

CAPÍTULO 1 - Introdução

Interações superficiais ditam ou controlam o desempenho de grande parte dos dispositivos mecânicos, sendo que uma grande parte desses operam sob deslizamento lubrificado. Nesse caso, a função essencial do lubrificante é a diminuição do atrito e do desgaste dos elementos deslizantes. A presença de lubrificante na interface de contato em camadas com espessura até mesmo de ordem molecular é capaz de alterar as respostas tribológicas do sistema [PERSSON, 1998].

PERSSON (1999) observou que o atrito no deslizamento é um dos problemas de relevante importância prática. Esse autor comenta que perdas monetárias nos EUA resultantes da ignorância da tribologia chegam a 6% do produto nacional bruto, ou cerca de US\$ 420 bilhões. A habilidade em se produzir superfícies duráveis de baixo atrito e fluidos lubrificantes eficientes se tornou um fator importante, por exemplo, na miniaturização de componentes em muitos dispositivos tecnológicos. Entretanto, apesar disso, muitos aspectos do atrito no deslizamento ainda continuam não bem entendidos.

Com o avanço no entendimento da interação óleo-superfície, é possível que possam ser obtidas alternativas mais claras ou melhor fundamentadas, em termos do desenvolvimento de lubrificantes, materiais e soluções alternativas para fins tribológicos. Na prática, é comum a abordagem experimental para o desenvolvimento e estudo dessas alternativas, onde o sistema mecânico em questão é simulado em laboratório. Em geral, procedimentos com essa abordagem adotam os seguintes passos:

- Caracterização das solicitações reais. Nesse caso, há que se contar com a experiência prática.
- Entendimento e identificação das principais variáveis que afetam o desempenho do tribossistema, este composto pelos pares em contato e pelo lubrificante, como o carregamento mecânico (carga, velocidade, temperatura, dinâmica), os materiais e o acabamento superficial. Para isso, normalmente conta-se com a experiência e com resultados da literatura, estes em geral obtidos a partir de ensaios em tribômetros convencionais, como os do tipo pino-sobre-disco.
- Realização de ensaios em condições próximas do tribossistema real, ou ao menos considerando as variáveis de maior relevância. Este item leva a um problema de caráter econômico, pois os ensaios que possuem maior credibilidade são aqueles realizados em campo ou em sistemas cujas condições

se aproximam quase que totalmente das condições reais. Tais tipos de ensaios envolvem custo alto e tempos longos.

A abordagem experimental descrita acima evidencia um ponto crítico, que é a identificação das variáveis de maior relevância para o desempenho tribológico do sistema em questão. Para minimizar os custos de uma simulação laboratorial, é comum elaborar soluções tentativas, de modo a simplificar o sistema mecânico na simulação. Essa simplificação envolve um risco na escolha das variáveis de maior relevância de modo fundamentalmente consistente e que caracterize adequadamente o desempenho tribológico do sistema, como na prática. A busca do entendimento e identificação das principais variáveis e do modo como afetam o desempenho do tribossistema são realizados em grande escala, através de tribômetros convencionais. Entretanto, nota-se que, em estudos com sistemas lubrificados, aparentemente são adotadas abordagens com avaliação pouco crítica quanto à similaridade do tipo de lubrificação do tribômetro com o do sistema mecânico real. Um fato a ser considerado é possivelmente a orientação dos estudos experimentais para o desempenho tribológico dos materiais em si, com o que o exame da adequabilidade do tribossistema estabelecido pelo tribômetro a uma situação prática é menos considerado.

No estudo tribológico de sistemas deslizantes lubrificados, as variáveis, sejam elas materiais, operacionais ou sistêmicas, devem provocar alterações no desempenho da lubrificação na interface do contato, o que, conseqüentemente, influencia as respostas de desgaste e atrito. Abordagens voltadas ao entendimento das influências das variáveis que afetam o desempenho do tribossistema, especificamente daquelas que afetam o desempenho da lubrificação, são necessárias. Em especial, acredita-se que estudos de caracterização de variáveis que afetam o desempenho da lubrificação de tribômetros convencionais têm importância para o avanço no entendimento da adequabilidade tribológica dos resultados laboratoriais a uma situação prática. Entre tais variáveis, podem ser citados:

- O carregamento mecânico (carga, velocidade, temperatura, dinâmica do movimento).
- As propriedades dos materiais e o acabamento superficial do par, e as características do lubrificante.

Informações da literatura mostram que a natureza química do lubrificante altera a resposta de atrito do sistema. Um exemplo é mencionado por BOWDEN e TABOR (1964), das experiências realizadas por Hardy, com depósito de uma monocamada de lubrificante sobre uma superfície de vidro, com o atrito medido utilizando-se uma esfera de aço. Desses experimentos, foi concluído que quanto maior o número de átomos de carbono da cadeia molecular principal, menor foi o coeficiente de atrito. Outros trabalhos descrevem respostas de desgaste encontradas em ensaios experimentais que comprovam os diferentes desempenhos com diferentes compostos lubrificantes. Um exemplo é o trabalho de AKAGAKI e KATO (1991), que elaboraram mapas de desgaste (reproduzidos Figura 1-1) de ensaios pino-contra-disco em condições lubrificadas com um mesmo óleo básico (alquilnaftaleno, viscosidade 28-35 mm²/s a 38 °C) e dois aditivos lubrificantes. Esses mapas mostram regiões de predominância de modos de desgaste em função da velocidade de deslizamento e da pressão de contato, revelando uma dependência do desgaste diferente com cada composto lubrificante.

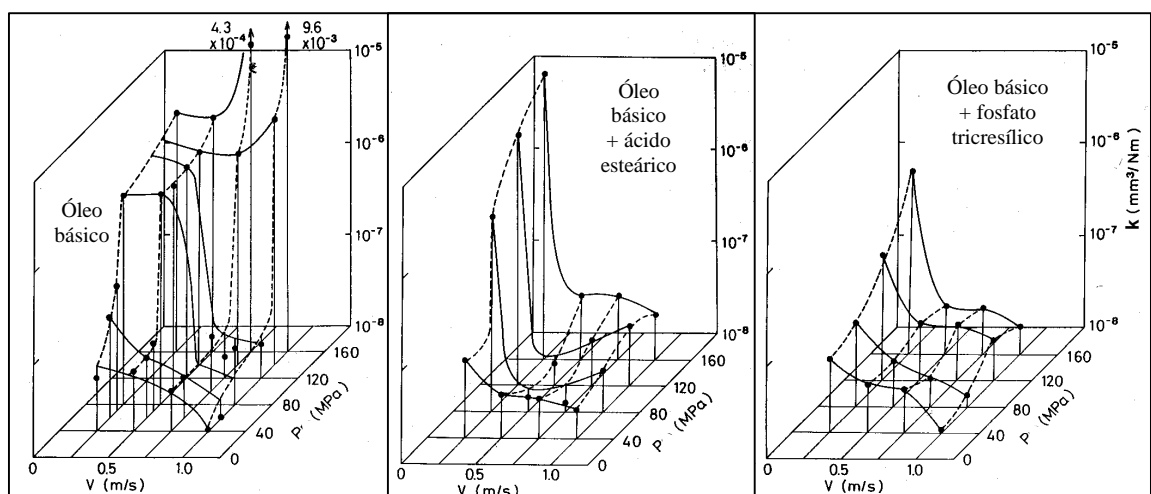


Figura 1-1: Mapas de desgaste de ensaios pino-sobre-disco, em função de velocidade e pressão normal, com diferentes lubrificantes, obtidos por AKAGAKI e KATO (1991). k : coeficiente dimensional de desgaste (conforme Eq. 2-15).

Por outro lado, um outro fator a ser considerado no desempenho da lubrificação é a contaminação do lubrificante por substância abrasiva. O desgaste abrasivo lubrificado constitui um foco de interesse para o estudo fundamental do desgaste lubrificado, e vem de encontro à preocupação dos estudiosos de componentes de motores de combustão interna, principalmente à medida em que surgem os motores com

sistema de recirculação de gás e a conseqüente influência da fuligem no desgaste, de característica predominantemente abrasiva [GAUTAM et al., 1999].

Está claro que os sistemas tribológicos presentes em sistemas reais são em geral complexos por envolverem um grande número de variáveis, como pode ser observado por exemplo nos diversos pares lubrificadas encontrados nos motores de combustão interna [BAYER, 1994]. Esse fato revela complexidade na construção de modelos matemáticos para explicar o desgaste e o atrito no tribossistema lubrificado. PRIEST, DOWSON e TAYLOR (1999) construíram um modelo numérico que envolve a lubrificação, o atrito e o desgaste, no caso clássico do tribossistema formado pelo anel de pistão e cilindro, e mencionam que incorporar a variável desgaste no modelo de atrito e lubrificação eleva sobremaneira o grau de complexidade do mesmo. Esses pesquisadores utilizaram a equação de Archard (mostrado na Eq. 2-15) no modelo para a parcela de desgaste. Essa mesma equação é utilizada por TOMANIK (2000), que desenvolveu um modelo computacional para a predição do desgaste do anel de pistão. Na literatura, é observado que grande parte das investigações relacionadas com esse tribossistema trata dos assuntos desgaste, atrito e lubrificação separadamente. Em geral, conceitos relacionados à dinâmica do movimento e à lubrificação são abordados através de modelos matemáticos utilizando a teoria de Reynolds e a mecânica do contato, e as respostas de desgaste e atrito dos materiais metálicos e do lubrificante são em geral investigadas através de ensaios experimentais. Estes, na maioria das vezes, são realizados em condições severas, ou seja, com desgaste produzido de forma acelerada, onde os mecanismos de interação entre as superfícies do par em questão são mais severos dos que os encontrados em uma situação prática. Um ponto crítico a ser ressaltado nesse caso é o fato de que, com a produção do desgaste de maneira acelerada no ensaio, ignora-se conceitos relacionados ao estabelecimento de diferentes fenômenos com diferentes modos de lubrificação.

As respostas de desgaste e de atrito do tribossistema dependem do modo ou regime de lubrificação atuante, pois os mecanismos de interação das superfícies se alteram com os diferentes regimes, alterando os fenômenos do contato. Os modelos que relacionam a lubrificação com a ocorrência do atrito e do desgaste mais utilizados se baseiam basicamente em determinar faixas de valores da relação entre a viscosidade do óleo, a velocidade de deslizamento e a carga normal (fator $\eta V/W$), para explicar a

ocorrência do desgaste e do atrito. No caso de superfícies rugosas, procura-se determinar faixas de valores da relação entre a espessura do filme e a rugosidade das superfícies (conhecida com fator de filme λ , conforme a Eq. 2-12) para correlacionar com as respostas de desgaste e atrito. Tais abordagens são consideradas controversas, pois, em geral, não explicam os efeitos microscópicos localizados em regiões do contato e que podem vir a influenciar o desgaste e o atrito (CANN et al., 1994).

Para o estudo do desempenho da lubrificação na interface do contato, entende-se que deve-se procurar conhecer e caracterizar a interação lubrificante-superfícies, tanto macro como microscopicamente. As respostas de desgaste e atrito do tribossistema devem depender dessa interação. A lubrificação está relacionada à capacidade do lubrificante de criar uma interface no contato de modo a separar física ou quimicamente as superfícies metálicas e, desse modo, interferir no atrito e no desgaste. Dentre os fenômenos que determinam a atuação do lubrificante sobre a superfície, tem-se:

- Reações mecano-químicas: formação de filmes triboquimicamente adsorvidos – particularmente no regime de lubrificação limítrofe.
- Reações dinâmicas: variação da espessura do filme de óleo e variações de caráter mecânico, ou seja, de propriedades de deformação dos materiais – particularmente nos regimes de lubrificação hidrodinâmica e elastohidrodinâmica.

Para estudar esses fenômenos, é necessário:

- Caracterizar as respostas de desgaste e atrito resultantes de ensaios sob condições tais que sejam potenciais para interferir no desempenho da lubrificação.
- Caracterizar os regimes de lubrificação envolvidos, quanto à formação de filmes adsorvidos, que podem ocorrer no regime de lubrificação limite, ou à mudança do comportamento mecânico dos materiais envolvidos, como deformações elasto-plásticas dos sólidos em contato, que podem ocorrer no regime elastohidrodinâmico.

Com essas observações, esta Tese pretende estudar as respostas tribológicas, ou o comportamento do atrito e do desgaste, resultantes do deslizamento de amostras metálicas em sistemas com óleos lubrificantes com constituição simples, para se verificar as influências da presença de aditivos, de contaminantes abrasivos e do movimento relativo.

Entende-se que o presente trabalho oferece uma contribuição no âmbito das investigações dos fenômenos envolvidos nos sistemas lubrificados, no que se refere ao melhor entendimento do contato deslizante lubrificado estabelecido em tribômetros convencionais. A abordagem do estudo através de um sistema bem mais simples do que um tribossistema real tem a vantagem de se ter um sistema melhor controlado e, portanto, com possibilidades de que as variáveis de influência nas respostas de desgaste e atrito possam ser melhor caracterizadas e entendidas.