

ABORDAGEM GLOBAL DO ESTUDO DO PROCESSO ABRASIVO

Parte 1: Considerações Sobre os Métodos Abrasométricos(1)

JOSÉ DANIEL BIASOLI DE MELLO(2)

O autor apresenta os diferentes métodos de ensaios abrasométricos existentes para caracterizar o comportamento em abrasão de materiais metálicos. Para os principais testes são apresentados os princípios de funcionamento, configuração mecânica reproduzida e domínio de aplicação. São ainda analisados comparativamente fatores tais como: facilidade de operação, tempo de ensaio, facilidade de preparação de amostra, reprodutibilidade, etc.

-
- (1) Contribuição Técnica a ser apresentada no I Seminário sobre Materiais Resistentes ao Desgaste - São Paulo, Setembro de 1989.
 - (2) Membro da ABM, Prof. Titular, Laboratório de Engenharia de Materiais, Departamento de Ciências Físicas, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia - MG.

1. INTRODUÇÃO

O desgaste abrasivo é um fenômeno interfacial complexo de difícil reprodução em laboratório e modelização. Nos últimos anos, a melhor compreensão dos fatores fundamentais intervenientes no processo abrasivo motivaram um avanço considerável nesta área de conhecimento. A evolução dos modelos teóricos e a maior precisão da caracterização experimental fazem com que estes dois campos, inicialmente isolados, tendam cada vez mais a se aproximarem. No estado atual do conhecimento, na ausência de leis gerais estabelecidas cientificamente, a abordagem experimental é ainda uma ferramenta básica para o estudo do fenômeno (1). Da mesma forma, o empirismo constitui, ainda, um guia válido para a seleção e a especificação de materiais. Esta metodologia empírica é consequência da dicotomia existente entre os ensaios de laboratório e as condições reais de utilização.

Muito embora, o teste nas condições reais de utilização seja obviamente aquele que melhor caracterize o processo abrasivo, esta metodologia apresenta uma série de desvantagens, das quais as mais importantes são (2): a - grande perda de tempo, b - alto custo, c - método muito laborioso, d - dificuldades em se isolar o efeito de uma variável e dificuldades em variar-se os parâmetros envolvidos, f - modificações do sistema tribológico ao longo do teste, g - a falta de conhecimento das condições de operação.

Assim, torna-se evidentemente necessário simular-se estas condições em laboratório. Os resultados obtidos através destes ensaios não são diretamente aplicáveis às condições reais mas se o método foi adaptado convenientemente pode-se estabelecer uma correlação entre o comportamento em laboratório e o encontrado na prática, desde que as condições operacionais permaneçam relativamente estáveis (3). Portanto, para que se possa simular as condições

reais em laboratório, torna-se necessário definir-se os diferentes tipos de desgaste.

O comitê científico da O.E.C.D. ("Organization for Economic Cooperation and Development") da CEE define o desgaste como sendo a "perda progressiva de matéria da superfície de uma peça em consequência do movimento relativo de um outro corpo sobre a mesma (4). Devido à natureza complexa do fenômeno é conveniente subdividi-lo em categorias. As mais importantes são: Abrasão, Adesão, Erosão, Corrosão, Fadiga de Contato, etc..

Dentre todas as categorias mencionadas, o desgaste abrasivo parece como o mais importante, de uma parte por ser o mais destrutivo deles e de outra parte por ser o processo mais encontrado na prática, sendo a responsável por 50% dos casos de falha por desgaste. Seguem-lhe em importância o desgaste adesivo (15%) e erosivo (8%) (5). Estimativas indicam que o processo abrasivo é responsável por perdas econômicas importantes. Estatísticas mostram de 1 a 5% do produto interno bruto (PIB) das nações desenvolvidas é gasto, direta ou indiretamente, pela ação destruidora do desgaste abrasivo. Ressaltamos que muito embora o desgaste abrasivo seja bastante conhecido por seus aspectos negativos (degradação de sistemas), o mesmo apresenta aspectos positivos como por exemplo nos processos de usinagem de materiais frágeis e duros, tais como vidros e cerâmicos.

O desgaste abrasivo é definido, segundo a O.E.C.D. (4), como sendo "a perda da matéria devido ao movimento relativo de duas superfícies e decorrentes da ação de: 1 - asperidades duras em uma das superfícies, ou 2 - partículas abrasivas livres entre as duas superfícies, ou 3 - partículas abrasivas engastadas em uma das superfícies. Esta definição deixa claro que se trata de um processo interfacial complexo, onde a interface apresenta-se como gerador e

reator de fenômenos irreversíveis e evolutivos de difícil caracterização. Neste contexto, a previsão do estado final do sistema é impossível e, a consideração de parâmetros isolados delicada. Assim, deve-se considerar a resistência à abrasão não como uma propriedade intrínseca do material, mas sim como uma consequência do sistema tribológico imposto. Os principais parâmetros que exercem alguma influência sobre o desgaste abrasivo são indicados na figura 1 (6).

O grande número de fatores intervenientes faz com que várias sub-divisões existam e, em consequência, várias são as abordagens possíveis para o estudo do problema. De uma maneira geral o fenômeno pode ser estudado de uma maneira GLOBAL, utilizando-se técnicas abrasométricas, ou LOCAL, cuja técnica essencial é a esclerometria. Trabalhos recentes (7 - 8), mostram o potencial da aplicação da Caracterização Estatística da Morfologia da Superfície que sofreu abrasão no estudo do desgaste por abrasão.

2. CLASSIFICAÇÃO DOS DIFERENTES PROCESSOS ABRASIVOS

Ressalta-se também que devido às diferenças importantes nos diversos tipos de abrasão encontra-se ainda grande dificuldade na sua classificação e inclusive a terminologia não é precisa. Tal imprecisão é devida ao fato de que, para alguns autores, a classificação baseia-se no aspecto da superfície após abrasão. Para outros autores, a mesma baseia-se na natureza dos materiais envolvidos, enquanto que outros pesquisadores a vinculam ao modo de trabalho e ao desempenho dos materiais durante a operação.

No presente artigo apresentaremos a classificação proposta por AVERY (9). Tal classificação baseia-se na configuração mecânica atuante e nos parece a mais adequada para descrever a maior parte dos trabalhos existentes na literatura.

Segundo esta classificação os processos abrasivos podem ser divididos em duas categorias:

- . ABRASÃO À DOIS CORPOS
- . ABRASÃO À TRÊS CORPOS

A abrasão à dois corpos se produz quando partículas abrasivas fixas ou asperidades duras são animadas de movimento relativo em relação à superfície em estudo. A abrasão à três corpos por sua vez representa a interposição de partículas abrasivas livres entre duas superfícies animadas de movimento relativo (figura 2). Ressalta-se que, muito embora os casos de abrasão à 3 corpos sejam mais comumente encontrados, sendo inclusive uma etapa na evolução do processo à 2 corpos, a grande maioria dos estudos dedicados à abrasão reproduzem a configuração à 2 corpos (10).

Rigaut e Pavy em trabalho minucioso (11) afinaram esta análise abordando ainda configurações particulares dentro de cada categoria. A classificação destes autores é mostrada na figura 2.

Para a configuração à 3 corpos estes autores distinguem, figura 2, os casos onde a distância entre as superfícies (D) é da mesma ordem de grandeza da dimensão média do abrasivo (\bar{d}), daqueles onde a distância é consideravelmente maior.

No primeiro caso, ($D \approx \bar{d}$, figura 2d), as duas superfícies estão igualmente sujeitas à abrasão e o comportamento de uma superfície pode afetar o desempenho da outra. A inclusão de partículas abrasivas em uma superfície mole ou sua ancoragem nos defeitos superficiais pode produzir o deslizamento desta e transformar o processo em abrasão à dois corpos. Nesta configuração constata-se a quebra das partículas abrasivas, com consequentes efeitos sobre o processo. Os choques eventuais são transmitidos de forma imediata o que pode causar deteriorações importantes dependendo da configuração

do sistema tribológico imposto.

No segundo caso, ($D > \bar{d}$, figura 2e), as características de uma das superfícies não tem efeito direto sobre sua opositora, e a abrasão pode ocorrer em apenas uma delas e os choques eventuais são grandemente amortecidos por um rearranjo das partículas abrasivas. Pode-se ainda admitir que para cada uma das superfícies consideradas isoladamente não existe diferença fundamental entre a abrasão à três corpos $D > \bar{d}$ e a abrasão à dois corpos com abrasivo livre (figura 2b). Pode-se ainda distinguir, por analogia com a existência de impacto na abrasão a dois corpos, ou seja erosão por partículas sólidas, a existência de impacto na abrasão à três corpos, figura 2e. Esta configuração é específica de certas técnicas de moagem onde a inércia das partes ativas é bastante importante.

Certos autores (12, 14) subdiviram ainda a abrasão à três corpos em diversos grupos, o que nos parece desnecessário. No entanto, é importante ressaltar a importância dos parâmetros tribológicos na caracterização da abrasão e, desta forma, torna-se imperioso considerar todos os fenômenos de desgaste como parte de um sistema tribológico e não como propriedade intrínseca do material. Apenas como exemplo, pode-se citar que a modificação do tipo de abrasivo pode inverter completamente a classificação de ligas resistentes à abrasão (15). O presente estudo não tecerá comentários a respeito do efeito dos diversos parâmetros tribológicos, uma vez que este tipo de análise foi objeto de publicações relativamente recentes, seja para o fenômeno abrasivo de uma forma global [6, 16] seja para o caso específico da abrasão à dois corpos (17) ou à 3 corpos (18). Apenas o fator lubrificação, não tratado nestes artigos, será objeto de destaque. O efeito da lubrificação nos ensaios de abrasão à três corpos ($D = \bar{d}$) foi inicialmente evidenciado por Rabinowickz (19) e mais recentemente confirmado por Szuder (20).

Estes autores mostraram que a taxa de desgaste aumenta com a viscosidade do fluido lubrificante e que o fluido influencia o processo nos seguintes aspectos: serve de suporte às partículas abrasivas garantindo a homogeneidade de sua repartição entre as superfícies antagonistas; impede a dispersão das partículas quando de choques entre elas; facilitam a eliminação dos fragmentos produzidos pela abrasão; favorecem o rolamento das partículas na interface.

Nos parágrafos seguintes serão abordados os princípios fundamentais e as técnicas experimentais utilizadas para a abordagem global do processo abrasivo. A técnica esclerométrica, relativa à abordagem local, foi objeto de artigo recente do autor (21), sendo o efeito de parâmetros operacionais influentes na esclerometria retilínea abordado no presente seminário (22). Os princípios e potencialidades da técnica bem como o desenvolvimento e avaliação de um esclerômetro pendular é objeto de um outro trabalho (23) apresentado neste mesmo evento.

3. ABORDAGEM GLOBAL PARA O ESTUDO DA ABRASÃO

Esta abordagem utiliza a abrasometria como principal técnica de caracterização. A observação por microscopia (ótica ou eletrônica de varredura) é sempre útil e muitas vezes imprescindível para a perfeita compreensão do fenômeno. Nesta abordagem, o sistema é examinado antes e após um teste de abrasão, e as diferenças encontradas são atribuídas ao fenômeno abrasivo (19).

O método gravimétrico interrompido é o mais usual e a taxa de desgaste pode ser expressa de várias maneiras:

- 1 - Diminuição de peso
- 2 - Diminuição de peso em relação ao peso inicial
- 3 - Diminuição volumétrica
- 4 - Comparação com um material de referência, etc.

Este último modo de apresentar os resultados pode induzir erros, uma vez que o mecanismo de abrasão pode ser diferente nos dois materiais (24). No entanto, este método permite detectar a existência de fatores aleatórios que podem falsear um teste (9).

Devido à complexidade do fenômeno, é evidente que não existe um dispositivo universal para o estudo do processo abrasivo. Conseqüentemente, vários abrasômetros foram criados visando reproduzir configurações mecânicas particulares e, portanto, permitir o estudo de domínios específicos. A literatura é extremamente rica neste aspecto, sendo difícil a descrição dos diversos equipamentos, alguns de aplicabilidade bastante restrita. Sumariza-se a seguir as características fundamentais dos equipamentos mais importantes.

. Abrasômetro Tipo Roda de Borracha

É um dos abrasômetros mais antigos, sendo o responsável pela maioria dos dados disponíveis na literatura (12). O dispositivo proposto originalmente por HAWORTH (25) consiste em uma roda revestida de elastômero girando a uma velocidade conhecida. Contra esta roda aplica-se um corpo de prova do material a se estudar. Atualmente duas versões são utilizadas. Estas diferem essencialmente pelo modo de alimentação do fluxo de abrasivo na interface metal-elastômero. Na primeira versão também chamada método úmido, a roda gira no interior de uma mistura água-abrasivo. Palhetas solidárias à roda asseguram a alimentação do abrasivo. No caso da segunda variante, método seco, o fluxo de abrasivo é assegurado, por gravidade, a partir de um reservatório situado sobre o dispositivo. Estas versões são descritas em detalhes na parte III do presente artigo (26)

Neste último caso, o abrasivo é constantemente renovado e uti

lizado uma só vez. Supondo-se o contato hertziano poderá-se calcular vários parâmetros atuantes, e, especialmente, os esforços atuantes sobre cada partícula individualmente. Para o método úmido isto não é possível, uma vez que não se conhece o número de partículas ativas (27). O método seco apresenta no entanto um sério inconveniente: a energia dissipada durante o processo eleva a temperatura do elastômero o que modifica suas características viscoelastoplásticas. Conseqüentemente, as condições reológicas do contato são modificadas durante o teste. Diversos autores (12-13) já assinalaram que a reprodutibilidade do teste depende essencialmente da dureza e da qualidade superficial da borracha. Como características gerais pode-se dizer que as tensões aplicadas são baixas, a reprodutibilidade é boa e os resultados apresentam boa correlação com algumas situações reais, como por exemplo, a movimentação de terra e trabalho do solo (28). Outras características são mostradas na tabela I. Ressalta-se ainda, que para o caso de ligas duras produzidas por metalurgia do pó a roda revestida é substituída por roda em aço, gerando assim tensões elevadas no contato.

. Abrasômetro Tipo Pino - Sobre - Disco

Este equipamento foi utilizado em vários estudos clássicos sobre o processo abrasivo (29-32) e é provavelmente o que mais contribuiu para a compreensão fenomenológica da abrasão. Consiste em aplicar-se, com força conhecida, um corpo de prova cilíndrico sobre um papel abrasivo em movimento. Neste caso o C.P. deverá sempre atuar sobre o papel novo, ou seja, não deverá haver recobrimento dos traços. A parte II do presente artigo mostra detalhes do dispositivo desenvolvido no Laboratório de Engenharia de Materiais da U.F.U. (32-33). MUSCARA E SINOTT (25) contribuíram efetivamente para a consolidação deste teste. De um lado pela eliminação do ca-

râter direcional do teste com conseqüente melhoria da reprodutibilidade e, por outro lado, pelo tratamento estatístico detalhado dos resultados. Este tipo de abrasômetro permite a monitoração e registro dos esforços normais e tangenciais e, portanto, do coeficiente de atrito. Outras características são mostradas pela tabela I. Ressalta-se ainda que várias situações práticas são bem reproduzidas por este teste (12-20).

. Abrasômetro Tipo Vaso de Desgaste (Agitador em uma Suspensão)

É um abrasômetro de fácil construção que apresenta, no entanto, baixa reprodutibilidade. Consiste em fazer girar uma amostra em um recipiente repleto de um meio abrasivo, tabela I. Para evitar o movimento repetitivo sobre a mesma trajetória circular, Li (34) propôs um equipamento dotado de um movimento helicoidal do corpo de prova, eliminando assim, uma das principais causas da baixa reprodutibilidade do teste.

. Abrasômetro Tipo Bico de Projeção

Neste ensaio o corpo de prova é bombardeado por um jato de partículas abrasivas animadas de grande velocidade, tabela I. O fluxo abrasivo pode ou não ser assegurado por um fluido portador. Para a obtenção de grandes velocidades torna-se necessário a utilização de vácuo. Alguns aparelhos sofisticados (35) permitem o estudo simultâneo de abrasão e corrosão.

. Outros Dispositivos

Nesta categoria incluem-se os dispositivos específicos utilizados em aplicações restritas, os ensaios semi-industriais, bem como equipamentos não muito difundidos. Os ensaios semi-industriais, por

exemplo, pequenos moinhos de bolas ou mandíbulas, são longos, onerosos (36) mas apresentam boa reprodutibilidade e correlação com os casos reais (12). O abrasômetro tipo Taber, dois corpos baixa tensão é utilizado exclusivamente para pinturas (37) e polímeros (38).

MADSEN (39) apresenta um novo teste, dois corpos, onde 16 corpos de prova são ensaiados simultaneamente. O ensaio é curto mas relativamente caro, uma vez que necessita de alimentação constante de abrasivo. Este após misturado com água é bombeado para o interior do dispositivo de teste, onde é impulsionado contra as amostras.

RABINOWICZ (19) e AVERY (13) propõem dispositivos, simulando a configuração à três corpos ($D = \bar{d}$ baixas tensões), cuja realização é bastante complicada. Outros autores propõem dispositivos permitindo a análise do efeito de choques (40-41), assim como para o estudo do encruamento superficial e sua interação com o processo abrasivo (42). DE MELLO (17) propõe um abrasômetro tipo três corpos, via úmida ($D = \bar{d}$) de fácil construção e operacionalidade. Este dispositivo é descrito e avaliado na parte II do presente artigo (32). Finalmente, a tabela II sintetiza os diferentes aspectos essenciais dos processos abrasivos correlacionando-os com os casos reais e os meios de ensaios adequados para sua caracterização.

BIBLIOGRAFIA

- (1) - MATHIA, T.; Journal du Frottement Industriel, nº 14; Janeiro 1982; p. 20-26.
- (2) - UETZ, H; SOMMER, K. e KROSRWI, M.; WEAR; 69; 1981; pp 25-41
- (3) - MARATRAY, F; Industrie Minerale, Março 1976, p. 51-59.
- (4) - ROWE, G.; "Friction, Wear and Lubrification-Terms and Definitions" O.E.C.D., Paris, 1966.
- (5) - EYRE, T.S.; Tribology International; 10; 1976; p. 203-212.
- (6) - GAHR, K.H.Z.; Metals Progress, Setembro 1979, p. 46.
- (7) - DE MELLO, J.D.B.; Tese Doutor Engenheiro, ENEEG-INPG;

- Grenoble, França, 1983.
- (8) - DE MELLO, J.D.B.; LOPES, E. e MATHIA T.; Anais do MECON 85; Santa Fé, Argentina; Out. 1985; vol. I, p. 307-317.
 - (9) - AVERY, H.S.; WEAR; 4, 1961, p. 427-449.
 - (10) - MISRA, A e FINNIE, I.; WEAR; 60, 1980, p. 111-121.
 - (11) - RIGAUT, B. e PAVY, J.C.; Rapport Final du Contract CCPR 641991, CETIM; Paris, 1981; p. 76.
 - (12) - BORIK, F.; Metal Engineering Quaterly, 1972, p. 33-39.
 - (13) - AVERY, H.S.; in International Conference on Wear of Materials, Saint Louis USA; ASME; 1977, p. 148-157.
 - (14) - HURRICKS, P.L.; WEAR; 26, 1973, p. 285-304.
 - (15) - GAHR, K.H.Z. e ELDIS, G.T., WEAR; 64, 1980, p. 175-194.
 - (16) - MISRA, A e FINNIE, I.; Trans of ASME, 104, 1982, p. 94-100.
 - (17) - MOORE, M.A.; Metaux, Corrosion, Industrie, 653, 1980, p.1-7.
 - (18) - MISRA, A. e FINNIE, I.; WEAR, 65, 1981, p. 359-373.
 - (19) - RABINOWICKZ, E. "Friction and Wear of Materials" John Willey New York, 1965.
 - (20) - SZUDER, A.; Tese doutor Engenheiro, E.C.L., Lyon 1977.
 - (21) - NOGUEIRA, R.E.F.Q. e DE MELLO, J.D.B.; Anais do 43º Congresso Anual da ABM, Belo Horizonte, Outubro 1988, p. 281-300.
 - (22) - GUZZO, P.L. e DE MELLO, J.D.B.; "Influência de Parâmetros Operacionais em EscJerometria Retilínea", submetido ao 1º Seminário sobre Materiais Resistentes ao Desgaste, ABM/EPUSP, São Paulo, Setembro de 1989.
 - (23) - FRANCO, S.D. e DE MELLO, J.D.B.; "Desenvolvimento e Avaliação de um Esclerômetro Pendular", submetido ao 1º Seminário sobre Materiais Resistentes ao Desgastes, ABM/EPUSP, São Paulo, setembro de 1989.
 - (24) - MUSCARA, J. e SINOTT, M.J.; Metals Engineering Quaterly; Maio 1972; p. 21-32.
 - (25) - HAWORTH, R.D.; Journal of Trans ASM, 41, 1949, p. 819-854.
 - (26) - ZUMPARO, P. Jr.; CORNACHIONI, D.D. e DE MELLO, J.D.B.; "Abordagem Global do Estudo do Processo Abrasivo-Parte III: Projeto, Construção e Avaliação de Abrasômetro Tipo Roda-de-borracha", submetido ao 1º Seminário sobre Materiais Resistentes ao Desgaste, ABM/EPUSP, São Paulo, Setembro de 1989.
 - (27) - AVERY, H.S.; in International Conference on Wear of Materials; USA; ASME; 1981, p. 367-378.
 - (28) - STOLK, D.A.; "Field and Laboratory Abrasion Test" Publication SAE 700690 - Setembro 1970.

- (29) - KHRUSCHOV, M.M.; Proc. Conf. Lubrification and Wear; Londres; Inst. Mech. Eng.; 1957, artigo 46.
- (30) - MULHEARN, T. e SAMUELS, L.E.; Wear; 5, 1962, p. 478-498.
- (31) - RICHARDSON, R.C.D.; Wear; 10, 1967, p. 291-309.
- (32) - RICHARDSON, R.C.D.; Wear; 11, 1968, p. 245-275.
- (33) - FRANCO, S.D., ZUMPARO, P. Jr. e DE MELLO, J.D.B.; "Abordagem Global do Estudo do Processo Abrasivo. part II: Desenvolvimento e Avaliação de Abrasômetro à Dois e Três Corpos": submetido ao 1º Seminário sobre Materiais Resistentes ao Desgaste, ABM/EPUSP, São Paulo, setembro 1989.
- (34) - LI, J.X.; Int. Conf. On Wear of Materials; ASME; USA, 1983, p. 62-66.
- (35) - AUDOUARD, J.P. e VALLIER, G.; in Quatrieme Colloque International de l'Abrasion; Grenoble, França; Maio 1979, trabalho nº 31.
- (36) - BLICHENSBERGER, R.; MADSEU, B.W. e TYLCZACK, J.H., in International Conference on Wear of Materials, Vancouver, Canada; 1985, p. 313-323.
- (37) - NF 3015, 1974.
- (38) - NF 54351, 1977.
- (39) - MADSEN, B.W., In International Conference on Wear of Materials; Vancouver, Canada, 1985, p. 345-354.
- (40) - BLOUET, J.; in 4^{eme} Colloque International de l'Abrasion; Grenoble; 1979; artigo nº 36.
- (41) - SOROKIN, G.M. e KOROTKOV, V.A.; Mashinovendenie, 3, 1970, p. 109-113.
- (42) - GABOLDE, H. e RIEU, J.; in Quatrieme Colloque International de l'Abrasion; Grenoble, 1979; artigo nº 3.

ABSTRACT

The author presents the different methods of abrasion tests used to characterize the abrasion behaviour of metallic materials. The principles of operation, the reproduced mechanical configuration and the field of application for the most important tests are presented. Also, it is analysed in the comparative way factors like: the operation facilities, duration of tests, facilities of sample preparation and reproductibilities of the tests.





Característica Dispositivo	Variáveis	Teste		Amostra			Intensidade das Tensões	Mecanismo de Desgaste.
		Duração	Reprodutibilidade.	Tamanho	Nº	Produção		
RODA DE  BORRACHA PINO SOBRE	Abrasivo Meio Velocidade Tempo Carga Dureza do Elastômero	Pequena	Boa	Médio	1	Fácil	Baixa	Micro-corte e deformação repetida.
 DISCO	Carga Abrasivo Distância percorrida Tempo Velocidade periférica do C.P.	Pequena	Boa	Pequeno	1	Fácil	Altas	Micro-corte
VASO DE  DESGASTE	Abrasivo Meio Velocidade Tempo Temperatura	Longo	Pequena	Grande	Vá-ri- as	Média	Baixa	Variável
BICO DE  PROJEÇÃO	Velocidade de impacto Ângulo de impacto Abrasivo Fluxo de partículas Temperatura Tempo	Curto	-	Grande	1	Difícil	Baixa, mas localizada.	Variável de acordo com o ângulo de incidência.

Tabela I - Parâmetros característicos dos principais abrasômetros.

Tabela II - Correspondência das solicitações mecânicas com os casos reais e os meios de ensaios adequados.

Incidência	Solicitação		Meios de Ensaio Adequados	Exemplos de Aplicação	Setor de Atividade
	Natureza e Nível Dinâmico	Configuração C_f , Fig. 2			
Normal ou diferente de 0° (im-pactos)	erosão	dois corpos, abrasivo livre	bico de desmanta-to, vaso de desgaste	turbinas, ventiladores, transporte hidráulico ou pneumático, moagem por impacto, jato de areia.	acronútica, hidráulica, pneumática, mineralogia, mineração, preparação de amostras.
Tangencial	erosão	dois corpos, abrasivo livre.	idem ao anterior, mas mudando a inclinação dos corpos de prova.	moagem fina de produtos moles, alimentares ou farmacêuticos, trabalho do solo por ferramenta rotativa a grande velocidade.	manutenção, agricultura, hidráulica, indústrias agro-alimentares, indústrias farmacêuticas, pinturas.
	abrasão baixas tensões	dois corpos, abrasivo livre	roda de borracha, vaso de desgaste.	trabalho do solo, transporte de granulados por parafuso.	agricultura, terraplanagem, movimentação de terra, manutenção, metalografia, etc..
		dois corpos, abrasivo ligado.	roda de borracha (baixa dureza) Taber.	polimento, acabamento superficial, contato com polímeros reforçados.	metalografia, etc..
		três corpos, $D > d$	ensaio MISRA e FINNIE[18] roda de borracha (versão seca)	injeção e extrusão de granulados ou de materiais moles e plásticos contendo abrasivos.	indústria alimentícia ou farmacêutica, manutenção.
		três corpos, $D = d$	ensaio RABINOWICZ[19] ensaio LEM[33]	moagem por esmagamento de produtos não contamináveis, contato material duro/elastômeros em meio abrasivo.	indústria alimentícia, farmacêutica, manutenção.
Tangencial mais choques de pequena intensidade	abrasão grandes tensões	dois corpos, abrasivo livre.	vaso de desgaste (granulado)	transporte de minérios, alimentação de britadores e moinoshos.	mineração, metalurgia, obras de terra.
		dois corpos, abrasivo ligado.	pino-sobre-disco.	trabalho do solo compacto e abrasivo, retificação, corte por disco abrasivo, etc..	agricultura, obras de terra, usinagem por abrasão.
		três corpos, $D > d$	-	injeção, extrusão, compactação e moldagem de granulados ou materiais rígidos contendo abrasivos.	metalurgia do pó, indústria de polímeros, materiais de construção civil.
		três corpos, $D = d$	roda de borracha (alta dureza), roda de aço máquina ANISCO[13].	moagem, britagem, degradação por choques.	mineração, metalurgia, indústria alimentícia.
Tangencial e choques intensos.	abrasão tensões muito altas	dois corpos, abrasivo livre três corpos	a intensidade da solicitação impõe, na maioria dos casos, ensaios em escala real. Em alguns casos, modelos reduzidos permitem o ensaio em laboratório.	moinoshos giratórios, mandíbulas de marte-lo. Perfurações e aterros em solos compactos e pedregosos.	mineração, obras de terra, indústria petrolífera.
		dois corpos, abrasivo livre.		aterros e perfurações em solos compactos e pedregosos, laminação, forjamento (carepa)	mineração, siderurgia, obras de terra, indústria petrolífera.

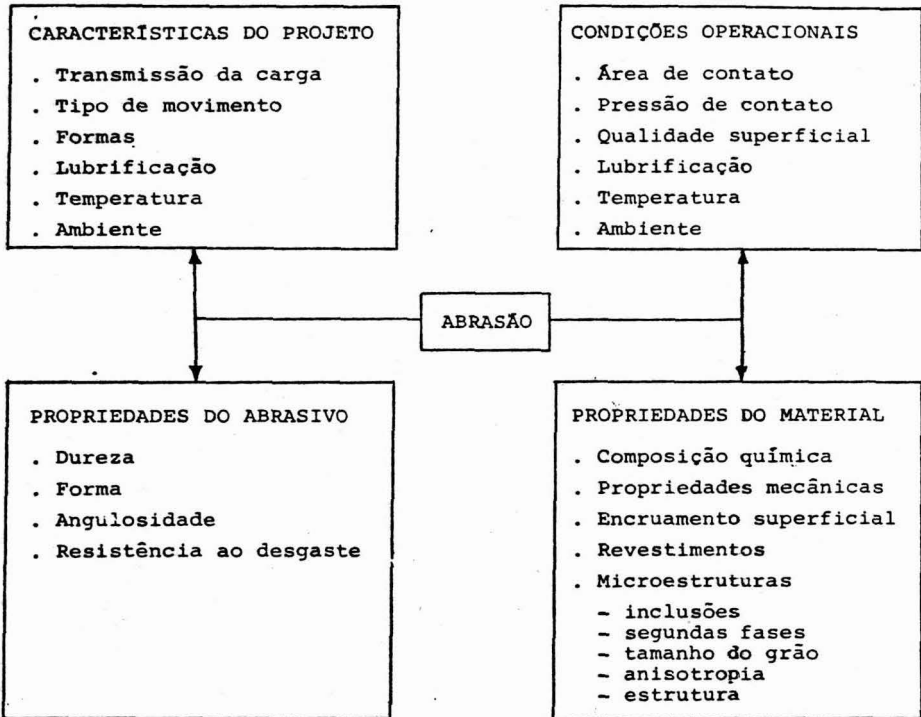


Figura 1 - Parâmetros tribológicos que afetam o desgaste abrasivo

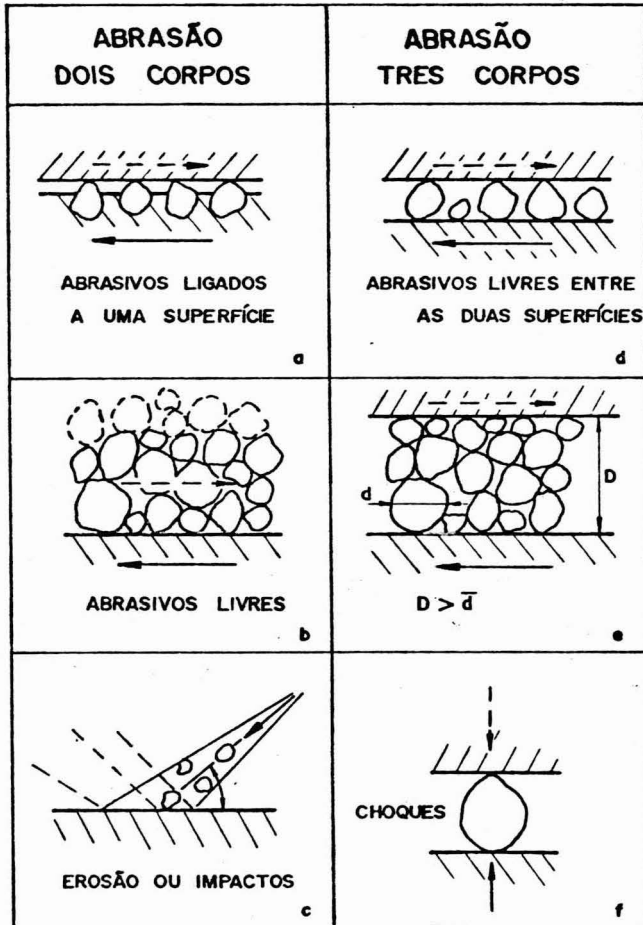


Figura 2 - Configurações mecânicas do processo abrasivo.
De acordo com RIGAUT E PAVY (11).

