



República Federativa do Brasil
Ministério da Economia
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

(21) BR 102018017102-0 A2



(22) Data do Depósito: 21/08/2018

(43) Data da Publicação Nacional: 10/03/2020

(54) **Título:** FILME BIOINSPIRADO EM SUPERFÍCIES HIDROFÓBICAS PARA MEDIDA DE SALINIDADE EM FUNÇÃO DE ÂNGULO DE CONTATO

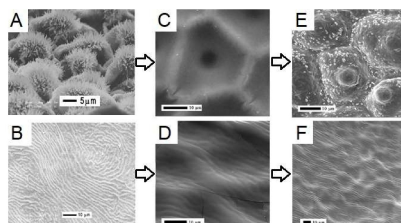
(51) **Int. Cl.:** C02F 1/00; C02F 1/26; C02F 1/28; G01N 33/00.

(52) **CPC:** C02F 1/00; C02F 1/265; C02F 1/286; G01N 33/00; C02F 2201/00; (...).

(71) **Depositante(es):** UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO.

(72) **Inventor(es):** FELIPE LEON NASCIMENTO DE SOUSA; PETRUS D'AMORIM SANTA CRUZ OLIVEIRA.

(57) **Resumo:** Refere-se a presente invenção a um dispositivo na forma de filme para medida de salinidade de líquidos, tipicamente água para inspeção de potabilidade em função desse parâmetro, para consumo humano ou animal ou para a irrigação, cuja principal característica é a utilização de medidas de ângulo de contato de gotícula do líquido em materiais com alta variação deste ângulo em função da salinidade. Para maior sensibilidade, a presente invenção propõe filmes que replicam topologias de estruturas naturais, como folhas de plantas que apresentam hidrofobicidade, correlacionando o ângulo medido com a salinidade do líquido. As estruturas dessas superfícies podem ser replicadas em material polimérico a partir da preparação de molde negativo e réplicas poliméricas biomimetizadas, com base na não adesão entre materiais. A inspeção pode ser feita ou através de registro de imagem digital com câmera de smartphone para cálculo do ângulo, correlacionando-o com a salinidade, ou visualmente, através de escala de ângulos impressa, que já pode indicar faixas correspondentes à qualidade da água como apropriada, salobra ou salgada, em função da correlação entre o ângulo de contato e valores de salinidade preestabelecidos em normas.



FILME BIOINSPIRADO EM SUPERFÍCIES HIDROFÓBICAS PARA MEDIDA DE SALINIDADE EM FUNÇÃO DE ÂNGULO DE CONTATO

01. Refere-se a presente invenção a um dispositivo para medida de salinidade de líquidos, em particular água, para avaliação de potabilidade e irrigação, cuja característica principal é a utilização de medidas de ângulo de contato de gotícula do líquido a ser avaliado, sobre um material na forma de filme que apresente alta variação de ângulo de contato em função da salinidade.

02. Para uma maior sensibilidade do sistema, a presente invenção propõe a preparação de filmes poliméricos biomiméticos, obtidos a partir da replicação de estruturas hierárquicas naturais usadas para elaboração de moldes, como exoesqueletos de insetos ou folhas de plantas que apresentam hidrofobicidade ou super-hidrofobicidade, correlacionando-se o ângulo com a salinidade do líquido.

03. Um dos maiores desafios da atualidade e das próximas décadas para a promoção da saúde de populações vulneráveis está no acesso à água potável. Apesar do vasto número de parâmetros necessários para classificação da água como potável, em muitas regiões a salinidade pode ser um dos fatores mais importantes. Apesar dos diversos métodos existentes para a avaliação da salinidade, para o uso de rotina e em larga escala por populações vulneráveis, faz-se necessário um método que alie o baixo custo à facilidade de uso, rapidez de medida e confiabilidade.

04. O estado da técnica utiliza na maioria dos dispositivos comercialmente disponíveis para quantificação de rotina do teor de sais em água, células condutimétricas ou potenciométricas para medidas mais precisas, ou, para medidas de baixo custo, porém menos precisas, o método indireto da densitometria, em geral por oscilação mecânica. No primeiro caso, além do custo mais elevado, alterações dos eletrodos utilizados com o tempo levam à necessidade de manutenção e recalibração custosas e não triviais, que podem inviabilizar o uso em larga escala por comunidades vulneráveis. No segundo caso, além da menor precisão, depósitos de sais nas partes móveis podem levar à rápida perda de confiabilidade das medidas.

05. A presente invenção tem como principal objetivo popularizar o acesso a dispositivos para avaliação de rotina da qualidade da água para o consumo humano, animal ou para irrigação, em particular em regiões em que a salinidade é o problema central, permitindo inspeção pela simples observação de uma gotícula do líquido sobre o filme proposto, através de modo visual simples, com auxílio de uma escala de ângulos impressa, ou de forma mais precisa, através da imagem da gota registrada com um smartphone com qualquer aplicativo gratuito para medida de ângulo.

06. Para uma maior sensibilidade das medidas, a superfície em que a gotícula do líquido é depositada deve apresentar alta variação de ângulo de contato em função do parâmetro avaliado, como a salinidade. Os filmes aqui propostos são bioinspirados em superfícies hidrofóbicas ou super-hidrofóbicas, em particular presentes na natureza.

07. Estruturas hierárquicas (micrométricas/nanométricas), presentes por exemplo nas superfícies de folhas de algumas espécies que apresentam essas propriedades, podem ser utilizadas na preparação de moldes poliméricos, em seguida utilizados para produção em série de réplicas miméticas, com baixo custo, utilizadas como dispositivo para determinação do ângulo de contato e quantificar a faixa de salinidade da amostra.

08. Este dispositivo possui vantagens como o baixo custo de produção, a não necessidade de recalibrações, não tendo partes móveis nem fazendo uso de eletricidade. De fácil utilização, é compatível com uso em larga escala, por exemplo em populações vulneráveis ou em ambientes hostis. Pode utilizar espécies de nossa biodiversidade, incluindo o bioma da Caatinga, promovendo inclusive a preservação do potencial biomimético brasileiro, pois valoriza propriedades de espécies muitas vezes nativas e endêmicas do País, com potencial para inovação e desenvolvimento tecnológico.

09. Uma das principais novidades que também caracterizam a invenção consiste no uso da interação físico-química da água e seus contaminantes, que promove mudanças em parâmetros como a tensão superficial, que afetem o ângulo de contato entre gotículas do líquido, tipicamente água, e o filme proposto como dispositivo de medida, permitindo através da correlação da faixa de ângulo medido e o grau de contaminação do líquido, a determinação de sua qualidade, ou potabilidade em se tratando de água.

10. Para a produção do dispositivo na forma de filme biomimético polimérico, o processo proposto é o de “soft lithography”, utilizando polímeros comercialmente disponíveis e de baixo custo, de alta estabilidade mecânica e não-tóxicos. O processo é dividido em duas etapas: primeiro, um “biomolde” que apresente superfície hidrofóbica ou super-hidrofóbica é utilizado para se fazer uma réplica polimérica negativa (molde negativo), em seguida, este molde negativo é utilizado para a produção em série de réplicas biomiméticas, a partir de seu preenchimento com um segundo polímero. As réplicas biomiméticas são destacadas por exemplo por processo de “peal off”, que utiliza a não-adesão entre superfícies para modelagem de polímeros, resultando na replicação eficiente da topologia hierárquica composta por micro e nanoestruturas, por exemplo, de folhas das espécies vegetais escolhidas por apresentarem maiores variações de ângulo de contato em função de contaminantes dos líquidos a serem analisados, tipicamente água.

11. Dois exemplos de filmes biomimetizados por este processo são mostrados em microscopias eletrônicas de varredura (MEV) na figura 1, e ambos foram caracterizados para utilização como os dispositivos propostos na presente invenção. As imagens das figuras 1(A) e 1(B) referem-se a superfícies de folhas das espécies *Colocasia esculenta* e *Simaba ferruginea* respectivamente, utilizadas como “biomoldes”. As imagens de MEV das figuras 1(C) e 1(D) referem-se respectivamente às suas réplicas poliméricas negativas (moldes negativos) preparados com o polímero polidimetilsiloxano (PDMS), e as imagens de MEV das figuras 1(E) e 1(F) referem-se às réplicas poliméricas biomiméticas obtidas pelo preenchimento dos moldes negativos com o polímero polivinil butiral (PVB), e destacadas por processo “peal off”.

12. Três exemplos de filmes poliméricos para avaliação de salinidade de água foram caracterizados para funcionamento como dispositivos propostos na presente invenção, conforme mostrado na mostrados na Figura 2. A correlação do ângulo de contato de uma gotícula de água sobre um filme polimérico liso de PVB é mostrada na curva 2(G) em função da salinidade da água, enquanto que as correlações com os ângulos de contato medidos com as réplicas poliméricas biomiméticas 1(E) e 1(F) correspondem às curvas 2(H) e 2(I) respectivamente.

13. As medidas desses ângulos de contato podem ser realizadas de forma visual, conforme mostrado na figura 3, em que uma escala de ângulos 3(J) é posicionada perpendicular ao filme polimérico 3(K) em que uma gotícula 3(L) é depositada, de forma que o centro da escala coincida com ponto de contato do limite esquerdo da gota com o filme, e o ângulo medido tangencie a gota. Pode-se, opcionalmente, se utilizar uma lente de aumento para inspeção. No exemplo mostrado, o ângulo de contato medido é indicado pela seta 3(M). Para utilização prática do dispositivo com inspeção visual, a escala de medida em graus pode ser substituída por valores de salinidade, conforme figura 2, de forma que cada tipo de filme tenha sua escala específica.

14. Para facilitar a indicação de potabilidade para o consumo humano, animal ou para irrigação em função da salinidade, podem ser confeccionadas para cada caso escalas de ângulos divididas em cores. O intervalo de ângulos associados ao uso permitido pode ser de uma cor (verde, por exemplo), enquanto que valores associados ao uso impróprio, pode ter a cor de fundo da escala vermelha, por exemplo. Uma faixa intermediária em cor amarela também pode ser especificada, sempre com base em valores estabelecidos para a saúde pública por órgão reguladores.

15. Para medidas mais precisas, há a possibilidade do registro da imagem da gota através da câmera fotográfica de um smartphone, por exemplo, com qualquer aplicativo instalado para medida de ângulo. Na figura 4, um conta-gotas capilar 4(N) pinga uma gotícula 4(O) sobre um filme polimérico 4(P), e um aplicativo gratuito 4(Q) analisa a imagem da gota capturada pela câmera fotográfica do smartphone, indicando o ângulo de contato 4(R), que pode ser correlacionado com a salinidade da água através do gráfico da figura 2. Pode-se converter o valor do ângulo medido em indicação de potabilidade da água através de tabela correlacional no próprio smartphone, estabelecida com base na mesma tabela em relação à salinidade, por exemplo, e com faixas de valores recomendados por órgão reguladores.

REIVINDICAÇÕES

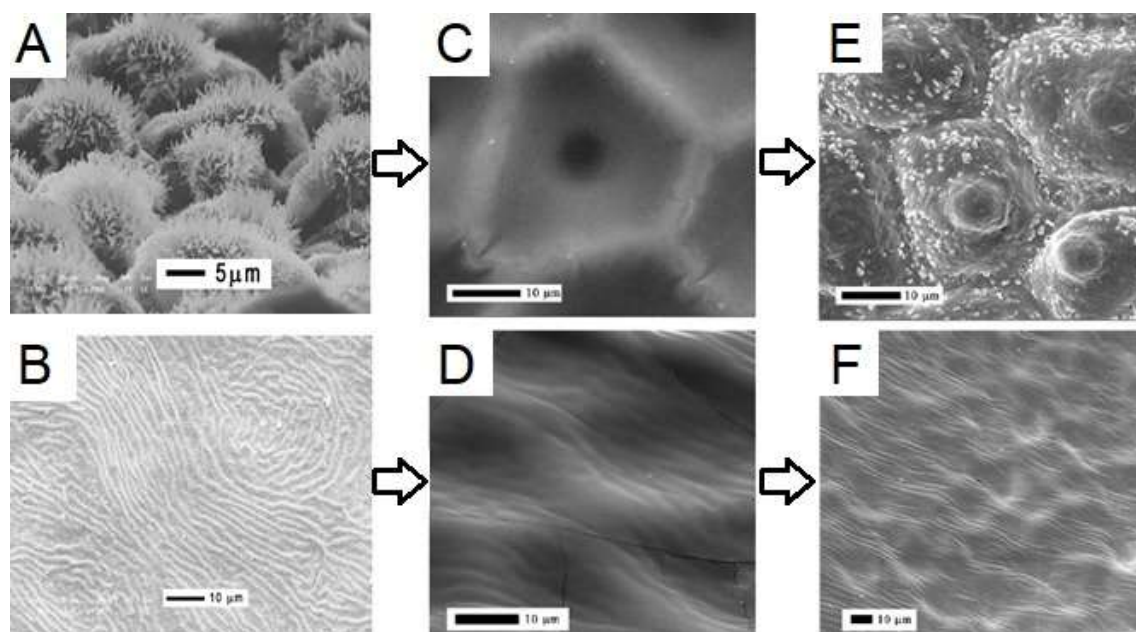
1. FILME BIOINSPIRADO EM SUPERFÍCIES HIDROFÓBICAS PARA MEDIDA DE SALINIDADE EM FUNÇÃO DE ÂNGULO DE CONTATO, caracterizado por ser constituído de material que apresente variação de ângulo de contato com uma gotícula de líquido a ser analisado, que permita a indicação de salinidade a partir da correlação com medidas desse ângulo.
2. FILME BIOINSPIRADO EM SUPERFÍCIES HIDROFÓBICAS PARA MEDIDA DE SALINIDADE EM FUNÇÃO DE ÂNGULO DE CONTATO, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por ser constituído de material bioinspirado em estruturas presentes em espécies animais ou vegetais.
3. FILME BIOINSPIRADO EM SUPERFÍCIES HIDROFÓBICAS PARA MEDIDA DE SALINIDADE EM FUNÇÃO DE ÂNGULO DE CONTATO, de acordo com a reivindicação 2, caracterizado por utilizar estruturas presentes em espécies animais ou vegetais para confecção de moldes para produção dos filmes biomiméticos hidrofóbicos, ou particularmente super-hidrofóbicos.
4. FILME BIOINSPIRADO EM SUPERFÍCIES HIDROFÓBICAS PARA MEDIDA DE SALINIDADE EM FUNÇÃO DE ÂNGULO DE CONTATO, de acordo com as reivindicações 1 e 2, caracterizado por poder utilizar superfícies de folhas de plantas, com superfícies hidrofóbicas ou particularmente super-hidrofóbicas, como molde natural primário para preparação de moldes complementares que as repliquem preservando essas propriedades.
5. FILME BIOINSPIRADO EM SUPERFÍCIES HIDROFÓBICAS PARA MEDIDA DE SALINIDADE EM FUNÇÃO DE ÂNGULO DE CONTATO, de acordo com as reivindicações 2 e 3, caracterizado por utilizar o princípio da não-adesão entre materiais na produção de filmes bioinspirados em duas etapas, a produção do molde complementar, e a produção da réplica biomimética.
6. FILME BIOINSPIRADO EM SUPERFÍCIES HIDROFÓBICAS PARA MEDIDA DE SALINIDADE EM FUNÇÃO DE ÂNGULO DE CONTATO, de acordo com a reivindicação 5, caracterizado por utilizar materiais poliméricos distintos associados ao princípio da não-adesão entre materiais na produção do filme bioinspirado através de moldagem.

7. FILME BIOINSPIRADO EM SUPERFÍCIES HIDROFÓBICAS PARA MEDIDA DE SALINIDADE EM FUNÇÃO DE ÂNGULO DE CONTATO, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por permitir a inspeção da qualidade de água em relação a sua salinidade a partir de escala visual impressa, colocada perpendicular à superfície em que a gotícula é depositada, e na parte anterior da mesma, conforme mostrado na figura 3, que permita correlacionar faixas de ângulo de contato da gotícula do líquido a ser analisado para cada tipo de filme, com valores de salinidade, como exemplo mostrado na figura 2.

8. FILME BIOINSPIRADO EM SUPERFÍCIES HIDROFÓBICAS PARA MEDIDA DE SALINIDADE EM FUNÇÃO DE ÂNGULO DE CONTATO, de acordo com as reivindicações 1 e 7, caracterizado por poder utilizar escalas já com indicação de potabilidade da água para consumo humano ou animal ou para a irrigação, elaboradas em função da correlação entre o ângulo de contato e valores de salinidade, em faixas estabelecidas por legislação ou normas em vigor, que podem definir intervalos indicativos de água apropriada, salobra ou salgada.

9. FILME BIOINSPIRADO EM SUPERFÍCIES HIDROFÓBICAS PARA MEDIDA DE SALINIDADE EM FUNÇÃO DE ÂNGULO DE CONTATO, de acordo com as reivindicações 7 e 8, caracterizado por poder acoplar uma lente de aumento para inspeção mais precisa do ângulo de contato da gota do líquido sobre o filme utilizado, e leitura da qualidade da água na escala visual apropriada.

10. FILME BIOINSPIRADO EM SUPERFÍCIES HIDROFÓBICAS PARA MEDIDA DE SALINIDADE EM FUNÇÃO DE ÂNGULO DE CONTATO, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por permitir a inspeção da qualidade de água em relação a sua salinidade a partir de registro digital de imagem da gotícula do líquido sobre o material proposto, através de câmera fotográfica, por exemplo, de um smartphone que utilize qualquer aplicativo de medida de ângulo, conforme mostrado na figura 4, e correlação deste ângulo com a salinidade do líquido, como mostrado na figura 2.

**Fig. 1**

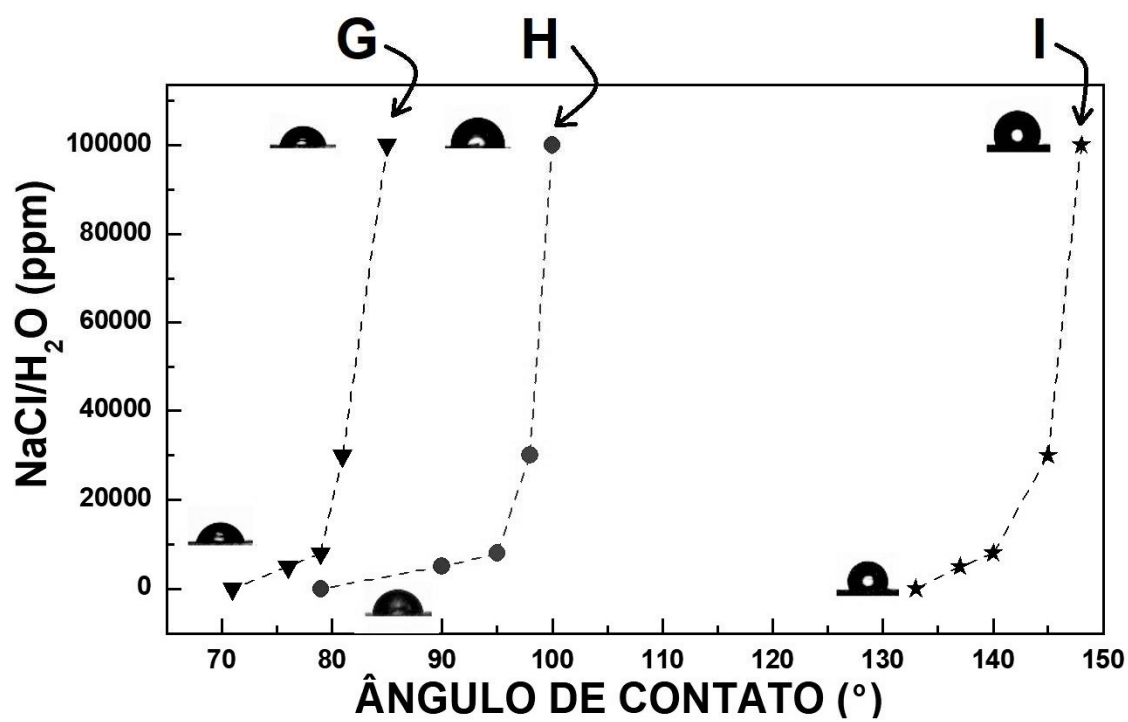


Fig. 2

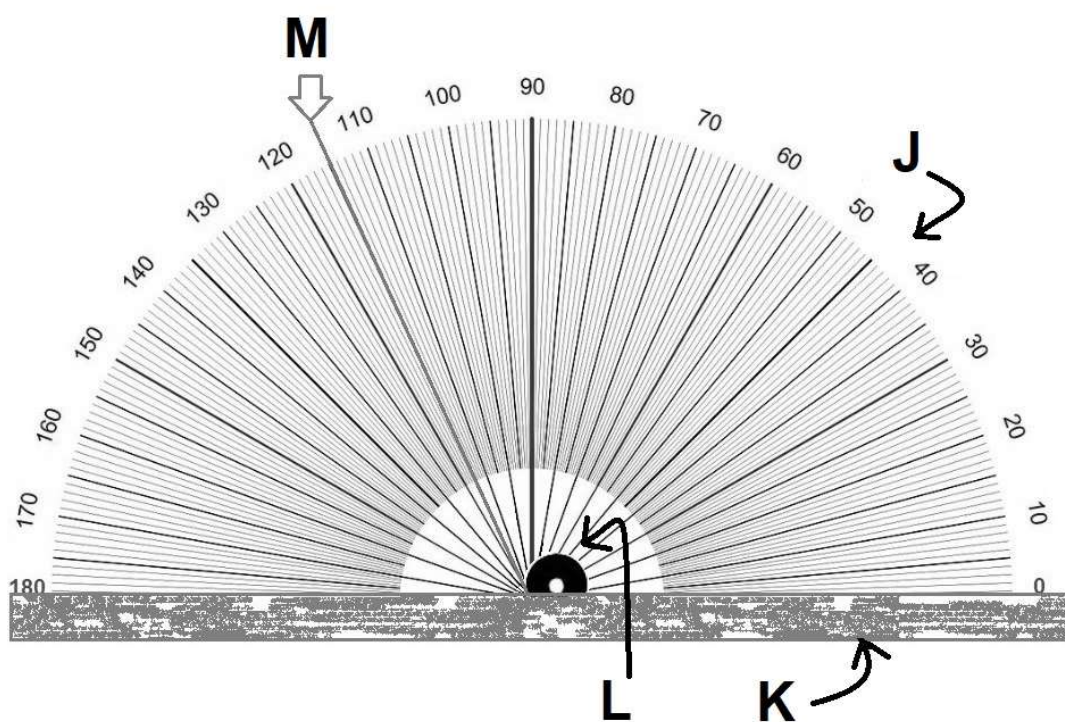


Fig. 3

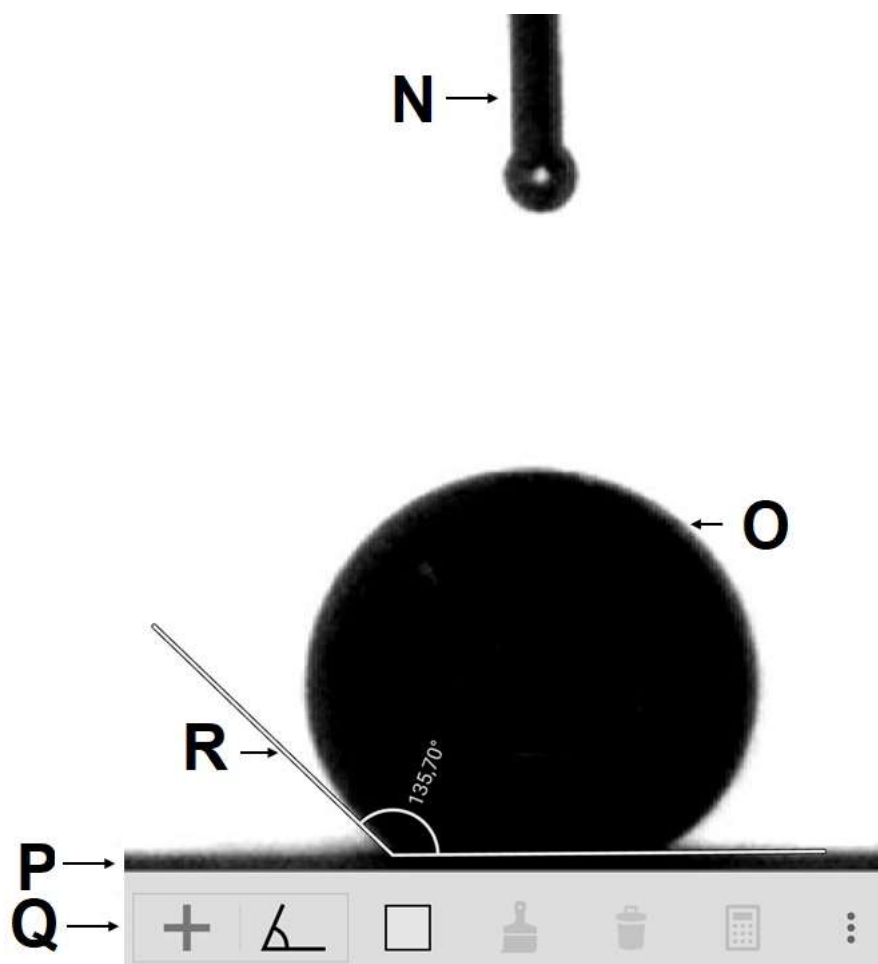


Fig. 4

RESUMO**FILME BIOINSPIRADO EM SUPERFÍCIES HIDROFÓBICAS PARA MEDIDA DE SALINIDADE EM FUNÇÃO DE ÂNGULO DE CONTATO.**

Refere-se a presente invenção a um dispositivo na forma de filme para medida de salinidade de líquidos, tipicamente água para inspeção de potabilidade em função desse parâmetro, para consumo humano ou animal ou para a irrigação, cuja principal característica é a utilização de medidas de ângulo de contato de gotícula do líquido em materiais com alta variação deste ângulo em função da salinidade. Para maior sensibilidade, a presente invenção propõe filmes que replicam topologias de estruturas naturais, como folhas de plantas que apresentam hidrofobicidade, correlacionando o ângulo medido com a salinidade do líquido. As estruturas dessas superfícies podem ser replicadas em material polimérico a partir da preparação de molde negativo e réplicas poliméricas biomimetizadas, com base na não adesão entre materiais. A inspeção pode ser feita ou através de registro de imagem digital com câmera de smartphone para cálculo do ângulo, correlacionando-o com a salinidade, ou visualmente, através de escala de ângulos impressa, que já pode indicar faixas correspondentes à qualidade da água como apropriada, salobra ou salgada, em função da correlação entre o ângulo de contato e valores de salinidade preestabelecidos em normas.