CONSTRUÇÃO DE FOTÔMETRO DE BAIXO CUSTO PARA ANÁLISE DE REMOÇÃO DE CORANTE TÊXTIL

CONSTRUCTION OF A LOW-COST PHOTOMETER FOR TEXTILE DYE REMOVAL ANALYSIS

TAINÁ SOUZA **SILVA**[1*], MARIA EDUARDA DE ARAUJO **FREIRE**[2], MARIA EDUARDA ALEXANDRE **DANTAS**[2], ANA VITÓRIA DA SILVA **COSTA**[2], JOÃO JARLLYS NÓBREGA DE **SOUZA**[3]

1. Professora Doutora em Química de Produtos Naturais, Instituto Federal da Paraíba; **2.** Acadêmico do curso técnico integrado em Informática no Instituto Federal da Paraíba – Campus Catolé da Rocha. **3**. Professor Doutor em Química, Instituto Federal da Paraíba.

* Rua Cicero Pereira de Lima, Catolé do Rocha, Paraíba, Brasil. CEP: 58884-000. taina.silva@ifpb.edu.br

Recebido em 06/02/2023. **Aceito** para publicação em 23/03/2023

RESUMO

Este trabalho enquadra-se, no que diz a sua natureza, na tipologia quali-quantitativa, tendo como objetivo geral a construção de um fotômetro alternativo e de baixo custo, e a realização de testes de remoção de um corante têxtil através do processo Fenton, utilizando resíduo de construção civil como catalisador. O protótipo do fotômetro foi desenvolvido, permitindo a construção de uma curva de calibração com grau de correlação entre as variáveis de 99,8. Os testes para avaliação da remoção do corante foram realizados com os resíduos de construção civil, observando-se uma redução de aproximadamente 90% na concentração do corante.

PALAVRAS-CHAVE: Fotômetro de baixo custo, remoção de corante, resíduos de construção civil.

ABSTRACT

This work fits, in terms of its nature, into the quali-quantitative typology, having as its general objective the construction of an alternative and low-cost photometer, and the carrying out of tests for the removal of a textile dye through the Fenton process, using construction waste as a catalyst. The prototype of the photometer was developed, allowing the construction of a calibration curve with a degree of correlation between the variables of 99.8. Tests to evaluate dye removal were carried out with civil construction waste, observing a reduction of approximately 90% in dye concentration.

KEYWORDS: Low-cost photometer, dye removal, construction waste.

1. INTRODUÇÃO

O aumento populacional, acompanhado da ascensão do setor industrial, tem resultado em uma grande geração de efluentes líquidos, sólidos e gasosos, que são descartados muitas vezes sem o tratamento adequado na natureza, tendo como consequência a poluição de rios, solo e ar[1].

O setor têxtil é responsável pela geração de resíduos sólidos, emissões de gases poluentes e efluentes líquidos que possuem grande potencial de contaminação ambiental[2]. Os principais problemas ligados aos efluentes líquidos estão relacionados à elevada quantidade de corantes que são utilizados na etapa de tingimento e descartados durante a lavagem, em rios ou em canais de esgoto que deságuam em um rio[3]. Muitos desses corantes são tóxicos, mutagênicos e, que, quando em grandes quantidades nos efluentes, absorvem a luz nos corpos receptores, interferindo no equilíbrio dos ecossistemas aquáticos[4].

Os corantes são compostos que conferem cor a um determinado substrato após fixação, uma vez que são substâncias capazes de se fixarem em fibras, absorvendo alguns comprimentos de onda específicos e refletindo os demais[5]. Por apresentarem alta solubilidade em água e baixa degradabilidade, são considerados os compostos mais problemáticos presentes nos efluentes têxteis. Esses compostos podem ser genotóxicos ou tóxicos quando presentes no meio ambiente e geralmente são resistentes à degradação microbiana, podendo causar, nos seres humanos, danos no fígado, cérebro, sistema reprodutivo e sistema nervoso central[5,6].

A presença de corante torna os efluentes têxteis não biodegradáveis, levando a altos valores de demanda química de oxigênio, demanda biológica de oxigênio, cor e pH[4,7].

De acordo com a Resolução 430/2011 do Conama, em qualquer tipo de água a presença de corantes deve ser virtualmente ausente, ou seja, não pode interferir na coloração do corpo receptor[8].

Os efluentes industriais podem ser tratados por meios biológicos, químicos e físicos, entretanto nem todos os métodos são eficazes no processo de degradação do corante. Em razão disso, existe uma busca por alternativas de baixo custo e eficientes no processo de remoção destes[9].

Nos últimos anos, os processos oxidativos avançados (POAs) têm aparecido como uma excelente alternativa para a remoção de corantes de efluentes, principalmente em razão da elevada eficiência de degradação frente a substratos resistentes, permitindo a rápida e indiscriminada degradação de uma grande variedade de compostos orgânicos. Esse processo, muitas vezes, permite a completa mineralização desses compostos[10,11,12].

Os POAs são baseados na formação de radicais de hidroxila a partir do peróxido de hidrogênio e são extremamente oxidantes e reativos. Geralmente, nesses processos a matéria orgânica dissolvida na água é

oxidada por uma sequência de reações em cadeia. Alguns POAs são baseados em fotodissociação direta, sistema ozônio/ultravioleta, fotocatálise, processo Fenton e foto-Fenton[13].

O processo Fenton consiste em um método oxidativo avançado baseado na decomposição catalítica do peróxido de hidrogênio por íons ferrosos, com a finalidade de formação de radicais hidroxila. A reação é conduzida em meio ácido para evitar a precipitação de sais de ferro[14].

O processo Fenton é considerado uma alternativa de tratamento bastante eficaz, uma vez que a técnica possibilita um processo de mineralização de uma parcela significativa de agentes contaminantes orgânicos, e, consequentemente, possibilita uma redução nos índices de contaminação, além de permitir uma melhor degradação dos efluentes[15].

Buscando associar esse processo ao reaproveitamento de materiais, é possível voltar a atenção para os resíduos de materiais cerâmicos (ex. tijolos e telhas) que são gerados durante o processo produtivo industrial ou em processos de construção civil.

As cerâmicas são compostas por argilas, as quais apresentam sílica (SiO_2) e alumina (Al_2O_3) em maior proporção, além de óxido de ferro (Fe_2O_3), que está presente como uma das impurezas mais frequentes associadas às argilas ou formando parte do cristal argiloso, sendo responsável pela coloração avermelhada das cerâmicas vermelhas[16].

A indústria cerâmica brasileira tem participação de cerca de 1% no PIB nacional, sendo aproximadamente 40% desta participação representada pelo setor de cerâmica vermelha. Especialmente no que se refere aos produtos de cerâmica vermelha, sua fragilidade, característica comum aos materiais cerâmicos, contribui para perdas associadas ao transporte, carregamento e descarregamento, armazenamento e aplicação desses produtos[17].

Diante do volume significativo de resíduo gerado anualmente pelas indústrias de cerâmica vermelha, estabelecer um destino adequado para esses se torna um grande desafio, pois, geralmente esses resíduos são descartados em aterros ou de forma inadequada, no meio ambiente, podendo gerar risco de periculosidade, assoreamentos dos córregos e destruição das nascentes e olhos d´agua, além da própria poluição visual[18,19,20].

A determinação da concentração e análise da remoção de corantes pode ser realizada através do uso de um fotômetro ou espectrofotômetro. A espectrofotometria refere-se às medidas das interações entre a radiação eletromagnética e a matéria, com o objetivo de identificar um componente presente em uma amostra ou determinar a quantidade deste analito[21,22].

Os fotômetros são constituídos basicamente de uma fonte de energia radiante (luz), um monocromador ou seletor de comprimento de onda que incide sobre a amostra, um compartimento, onde é colocada a amostra, e finalmente um dispositivo para medir a atenuação da radiação incidente (radiante que incide sobre a amostra)[23].

Devido ao custo relativamente alto dos equipamentos usados na espectrofotometria, diversos trabalhos vêm sendo desenvolvidos buscando a construção de fotômetros e espectrofotômetros com materiais de baixo custo, como por exemplo, os trabalhos de Rosa *et al.* (2019)[22], Oliveira & Leite (2015)[24], Mota (2010)[25] e Moreira *et al.* (2016)[21].

A construção de um fotômetro utilizando materiais acessíveis e de baixo custo oportuniza a realização de análises com corantes, além de permitir que os pesquisadores (docentes e discentes) tenham contato com os princípios fundamentais da espectroscopia de absorção molecular.

Diante disso, esse trabalho tem como objetivo a construção de um fotômetro alternativo e de baixo custo e a realização de testes de remoção de corante têxtil de uma solução, utilizando resíduos de construção civil.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Para a construção do fotômetro foram utilizados os seguintes materiais: 1 caixa de papelão, isopor, fios de cobre, 1 suporte para 2 pilhas AA, 1 LDR (Resistor Dependente de Luz) de uso geral, 1 LED branco de alto brilho, 1 chave liga/desliga mini, 1 mini protoboard, 1 tubo de ensaio de vidro, 1 multímetro e 2 bases cilíndricas de plástico.

Os componentes eletrônicos foram conectados de forma que as pilhas fornecem energia para o LED, este incide luz na amostra, que está no tubo de ensaio, o LDR atua como detector da radiação, convertendo a energia radiante em sinal elétrico mensurável e o multímetro atua como unidade de processamento e de leitura de sinal. Os componentes ficam dentro de uma caixa de papelão, completamente fechada, e o LED e o LDR ficam dentro dos cilindros opacos, a fim de que o LDR receba apenas a luz vinda do LED (Figuras 1 e 2).

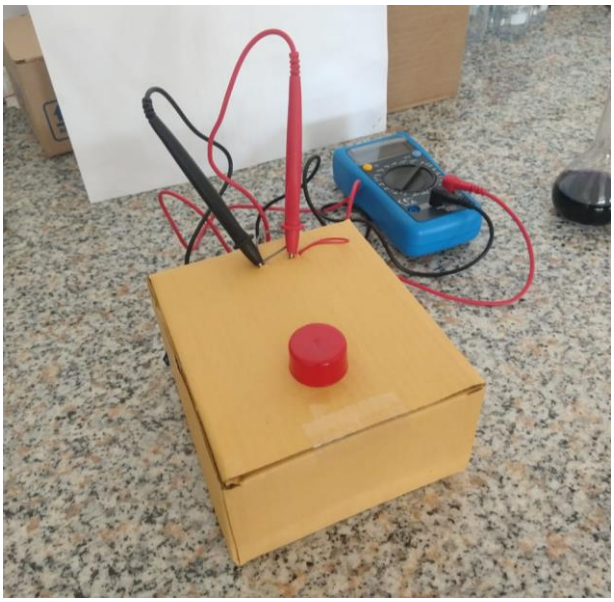

Figura 1. Visão externa do fotômetro. **Fonte:** Autores (2022).

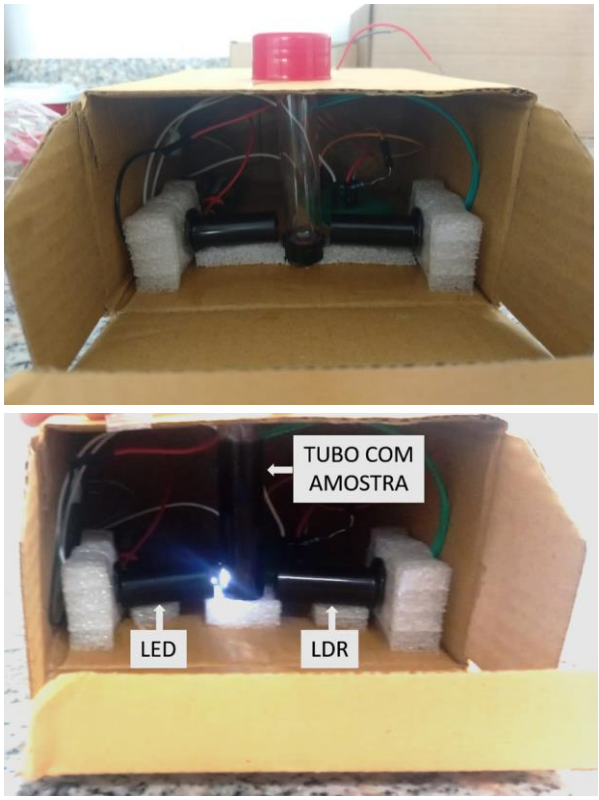

Figura 2. Visão interna do fotômetro. **Fonte:** Autores (2022).

Os componentes eletrônicos foram conectados de acordo com o circuito elétrico abaixo (Figura 3).

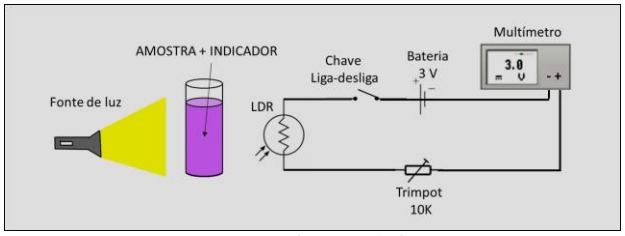

Figura 3. Esquema do circuito elétrico do fotômetro. **Fonte:** Autores (2022).

Para os testes com o corante, foram utilizados os seguintes materiais: corante Tupy azul marinho nº 23 (figura 4), água oxigenada commercial 10 volumes, vinagre de álcool e resíduo de telha e de tijolo.

Figura 4. Corante e resíduo de tijolo, utilizados para realização dos testes de remoção. **Fonte:** Autores (2022).

O corante orgânico utilizado, de cor azul marinho – 23, não possui venda restrita, sendo de fácil obtenção no comércio. Segundo um dos principais fabricantes deste tipo de corante, a TUPY (2013), o corante tem pH neutro, quando dissolvido em água e não apresenta odor. É indicado para tingir tecidos ou fibras de algodão, linho, sisal, rami, rayon-viscose e mesclas[26].

Foram realizadas três curvas de calibração, em dias diferentes, a fim de observar a repetibilidade e precisão do equipamento. Para obtenção das curvas, foi preparada uma solução estoque do corante, na concentração de 5 g/L, utilizando água deionizada. Em seguida, essa solução foi diluída para as concentrações 2 g/L, 1 g/L, 0,5 g/L e 0,25 g/L, sendo essas soluções analisadas no fotômetro desenvolvido, observando-se a tensão correspondente a cada uma.

Os valores de tensão observados no multímetro foram repassados ao MS-Excel, aplicando-se a Equação 1 para o cálculo da absorbância, em que P_0 é a tensão elétrica da amostra com água destilada, e P é a tensão elétrica de cada amostra de concentração do corante, seguindo a Lei de Lambert-Beer[21].

$$A = logP_0/P$$

Para o processo Fenton, foram utilizados 20 ml de solução de corante (5 g/L), 2 ml de água oxigenada comercial, 3 ml de vinagre, 0,5 g de resíduos de telha e de tijolo (previamente triturados e separados em peneira de malha 10 - 2,00 mm - utilizando agitador de peneira). A mistura ficou em agitação, em agitador magnético, durante duas horas, sendo, em seguida, deixada em repouso, buscando retirar apenas o sobrenadante após decantação, e analisá-lo no fotômetro construído.

3. RESULTADOS

Após a construção do fotômetro, foram analisadas as soluções de corante, nas concentrações de 5 a 0,25 g/L, observando-se que quanto menor a concentração da solução, maior a sua tensão, uma vez que quanto menor a concentração, maior a quantidade de luz incidida no LDR.

Os resultados das absorbâncias calculadas a partir da tensão obtida no fotômetro estão ilustrados na Tabela 1. Para cada concentração, foram calculadas as médias e os desvios padrões das absorbâncias das amostras.

Tabela 1. Resultados de absorbância das Curvas de Calibração do Corante. **Fonte:** Autores, 2023.

Conc. (g/L)	Absorbância				
	Dia 1	Dia 2	Dia 3	Média	Desvio padrão
0,25	0,0143	0,0145	0,0107	0,0131	0,0021
0,5	0,0393	0,0397	0,0359	0,0383	0,0021
1	0,0939	0,0951	0,0976	0,0956	0,0018
2	0,2141	0,2055	0,2148	0,2115	0,0051
5	0,6439	0,6289	0,5814	0,6181	0,0326
Coeficiente de correlação	0,9997	0,9966	0,9999	0,9979	0,0017

As curvas de calibração da solução do corante foram realizadas em triplicata, em dias distintos, sendo obtidos valores de R^2 de 0,9972; 0,9966 e 0,9999 para os dias 1, 2 e 3, respectivamente, como mostrado na Tabela 1. A média calculada para estes valores foi 0,9979 e o respectivo desvio padrão foi 0,0017, indicando boa correlação entre as variáveis. Estes resultados expressam a precisão da equação da reta em representar a variação da absorbância em relação à concentração. Além disso, o desvio padrão obtido entre as leituras das diferentes concentrações nos três dias variou de 0,0018 e 0,0326, indicando boa reprodutibilidade da curva padrão. As curvas de calibração são apresentadas na Figura 5.

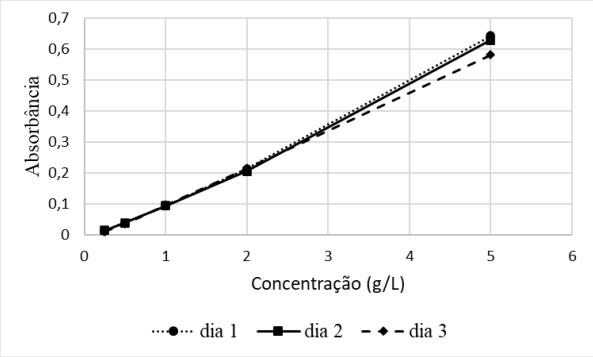

Figura 5. Curvas de calibração obtidas em dias de análise diferentes. **Fonte:** Autores, 2023.

Após as duas horas de reação, foi possível observar a descoloração da solução de corante, tanto no teste com resíduo de tijolo, quanto com resíduo de telha (Figura 6), sendo a concentração final das soluções determinada a partir da curva de calibração.

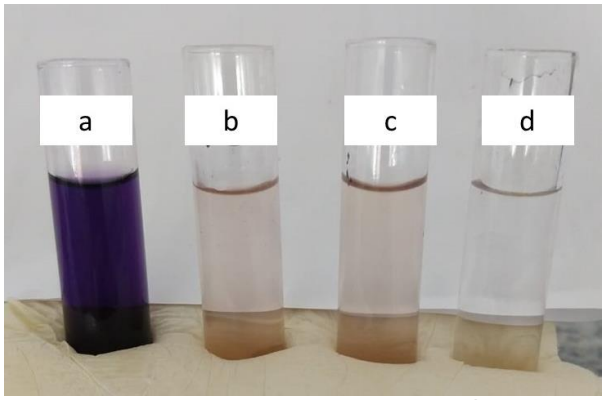

Figura 6. Solução inicial de corante (a), solução pós reação com telha (b), solução pós reação com tijolo (c) e água destilada (d). **Fonte:** Autores, 2023.

A porcentagem de remoção da solução inicial de corante (5 g/L, figura 6a) após a reação de Fenton, foi igual para ambos os resíduos, sendo de aproximadamente 90%. Assim, é possível inferir que a presença dos resíduos de telha ou tijolo, como fonte de ferro para remoção do corante estudado pelo processo Fenton, mostrou-se promissora, devido ao baixo custo de obtenção desses resíduos, que muitas vezes, ficam acumulados no meio ambiente.

4. DISCUSSÃO

A produção do fotômetro alternativo teve um valor aproximado de R$ 50,00, visto que foram utilizados materiais de baixo custo e reutilizados. É importante considerar que o componente de maior valor foi o multímetro, ou seja, caso o pesquisador já tenha esse equipamento, o valor para produção do fotômetro diminui consideravelmente.

O custo para produção desse fotômetro foi próximo ou menor ao ser comparado com o preço de fotômetros comerciais e com fotômetros alternativos descritos na literatura, como por exemplo, Squissato (2018)[27], Moreira *et al*. (2016)[21] e Rosa *et al*. (2019)[22].

A substituição dos reagentes analíticos, normalmente utilizados na reação de Fenton (ácido clorídrico e peróxido de hidrogênio), por produtos comerciais (vinagre e água oxigenada 10 volumes), mostrou-se eficiente para remoção da cor da solução, corroborando com o trabalho de Pitanga *et al*. (2017)[28].

Os resultados apresentados com o uso dos resíduos de construção civil confirmam as expectativas geradas para o trabalho e corroboram as propostas apresentas por Conceição *et al*. (2013)[29], Andrade & Silva (2013)[30] e Silva *et al*. (2021)[1], que utilizaram resíduos para remoção de corante, tanto por processo Fenton, quanto pelo processo de adsorção.

5. CONCLUSÃO

Apesar de algumas indústrias já desenvolverem processos mais sustentáveis, ainda existe no sistema produtivo o descarte inadequado de resíduos sólidos e líquidos, resultante do tingimento de tecidos e fios, acarretando graves danos ao solo, rio e lençol freático.

O fotômetro mostrou-se como uma ferramenta para realização de quantificação de soluções que apresentam coloração na região do visível, como soluções de corantes. Este protótipo também pode ser utilizado para aprimorar as aulas de laboratório de Química, permitindo conectar os conceitos e fundamentos da espectroscopia de absorção molecular e processos de tratamentos de efluentes.

A alta porcentagem de remoção observada nos testes realizados permitiu verificar que os resíduos de telha ou tijolo podem ser utilizados como catalisadores na reação de Fenton, uma vez que este atua como fonte de ferro, agindo na descoloração de corante. Dessa forma, esse trabalho traz contribuições para ciência e para sociedade, uma vez que utiliza resíduos da construção civil para remover um corante têxtil de uma solução.

6. AGRADECIMENTO E FINACIAMENTO

Instituto Federal da Paraíba – Campus Catolé do Rocha.

7. REFERÊNCIAS

[1] Silva RPT, Bottrel SEC, Santos ASP, *et al*. Avaliação do processo Fenton utilizando um resíduo como fonte

alternativa de ferro para remoção de azul de metileno em meio aquoso. Revista Matéria, 2021; 26(3).
[2] Silva ABC, Andrade RMF, Freire FB, *et al*. Análise da utilização de cerâmica vermelha como adsorvente na remoção do corante têxtil Direct Blue de uma solução aquosa. Revista Matéria. 2017; 22(3).
[3] Andrade APFS. As indústrias têxteis de São Bento-PB: comodidade ou incômodo para a população? Monografia (Licenciatura) – Universidade Federal de Campina Grande. Cajazeiras, Paraíba. 2016.
[4] Balamurugan B, Thirumarimurugan M, Kannadasan T, Anaerobic Degradation of Textile Dye Bath Effluent Using Halomonas sp. Bioresource Technology. 2011; 102(10): 6365-6369.
[5] Yagub MT, SEM TK, AFROZE S, *et al*. Dye and its removal from aqueous solution by adsorption: A review. Advances in Colloid and Interface Science. 2014; 209:172–184.
[6] Silva RF. Degradação de corante de efluente têxtil por processo oxidativo avançado. Tese (Doutorado), Universidade Federal de Pernambuco. Recife, Pernambuco. 2015.
[7] ISPICH - Industrial safety and pollution control handbook, A joint publication of National Safety Council and Associate (Data) Publishers Pvt. Ltd., Hyderabad, 2nd edition, 2nd reprint, p.451-466, 1995.
[8] BRASIL - Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) - Resolução n. 430, de 13 de maio de 2011.
[9] Giordano G. Análise e formulação de processos para tratamento dos chorumes gerados em aterros de resíduos sólidos urbanos. Tese (Doutorado), PUC-Rio, Rio de Janeiro. 2003.
[10] Tiburtiu S, E.R.L. *et al*. Degradação de BTXS via processos oxidativos avançados. Química Nova. 2005; 28: 61-64.
[11] Marmitt S, Freiberger G, Stulp S. Avaliação da degradação de corantes por processos oxidativos avançados: proposta de tecnologia limpa. Revista Destaques acadêmicos. 2009; 1(4).
[12] Stasinakis AS. Use of Selected Advanced Oxidation Processes (AOPs) for Wastewater Treatment – a mini review. Global NEST Journal. 2008; 10: 376-385.
[13] Pereira WS, Freire RS. Ferro zero: uma nova abordagem para o tratamento de águas contaminadas com compostos orgânicos poluentes. Química Nova. 2005; 28: 130-136.
[14] Sun JH, Sun S.P, Wang GL. Degradation of azo dye amido black 10B in aqueous solution by Fenton oxidation process. Dyes and Pigments. 2007; 74(3): 647-652.
[15] Sales HB, Menezes RR, Neves, GA, *et al.* Development of sustainable heterogeneous catalysts for the photocatalytic treatment of effluents. Sustainability. 2020; 12(7393): 7393.
[16] Caldas TCDAC. Reciclagem de resíduo de vidro plano em cerâmica vermelha. Dissertação (Mestrado), Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF. Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro. 2012.
[17] Moura CAM, Silva RB, Rezende GBM, *et al.* Caracterização de resíduos telha cerâmica vermelha de fontes distintas visando proposta coprocessamento como matéria-prima para clínquer Portland. Scientia Cum Industria. 2018; 6(3): 31-37.
[18] Nunes MT, Rodrigues FS, Boita, J. Nanomateriais à base de óxidos de ferro suportados com resíduos ricos em sílica. Ciência e Natura, Santa Maria. 2018; 40: 225–231.
[19] Dias JF. Avaliação de resíduos da fabricação de telhas cerâmicas para o seu emprego em camadas de pavimento de baixo custo. Tese (Doutorado), Escola Politécnica/USP, São Paulo, 2004.
[20] Fortuna J, Marques JA, Biasi LH, *et al*. Diagnóstico dos resíduos de construção civil em construtoras de criciúma/SC. Revista Técnico Científica. 2012; 3(1): 110-116.
[21] Moreira A F, Santos SRB, Costa Junior AG. Construção e caracterização de um fotômetro destinado ao uso de aulas experimentais de química sobre a lei de Beer-Lambert. Holos. 2016; 32(2).
[22] Rosa CL, Martins FPOS, Arantes RS, *et al*. Construção de espectrofotômetro visível para fins didáticos. Journal of Exact Sciences. 2019; 21(1): 20-25.
[23] Holler FJ, *et al*. Princípios de Análise Instrumental, 6a. Ed., 2009.
[24] Oliveira PCC, Leite MAP. Espectrofotometria no Ensino Médio: Construção de um Fotômetro de Baixo Custo e fácil aquisição. Química Nova na Escola, São Paulo, 2016; 38: 181-184.
[25] Mota F. Desenvolvimento de um fotômetro com fins didáticos. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Amazonas. Manaus, Amazonas. 2010.
[26] Rodrigues SS. Aplicação de processos oxidativos avançados no tratamento de águas contaminadas com efluentes têxteis. Dissertação (Mestrado), Universidade Estadual da Paraíba. Campina Grande, Paraíba. 2014.
[27] Squissatto AGM. Construção e aplicação de um fotômetro para o ensino da absorção da luz. Dissertação (Mestrado). Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Medianeira, Paraná. 2018.
[28] Pitanga AF, Santos BLSR, Rocha LB, Santos LD, Ferreira WM. Adaptação metodológica de processos oxidativos avançados (POAs) na degradação de corantes para aulas experimentais de Ensino Médio. Química Nova na Escola. 2017; 39 (4): 373-377.
[29] Conceicão VM, Freire FB, Carvalho KQ. Treatment of textile effluent containing indigo blue dye by a UASB reactor coupled with pottery clay adsorptiont. Acta Scientiarum Technology, Maringuá – PR. 2013.
[30] Andrade RMF, Silva ABC. Remoção de Cor de uma Solução com Corante Têxtil por Adsorção e Oxidação por Processo Fenton. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba. 2013.