

Desenvolvimento de plataforma de fluorescência para monitoramento da conversão óleo/biodiesel

Development of a fluorescence platform for monitoring oil/biodiesel conversion

Agatha Maria Wiatek; Erick C. Amaral; Tiago Andrade Chimenez*

Instituto Federal Catarinense, São Bento do Sul/Santa Catarina, Brasil

**tiago.chimenez@ifc.edu.br*

Submetido em 25/05/2020; Versão revisada em 22/07/2020; Aceito em 01/08/2020

Resumo

Técnicas de fluorescência molecular possuem significativa importância no monitoramento de processos relacionados a parâmetros de qualidade de óleos vegetais e biodiesel, principalmente devido à rapidez das análises e aos resultados reprodutivos e acurados. No entanto, o uso dessas técnicas é limitado em virtude de seu alto custo, no qual um espectrofluorímetro apresenta um valor elevado, em torno de dezenas de milhares de reais, inviabilizando ou reduzindo sua aplicação tanto na pesquisa acadêmica, quanto em processos de análises na indústria. Com o objetivo de contornar tal limitação e ainda possibilitar o monitoramento de aspectos qualitativos de óleos vegetais e seus respectivos biodieseis, o presente trabalho apresenta uma proposta de construção de uma plataforma *lab-made*, a qual permite análises remotas rápidas, por meio de medidas de fluorescência de amostras oleaginosas líquidas. Nesta plataforma, todo o processo de controle da fonte de excitação luminosa, da detecção e da aquisição dos dados foi mediado por um microcontrolador Arduino MEGA 2560. A eficácia da mesma na determinação da conversão do óleo soja em biodiesel foi verificada por resultados de intensidade de fluorescência. Em suma, a construção desta plataforma proporcionou resultados qualitativos da conversão óleo/biodiesel em congruência com os obtidos por técnicas tradicionais. Sendo assim, sua utilização no setor industrial de biocombustíveis pode contribuir como uma alternativa de redução de custos e de tempo de análise.

Palavras chave: Arduino, Fluorescência, Biodiesel

Abstract

Molecular fluorescence techniques have a crucial whole on chemical processes monitoring, like quality control on edible oils and biodiesel, mainly due to the quick analysis and the reproducible and accurate results. However, the high cost is the major drawback limiting the wide use of these techniques. For instance, a spectrofluorometer can reach the price of tens of thousands of reais, which makes its use limited or reduced for academic research or industry applications. To overcome this issue, herein we propose the development of a lab-made low cost module platform, which allows fast and remote analysis, for the fluorescence measurements of liquid samples. In this platform, all the proceedings of the excitation light source control, detection, and data acquisition were done using an Arduino MEGA 2560 microcontroller. Its efficiency on the soy oil-to-biodiesel conversion was verified by results of fluorescence intensity. In summary, this lab-made platform provided qualitative results of oil-to-biodiesel conversion in good agreement with those obtained via traditional techniques. Therefore, its application on biofuels industry can contribute as an alternative to reduce the costs and the operational time.

Keywords: Arduino, Fluorescence, Biodiesel

INTRODUÇÃO

Arduino é um microcontrolador de prototipagem eletrônica. Seu desenvolvimento está baseado no uso de um sistema com *hardware* livre em uma única placa, operando com suporte de entrada/saída e lógica de programação com origem em C/C++ (Ferreira e Bueno, 2015). Portanto, esta plataforma merece destaque pelo seu fácil manuseio, robustez, baixo custo e possibilidade de construção de diferentes experimentos em diversas áreas, bem como, promoção da inter-relação de diferentes áreas do conhecimento (Moreira et al., 2018). Dentre as grandezas que podem ser investigadas pelo desenvolvimento de projetos em plataforma Arduino, destacam-se medidas de tensões externas, sendo possível receber informações de uma série de detectores como medidores de temperatura, pressão, umidade, distância, sensores de gases, sensores luminosos etc. Essas medidas podem ser úteis na investigação de diferentes sistemas físicos e químicos (Cavalcante, Tavolaro, e Molisani, 2011). Devido ao seu caráter de produto de fonte aberta, capaz de se conectar com diferentes dispositivos, como LEDs, botões, motores, interruptores, receptores e sensores, pode se adaptar a diferentes propósitos, principalmente como ferramenta para elaboração de projetos em escala piloto em nível de bancada. A plataforma Arduino vem sendo aplicada em diferentes estudos de processos de interesse industrial e ambiental. Dentre eles, a prototipagem e depuração de movimento de veículos robóticos (Cherepanov et al., 2019), a detecção de íons metálicos em água naturais (Heo et al., 2019), além da automatização de medidas de espectrometria de massa, possível pelo desenvolvimento de braços robóticos (Chen et al., 2017).

O biodiesel é um biocombustível de matriz renovável, produzido a partir de diferentes fontes oleaginosas como soja, girassol, canola e até mesmo óleo usado de fritura (Trindade, 2018). Segundo a ANP, via Resolução CNPE nº 16, de 2018, todo combustível a base de diesel fóssil é obrigado a conter no mínimo

11% de biodiesel em sua mistura, para dessa forma minimizar os efeitos de degradação ambiental provocado pela queima de combustíveis não renováveis. A principal metodologia de obtenção do biodiesel é por meio da reação de transesterificação de óleos vegetais com metanol para formação de alquil-ésteres (biodiesel). As técnicas empregadas no processo de verificação da formação do biodiesel e de seu controle de qualidades são dispendiosas e necessitam de formação especializada (Izida et al., 2018; Trindade, 2018). Uma das principais técnicas que vem sendo empregada no estudo de sistemas oleaginosos e biodiesel é a espectroscopia de fluorescência (Izida et al., 2018; Scherer et al., 2011; Trindade, 2018), uma técnica baseada na interação da luz com a matéria.

Fenômenos luminosos representam uma subárea do conhecimento envolvendo emissão ou absorção de radiação luminosa e sua interação com a matéria. Os fenômenos supracitados permeiam componentes de diversas áreas da ciência e são abordados sob diferentes perspectivas. O processo de fluorescência molecular pode ser descrito como a absorção de fótons de luz, proporcionando a excitação da molécula pela elevação de elétrons de um estado estacionário, de menor energia, para um estado excitado, de maior energia. A etapa subsequente é o retorno imediato dos elétrons de seu estado excitado para o estado estacionário, proporcionando a emissão de energia na forma de radiação luminosa (Lakowicz, 2013).

Técnicas baseadas em emissão de radiação em diferentes regiões espectrais apresentam uma vasta aplicação em diferentes campos da química e da física (Chimenez et al., 2012; Guadagnini, da Rocha, e Barlette, 2019). No entanto, o uso das mesmas como recurso de investigação para aplicação em atividades experimentais rotineiras possui alto custo, associado aos equipamentos comerciais empregados. Sendo assim, a utilização desses instrumentos é usualmente restrita a grupos de pesquisa de universidades. Alternativamente, é possível superar essas limitações

através do desenvolvimento de uma plataforma de fluorescência de baixo custo, baseada no uso do Arduino e materiais de baixo custo, como LEDs e sensores de radiação luminosa.

Nesta contribuição, propõe-se a construção de uma plataforma de fluorescência de baixo custo para realização de medidas em amostras líquidas de óleo e biodiesel. A técnica é baseada no fenômeno de interação entre a luz do LED e as amostras de biodiesel e óleo vegetal, onde ocorre a fluorescência, a qual é detectada por um sensor. Todo o procedimento é controlado pela placa Arduino. Por conseguinte, trata-se de um sistema de baixo custo, com obtenção de dados de maneira rápida, propiciando sua aplicação em atividades investigativas. Além disso, há a possibilidade de serem adaptadas para diferentes práticas de interesse industrial, incluindo o setor de produção de óleo e biodiesel.

MATERIAIS E MÉTODOS

Produção do biodiesel

O biodiesel foi obtido por meio do processo de transesterificação metílica, utilizando óleo comercial (Sadia®) e metanol (Química Moderna® - PAACS) na proporção molar óleo:metanol de 1:6. O catalisador utilizado na reação foi o KOH (Êxodo® - PAACS) na proporção de 0,4% em relação à massa do óleo. A reação se processou na temperatura de 60°C durante 60 minutos, utilizando um béquer sobre uma chapa aquecedora com agitação. Após o término da reação, o produto obtido foi transferido para funil de decantação para ocorrer a separação e a remoção da glicerina. Posteriormente, o biodiesel foi lavado três vezes com água destilada, para retirar resíduos de KOH. Por fim, o biodiesel foi filtrado com Na_2CO_3 (Êxodo® - PAACS) com objetivo de realizar a secagem.

Figura 1 ilustra o processo de transesterificação e decantação. O óleo e o biodiesel obtido foram utilizados para realização das medidas de fluorescência.

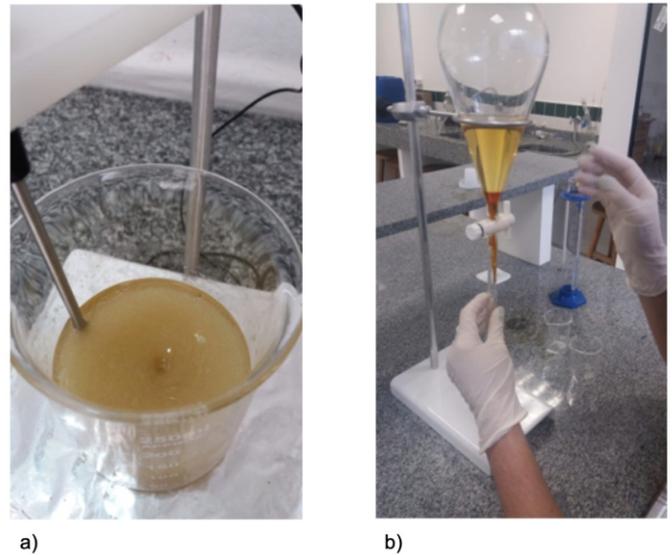


Figura 1. a) Béquer contendo a mistura reacional da transesterificação. b) Funil de decantação contendo biodiesel e glicerina.

Caracterização do biodiesel por medidas de viscosidade

A medidas de viscosidade foram realizadas utilizando um viscosímetro do tipo copo Ford de alumínio (QUIMIS modelo Q280), adaptando a metodologia empregada por Walz e coautores (Walz et al., 2014), baseando-se no escoamento do fluido de interesse através de um orifício ($n^{\circ}2 - 0,2 \text{ cm}$), a temperatura de 30°C, em que o tempo de escoamento obtido foi aplicado no cálculo da viscosidade.

O valor de viscosidade cinemática determinado para o biodiesel foi de $5,8 \text{ mm}^2/\text{s}$, o que está dentro dos limites de viscosidade aceita pela ANP 07/2008 ($3,0 \text{ mm}^2/\text{s} - 6,0 \text{ mm}^2/\text{s}$) (Lôbo, Ferreira, e da Cruz, 2009). As medidas foram realizadas em triplicata.

Desenvolvimento da plataforma de fluorescência e realização de medidas

A estrutura da plataforma de fluorescência foi construída em material acrílico, recortada numa impressora 3D. Para a realização da excitação dos elétrons contidos nas amostras foi utilizado um LED violeta. O acionamento do LED foi mediado pela saída de 5 V da placa Arduino, com um potenciômetro para limitação da corrente. Uma cubeta de quartzo foi utilizada como porta-amostra (2 mL) durante a

realização das medidas. Para a aquisição dos dados de intensidade de fluorescência, foi utilizado um sensor de luz de baixo custo BH1750, o qual incorpora os circuitos e componentes necessários para seu funcionamento, fornecendo os dados de iluminância em unidades de lux, efetuando a comunicação de dados através do protocolo I²C (Semiconductor 2011). O módulo com o sensor BH1750 é alimentado com +5 V disponível na placa Arduino, utilizando os pinos VCC e GND. Para a comunicação digital via protocolo I²C, são utilizados os pinos digitais 20 e 21 da placa Arduino, que são conectados nos pinos SDA (dados) e SCL (*clock*) do módulo com o sensor BH1750. O *software* embarcado na placa Arduino configura o sensor BH1750 no modo de alta resolução com leitura contínua de dados, permitindo uma faixa de leitura de 1 lux até 65535 lux com resolução de 1 lux. Todo o processo de controle foi realizado *via* placa Arduino MEGA R3, adquirindo automaticamente todo o conjunto de dados. A Figura 2 ilustra o esquema de comunicação entre o sensor BH1750 e o Arduino. O esquema da plataforma foi proposto em consonância com o desenho dos espectrofluorímetros comerciais, nos quais a fonte de luz (LED) e o sensor são dispostos perpendicularmente, proporcionando a eliminação do sinal de excitação no sensor.

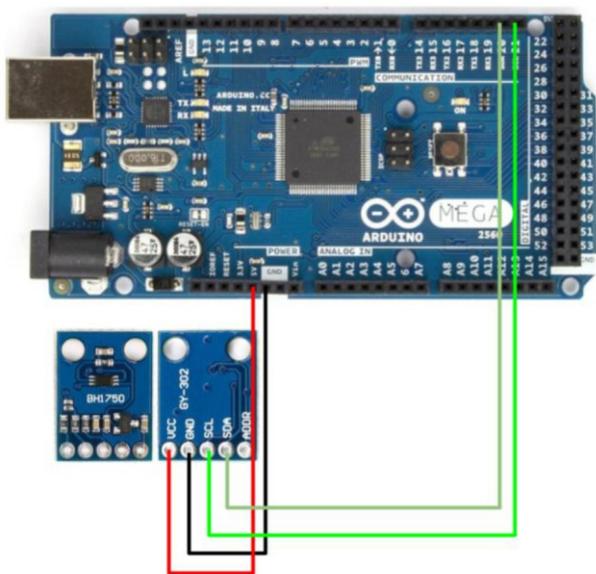


Figura 2. Esquema de montagem e comunicação entre o sensor BH1750 e a placa de Arduino 2560.

Com o objetivo de determinar a conversão de óleo de soja em biodiesel após a reação de transesterificação, foi construído um fluorímetro utilizando materiais de baixo custo. O fluorímetro é um equipamento utilizado para identificação e quantificação de espécies químicas, principalmente em soluções líquidas. Para o funcionamento do equipamento são necessários dispositivos básicos, que exercem funções específicas. Como fontes de radiação, para excitação dos elétrons presentes na amostra, utiliza-se lâmpada de arco de xenônio e, conseqüentemente, um monocromador para seleção do comprimento de onda, ou pode-se aplicar lasers ou LEDs, os quais têm comprimentos de onda específicos e dispensam o uso de monocromadores. Para a realização da excitação dos elétrons das amostras de óleo de soja e do biodiesel, já havia sido relatado na literatura a capacidade desse material emitir fluorescência quando excitado na região do ultravioleta (350 nm) até o início do visível (400 nm) do espectro. Portanto, aplicou-se, como fonte de radiação, um LED violeta (395 nm) (Chimenez et al. 2012). O porta-amostra, no qual é depositado a amostra líquida é conhecido como cubeta e tem o caminho óptico, que é a seção transversal por onde atravessa o feixe de luz, bem definido, pois este é diretamente proporcional à concentração do analito em questão. O material da cubeta pode ser de diferentes tipos de materiais como, polímero plástico, vidro borossilicato ou quartzo. No presente trabalho, foi aplicado o quartzo, pois não absorve radiação no comprimento de onda do LED utilizado. O fenômeno da fluorescência consiste na absorção de energia, por parte da amostra, e conseqüente excitação dos elétrons para estados mais energéticos, quando expostos a uma fonte de radiação. Instantaneamente, os elétrons perdem a energia adquirida também na forma de radiação, em comprimentos de onda maiores que o absorvido. No desenho instrumental, as paredes e coberturas da plataforma, feitas de acrílico e tingidos com tinta preta fosca, estão dispostas em forma de L. Dessa forma, o sensor utilizado fica alinhado em 90 graus em relação

à fonte de radiação, bloqueando o sinal de excitação e detectando apenas o sinal de fluorescência da amostra. Os sensores usualmente aplicados em técnicas fluorimétricas são das classes dos PMTs (*Photomultipliers Tubes*), CCDs (*Charge Coupled Devices*) e fotodiodos. O sensor BH1750 se mostrou um detector de radiação vantajoso, devido a sua simplicidade aliada a um projeto eletrônico interno refinado, incorporando um fotodiodo, um circuito de amplificação de sinal e um digitalizador de alta resolução. A Figura 3 mostra a foto da plataforma e sua ilustração esquemática.

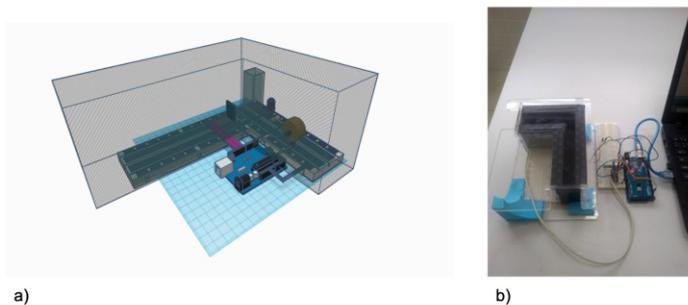


Figura 3. a) Ilustração esquemática da plataforma de fluorescência; b) Foto da plataforma de fluorescência

Código computacional utilizando Arduino para controle do sensor de luminosidade BH1750 e controle do LED

Nesta seção apresenta-se o código de programação computacional elaborado e utilizado no desenvolvimento do sensor de luminosidade BH1750, juntamente com o controle de LED violeta 3 mm por meio de um potenciômetro de 100 k ohms, empregando a plataforma Arduino como controle.

Para utilizar a programação, duas bibliotecas foram utilizadas, uma delas previamente disponibilizada no *software* do Arduino, incluindo a biblioteca *Wire*, que tem por objetivo mediar a comunicação entre o Arduino e o sensor BH1750 por meio do barramento 1-*Wire*. A segunda biblioteca, BH 1750, é necessária para configurar os dados do sensor de luminosidade.

Inicializa-se o sensor BH1750 instanciando a classe correspondente:

BH1750 *lightMeter*;

seguidamente, o sensor é ajustado para permanecer em modo contínuo e com acuidade de 1 lux:

```
lightMeter.begin(BH1750_CONTINUOUS_HIG  
H_RES_MODE);
```

A função dá a leitura da iluminância em *loop* infinito:

```
float lux = lightMeter.readLightLevel();
```

em que a variável lux guardará o valor lido da iluminância. A leitura da grandeza é feita a cada 120ms. Na programação do projeto apresentado, a leitura da iluminância é feita, aproximadamente, a cada 1000 ms, configurando 1 leitura por segundo.

// Medidor de luminosidade utilizando o sensor BH1750 juntamente com o controle de led por meio de potenciômetro.

// Incluindo bibliotecas e inicializando a classe do sensor.

```
#include <Wire.h>
```

```
#include <BH1750.h>
```

```
BH1750 lightMeter;
```

```
//Definindo a entrada do potenciômetro e led.
```

```
int pinoled = 10;
```

```
int pinopot = 5;
```

```
//Definindo a valores iniciais.
```

```
int valorpot = 0;
```

```
float luminosidade = 0;
```

```
//Configuração primária do sistema
```

```
void setup(){
```

```
/// Inicializa a porta serial para envio dos dados.
```

```
Serial.begin(9600);
```

```
Wire.begin();
```

```
// Inicializar o sensor BH1750
```

```
// O modo de operação padrão é o de alta  
resolução (1 lx) com leitura contínua  
lightMeter.begin(BH1750_CONTINUOUS_HIG  
H_RES_MODE);
```

//Configura o tabelamento dos dados na plataforma arduino.

```
Serial.println(F("BH1750 Test begin"));
```

```
pinMode(pinoled, OUTPUT);
```

```

    pinMode(pinopot, INPUT);
}
// Loop infinito que faz as leituras de iluminância
e o controle do led por meio do potenciômetro.
void loop(){
    // Lê o valor de iluminância do sensor BH1750
(em unidades de lux).
    float lux = lightMeter.readLightLevel();
    //Configura o tabelamento do dado na
plataforma arduino.
    Serial.println("Light: ");
    Serial.print(lux);
    Serial.print(" lx");
    // Aguardar 1000ms para uma nova leitura de
iluminância.
    delay(1000);
    //Lê a resistência do potenciômetro.
    valorpot = analogRead(pinopot);
    //Mapeia a luminosidade do led.
    luminosidade = map(valorpot, 0, 1023, 0, 255);
    //Ajusta a luminosidade do led, conforme o valor
lido no potenciômetro.
    analogWrite(pinoled, luminosidade);
}

```

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para demonstrar a viabilidade e a eficácia da plataforma de fluorescência construída, foram realizadas medidas, em temperatura ambiente, de fluorescência das amostras de óleo de soja comercial e de seu respectivo biodiesel. É importante ressaltar que as medidas de fluorescência não necessitam de calibração prévia.

A estrutura molecular dos fluoróforos presentes no óleo de soja e no biodiesel são similares, de modo que apresentam bandas de absorção e fluorescência na mesma região espectral quando excitadas na região do UV-Vis (Chimenez et al., 2012). O sinal de fluorescência pode ser atribuído, tanto para o óleo quanto para o biodiesel, a componentes como tocoferóis e ácidos graxos livres, os quais estão

presentes juntamente com os triglicerídeos (Dankowska, Małacka, e Kowalewski, 2013; Ewa Sikorska et al., 2005; E. Sikorska et al., 2004). A Tabela 1 apresenta os resultados referentes às medidas de fluorescência, executadas para cubeta vazia, para cubeta com água, para cubeta com óleo de soja comercial e para cubeta com biodiesel. Os valores expostos pelo sensor estão em unidades de lux e representam a média aritmética para cada amostra. Analisando-se os valores da Tabela 1, verificou-se que as medidas realizadas com a cubeta vazia e com o LED violeta aceso apresentaram um valor residual, possivelmente referente ao espalhamento da luz, devido à incidência nas superfícies da cubeta. Ademais, verificou-se, para todas as medidas, que o sensor registrou um valor de 0,83 lux mesmo com o LED apagado, indicando um sinal de fundo, provavelmente de radiação espúria. Portanto, para efeito de correlação entre sinal de fluorescência e as respectivas amostras de óleo de soja e biodiesel, realizou-se a subtração do valor registrado pela cubeta vazia. Ao se normalizar os valores de fluorescência do biodiesel e óleo de soja pelo valor de fluorescência do óleo de soja verificou-se, sistematicamente, uma diminuição de cerca de 52% do valor do biodiesel em relação ao valor registrado para o óleo.

Tabela 1
Intensidade fluorescência no sensor BH1750 em função da amostra utilizada.

Conteúdo da cubeta	LED apagado	LED aceso
Vazia	0,83 lux	3,33 lux
Água Destilada	0,83 lux	1,67 lux
Óleo vegetal	0,83 lux	26,67 lux
Biodiesel	0,83 lux	13,33 lux

A queda no valor da intensidade de fluorescência registrada após a reação de transesterificação está plenamente em consonância com a relatada na literatura (Chimenez et al., 2012; Izida et al., 2018) e pode ser verificada na Tabela 2. A explicação para essa redução na fluorescência pode ser atribuída à viscosidade e ao ambiente no qual os

fluoróforos estão diluídos. Os padrões do processo de desexcitação de alguns fluoróforos dependem da viscosidade do meio em que se encontram. Em ambientes altamente viscosos, o processo de decaimento de energia de maneira fluorescente dos fluoróforos é predominante. Quando os fluoróforos estão inseridos em ambientes com baixa viscosidade ocorre, majoritariamente, o processo de decaimento não radiativo, portanto, diminuindo a intensidade de fluorescência. A viscosidade dos óleos vegetais é sempre maior que a de seu respectivo biodiesel, principalmente devido à diminuição do tamanho das moléculas de triglicerídeos após a reação de transesterificação (Caires et al., 2014; Chimenez et al., 2012).

Tabela 2

Intensidade de fluorescência do óleo vegetal e biodiesel normalizada pela intensidade de fluorescência do óleo vegetal.

Instrumento	Intensidade de fluorescência normalizada para a taxa biodiesel/óleo
Plataforma de fluorescência feita em laboratório	0,52
Espectrofluorímetro Cary Eclipse, Varian	0,60

CONCLUSÕES

O desenvolvimento da plataforma de fluorescência descrita neste trabalho e sua aplicação no monitoramento da conversão óleo/biodiesel mostram a real possibilidade de realização de diferentes estudos aplicáveis a micro- ou macroescalas. De maneira geral, para o monitoramento da produção de biodiesel, as usinas utilizam cromatógrafos gasosos com detecção por ionização em chama (GC-FID), que são equipamentos dispendiosos, nos quais suas análises demandam um alto custo e utilizam solventes orgânicos tóxicos. A precisão e a capacidade de aquisição de dados referentes ao uso do Arduino e do sensor BH1750, aliados ao baixo custo e fácil manuseio, demonstram as potencialidades desta ferramenta para aplicações rotineiras de monitoramento da produção do biodiesel,

não visando a substituição de técnicas padrões, mas sim diminuindo seu tempo de uso e consequentemente reduzindo os custos associados, sejam eles econômicos ou ambientais.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o suporte financeiro do Instituto Federal Catarinense (IFC), edital 130/2018. Os autores também agradecem o Professor Marcos Treter, do IFC, pelas contribuições valiosas relacionadas à interface Arduino/Computador.

REFERÊNCIAS

- CAIRES, A.R. L.; SCHERER, M.D.; DE SOUZA, J.E.; OLIVEIRA S.L.; M'PEKO, J.C. The Role of Viscosity in the Fluorescence Behavior of the Diesel/biodiesel Blends. **Renewable Energy** 63 (March): 388–91, 2014.
- CAVALCANTE, M.A.; TAVOLARO, C. R.C, MOLISANI, E.. Física com Arduino para iniciantes. **Revista Brasileira de Ensino de Física** 33 (4): 4503–4503, 2011.
- CHEN, C.; TING-RU, C.; SHIH-HAO, C.; PAWEL, L.U. Dual Robotic Arm 'production Line' Mass Spectrometry Assay Guided by Multiple Arduino-Type Microcontrollers. **Sensors and Actuators B: Chemical**, 2017.
- CHEREPANOV, P.Y.; ROMANOV, P.A.. ZHARIKOV, S.V.; MAZHITOV, T. R. The Control System for a Mobile Robot Using Arduino Mega 2560 with GPS and Obstacle Detection Systems. **Journal of Physics: Conference Series**, 2019.
- CHIMENEZ, T. A.; MAGALHÃES, K.F.; CAIRES, A.R.L.; OLIVEIRA, S.L. Fluorescence as an Analytical Tool for Assessing the Conversion of Oil into Biodiesel. **Journal of Fluorescence** 22 (4): 1177–82, 2012.
- DANKOWSKA, A.; MAŁECKA, M.; KOWALEWSKI, W. Discrimination of Edible Olive Oils by Means of Synchronous Fluorescence Spectroscopy with Multivariate Data Analysis. **Grasas Y Aceites**, 2013.

- FERREIRA, P.; BUENO L.R.S. Utilização Da Tecnologia Arduino Como Ferramenta Para Sensoriamento De Processos De Bancada. *Anais Do XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química*, 2015, Florianópolis-SC.
- GUADAGNINI, P.H.; DA ROCHA, F.S.; BARLETTE, V.E. Um Medidor de Luminosidade Com Módulo Sensor Integrado E Aquisição Automática de Dados Com Aplicações Didáticas. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 2019.
- HEO, G.; RAMALINGAM, M.; HYORIM, K.; MYEONG, J.K.; KYEONG, S.M.; SON, Y.A. Developing an RGB - Arduino Device for the Multi-Color Recognition, Detection and Determination of Fe(III), Co(II), Hg(II) and Sn(II) in Aqueous Media by a Terpyridine Moiety. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 2019.
- IZIDA, T.; BUSSLER, L.; ANDRADE, L.H.C.; LIMA, S.M. Monitoring the Transesterification Reaction of Vegetable Oil to Biodiesel by Fluorescence Spectroscopy with UV Excitation: Correlation with Viscosity. *Orbital: The Electronic Journal of Chemistry* 10 (1): 22–25, 2018
- LAKOWICZ, J.R. **Principles of Fluorescence Spectroscopy**. Springer Science & Business Media, 2013.
- LÔBO, I.P.; FERREIRA, S.L.C.; CRUZ, R.S. Biodiesel: Parâmetros de Qualidade E Métodos Analíticos. *Química Nova*, 2009.
- MOREIRA, M.P.C.; ROMEU, M.C.; ALVES, F.R.V.; SILVA, F.R.O. Contribuições Do Arduino No Ensino de Física: Uma Revisão Sistemática de Publicações Na área Do Ensino. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, 2018.
- SCHERER, M.D.; OLIVEIRA, S.L.; LIMA, S.M.; ANDRADE, L.H. C.; CAIRES, A.R.L. Determination of the Biodiesel Content in Diesel/biodiesel Blends: A Method Based on Fluorescence Spectroscopy. **Journal of Fluorescence** 21 (3): 1027–31, 2011.
- SEMICONDUCTOR, R. Digital 16bit Serial Output Type Ambient Light Sensor IC. **Technical Note**, 2011.
- SIKORSKA, E.; ROMANIUK, A.; KHMELINSKII, I.V.; HERANCE, R.; BOURDELANDE, J.L.; SIKORSKI, M.; KOZIOŁ, J. Characterization of Edible Oils Using Total Luminescence Spectroscopy. *Journal of Fluorescence* 14 (1): 25–35, 2004.
- SIKORSKA, E.; GÓRECKI, T.; KHMELINSKII, I.V.; SIKORSKI, M.; KOZIOŁ, J. Classification of Edible Oils Using Synchronous Scanning Fluorescence Spectroscopy. **Food Chemistry** 89 (2): 217–25, 2005.
- TRINDADE, M. **Increased Biodiesel Efficiency: Alternatives for Production, Stabilization, Characterization and Use of Coproduct**. Springer, 2018.
- WALZ, K.A.; BRITTON, S.; CRAIN, J.; CADWELL, K.; HOFFMAN, A.; MORSCHAUSER, P. **Biodiesel Synthesis, Viscosity, and Quality Control for an Introductory Chemistry Lab**. *Chemical Educator* 19, 342–346, 2014.