

OS EFEITOS LUBRIFICANTE E ANTILUBRIFICANTE DA ÁGUA*

Lubricant and antilubricant effects of water

por
U. NASCIMENTO**

RESUMO — Referem-se estudos doutros autores sobre o efeito antilubrificante da água na fricção entre superfícies polidas de minerais de estrutura maciça (quartzo, feldspato, calcite) e o efeito lubrificante entre minerais de estrutura lamelar (micas, clorite, serpentina, talco). Apresentam-se resultados de ensaios em que se verificam os referidos efeitos num quartzo polido e numa mica. Considera-se que tais efeitos, tanto podem ser explicados por mecanismos de travamento ao nível das moléculas da água absorvida, como por um mecanismo de adesão em que a resistência ao corte da água adsorvida é maior no quartzo e menor na mica. Conclui-se que nos materiais granulares, em que predominam os minerais de estrutura maciça cujas superfícies têm geralmente rugosidade superior à "rugosidade crítica", nenhum dos efeitos terá significado prático. Porém, nos materiais com uma fracção significativa de minerais de estrutura lamelar, o efeito lubrificante da água já pode ter interesse prático.

SYNOPSIS — Studies by other authors are reported, that deal with the antilubricant effect of water in the friction between the polished surfaces of massive-structured minerals (quartz, feldspar, calcite), and the lubricating effect between layer — lattice minerals (micas, chlorite, serpentinite, talc). Results of tests are given, in which those effects were investigated in a polished quartz and in a mica. Those effects are considered to be due to an interlocking mechanism acting at the level of water molecules adsorbed as well as to an adhesion mechanism in which the shear strength of water adsorbed is larger for quartz than for mica. It is concluded that neither effect will be significant in practice in granular materials, in which massive-structured minerals predominate, and whose surface roughness usually exceeds the critical values. Nevertheless in materials with a significant part of layer-lattice minerals the lubricating effect of water may be of practical interest.

* Trabalho apresentado na 3.^a sessão do X ICSMFE, Stockholm, Junho, 1981

**Investigador (LNEC)

INTRODUÇÃO

A influência da água sobre o atrito interno de solos é assunto cuja importância geotécnica tem motivado alguns estudos visando especificamente os fenômenos de fricção entre as respectivas partículas. Tschebotarioff e Welch (1948), primeiramente, e depois, com mais desenvolvimento, Horn e Deere (1962) mostraram que a fricção entre superfícies polidas de minerais de estrutura maciça (quartzo, feldspato, calcite) aumenta muito quando essas superfícies estão molhadas com água. Este forte efeito antilubrificante da água decresce porém rapidamente quando aumenta a rugosidade das superfícies, e acaba mesmo por se tornar insignificante quando as superfícies atingem uma certa “rugosidade crítica”. Como as superfícies das partículas dos solos granulares, aqueles que são geralmente constituídos por minerais de estrutura maciça, têm correntemente rugosidade superior à crítica, é neles insignificante o efeito antilubrificante da água. Por esta razão o ângulo de atrito interno numa areia mantém-se praticamente constante quer ela esteja seca ou submersa. O efeito antilubrificante tem pois pouco interesse prático.

Tratando-se porém de minerais de estrutura lamelar (micas, cloritê, serpentina, talco), a molhagem faz baixar o ângulo de fricção, evidenciando portanto um efeito lubrificante. Mas agora, como na fracção argilosa dos solos ocorrem esses minerais lamelares com superfícies mantendo o seu polimento natural, esse efeito lubrificante pode ter interesse prático.

Nesta comunicação procura-se esclarecer o mecanismo dos referidos efeitos lubrificante e antilubrificante da água recorrendo, por um lado, a ensaios realizados com um goniômetro multidireccional de fricção (Nascimento, 1978) em que se averiguou a influência nesses efeitos numa ampla variação da carga normal, e, por outro lado, aos mecanismos gerais de fricção: o de travamento (Coulomb, 1781) e o de adesão (Terzaghi, 1925).

ENSAIOS REALIZADOS

O efeito antilubrificante de água entre superfícies minerais de estrutura maciça foi verificado entre superfícies polidas de duas pedras de quartzo negro, lapidadas conforme se mostra na Fig. 1. Utilizou-se para o efeito o goniômetro

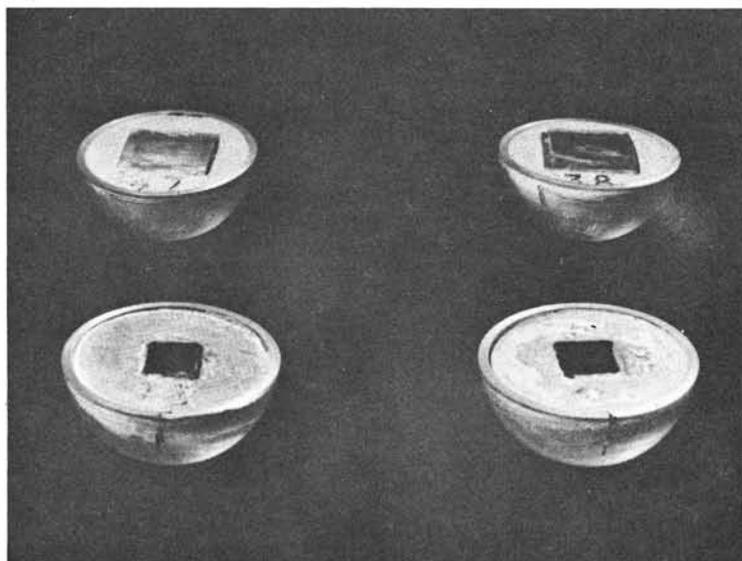


Fig. 1

multidireccional de fricção que se mostra na Fig. 2 (Nascimento, 1978). As áreas das superfícies submetidas a ensaio foram as seguintes:

Provete n.º 23 $0,60 \times 0,45 \text{ cm} = 0,27 \text{ cm}^2$

Provete n.º 24 $0,70 \times 0,52 \text{ cm} = 0,36 \text{ cm}^2$

E as forças utilizadas no goniómetro foram de 0,2; 1; 2 e 10 KN, a que correspondem, sobre a superfície de $0,27 \text{ cm}^2$, as pressões de contacto máximas (quando a obliquidade é nula) de 0,8; 3,6; 7,2 e 36 KPa. A força menor de 0,2 KN corresponde ao próprio peso do provete superior tendo o respectivo ensaio sido realizado sem a aplicação de qualquer força, por meio do rolete de pressão do aparelho e inclinado este até se dar o deslizamento.

As superfícies a ensaiar foram previamente lavadas com água da torneira e sabão. Depois, para o ensaio em seco, secas ao ar; e, para o ensaio em molhado, molhadas com um pequeno pincel de modo a formar sobre cada uma delas uma

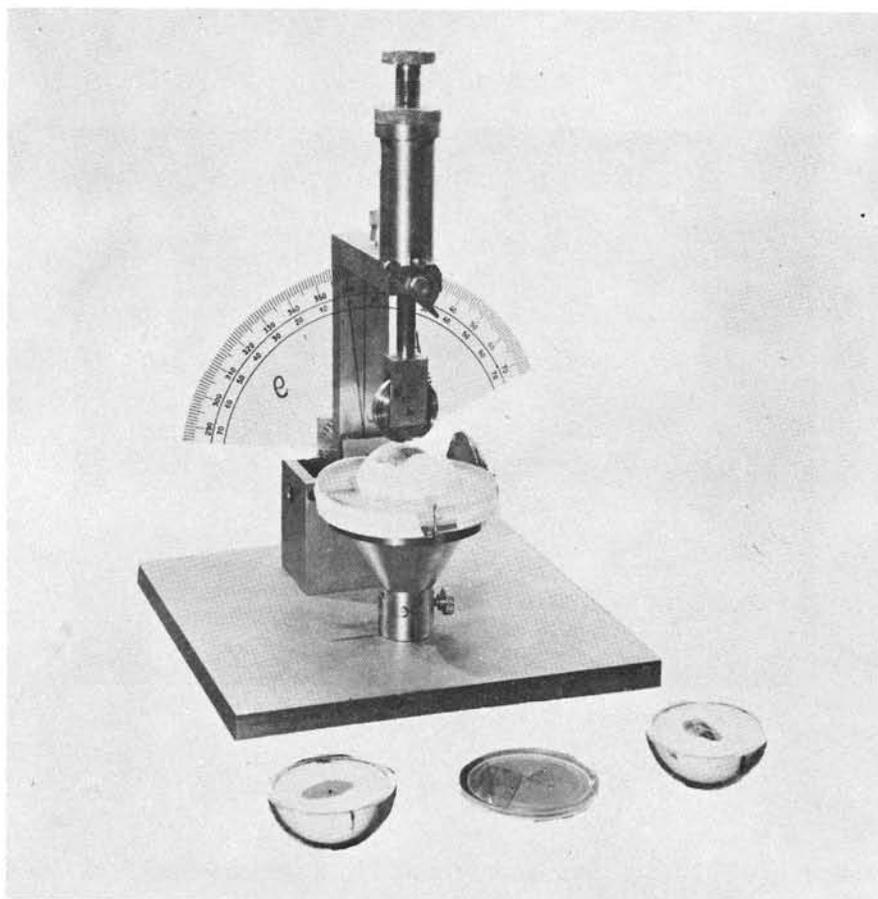


Fig. 2

bolha de água. Depois de postas em contacto para a realização do ensaio, a água das bolhas, retida pelos meniscos que então se formam, continua banhando as superfícies.

Os ensaios foram realizados em duas direcções ortogonais: na primeira, ambas as superfícies com a maior dimensão na direcção do deslizamento; na segunda, a superfície inferior foi rodada de $90.^{\circ}$. Em cada direcção foram realizados dez deslizamentos em cada sentido, o que dá 40 deslizamentos para cada força de ensaio.

No quadro seguinte resumem-se os valores médios obtidos bem como os respectivos desvios padrão.

Na Fig. 3 apresentam-se os valores médios sob forma gráfica.

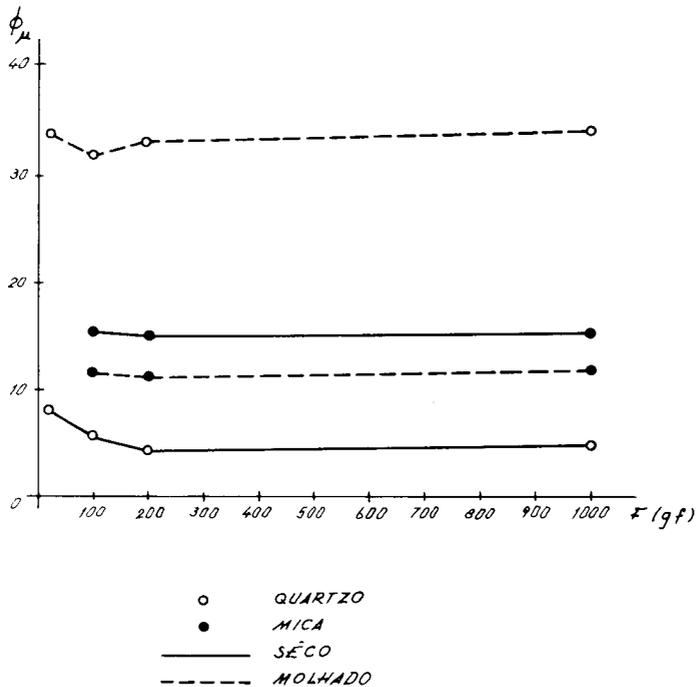


Fig. 3

ÂNGULOS DE FRICÇÃO DO QUARTZO POLIDO (GRAUS)

Força (KN)	0,2	1	2	10
Seco	$8,2 \pm (0,7 \text{ a } 1,5)$	$5,6 \pm (0,9 \text{ a } 1,4)$	$4,2 \pm (0,7 \text{ a } 1,0)$	$4,8 \pm (0,5 \text{ a } 1,2)$
Molhado	$34,5 \pm (1,4 \text{ a } 2,9)$	$31,6 \pm (8,6 \text{ a } 15,6)$	$33,1 \pm (2,6 \text{ a } 2,4)$	$34,3 \pm (4,7 \text{ a } 5,2)$

Os resultados evidenciam, como se vê, um fortíssimo efeito antilubrificante da água, efeito esse que se mantém sensivelmente constante mesmo quando a força de contacto varia amplamente entre 0,2 e 10 KN. Com efeito, enquanto em seco, o ângulo de fricção anda pelos 5.º, em molhado anda à volta dos 33.º.

Para verificar o efeito lubrificante num mineral de estrutura lamelar realizaram-se ensaios sobre lâminas de muscovite, coladas com araldite em chapas de latão, conforme se mostra na Fig. 1. Às chapas de latão foi dada previamente uma ligeira curvatura para evitar que, ao realizar-se o ensaio de deslizamento, se estabelecesse contacto não apenas entre as superfícies lisas das lâminas mas também entre os seus bordos irregulares e ásperos, como resultado do respectivo corte. As superfícies cilíndricas da mica, assim obtidas, com as respectivas geratrizes dispostas ortogonalmente, asseguram que os seu contacto se faz apenas por uma zona central e sem qualquer interferência dos bordos.

Como se notou que deslizamentos provocavam numa ligeira sulcagem e conseqüente formação de pó sobre as superfícies da mica reduziu-se ao mínimo o número de repetições de deslizamentos. Por isso os ensaios não foram realizados em duas direcções ortogonais, como no quartzo, mas apenas numa; e pela mesma razão, em vez de 10, realizaram-se apenas 5 deslizamentos em cada sentido.

O deslizamento apenas com o peso próprio do provete não foi realizado porque as superfícies cilíndricas em contacto não asseguravam a estabilidade dos provetes.

No quadro seguinte resumem-se os valores médios obtidos bem como os respectivos desvios padrão.

Na Fig. 3 apresentam-se os valores médios sob forma gráfica.

Ao contrário do que sucede com o quartzo, estes resultados evidenciam um ligeiro efeito lubrificante da água, efeito esse que, no entanto, como no quartzo, se mantém sensivelmente constante quando a força de contacto varia de 1 KN a 10 KN. Com efeito, enquanto em seco o ângulo de fricção da mica anda pelos 15.º, em molhado ele desce para cerca de 11,5.º.

ÂNGULOS DE FRICÇÃO DA MICA (GRAUS)

Força (KN)	1	2	10
Seca	15,3±(1,3 a 1,5)	15,0±(0,9 a 1,0)	15,2±(1,1 a 1,2)
Molhada	11,7+(0,6)	11,3+(0,5 a 0,6)	11,8+(0,0 a 0,5)

A lei de Amontons, que estabelece a constância do ângulo de fricção com a carga normal, verifica-se pois, quer para o efeito antilubrificante como para o efeito lubrificante da água. No que respeita a este último efeito, isso concorda aliás com o que se passa na lubrificação dos metais em que também se verifica a lei de Amontons (Bowden & Tabor, 1971).

MECANISMOS DOS EFEITOS LUBRIFICANTE E ANTILUBRIFICANTE DA ÁGUA

O mecanismo dos efeitos antilubrificante e lubrificante da água constitui assunto ainda em discussão por diversos autores parecendo poi que o seu estudo deve prosseguir.

Resume-se no entanto seguidamente o resultado duma análise do problema (Nascimento, 1980) feito à luz dos mecanismos gerais de fricção, designadamente o de travamento, sugerido por Coulomb em 1781 (Bowden & Tabor, 1971), e o de adesão, proposto por Terzaghi em 1925.

Considerou-se, nessa análise, que os contactos efectivos entre as superfícies se faz por intermédio duma película de água adsorvida, película essa que no quartzo aumenta a fricção e que na mica a diminui.

Tal película pode suportar a carga normal distorcional porque, dada a sua natureza de água adsorvida, nela se desenvolvem forças de tracção que lhe conferem uma certa coesão. Quando a carga aumenta, a espessura dessa película diminui e, reciprocamente, quando se diminui a carga, a espessura da película aumenta até um valor limite correspondente à anulação da carga.

A resitência friccional dessa película de água poderá ser explicada por um mecanismo de travamento, desenvolvido entre as moléculas de água adsorvidas, resitência essa dependente essencialmente da forma, orientação, arranjo e deformabilidade dessas moléculas. O efeito antilubrificante no quartzo seria assim devido à orientação das moléculas de água (supostas alongadas) normalmente às superfícies sólidas; e o efeito lubrificante na mica resultaria de as moléculas serem orientadas tangencialmente às ditas superfícies.

Mas por um mecanismo de adesão também o fenómeno se poderá explicar: bastará admitir que a resistência ao corte da película de água é maior quando está adsorvida ao quartzo polido do que quando está adsorvida à mica.

CONCLUSÕES

Do exposto parece poder concluir-se o seguinte:

a) Verificou-se um efeito antilubrificante da água na fricção entre superfícies de quartzo polido, cujo ângulo de fricção passa de cerca de 5° , em seco, para cerca de 33° , em molhado. E verificou-se um efeito lubrificante na fricção entre superfícies de mica branca, cujo ângulo de fricção passa de 15° , em seco, para cerca de $11,5^\circ$, em molhado.

b) Verificou-se a lei de Amontons, da constância do ângulo de fricção com a carga normal, em ambos os efeitos, lubrificante e antilubrificante.

Nota-se que na lubrificação dos metais também se verifica aquela lei.

c) Atribuem-se os efeitos em causa à circunstância de os contactos efectivos entre as superfícies se fazer por intermédio de uma película de água adsorvida capaz de suportar esforços distorcionais. Num mecanismo de travamento, o efeito antilubrificante no quartzo seria assim devido à orientação das moléculas (supostas alongadas) normalmente às superfícies sólidas; e o efeito lubrificante na mica resultaria de as moléculas serem orientadas tangencialmente às ditas superfícies. Num mecanismo de adesão, também o fenómeno poderá ser explicado: basta admitir que a resistência ao corte da película de água é maior quando está adsorvida ao quartzo polido do que quando está adsorvida à mica.

d) Nos materiais granulares, cujas partículas são geralmente constituídas por minerais de estrutura maciça, com superfícies cuja rugosidade é geralmente superior à “rugosidade crítica”, nenhum dos efeitos será significativo. Por esta razão, o ângulo de atrito interno numa areia mantem-se praticamente constante quer ela esteja seca ou submersa. No entanto, nos materiais com uma fracção significativa de minerais de estrutura lamelar, o efeito lubrificante da água poderá ter interesse prático.

e) Preconiza-se o prosseguimento do estudo destes efeitos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BOWDEN F.P. & TABOR, D. (1971) — The Friction and Lubrication of Solids. Oxford at the Clarendon Press, Part I.
- HORN, H.M. & DEERE, V.V., (1962) — Frictional Characteristics of Minerals. Geotechnique (XII), 4, 313-334.

- NASCIMENTO, U (1978) — Multidirectional Goniometer for Determining Interparticle Friction. Congr. RILEM Granular Mater. Budapest.
- NASCIMENTO, U. (1980) — Mecanismo do Efeito da Água na Fricção entre Partículas de Solos. LNEC, Relatório, Proc.º, 55/13/6183, Lisboa.
- TERZAGHI, K. (1925) — Erdbaumechanik, Vienna, 50-22.
- TSCHEBOTARIOFF, G.P. & WELCH, J.D. (1948) — Lateral Earth Pressure and Friction Between Soil Minerals. 2nd Int. Conf. Soil Mech. Found. Eng., Rotterdam.