



**XXIII SNPTEE**  
**SEMINÁRIO NACIONAL**  
**DE PRODUÇÃO E**  
**TRANSMISSÃO DE**  
**ENERGIA ELÉTRICA**

FI/GIA/16  
18 a 21 de Outubro de 2015  
Foz do Iguaçu - PR

**GRUPO - XI**

**GRUPO DE ESTUDO DE IMPACTOS AMBIENTAIS - GIA**

**AUTOMAÇÃO DE UM TANQUE DE BIOSSURFACTANTE PARA UM FLOTADOR POR AR DISSOLVIDO UTILIZANDO O HARDWARE ARDUINO**

**Pedro Pinto Ferreira Brasileiro\***  
UNICAP  
**Alex Élton de Moura**  
UFPE

**Juliana Moura de Luna**  
CGTI  
**Valdemir Alexandre dos Santos**  
CGTI

**Raquel Diniz Rufino**  
CGTI  
**Leonie Asfora Sarubbo**  
CGTI

**RESUMO**

Os derramamentos de petróleo elevam a toxicidade do ambiente marinho, forçando os cientistas a retirarem o petróleo com elevada dificuldade. Uma das soluções em estudo é a combinação de micro-organismos com elevado potencial biotecnológico, inoculados em meio de resíduos industriais, para a síntese dessas substâncias denominadas de biossurfactantes, contudo deve-se controlar a dosagem desse biossurfactante. O presente trabalho utilizou uma válvula agulha para controlar a dosagem do surfactante microbiano produzido pela levedura *Candida guilliermondii*, em um flotador por ar dissolvido (FAD), através do microcontrolador *Arduino*, obtendo-se um fluxo de 0 a 30 mL/min para desemulsificar a mistura água/óleo.

**PALAVRAS-CHAVE**

Petróleo, Toxicidade, FAD, Válvula Agulha.

**1.0 - INTRODUÇÃO**

Desde a segunda Revolução Industrial, o petróleo vem sendo o âmago de vários empreendedores para produzir combustíveis, plásticos, fármacos e diversos outros compostos. A descoberta de grandes poços petrolíferos, localizados a mais de 2 km de profundidade marinha, auxiliou a alavancar um economia promissora, no entanto aumentou o risco da contaminação dos Oceanos diante da elevada toxicidade da mistura de óleos e hidrocarbonetos. O contraste citado reflete-se claramente na explosão da Plataforma *Deepwater Horizon*, no Golfo do México, onde uma sequência de falhas humanas e instrumentais propiciou o derramamento de cerca de 780 milhões de litros de petróleo, os quais espalharam-se pela costa americana. A inexperiência em situações drásticas, o prejuízo financeiro causado, a preocupação com elevadas multas ambientais e o medo das revelações feitas pela imprensa internacional a todo o planeta fizeram os cientistas utilizarem a maioria dos recursos disponíveis para concertarem a falha cometida (BOZEMAN, 2011).

Após 10 dias dessa catástrofe, começaram a ser tomadas as medidas remediativas, as quais podem ser majoritariamente expressas por: incineração das frações mais leves do petróleo, recolhimento de resíduos pelos barcos *Skimmers* e aplicação de surfactantes químicos para precipitar o óleo visível. Essa última tentativa de remediação, todavia, tornou-se contraditória, pois os detergentes sintéticos são também petroderivados, aumentando a toxicidade do Oceano Atlântico e ampliando a possibilidade de causarem doenças e óbito aos seres marinhos. As pesquisas em estudo, porquanto, apresentam-se como viáveis na aplicação de compostos formados pelo inóculo de micro-organismos com elevado potencial biotecnológico em substratos oriundos de resíduos industriais para a síntese dos biossurfactantes: os biorremediadores do petróleo. Esses compostos têm baixa toxicidade perante os detergentes químicos e são biodegradáveis, tornando-os agentes biorremediadores ideais em derramamentos de navios e rompimentos de tubulações de plataformas (TANSEL, 2014).

O crescimento do Estado de Pernambuco tende a ascender pela alta capacidade de geração de renda, beneficiando a vários cidadãos. O lucro se consolida principalmente pelo desenvolvimento do Polo Petroquímico de Suape, detentor de várias indústrias, das quais, muitas utilizam o petróleo como matéria-prima. Essa mistura de hidrocarbonetos, todavia, é usualmente transportada por navios com a possibilidade de causar derramamentos, prejudicando a vida marinha, as populações ribeirinhas e outras empresas nas proximidades. A Termoelétrica de Pernambuco (TERMOPE) é uma das indústrias preocupadas com esse possível desastre ambiental e econômico, devido à possível captação da água contaminada com petróleo no sistema de arrefecimento dos geradores da empresa. Logo, o projeto dos biosurfactantes é uma solução plausível para remediar esses acidentes petrolíferos.

A Flotação por Ar Dissolvido (FAD) é um dos métodos de separação água/óleo mais rápidos, sendo aplicado em muitas indústrias, como refinarias e petroquímicas, com as finalidades de tratar e recuperar um elevado percentual de água. No início desse sistema, um afluente e um composto coagulante são inseridos em uma câmara de agitação com o propósito de serem dispersos pelos impulsionadores existentes, tentando alcançar a máxima área superficial das gotículas de óleo. A água, também presente nessa mistura, irá hidrolisar o coagulante, transformando-o em um íon capaz de agregar-se a compostos hidrofóbicos. Ademais, o conjunto coagulado passa por um misturador estático, o qual aumenta a turbulência da mistura diante da geometria da peça, com o intuito de otimizar a combinação coagulante/óleo para permitir o início da separação. Desse modo, o conjunto segue para uma câmara de flotação em que microbolhas são lançadas contra a mistura coagulante/óleo, as quais unir-se-ão ao coagulante pela baixa diferença de polaridade. Logo, o complexo tenderá a ascender pela pequena densidade, e as partículas de óleo serão coalescidas diante das forças de dispersão de London (KARHU, LEIVISKÄ, TANSKANEN, 2014). Os surfactantes são opções para a substituição dos coagulantes, haja vista a capacidade de combinação mútua com compostos hidrofóbicos e hidrofílicos.

O uso de microcontroladores torna-se custoso nesse processo porque as grandezas de pH, temperatura, pressão e vazão precisam ser mensuradas e alteradas conforme a necessidade. O hardware *Arduino*, no entanto, é uma plataforma capaz de implementar funções de controle baseadas nas linguagens C e C++ do modo pretendido pelo operador e apresenta um baixo preço de aquisição como no caso do *Arduino Uno* (€ 20,00). A automação desse sistema de tratamento da água do mar, porquanto, agiliza a remoção do óleo e evita que erros graves aconteçam (ARDUINO, 2014).

O biosurfactante sintetizado pela levedura *Candida guilliermondii* em meio composto totalmente por resíduos industriais a partir de água suplementada por 4,0 % de milhocina, 2,5 % de melaço e 2,5 % de óleo de soja residual demonstra uma elevada estabilidade, cerca de 360 dias, com o uso do conservante sorbato de potássio a 0,2 %. Além da manutenção das propriedades tensoativas, o surfactante microbiano apresenta uma extração do produto microbiológico também elevada de 30,2 g/L, tornando-se um composto ideal para a aplicação no FAD (BRASILEIRO et al., 2013).

Nesse sentido e na temática de transmissão de energia elétrica para regiões devastadas pelo petróleo, a proposta do trabalho torna-se controlar de uma válvula agulha comercial do Flotador por Ar Dissolvido com a finalidade de automatizar o tanque de biosurfactante. Esse controle foi realizado pelo hardware *Arduino Uno*, e o agente de biorremediação foi o surfactante microbiano produzido pela levedura *Candida guilliermondii*, cuja fermentação também é expressa no trabalho.

## 2.0 - MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. - Micro-organismo e Substratos

A levedura *Candida guilliermondii* (UCP 0992), depositada no Banco de Culturas do Núcleo de Pesquisas Ambientais da Universidade Católica de Pernambuco foi utilizada como produtora do biosurfactante. A repicagem desse organismo microbiano ocorreu a cada 30 dias, em tubos de ensaio, contendo o meio sólido de *Yeast Mold Agar* (YMA). Como substratos para a produção do biosurfactante, foram utilizados a milhocina, o melaço e o resíduo industrial de óleo de soja.

### 2.2. - Meios de Manutenção e de Crescimento do Inóculo e de Produção do Biosurfactante

A levedura foi mantida em meio YMA, composto por: extrato de levedura (0,3 %), D-glicose (1,0 %), peptona (0,5 %), ágar bacteriano (2,0 %) e água destilada q.s.p. Os componentes foram esterilizados em autoclave a 121 °C por 20 min. Na ausência do ágar, o meio *Yeast Mold Broth* (YMB) foi utilizado para o crescimento da levedura. O meio de produção foi composto pelo acréscimo de 4,0 % de milhocina e 2,5 % de melaço do volume inicial de água destilada; o pH foi ajustado para 5,5, acrescentou-se 2,5 % do óleo de soja e todo o meio foi autoclavado a 121 °C por 20 min.

### 2.3. - Preparação do Pré-inóculo

O micro-organismo foi mantido pela repicagem da levedura *C. guilliermondii* para tubos de ensaio, contendo o meio YMA autoclavado, com a finalidade de obter-se uma cultura jovem, em temperatura ambiente (25 °C) e durante 3 dias. Desses tubos, o pré-inóculo tornou-se padrão pela transferência asséptica da levedura até um frasco com YMB estéril. Por fim, o *Erlenmeyer* com YMB foi posto à agitação de 200 rpm em uma mesa incubadora tipo

Shaker, durante 24 horas e sob temperatura de 28 °C a fim de se obter uma concentração de  $10^8$  células/mL, conforme verifica-se na Figura 1.

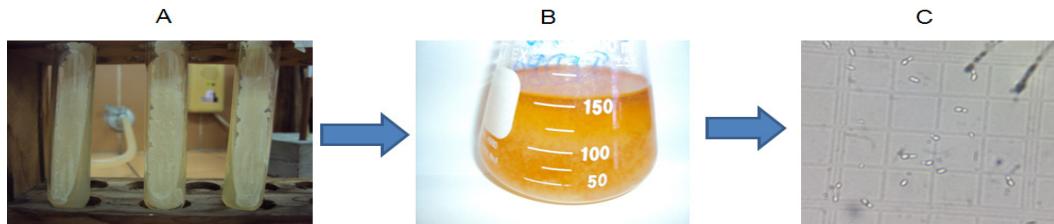


FIGURA 1 - Etapas de Contagem das Células Microbianas a Partir de (A) um Meio Sólido para (B) um Meio Líquido, Verificando-se a (C) Concentração celular

#### 2.4. - Produção do Biosurfactante em Biorreatore (50,0 L)

A fermentação para produzir o biosurfactante em biorreatore de batelada com 50,0 L de capacidade volumétrica foi realizada com 20,0 L do meio de produção estéril e incubado com a suspensão celular de  $10^4$  células/mL. Esse meio foi submetido, durante 132 horas, a uma agitação mecânica de 250 rpm por dois impelidores do tipo turbina de disco com lâminas verticais retas, separadas por uma haste de 15 cm; a uma temperatura de 28 °C e a uma vazão de 16,7 L/min proveniente de um aerador com esterilização por filtro. O fermentador também apresentava chicanas para uma melhor mistura dos componentes, como ilustradas na Figura 2.

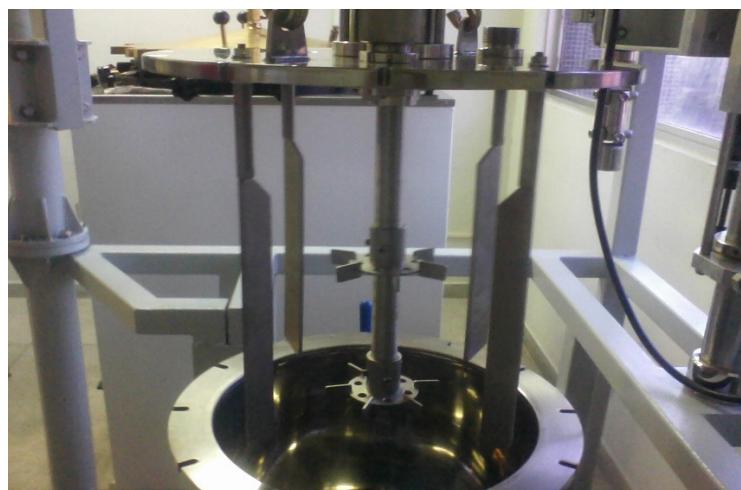


FIGURA 2 - Cuba do Biorreatore de 50,0 L com os Impelidores do Tipo Turbina de Disco com Lâminas Verticais Retas e as Chicanas

#### 2.5. – Elementos para Controle do Tanque de Biosurfactante

Depois de centrifugado e filtrado, o biosurfactante pode ser aplicado para os fins biorremediativos como no flotador por ar dissolvido, ilustrado na Figura 3.



FIGURA 3 – Unidade Piloto de FAD onde Foram Realizados os Testes Experimentais Deste Trabalho

O surfactante microbiano foi, então, armazenado em um tanque, conforme a Figura 4, para ser inserido na câmara de agitação por impelidores, identificada na figura 5, e desemulsificar a mistura água/óleo.



FIGURA 4 – Tanque de Biosurfactante



FIGURA 5 – Câmara de Agitação do FAD

O controle foi realizado em base às válvulas solenoides da mistura água/óleo (VSAO) e do biosurfactante (VSB). Cada uma dessas válvulas era normalmente fechada, proporcionando uma obstrução dos fluxos em caso de falta de energia, estando aptas a estarem totalmente abertas ou fechadas e proporcionando a segurança das tubulações.

A válvula agulha, ilustrada na Figura 6, é normalmente utilizada para situações de pequena dosagem, contudo o comércio é escasso no campo da automação desses elementos finais de controle, necessitando da construção de estruturas mecânicas para permitir um fluxo padrão dessas válvulas.



FIGURA 6 – Válvula Agulha Comercial

Finalmente, o microcontrolador *Arduino Uno*, o *shield bluetooth* e o motor de passo 28BYJ-48 foram os responsáveis pelo armazenamento, pela transmissão e pela execução do código, respectivamente, conforme ilustrados na Figura 7, operando a 5 V e a 500 mA.

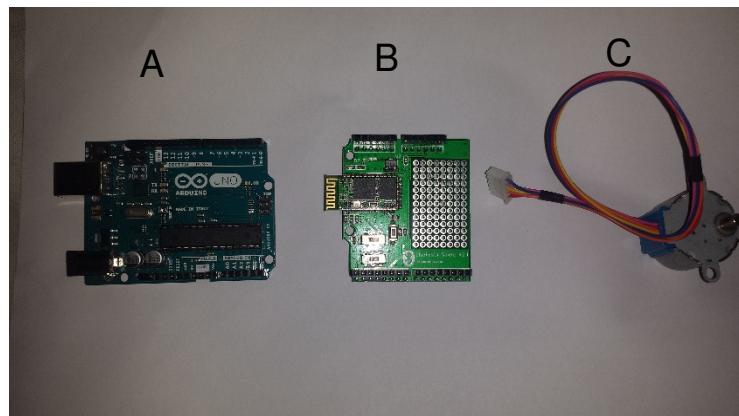


FIGURA 7 – Placa de *Arduino Uno* (a), *Shield Bluetooth* (b) e Motor de Passo 28BYJ-48 (c)

### 3.0 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1. – Construção de uma Estrutura Mecânica para a Válvula Agulha

Houve a necessidade da construção de uma estrutura para acoplar o motor à válvula, permitindo a livre rotação do eixo. Logo, o conjunto automatizado da válvula encontra-se na figura 8.

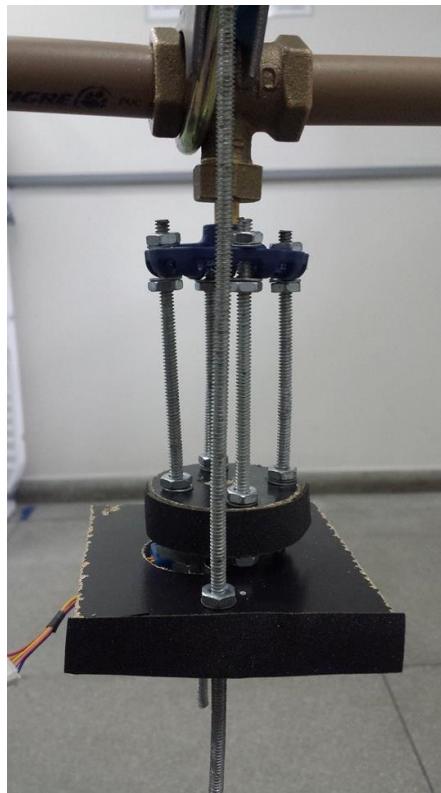


FIGURA 8 – Estrutura Mecânica de Controle da Válvula Agulha

#### 3.2. – Análise do Código para Controle da Válvula Agulha

A construção do algoritmo pode ser dividida em cinco partes: definição de variáveis, inicialização do sistema, função de repetição, abertura da válvula e fechamento da válvula (ARDUINO & CIA, 2015).

A primeira parte destinou-se à definição: de um banco de dados (*CustomStepper*), instalado no *Arduino* para utilizar funções especiais do motor de passo; de características de execução do motor (*CustomStepper stepper*) como os pinos correspondentes a cada fio, a velocidade e o sentido de rotação inicial e de variáveis das formas *boolean* e *int*, as quais foram utilizadas para selecionar rotação no momento adequado e para nomear as válvulas solenoides de água/óleo (VSAO) e de biossurfactante e o sensor de pressão (PS) para confirmar a presença de fluxo após a válvula agulha. A definição de variáveis é:

```
#include <CustomStepper.h>

CustomStepper stepper(8, 9, 10, 11, (byte[]){8, B1000, B1100, B0100, B0110, B0010, B0011, B0001, B1001},
4075.7728395, 12, CW);

boolean rotate1 = false;
boolean rotatedeg = false;
boolean crotate = false;

int VSAO = 1;
int VSB = 2;
int PS = 4;
```

A segunda parte teve a finalidade de expressar quais eram as entradas digitais e qual a saída digital. Nessa situação, a válvula solenoide de água e óleo é dependente do quadro de comando do flotador, causando uma abertura ou fechamento da válvula de acordo com a intenção do operador. O *Arduino*, porém, comanda a válvula solenoide de biossurfactante (VSB), fixando-a como uma entrada digital. Ademais, a velocidade e o passo do motor são novamente definidos pelas funções *setRPM* e *setSPR*. A segunda parte, verifica-se em:

```
void setup()
{
    pinMode(VSAO,OUTPUT);
    pinMode(VSB, INPUT);
    pinMode(PS, OUTPUT);
    stepper.setRPM(12);
    stepper.setSPR(4075.7728395);
}
```

A terceira parte indicou que haverá sempre uma sequência a ser seguida para a decisão das válvulas em abrir ou fechar. Como um exemplo, se a leitura de VSAO indicar que a válvula está aberta, lê-se o estado de VSB. Se a válvula de bloqueio do biossurfactante estiver aberta, avalia-se o estado de PS. Finalmente, se o sensor de pressão após a válvula agulha estiver baixo, abre-se VAB e retorna-se à semelhante sequência, senão só a sequência é retomada. A terceira parte, porquanto, é visualizada abaixo:

```
void loop() {
    digitalWrite(VSAO);
    if(VSAO == HIGH) {
        digitalWrite(VSB);
        if (VSB == HIGH) {
            digitalWrite(PS);
            if(SP == LOW){
                abrirVAB();
                return;
            }
            if(PS != LOW) {
                return;
            }
        }
        if (VSB == LOW) {
            digitalWrite(VSB,HIGH);
            digitalWrite(PS);
            if (PS == LOW) {
```

```
fecharVAB();  
return;  
}  
if (PS != LOW) {  
    return;  
}  
}  
}  
}  
if (VSAO == LOW) {  
    digitalRead(VSB);  
    if (VSB == HIGH) {  
        digitalWrite(VSB,LOW);  
        digitalRead(PS);  
        if(PS != LOW){  
            fecharVAB();  
            return;  
        }  
        if(PS == LOW) {  
            return;  
        }  
        if (PS != LOW) {  
            fecharVAB();  
            return;  
        }  
    }  
}
```

A quarta e quinta partes verificam se o motor está pronto horário (CCW) e ativam o motor para abrir uma única vazaão de 30 mL/min. As partes finais encontram-se abaixo:

```
void abrirVAB() {  
    if (stepper.isDone() && rotate1 == false) {  
        delay(2000);  
        stepper.setDirection(CW);  
        stepper.rotate(1);  
        rotate1 = true;  
    }  
}
```

```

stepper.run();

}

void fecharVAB() {
    if (stepper.isDone() && rotate1 == true)
    {
        delay(2000);
        stepper.setDirection(CCW);
        stepper.rotate(1);
        rotate1 = false;
    }
    stepper.run();
}

```

O código foi enviado à placa de *Arduino* pelo *Shield Bluetooth* por um celular do tipo *Android*, e o controle das válvulas foi efetuado.

#### 4.0 CONCLUSÃO

O projeto sobre os biossurfactantes, detentor de uma fonte mesclada de conhecimento, está em um estágio bastante avançado, necessitando de estudos mais aprofundados para a obtenção de definições ideais de produção e aplicação desse inovador produto biotecnológico.

O hardware *Arduino* mostrou-se uma ferramenta eficiente e barata para o controle de variáveis, podendo ser adequado ao controle total do flutuador por ar dissolvido em futuras pesquisas.

O trabalho contou com diversos campos da ciência como a microeletrônica no controle das válvulas, a microbiologia para a produção do biosurfactante e mecânica na composição de cada estrutura, sendo interdisciplinar e proporcionando estudos avançados em biorremediação.

#### 5.0 REFERÊNCIAS

- (1) BOZEMAN, B. The 2010 BP Gulf of Mexico oil spill: Implications for theory of organizational disaster. **Technology in Society**, v. 33, p. 244-252, 2011.
- (2) TANSEL, B. Propagation of impacts after oil spills at sea: Categorization and quantification of local vs regional and immediate vs delayed impacts. **International Journal of Disaster Risk Reduction**, v. 7, p. 1-8, 2014.
- (3) KARHU, M.; LEIVISKÄ, T.; TANSKANEN, J. Enhanced DAF in breaking up oil-in-water emulsions. **Separation and Purification Technology**, v. 122, p. 231-241, 2014.
- (4) ARDUINO. Disponível em: <<http://store.arduino.cc/product/A000066>>. Acesso em: 20 dez. 2014.
- (5) BRASILEIRO, P. P. F.; RUFINO, R. D.; LUNA, J. M.; SARUBBO, L. A. Estudo do biosurfactante por *Candida guilliermondii* na biorremediação do petróleo. 2013. 8 p. Anais do VII Encontro Internacional das águas – Universidade Católica de Pernambuco.
- (6) ARDUINO & CIA. Disponível em: <<http://www.arduinoecia.com.br/2014/04/controlando-motor-de-passo-28byj-48.html>>. Acesso em: 20 dez. 2014.

#### 6.0 DADOS BIOGRÁFICOS

- Pedro Pinto Ferreira Brasileiro;
- Recife/1993;
- Recife/2015;
- Graduando em Engenharia Química na Universidade Católica de Pernambuco (UNICAP), colaborador do Centro de Ciências e Tecnologia (CGT), 1º lugar na categoria de ciências exatas e da terra das iniciações científicas de 2013 e 2014 (UNICAP), 2º lugar na categoria graduação no Simpósio Internacional de Ciências Biológicas, participação de congressos nacionais e internacionais e pesquisador nas áreas de biosurfactante e de controle de processos.