



VII Congresso de Pesquisa e Extensão da FSG
V Salão de Extensão

<http://ojs.fsg.br/index.php/pesquisaextensao>

ISSN 2318-8014



**DESENVOLVIMENTO DE GONIÔMETRO DE BANCADA PARA MEDIÇÃO DE
ÂNGULOS DE CONTATO DE MATERIAIS**

Gustavo Pacheco de Lima^a, Cesar Pandolfi^a, Luciane Calabria^{a*}

a) Centro Universitário da Serra Gaúcha.

Informações de Submissão

* Autor correspondente (Orientador)
Luciane Calabria, endereço: Rua Os Dezoito
do Forte, 2366 - Caxias do Sul - RS - CEP:
95020-472.

Palavras-chave:

Hidrofobicidade. Goniômetro. Pesquisa

Resumo

A hidrofobicidade dos materiais é um assunto de interesse das mais diversas áreas do conhecimento, uma vez que a importância desta capacidade do material gera ganhos para os mais diversos seguimentos da sociedade. Possui aplicações na área têxtil, área da saúde, economia de energia, entre outras. Este trabalho trata do desenvolvimento e fabricação de um goniômetro de bancada para a medição desta capacidade do material, através de modelos matemáticos. Sendo utilizada para o desenvolvimento deste projeto a metodologia experimental. Pode-se concluir que com este equipamento houve um ganho significativo nos esforços da instituição em seu setor de pesquisa e extensão uma vez que os alunos vão poder usar o equipamento para ampliar a pesquisa neste segmento.

1 INTRODUÇÃO

A hidrofobicidade dos materiais é um assunto estudado nas mais variadas áreas do conhecimento, acrescentado ganhos importantes para a vida cotidiana dos seres humanos, que vão desde superfícies autolimpantes na construção civil até equipamentos utilizados na área de saúde, evitando assim a proliferação de bactérias e microrganismos (FERREIRA, 2013).

A medição da capacidade do material ser hidrofóbico ou hidrofílico se dá através da angulação oriunda da gota de líquido em contato com a superfície do material estudado. A gota de líquido devido a sua tensão superficial, gerada no contato com a superfície, irá geralmente ficar no formato de gotícula. O ângulo gerado entre a superfície sólida e a tangente da superfície do líquido é determinado como ângulo de contato, se este ângulo for maior ou igual a 90° o material é determinado com hidrofóbico, caso o ângulo for menor que 90° o material é determinado como sendo hidrofílico (MATTOS, 2012).

Com o intuito de determinar esta repulsão de líquido do material, irá se desenvolver uma bancada didática para o laboratório de materiais da instituição, possibilitando assim o desenvolvimento de mais pesquisa relacionada a este assunto, sendo aprofundados nos capítulos subsequentes estes conteúdos bem como abordados conteúdos relacionados à elaboração deste relatório.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

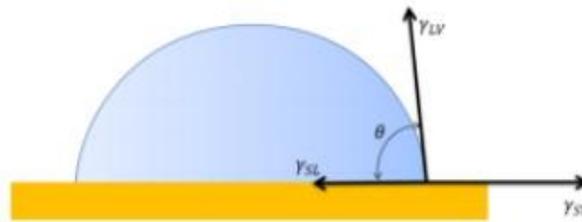
Nesta seção serão brevemente apresentados os conceitos e demais características pertinentes sobre capacidade hidrofóbica dos materiais, bem como apresentados os modelos matemáticos para a resolução desta capacidade.

2.1 Molhabilidade e ângulo de contato

Molhabilidade é uma propriedade superficial de diversos materiais, onde o formato (modo que se espalha) cada gota irá depender da interação superficial que ocorre entre o líquido e a superfície do material (Shaw, 1975), estando esta interação, ligada diretamente com as tensões internas de fluido (Ferreira, 2013). A medida ou o grau de molhabilidade de cada material é descrita através do ângulo de contato (CA), onde para realizar esta medida se utiliza o equacionamento de Young (01), que descreve o equilíbrio termodinâmico entre as tensões interfaciais: sólido-líquido (γ_{SL}), sólido-ar (γ_{SV}) e líquido-ar (γ_{LV}) e a superfície livre da gotícula, sendo possíveis verificar na Figura 01, abaixo. (Liu, Taing & Jiang, 2013).

$$\gamma_{LV} * \cos(\theta) = \gamma_{SV} - \gamma_{SL} \quad (01)$$

Figura 01: Representação esquemática do ângulo de contato.



Fonte: Figueiredo, Priolic & Zamora, 2015.

Através do valor obtido para o CA, podemos definir se o material possui características hidrofóbicas ou hidrofílicas. Caso as interações entre os equilíbrios termodinâmicos ultrapassem a tensão superficial, o ângulo de contato será menor que 90° o que caracteriza o material como sendo hidrofílico. Se estas interações não ultrapassam a tensão superficial do material, o ângulo será maior ou igual a 90° , caracterizando o material como hidrofóbico (Figueiredo, Priolic & Zamorab, 2015), como se pode ver através da Figura 02.

Figura 02: Figura relacionando regime do material, diagrama da gota e ângulo de contato.

Regime	Hidrofílico	Hidrofóbico
Diagrama da gota		
Ângulo de Contacto	$\theta < 90^\circ$	$\theta > 90^\circ$

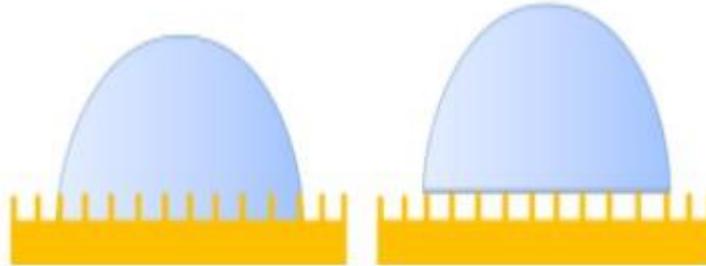
Fonte: Ferreira, 2013.

2.1.1 Rugosidade

Rugosidade superficial é um fator determinante para a medição do ângulo de contato, ao tanto que poucas superfícies sólidas são realmente planas, para se utilizar o equacionamento de Young. Para este caso utilizamos dois modelos matemáticos distintos baseados em dois estados principais: o estado homogêneo e o estado heterogêneo. O estado homogêneo foi apresentado por Wenzel em 1936 e é caracterizado pelo preenchimento completo dos sulcos da superfície do material, já o estado heterogêneo foi apresentado por Cassie-Baxter em 1944 e o líquido não preenche as estruturas rugosas do

material, devido aos bolsões de ar nos sulcos, gerando apenas duas interações termodinâmicas (Ferreira, 2013), Figura 03, a seguir.

Figura 03: Esquematização dos modelos em uma superfície rugosa, modelo de Wenzel (esquerda) demonstrando o estado homogêneo; e de Cassie-Baxter (direita), demonstrando o estado heterogêneo.



Fonte: Figueiredo, Priolic & Zamora, 2015.

A resolução destes estados, onde se considera materiais com superfícies rugosas, se utiliza como mencionado acima, os modelos matemáticos de Wenzel (02) e o de Cassie-Baxter (03).

$$\cos(\theta_w) = \left(\frac{r * (\gamma_{SV} - \gamma_{SL})}{\gamma_{LV}} \right) = r * \cos(\theta) \quad (02)$$

Onde no modelo de Wenzel: θ_w : é o ângulo de contato Wenzel; θ : é o ângulo de Young e; r : é o fator de rugosidade. O modelo de Cassie-Baxter: θ_{CB} : é o ângulo de Cassie-Baxter; θ : ângulo de Young e; f_s : área fracionada em que o líquido toca a superfície. Como demonstrado na equação abaixo.

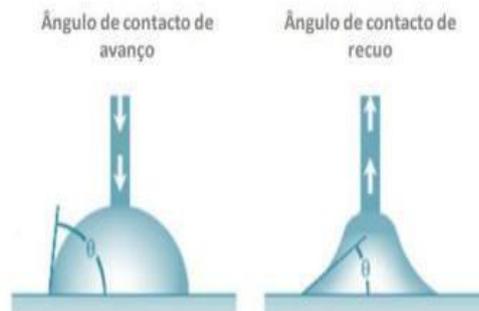
$$\cos(\theta_{CB}) = f_s * \cos(\theta) - (1 - f_s) \quad (03)$$

2.2 Histerese Angular

Outro parâmetro importante para avaliar a molhabilidade de materiais é a histerese do ângulo de contato, que é a medida baseada na diferença do processo de avanço e no processo de recuo dos ângulos gerados pelo líquido sobre a superfície de análise (Ruiz e Esperidião, 2005; Wainberg, 2014). Entre as formas de se medir a histerese angular estão os métodos: *Dynamic Sessile Drop* e a *Tilting Plate*. No primeiro método, os CA são obtidos pela expansão e a contração da gotícula, quando se realiza a deposição e a

remoção do líquido sobre a superfície. Deste modo, o ângulo de avanço se dá quando o volume do líquido atinge o máximo volume, antes que ocorrer a variação da fase líquido-sólido e o ângulo de recuo é observado quando o volume do líquido atinge o volume mínimo antes de área superficial líquido-sólido variar (Ferreira, 2013; Wainberg, 2014), como observado na Figura 04, abaixo.

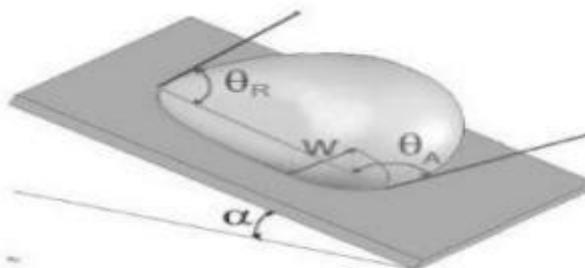
Figura 04: Obtenção dos ângulos de contato de avanço e recuo, através do método *Dynamic Sessile Drop*.



Fonte: Ferreira, 2013.

O método de *Tilting Plate* realiza a medição da histerese através do deslocamento realizado pela gota, ocasionadas pelos esforços gravitacionais, em uma superfície inclinada com um ângulo definido, sendo esta angulação definida através do ângulo mínimo para realizar o desligamento da gotícula no substrato. Onde o ângulo de avanço é obtido, quando a gota começa a se deslocar na extremidade inferior da gota e o ângulo de recuo é medido quando a gota abandona a superfície na extremidade superior da gota (Ferreira, 2013; Wainberg, 2014), conforme, Figura 05, a seguir.

Figura 05: Simulação do método *Tilting Plate*, para a obtenção dos ângulos de avanço e recuo.



Fonte: Wainberg, 2014.

2.3 Métodos de medição

A inúmeros métodos para a realização da leitura da medida do CA, entre eles estão: gota estática, método de *Wihelmy*, método do capilar, método da gota pendente entre outras (Ferreira, 2013). Entre os mais usuais está o método da gota séssil, devido a sua fácil replicação. Este método faz uso de uma microseringa para a realização injeção controlada do líquido na superfície de análise (Lima & Luz, 2007).

Logo após a realização da injeção, a gota é registrada e analisada através de *software* e equipamentos, como pode ser visto no capítulo subsequente.

2.4 Aplicações

As aplicações de materiais com superfícies hidrofóbicas, está sendo amplamente estudados para a melhoria e desenvolvimentos de materiais para utilização cotidiana da raça humana, sendo aplicado estes desenvolvimentos nas mais diversas áreas de conhecimento.

Na área têxtil, por exemplo, os materiais são fabricados para serem autolimpantes, impermeáveis e com efeitos antibacterianos (Sawhney et al, 2008; Mikail, 2013). Nos metais pode ser utilizado como método protetivo contra a corrosão (Yin et al, 2008). Na área da saúde as superfícies são utilizadas para evitar a proliferação de microrganismos, através de aparelhos com superfície autolimpantes. Outra área interessante onde se aplica estes estudos é na economia de energia, onde pode se ter uma redução do atrito gerado na movimentação, evitando desperdício de energia (Perreira et al, 2010).

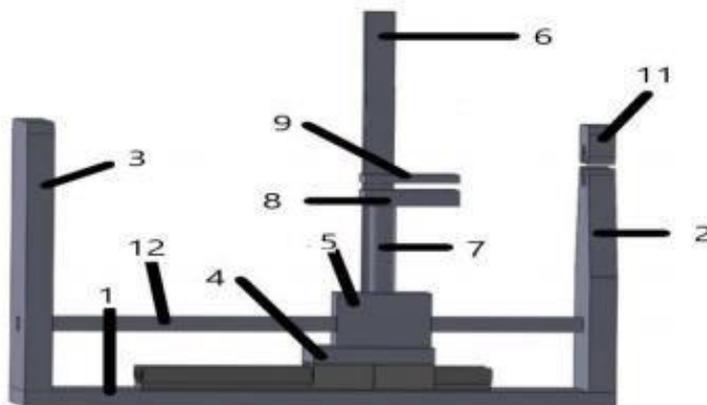
3 METODOLOGIA

A metodologia escolhida para a realização deste projeto foi a de pesquisa experimental, onde será desenvolvido um equipamento didático para a medição de hidrofobicidade de material. Onde o projeto do equipamento pode ser visto na seção subsequente.

3.1 Projeto

O projeto iniciou-se através da esquematização do dispositivo com o supervisor de estágio e logo após se realizou o desenho em CAD (Figura 06), onde se elaborou o dispositivo no seguinte formato: 1 – base inferior; 2 – base frontal; 3 – base posterior; 4 – suporte central; 5 – suporte fuso; 6 – haste de fixação 1; 7 – haste de fixação 2; 8 – plataforma 1; 9 – plataforma 2; 10 – suporte seringa; 11 – suporte microscópio e 12 – barra de suporte.

Figura 06: Demonstração CAD equipamento com o posicionamento das peças de madeira.



Fonte: Próprio autor, 2018.

O projeto quase por completo foi realizado em madeira, para a redução do custo de fabricação do dispositivo, com as peças de movimentação em metal. Tendo ocorrido algumas alterações do projeto inicial para o dispositivo pronto, isto devido a padronização de alguns materiais na empresa e impossibilidades de produção interna, etc. Estas alterações ocorreram na espessura do material, bem como no formato geométrico de algumas peças.

4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Nas seções subsequentes serão apresentados os resultados obtidos no desenvolvimento do projeto.

4.1 Fabricação de peças e compra de componentes

A fabricação das peças se deu internamente no laboratório 3D. Sendo somente o fuso superior (Figura 07) fabricado externamente, pois o material projetado para ele era metal, e a empresa não tinha capacidade interna para tal produção.

Figura 07: Fuso Superior. Fonte: Próprio autor.



Fonte: Próprio autor, 2018.

Os componentes comprados (Quadro 01) para a realização do dispositivo foram: o fuso, o trilho de movimentação e o microscópio, além dos elementos de fixação (parafusos e porcas) e movimentação (rolamentos). Está compra ocorreu em sua maioria via online, devido ao alto preço desses materiais em lojas físicas do município.

Quadro 01: Descritivo da quantidade de peças compradas.

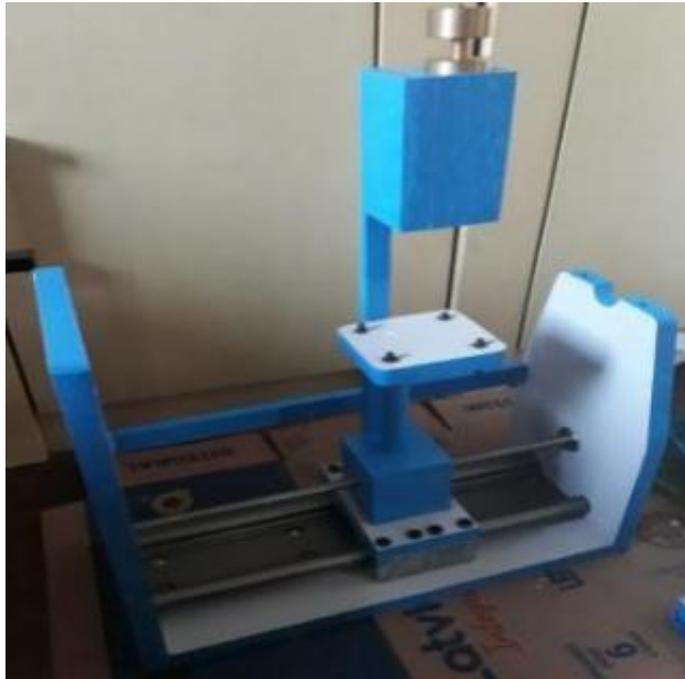
PEÇA	QUANTIDADE
FUSO 1	1 UNIDADE
FUSO 2	1 UNIDADE
MICROSCÓPIO ELETRÔNICO	1 UNIDADE
GUIA LINEAR DRYLIN	1 UNIDADE
MANCAIS	4 UNIDADES

Fonte: Próprio autor, 2018.

4.2 Construção do dispositivo

A construção do dispositivo se deu no laboratório 3D, onde foram agendados horários com o monitor do laboratório para a utilização de ferramentas e suporte para utilização dos equipamentos do laboratório. Logo após a montagem do equipamento foi feito o acabamento do dispositivo, dado o formato final (Figura 08) do equipamento.

Figura 08: Dispositivo pronto.



Fonte: Próprio autor, 2018.

4.3 Funcionalidade do equipamento

Para a realização das medidas do ângulo de contato, se fez uso do *software* ImageJ, que através da edição da imagem da gota com o substrato de análise, capturada (Figura 09) através do microscópio se obtém o ângulo de análise esperado.

Figura 09: Imagem capturada através do equipamento, gota de análise em um substrato de tecido.



Fonte: Próprio autor, 2018.

5 CONCLUSÃO

O fenômeno da hidrofobicidade já vem sendo observado na natureza há muito tempo, em essencial a característica de molhabilidade do material. As superfícies hidrofóbicas estão tendo um intenso desenvolvimento de pesquisa e criações de produtos, devido as grandes utilidades para a sociedade (Ferreira, 2013). Deste modo houve o desenvolvimento de um goniômetro de bancada para a realização da medição da hidrofobicidade dos materiais, utilizado a técnica do ângulo de contato.

Poder participar deste desenvolvimento me possibilitou, a atuar em uma área que possuía nem uma experiência. Capacitando-me a me tornar um profissional mais apto nas diversas áreas de atuação de engenharia. Além de me abrir o entendimento para a área para uma característica pouco conhecida dos materiais e com um campo de atuação muito grande, chamando a atenção para o estudo de armazenamento de energia, utilizando materiais hidrofóbicos (Perreira et al, 2010).

Deste modo podemos concluir que foi um ganho muito importante para a instituição com a ampliação do desenvolvimento de pesquisa neste segmento, bem como para meus conhecimentos como profissionais.

6 REFERÊNCIAS

FERREIRA, L.M.V. **Revestimentos Hidrofóbicos**. 2013. 77 folhas. Dissertação de Mestrado - Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2013. Disponível em: <https://run.unl.pt/bitstream/10362/11045/1/Ferreira_2013.pdf>. Acessado em: setembro de 2018.

FIGUEIREDO, S. S.; PRIOLIC, R.; ZAMORAB, R. R. M. Estudo da **Superhidrofobicidade de Folhas da Espécie Vegetal *Thalia geniculata* (LINEU, 1753)**. Disponível em: <<https://www2.unifap.br/ppgcf/files2015/04/7-Hydrophobicity.pdf>>. Acessado em: setembro 2018.

JIANG, Lei; TIAN, Ye; LIU, Kesong. *Bio-inspired superoleophobic and smart materials: Design, fabrication, and application*. Applied Surface Science, vol 58, pp. 503–564, 2013.

LIMA, R.M.F.; LUZ, J.A.M. **Capítulo 28 - Medida de ângulo de Contato**. Disponível em: <<https://mineralis.cetem.gov.br/bitstream/cetem/1073/1/Cap%2028%20Angulo%20de%20Contato.pdf>>. Acessado em: setembro 2018.

MATTOS, Agatha Carolina Hennigen de. **Determinação da molhabilidade de materiais particulados na indústria alimentícia**. 2012. 40 folhas. Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/110100/000951716.pdf?sequence=1>>. . Acessado em: setembro 2018.

MIKAIL, Eduardo. **Ultra-Ever Dry: o nanopolímero que "repele" líquidos**. Disponível em: <<https://blogdaengenharia.com/ultra-ever-dry-o-nanopolimero-querepele-liquidos/>>. Acessado em: novembro de 2018.

PEREIRA, A.P.C. et al. **Efeito Lótus**. Universidade do Porto, Faculdade de Engenharia, Porto, 2010. Disponível em: <https://paginas.fe.up.pt/~projfeup/cd_2010_11/files/QUl601_relatorio.pdf>. Acessado em: novembro de 2018. 19

RUIZ, J. I. R.; ESPERIDIÃO, M.C.A. **Estudo de ângulo de contato dinâmico em superfícies poliméricas**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE POLÍMEROS, 8., 2005, São Paulo. Disponível em:<<https://www.ipen.br/biblioteca/cd/cbpol/2005/PDF/587.pdf>>. Acesso em: outubro, 2018.

SAWHNEY, A. P. S. et al. **Modern Applications of Nanotechnology in Textiles**. Textile Research Journal, vol. 78, no. 8, pp. 731–739, 2008.

SHAW, D.J. **Introdução à química dos colóides e de superfícies**. Editora Blucher: São Paulo, 1975.

YIN, Yansheng. et al. **Structure stability and corrosion inhibition of superhydrophobic film on aluminum in seawater**. Applied Surface Science, vol 255, pp. 2978–2984, 2008.

WAINBERG, Rodrigo. **Molhabilidade e rugosidade de superfície: Caracterização interferométrica e sua correlação com a rugosidade**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de física, Porto Alegre, 2014. Disponível em:<<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/109774/000951388.pdf?sequence=1>>. Acessado em: novembro de 2018.