

## **APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS ELETRÔNICOS PARA CONSTRUÇÃO DE UM FOTÔMETRO APLICADO EM PROCESSOS DE ADSORÇÃO**

**Joélington do Carmo Conceição<sup>1</sup>**

**Raphael Lima Santos<sup>2</sup>**

**João Baptista Severo Júnior<sup>3</sup>**

**Paulo Cardozo Carvalho Araújo<sup>4</sup>**

**Degival Rodrigues Gonçalves Júnior<sup>5</sup>**

<sup>1,2,3,4,5</sup> 1 Laboratório de Inovação Tecnológica, UFS, São Cristóvão – Sergipe, Brasil, joelingtoncc@gmail.com  
limasantosraphael@gmail.com; jbs\_junior@hotmail.com  
paulo.cardozo.qi@hotmail.com.br; quimicojunior.ufs@hotmail.com

### **Introdução**

Os rápidos avanços na tecnologia revolucionaram os campos da informação e comunicação na última década, como consequência, a geração de resíduos eletrônicos tende a aumentar, principalmente como resultado do constante aumento no consumo e da redução do ciclo de vida desses equipamentos, levando a problemas relacionados ao destino final destes (CECEREA, 2007).

Como forma de solucionar a forma de gerenciamento e manejo final destes resíduos, é crescente a busca de rotas viáveis/ecológicas de reaproveitamento. Por se tratar de dejetos com uma ampla gama de material e um grande potencial de aplicação, torna-se possível, reutiliza-los na confecção de equipamentos analíticos para análise de diversas operações existentes na engenharia química e áreas correlatas.

Dentre uma das principais operações existentes, destaca-se a adsorção, entendida como uma operação unitária de separação e purificação bastante difundida nestes setores devido a sua simplicidade e aplicabilidade. De forma geral, é um fenômeno de superfície no qual moléculas de um soluto, presente em uma fase fluida, líquida ou gasosa, interagem com a superfície de um adsorvente (LEVAN, 1997). Também pode ser entendida como etapas sucessivas de transferência de massa de um soluto, do seio da solução, até os sítios ativos de um adsorvente, onde ocorre a adsorção (SCHMIDT-TRAUB, 2005).

A fim de entender os fenômenos envolvidos no processo de adsorção é necessário conhecer a cinética, que trata das taxas de mudanças da quantidade de soluto entre as fases ao logo do tempo, e a isoterma, que é uma função que relaciona a quantidade de soluto da fase fluida e a quantidade de soluto no adsorvente medida após o equilíbrio de adsorção (QIU et al., 2009).

Tanto os dados cinéticos, como os de equilíbrio são de grande importância para avaliar o desempenho de um determinado adsorvente, seja na obtenção de informações acerca dos mecanismos envolvidos, seja no projeto de equipamentos que tem a adsorção como etapa fundamental. No entanto, para serem obtidas, são necessários o monitoramento e a quantificação da concentração do soluto até que o equilíbrio de adsorção seja atingido, de forma batelada, ou de forma contínua. Para isso, a aplicação de técnicas analíticas para quantificação desse soluto é fundamental. Dentre essas técnicas, encontra-se a espectrofotometria de absorção molecular (EAM), que tem como fundamento a absorção de luz visível pelas moléculas do soluto na fase líquida (VÉRAS NETO, 2008; HARRIS, 2005). Além disso, uma gama de instrumentos analíticos pode ser usada para tal fim, embora possua, em sua maioria, um custo elevado.

A fim de possibilitar a investigação de processos de adsorção de forma mais econômica, o presente trabalho teve por objetivo desenvolver um dispositivo para determinação da concentração de azul de metileno em linha, montado a partir de sucata eletrônica, que possa ser aplicado em ensaios de adsorção, de análises desde a cinética até o equilíbrio. Além disso, o trabalho também visa desenvolver as leituras de dados em modo batelada, o que torna o sistema de detecção eficaz e completo quando comparado com outros disponíveis no mercado.

## Material e Métodos

Nas subseções seguintes serão mostradas todas as etapas de desenvolvimento, montagem e avaliação do desempenho do aparelho mediante a aplicação em ensaios de adsorção.

### *Desenvolvimento e montagem do fotômetro*

Neste trabalho foi desenvolvido um dispositivo fotométrico, construído em sua maior parte, com materiais oriundos de resíduos eletrônicos, recuperados no DIPATRI (Divisão de Patrimônio), departamento responsável pelo recolhimento de patrimônio em desuso e avariados da Universidade Federal de Sergipe (UFS). Dos equipamentos em desuso, foram recuperados turbidímetros, bomba isocrática, gabinetes de computadores, aparelhos microscópio, banho termostático e projetores. Além dessa fonte, buscou-se utilizar resíduos eletrônicos descartados em caçambas de coleta seletiva destinada a resíduos eletrônicos, e outros materiais recicláveis, como plástico (PVC), condutores, conectores, estruturas metálicas para suporte, elementos de circuitos eletrônicos, alumínio, coolers, entre outros como mostrado na Figura 1. Destes resíduos, foram selecionados os materiais para a construção do dispositivo.



Figura 1. Resíduos eletrônicos, e outros, de natureza reciclável.

A priori, foi elaborado um projeto utilizando o software SolidWorks®, o qual pode ser visto na Figura 2. O dispositivo foi desenvolvido para agregar praticidade, por ser portátil, e versatilidade, para ser utilizado tanto em análises on-line quanto em batelada.

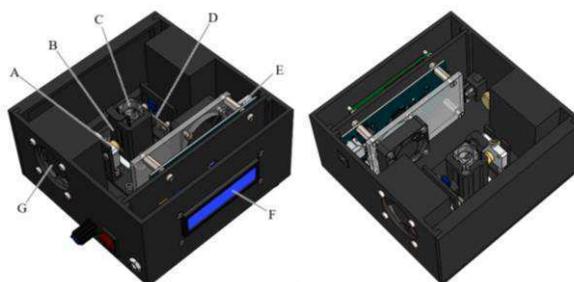


Figura 2. Ilustração do dispositivo e disposição interna dos componentes.

A carcaça do fotômetro foi montada com PVC. Os componentes internos foram acomodados dentro da carcaça como mostrado na Figura 2: Sendo (E) o Arduino, (F) um display de saída de dados, (G) coolers, (B) a cela de detecção, padronizada para uma cubeta (C) de acrílico de 10 mm de caminho óptico, comum nos laboratórios de química analítica. O diodo laser (A) e o fotodiodo (D) foram colocados de modo a ficarem centralizados e paralelos ao caminho óptico da cubeta, evitando dispersão do feixe. O código fonte do microcontrolador foi escrito utilizando a IDE do Arduino, que por sua vez utiliza uma linguagem de programação baseada em C/C++. A exceção da placa de Arduino, do fotodiodo e do laser, toda a estrutura física do dispositivo foi construída utilizando as peças citadas anteriormente, que seriam descartadas.

### *Avaliação da performance do dispositivo*

Inicialmente, foi feita a calibração do sensor de forma a avaliar a resposta, fornecida em sinal elétrico, diante diferentes concentrações de azul de metileno, que variaram na faixa de 1,0 a 10,0 mg.L<sup>-1</sup>. Após a obtenção da relação entre sinal e concentração, o sensor foi aplicado em ensaios de adsorção para obtenção de isothermas em sistema de tanque agitado, montado conforme Figura 3.

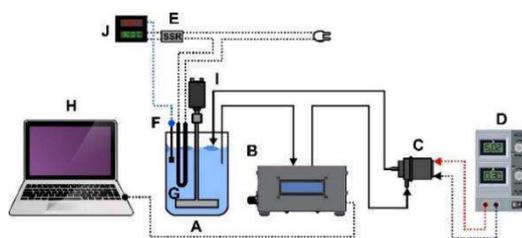


Figura 3. Esquema experimental para obtenção de cinéticas e isotermas em sistema de tanque agitado.

Os experimentos foram realizados em um tanque (bêquer) de 1 L, com agitação constante (I) e controle de temperatura. O sistema de agitação foi desenvolvido utilizando motores elétricos de impressoras. A temperatura do tanque (A) lida por um termopar (F), é controlada por um controlador (REX-C100) (J) que aciona um relé (E) e liga uma resistência (G) imersa na solução assim que a temperatura da solução está abaixo do set point. O contrário acontece quando a temperatura está acima, a resistência é desligada. O tanque contém uma solução de azul de metileno de  $0,5 \text{ g.L}^{-1}$  em contato com uma massa de 2,0 g de carvão ativado, e uma temperatura de  $35^\circ\text{C}$ . A concentração da solução é monitorada continuamente a cada segundo, bombeando a solução do tanque para o fotômetro (B) com uma bomba centrífuga (C), fazendo-se em seguida retornar à solução para o tanque. A vazão da bomba é controlada por uma fonte DC (D) de corrente contínua. No modo off-line, uma amostra é retirada e medida em instantes de tempos determinados.

## Resultados e Discussão

Nessa seção são apresentados os resultados obtidos referentes à construção e calibração do sensor, e os testes no sistema de tanque agitado usando o corante azul de metileno.

### Construção do dispositivo

Detalhes do dispositivo já construído são apresentados na Figura 4. A cor preta predominante foi escolhida para evitar reflexão de luz durante a operação, o que seria uma fonte de erro sistemático no processo de medição.

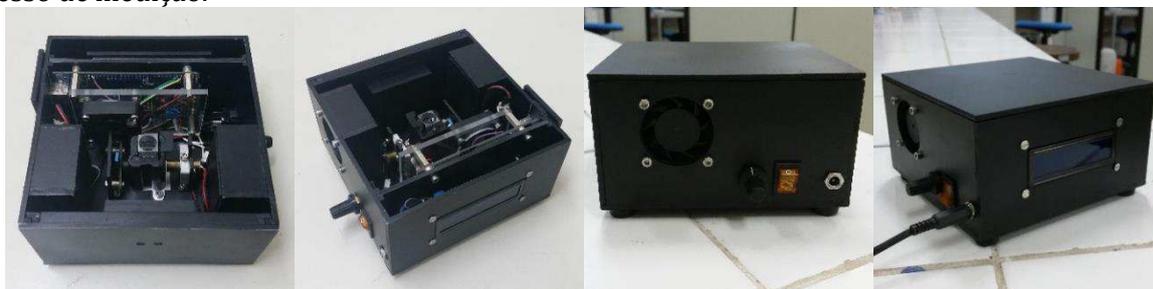


Figura 4. Dispositivo proposto (Várias vistas).

### Aplicação do dispositivo

Com o intuito de avaliar o desempenho do dispositivo projetado, inicialmente, foi realizada a calibração do aparelho, para que, após isso, sejam realizados os testes para determinação de isotermas e cinéticas de adsorção em tanque agitado. A Figura 5 (a) e 5 (b) representam, a curva de calibração obtida, e a cinética de adsorção de azul de metileno em carvão ativado, respectivamente.

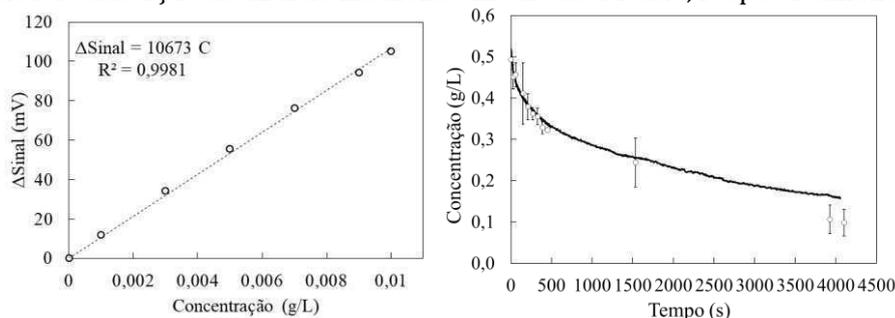


Figura 5. Curva de calibração (a); estudo dos erros experimentais em cinética de adsorção (b).

É possível observar na Figura 5 (a), que a curva analítica obtida é linear para o intervalo de concentrações de 1 até  $10 \text{ mg.L}^{-1}$  ( $R^2 = 0,9981$ ), após isso a curva passa a ter um comportamento não

linear. Essa região define a faixa de concentração ótima do corante e o desvio verificado é comum nesse tipo de análise devido ao surgimento de interações provocadas pela proximidade das moléculas em concentração elevadas de soluto. Na Figura 5 (b), nota-se a redução da concentração de soluto da solução ao longo do tempo, até que todos os sítios ativos do adsorvente foram preenchidos e o equilíbrio alcançado. Também, observa-se duas curvas cinéticas, uma formada por pontos com amostragem mais frequente, obtida de modo on-line, e outra com pontos experimentais mais espaçados, obtida de modo batelada. Além disso, mostra a média dos dados experimentais obtidos com o sensor nos dois modos, evidenciando a boa concordância dos resultados obtidos pelas duas metodologias e, conseqüentemente, a confiabilidade da medida do instrumento nos dois métodos analíticos.

### Conclusão

Os estudos relacionados ao cenário da adsorção, demandam um instrumento analítico para determinar a quantidade de soluto presente na solução, seja no equilíbrio de adsorção ou para acompanhamento ao longo do tempo. Entretanto, a falta de um instrumento analítico sofisticado não impede o desenvolvimento de um estudo em adsorção.

Visto isso, o processo de reuso é uma forma de aproveitamento de resíduos em produtos de maior valor agregado, que minimiza o acúmulo de lixo sólido e preserva recursos virgens. Neste contexto, este trabalho mostrou que o reuso adequado de materiais eletrônicos somado à aplicação de ideias simples é possível realizar estudos de adsorção utilizando-se de elementos provenientes de descarte. Tais elementos como a aplicação do Arduino como unidade de processamento do sinal, laser e fotodiodo como fonte e sensor de luz, respectivamente, foi possível desenvolver ensaios de adsorção e obter resultados satisfatórios.

Verificou-se que, com a aplicação de réplicas experimentais, os resultados obtidos por ambas metodologias propostas foram concordantes. Desta maneira, o dispositivo possibilita o operador escolher tanto a forma on-line de análise, quanto a off-line, de forma que ambas trarão o mesmo resultado. Note que, ao disponibilizar uma forma de medida em linha, o dispositivo agrega um menor tempo de medição, menor consumo de recursos para preparo de amostras e maior independência para com o operador, o que, em rotinas experimentais, é de grande valia.

### Referências

- CECEREA, G.; MARTINELLI, A. Drivers of knowledge accumulation in electronic waste management: An analysis of publication data, *Research Policy*, v.46, n.1, p.925-938. 2017.
- HARRIS, D. C. *Análise química quantitativa*. Rio de Janeiro: LTC. 2005.
- LEVAN, M. D.; CARTA, G.; YON, C. M. *Adsorption and Ion Exchange: Perry's Chemical Engineer's Handbook*. US: McGraw-Hill. 1997.
- QIU, H; LV, L.; PAN, B. C.; ZHANG, Q. J.; ZHANG, W. M.; ZHANG, Q. X. Critical review in adsorption kinetic models. *Journal of Zhejiang University-Science*, v.10, n.5, 7p.16-24. 2009.
- SCHMIDT-TRAUB, H. *Preparative Chromatography: of Fine Chemicals and Pharmaceutical Agents*. Germany: Wiley. 2005.
- VÉRAS NETO, J. G. *Um Espectrômetro Microcontrolado Baseado em LED Branco como Fonte de Radiação e Mídia*. Tese de doutorado. João Pessoa. 2008.