

# **Interface sólido-líquido (molhabilidade e capilaridade)**

## **Capilaridade e molhabilidade**

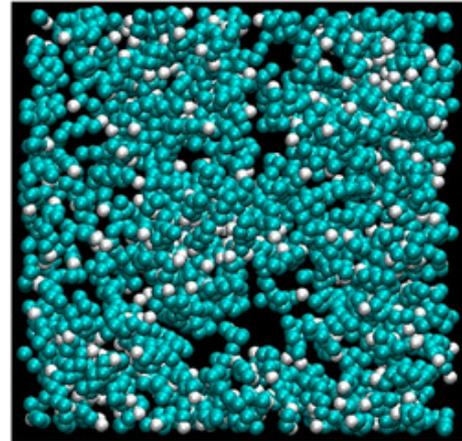
30-08-2018

# SUPERFÍCIES CURVAS LÍQUIDAS

*Bolha*: região na qual vapor está aprisionado dentro de um filme fino

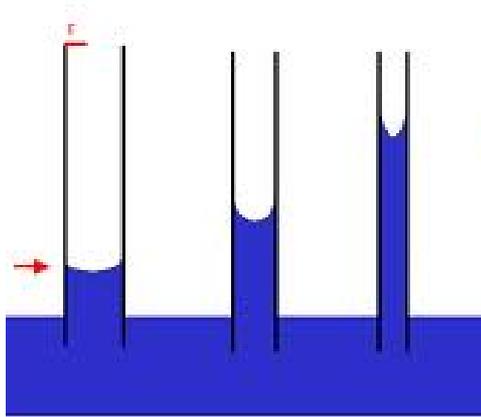


*Cavidade*: região na qual vapor está aprisionado dentro de um líquido

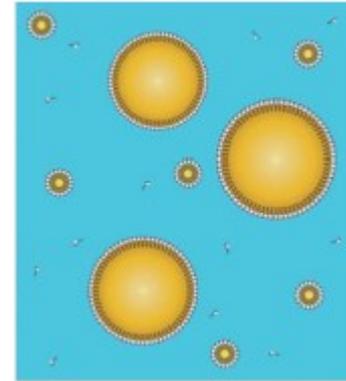


*Gota*: pequeno volume de líquido em equilíbrio com seu vapor

# SUPERFÍCIES CURVAS LÍQUIDAS



**Menisco em tubo capilar**



**Emulsão O/A**

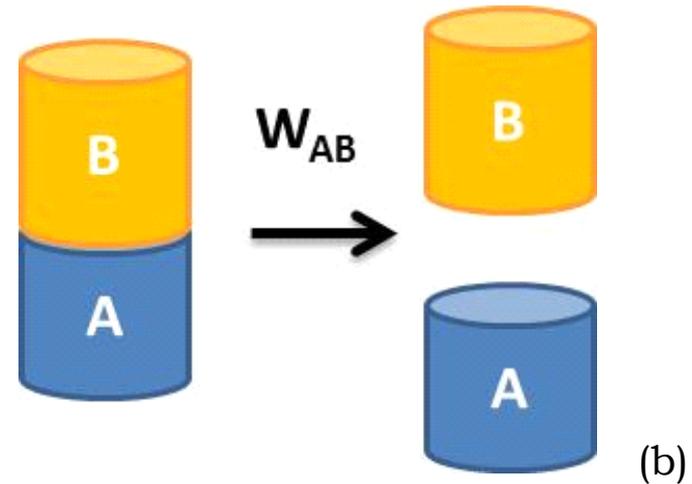
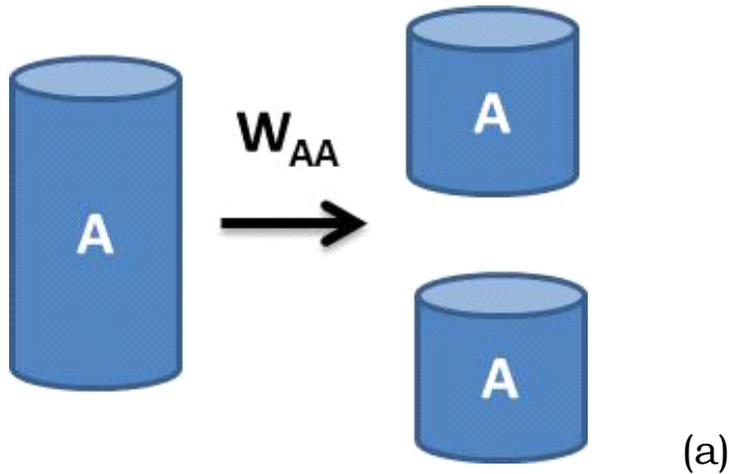
# Young -Dupré

**Trabalho de coesão**,  $W_{AA}$ , corresponde ao trabalho reversível necessário para separar uma dada área de coluna de líquido A ou de um sólido em duas partes:

$$W_{AA} / \text{área} = 2 \gamma_A \quad (1)$$

**Trabalho de adesão**  $W_{AB}$ , trabalho reversível necessário para separar uma dada área de dois líquidos ou dois sólidos diferentes.

$$W_{AB} / \text{área} = \gamma_A + \gamma_B - \gamma_{AB} \quad (2)$$



A capilaridade é a tendência de líquidos subirem (ou descerem) em tubos finos capilares, resultante do balanço entre o trabalho de adesão e coesão e da diferença de pressão entre os dois lados da superfície curva.

Laplace mostrou que a pressão do lado côncavo de uma interface é sempre maior que a do lado convexo.

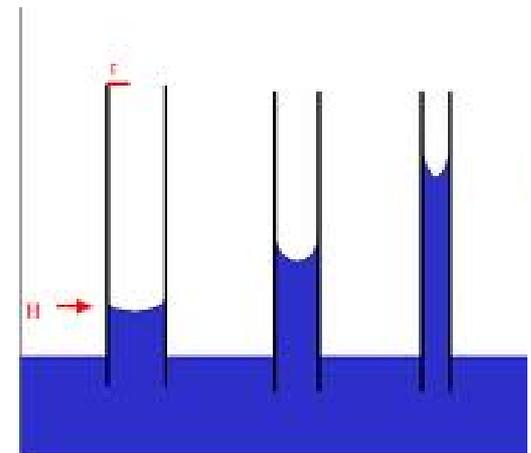
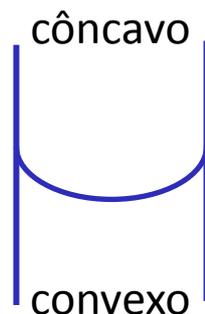
## Eq. de Laplace:

$$p_{\text{côncavo}} = p_{\text{convexo}} + (2\gamma/r) \quad (3)$$

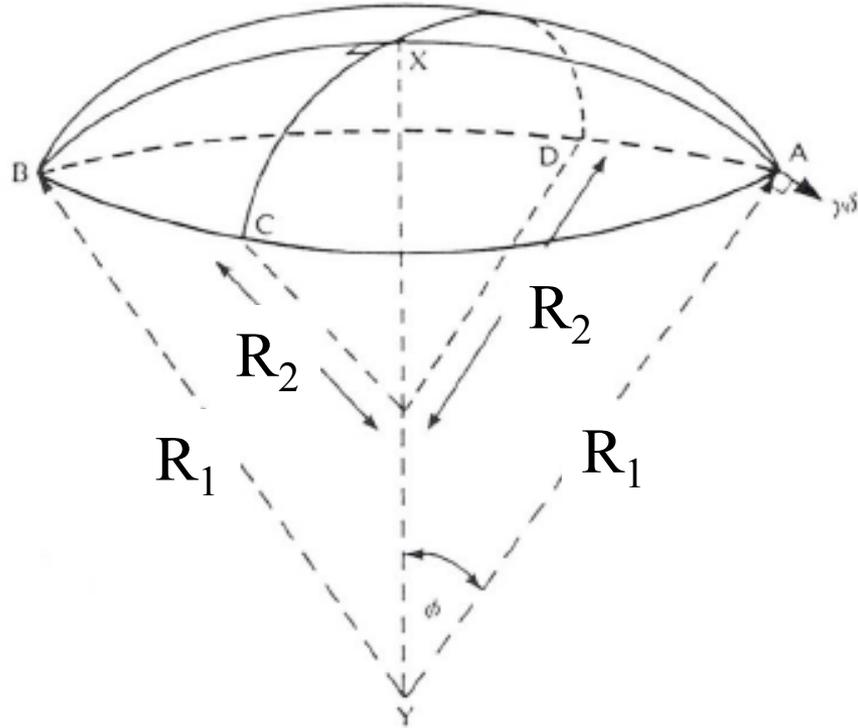
onde  $r$  = raio da superfície

Quando  $r \rightarrow \infty$  (superfície plana)  $\Delta p = 0$

Quanto menor o raio, maior será  $\Delta p$



côncavo



$$\text{Curvatura} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

$$\text{Esfera: } R = R_1 = R_2$$

$$\text{Curvatura} = \frac{2}{R}$$

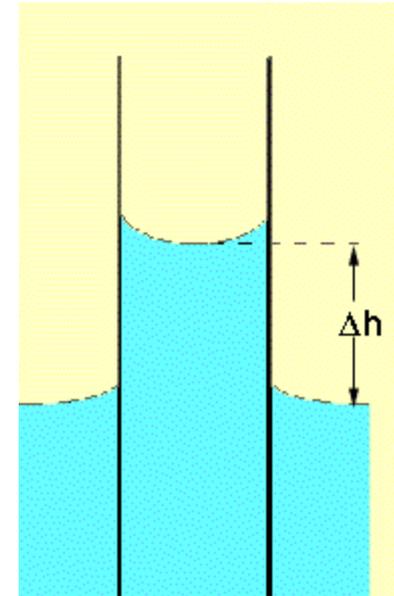
**Quanto menor o raio, maior a curvatura e maior a pressão do lado côncavo (Laplace)**

# Ascensão capilar

O líquido molha a parede do capilar. Exemplo: água e vidro.

Trabalho de adesão > trabalho de coesão

Devido à diferença de pressão, o líquido sobe até que o equilíbrio hidrostático tenha sido atingido. A condição de equilíbrio é atingida quando a pressão hidrostática no pé da coluna cancela a diferença de pressão causada pela curvatura da superfície.



$$\Delta h g \rho = 2 \gamma \cos \theta / r \quad (4)$$

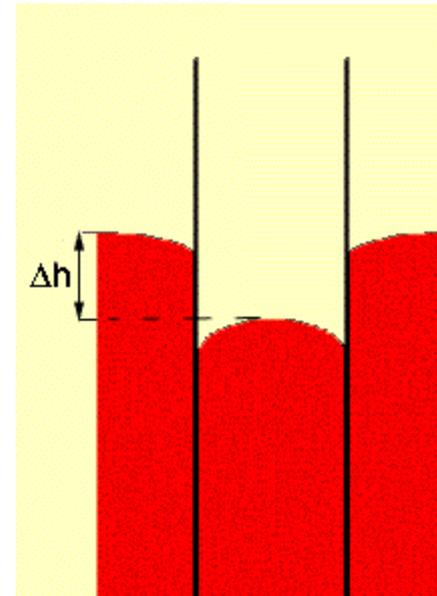
$$\text{Água/ar: } \Delta h g \rho = 2 \gamma / r$$

onde  $g$  é a aceleração da gravidade e  $\rho$  é a densidade do líquido.

# Depressão capilar

Trabalho de coesão > trabalho de adesão

O líquido não molha a parede do capilar. Exemplo: Hg e vidro.



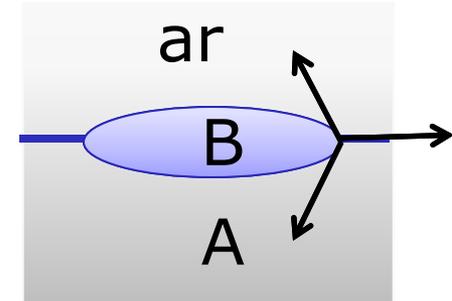
<b>Interface Líquido-ar</b>	<b>Trabalho de coesão (J)</b>	<b>Interface Líquido-líquido</b>	<b>Trabalho de adesão (J)</b>
Octano	44	Octano/água	44
Octanol	55	Octanol/água	92
Ácido heptanóico	57	Ácido heptanóico/água	95
Heptano	40	Heptano/água	42

## Coeficiente de espalhamento (S) de um líquido B sobre um líquido A

Para que ocorra espalhamento  $W_{AB} > W_{BB}$ !

$$W_{AB} - W_{BB} > 0$$

$$S_{B/A} = \gamma_{A/ar} - \gamma_{B/ar} - \gamma_{A/B} \quad (5)$$



Alcano sobre água

$$S = \gamma_{\text{água}/ar} - \gamma_{\text{alcano}/ar} - \gamma_{\text{alcano}/\text{água}}$$

$$S = 72,8 - 22 - 60,1 = -9,3 \text{ mN/m} \quad \mathbf{n\text{-Hexadecano s/ água}}$$

Valor negativo, não há espalhamento

$$S = 72,8 - 27,5 - 8,5 = +36,8 \text{ mN/m}$$

**n-Octanol s/ água**

Valor positivo, há espalhamento

# Revestimentos

impermeabilizantes  
(têxtil)

tintas (cond. amb.)

microeletrônica

Estrutura  
X  
Propriedades

Adesivos  
(cond. amb.)

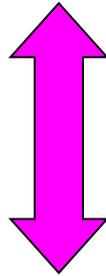
cosméticos

anti-aderentes  
(culinário)

Protetores de placas  
de trânsito/ estrada  
(cond. amb.)

# Propriedades físico-químicas de superfícies sólidas

- Área
- Rugosidade
- Composição química
- Orientação molecular

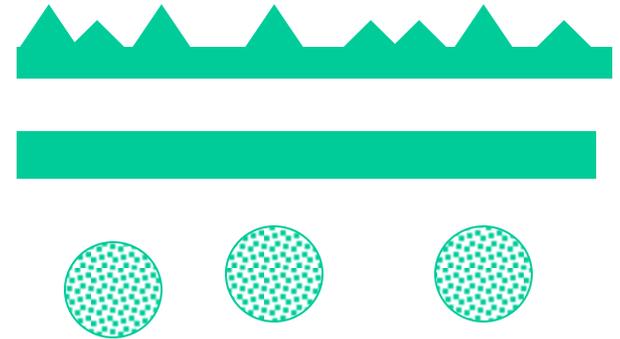


- Molhabilidade
- Energia superficial
- Potencial elétrico

# Interfaces sólido-líquido

Superfície sólida:

Natureza química e topografia

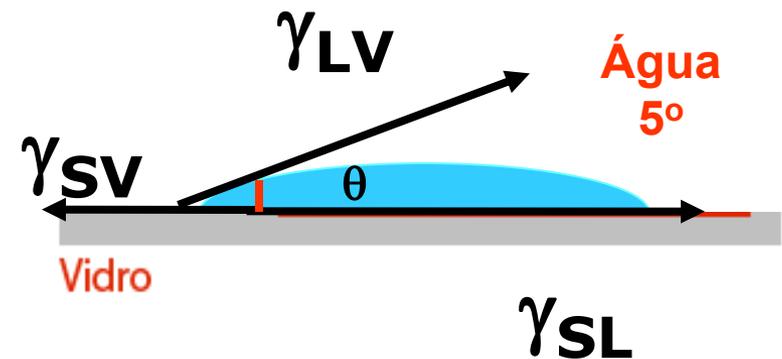
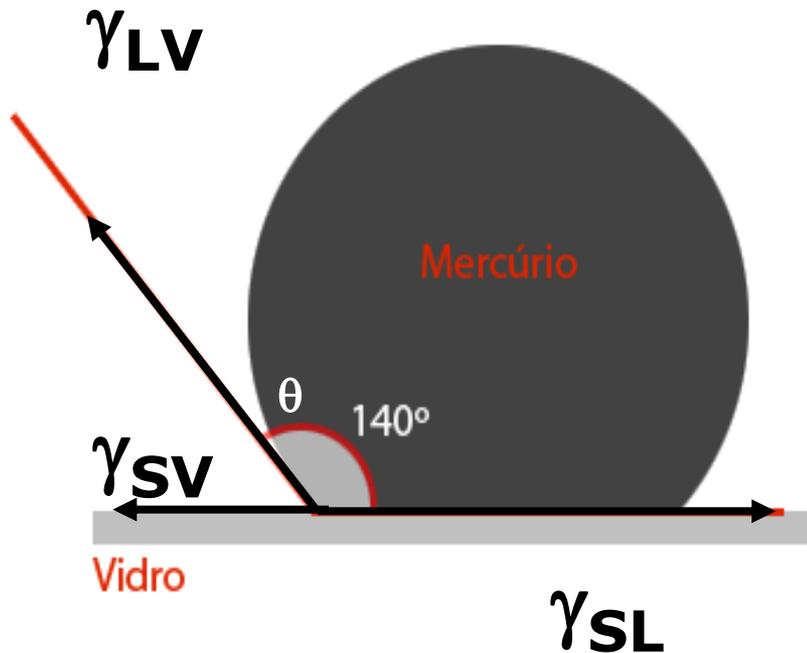


Líquido:

Natureza química e molhabilidade

# Ângulo de contato

Young No equilíbrio:  $\gamma_S = \gamma_{SL} + \gamma_{LV} \cos \theta$



**Método da gota séssil: Molhabilidade**

Energia livre superficial (tensão superficial)  
do sólido em equilíbrio com o vapor do meio  
ou  
Energia livre interfacial (tensão interfacial)  
Sólido-vapor

Energia livre superficial  
(tensão superficial)  
do líquido em equilíbrio  
com o seu vapor

**Young**  $\gamma_S = \gamma_{SL} + \gamma_{LV} \cos \theta$  **Ângulo de contato**

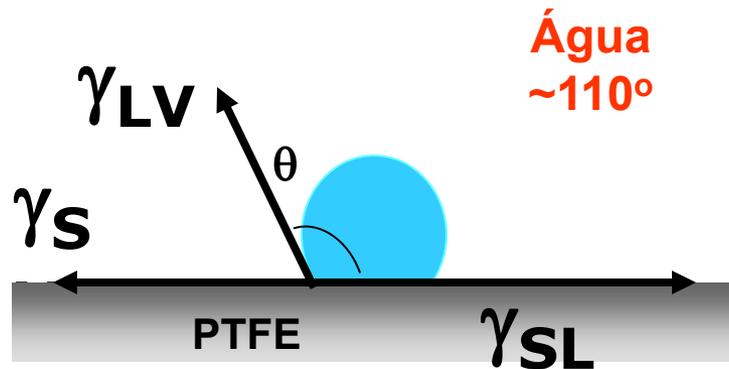
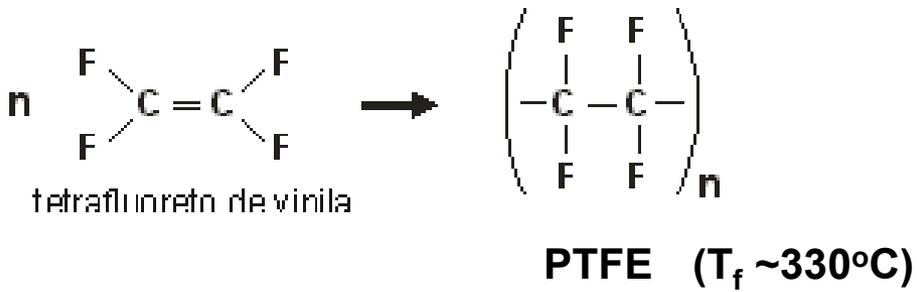
Energia livre interfacial (tensão interfacial)  
Sólido-líquido

Energia livre superficial ou tensão superficial

Definição: é o trabalho necessário para aumentar a superfície em uma unidade de área, por um processo isotérmico e reversível

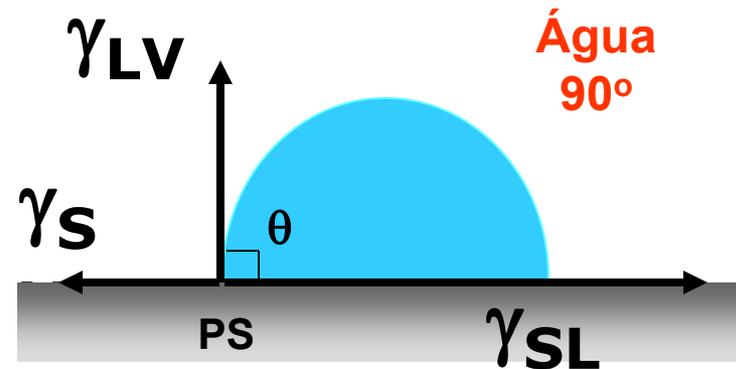
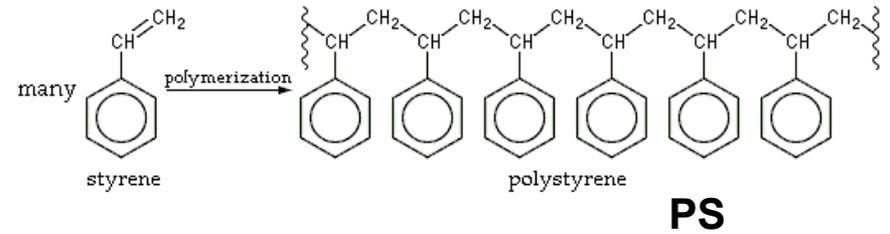
Unidade: N/m ou J/m<sup>2</sup>

# Poli(tetrafluoretileno), PTFE Teflon®



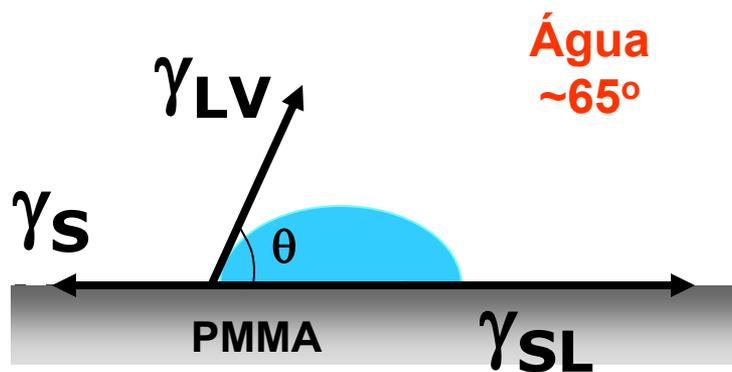
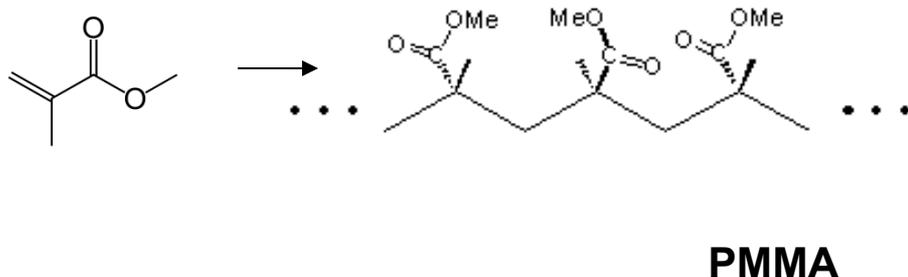
**Hidrofóbico**  
 $\theta > 90^\circ$

# Poliestireno, PS



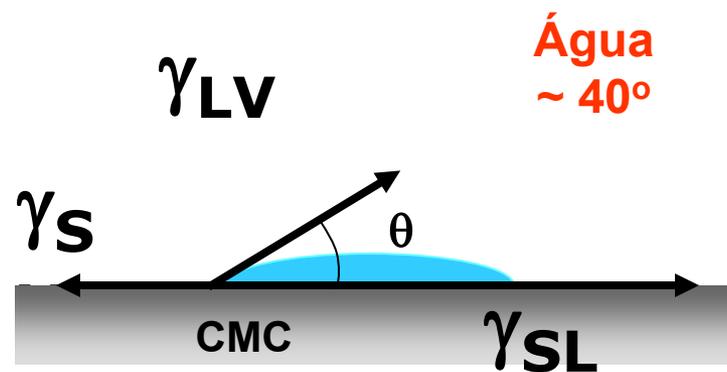
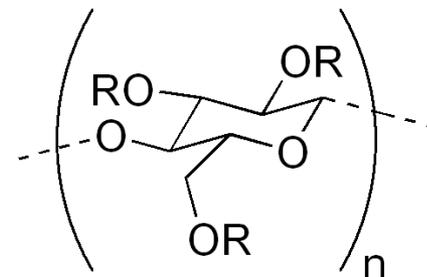
**Hidrofóbico**  
 $\theta = 90^\circ$

## Poli(metacrilato de metila), PMMA



pouco hidrofílico  
 $\theta < 90^\circ$

## Carboximetilcelulose, CMC



Hidrofílico  
 $\theta < 90^\circ$

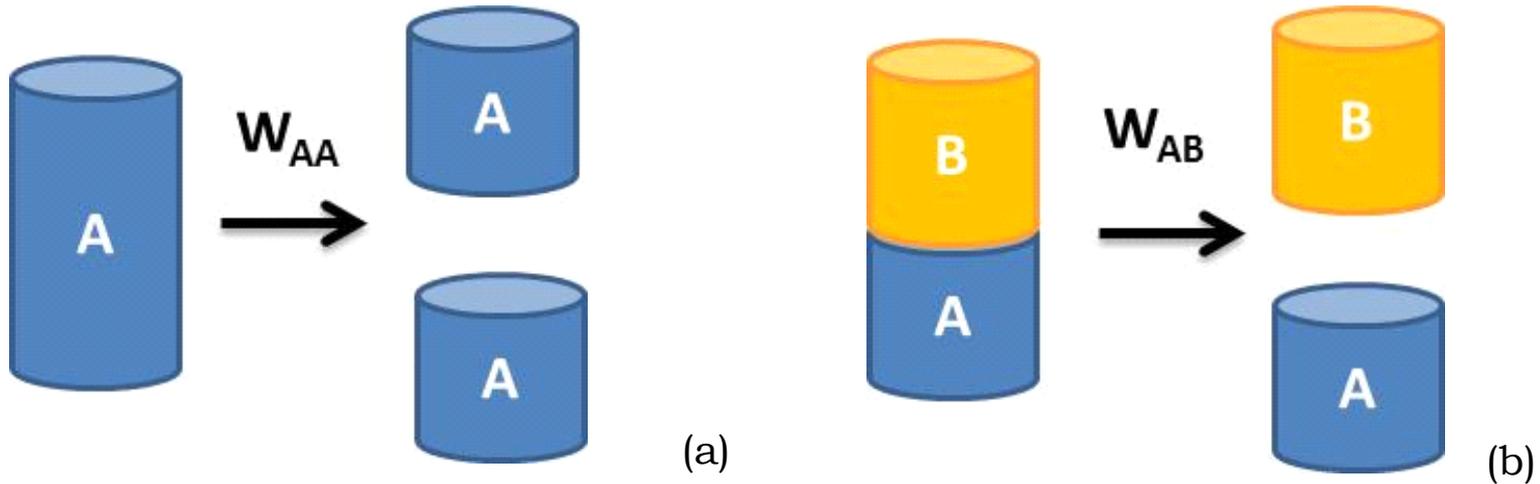
# Young -Dupré

**Trabalho de coesão**,  $W_{AA}$ , corresponde ao trabalho reversível necessário para separar uma dada área de coluna de líquido A ou de um sólido em duas partes:

$$W_{AA} / \text{área} = 2 \gamma_A$$

**Trabalho de adesão**  $W_{AB}$ , trabalho reversível necessário para separar uma dada área de dois líquidos ou dois sólidos diferentes.

$$W_{AB} / \text{área} = \gamma_A + \gamma_B - \gamma_{AB}$$



Young  $\gamma_S = \gamma_{SL} + \gamma_{LV} \cos \theta$  (1)

Dupré  $W_{SL} = \gamma_S + \gamma_{LV} - \gamma_{SL}$  (2)

**Trabalho de adesão/área  
(N/m)**

Combinando (1) e (2)  $W_{SL} = \gamma_{LV} (\cos \theta + 1)$  (3)

Quando a superfície deve ser inerte  $W_{SL} \rightarrow \min$

Quando a superfície deve ser aderente  $W_{SL} \rightarrow \max$

Polímero	$\theta$	$W_{SL}$ (mN/m)	$\gamma_{LV} \text{ H}_2\text{O} = 72 \text{ mN/m}$
PTFE	110°	71.7	
PS	90°	72	
PMMA	65°	102	
CMC	40°	127	
vidro	5°	144	

A molhabilidade pode ser parcial ou total.

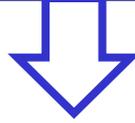
Coeficiente de espalhamento (S) = diferença entre a energia superficial (por unidade de área) do substrato no estado seco e molhado:

$$S = \gamma_S - (\gamma_{SL} + \gamma_{LV})$$

Quando  $S > 0$ , o líquido espalha completamente sobre a superfície para abaixar sua energia superficial e  $\theta$  tende a zero.  $W_{SL} > W_L$

Quando  $S < 0$ , o líquido espalha parcialmente sobre a superfície e  $\theta >$  zero.

**Superfície ideal: homogeneidade química e rugosidade baixíssima**



**Raridade (mica, float glass, lâminas de Si/SiO<sub>2</sub>)**

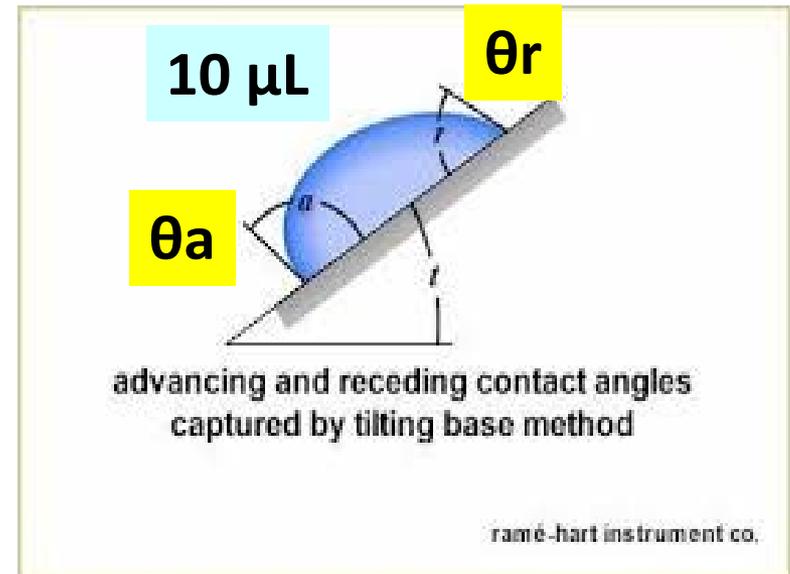
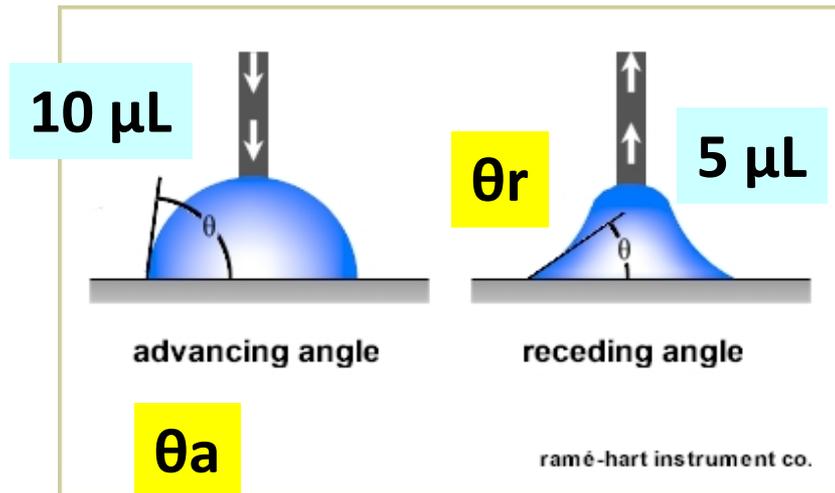
**Superfície real: heterogeneidade química e/ou rugosidade**

# Superfície real: heterogeneidade química e/ou rugosidade

Como estimar?

Histerese de ângulo de contato ( $\Delta\theta$ )

$\Delta\theta = \text{ângulo de avanço } (\theta_a) - \text{ângulo de recesso } (\theta_r)$



$\Delta\theta < 10^\circ$  próxima a idealidade

## Composição química

Superfícies compostas por moléculas polares (óxidos inorgânicos ou celulose) apresentam alta energia superficial → hidrofílicas

Superfícies feitas de compostos apolares (poliolefinas) apresentam baixa energia superficial → hidrofóbicas

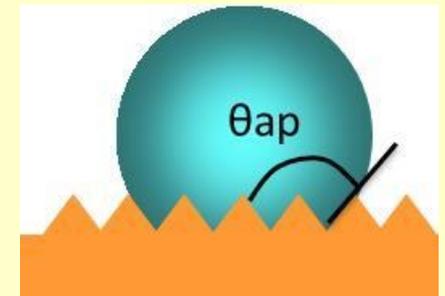
# Efeito da rugosidade na medida de ângulo de contato → estados metaestáveis (fora de equilíbrio)

## Regime de Wenzel: molhabilidade homogênea

$\cos\theta_{ap} = R \cdot \cos\theta$ ,  $R = \text{área real} / \text{área projetada}$

como  $R > 1$ ,

Superfícies hidrofóbicas ( $\theta > 90^\circ$ )  $\cos\theta_{ap} > \cos\theta$



Superfícies hidrofílicas  $\cos\theta_{ap} < \cos\theta$

**Efeito da rugosidade na medida de ângulo de contato  
→ estados metaestáveis (fora de equilíbrio)**

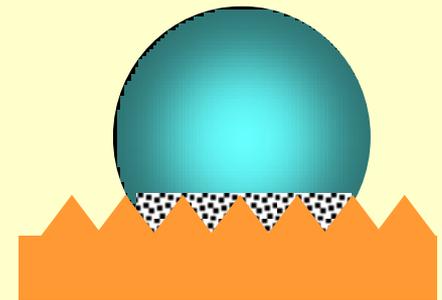
**Regime de Cassie-Baxter: molhabilidade parcial**

**presença de ar aprisionado nos "vales"**

$$\cos\theta_{ap} = f_1 \cdot \cos\theta_1 + f_2 \cdot \cos\theta_2$$

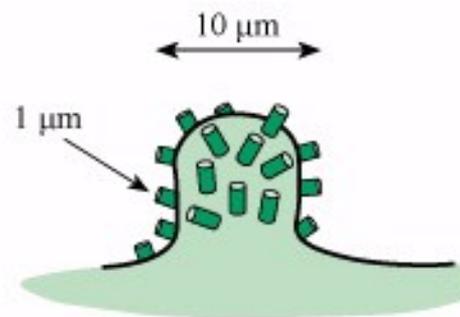
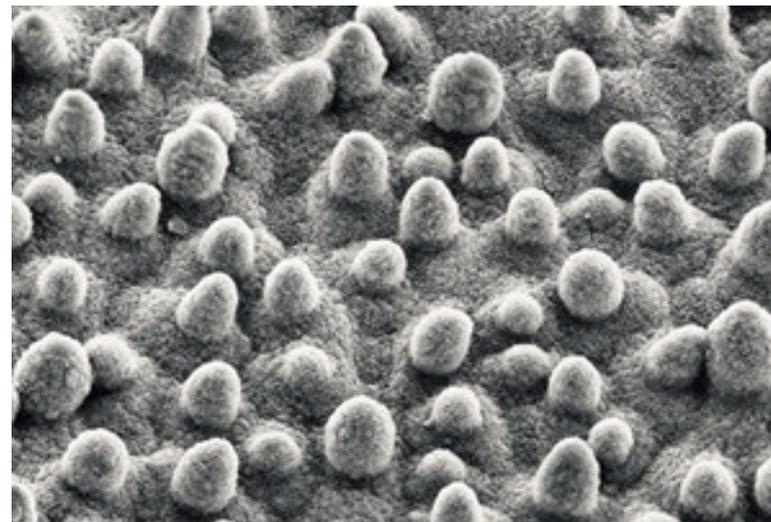
Alta histerese no ângulo de contato  $\Delta\theta$

$$\Delta\theta = \theta_{avanco} - \theta_{recesso}$$

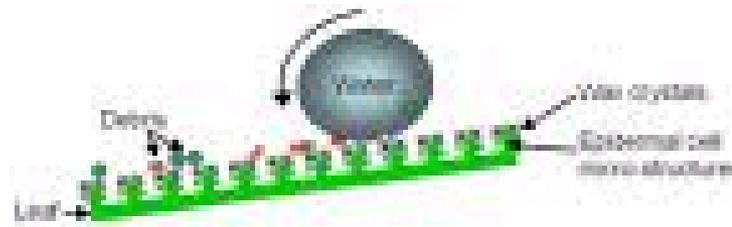


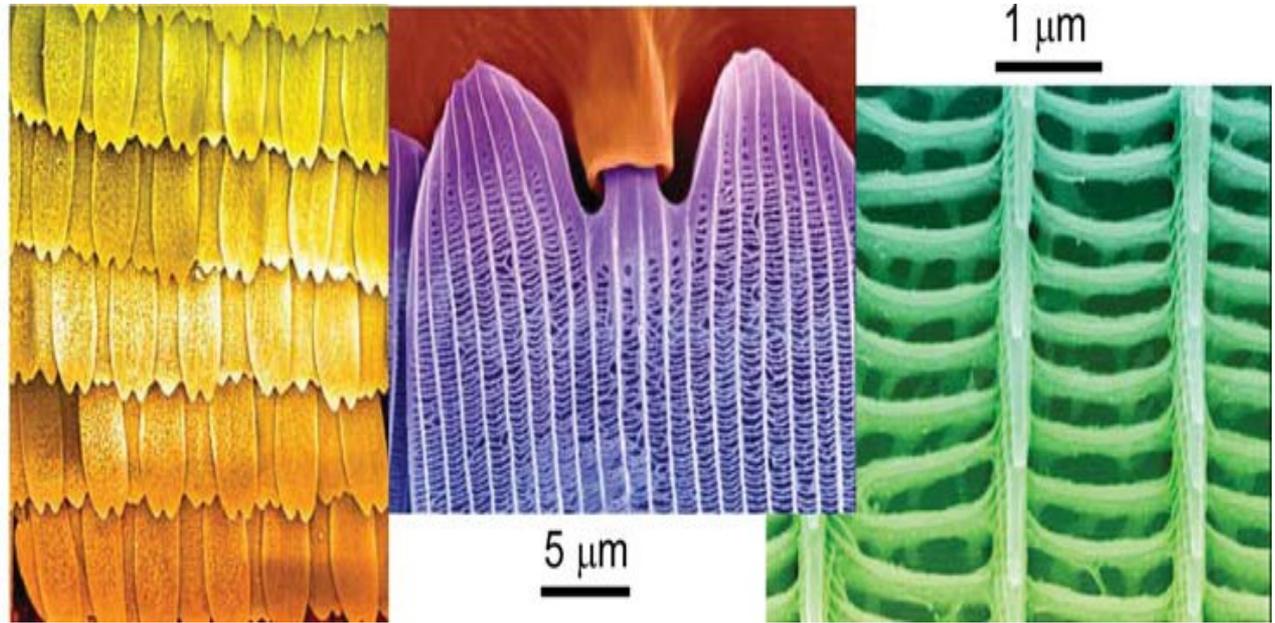
# Efeito “Lotus”

## Superfícies auto-limpantes ou superhidrofóbicas



## Hierarquia estrutural





## Hierarquia estrutural

Superfícies auto-limpantes  
ou superhidrofóbicas

# Superfícies auto-limpantes ou superhidrofóbicas



# Folha de couve

**Canal**

**[www.youtube.com.br/denisepetri](http://www.youtube.com.br/denisepetri)**

**<http://www.youtube.com/watch?v=85N7VRtPcDA>**

# **Vidro X vidro hidrofobizado**

**Canal**

**[www.youtube.com.br/denisepetri](http://www.youtube.com.br/denisepetri)**

**<http://www.youtube.com/watch?v=XwTFNJkle90>**

**[http://www.youtube.com/watch?v=D\\_5UJ7jNVal](http://www.youtube.com/watch?v=D_5UJ7jNVal)**

**Nissan develops "self-cleaning" car**

<https://www.youtube.com/watch?v=TtntUSP-UeM>

**Ultra-Ever Dry**

<https://www.youtube.com/watch?v=BvTkefJHfC0>

# Development of formulations for crop protection

Surfactants are adjuvants commonly added to aqueous herbicides formulations to reduce the surface tension, facilitating their application.



Tatiana Cardoso D'Amato

## Ricardo Vagner Luiz

- **University of São Paulo (USP)**
- Bachelor Degree in Industrial Chemistry – 2008
- Bachelor Degree in Chemistry Education – 2008
- Master Degree in Chemistry - 2015
  
- Joined Dow in 2011 as Latin America TS&D and Product Stewardship for Amines & Chelants, Chlorinated Solvents and Acrylic Monomers.



# The interactions between surfactants and soybean or weed leaves epicuticular wax: maximal crop protection with minimal wax solubilization

## Cultivation

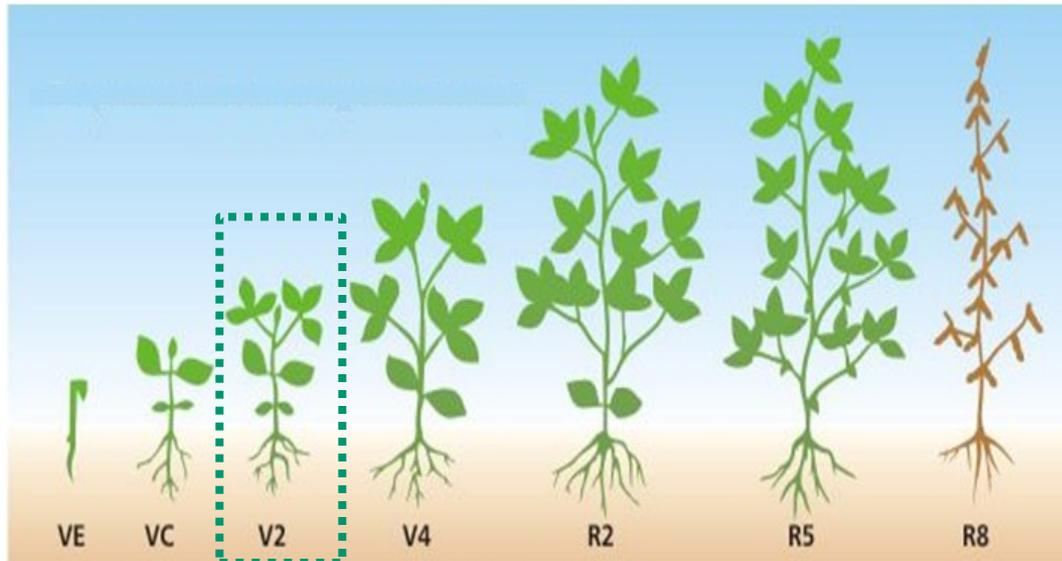
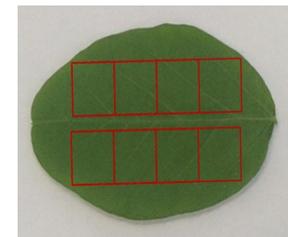


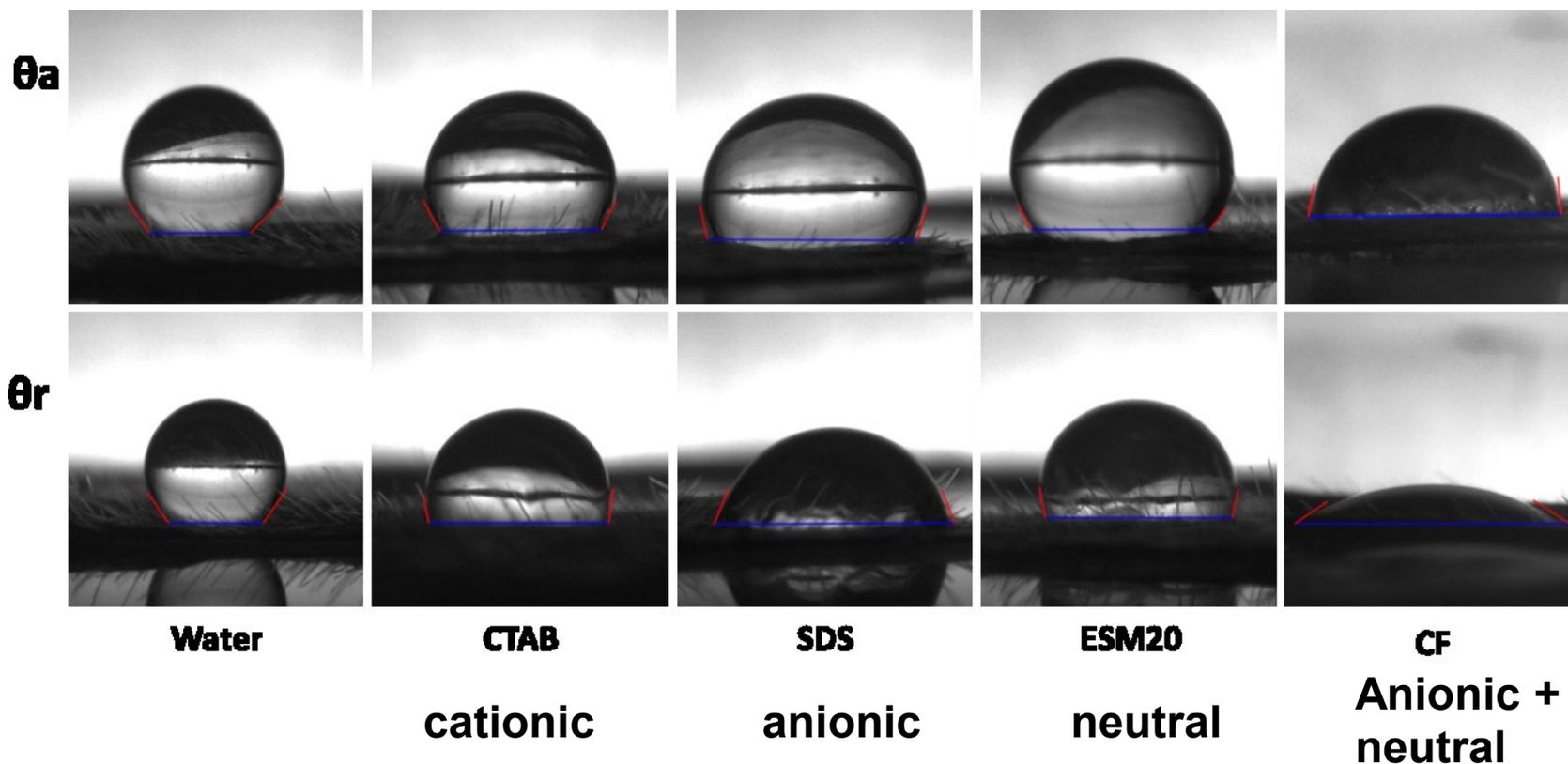
Figure 4: Life cycle of soybean



wettability: CF > SDS > CTAB > ESM20 > water  
 CMC: SDS > CTAB > ESM20



Advancing

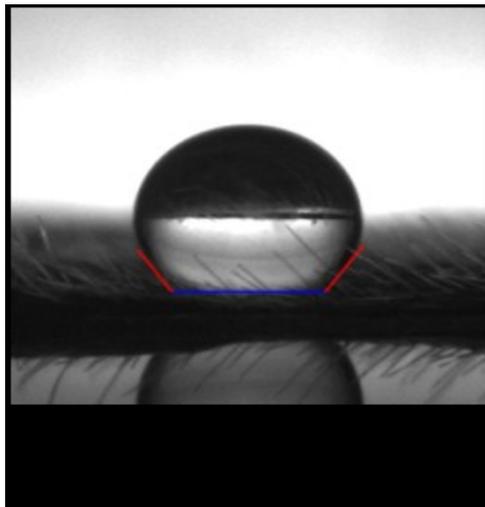
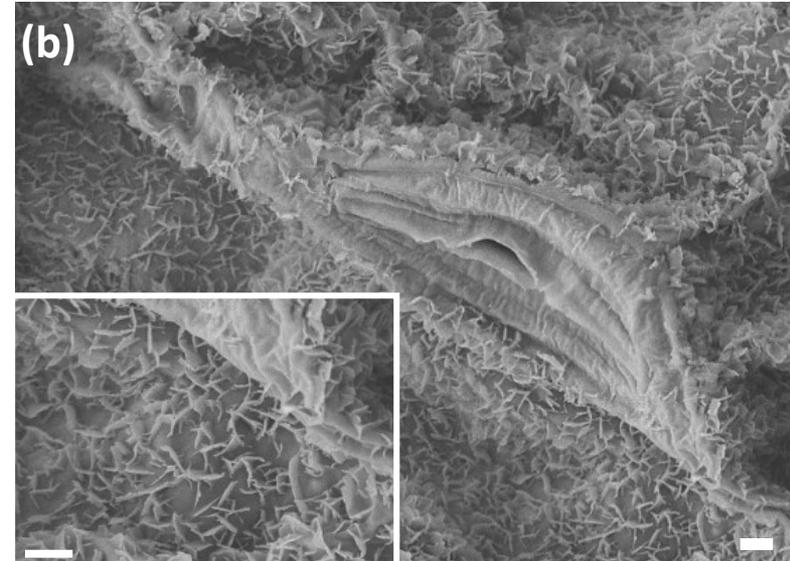
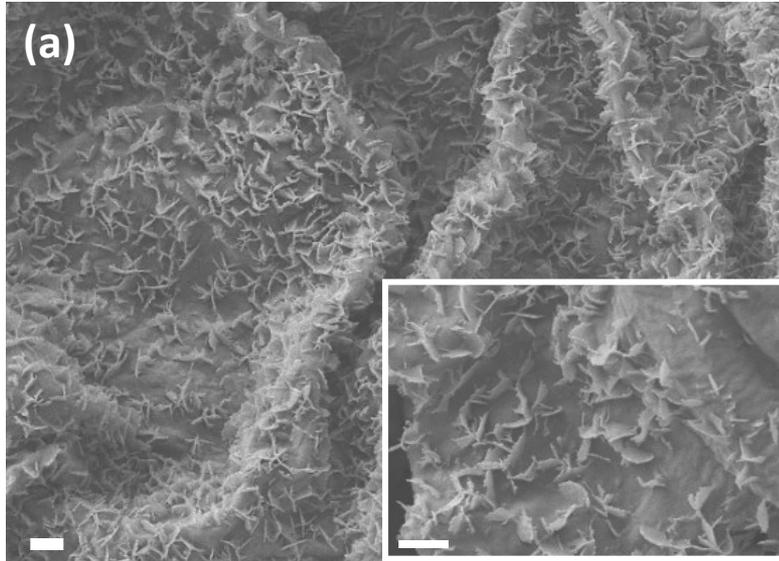


Receding

# Microscopia eletrônica de varredura

**adaxial**

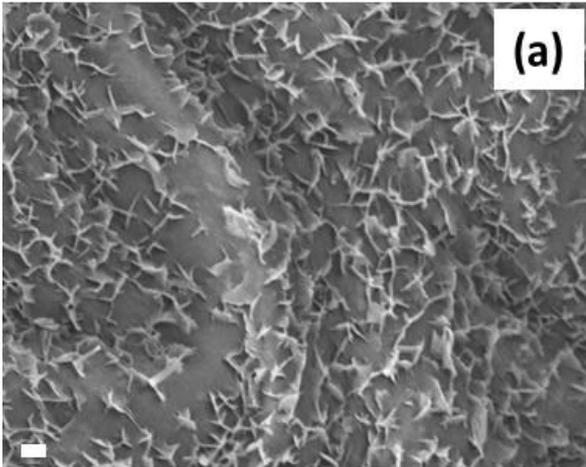
**abaxial**



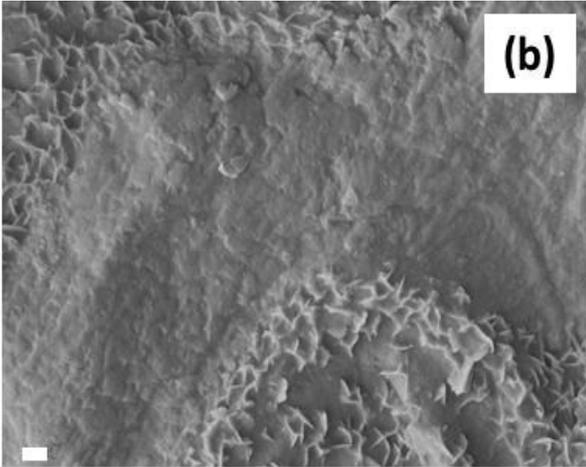
**Regime de Cassie-Baxter**

scale bar = 1  $\mu$ m

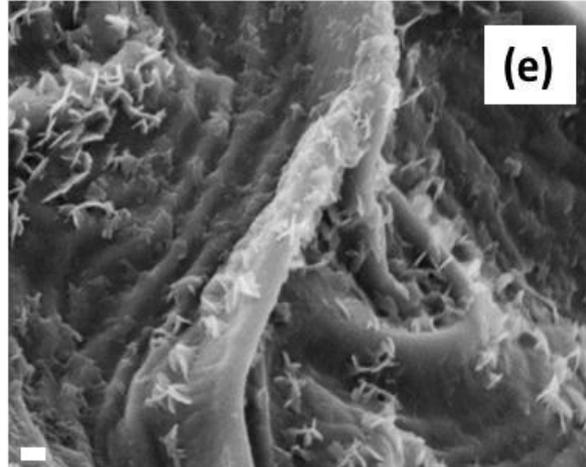
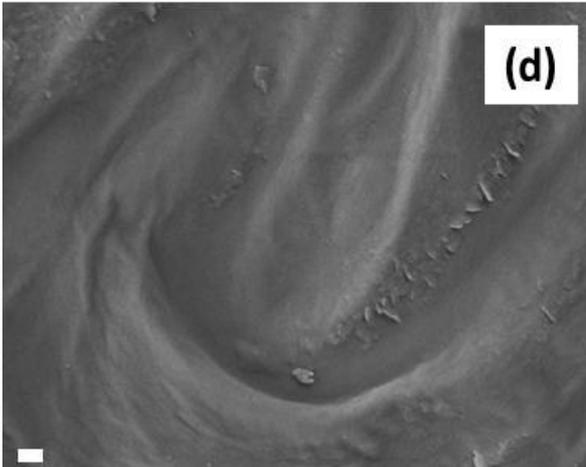
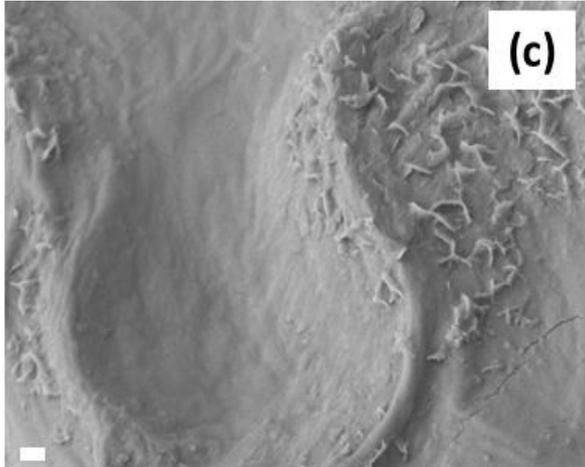
MilliQ water



CTAB (0.04 % v/v)



SDS (0.25 % v/v)



herbicide formulations used for crop protection should contain as little as possible surfactant to warrant efficiency against weed growth and integrity of wax structure on soy leaves

ESM20 (0.008 % v/v)

CF (0.2 % v/v)

Cite this: *Soft Matter*, 2011, **7**, 9804

www.rsc.org/softmatter

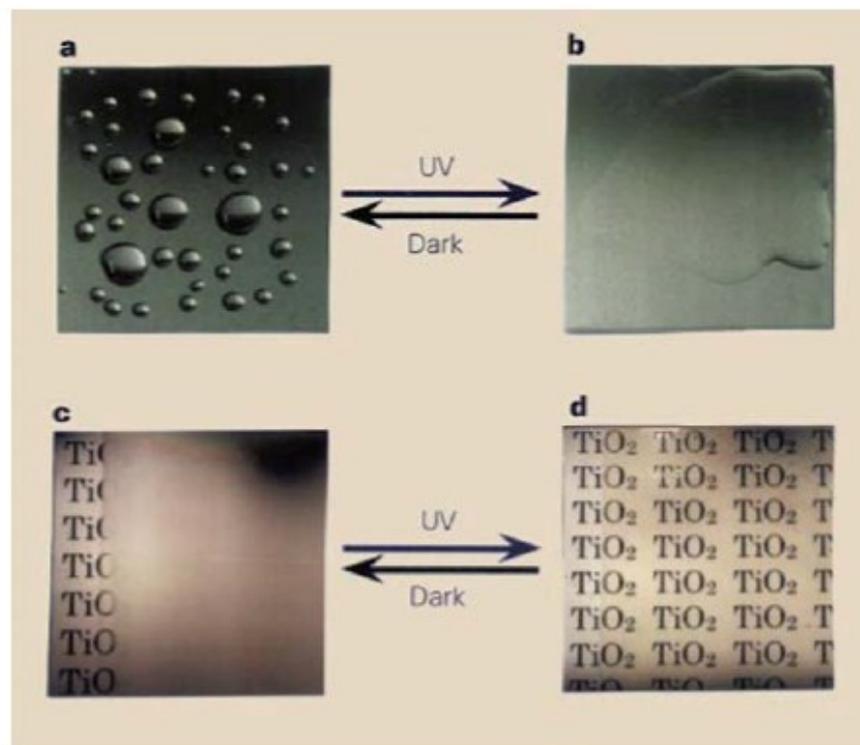
## REVIEW

### Hydrophilic and superhydrophilic surfaces and materials

Jaroslav Drelich,<sup>\*a</sup> Emil Chibowski,<sup>c</sup> Dennis Desheng Meng<sup>b</sup> and Konrad Terpilowski<sup>c</sup>

Received 8th May 2011, Accepted 22nd June 2011

DOI: 10.1039/c1sm05849e



**Fig. 1** Effect of UV radiation on hydrophilicity and transparency of a glass slide coated with a  $\text{TiO}_2$  thin film. Water remains in the shape of lenses with a contact angle of  $70\text{--}80^\circ$  on the  $\text{TiO}_2$ -coated glass when stored in dark (a and c), but spreads completely when exposed to UV radiation (b and d) (reprinted from ref. 18 with permission).

# Superfícies superhidrofílicas

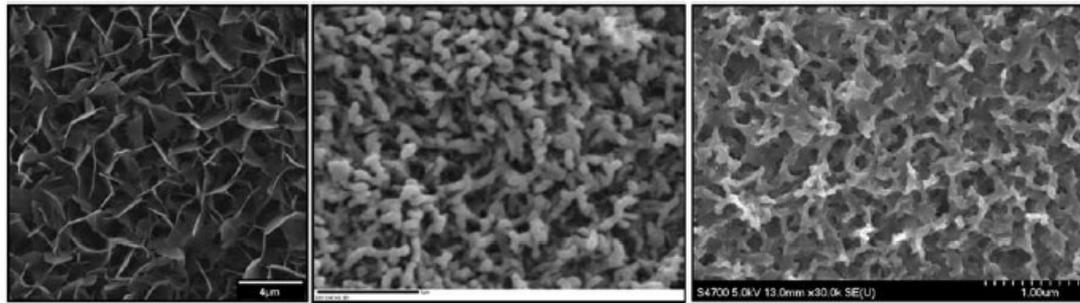


Fig. 6 Examples of calcium phosphate biocompatible (superhydrophilic) structures produced on a  $Ti_6Al_4V$  substrate (left),<sup>318</sup> a monolayer of thiol of mixed OH and  $CH_3$  end functionality (middle) and a monolayer of thiol with COOH end functionality (right).<sup>350</sup>

**Superhidrofílico:  $\theta < 5^\circ$**

**Hidrofílico:  $\theta < 50^\circ$  (?)**

**Hidrofóbico:  $90^\circ > \theta > 50^\circ$  (?)**

**Ultrahidrofóbico:  $\theta > 120^\circ$**

**Superhidrofóbico:  $\theta > 150^\circ, \Delta\theta < 10^\circ$**

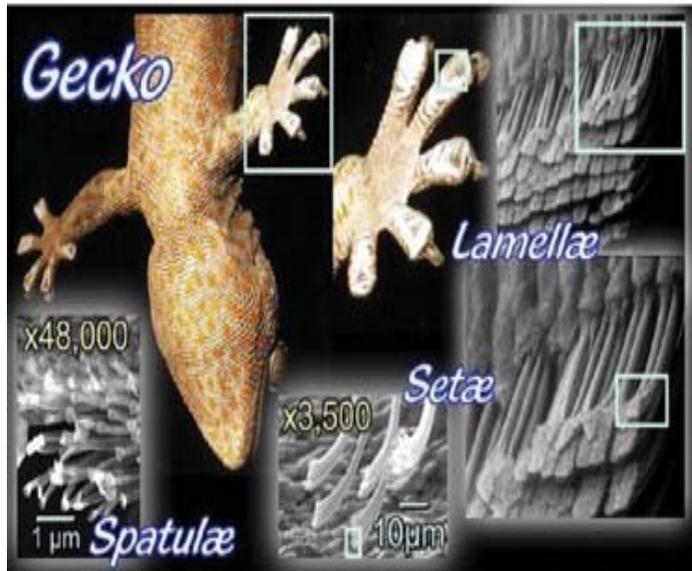
$$\gamma_S = \gamma_S^d + \gamma_S^p$$

$$\gamma_S^d = \frac{A_H}{24\pi D^2}$$

Constante de Hamaker

$D$  = distância média  
entre duas moléculas

$A_H$ :  $6,5 \times 10^{-20} \text{ J silica}$   
 $2,8 \times 10^{-20} \text{ J carbohidrato}$



Alta adesão:  
Forças de van der Waals  
potencializadas pela  
hierarquia de estruturas

Atrito lateral:  
Fibrilas flexíveis e inclinadas

~ 14000 setae/mm<sup>2</sup>

**J. Israelachvili**

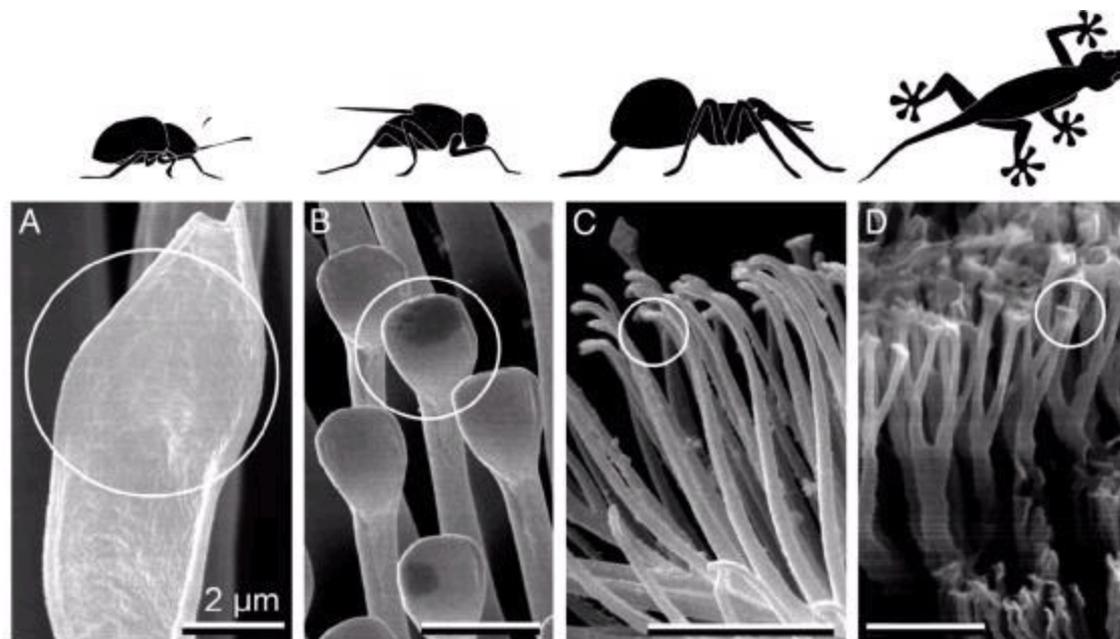
*J. Phys. Chem. B* **2009**, 113, 3615

*J. Phys.: Condens. Matter* **2009**, 21, 464132

*Langmuir* **2009**, 25, 7486

**Frictional Adhesion of Patterned Surfaces and Implications for Gecko and Biomimetic Systems**

Hongbo Zeng,<sup>†</sup> Noshir Pestilo,<sup>‡</sup> Yu Tian,<sup>†§</sup> Boxin Zhao,<sup>†§</sup> Yunfei Chen,<sup>†</sup> Matthew Tirrell,<sup>†</sup>  
Kimberly L. Turner,<sup>‡</sup> and Jacob N. Israelachvili<sup>†\*</sup>

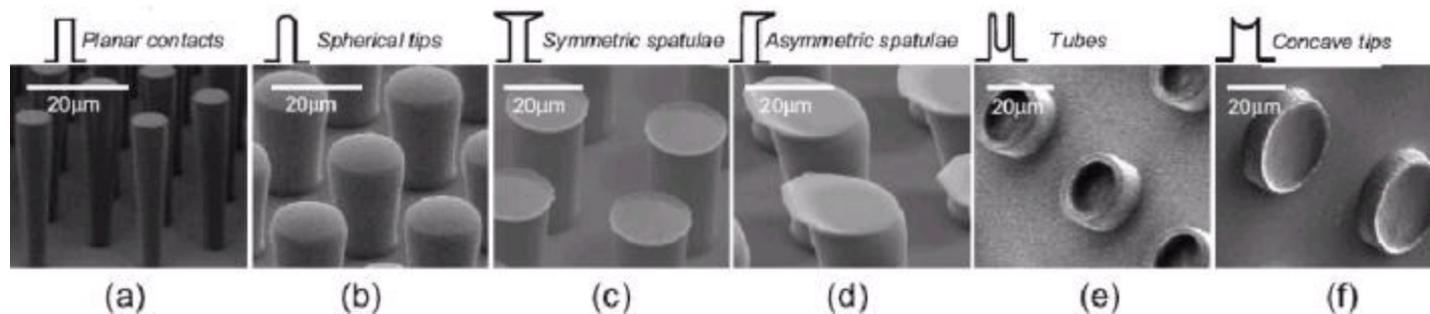


(A) Beetle

(B) Fly

(C) Spider

(D) Gecko



(a)

(b)

(c)

(d)

(e)

(f)

# Determinação de energia superficial (tensão superficial) de líquidos

$$\gamma_{LV} = \gamma_{LV}^d + \gamma_{LV}^p$$

## Método do capilar

$$h \rho g = 2\gamma \cos\theta / r$$

Na prática só é usado para  $\theta = 0$ , pois é difícil de se medir  $\theta$  corretamente.  
Outra dificuldade: o diâmetro interno do capilar deve ser uniforme.

## Método do anel

$$\gamma = k F / 4\pi R$$

F é a força medida , k é um fator de correção  
(compensa as forças de tensão não verticais) e R é o raio do anel.

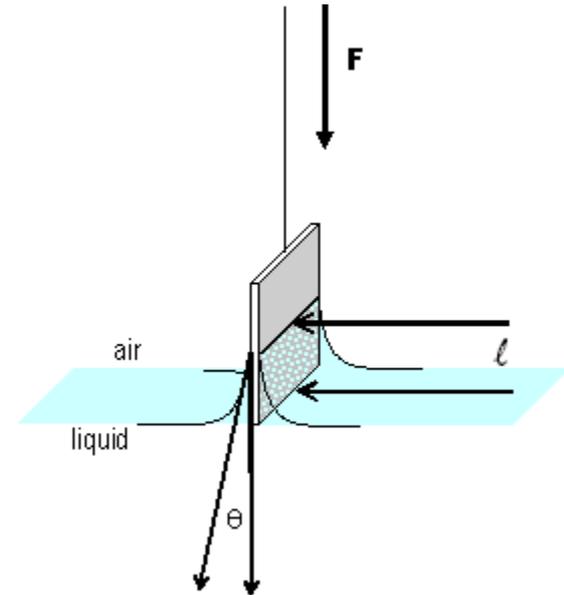
## Método da placa de Wilhelmy

Uma pequena placa de Pt é suspensa por um braço de uma balança e mergulhada no líquido. O recipiente contendo o líquido é abaixado lentamente até o momento da separação.

Para uma placa de comprimento  $x$ , largura  $y$  e peso  $P$  (m.g):

$$F_{\text{sep}} - P = 2 \lambda \cos\theta \gamma$$

Considera-se  $\theta = 0$



# Determinação de energia superficial (tensão superficial) de sólidos

$$\gamma_S = \gamma_S^d + \gamma_S^p$$

## Modelo geométrico:

Good-Girifalco-Fowkes

$$\gamma_{LV}(1 + \cos \theta) = 2 \left[ \left( \gamma_S^d \gamma_{LV}^d \right)^{1/2} + \left( \gamma_S^p \gamma_{LV}^p \right)^{1/2} \right]$$

## Modelo harmônico:

Wu

$$\gamma_{LV}(1 + \cos \theta) = 4 \left( \frac{\gamma_S^d \gamma_{LV}^d}{\gamma_S^d + \gamma_{LV}^d} + \frac{\gamma_S^p \gamma_{LV}^p}{\gamma_S^p + \gamma_{LV}^p} \right)$$

# Determinação de energia superficial (tensão superficial) de sólidos

Para uma superfície homogênea e lisa mede-se o ângulo de contato usando líquidos de polaridades diferentes.

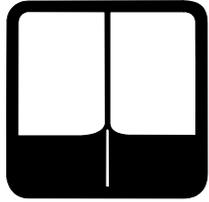
Por exemplo:

$\text{H}_2\text{O}$  ( $\gamma_{\text{LV}}^{\text{d}} = 21.8 \text{ mN/m}$  e  $\gamma_{\text{LV}}^{\text{p}} = 50.2 \text{ mN/m}$ )

$\text{CH}_2\text{I}_2$  ( $\gamma_{\text{LV}}^{\text{d}} = 50,8 \text{ mN/m}$  e  $\gamma_{\text{LV}}^{\text{p}} = 0 \text{ mN/m}$ )

Depois substitui os valores nos modelos.

# Determinação de energia superficial e de ângulo de contato de fibras ou fios



## Single Fibre Wilhelmy Method

Semelhante ao método da placa de Wilhelmy usa-se uma balança de alta precisão, onde a fibra de comprimento  $\lambda$  é mergulhada no líquido e depois o recipiente é afastado lentamente até o momento da separação. Mede-se a massa de líquido aderida à fibra.

$$F_{\text{sep}} - P = 2 \lambda \cos\theta \gamma$$

# Determinar grau de dano em fios de cabelo virgem, cabelo comum e cabelo descolorido (pontas dos fios)

Tabela I- Valores tabelados para tensão superficial (com as respectivas Componentes dispersiva e polar) dos diferentes líquidos usados a 20° C.

Líquidos	$\gamma_{LV}$ (mJ/m <sup>2</sup> )	$\gamma_{LV}^d$ (mJ/m <sup>2</sup> )	$\gamma_{LV}^p$ (mJ/m <sup>2</sup> )
Água	72,8	21,8	51,0
Etileno glicol	47,7	30,9	16,8
n-Hexano	18,4	18,4	0
CH <sub>2</sub> I <sub>2</sub>	50,8	50,8	0

# Determinação do grau de dano em fios de cabelo virgem, cabelo comum e cabelo descolorido (pontas dos fios)

Tabela II- Ângulos de contato dinâmicos determinados para etileno glicol, água e n-hexano sobre a superfície dos fios de cabelo.

	Etileno Glicol	Água	n-Hexano
Cabelo comum	$78^{\circ} \pm 4^{\circ}$	$81^{\circ} \pm 9^{\circ}$	0
Cabelo padrão virgem	$59^{\circ} \pm 3^{\circ}$	$100^{\circ} \pm 4^{\circ}$	0
Cabelo descolorido	$57^{\circ} \pm 5^{\circ}$	$76^{\circ} \pm 11^{\circ}$	0

# Determinação do grau de dano em fios de cabelo virgem, cabelo comum e cabelo descolorido (pontas dos fios)

Tabela III. Trabalho de adesão determinado para cada um dos três tipos de cabelos em contato com cada líquido utilizado.

	$W_{SL}$ em etileno glicol (mJ/m <sup>2</sup> )	$W_{SL}$ em água (mJ/m <sup>2</sup> )	$W_{SL}$ em n-hexano (mJ/m <sup>2</sup> )
Cabelo comum	58±4	84±11	36,8
Cabelo padrão virgem	72±2	60±5	38,8
Cabelo descolorido	74±4	90±13	36,8

## Determinação do grau de dano em fios de cabelo virgem, cabelo comum e cabelo descolorido (pontas dos fios)

A componente polar do n-hexano é nula, portanto a componente dispersiva de cada fio:

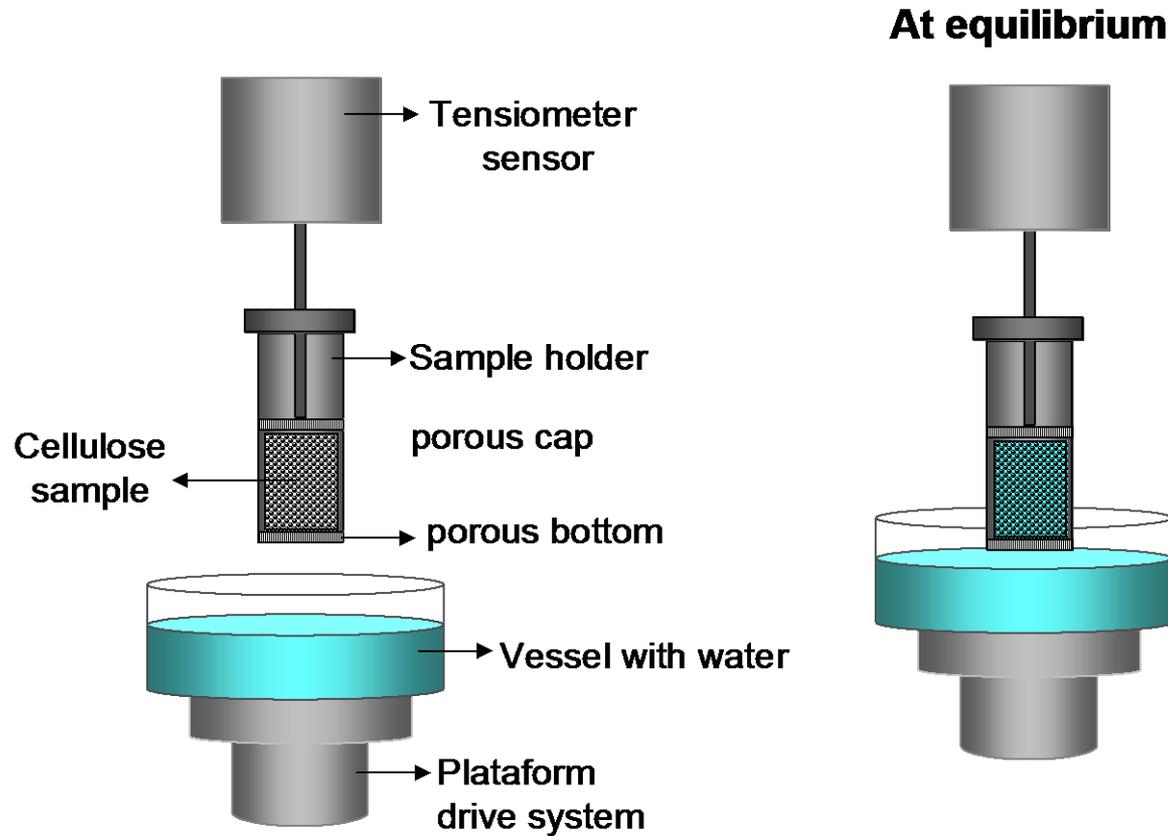
$$\gamma_S^d = W_{SL}^2 / 4\gamma_{LV}^d \rightarrow \gamma_S^d = 18,4 \text{ mJ/m}^2$$

Tabela IV. Valores de energia superficial,  $\gamma_S^t$ , determinados para os três tipos de cabelo e as respectivas componentes polar,  $\gamma_S^p$ , e dispersiva,  $\gamma_S^d$ .

	$\gamma_S^d$ (mJ/m <sup>2</sup> )	$\gamma_S^p$ (mJ/m <sup>2</sup> )	$\gamma_S^t$ (mJ/m <sup>2</sup> )
Cabelo comum	18,4	16±6	34±6
Cabelo padrão virgem	18,4	5±2	24±2
Cabelo descolorido	18,4	20±9	38±9

# Determinação de ângulo de contato de materiais porosos, pós e granulados

## Método de Washburn



A equação de Washburn combina a equação de Laplace para ascensão capilar e de viscosidade de Poiseuille:

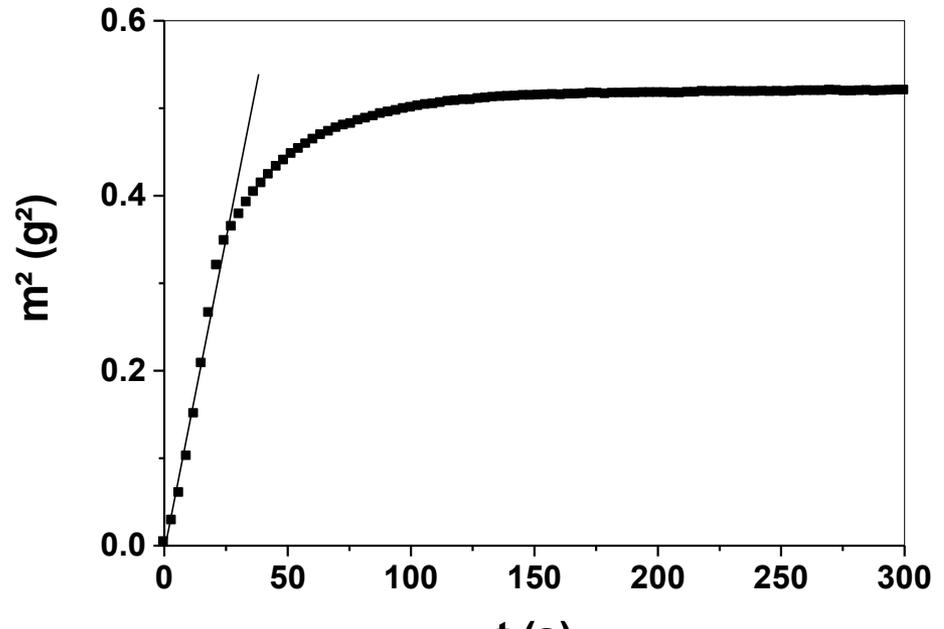
$$(h^2 / t) = C_w \rho^2 \gamma (\eta^{-1}) \cos \theta$$

onde  $C_w$  é a constante de capilaridade,  $\rho$  é a densidade do líquido,  $\gamma$  é a tensão superficial do líquido e  $\eta$  é a viscosidade do líquido.  $\theta$  é o ângulo de contato entre o líquido e o material poroso.

$C_w$  depende somente da geometria do capilar.

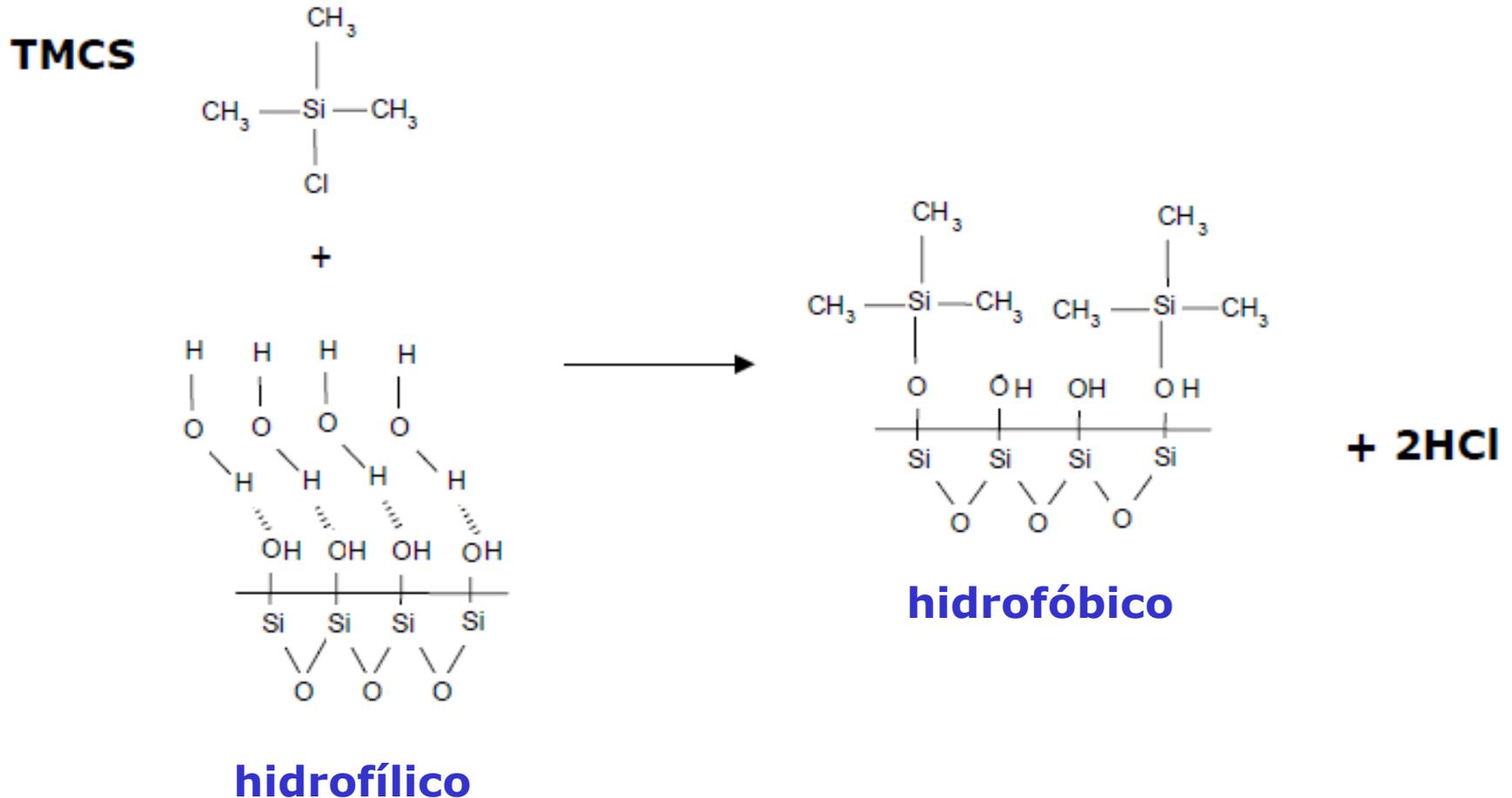
Com n-hexano ( $\cos \theta = 1$ ) e daí determina-se  $C_w$  a partir da inclinação da reta de  $m^2$  em função de  $t$ .

A partir daí as medidas são feitas com água para determinar a molhabilidade.



# Adsorção química de monocamadas sobre substratos sólidos

## Reações de silanização de superfícies de sílica

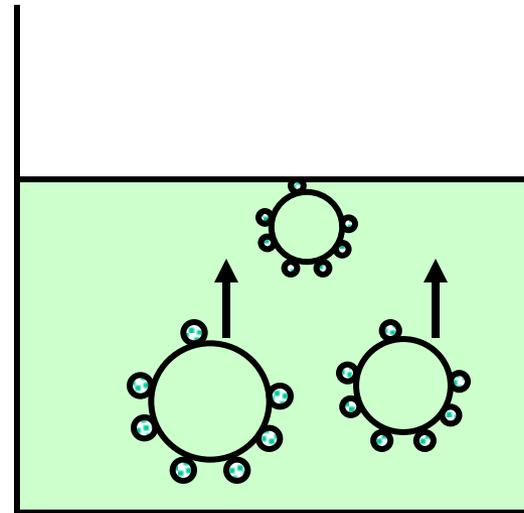
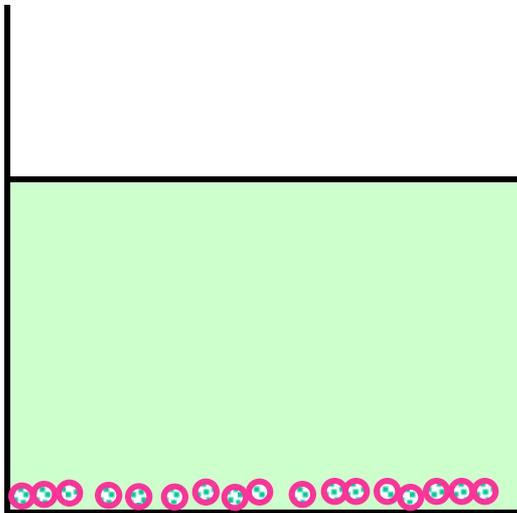


# Flotação:

Técnica usada para separar partículas dispersas num meio líquido

Problema: densidade das partículas sólidas  $>$  líquido

Estratégia: se meio for aquoso, modifica-se a superfície das partículas, deixando-as hidrofóbicas ( $\theta > 70^\circ$ ) e depois borbulha-se ar. Por causa da superfície hidrofóbica, as partículas aderem às bolhas de ar (também hidrofóbicas). Como a densidade do ar é muito baixa, as bolhas sobem para a superfície (na forma de espuma) arrastando as partículas metálicas.



## Como hidrofobizar a superfície das partículas?

- Adição de coletores (tensoativos), no caso de minérios
- Reações de silanização, no caso de sílica

## Outras aplicações práticas das interações sólido-líquido

- Cromatografia
- Infecção viral

## Bibliografia recomendada

“Introdução à Química dos Colóides e de Superfícies”, Duncan J. Shaw, 1975, (Ed. Edgar Blücher Ltda e EDUSP). (Capítulos 4 e 6)

“Physical Chemistry of Surfaces”, Arthur W. Adamson, 5th ed. 1990.

“Principles of Colloid and Surface Chemistry”, Paul C. Hiemenz & Raj Rajagopalan, 3rd ed. 1997, Marcel Dekker. (chapter 6)

„Capillarity and wetting phenomena“ P.G. De Gennes, F. Brochard-Wyart & D. Queré, Springer, 2004.

Chaudhury, M.K. (1996). Interfacial interaction between low-energy surfaces. *Materials Science Engineering*, 16, 97-159. (revisão)

*Colloid Polym Sci* (2013) vol. 291 totalmente dedicado à histerese no ângulo de contato

<https://www.khanacademy.org/science/mit-k12/v/bouncing-droplets--superhydrophobic-and-superhydrophilic-surfaces>