



CURIOSIDADES DA FÍSICA

José Maria Filardo Bassalo

www.bassalo.com.br

Efeito Lótus.

O escritor norte-americano Peter Forbes escreveu no artigo **Surpreendentes Materiais Autolimpantes** (*Scientific American Brasil*, p. 68. setembro de 2008) que “o **lótus-sagrado** (*Nelumbo nucifera*) é uma planta aquática perene, radiantemente graciosa, que exerceu importante papel nas religiões e culturas da Índia, Mianmar, China e Japão. O **lótus** é venerado por sua pureza excepcional. Cresce em águas lamacentas, mas suas folhas, quando emergem metros acima da água e, ao que parece, nunca se sujam. Gotas d’água sobre uma folha de **lótus** têm um brilho extraordinário e a água da chuva retira a sujeira dessa folha mais rapidamente que de qualquer outra planta”. Note-se que essa característica da **flor de lótus** já havia sido registrada no **Bhagavadgita** (“Som de Deus”, em sânscrito), uma escritura sagrada hindu escrita por volta do primeiro ou segundo Século a.C.

A propriedade autolimpante do **lótus** (e de outras plantas como, p. e.: *Tropaeolum*, *Opuntia* e *Aquilegia*) foi primeiro estudada por Rulon Johnson Jr. e Robert H. Dettre, em 1964 (*Journal of Physical Chemistry* **68**, p. 1744; *Advances in Chemistry* **43**, p. 112) e, posteriormente, em 1977 (*Akademie der Wissenschaften und der Literatur in Mainz* **19**, p. 110), pelo botânico alemão Wilhelm A. Barthlott (n.1946) com a colaboração de N. Ehler. Estes cientistas, usando um microscópio eletrônico de varredura, que permite fazer observações nanométricas ($1\text{nm} = 10^{-9}\text{ m}$) (vide verbete nesta série), perceberam que a **flor de lótus** não precisava ser lavada para ser notada.

Ainda segundo Forbes (op. cit.), Barthlott percebeu que esse comportamento do **lótus** – hoje conhecido como **Efeito Lótus** (EL) – se deve à combinação de duas características da superfície de sua folha: cera e calosidades microscópicas ($1\mu\text{m} = 10^{-6}\text{ m}$) que a recobrem. Deste modo, a presença de cera torna as folhas **hidrofóbicas** (que não gostam de água) e, portanto, gotas d’água ficam suspensas para minimizar a área de contato [ângulo de contato (θ_C) maior do que 90°] com o sólido; este efeito resulta da **força de coesão** entre líquido e sólido. Note-se que existem substâncias chamadas **hidrófilas** (que gostam de água) cuja área de contato ($\theta_C < 30^\circ$) permite que ela se espalhe pela superfície do material para maximizar a área de contato; este efeito decorre da **força de adesão** entre o líquido e sólido. Além disso, Barthlott notou que a presença de inúmeras calosidades do **lótus** permite que sua superfície se torne **super-hidrofóbica**, em virtude do ângulo de contato aumentar bastante (chegando a ser $> 150^\circ$, como veremos mais adiante), em consequência do ar aprisionado entre as gotículas d’água (que apresentam a forma quase-esférica resultante do balanço das forças de **coesão** e de **adesão** entre as duas superfícies) e as calosidades da superfície da folha. Daí a água escorrer levando consigo toda a sujeira contida nas folhas do **lótus**. É oportuno destacar que, no caso da **rosa vermelha**, a superfície de sua pétala (folha) tem micropapilas que dão uma forte **adesão** com a água de modo que as gotículas d’água ficam presas e não podem rolar sobre a

superfície da folha. Este último tipo de fenômeno é conhecido como **efeito pétala**. ([wikipedia/Wetting](#)).

Antes de prosseguir, façamos um pequeno comentário sobre a interação entre líquidos e superfícies sólidas. Há dois tipos dessa interação: **alta-energia** (A-E) e **baixa-energia** (B-E). No primeiro caso (A-E), a superfície sólida é composta de metais, ceras e vidros, que são conhecidos como “sólidos duros” por causa da ligação química que os mantém “duros” [p.e.: covalente, iônica e metálica (ver verbetes nesta série)]. No segundo caso (B-E), a superfície sólida é composta de cristais moleculares (p.e.: fluorocarbonos e hidrocarbonos) em que as moléculas são mantidas por forças físicas [p.e.: **força de van der Waals** e ligações hidrogênicas (ver verbetes nesta série)]. É oportuno destacar que, para outros líquidos diferentes da água, eles recebem o nome de: **liófilas** (θ_C pequeno) e **liofóbica** (θ_C grande). ([wikipedia/Wetting](#); [Lotus_effect](#)).

Voltemos a Barthlott. Sendo essencialmente um botânico, ele só começou a desenvolver aplicações práticas do EL a partir da década de 1980, ao perceber que as superfícies rugosas enceradas poderiam produzir aquele mesmo efeito. Assim, ele criou a **colher de mel**: uma colher com uma superfície de silicone rugoso e que permite que o mel de desprenda totalmente dela (Forbes, op. cit.). Nos meados da década de 1990, Barthlott desenvolveu produtos industriais usando o princípio do EL. Em 1997 (*Planta* **202**, p. 1; *Annals of Botany* **79**, p. 667) e em 2001 (*International Textile Bulletin* **1**, p. 8), Barthlott e C. Neinhuis voltaram a tratar do **efeito autolimpante** das folhas de plantas. Em 30 de julho de 2004, Barthlott obteve uma patente japonesa (Número 4.790.998) para seus inventos. ([wikipedia/Lotus_effect](#)).

Para concluir este verbete, é interessante destacar que os primeiros estudos sobre a Dinâmica da Molhagem (*Dynamics of Wetting*) - **molhagem** e **desmolhagem** de superfícies - foram realizados pelos físicos, o inglês Thomas Young (1773-1829) (também médico), em 1805 (*Philosophical Transactions of the Royal Society of London* **95**, p. 65) e os franceses, Pierre Simon, Marquês de Laplace (1749-1827), em 1806 (*Journal de Physique* **63**, p. 413), e Lewis Dupré que, em 1855, generalizou a **equação de Young**. O estudo dessa Dinâmica continuou na segunda metade do Século 19 com os trabalhos dos físicos, o norte-americano Josiah Williard Gibbs (1839-1903), apresentados no *Transactions of the Connecticut Academy of Arts and Science III (1874-1878)* **108**, p. 343, e o escocês William Thomson (Lord Kelvin) (1824-1907), em 1886 (*Proceedings of the Royal Institute* **11**, p. 483).

O estudo da **molhagem** voltou a ser objeto de estudo por parte do químico norte-americano Irving Langmuir (1881-1957; PNQ, 1932), em 1917 (*Journal of the American Society* **39**, p. 1848), ocasião em que introduziu a ideia de **adsorção** relacionada com a pressão exercida pelas substâncias **superfactantes** (substância ativa dos detergentes) nas interfaces entre materiais. Os trabalhos de Langmuir sobre a Dinâmica da Molhagem foram a base de seu PNQ, 1932. Tais substâncias, que também são “autocicatrizantes”, são constituídas de moléculas relativamente pequenas (1-2 nm) e possuem uma cabeça polar **hidrófila** seguida de uma cadeia alifática **hidrofóbica**. Por sua vez, em 1936 (*Industrial and Engineering Chemistry* **28**, p. 988), Robert N. Wenzel e, em 1944 (*Transactions of the Faraday Society* **40**, p. 546), A. B. D. Cassie e S. Baxter mostraram que a rugosidade de uma superfície aumenta o ângulo de contato da água com a mesma. Esse resultado, conhecido como a **Lei de Cassie-Baxter** (LC-B) é traduzida pela expressão: $\cos \theta_C = f_1 \cos \theta_1 + f_2 \cos \theta_2$,

onde θ_C é o ângulo de contato de um líquido com uma superfície composta, sendo θ_1 (θ_2) e f_1 (f_2) os ângulos e a fração da área de contato de dois elementos constituintes daquela superfície. No caso em que um dos elementos é o ar com um ângulo de contato de 180° , a LC-B toma o seguinte aspecto: $\cos \theta_C = f_1 (\cos \theta_1 + 1) - 1$, que a expressão obtida por Wenzel. Portanto, quando f_1 é pequeno e θ_1 é grande, pode-se criar superfícies com grandes θ_C ([wikipedia/Cassie's law](#); [Wetting](#); [Lotus effect](#)). Em 1959, Karol Joseph Mysels (1914-1998), Kozo Shinoda e o físico norte-americano Stanley ("Stan") Phillips Frankel (1919-1978) publicaram, pela Pergamon Press, o livro intitulado **Soap Films – Studies of Their Thinning and a Bibliography**. Em 1962 (*Journal of Physical Chemistry* **66**, p. 190) e, em 1966 (*Journal of Applied Physics* **37**, p. 3725), Frankel e Mysels voltaram a tratar de regiões microscópicas entre superfícies em contato.

Para maiores detalhes sobre a Tecnologia Autolimpante e suas aplicações no mundo de hoje (p.e.: vidraças, tecidos, alimentos etc.), ver: Forbes (op. cit.); Kerstin Koch e Barthlott, **Superhydrophobic and Superhydrophilic Plant Surfaces: An Inspiration for Biomimetic Materials** (*Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences* **367**, p. 1483, 28 April 2009).



ANTERIOR

SEGUINTE