

# ESTUDO DAS CARACTERÍSTICAS DE EXTREMA-PRESSÃO E DE DESGASTE DE ÓLEOS ADITIVOS, ENSAIADOS NA MÁQUINA DE QUATRO-ESFERAS

Martins, I; Ferreira, L. A.

Departamento de Engenharia Mecânica e Gestão Industrial  
Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto - Portugal



## RESUMO

*Neste trabalho são estudadas as características de extrema-pressão e de desgaste de óleos aditivados. Para fazer este estudo foi utilizada uma máquina de quatro-esferas. O método de ensaio seguiu a norma IP 239/85.*

*Como parâmetros deste estudo estiveram a percentagem de aditivo no óleo, a temperatura do óleo no início dos ensaios e a influência da viscosidade.*

*São apresentados os resultados mais significativos dos ensaios realizados e feita uma análise crítica desses resultados.*

## INTRODUÇÃO

O objectivo principal deste estudo é o de avaliar as propriedades de extrema-pressão e anti-desgaste de óleos lubrificantes aplicados às engrenagens industriais.

Entre os componentes mecânicos mais solicitados na engenharia mecânica moderna, aparecem aqueles que estão submetidos a taxas de escorregamento importantes, aliados na maior parte das situações a cargas normais elevadas. Contam-se entre esses componentes mecânicos as transmissões mecânicas, em que os dentes das rodas dentadas sofrem solicitações cada vez mais severas.

Para estudar este tipo de contacto torna-se necessário conhecer com precisão as condições mecânicas de funcionamento do contacto, nomeadamente as que dizem respeito à acção do lubrificante e as avarias possíveis nesse contacto (Enthoven & all).

Tendo em vista atingir este objectivo foi necessário testar tribologicamente os óleos lubrificantes seleccionados, através de um estudo caracterizado pela variação da:

viscosidade, percentagem de aditivo e temperatura inicial do óleo.

Para desenvolver este estudo foram definidas as variáveis operacionais (viscosidade dos óleos, percentagem de aditivo no óleo, temperatura inicial do banho de óleo) e os parâmetros de interacção (tipo de contacto, regime de lubrificação, tipo de escorregamento).

Como método de ensaio foi utilizada a máquina de quatro-esferas, cujo esquema de montagem se pode ver na figura 1, e seguida a norma IP 239/85.

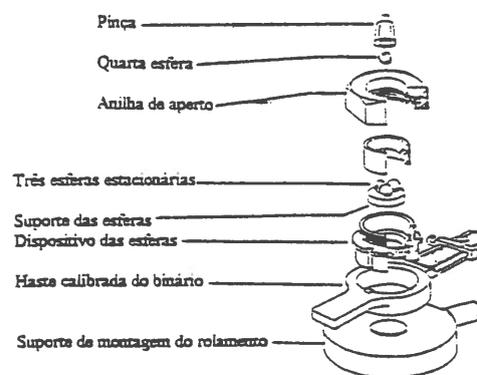


Figura 1: Montagem Experimental

A máquina de quatro-esferas é uma máquina clássica de ensaio de lubrificantes, sendo conhecidas as suas vantagens e limitações.

Entre as suas vantagens contam-se a rapidez de ensaio e a existência de uma literatura abundante de referência. Como desvantagens, podemos citar a exagerada severidade do contacto, com escorregamento puro e cargas muito elevadas e a natureza geométrica e cinemática do contacto, que não reproduz os contactos reais existentes nos contactos elastohidrodinâmicos, tais como os existentes no contacto entre os dentes de uma engrenagem ou entre os anéis e os corpos rolantes das chumaceiras de rolamentos.

Ainda assim, este método de ensaio tem-se revelado bastante útil para comparar a capacidade de lubrificação de lubrificantes, submetidos a condições de ensaio semelhantes.

## CRITÉRIO DO MÉTODO

O critério do método é baseado na avaliação da qualidade anti-desgaste do lubrificante, caracterizada pelo tamanho da cratera deixada na esfera e da qualidade de extrema-pressão, dada pela carga de rotura.

Como especificações padrão do tipo de ensaios realizados temos:

- rotação 150 rpm
- gama de carga de 6 até 800 Kg
- carga inicial 40 Kg
- gama de temperatura até 200°C
- tempo de ensaio 60 ± 0,2 s
- esferas de rolamentos  $\phi = 12,7\text{mm}$ , aço 100 Cr 6
- quantidade de lubrificante 12 - 13 ml

Na figura 2 pode-se observar uma curva típica da evolução de um ensaio.

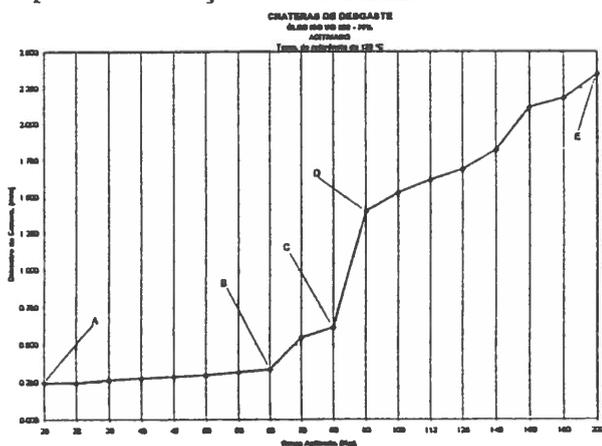


Figura 2: Curva Típica de Desgaste "versus" Carga Aplicada

Na curva apresentada distinguem-se as seguintes fases:

- A até B, correspondente à fase de desgaste sem gripagem;
- B até C, correspondente à fase de atraso à gripagem;
- C até D, fase de gripagem imediata;
- D até E, fase de gripagem imediata, com soldadura das esferas.

O ponto E poderá coincidir com a soldadura total das esferas.

Mediante a leitura do gráfico obtido no ensaio, podem ser conhecidos os seguintes parâmetros:

- carga de início de gripagem, ISL;
- carga de gripagem com atraso de 2,5 s, 2,5 SDL;
- carga de gripagem imediata, SL;
- carga de soldadura, WL;
- força de atrito no contacto e coeficiente de atrito;
- carga média de Hertz, MHL;
- parâmetro temperatura "flash", FTP.

É medido também o diâmetro da cratera das esferas no fim de cada ensaio.

As esferas utilizadas são esferas de rolamento, em aço 100 Cr 6, como já foi dito, cuja topografia não tem influência nos resultados obtidos, porque as suas superfícies têm uma rugosidade idêntica. A sua dureza varia entre 58 e 66 HRC.

## SINOPSE DOS ENSAIOS

Neste estudo foram usados óleos lubrificantes comerciais de origem mineral, para engrenagens industriais e respectivos óleos base (Martins, 1995).

O aditivo utilizado é um "package" comercial à base enxofre e fósforo.

A metodologia de ensaio, consistiu no seguinte procedimento:

- realização de ensaios com variação da percentagem em volume de óleo aditivados, isto é, 0% de óleo aditivado 5%, 25%, 50%, 75% e 100%, para estudar a influência da quantidade de aditivo utilizado.
- realização de ensaios com 75% de óleos aditivado e 25% de óleo base a diferentes temperaturas, isto é, temperatura ambiente, 60°C, 90°C, 120°C e 150°C.

- realização de ensaios com óleos de viscosidade de diferente respectivamente ISO VG 68, ISO VG 220 e ISO VG 680, para estudar a influência da viscosidade. Também neste caso se utilizaram óleos com 75% do óleo comercial aditivado e 25% de óleo base.

As principais propriedades dos óleos utilizados podem-se ver na Tabela I.

**Tabela I**

Graduação ISO VG	68	220	680
Massa volúmica a 15°C, (Kg/m <sup>3</sup> )	0,888	0,900	0,921
Viscosidade a 40 °C, (cSt)	68	220	680
Viscosidade a 100 °C, (cSt)	8,9	23,3	36,0

**RESULTADOS OBTIDOS**

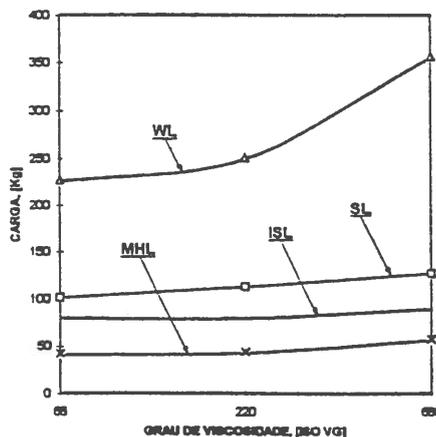
Influência do grau de viscosidade:

- Abaixo do valor de "ISL" o desgaste é sensivelmente igual para qualquer grau de viscosidade dos óleos ensaiados, porque o diâmetro das crateras tem sensivelmente o mesmo valor;

**Tabela II**

ISO VG	ISL	Dm	SL	WL	MHL
68	80	0,395	100	225	41,148
220	80	0,343	112	250	43,184
680	90	0,373	126	355	56,683
	[Kg]	[mm]	[Kg]	[Kg]	[Kg]

- Como se pode ver pela análise da Tabela II e pela Figura 3, as cargas "ISL", "SL" e "WL" são crescentes com o aumento do grau de viscosidade;



**Figura 3:** Carga "versus" Grau de Viscosidade

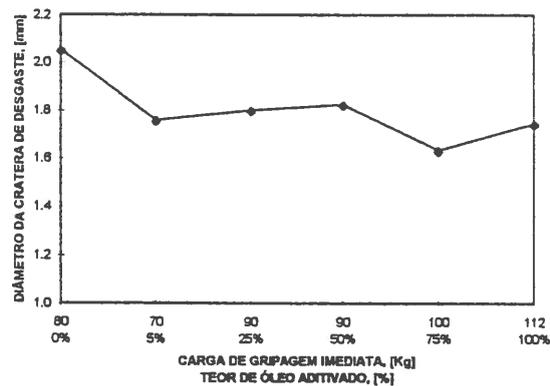
- A característica de extrema-pressão é melhorada com o aumento da viscosidade, devido ao retardamento na degradação das superfícies.

Influência da percentagem de aditivo:

- A capacidade de lubrificação de extrema-pressão dos óleos ensaiados tende a melhorar para percentagens de óleo aditivado acima de 25%, como se pode verificar pela análise da Tabela III e Figura 4 e 5, para os valores das cargas de "ISL", "SL, e "MHL".

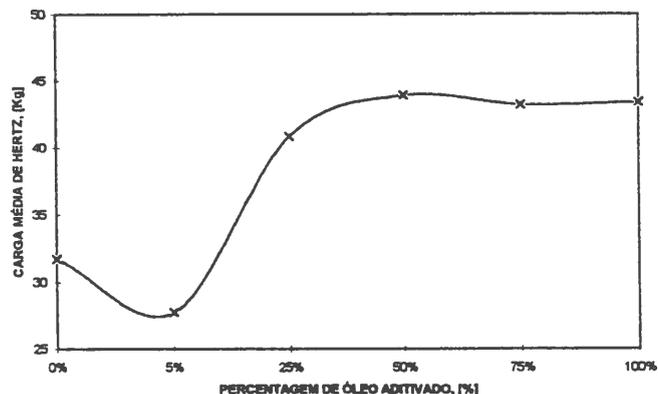
**Tabela III**

ÓLEO	ISL	SDL	WL	FTP
0%	56	63	140	251
5%	56	63	160	242
25%	70	80	225	333
50%	70	80	225	340
75%	80	90	250	357
100%	80	90	280	338
	[Kg]	[Kg]	[Kg]	[Kg/mm <sup>1,4</sup> ]



**Figura 4:** Desgaste "versus" Teor de Óleo Aditivado

- A resposta à gripagem é melhorada a partir da utilização de 25% de óleo aditivado, como se pode ver pela análise dos valores das cargas de "ISL", "SDL" e "WL".



**Figura 5:** Carga Média de Hertz "versus" Percentagem de Óleo Aditivado

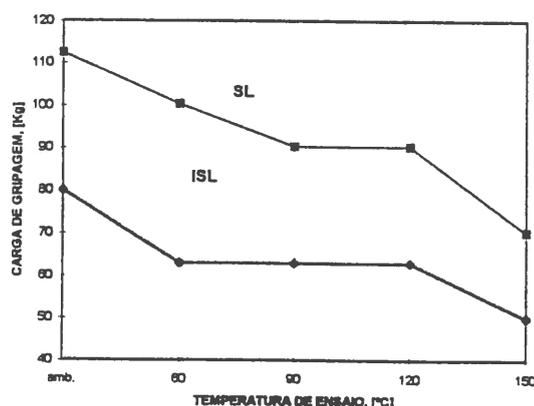
Influência da temperatura inicial do banho de óleo:

- Independentemente da temperatura inicial, o desgaste é sensivelmente igual para a fase "ISL", apesar dos seus valores decrescerem com o aumento da temperatura. Isto significa que a rotura dos filmes protectores ocorre a valores de carga cada vez menores, para temperaturas cada vez mais elevadas.
- A capacidade de lubrificação de extrema-pressão dos óleos baixa à medida que a temperatura inicial do óleo aumenta, como se pode verificar pela análise dos valores de "ISL" e "SL", na tabela IV.

**Tabela IV**

Temp <sup>a</sup>	ISL	SL	MHL
Amb.	80	112	43,184
60°C	63	100	38,991
90°C	63	90	38,580
120°C	63	90	37,012
150°C	50	70	32,708
	[Kg]	[Kg]	[Kg]

- A partir de 120°C e pela avaliação dos valores de "SL" e "ISL", Figura 6, dá-se um aumento significativo do desgaste nas esferas. Uma análise visual das mesmas sugere a existência de forte adesão e grande oxidação, passando-se de um processo de desprendimento de partículas metálicas, para um processo de arranque de apara.



**Figura 6:** Carga de Gripagem "versus" Temperatura de Ensaio

## ANÁLISE CRÍTICA DOS RESULTADOS

Da análise feita ao desgaste observado nas esferas ensaiadas, dependendo da

intensidade de carga aplicada temos situações de contacto elasto-hidrodinâmico puro, com completa separação das superfícies mas, também, para outras condições de carga aplicada, viscosidade e temperatura temos o regime de lubrificação mista e ainda o regime de lubrificação limite.

É nestes dois últimos regimes de lubrificação, aliás, que a presença do aditivo E.P. se faz sentir de forma mais significativa para proteger as superfícies dos sólidos em escorregamento.

O estudo experimental consistiu em primeiro lugar, nos ensaios com o óleo lubrificante para engrenagens industriais, de graduação ISO VG 220, testado com diferentes percentagens de óleo aditivado, nomeadamente, a 0%, 5%, 25%, 50%, 75% e 100%.

Da análise feita aos resultados obtidos dos ensaios com os óleos lubrificantes em que a percentagem de aditivação foi diversa, podemos concluir o seguinte:

- abaixo de 25% de óleo aditivado, a resposta do óleo lubrificante ensaiado às solicitações tribológicas revelou alguma insuficiência;
- a partir de 25% de óleo aditivado, a resposta do óleo lubrificante ensaiado às solicitações tribológicas é melhorada de forma notória;
- essas melhorias no comportamento tribológico do óleo lubrificante ensaiado é mais sensível a partir de 50% de óleo aditivado.

A segunda vertente deste estudo baseia-se na análise do comportamento do óleo lubrificante no contacto, quando se faz variar a sua temperatura inicial ou de referência. Deste modo, foi ensaiado o óleo lubrificante para engrenagens industriais, de graduação ISO VG 220 a 75% de óleo aditivado, submetido as seguintes temperaturas de referência: ambiente, 60°C, 90°C, 120°C e 150°C.

Feitos os ensaios com este óleo lubrificante para diferentes temperaturas de referência, podemos concluir que a temperatura influencia de modo bastante acentuado o seu comportamento tribológico. Na sequência destes ensaios, constatamos que a eficácia tribológica do óleo lubrificante ensaiado, decresce entre os 120°C e os 150°C.

Neste intervalo de temperaturas a viscosidade do óleo baixa

significativamente, podendo assim ser atingida a espessura crítica de filme e, conseqüentemente, ocorrer a gripagem imediata dos órgãos mecânicos em escorregamento.

Particularmente neste grupo de ensaios, verificamos para cargas correspondentes a "ISL" (ainda que de valores diferentes) o diâmetro médio das crateras de desgaste tem sensivelmente o mesmo valor, indistintamente da temperatura inicial de ensaio. Ou seja, com o aumento da temperatura inicial de ensaio a sollicitação no contacto torna-se mais severa, pois dá-se um aumento da temperatura no contacto que promove o abaixamento da viscosidade e, mais rapidamente é atingida a espessura crítica do filme lubrificante. Por assim ser, a gripagem do contacto acontece para valores de carga relativamente mais baixo à medida que sobe a temperatura de referência mas, sempre ao mesmo nível de desgaste das esferas.

Uma terceira vertente deste estudo é a análise do efeito da viscosidade dos óleos lubrificantes ensaiados sobre o fenómeno do atrito e suas conseqüências, em corpos sujeitos ao escorregamento puro. Neste sentido, foram feitos ensaios aos óleos lubrificantes para engrenagens industriais, de graduação ISO VG 68, 220 e 680.

Todos os ensaios foram realizados à temperatura ambiente e com 75% de óleo aditivado.

Assim sendo, para este conjunto de ensaios concluímos que, genericamente, o comportamento tribológico dos contactos em escorregamento puro são melhorados quando a viscosidade dos óleos lubrificantes ensaiados é aumentada.

Pode-se inferir, também que tais melhorias são bastante notórias a partir do grau ISO VG 220.

Importa realçar novamente que, neste campo de análise, temos de comparar as mesmas grandezas sob condições de sollicitação semelhantes, visto que a máquina de quatro-esferas só nos fornece dados que podem apenas ser avaliados de modo qualitativo.

Posto isto, podemos inferir que as três variáveis estudadas têm um efeito relevante nas avarias dos contactos, exigindo-se na prática uma atenção redobrada na selecção dos óleos lubrificantes destinados as engrenagens industriais, bem assim como o seu permanente acompanhamento em serviço.

## CONCLUSÕES

Deste estudo tiram-se como conclusões fundamentais:

- a percentagem de aditivo no óleo base é importante no seu desempenho em contactos elastohidrodinâmicos;
- com o aumento da temperatura do óleo no início dos ensaios, diminui a capacidade de lubrificação do óleo, sobretudo, no caso presente, a partir de 120°C;
- com o aumento da viscosidade do óleo base aumenta a capacidade de lubrificação nas condições de ensaio.

## AGRADECIMENTOS

Os autores desejam agradecer à PETROGAL, S.A., toda a colaboração prestada.

## BIBLIOGRAFIA

- IP 239/85 (1992) - "Determination of extreme pressure and antiwear properties of lubricants - Four ball machine".
- Martins, I., Tese de Mestrado, "Estudo das Características de Extrema Pressão e de Desgaste de Óleos Lubrificantes Aditivados, Ensaiados na Máquina de Quatro-Esferas", FEUP, 1995.
- Jackson, A.; Webster, M. N.; Enthoven, J. C., "The effect of lubricant traction on scuffing", STLE Tribol. Trans., vol. 37 (1994), 2, 387-395.

