

<sup>a</sup> Universidade Federal do Espírito Santo, Departamento de Química, Centro de Ciências Exatas, Campus Goiabeiras, CEP 29075-910, Vitória-ES, Brasil.

\*E-mail: [mfflelis@yahoo.com.br](mailto:mfflelis@yahoo.com.br)

Recebido em: 21 de Dezembro de 2020

Aceito em: 14 de Junho de 2021

Publicado online: 19 de Novembro de 2021

## Biossorventes Utilizados na Remoção do Corante Azul de Metileno em Soluções Aquosas: uma proposta de ensino em química ambiental

### *Biosorbents Used to Remove Methylene Blue Dye in Aqueous Solutions: a environmental chemistry education propose*

Barbara Q. Guimarães,<sup>a</sup> Fernando S. Betim,<sup>a</sup> Ívina L. Santana,<sup>a</sup> Ariel V. Pereira,<sup>a</sup> Thaiany S. C. Bressiani,<sup>a</sup> Bruno M. M. Siqueira,<sup>a</sup> Maria de Fátima F. Lelis,<sup>a,\*</sup> Paulo R. G. Moura<sup>a</sup>

The textile industry is the main one responsible for the disposal of effluents with a high organic load and highly visible color. Biosorption is a promising alternative in the treatment, with good efficiency in removing dyes. In the present study, biosorbents were prepared from papaya peel (CM) and acerola residue (RA) and characterized by Fourier Transform spectroscopy in the Infrared Region (IR-TF), Scanning Electron Microscopy (SEM), and determination of the Zero Charge Point (pHPCZ). Its adsorptive capacity was evaluated by students in an experimental class in the Environmental Chemistry discipline of a public university. A teaching project was carried out using the theme of wastewater treatment and the use of biosorbents. To evaluate the adsorbent potential of the materials under study in the removal of methylene blue dye as a function of pH (3.0; 6.0; 9.0), absorbance measurements were performed using a cell phone application (REDGIM) and a spectrophotometer (665 nm). The results obtained indicated that the RA biosorbent presented the best performance in the adsorptive capacity when compared to the CM biosorbent. Thus, it was possible to mediate knowledge about the use of biosorbents, in addition to being encouraged to propose different applicability for this material, exploring their creative capacity when seeking environmentally and economically sustainable solutions.

**Keywords:** Biosorbents; Chemistry teaching; environmental education; methylene blue.

## 1. Introdução

A crescente preocupação com o meio ambiente e o aumento da demanda de água com quantidade e de qualidade adequada para consumo humano e industrial, aliado à legislação ambiental e ao desenvolvimento sustentável é uma temática a ser abordada em sala de aula. A formação de profissionais que se importam e se comprometem com o meio ambiente é de grande importância, trabalhando o pensamento crítico acerca das questões ambientais, avaliando os avanços da ciência e da tecnologia em benefício do meio e construindo uma sociedade justa, cidadã e ética.<sup>1,2</sup>

Em se tratando da formação de profissionais de química, há necessidade de que o processo de ensino e aprendizagem seja realizado em um contexto relevante, contribuindo efetivamente para a sociedade ao resolver desafios globais.<sup>3</sup>

Uma das formas de se trabalhar a educação ambiental em cursos de graduação em química é relacionar os impactos ambientais inerentes aos processos químicos, a fim de que o aluno compreenda as consequências geradas ao meio ambiente e se interesse em buscar alternativas para minimizar os impactos utilizando os processos químicos. Para que isso ocorra, é preciso utilizar meios de ensino e aprendizagem que permitam que o aluno seja protagonista e construtor do seu próprio conhecimento, com atividades conectadas ao contexto em que se vive.

A contextualização no ensino de química tem se mostrado um princípio norteador no processo de ensino e aprendizagem, de forma aproximar o debate em sala de aula com problemas do dia-a-dia dos estudantes e promover relações entre a ciência e a tecnologia.<sup>4</sup> A contextualização, segundo Wartha, Silva e Bejarano,<sup>4</sup> não deve se resumir apenas a simplificação do cotidiano, sem que ocorra uma problematização, onde os alunos não sejam provocados a pesquisar sobre o tema de estudo.<sup>4</sup>

A problematização é o primeiro momento pedagógico da sequência didática, onde são apresentadas questões que envolvem o cotidiano do aluno, dessa forma, o professor o convida a expor seus pensamentos sobre o tema em questão, discutir, e assim compreender a necessidade

de obter conhecimentos para interpretar a realidade e possivelmente modificá-la.<sup>5,6</sup>

O segundo momento é destinado à organização do conhecimento, quando são trabalhados os conteúdos que possuem como finalidade a resolução dos problemas apresentados anteriormente. Os conhecimentos científicos demarcam o ponto de chegada no processo educacional, ou seja, torna-se a ocasião em que se conecta os entendimentos prévios dos alunos, com o conhecimento científico, compreendendo a questão inicial apresentada e as que estão por surgir.<sup>7</sup>

O terceiro momento é a aplicação do conhecimento e, nesse estágio, o professor desenvolve atividades para que os alunos usem os conhecimentos científicos já explorados, e consigam correlacionar os conceitos científicos e aplicá-los em situações que fazem parte do seu dia a dia. A problematização de temas ambientais é comumente trabalhada no ensino de química, de forma a dar recursos aos alunos na resolução de problemas, desenvolvimento de pensamento crítico e consciência ambiental.<sup>8</sup>

O tratamento de águas residuais contaminadas por corantes torna-se relevante para a formação profissional em química, visto que a água é um recurso necessário para manutenção da vida.<sup>9</sup> Portanto, trabalhar conceitos teóricos como a qualidade da água, seus possíveis tratamentos e novas tecnologias associadas, permitem o aprimoramento de habilidades e competências nos alunos, como resolução de problemas reais, criticidade, trabalho em equipe e criatividade, contribuindo para o desenvolvimento sustentável.

Várias técnicas são empregadas para a remoção de corantes em água,<sup>10-12</sup> sendo a adsorção uma alternativa promissora.<sup>13</sup> Adsorção é um processo de transferência de fases, em que uma substância presente na fase líquida ou gasosa, chamada adsorvato, fica retida na superfície de um sólido, chamado adsorvente.<sup>14</sup> O carvão ativado tem se mostrado um adsorvente versátil, mas seu uso é restrito devido ao custo mais elevado em comparação a outros materiais.<sup>13, 15</sup>

O uso de adsorventes obtidos de materiais de baixo custo, que requerem pouco processamento, e podem ser feitos a partir de resíduos industriais, agrícolas ou materiais naturais vem se mostrando uma tecnologia bastante eficaz.<sup>16</sup> Dentre esses, destacam-se os bioadsorventes, materiais obtidos através de biomassa, que tem potencialidade em uso como adsorvente.<sup>17</sup>

### 1.1. Bioadsorventes

Os bioadsorventes são compostos majoritariamente por polissacarídeos, proteínas, lipídios, lignina, celulose, hemicelulose, carboidratos, lactonas,<sup>15</sup> e presença de grande número de grupos funcionais como: hidroxilas, carboxilas, aminas, ésteres, tióis, fosfatos, carbonilas, sulfatos, entre outros.<sup>18, 19</sup> O que difere um bioadsorvente do outro é a estrutura química e a porcentagem de cada

substância que o compõe, o que permite controlar a maneira como o bioadsorvente interage com o material que se quer bioadsorver.<sup>15, 20</sup>

Uma fonte promissora de bioadsorvente são os materiais obtidos pela biomassa de vegetais, como cascas de frutas, sementes, bagaços, etc. Esses materiais possuem características importantes, como capacidade de adsorção e podem ser usados em larga escala,<sup>21</sup> além disso, são materiais de baixo custo e alta disponibilidade, sendo muito eficientes na remoção de contaminantes.<sup>22-24</sup> Porém, é necessário uma destinação adequada ao resíduo sólido gerado após a adsorção do contaminante. Uma alternativa é sua disposição em aterros industriais ou a incineração visando o aproveitamento energético dos resíduos.

A casca de banana,<sup>15</sup> semente de chia,<sup>16</sup> semente de mamão,<sup>21</sup> capim-limão,<sup>23</sup> casca de laranja,<sup>24</sup> são exemplos de materiais bioadsorventes obtidos por resíduos agroindustriais. Por serem materiais simples, presentes no cotidiano do aluno e que podem ser utilizados para resolver problemas reais, pode-se perceber a importância de uso de materiais bioadsorventes no ensino de química, principalmente na educação ambiental, de maneira que os alunos podem ser atraídos pela aplicação desse método, dar utilidade a um material naturalmente obtido, que geralmente não possui valor econômico e é descartado, muitas vezes de forma inadequada.<sup>26</sup>

Diante do exposto, a presente pesquisa teve como objetivo a obtenção, caracterização e verificação do potencial bioadsorvente de materiais obtidos por biomassa de casca de mamão e resíduo de acerola. Os experimentos de adsorção foram realizados pelos alunos matriculados em uma disciplina de química ambiental, ofertada para o curso superior de química, na Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), com objetivo de trazer contribuições para sua formação profissional.

## 2. Metodologia

### 2.1. Coleta e obtenção dos bioadsorventes

Para produção dos bioadsorventes utilizados nesse estudo, o resíduo de acerola (RA) e as cascas de mamão (CM) foram fornecidos por uma cantina do *campus* Goiabeiras da Universidade Federal do Espírito Santo. Os materiais obtidos foram lavados com água corrente para remoção de impurezas, secos em estufa a 80 °C e triturados.

Para remover as partículas aderidas à superfície dos materiais e substâncias solúveis em água, os materiais de estudo foram lavados sucessivas vezes com água deionizada. Entretanto, pela dificuldade de remover substâncias provenientes da casca de mamão, o material CM foi lavado com ácido clorídrico 1% (v/v). Após lavagem, os materiais foram secos novamente a 80 °C, triturados e passados em peneira (Bertel) com 1,0 mm de abertura. Em seguida, as amostras de pó obtidas foram guardadas em recipientes adequados para posterior utilização.

## 2.2. Caracterização dos biossorventes

Os biossorventes foram caracterizados por espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (IV-TF), microscopia eletrônica de varredura (MEV) e realizado um estudo de ponto de carga zero (pHPCZ).

A IV-TF (Cary 630 FTIR, Agilent Technologies, 32 varreduras e resolução de  $4\text{ cm}^{-1}$ ), foi realizada com objetivo de analisar os grupos funcionais presentes na superfície do material. Os espectros foram obtidos na faixa de  $4000\text{ a }650\text{ cm}^{-1}$ .

Com o objetivo de observar as características texturais dos materiais biossorvente, as imagens de MEV foram obtidas em um Microscópio Eletrônico de Varredura Phenon Pro Desktop SEM, Thermo Fisher.

O pHPCZ foi determinado segundo metodologia adaptada de Regalbuto e Robles<sup>27</sup>. Foram preparadas 10 soluções utilizando 50 mL de água deionizada e o pH ajustado em um pHmetro (826 pH mobile, Metrohm) para valores de 1,0 a 11,0 com soluções de NaOH (Cinética)  $0,1\text{ mol L}^{-1}$  e HCl (37%, Neon)  $0,1\text{ mol L}^{-1}$ . Em cada solução foi adicionado 50 mg do material biossorvente preparado, e estes foram colocados em um banho termostático com agitação (Banho Dubnoff, Nova Ética) a  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$  por 24 horas. Ao final desse tempo, foi feita a medição do pH das soluções. Em seguida plotados os gráficos de pH inicial *versus* pH final para cada biossorvente preparado, determinando o pHPCZ de cada amostra.

## 2.3. Procedimento do projeto de ensino e aprendizagem

A pesquisa foi realizada durante as aulas da disciplina Química Ambiental, com 17 alunos do curso de Química (Bacharelado e Licenciatura) do campus Goiabeiras da Ufes (Vitória – ES).

A Tabela 1 mostra as etapas que foram realizadas durante essa intervenção pedagógica ancorada no processo didático-pedagógico e dialógico denominado Três Momentos Pedagógicos (3MP).<sup>5</sup>

O primeiro momento foi destinado à entrega do

questionário inicial, à contextualização do projeto e à problematização. No segundo momento foi realizado o debate entre os alunos sobre os artigos científicos pesquisados e entregue as perguntas orientadoras do projeto. No terceiro momento foi avaliado o potencial adsorvente dos materiais CM e RA. A seguir são descritas as etapas da prática realizada pelos alunos, sendo a professora e a pesquisadora responsável pelo experimento, auxiliadoras do processo.

A turma foi dividida em dois grupos e cada grupo utilizou um biossorvente (CM e RA) para a remoção do corante azul de metileno em solução aquosa.

## 2.4. Análise realizadas na matriz aquosa

Inicialmente foi preparada a curva de calibração partindo de uma solução estoque do corante azul de metileno na concentração de  $100\text{ mg L}^{-1}$  e preparou-se soluções de 20, 15, 10, 5, 2 e  $1\text{ mg L}^{-1}$ . Os alunos realizaram uma varredura para obtenção do espectro de absorção da solução de  $20\text{ mg L}^{-1}$ , entre os comprimentos de onda 400 e 800 nm e observaram que a absorção máxima do corante ocorre no comprimento de onda de 665 nm, utilizado como medida de referência. Para avaliar a remoção do corante pelos biossorventes, optou-se por trabalhar com a concentração de  $20\text{ mg L}^{-1}$  de solução contendo o corante, no qual o espectro de absorção do azul de metileno é melhor observado. Assim, foram preparadas três soluções de corante ( $20\text{ mg L}^{-1}$ ) em diferentes pHs (3,0; 6,0; 9,0). Em cada solução foi adicionado 0,1 g do material biossorvente e deixada sob agitação em um banho termostático ( $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). O processo de adsorção ocorreu durante 15 minutos no horário de aula de 2 horas, possibilitando um tempo maior para a organização, interpretação do fenômeno e a troca de informações entre o grupo que participou da aula. As concentrações das soluções contendo o corante em estudo foram obtidas a partir de análises de absorbância e construção de uma curva analítica utilizando o espectrofotômetro UV-Visível (DR 5000, HACH) e determinadas por um aplicativo de celular REDGIM (gratuito), que através de imagens, permite prever a concentração de soluções.

**Tabela 1.** Etapas da sequência didática

Planejamento da Sequência Didática		
Momentos pedagógicos	Atividades	Objetivos
Primeiro momento: Contextualização e Problematização	-Aplicação de questionário inicial (vide material complementar); -Exposição de notícias sobre descarte inadequado de resíduos em águas; -Pergunta problematizadora: Como tratar águas residuais contaminadas?	-Compreender os conhecimentos prévios dos alunos sobre o tema a ser abordado; -Expor a problemática ambiental; -Instigar a resolução da problemática.
Segundo momento: Organização do conhecimento	-Debate e apresentação de artigos sobre o uso do biossorventes; -Entrega das perguntas orientadoras (vide material complementar).	-Promover o conhecimento científico sobre os biossorventes; -Orientação sobre a temática a ser desenvolvida.
Terceiro momento: Aplicação do conhecimento	Adsorção de azul de metileno pelos biossorventes RA e CM.	Análise e avaliação do potencial adsorvente do RA e CM.

### 3. Resultados e Discussões

#### 3.1. Obtenção e caracterização dos biossorventes

Os biossorventes obtidos após as etapas de lavagem, secagem e trituração podem ser observados na Figura 1.

É possível notar diferenças entre os biossorventes CM (A) e RA (B). O primeiro possui aparência de um sólido agregado, com grãos maiores, se comparado ao segundo, que aparenta ser um pó fino. Um dos parâmetros que interferem diretamente na adsorção é a área superficial disponível,<sup>28</sup> de forma que quanto menor o material, maior a área disponível para adsorção.

A caracterização de biossorventes por IV-TF é fundamental, pois na faixa entre 4000 a 650  $\text{cm}^{-1}$ , mostram bandas características de grupos funcionais que compõem substâncias orgânicas presentes na biomassa. Os compostos que têm maior presença percentual na biomassa são a celulose, hemicelulose e lignina, apresentando diversas bandas no espectro devido a presença dos grupos funcionais, estiramentos e distorções das ligações

C-C, O-H, C=O e C-H, responsáveis pelo fenômeno de adsorção.<sup>15</sup>

A Figura 2 apresenta o espectro de infravermelho obtido para os biossorventes RA e CM.

Ao observar o espectro é possível verificar a presença de uma banda ampla e de intensa absorção próxima a 3300  $\text{cm}^{-1}$  (mais intensa em RA) que pode ser atribuída ao alongamento vibracional da ligação O-H, de grupos hidroxilas presente nas moléculas de celulose, pectina, hemicelulose, lignina, e água adsorvida na superfície do material.<sup>15,20,29</sup> A presença de bandas entre 2920 e 2850  $\text{cm}^{-1}$  em todos os espectros correspondem ao alongamento vibracional das ligações C-H simétricas e assimétricas, que indicam a presença de hidrocarbonetos, que podem corresponder à moléculas de celulose, hemicelulose e lignina.<sup>15, 29</sup> Bandas próximas a 1600  $\text{cm}^{-1}$  são formadas devido a presença de estiramentos C=O, de ácidos carboxílicos ou éster, e podem também indicar a presença de anéis aromáticos, atribuídos a presença de estiramentos C=C, que fazem parte da estrutura da molécula de lignina.<sup>20, 30, 31</sup> Bandas próximas a 1300  $\text{cm}^{-1}$  (mais intensas em RA) podem configurar ligações C-O, e assim presença de grupos ésteres, carboxilatos e

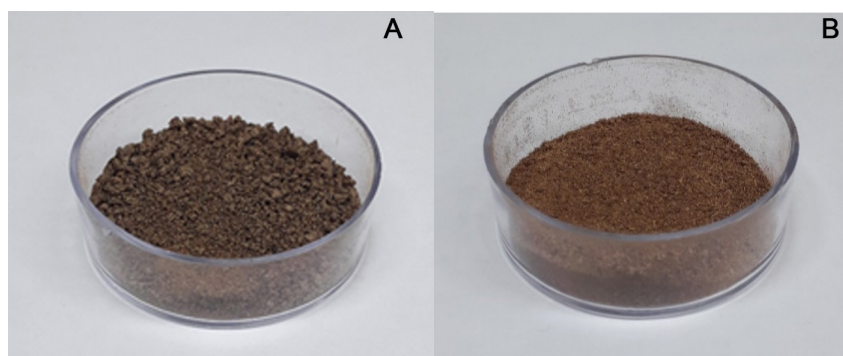


Figura 1. Biossorventes obtidos após as etapas de lavagem, secagem e moagem, onde (A) CM (B) RA

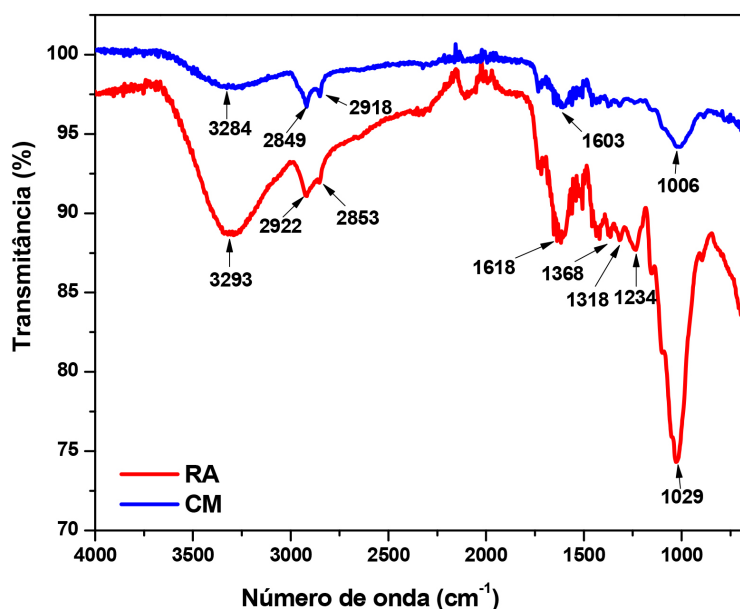


Figura 2. Espectros de Infravermelho de RA (linha vermelha) e CM (linha azul)

grupos alcoólicos.<sup>32,41</sup> A banda intensa próxima a  $1000\text{ cm}^{-1}$  corresponde a ligações C-O,<sup>30</sup> o que pode significar a presença de grupos alcoólicos, éter em moléculas de celulose e hemicelulose.<sup>15</sup>

A MEV permite conhecer os aspectos morfológico dos biossorbentes. Nas figuras 3 (A) e 3 (B), é possível observar que a superfície do material não é uniforme, apresentando irregularidades, ocasionadas pela desagregação da fibra, o que é vantajoso para o processo de adsorção, podendo promover a melhor interação das moléculas de adsorvato com a superfície dos biossorbentes.<sup>34</sup> Nota-se a presença de estruturas cavernosas bem desenvolvidas, que podem acomodar grandes quantidades de moléculas de corante.<sup>13</sup>

As partículas maiores constituintes na superfície do material são fibras, partículas compactas e ásperas, constituídas por faixas paralelas, onde sua superfície é coberta com extrativos, compostos por hemicelulose e lignina.<sup>35</sup>

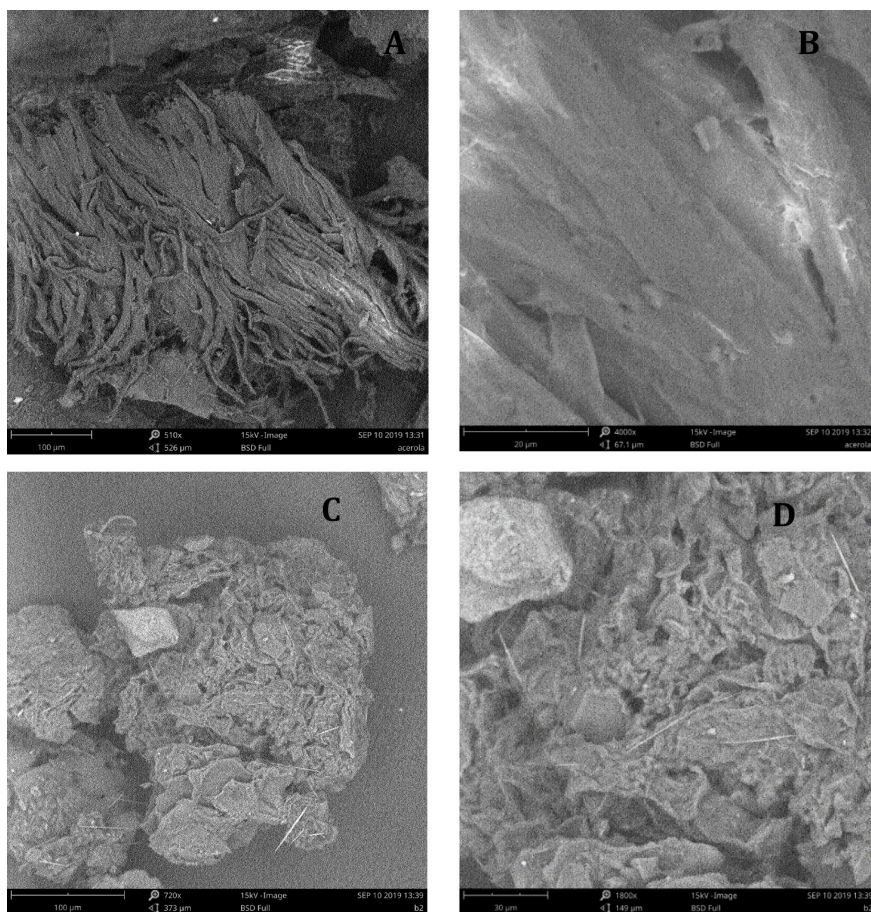
O ponto de carga zero (pHPCZ) é o pH em que a superfície do adsorvente possui carga líquida igual a zero, ou seja, as cargas positivas são iguais as cargas negativas, sendo outro fator que influencia na adsorção. Quando o pH da solução é maior que o pHPCZ, a superfície do material tem carga líquida negativa, e quando o pH é menor que o pHPCZ, a superfície do material possui carga líquida

positiva.<sup>33,36</sup> Analisando a dinâmica do sistema adsorvivo, o pH da solução de corante desempenha um importante papel no processo de adsorção, a alteração no pH modifica o grau de ionização do corante e pode modificar a carga nos sítios ativos da superfície do adsorvente, provocando uma alteração superficial, influenciando sobre as interações eletrostáticas entre as espécies presentes.

Na figura 4 é possível observar os valores de pH inicial e o pH final da solução de cada amostra, após 24 horas de contato com as soluções.

O corante azul de metileno (Figura 5), em solução aquosa, pode estar presente em forma de espécies catiônicas e não dissociadas, a predominância de cada espécie pode variar a depender do pH trabalhado.<sup>37</sup> O trabalho de Salazar-Rabado *et al.* (2017)<sup>37</sup> mostra que em  $\text{pH} = 3,0$  há predominância da espécie não dissociada do azul de metileno, no  $\text{pH} = \text{pKa} = 3,8$ , há coexistência das espécies e em  $\text{pH} > 6,0$ , há praticamente a presença de espécies catiônicas.

O pHPCZ é determinado pela média dos valores de pH finais constantes, ou seja, onde é observado o efeito tampão, o ponto que o pH se mantém constante, depois do sistema ter atingido o equilíbrio.<sup>36</sup> Os valores de pHPCZ determinados para os biossorbentes RA e CM foram 6,22 e 3,18, respectivamente. Para valores de pH ácido ( $\text{pH} = 3,0$ ) a



**Figura 3.** Microscopia Eletrônica de Varredura dos biossorbentes RA em (A) ampliado em 510x e (B) ampliado em 4000x; CM em (C) ampliado em 720x e (D) ampliado em 1800x

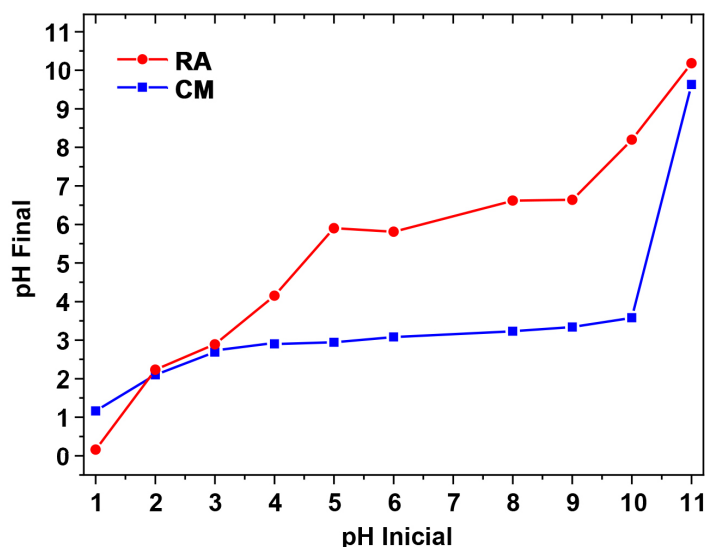


Figura 4. Gráfico relacionando pH inicial e o pH final das soluções na determinação pHPCZ da casca de mamão do resíduo de acerola

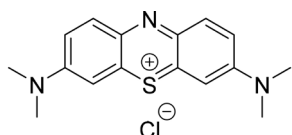


Figura 5. Molécula do corante azul de metileno

superfície dos biossorventes possui carga líquida positiva, e devido à presença majoritária das moléculas não dissociadas do adsorbato ( $pK_a=3,8$ ), a adsorção ocorre por interações de Van der Waals ou hidrofóbicas. Ao trabalhar em pH acima do seu valor de  $pK_a$ , o azul de metileno encontra-se mais dissociado e a medida que o meio reacional se torna mais básico serão favoráveis as atrações eletrostáticas com as espécies que compõem o biossorvente, devido a formação da carga líquida negativa na superfície do material.<sup>37,38</sup>

O trabalho de Silva *et al.*<sup>29</sup> avaliaram o uso resíduo de acerola na remoção de metais tóxicos em água, encontrando um pHPCZ igual a 6,0, o valor próximo ao encontrado neste trabalho. Mekonnen, Yitbarek e Soreta (2015)<sup>40</sup> avaliaram a casca de mamão como biossorvente na adsorção de Cr (IV), encontrando um pHPCZ igual a 4,5, valor acima do obtido pelo presente trabalho, porém o tratamento inicial foi a lavagem sucessiva em água destilada.

Neste estudo, por outro lado, o material foi lavado com ácido clorídrico, para remoção das substâncias presente na casca do mamão (cera). Na etapa de pós-colheita, o mamão comercial é submetido a aplicação de cera com objetivo de prevenção de doenças fungicas.<sup>38</sup>

### 3.2. Análises do desenvolvimento do projeto de ensino e aprendizagem

No primeiro momento da sequência didática, o educador tem a oportunidade de inteirar-se do conhecimento dos alunos em relação ao tema, entender as limitações e proporcionar ao mesmo o enfrentamento do que já se sabe

com o conhecimento novo adquirido e ao mesmo tempo proporcionar a compreensão do conhecimento científico.<sup>5</sup>

A partir das análises do questionário inicial, foi possível observar que a maioria dos alunos eram pouco familiarizados com processos de tratamento de águas residuais, de forma que cerca de 11 alunos responderam à pergunta: “Quais formas de tratamento de águas residuais você conhece?”, falando das etapas de tratamento de esgoto ou não sabiam responder. Entretanto, o discente identificado como A3 respondeu: “*Li um artigo uma vez que falava de uma reação fotoelétrica para tratamento de resíduos de uma fábrica de roupas, e para tratamento de chorume*”, o que demonstra que alguns estudantes tiveram algum contato com esse tema.

Ao perguntar se os alunos já trabalharam com o uso de materiais alternativos para o tratamento de águas residuais, a maioria dos alunos responderam que não, exceto pelos alunos A6: “*Eu conheço e já realizei práticas com carvão ativado, para adsorção de corantes em alguns contaminantes.*”; e A12: “*Sim, já trabalhei com borra de café para síntese de óxido de ferro a partir de rejeito de mineração.*”.

Ao serem questionados sobre o seu conhecimento sobre biossorventes, nove (9) dos alunos presentes informaram que não conheciam, porém alguns usaram de seus conhecimentos prévios sobre outros temas estudados durante a graduação para responder à pergunta, como pode ser observado no Quadro 1.

Muitos alunos associaram o termo “bio” como algo relacionado ao meio biológico ou natural. Essa associação não é totalmente errada, afinal, biossorção é um processo de adsorção usando biomassa.<sup>10</sup> O termo “sorvente” é relacionado à absorção ou adsorção, que são estudados geralmente em disciplinas que precedem a Química Ambiental. A adsorção e a absorção são processos de transferência de massa, o que diferencia um do outro é o modo como acontece. Na adsorção, uma substância é

**Quadro 1.** Respostas do questionário inicial sobre a pergunta “O que você conhece sobre biossorventes?”

A4: “Eu imagino que seja algo relacionado com a absorção de contaminantes de forma biológica.”

A5: “Biossorvente seria a designação dada à materiais adsorventes aplicados em amostras biológicas.”

A6: “Eu tenho pra mim que seja a utilização de produtos orgânicos para preparação de algum adsorvente.”

A8: “Não sei exatamente sobre o que é, mas acho que se trata de adsorventes biológicos.”

A11: “Penso que são substâncias naturais que possuem o papel de adsorver, tratar, sem prejudicar o ambiente”.

A15: “Conheço pouco porém sei que é a utilização de produtos de origem natural que são adsorventes. É utilizado justamente no auxílio da eliminação de resíduos. Um exemplo de biossorvente é a casca de coco.”

aderida, através de reações química, como a quimissorção ou por interações intermoleculares, como a fisissorção, à superfície de uma fase sólida, na absorção, há transferência de uma substância do interior de uma fase para o interior de outra fase.<sup>28</sup>

A contextualização é o momento em que são apresentados aos alunos situações que envolvem o seu dia a dia.<sup>8</sup> A pergunta problematizadora: “Como tratar águas residuais contaminadas?”, teve como objetivo instigar os alunos a resolver uma problemática presente no seu cotidiano, e que seria relevante para promover a construção do seu conhecimento sobre química ambiental.

Para a organização do conhecimento foi promovido um debate, com objetivo de promover a aprendizagem sobre os materiais biossorventes, as diversas formas de obtê-los, os diferentes contaminantes que podem ser adsorvidos por eles e as condições que podem ser usadas para o tratamento de águas. É importante que os alunos aprendam sobre o fazer científico, resolvendo determinado problema; construindo e testando hipóteses; dando explicações de forma argumentativa; sendo a pesquisa um dos fazeres iniciais desse processo educacional diferenciado.<sup>41</sup>

A aula-debate sobre os artigos foi registrada em um diário de bordo, e foi observado que: (i) os alunos se organizaram para apresentar artigos que possuíam temas diferentes, como: de qual material era feito o biossorvente (casca de banana, casca de ovo, casca de laranja, borra de café, serragem, casca de coco) e o que seria tratado pelo material estudado (metais tóxicos, corantes, chorume); (ii) eles observaram as características e condições que faziam com que o processo de adsorção fosse eficiente, como o aumento e quantidade dos poros na superfície do material, se o pH da solução influencia no processo, assim como a concentração da solução e a modificação do material; (iii) pesquisaram artigos que comparavam o uso do material biossorvente em uma amostra real e uma amostra preparada em laboratório, observando se o seu uso seria vantajoso. Além disso, compararam o custo de se utilizar esse material como adsorvente.

Na etapa final da pesquisa, os alunos puderam compreender como é o funcionamento do material

biossorvente, suas condições de trabalho e o uso da tecnologia.

### 3.3. Análise espectrofotométrica

A inserção do uso de novas tecnologias na graduação em química pode proporcionar aos alunos a compreensão de que elas são importantes ferramentas em investigações científicas. O espectrofotômetro, por exemplo, é geralmente utilizado para análises colorimétricas, entretanto, em geral, esse equipamento é de acesso limitado. Nesse sentido, diversas pesquisas voltadas para a área de ensino de química tratam do uso de materiais de fácil obtenção e outras maneiras de realizar análises colorimétricas.<sup>42,43</sup>

O aplicativo de celular REDGIM funciona ao selecionar uma região de interesse de uma amostra; e a partir do processamento dessa região são geradas informações de intensidade dos canais RGB (*red, green, blue*, tradução: vermelho, verde, azul).<sup>44</sup> O RGB é um sistema de cores, cuja intensidade varia de 0-255, sendo é um modelo somatório, que usa o valor de três cores primárias (vermelho, verde e azul) para fornecer a cor exibida.<sup>43,45</sup> A análise desses canais é relacionada com a concentração da amostra, de modo que, ao construir uma curva analítica, o aplicativo consegue prever a concentração de uma solução desconhecida (Figura 6A e 6B).

Com a finalidade de realizar o tratamento e comparação de dados obtidos pela adsorção, foram realizadas medidas de absorbância no espectrofotômetro das soluções de concentração conhecida para a construção da curva analítica. Com os dados obtidos, foi construído um gráfico relacionando absorbância e concentração, e a partir da regressão linear dos pontos foi obtida a equação da reta.<sup>44,46</sup> Essa equação é usada para o cálculo das concentrações após a adsorção do corante.

Após os ensaios de adsorção, foram feitas as medidas da concentração final da solução. Optou-se por trabalhar com um tempo de 15 minutos de adsorção, o que torna viável a execução deste experimento no período de aula. Os resultados obtidos a partir do aplicativo foram comparados com os dados obtidos no espectrofotômetro.

A Tabela 2 apresenta os resultados de absorbância obtidos no espectrofotômetro e no aplicativo REDGIM.

É possível observar algumas diferenças entre as concentrações calculadas pelo REDGIM e aquelas obtidas pela leitura da amostra no Espectrofotômetro. Rosa (2020),<sup>44</sup> em seu trabalho avaliou as condições de uso do aplicativo para determinação de hipoclorito de sódio. Ao usar balões volumétricos para determinação, foi possível concluir que a melhor região de captura seria a parte próxima ao menisco, uma região onde a cor é mais uniforme. O autor constatou também que os recipientes não devem estar distantes uns dos outros, pois pode levar a uma interferência na análise, causada pelo efeito da luz. Assim, como pode ser observado na Figura 6, os recipientes foram posicionados a uma pequena distância uns dos outros. Gee *et al.* (2017),<sup>43</sup> ao



**Figura 6.** Soluções de corantes utilizadas na construção da curva analítica (A) e resultados da regressão obtidos pelo aplicativo (B)

**Tabela 2.** Resultados de absorbância obtidos no espectrofotômetro e no aplicativo REDGIM

Biossorvente	Solução (pH)	Espectrofotômetro (mg L <sup>-1</sup> )	R <sup>2</sup>	REDGIM (mg L <sup>-1</sup> )	R <sup>2</sup>	Diferença (%)
RA	3,0	1,82	0,9989	1,86	0,9993	1,40
	6,0	1,77		1,80		2,32
	9,0	1,66		1,77		6,83
CM	3,0	14,93		15,70		5,15
	6,0	13,62		14,02		2,95
	9,0	9,02		12,65		40,29

usar um *smartphone* para determinação de concentração de proteínas, obteve resultados que excediam 10% de diferença daqueles obtidos pelo método de bancada. De acordo com os autores, um dos motivos para tal resultado, foi relacionada a qualidade das imagens tiradas, podendo interferir diretamente nos resultados.

O uso de uma nova tecnologia está sujeito às situações que podem não corresponder às expectativas desejáveis como a obtenção de resultados semelhantes a espectrofotômetro. Essas situações permitem que o aluno investigue, questione e discuta sobre o problema em questão, e dessa forma construa seu conhecimento acerca do uso mais adequado da tecnologia. Nesse experimento, foi importante que os alunos percebessem que há necessidade de avaliar as melhores condições para análise colorimétrica pelo aplicativo REDGIM, como a proximidade dos frascos e a luz para análise. Ademais, combinar a tecnologia com os conhecimentos científicos proporciona ao aluno a aquisição de conhecimentos para resolução de problemas.

As atividades experimentais investigativas permitem ao aluno a construção do conhecimento científico, de forma

que, a partir dos resultados obtidos, o aluno cria hipóteses, organiza e busca explicações para entender o fenômeno ocorrido.<sup>41,47</sup> Além disso, elas podem contribuir para a formação do aluno, “permitindo o desenvolvimento de habilidades e pensamentos relacionados aos processos da ciência” (*apud* Schnetzler e Antunes, 2019).<sup>47</sup>

Nesse momento também foi possível observar a diferença entre os materiais biossorventes. A remoção do corante (R%) foi calculada pela equação 1.

$$R(\%) = \frac{C_0 - C_f}{C_0} \times 100 \quad (1)$$

onde  $C_0$  é a concentração inicial em mg L<sup>-1</sup>,  $C_f$  é a concentração final (mg L<sup>-1</sup>).<sup>10</sup>

A rápida adsorção em um curto período de tempo (Tabela 3) demonstram a eficiência dos biossorventes, entretanto, observa-se a remoção maior do corante pelo biossorvente RA.

O RA se mostrou muito promissor na remoção do corante, sendo seu índice de remoção acima de 90%



**Tabela 3.** Remoção do corante azul de metileno usando o resíduo de acerola e a casca de mamão como biossorventes

Biossorvente	Solução (pH)	Remoção (%)
RA	3,0	90,72
	6,0	90,97
	9,0	91,55
CM	3,0	23,94
	6,0	30,63
	9,0	54,07

independente do pH (tabela 3). Isso mostra que, os sítios ativos componentes desse material comportam grandes quantidades de moléculas do corante. De acordo com Kim et al. (2013),<sup>38</sup> a adsorção do azul de metileno abaixo do pHPCZ foi possível devido às interações não eletrostáticas, como forças de Van der Waals ou interações hidrofóbicas entre os componentes do material biossorvente e o azul de metileno.

A CM obteve maior índice de remoção em solução básica (cerca de 54 %). Esse resultado pode ser relacionado com o valor de pHPCZ, grupos funcionais e ao tipo de tratamento que o material foi submetido. Apesar dos resíduos apresentarem basicamente a mesma composição: grupos hidroxila, carboxílicos e carbonilas, as quantidades podem variar, favorecendo o processo de adsorção. Outro fator foi a lavagem com ácido clorídrico pode ter levado à protonação dos grupos funcionais pertencentes à superfície do material, essa condição poderia interferir na adsorção do AM. Entretanto em um tempo maior, até que se atinja o equilíbrio de adsorção/dessorção, a remoção poderia ser maior.

A abordagem sobre a adsorção e o uso de biossorvente no ensino de química vem se tornando cada vez mais frequente. Martins e Nunes (2014),<sup>48</sup> ao trabalhar o uso de carvão ativado na adsorção de azul de metileno com alunos de graduação, proporcionou a compreensão do papel dos parâmetros que afetam o processo de adsorção e a importância do pH na solução de corante. Da mesma forma, os alunos do presente estudo puderam entender como alguns fatores interferem na adsorção.

Para perceber o desenvolvimento do aluno durante o processo de ensino e aprendizagem, foi entregue um questionário orientador para que os alunos pesquisassem e compreendessem os fenômenos estudados. As respostas acerca de um dos questionamentos são observadas no Quadro 2.

Ao variar o tipo de biossorvente, é possível ao estudante perceber os diferentes materiais e como alguns fatores interferem no processo, como a formação superficial do material, presença de poros e área superficial, que podem influenciar na capacidade de adsorção.<sup>28</sup> E algumas condições experimentais também interferem no procedimento, como: o pH, o tempo de contato, a temperatura e a agitação. É observada essa percepção quando os alunos respondem à questão sobre quais parâmetros interferem na adsorção, exemplificada pela resposta do estudante identificado

**Quadro 2.** Respostas dos alunos acerca do funcionamento do biossorvente

	A5: “A adsorção ocorre quando moléculas ficam retidas na superfície de uma substância denominando de adsorvente.”
	A6: “O adsorvente é um material que possui uma grande área superficial, ele é um material poroso, e quanto ao contaminante passa por esses poros fica retido na superfície saindo do efluente em questão.”
Como funciona?	A7: “As partículas residuais se aderem à superfície do material, o adsorvente; essa interação pode estar ligada à força de Van der Waals ou a uma reação química. Se trata de uma reação de transferência de massa.”

como A1: “Tempo de interação, quantidade de material adsorvido, superfície de contato do adsorvente”. Nessa resposta parece que eles foram impulsionados a pensar se o biossorvente obtido da CM teria resultados melhores se deixado por maior tempo de contato.

O aluno A6 respondeu: “Temos que analisar os compostos contidos no efluente a ser tratado, pois a eficácia do método depende da interação do adsorvente com o contaminante. Também é importante avaliar o pH”. Ele enfatizou a necessidade de se realizar análises sobre a composição do efluente para melhorar a eficácia da adsorção, assim como o aluno A7, que respondeu: “Qual o elemento a ser adsorvido, qual o biossorvente adequado ao resíduo, pH do meio, temperatura, concentração do resíduo”. Esse aluno se atentou ao estudo de outros parâmetros que podem influenciar nesse processo.



Ao final das etapas do processo de ensino e de aprendizagem, os alunos estavam familiarizados com o termo biossorvente, indicando que a pesquisa realizada por eles, e as etapas constituintes do projeto aplicado trouxeram bons resultados. De acordo com Menezes e Faria (2003),<sup>49</sup> a aprendizagem é a construção de significados, de forma que, ao acessar informações novas e mais complexas, novos significados surgem, levando a novas formas de conhecimento.

Abordar um tema contextualizado no ensino impulsiona a curiosidade, o desenvolvimento do pensamento reflexivo e crítico<sup>7</sup> e a criatividade para resolução do problema. Dessa forma, observar como diferentes parâmetros interferem no processo de adsorção, pode proporcionar *insights* em relação à pesquisa científica,<sup>50</sup> demonstrando que há outras formas de conduzir um projeto científico. Os alunos compreenderam que há existe uma gama de variedade de materiais que podem ser usados como biossorventes e também a sua importância na solução de um problema, a contaminação das águas. De maneira que, ao serem questionados se dariam continuidade ao projeto iniciado, todos eles responderam afirmativamente.

O estímulo à autonomia do estudante é fundamental para que futuramente ele saiba tomar decisões, tenha pensamento crítico e criativo diante dos problemas enfrentados na carreira profissional. Dessa maneira, a fim

de compreender como os alunos trabalhariam o material biossorvente, a seguinte pergunta foi realizada: “Usando sua engenhosa imaginação, se você fosse fazer ou construir um produto usando biossorvente, o que seria?” (Quadro 3).

**Quadro 3.** Ideias dos alunos sobre o que seria produzido ou construído usando um biossorvente

	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Barreira reativa</li> <li>- Filtro para capelas/descartes</li> <li>- Filtros de cascas de banana para reter materiais particulados em chaminés e indústrias</li> </ul>
<p>- Incluiria a aplicação de biossorventes como uma etapa no tratamento de água visando a separação de contaminantes solúveis que não são removidos. É necessário o monitoramento analítico dos efluentes para determinação da eficiência dos biossorventes em larga escala.</p>	
<p>- Muitas vezes, ao colocar roupas na máquina de lavar, não temos certeza se a roupa solta corante ou não. (...) a criação de um filtro contendo biossorvente, onde possa haver a passagem livre da água por este, poderia ser utilizado em máquinas de lavar de modo que o material absorva o corante espalhado pela roupa. Isso evitaria a preocupação em separar roupas de mesma coloração para proceder a lavagem.</p>	
<p>- Algum material capaz de “limpar” a água de chuveiros, onde todos os dias há o descarte de cremes hidratantes repletos de derivados de petróleo.</p>	
<p>- Filtro para metais.</p>	
	

Assim, a importância de trabalhar um tema contextualizado em sala de aula, de forma a proporcionar aprendizagem de forma significativa, contribui para formação de um cidadão crítico e consciente, pode interferir no seu meio social, com práticas sustentáveis, inovadoras e transformadoras.<sup>8</sup> Essa tipo de formação pode ser correlacionada com a educação ambiental recebida pelo estudante de química, que não deve se restringir apenas

a estudar os aspectos químicos relacionados ao meio ambiente.<sup>2</sup> Deve possibilitar a construção de uma visão crítica em relação ao desenvolvimento tecnológico e científico, assim como sua implicação no meio ambiente.<sup>1-51</sup>

A abordagem ambiental e o uso de biossorventes foi tratado por Caicedo, Devia-Ramirez e Malago,<sup>26</sup> que trabalharam a adsorção de azul de metileno e verde malaquita usando bucha natural com alunos de graduação. Dentre suas as conclusões, os autores destacaram a forma como essa abordagem e a obtenção de um material natural para fins de pesquisa foram atraentes para os alunos. Além disso, concluíram que o processamento e a análise de dados proporcionaram a construção de novos conhecimentos e aumentou a produtividade dos alunos ao relacionar a aprendizagem com o fazer. Garrison *et al*,<sup>9</sup> propuseram o estudo de biossorventes, levados pelos próprios alunos, na adsorção de metais tóxicos, e de proporcionar a construção de novas habilidades laboratoriais, ao usar um equipamento pouco comum na graduação, foi possível realizarem a reflexão acerca do uso adequado da água.

É importante que o profissional químico desenvolva habilidades e competências necessárias para enfrentamento de problemas práticos do cotidiano e se apropriem dos conhecimentos capazes de os levarem ao um pensamento crítico reflexivo sobre poluição e minimização de impactos ambientais. No questionário final (Quadro 4), os alunos responderam como o projeto de ensino ajudou na sua formação como químico e na compreensão sobre a importância do conhecimento ambiental.

#### 4. Considerações Finais

Os biossorventes possuem boas propriedades de adsorção, há presença de grupos funcionais importantes

**Quadro 4.** Respostas dos alunos ao ser questionados sobre as contribuições do processo de ensino na sua formação profissional e a importância dos conhecimentos ambientais

Contribuição para formação profissional	<p>A1: “ Absolutamente essencial. Inclusive o curso de química deveria abordar muito mais sobre esse assunto. Após os crimes ambientais que presenciamos (...), seria de suma importância aprender os cuidados nessas situações. ”</p> <p>A3: “O aprendizado sobre o tratamento de águas residuais nos permite entender a relevância do descarte correto de materiais e do investimento na química verde nos processos. Assim, podemos nos conscientizar para agir da maneira correta como profissionais da área química. ”</p> <p>A5: “A importância é saber como é feito para se em algum futuro trabalharmos no setor, sabermos o modo correto de executar os procedimentos do tratamento de água residual. ”</p>
Importância do conhecimento ambiental	<p>A1: “Prevenir problemas possíveis para o futuro, por exemplo, o aquecimento global, que já ocorre hoje em dia, problemas de contaminação. ”</p> <p>A5: “A importância está na possibilidade de prevenir e também conscientizar a sociedade sobre problemas ambientais a fim de buscar a sustentabilidade para um futuro melhor. ”</p> <p>A7: “Pra consciência em como afetamos ecossistemas, na escassez de recursos, de modo que possamos a agir. ”</p>

em sua composição e podem ser usados como material de baixo custo na remoção de corantes presentes em efluentes industriais, principalmente das indústrias têxteis.

O RA se mostrou muito promissor na remoção do corante azul de metileno, removendo acima de 90% do corante durante 15 minutos em diferentes valores de pH (3,0; 6,5; 9,0). Esses resultados mostram que há diferentes interações acontecendo entre o biossorvente e o corante, como: as interações não eletrostáticas em pH abaixo do pHPCZ (pH=3,0), quando há presença majoritária de moléculas de azul de metileno não dissociadas; as interações eletrostáticas em pH acima do pHPCZ (6,5 e 9,0), em que a superfície do biossorvente possui carga líquida negativa, há presença majoritária das moléculas de azul de metileno carregadas positivamente.

O CM removeu acima de 54% do corante em 15 minutos em solução básica (pH = 9,0). Isso se deve às propriedades catiônicas do corante em pH > 6,0, que promove a interação eletrostática entre o biossorvente, com carga líquida negativa, e as moléculas do corante.

Na determinação da quantidade de corante adsorvido em cada amostra, ao realizar a comparação entre os resultados obtidos pela espectrofotometria UV-Vis e o aplicativo REDGIM, foi observado pequenas diferenças nos resultados, variando de 1 – 10% nas análises, com exceção da amostra CM em pH 9,0, que deu uma diferença maior (40%).

Este trabalho permitiu identificar e discutir as dificuldades expressas pelos alunos de química ambiental em uma perspectiva argumentativa, em que fizeram uso de atividade experimental. O aluno pôde criar hipóteses, organizar e buscar explicações para entender o fenômeno ocorrido. O experimento permitiu o desenvolvimento de habilidades e pensamentos relacionados ao processo de adsorção, compreender os resultados experimentais obtidos, e a importância da construção do conhecimento ambiental. Também contribuiu para a formação de futuros profissionais na construção de uma visão crítica e conscientes dos problemas ambientais em relação ao desenvolvimento tecnológico e científico.

O enfoque ambiental proporcionou aos alunos a aquisição de conhecimentos significativos acerca da importância da química e sua contribuição referente aos cuidados com o meio ambiente. Os alunos destacaram a importância do conhecimento ambiental na sua formação profissional, refletindo sobre seu papel na investigação científica e incentivando a atuação destes no âmbito da pesquisa e do trabalho com o meio ambiente.

O uso do aplicativo de celular REDGIM permitiu que os alunos tivessem ao seu alcance um recurso tecnológico que funcionasse como um espectrofotômetro portátil. Isso possibilitou a aplicação de uma técnica analítica acessível numa aula experimental de química ambiental, sendo uma alternativa viável para sua utilização em campo ou quando não há possibilidade de se usar um equipamento adequado, como o espectrofotômetro.

## Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001. Os autores agradecem ao LabPetro (UFES, Brasil) pela realização das análises de FT-IV (termo de Cooperação nos. 0050.0022844.06.4), ao Laboratório de Águas pelas análises de UV-Vis, à Nova Analítica pelas imagens de MEV e aos estudantes que participaram com muito empenho da disciplina, contribuindo para o sucesso desta pesquisa.

## Referências Bibliográficas

1. Bressiani, T. S. C.; Oliveira, M. L. de; Rainha, K. P.; Santana, I. L.; Barros, J. R. P. M.; Lelis, M. F. F.; Moura, P. R. G.; Aprendizagem Baseada em Projetos na Disciplina Tratamento de Resíduos e Meio Ambiente: Um estudo de Caso. *Revista Virtual de Química* **2020**, *12*, 356. [CrossRef]
2. Cortes Junior, L. P.; Fernandez, C.; A educação ambiental na formação de professores de química: um estudo diagnóstico e representações sociais. *Química Nova* **2016**, *39*, 748. [CrossRef]
3. Miranda, J. L.; Gomes, F.; Almeida, C. D. de; Gerpe, R.; The Anthropocene, the Environmental Education and Teaching Chemistry. *Revista Virtual de Química* **2018**, *10*, 1990. [CrossRef]
4. Wartha, E. J.; Silva, E. L.; Bejarano, N. R. R.; Cotidiano e Contextualização no Ensino de Química. *Química Nova na Escola* **2013**, *2*, 84. [Link]
5. Muenchen, C.; Delicoicov, D.; A construção de um processo didático-pedagógico dialógico: aspectos epistemológicos. *Revista Ensaio* **2012**, *3*, 199. [CrossRef]
6. Silva, L. R. R.; Ventura, B.; Almeida, M. O.; Lima, N. M. A.; Silva, K. T.; Maia, F. J. N.; Sampaio, S. G.; Bezerra, T. T.; Guedes, I.; Ribeiro, V. G. P.; Mazzetto, S. E.; Fraude no leite: experimento investigativo para o ensino de química. *Revista Virtual de Química* **2019**, *3*, 1024. [CrossRef]
7. Gehlen, S. T.; Maldaner, O. A.; Delizoicov, D.; Pedagogical moments and the stages of Study Situation complementarities and contributions to the Science Education. *Ciência e Educação* **2012**, *1*, 1. [CrossRef]
8. Arrigo, V.; Alexandre, M. C. L.; Assai, N. D. S.; O ensino de química e a educação ambiental: uma proposta para trabalhar conteúdos de pilhas de baterias. *Experiências em Ensino de Ciências* **2018**, *5*, 306. [Link]
9. Garrison, N.; Cunningham, M.; Varys, D.; Schauer, D. J.; Discovering new biosorbents with atomic absorption spectroscopy: an undergraduate laboratory experiment. *Journal of Chemical Education* **2014**, *91*, 583. [CrossRef]
10. Silva, B. C.; Zanutto, A.; Pietrobelli, J. M. T. A.; Biosorption of reactive yellow dye by malt bagasse. *Adsorption Science & Technology* **2019**, *37*, 236. [CrossRef]
11. Almeida, E. J. R.; Andrade, A. R.; Corso, C. R.; Evaluation of the Acid Blue 161 dye degradation through electrochemical

- oxidation combined with microbiological systems. *International Journal of Environmental Science and Technology* **2019**, *12*, 8185. [[CrossRef](#)]
12. Magnago, L. B.; Rocha, A. K. S.; Pegoretti, V. C. B.; Ferreira, S. A. D.; Lelis, M. F. F.; Freitas, M. B. J.; NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> synthesized from nickel recycled of spent Ni-MH batteries and their applications as a catalyst in a photo-Fenton process and as an electrochemical pseudocapacitor. *Ionics* **2018**, *5*, 2361. [[CrossRef](#)]
  13. Singh, H.; Chauhan, G.; Jain, A. K.; Sharma, S. K.; Adsorptive potential of agricultural wastes for removal of dyes from aqueous solutions. *Journal of environmental chemical engineering* **2017**, *5*, 122. [[CrossRef](#)]
  14. Atkins, P. W. *Atkins: físico-química*, volume 2, 8ª Edição. Rio de Janeiro: LTC, 2008.
  15. Starvinou, A.; Aggelopoulos, C. A.; Tsakiroglou, C. D.; Exploring the adsorption mechanisms of cationic and anionic dyes onto agricultural waste peels of banana, cucumber and potato: Adsorption kinetics and equilibrium isotherms as a tool. *Journal of Environmental Chemical Engineering* **2018**, *6*, 6958. [[CrossRef](#)]
  16. Silva, D. C. C.; Pietrobelli, J. M. T. A.; Residual biomass of chia seeds (*Salvia hispânica*) oil extraction as low cost and eco-friendly biosorbent for effective reactive yellow B2R textile dye removal: Characterization, Kinect, thermodynamic and isotherm studies. *Journal of Environmental Chemical Engineering* **2019**, *7*, 1. [[CrossRef](#)]
  17. Barnejee, S.; Sharma, G. C.; Gautam, R. K.; Chattopadhyaya, M. C.; Upadhyay, S. N.; Sharma, Y. C.; Removal of Malachite Green, a hazardous dye from aqueous solutions using Avena sativa (oat) hull as potential adsorbent. *Journal of Molecular Liquids* **2016**, *213*, 162. [[CrossRef](#)]
  18. Michalak, I.; Chojnacka, K.; Witek-Krowiak, A.; State of the art for the biosorption process – a review. *Applied Biochemistry and Biotechnology* **2013**, *170*, 1389. [[CrossRef](#)]
  19. Sobrinho, O. P. L.; Silva, L. F. B.; Pereira, A. I. S.; Cantanhede, E. K. P.; Carlos, M. A. S.; Silva, J. R.; Siqueira, L. F. S.; Uma proposta de aula experimental utilizando mesocarpo de babaçu (*Orbignya speciosa*) na remoção de azul de metileno de soluções aquosas. *Educación Química* **2015**, *26*, 314. [[CrossRef](#)]
  20. Amel, K.; Hassena, A.; Kerroum, D.; Isoterm and kinetics study of biosorption of cationic dye onto banana peel. *Energy Procedia* **2012**, *19*, 286. [[CrossRef](#)]
  21. Pavan, F. A.; Camacho, E. S.; Lima, E. C.; Dotto, G. L.; Branco, V. T. A.; Dias, S. L. P.; Formosa papaya seed poder (FPSP): Preparation, characterization and application as na alternative adsorbend for the removal of Crystal violet from aqueous phase. *Journal of Environmental Chemical Engineering* **2014**, *2*, 230. [[CrossRef](#)]
  22. Nyak, A. K.; Pal, A.; Statistical modeling and performande evaluation of biosorptive removal of Nile blue A by lignocellulosic agricultural waste the application of high-strength dye concentrations. *Journal of Environmental Chemical Engineering* **2020**, *8*, 1. [[CrossRef](#)]
  23. Babarinde, A.; Ogundipe, K.; Sangsonaya, K. T.; Akintola, B. D.; Hassan, A. E.; Comparative study on the biosorption of Pb(II), Cd(II) and Zn(II) using Lemon grass (*Cymbopogon citratus*): Kinetics, isotherms and thermodynamics. *Chemistry International* **2016**, *2*, 89. [[Link](#)]
  24. Souza, W. D. M.; Alves, J. J. F.; Oliveira, T. M. B. F.; Oliveira, D. S.; *Anais do 5º Encontro Regional de Química & 4º Encontro Nacional de Química*, Rio Grande do Norte, 2015. [[Link](#)]
  25. Gadd, G. M.; Biosorption: critical review of scientific rationale, environmental importante and significance for pollution treatment. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology* **2009**, *84*, 13. [[CrossRef](#)]
  26. Caicedo, O.; Devia-Ramirez, J.; Malago, A.; Adsorption of common laboratory dyes using natural fibers from luffa cylindrica. *Journal of Chemical Education* **2018**, *95*, 2233. [[CrossRef](#)]
  27. Regalbuto, J. R.; Robles, J.; *The engineering of Pt/Carbon Catalyst Preparation*, University of Illinois: Chicago, 2004. [[Link](#)]
  28. Worch, E.; *Adsorption Technology in Water Treatment: Fundamentals, Processes, and Modeling*. 1a edição. Editora De Gruyter: Berlim, 2012.
  29. Silva, A. C. P.; Jorgetto, A. O.; Wondracek, M. H. P.; Galera, R. M.; Schineider, J. F.; Saeki, M. J.; Pedrosa, V. A.; Zara, L. F.; Castro, G. R.; Properties, characteristics and application of grinded Malpighia emarginata seeds in the removal of toxic metals from water. *Groundwater for Susainable. Development* **2018**, *6*, 50. [[CrossRef](#)]
  30. Pavia, D. L.; Lampman, G. M.; Kriz, G. S.; Vyvyan, J. R.; *Introdução à espectroscopia*. São Paulo: Editora Cengage Learning, 2010.
  31. Rehman, R.; Farooq, S.; Mahmud, T.; Use of agro-waste *Musa acuminata* and *Solanum tuberosum* peels for economical sorptive removal of Emerald green dye in ecofriendly way. *Journal of Cleaner Production* **2016**, *206*, 819. [[CrossRef](#)]
  32. Kragovic, M.; Stomenovic, M.; Petrovic, J.; Loredó, J.; Pasalic, S.; Nedeljkovic, A.; Ristic, I.; Influence of alginate encapsutation on point of zero charge (pH<sub>pzz</sub>) and thermodynamich properties of the natual and Fe(III) modified zeolite. *Procedia Manufacturing* **2019**, *32*, 286. [[CrossRef](#)]
  33. Oliveira, A. P.; Módenes, A. N.; Bragião, M. E.; Hinterholz, C. L.; Trigueiros, D. E. G.; Bezerra, I. G. O.; Use of grape pomace as a biosorbent for the removal of the Brown KROM KGT dye. *Bioresouce. Technology Reports* **2018**, *2*, 92. [[CrossRef](#)]
  34. Mohammed, R. R.; Chong, M. F.; Treatment and decolorization of biologically treated Palm Oil Mill Effluent (POME) using banana peel as novel biosorbent. *Journal of Environmental Management* **2014**, *132*, 237. [[CrossRef](#)]
  35. Siqueira, T. C. A.; Silva, I. Z.; Rubio, A. J.; Bergamasco, R.; Gasparotto, F.; Paccola, E. A. S.; Yamaguchi, N. U.; Sugarcane bagasse as an efficient biosorbent for methylene blue removal: kinetics, isotherms and thermodynamics. *International journal of enviroinmental research and public health* **2020**, *17*, 526. [[CrossRef](#)]
  36. Freitas, F. B. A.; Câmara, M. Y. F.; Martins, D. F. F.; *Anais do 5º Encontro Regional de Química & 4º Encontro Nacional de Química*, Rio Grande do Norte, 2015. [[Link](#)]
  37. Salazar-Rabago, J. J.; Leyva-Ramos, R.; Rivera-Utrilla, J.; Ocampo-Perez, R.; Cerino-Cordova, F. J.; Biosorption

- mechanism of Methylene Blue from aqueous solution onto White Pine (*Pinus durangensis*) sawdust: effect of operating conditions. *Sustainable Environment Research* **2017**, *27*, 32. [[CrossRef](#)]
38. Kim, J. R.; Santiano, B.; Kim, H.; Kan, E.; Heterogeneous oxidation of methylene blue with surface-modified iron-amended activated carbon. *American Journal Of Analytical Chemistry* **2013**, *04*, 07, 115. [[CrossRef](#)]
39. Farias, A. R. N.; Oliveira, A. M. G.; Oliveira, J. R. P.; Dantas, J. L. L.; Oliveira, M. A.; Medina, V. M.; Cordeiro, Z. J. M.; *A cultura do mamão*. Brasília: EMBRAPA-CNPMP/SPI, 1994. [[Link](#)]
40. Mekonnen, E.; Yitbarek, M.; Soreta, T. R.; Kinetic and thermodynamic studies of the adsorption of Cr(VI) onto some selected local adsorbents. *South African Journal of Chemistry* **2015**, *68*, 45. [[CrossRef](#)]
41. Solino, A. P.; Gehlen, S. T.; Abordagem temática freireana e o ensino de ciências por investigação: possíveis relações epistemológicas e pedagógicas. *Investigações em Ensino de Ciências* **2014**, *19*, 141. [[Link](#)]
42. Kuntzleman, T. S.; Jacobson, E. C.; Teaching beer's law and absorption spectrophotometry with a smart phone: a substantially simplified protocol. *Journal of Chemical Education* **2016**, *7*, 1249. [[CrossRef](#)]
43. Gee, C. T.; Kehoe, E.; Pomerantz, W. C. K.; Penn, R. L.; Quantifying protein concentrations using smartphone colorimetry: a new method for an established test. *Journal of Chemical Education* **2017**, *94*, 941. [[CrossRef](#)]
44. Rosa, T. R.; *Tese de Doutorado*, Universidade Federal do Espírito Santo, 2020. [[Link](#)]
45. Colzani, H.; Scolaro, A. M. T.; Gelinski, J. M. L. N.; Borges, E. M.; Determinação de manganês em pilhas utilizando um scanner. *Revista Virtual de Química* **2017**, *4*, 1672. [[CrossRef](#)]
46. Skoog, D. A.; West, D. M.; Holler, F. J.; Crouch, S. R.; *Fundamentos de Química Analítica*, Editora Thomson, 2006.
47. Schnetzler, R.; Antunes-Souza, T.; Proposições didáticas para o formador químico: a importância do triplete químico, da linguagem e da experimentação investigativa na formação docente em química. *Química Nova* **2019**, *42*, 947. [[CrossRef](#)]
48. Martins, A.; Nunes, N.; Adsorption of a textile dye on commercial activated carbon: a simple experiment to explore the role of surface chemistry and ionic strength. *Journal of Chemical Education* **2014**, *92*, 143. [[CrossRef](#)]
49. Menezes, H. C.; Faria, A. G.; Utilizando o monitoramento ambiental para o ensino da química: pedagogia de projeto. *Química Nova* **2003**, *2*, 287. [[CrossRef](#)]
50. Samet, C.; Valiyaveetil, S.; Fruit and vegetable peels as efficient renewable adsorbents for removal of pollutants from water: A Research Experience for General Chemistry Students. *Journal of Chemical Education* **2018**, *95*, 1354. [[CrossRef](#)]
51. Fernandes, C. S.; Zampiron, E. A.; Gonçalves, F. P.; Marques, C. A.; Oda, W. Y.; Delizoicov, D.; A explicitação do conhecimento discente acerca de temas ambientais: reflexões para o ensino de ciências da natureza. *Química Nova na Escola* **2013**, *35*, 57. [[Link](#)]