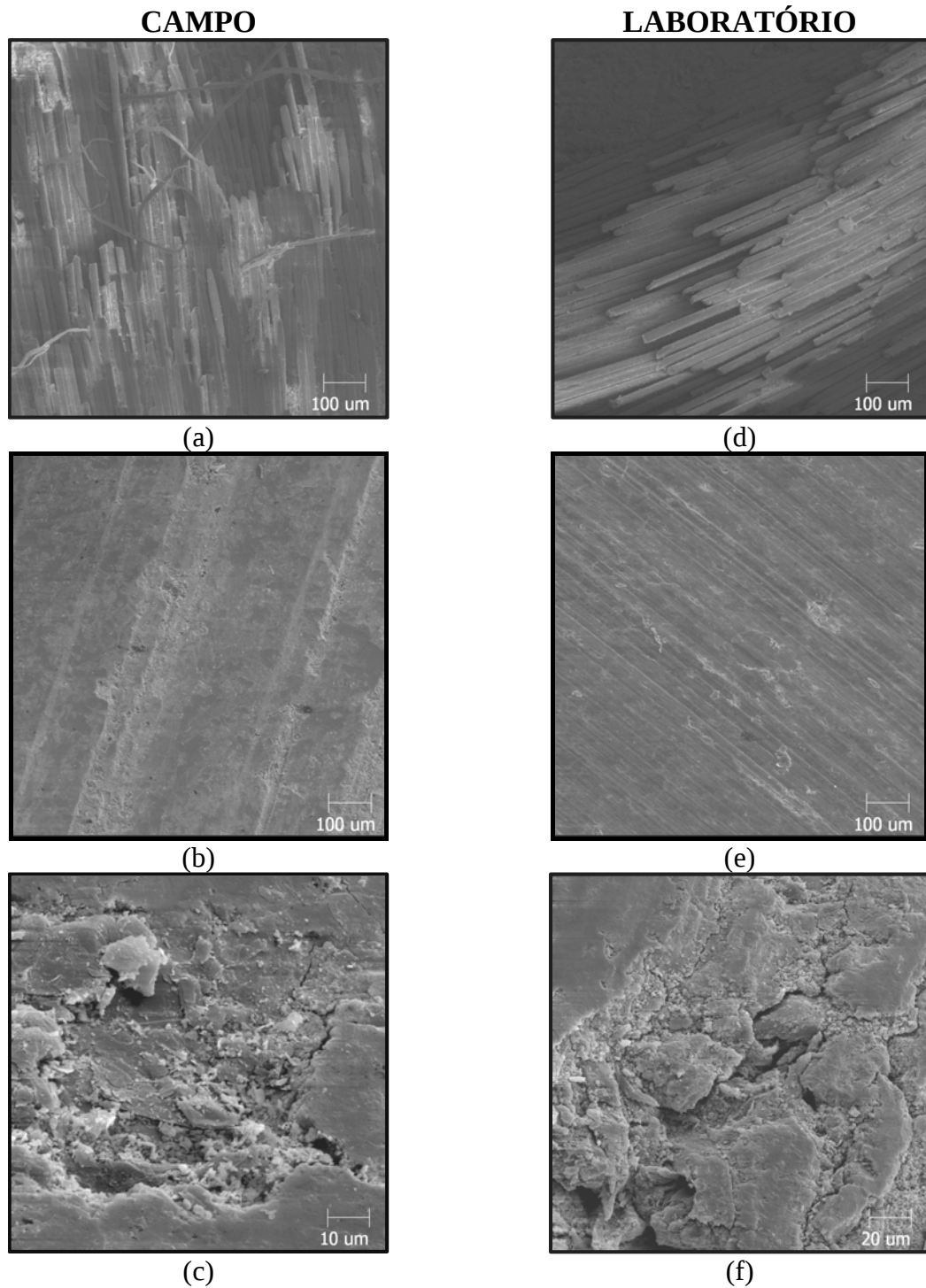


Figura 5: Correlação entre os mecanismos de desgaste atuantes em campo com os mecanismos reproduzidos em laboratório no conjunto B.

Apesar dos ensaios laboratoriais terem sido satisfatórios na reprodução dos mecanismos de desgaste, estes resultados não foram totalmente satisfatórios na simulação da taxa de desgaste dos revestimentos, como será reportado a seguir.

A figura 6 mostra a taxa de desgaste dos quatro tipos diferentes de revestimentos utilizados nos ensaios preliminares. Pode-se observar que o revestimento B apresentou estatisticamente a maior taxa de desgaste e a placa de pressão B apresentou, estatisticamente menor taxa de desgaste. Os revestimentos A, C e D apresentaram, estatisticamente, a mesma taxa de desgaste. De forma

semelhante, as placas de pressão A, C e D, também apresentaram, estatisticamente, igual taxa de desgaste.

O resultado apresentado pela taxa de desgaste do revestimento B, contraria fortemente os resultados apresentados em campo para o mesmo tipo de revestimento. Foi observado que o revestimento B tem uma maior durabilidade (vida útil) em termos de km rodados em relação ao revestimento A (figura 7), e o resultado apresentado pela figura 6 mostra que o revestimento A tem um melhor desempenho do que o revestimento B.

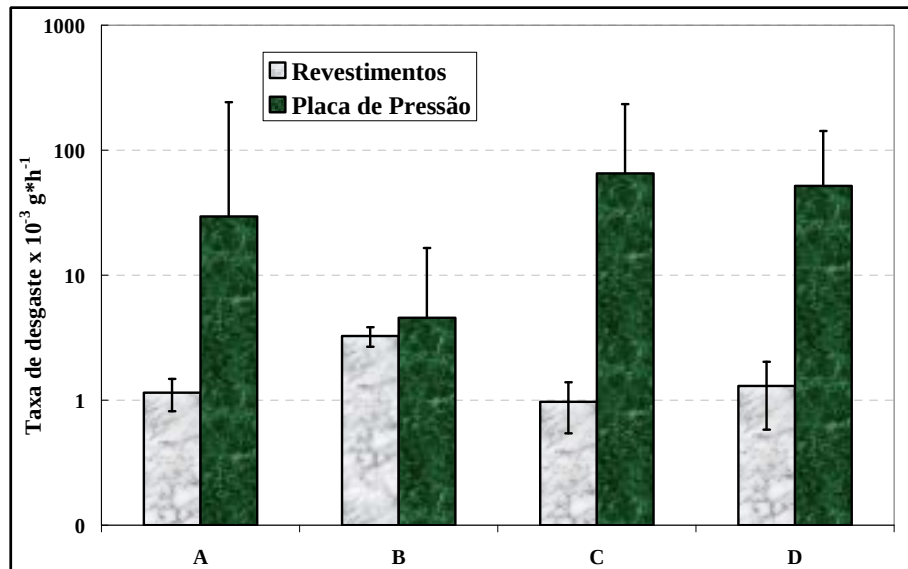


Figura 6: Taxa de desgaste dos diferentes revestimentos e placas de pressão.

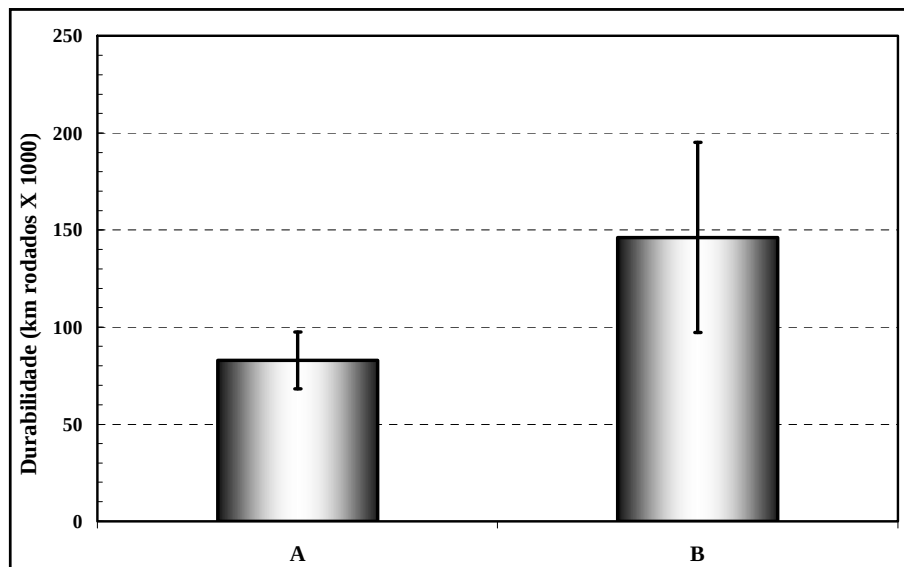


Figura 7: Vida útil dos revestimentos A e B utilizados em campo (ZF do Brasil - divisão Sachs).

Como o objetivo desta fase é reproduzir em laboratório menor taxa de desgaste do revestimento B em relação à taxa de desgaste do revestimento A, foi utilizado o trabalho de Gregori, Zanotto e Haerter Jr. (2005) como referencia para desenvolver uma metodologia capaz de reproduzir estes resultados.

Neste trabalho os autores desenvolveram um procedimento de teste, capaz de simular em laboratório, todas as diferentes condições de uso a qual uma embreagem é submetida em um veículo automotivo. Em seu trabalho, Gregori, Zanotto e Haerter Jr. (2005), escolheram a energia de atrito que é gerada durante o acoplamento da embreagem como parâmetro para avaliar o tempo de vida útil dos materiais da embreagem.

Para o desenvolvimento do seu trabalho Gregori, Zanotto e Haerter Jr (2005), realizaram os testes utilizando um dinamômetro inercial, teste tribológico classificado na categoria III, de acordo com as classificações dos sistemas tribológicos propostos Czichos (1983).

A equação (1) possibilita o calculo do valor da energia gerado durante os ensaios:

$$E = W * \Delta Torque * \Delta Tempo \quad (1)$$

Onde:

$$Torque = F_{tangencial} * raio \quad (2)$$

$$W = Velocidade angular$$

Gregori, Zanotto e Haerter Jr.(2005), obtiveram os valores das energias geradas durante os ensaios tribológicos no dinamômetro utilizando revestimentos A e B. A figura 8 apresenta uma correlação entre a energia de atrito gerada, com a temperatura e a taxa de desgaste do revestimento A (figura 8.a) e B (figura 8.b).

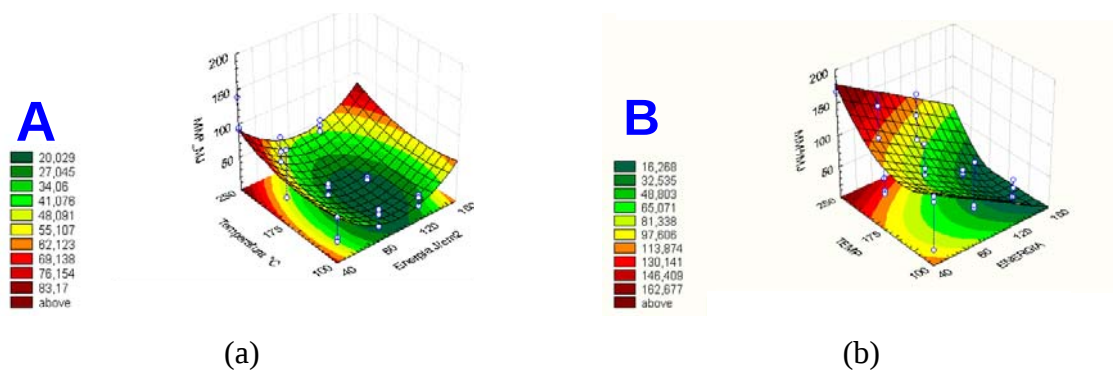


Figura 8: Gráficos apresentando energia gerada no sistema embreagem (Gregori et al 2005).

Através da equação (1), aumentando o valor da força normal aplicada o valor da energia gerada no sistema aumenta também. Com isto adotaram-se valores de força normal de 23N, 70N e 150N e as respectivas energias geradas para as forças normais adotadas foram obtidas. Ensaios laboratoriais foram realizados e estes valores de força normal não reproduziram em laboratório um comportamento do revestimento B melhor que A. Então fez se o problema inverso. Através dos gráficos da figura 8, viu-se que a taxa de desgaste do revestimento B é maior que A par um valor de energia 160 (J/cm²). Com este valor de energia e través da equação (1), determinou-se então o valor da força normal necessária para gerar no tribômetro esta energia. A força normal obtida foi de 200 N.

A figura 9 apresenta a taxa de desgaste das amostras laboratoriais dos revestimentos para os diferentes ensaios tribológicos com variação da força normal. Estes resultados apresentados são resultados condizentes com os gráficos apresentados na figura 9. Observa-se também que quanto maior é o valor da força normal, maior é o valor da taxa de desgaste, o que de fato era esperado. Observa-se também que de fato para uma força normal igual a 200 N a taxa de desgaste do revestimento B é, estatisticamente, menor que de A. Estes resultados mostram que é possível simular em laboratório utilizando um tribômetro na configuração pino-disco, comportamento tribológicos similar aos que são obtidos em campo.

A tabela 3 apresenta uma correlação entre os parâmetros laboratoriais que foram utilizados em ambos os testes. As diferenças mais significantes entre os dois testes foram: o tempo de ensaio e as dimensões das amostras. Observa-se na tabela 3, que há uma diferença muito grande entre os tempos de ensaio. Enquanto que no dinamômetro testes tribológicos foram realizados em até 10 dias, no tribômetro, os ensaios foram realizados em três horas. Outra grande diferença está nas dimensões das amostras que foram utilizadas na realização dos testes. No dinamômetro os diâmetros das amostras variaram entre 215 mm para os materiais que são utilizados na linha leve, e

430 mm para os materiais utilizados na linha pesada. No tribômetro os diâmetros variaram entre 13 mm para amostras de revestimento, e 74 mm para as amostras da placa de pressão.

A figura 10 apresenta a correlação da taxa de desgaste dos revestimentos, que foram submetidos a ensaios no tribômetro e dinamômetro.

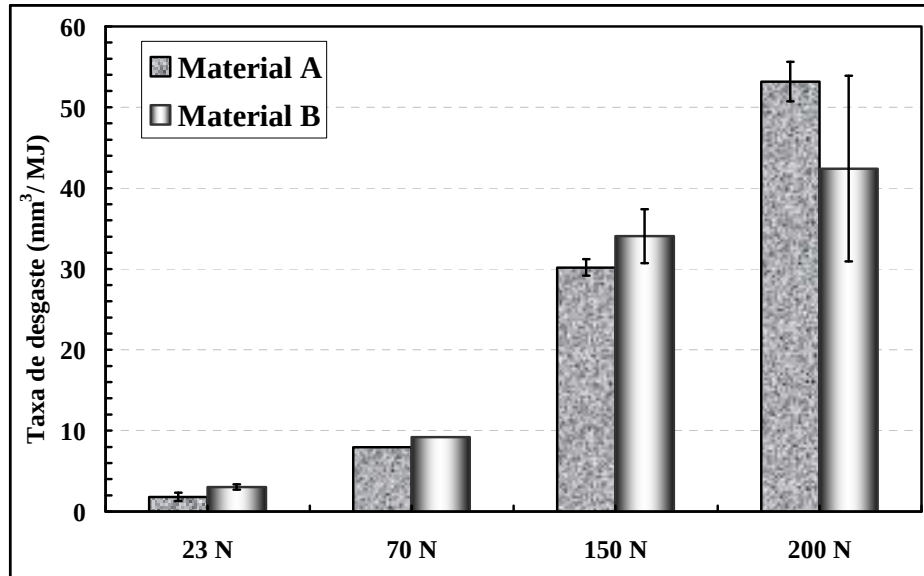


Figura 9: Comportamento da taxa de desgaste dos revestimentos para as diferentes forças normais aplicadas.

Tabela 3: Correlação parâmetros laboratoriais utilizados em ambos os testes.

	Dinamômetro Inercial	Tribômetro
Velocidade angular [rpm]	1500	750
Potência elétrica [CV]	50	3,15
Energia [kJ]	38	1825
Energia Específica [J/cm²]	109	160
Amostra (mm)	$\phi=215$	$\phi=13$
Carga [N]	4000	200
Tempo de teste [h]	240	3

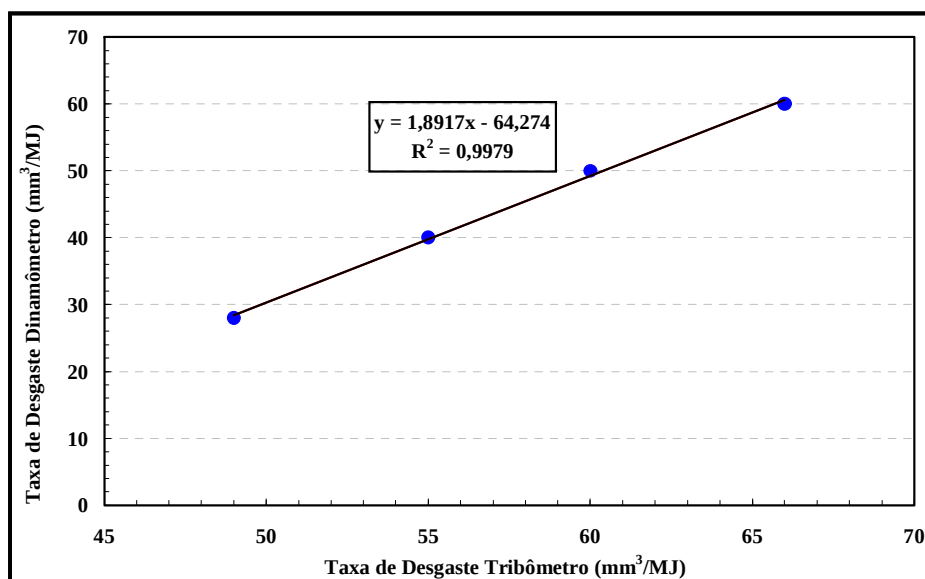


Figura 10: Correlação entre a taxa de desgaste dos testes tribológicos realizados no tribômetro e os testes tribológicos realizados no dinamômetro.

Observa-se na figura 10 que a equação da reta da regressão linear apresenta um coeficiente de correlação muito próximo de 1, mostrando que há uma forte correlação entre os valores da taxa de desgaste obtidos no tribômetro com os valores da taxa de desgaste obtidos no dinamômetro.

Os resultados apresentados mostraram que ensaios no tribômetro na configuração pino disco além de reproduzir mecanismos de desgastes similares aos observados em campo, através da metodologia desenvolvida também simula o mesmo comportamento da taxa de desgaste. Além de reduzir o tempo de teste de até 10 dias no dinamômetro para 3 horas no tribômetro, reduz o custo dos testes, por utilizar protótipos mais simplificados e de fácil confecção.

4. REFERÊNCIAS

- Czichos H., 1983, “ Friction and Wear of Materials, Construction Elements and Constructions; Cause, Analyses, Optimisation”, Ed. W. J. Bartz, Tribology International, Vol. 16, Issue 2, pag. 119.
- Ost, W., Beats De, P., Degrieck, J., 2001, “The tribological behaviour of paper friction plates for wet clutch application investigated on SAE#II and pin-on-disk test rigs”, Wear, Vol. 249, pp. 361-371.
- Empresa ZFdo Brasil, divisão Sachs.
- Gregori, I.R.S., Zanatto, P.S., Haertel Jr., W., 2005, “Definition on the relationship between clutch facing on vehicle and bench testing using reliability and DOE (Experimental Design for Experiment)”. SAE paper 2005-01-1766.

CORRELATION BETWEEN LABORATORY SMALL SCALE PIN ON DISC AND FULL SCALE BENCH TESTS OF DRY CLUTCHES

Fernandes, G. P.

De Mello, J. D. B.

Uberlândia Federal University
gpfernandes@mecanica.ufu.br

Gregori, I. R. S.

Zanotto, P. S.

Haertel Jr., W.

ZF do Brasil, Sachs division

Abstract: *The development of friction materials requires a large number of tests to understand their tribological behaviour. Such development is highly empirical and involves a large number of repetitions for the tests. Durability tests using dynamometers are traditionally used to measure the wear life of the friction material used in automotive clutches. However, these tests are long, relatively expensive and complex, because they require the construction of prototypes. This paper aims to find a correlation between the wear rates for the friction materials used in dry automotive clutches measured via durability tests and using a pin-on-disk sliding tribometer. Pin-on-disk sliding tests are shorter, simpler and cheaper.*

Table 1 show the variables used in both tests. The most significant differences between the two tests are the normal load, the electric power and the test duration time.

After the optimization of the tribological parameters, pin-on-disk sliding tests under constant normal load using a pin diameter of 13 mm reproduced with remarkable accuracy the traditional durability tests. Figure 1 shows a strong correlation between the tests, although in the durability tests the load was cyclic and the diameter of the component was 200 mm.

Keywords: *automotive clutch, friction material, sliding contact, pin-on-disc, bench test.*