

Abordagem (POPBL) aplicada ao ensino de processos de separação na engenharia química

Online blended approach (PBL) applied to learning separation process in chemical engineering

Enfoque (POPBL) aplicado a la enseñanza de procesos de separación en ingeniería química

Recebido: 21/12/2020 | Revisado: 23/12/2020 | Aceito: 13/01/2021 | Publicado: 15/01/2021

Kássia Graciele dos Santos

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7452-6900>
Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Brasil
E-mail: kassia.santos@uftm.edu.br

André Luiz Silva

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4885-047X>
Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Brasil
E-mail: andre_souzar@hotmail.com

Sandriny Toigo

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8044-4784>
Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Brasil
E-mail: sandriny-cacoal@hotmail.com

Leonan José Lima

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0067-0819>
Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Brasil
E-mail: leonamjose.andradelima@gmail.com

Jessica Oliveira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9061-246X>
Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Brasil
E-mail: jessicaoliveira.eq@gmail.com

Murilo Melo Minaré

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5843-8748>
Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Brasil
E-mail: murilo_minare@hotmail.com

Pablo Raphael Gonçalves Martins

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2356-2332>
Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Brasil
E-mail: pablorgmartins@gmail.com

Sandra Cristina Dantas

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4775-040X>
Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Brasil
E-mail: sandra.dantas@uftm.edu.br

Beatriz Cristina Silvério

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0887-3474>
Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Brasil
E-mail: beatriz.silverio@uftm.edu.br

Resumo

Aprendizagem Baseada em Problemas e Organizada em Projetos (POPBL) é uma metodologia ativa de ensino centrada no aluno, no qual a partir de um problema base, o aluno pesquisa os conteúdos relacionados ao problema e propõe um projeto, que constitui um produto final do processo de aprendizagem. Este projeto é resultado da resolução de uma situação problema criada para colocar o aluno de engenharia química em contato com problemas reais da profissão do engenheiro químico, relacionada com processo de separação de misturas, empregando as técnicas de transferência de massa como promotora dessa separação. Neste trabalho, os alunos foram motivados a investigar seus conhecimentos de engenharia para propor e simular um projeto sustentável, viável e com baixo custo para a purificação de água de um rio a partir de uma situação-problema. A partir de ensaios experimentais no leito construído e empacotado com a biomassa folha de goiabeira, foi possível calcular o tempo em que o leito fixo consegue operar na limpeza do efluente, bem como a capacidade máxima de adsorção desse corante na biomassa, que foi cerca de 20 g de corante/kg de biomassa, para os leitos operando em série. Em termos de aprendizado, os alunos relataram que o projeto possibilitou desenvolver outras habilidades além do conhecimento técnico da disciplina, como o trabalho em grupo, a proatividade, sociabilidade, empatia, habilidades de comunicação e expressão áudio-visual. Assim, acredita-se que o principal objetivo do projeto foi alcançado.

Palavras-chave: POPBL; Tratamento de efluente; Adsorção leito fixo.

Abstract

POPBL is an active learning methodology centered on the student, in which, from a basic problem, the student research the contents related to the problem and proposes a project, which constitutes a final product of the learning process. This project is the result of the resolution of a problem situation created to put the student of Chemical Engineering, of the unit operations discipline, in contact with real problems of the chemical engineer profession, related to the process of separation of mixtures, using the techniques of transfer of mass as a promoter of this separation. In this work, students were encouraged to investigate their knowledge of chemical engineering to propose a sustainable, viable and low-cost project for the purification of water from the East River in Xintang, China. From experimental tests on the bed constructed and packed with biomass guava leaf, it was possible to calculate the time that the fixed bed can operate in cleaning the effluent, as well as the maximum adsorption capacity of this dye in the biomass, which was about 20 g of dye/kg of biomass, for beds operating in series. In terms of learning, the students reported that the project made it possible to develop other skills besides the technical knowledge of the discipline, such as group work, proactivity, sociability, empathy, communication skills and audio-visual expression. Thus, it is believed that the main objective of the project has been achieved.

Keywords: POPBL; Effluent treatment; Fixed bed adsorption.

Resumen

POPBL es una metodología de aprendizaje activo centrada en el alumno, en la que, a partir de un problema básico, el alumno investiga los contenidos relacionados con el problema y propone un proyecto, que constituye un producto final del proceso de aprendizaje. Este proyecto es el resultado de la resolución de una situación problemática creada para poner en contacto al estudiante de Ingeniería Química, de la disciplina de operaciones unitarias, con problemas reales de la profesión de ingeniero químico, relacionados con el proceso de separación de mezclas, utilizando las técnicas de transferencia de masa como promotor de esta separación. En este trabajo, se animó a los estudiantes a investigar sus conocimientos de ingeniería química para proponer un proyecto sostenible, viable y de bajo costo para la purificación de agua del East River en Xintang, China. A partir de pruebas experimentales en el lecho construido y empacado con biomasa de hoja de guayaba, se pudo calcular el tiempo que el lecho fijo puede operar en la limpieza del efluente, así como la capacidad máxima de adsorción de este tinte en la biomasa, que fue de aproximadamente 20 g de colorante / kg de biomasa, para lechos que funcionan en serie. En cuanto al aprendizaje, los estudiantes informaron que el proyecto permitió desarrollar otras habilidades además de los conocimientos técnicos de la disciplina, como el trabajo en grupo, la proactividad, la sociabilidad, la empatía, las habilidades comunicativas y la expresión audiovisual. Así, se cree que se ha logrado el objetivo principal del proyecto.

Palabras clave: POPBL; Tratamiento de efluentes; Adsorción en lecho fijo.

1. Introdução

Atualmente, um grande desafio que o ensino de engenharia apresenta é a necessidade de criar e implementar um sistema que permita uma formação profissional em sintonia com as intensas mudanças tecnológicas. Esse cenário leva a profundas reflexões sobre o processo de ensino-aprendizagem, uma vez que para a nova geração de estudantes universitários, as informações são obtidas por meio de uma grande variedade de ferramentas e em volume exagerado (Barbosa & Moura, 2014).

No trabalho de Furini et al. (2020) foi realizado um levantamento com o objetivo de conhecer a avaliação do egresso acerca da formação de graduação em Engenharia Química. A partir das respostas dos egressos, foi identificada uma necessidade de investimentos na formação didático-pedagógica do docente, em inovações tecnológicas para o curso e na maior relação entre o mercado com a universidade. Estes resultados corroboram com a necessidade de uso de metodologias de ensino alternativas.

Algumas metodologias ativas, métodos e meios pedagógicos, que garantem qualidade e efetividade do ensino, têm sido utilizados como alternativa ao ensino clássico e tradicional por alguns docentes nas Instituições de Ensino Superior, buscando assim, motivar e atender aos anseios dessa nova geração de estudantes (Bardini & Spalding, 2017; Mangucci et al., 2020; Silva et al., 2020; Almeida et al., 2020).

Dentre as alternativas de metodologia de aprendizagem utilizadas nas engenharias, destaca-se a Aprendizagem Baseada em Problemas e Organizada em Projetos (POPBL), ou, em inglês Project Organized and Problem Based Learning (POPBL), que é uma metodologia ativa de ensino centrada no aluno, no qual a partir de um problema base, pequenos grupos

de discentes pesquisam os conteúdos relacionados ao problema e propõe um projeto. O projeto no POPBL é necessário para dar um sentido de validade à resolução de um problema, ou ainda, é o que constitui o produto final do processo de aprendizagem. Assim, as situações problema são organizadas em torno de projetos, que usam os conteúdos programáticos da disciplina em questão (Delisle, 2000; Sousa, 2015).

A abordagem POPBL pode ser empregada mesmo que parcialmente, em algumas disciplinas ou em algumas atividades da disciplina, para que o aluno seja mais ativo e protagonista na aquisição do seu conhecimento. Muitos docentes relatam a dificuldade de realizar diferentes abordagens de ensino em cursos de exatas ou tecnologias, como por exemplo nas engenharias. Porém, trabalhos da literatura evidenciam que é possível realizar um projeto interdisciplinar entre diferentes disciplinas nesta área do conhecimento. De modo geral, alguns trabalhos indicam que aprender a pensar como engenheiros é o melhor desafio para estudantes de engenharia. E mais, pensar como um engenheiro é uma abordagem mental para a análise de problemas que considera os aspectos técnicos, econômicos e ambientais, permitindo “conceber, projetar, implementar e operar produtos, serviços, tecnologias, sistemas e soluções que melhoram a qualidade de vida” (Ricaurte & Viloría, 2020).

No contexto do Ensino Superior, a literatura apresenta diversos estudos de casos de métodos ativos de ensino: ciências médicas (Freitas et al., 2020; Dias et al., 2020; Costa et al., 2020; Neufeld et al., 2020; Negro-Dellacqua et al., 2019; Sanchotene et al., 2020), ciências humanas (Welter et al., 2020; Brescovit et al., 2020); ciências exatas e da terra (Utsumi, 2020; Bossi & Schimiguel, 202; Capellato et al., 2019) e engenharias (Shitsuka et al., 2019; Almeida & Santos, 2020; Silva et al., 2020; Tombini et al., 2020), por exemplo.

As conclusões de um trabalho interdisciplinar do curso de engenharia elétrica, relatam que os estudantes puderam identificar que o trabalho interdisciplinar foi enriquecedor, pois tiveram a possibilidade de se envolver com diferentes disciplinas concatenadas em um único projeto (Elias, Hussein & Motta, 2018).

Estudos mostram que a interdisciplinaridade presente nesta prática pedagógica permite que os estudantes percebam o conhecimento de forma ilimitada e desfragmentada, diferente da forma como se apresenta no currículo tradicional, integrando disciplinas para a solução de problemas reais (Silva, Castro & Sales, 2018; Netto, 2018).

Ricaurte e Viloría (2020) analisaram o uso da metodologia Aprendizagem Baseada em Problemas em alunos do curso de Engenharia Química de diferentes períodos. Neste trabalho, os autores discutiram que se deve destacar a necessidade de uma integração de conhecimentos para garantir o sucesso dos projetos de engenharia em seus diferentes estágios como: (a) projeto da planta, (b) projeto conceitual, (c) projeto de processo e (d) projeto de equipamento. De acordo com essa observação, nota-se a importância de complementar a formação de estudantes de engenharia química e áreas afins com estudos em diferentes domínios como análise econômica, formulação e gestão de projetos, fundamentos ambientais e conhecimento das capacidades industriais do país, e sua integração e aplicação em projetos reais que abrangem diferentes níveis de complexidade. O emprego industrial de engenharia química e áreas relacionadas manteve-se amplamente tradicional em todo o mundo. Isso exige que a interação entre a universidade e o setor industrial possibilite a formação de alunos de graduação de acordo com as competências técnicas exigidas para a empregabilidade no próprio setor industrial. A partir do estudo, os autores observaram que o trabalho em equipe e aprendizagem colaborativa integrada foram os elementos destacados pelos alunos que participaram do projeto. Além disso, concluíram que este tipo de metodologia proposta poderia ser extrapolada para outras áreas de formação na área da Engenharia Química.

A transformação/ processamento da matéria e da energia é o cerne da Engenharia Química (Cremasco, 2015). A versatilidade do engenheiro químico se deve ao treinamento em decompor um processo complexo e complicado em etapas físicas individuais, denominadas Operações Unitárias, e em reações químicas (Foust et al., 2012).

O trabalho apresentado por Ballesteros et al. (2019) relatam que as operações unitárias foram a base da formação acadêmica dos engenheiros químicos por muitos anos. Neste trabalho, os autores avaliaram o uso da metodologia

Aprendizagem Baseada em Problemas na disciplina de operações unitárias aliada à modelagem e simulação. No trabalho, os discentes tiveram que projetar, montar e caracterizar uma bomba centrífuga, para ser analisada experimentalmente e computacionalmente. Em um questionário aplicado aos alunos, 85% disseram que o resultado do trabalho foi positivo, visto que estes apreciaram o desenvolvimento do projeto, e confirmaram que foi benéfico o processo de aprendizagem, bem como o desafio apresentado.

Almeida & Santos (2020) avaliaram o desenvolvido de um projeto utilizando metodologia ativa de ensino, em que alunos da disciplina de Laboratório de Operações Unitárias da Engenharia Química da Universidade Federal do Triângulo Mineiro propuseram uma resposta sustentável a problemas de vazamento de gasolina. Os alunos desenvolveram um projeto de adsorção para resolver o problema e de modo geral, concluíram que além dos dados técnicos, os discentes desenvolveram várias competências e habilidades úteis na profissão de engenheiro químico, como trabalho em equipe, criação de mídias audiovisuais, utilização de softwares de desenho e tratamento de dados.

Mangucci et al. (2020) apresentaram a construção de um kit didático para separação sólido-gás, implementado por alunos de graduação do curso de engenharia Química, na UFTM, como prática ativa de ensino e aprendizagem. Além de promover a fixação do conteúdo da disciplina, a construção de kits didáticos pode melhorar a infraestrutura do laboratório utilizado nas disciplinas prático-experimentais.

Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi apresentar a resolução de uma situação problema, criada para colocar o aluno do ciclo profissional do curso de engenharia química, mais especificamente da disciplina de Laboratório de Operações Unitárias, em contato com problemas reais da profissão do engenheiro químico. O estudo de caso foi de caráter experimental e qualitativo (Pereira et al., 2018), relacionado à processos de separação de misturas, empregando a transferência de massa como promotora dessa separação.

2. Apresentação da Situação Problema

Como dito anteriormente, para o POPBL, há a necessidade de apresentação de uma situação-problema aos discentes, sendo que, pode haver quatro tipos de situações-problema: o tipo descritivo, o tipo explicativo, tipo obstáculo de processo e tipo normativo (Caprara, 2001). Quando pensamos em um problema de engenharia, o tipo obstáculo de processo parece ser o mais indicado para a elaboração do problema, pois permite simular uma situação real que o aluno terá em sua profissão, devendo realizar uma tarefa ou propor um projeto.

A situação problema escolhida e estruturada pelo professor, foi desenvolvida para permitir que o aluno participe inclusive da seleção do tema que ele irá abordar. O projeto foi desenvolvido em uma disciplina prática de Operações Unitárias para alunos do quarto ano de Engenharia Química. A partir do problema, foi proposto pelos discentes um projeto a ser desenvolvido para a resolução do mesmo. Neste processo, o maior resultado é a aquisição do conhecimento teórico e prático e de habilidades que propiciarão uma realidade mais próxima do cotidiano do engenheiro químico.

No encontro Inicial, foi apresentado o seguinte problema, disposto no Quadro 1, a fim da formulação e desenvolvimento do projeto:

Quadro 1. Situação problema apresentada como base para desenvolvimento do Projeto.

Situação Problema

Muitos profissionais podem contribuir para o bem-estar da comunidade. Muitas vezes é mais fácil perceber como médicos, enfermeiros, fisioterapeutas, esteticistas podem contribuir em trabalhos sociais. Mas o Engenheiro Químico possui inúmeros conhecimentos que podem trazer benefícios para a saúde e melhoria de qualidade de vida de comunidades carentes. Como criativos que são, os engenheiros podem propor respostas sustentáveis e baratas para a resolução de problemas básicos, como acesso a água potável, comida, energia, poluição etc.

Assim, você se alistou para o programa Engenheiros Sem Fronteiras, para atuar em Ações Humanitárias em países pobres na implementação de um projeto que contribua com um dos maiores problemas regionais.

Vocês foram selecionados para ir para Xintang, na China, que é banhada pelo rio East River, o qual encontra-se altamente contaminado com corante proveniente da indústria jeans. Você deve investigar como usar os conhecimentos de Engenharia Química para propor um projeto sustentável, viável e com baixo custo para a purificação das águas provenientes deste rio.

Fonte: Autores.

Diante deste problema, pode-se ressaltar os seguintes fatos:

- O profissional de Engenharia Química possui conhecimentos que podem resolver problemas reais e básicos, comuns a toda comunidade;
- O contexto de poluição e a necessidade de água potável faz parte da realidade de todos os cidadãos;
- A sugestão de atuar em uma ação comunitária pode desenvolver algumas habilidades como o altruísmo, a criatividade de produzir uma solução sustentável, o trabalho em grupo e a valorização da sua profissão como útil não só para empresas, para o bem-estar da comunidade.

Sendo assim, diante da problemática apresentada, em que um problema do tipo obstáculo de processo foi apresentado, deve-se desenvolver um projeto para adquirir o conhecimento técnico desejado. O conhecimento técnico que era objetivo deste consiste no estudo e projeto de processos de separação de misturas líquidas, contendo um sólido solúvel.

2.1 Apresentação do Tema Projeto

Elaborar um projeto viável, sustentável, de baixo custo e fácil execução para purificar a água contaminada com corante da indústria do Jeans, a fim de revitalizar o Rio East River, na China.

2.2 Objetivos do Projeto

- Investigar quais seriam os métodos de separação de misturas com potencial para a resolução do problema;
- Para tal, é necessário conhecer as características físico-químicas da solução a ser tratada;
- Cada grupo de alunos deve escolher qual será o método de separação a ser empregado e aprofundar seus conhecimentos para idealização dos passos do projeto;
- Fazer uma proposta sustentável, de baixo custo e que possa ser replicável por pessoas comuns.
- Demonstrar no desenvolvimento do projeto quais são os procedimentos que devem ser realizados para a purificação da água.
- Adquirir habilidades para desenvolvimento de projetos, como capacidade de autonomia para pesquisa, iniciativa, criatividade, trabalho em grupo, etc.
- Criar vídeo documentando o conhecimento adquirido para instrução de terceiros, na língua inglesa. Assim, é possível adquirir outras habilidades além das técnicas, como a comunicação, a criatividade e emprego de Tecnologias Digitais

de Informação e Comunicação, como o uso do computador, câmeras, edição de áudio e vídeo, etc.

2.3 Conteúdos abordados no Projeto

Para o desenvolvimento do projeto, os seguintes conteúdos devem ser abordados e pesquisados:

- a. Conceito de solubilidade e soluções;
- b. Processos de separação de misturas sólido-líquido
 - b.1 Destilação
 - b.2 Extração Líquido-Líquido,
 - b.3 Separação por membranas;
 - b.4 Adsorção: equilíbrio, cinética e equipamentos de operação

De acordo com o método de separação escolhido, podem ser necessários conhecimentos mais específicos sobre a operação unitária em questão. Vale ressaltar que o método deve ser escolhido de forma a gastar menos energia e apresentar equipamento de menor custo de fabricação e operação.

3. Desenvolvimento

A seguir, é apresentado o desenvolvimento deste projeto realizado por um dos grupos da Disciplina de Laboratório de Engenharia Química IV, da Universidade Federal do Triângulo Mineiro, no ano de 2016.

3.1 Conhecendo melhor a temática do problema – Pesquisa Inicial

Inicialmente foi realizada uma pesquisa sobre a indústria do Jeans e os níveis de contaminação do East River.

Xintang, localizada no Sudoeste da China (Figura 1), é considerada a capital mundial do jeans. Um em cada três pares de jeans vendidos no mundo é produzido nesta cidade industrial, na província de Guangdong. À primeira vista, as suas estatísticas de produção são impressionantes: as fábricas produzem 300 milhões de artigos jeans por ano, empregando 220.000 pessoas. Cerca de dois terços do jeans fabricado na China é produzido em Xintang (Cunha, 2016).

Figura 1. Localização de Xintang.



Fonte: <https://www.google.com.br/maps/place/Xintang>,

Apesar de ser conhecida como a capital mundial do jeans, Xintang é banhada pelo East River, que passou a apresentar uma coloração azulada e forte odor causada pelo derramamento dos efluentes das indústrias de tingimento (Guang, Mingzhuo & Guang, 2013).

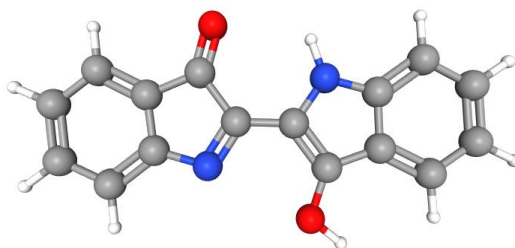
A história do jeans tem início em 1792 na região de Nimes localizada na França, o tecido ficou conhecido por “tecido de Nimes” e apelidado para Denim. A coloração azul foi empregada somente em 1890 para tornar o jeans mais atraente (München et al., 2015). Entre as etapas de produção do jeans está a lavagem, que além do algodão e do design é responsável pela qualidade do produto. Esta etapa libera efluentes com pigmentação azulada devido ao corante utilizado e normalmente estes efluentes são lançados aos leitos dos rios sem tratamento, o que causa um grande dano no sistema fluvial e marinho.

3.2 Características Físico-químicas do Efluente proveniente da Indústria do Jeans

Um dos corantes mais empregados na coloração azul do jeans é o Azul Índigo (2,2'-bis(2,3-diidro-3-oxoindolilideno)), também conhecido como anil. A Figura 2 apresenta a estrutura química heterocíclica da molécula do azul índigo, que corresponde à fórmula $C_{16}H_{10}N_2O_2$.

Na antiguidade, a tintura natural era extraída de diversas espécies de planta entre as quais a Indigofera anil, que contém o composto químico que constitui a tintura, chamado indigotina. Como o corante é insolúvel em água, emprega-se um agente redutor em meio básico para reduzir a sua forma leucoíndigo. Geralmente, emprega-se o ditionito de sódio como agente redutor, gerando inúmeros compostos poluentes de enxofre (Meksi, Kechida & Mhenni, 2007).

Figura 2. Estrutura tridimensional da molécula do índigo ($C_{16}H_{10}N_2O_2$).



Fonte: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/indigo#section=3D-Conformer>

No processo de tingimento do jeans, a etapa final de lavagem retira o excesso do corante mal fixado, originando um efluente aquoso com grande quantidade de Índigo, que geralmente é diluído para redução da DBO e depois descartado. Apesar da diluição, grandes quantidades do corante são lançadas em corpos receptores, levando à contaminação de rios e ambientes marinhos (Meksi, Kechida & Mhenni, 2007).

3.3 Seleção do Processo de Separação Mais Indicado

Diante do tema proposto, foi avaliado na literatura as teorias relacionadas à solubilidade e soluções; destilação simples, extração líquido-líquido, separação por membranas e adsorção. Dentre as vantagens e desvantagens de cada processo, foi possível selecionar a técnica mais indicada para a resolução do problema, levando em conta o menor custo e facilidade de implementação e aspectos sustentáveis. A Figura 3 apresenta um esquema das características empregadas para selecionar o melhor processo para purificação de águas contaminadas com o corante azul índigo.

Figura 3. Comparativo entre processos de separação.

Destilação	Extração Líquido-Líquido	Separação por Membranas	Adsorção
<ul style="list-style-type: none">• Altos custos energéticos• Não apropriado para soluções diluídas• Equipamento mais complexo• requer acompanhamento de pressões e temperatura	<ul style="list-style-type: none">• Solventes geralmente são orgânicos e podem ser tóxicos• Há necessidade de outra etapa de separação do solvente e soluto• A separação completa pode ser dispendiosa	<ul style="list-style-type: none">• Membranas são seletivas, então deve-se encontrar o material de membrana com seletividade adequada• Vantagem de ter altas áreas superficiais em pequenos volumes• podem ter custo elevado	<ul style="list-style-type: none">• É de simples implementação e baixo custo• Resíduos sólidos e biomassas podem ser empregados como adsorventes, diminuindo custos• Processo pode ser semi-contínuo

Fonte: Autores.

A destilação simples tem o objetivo de remover o solvente por meio de sua evaporação, o que traria altos custos de processo, uma vez que as vazões são elevadas e as soluções são bem diluídas (McCabe & Smith, 2004). Assim, o custo no refeedor seria muito grande, além do que o processo de destilação envolve mais de uma fase, requerendo supervisão das pressões e temperaturas dentro do destilador. Assim, o processo de destilação simples não é recomendado.

A extração líquido-líquido consiste na adição de um outro solvente à solução, de forma que o soluto, no caso o corante, seja mais solúvel neste solvente do que na água (Geankoplis, 1993). O maior problema, além dos gastos com o solvente, que se for orgânico pode envolver riscos em seu manuseio, é que é necessária uma outra etapa para a separação do soluto e do solvente, o que torna o processo mais complexo e oneroso. Assim, este processo de separação pode não ser o mais indicado.

Na separação por membranas, a membrana é um material de barreira que permite a passagem da molécula de água, mas que retém a molécula do soluto (Henley & Seader, 2005). Apesar das grandes áreas superficiais dispostas em pequenos volumes, encontrar o material adequado à separação desta molécula específica pode ser complicado e os gastos na aquisição da membrana podem ser altos.

A adsorção é considerada um fenômeno de superfície, em que as moléculas do adsorbato (soluto) podem ter afinidade com as cargas elétricas disponíveis na superfície do material adsorvente (Wankat, 2006). Recentemente tem crescido o uso de resíduos sólidos de processo e biomassas como materiais adsorventes, o que ressalta o aspecto sustentável da prática de adsorção. Neste processo, havendo afinidade entre o soluto e o adsorvente por um determinado tempo de contato, ocorre a remoção do corante da solução, que passa para a superfície do sólido. Outro aspecto interessante é que a implementação é simples e barata. Uma alternativa que vem crescendo e tomando um maior reconhecimento, por ser de fácil acesso, menor manutenção e grandes resultados é o tratamento de efluentes utilizando a adsorção em leitos fixos com biomassas. Essa característica favorece o uso desta técnica em detrimento das demais.

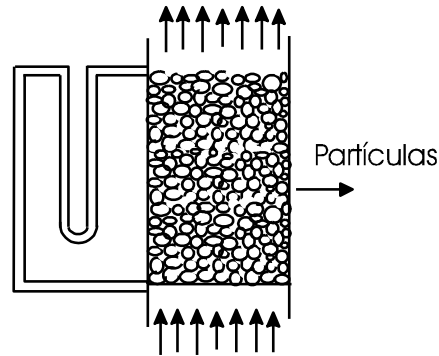
3.4 Conhecimentos Teóricos sobre a Adsorção

Esta operação unitária consiste num fenômeno físico-químico do qual existe um fluido que transfere um ou mais componentes para uma fase sólida, estes componentes que são separados recebem o nome de adsorbatos, enquanto a fase sólida é nomeada de adsorvente. Esta transferência do fluido para a fase sólida deve-se a existência de uma força motriz causada entre a diferença de concentração entre o seio do fluido (meio) e a superfície do material adsorvente.

Na Figura 4 é possível observar o esquema de uma adsorção em leito fixo (Wankat, 2006). Este processo consiste basicamente no escoamento de fluidos através de leito particulado, ou também conhecido como leito fixo. Um dos principais objetivos deste empacotamento de partículas é proporcionar um maior contato entre a fase líquida ou gasosa com as partículas,

responsáveis pela separação do adsorbato. Em modo geral utiliza-se fluxo contracorrente com o fluido que entra pelo fundo percolando pelo recheio, a vazão utilizada na bomba deve ser calibrada para que uma velocidade de transferência seja adequada.

Figura 4. Esquema de Adsorção em Leito Fixo.



Fonte: Massarani (2002)

No entanto o recheio utilizado no leito fixo deve possuir características físico-químicas pré-determinadas, estas características podem ser observadas a seguir: ter baixo ou razoável custo; ser possível de causar uma percolação do líquido sem que ocorra uma grande perda de carga; mecanicamente resistente; ser quimicamente inerte.

Existem vários tipos de recheios utilizados industrialmente, sendo eles: Anéis de Rasching, Sela Intalox, Anéis de Pall e dentre outros, porém está em crescimento a utilização de recheios biodegradáveis, tais como: folhas de goiaba, cascas de banana, dentre outros; pois este tipo de material é de fácil acesso e baixo custo (McCabe & Smith, 2004). Entretanto, a utilização destes recheios biodegradáveis possui como desvantagem a menor vida útil de absorção, se comparado aos recheios industriais, pois os poros deste material apresentam menor volume e acabam sendo preenchidos mais rapidamente pelo elemento que está sendo adsorvido.

O limite de adsorção pode ser representado pela curva de ruptura que pode ser obtido a partir da relação de concentração e o tempo de coleta das amostras, sendo que a partir de um determinado tempo a adsorção deixa de ser eficaz e ineficiente.

Existem alguns modelos para previsão da curva de ruptura (Canteli, 2013), dentre os quais destaca-se o de Thomas (Equação 1) e o de Yan (Equação 2).

$$\frac{C}{C_0} = \frac{1}{1 + \exp\left[\frac{K_{Th}}{Q}(q_{Th}m - C_0Qt)\right]} \quad (1)$$

$$\frac{C}{C_0} = 1 - \frac{1}{1 + \left(\frac{QC_0t}{q_{YAN}m}\right)^a} \quad (2)$$

Outros parâmetros que podem ser calculados, são o tempo útil do leito até o ponto de ruptura, o tempo total de saturação, a altura útil, a zona de transferência de massa e a máxima capacidade de adsorção do leito, como mostram as Equações de 3 a 7, respectivamente (Zhang et al., 2011).

$$t_u = \int_0^{t_b} \left(1 - \frac{C_t}{C_0}\right) dt \quad (3)$$

$$t_t = \int_0^{\infty} \left(1 - \frac{C_t}{C_0}\right) dt \quad (4)$$

$$H_u = \frac{t_u}{t_t} H_t \quad (5)$$

$$ZTM = H_t - H_u \quad (6)$$

$$q_U = \frac{C_0 Q}{m} \int_0^{t_s} \left(1 - \frac{C_t}{C_0}\right) dt \quad (7)$$

Porém, experimentalmente não existe equipamentos que leiam concentração, então para sanar esse problema Lambert-Beer elaborou uma lei em que ocorre uma relação entre a absorvância e a concentração de uma solução, quando atravessada por uma radiação luminosa monocromática. Para a devida conversão da leitura em absorvância para concentração deve-se construir uma curva de calibração.

A partir da equação linearizada dessa curva, Equação 8, é possível obter o valor da concentração somente fazendo a leitura da absorvância utilizando um espectrofotômetro com um comprimento de onda fixo, dependendo do elemento que está sendo analisado; em que a e b constantes da linearização entre os dados obtidos.

$$\text{Concentração} = a * \text{Absorvância} + b \quad (8)$$

3.5 Rota proposta para solução do problema

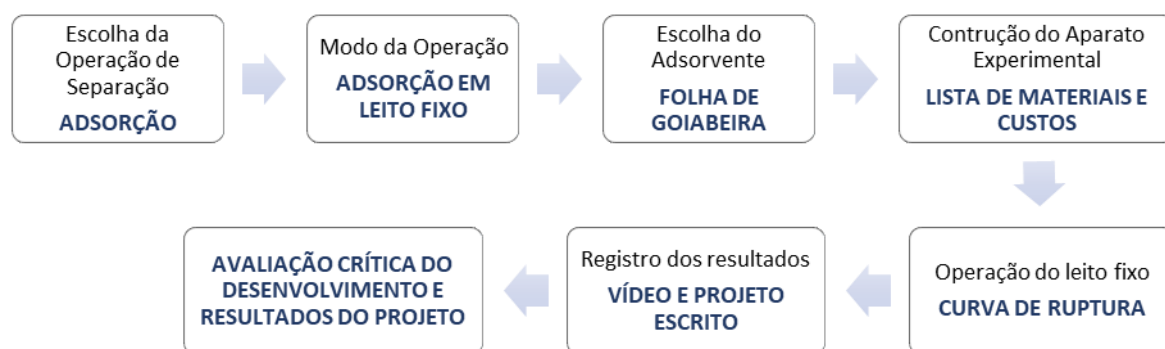
Após selecionar a adsorção como operação para a separação do soluto, os componentes do grupo decidiram que a operação seria realizada em leito fixo. Em um segundo momento, foi feita uma pesquisa para seleção do adsorvente. Definiu-se que seria uma biomassa, para manter o aspecto sustentável do projeto, e visando à redução dos custos. Dentre vários trabalhos da literatura, escolheu-se a folha da goiabeira como material adsorvente.

Para realizar a operação de adsorção em leito fixo, é necessário levantar dados para a curva de ruptura, que permite conhecer por quanto tempo o leito fixo funciona gerando líquido límpido e quando a operação deve ser interrompida (Wankat, 2006).

Depois da obtenção dos dados experimentais, eles foram analisados e registrados no projeto. Também foi elaborado um vídeo mostrando a temática do problema e o procedimento de montagem do protótipo proposto neste trabalho.

A Figura 5 mostra um esquema da proposta deste projeto, em termos de decisões e implementação. Ao final do trabalho, o vídeo foi apresentado na sala, juntamente com os demais grupos, onde foi possível aos discentes avaliar o seu desempenho e resultados obtidos.

Figura 5. Esquema das ações e decisões para implementação do projeto.



Fonte: Autores.

3.6 Desenvolvimento do Aparato Experimental

Materiais: Inicialmente foram listados os materiais necessários para a construção do leito fixo e sua operação, como mostra o Tabela 1.

Tabela 1. Lista de materiais empregados na implementação do projeto

• Mangueiras;	• Tubos de PVC (D=50mm);	• Adesivo de solda;
• Bomba de para-brisa 12V;	• Caps (D= 40 e 50 mm);	• Veda rosca;
• Fonte de energia;	• Conexões;	• Cola silicone;
• Folhas de goiaba;	• Espectrofotômetro;	• Agitador magnético;
• Balança analítica;	• Béqueres;	• Peneira;
• Solução de corante azul índigo (2g/L);		• Álcool;

Fonte: Autores.

Construção do Equipamento de Absorção em Leito fixo: Na construção de cada leito fixo, eram gastos um tubo de PVC (50 mm) de 15 cm de comprimento, um caps de 40 mm, dois caps de 50 mm, duas mangueiras de silicone de 30 cm de comprimento, fita veda rosca e cola silicone.

Procedimento para montagem de cada leito fixo: Foram construídos dois leitos fixos no total para possibilitar a realização da operação nos arranjos em série e em paralelo.

a) O caps de 40 mm foi usado para reter as partículas de folha de goiaba dentro do leito fixo e permitir a passagem da corrente de fluido da qual o corante havia sido extraído, para isso ele foi perfurado com o auxílio de um prego e um martelo em um total de 14 furos;

b) Os caps de 50 mm eram usados para selar o leito fixo permitindo a passagem das correntes de fluido contaminado com corante e de fluido da qual o corante havia sido extraído, de modo que esses caps eram perfurados centralmente para permitir a conexão das mangueiras de silicone;

c) Antes de ser selado, o leito fixo, após a introdução do caps de 40 mm, era preenchido pelas partículas de folha de goiaba, que foram fervidas e posteriormente deixadas no álcool para remover a clorofila das partículas de folha de goiaba antes de serem usadas;

d) A fita veda rosca foi usada para vedar a conexão dos caps de 50 mm com o tubo de PVC e a cola silicone foi usada para vedar a conexão das mangueiras de silicone com os caps de 50 mm para evitar vazamentos.

Preparo e Caracterização da biomassa: O conhecimento do tamanho e da distribuição do tamanho de partícula é um pré-requisito fundamental para muitas operações de produção e processamento envolvendo a biomassa utilizada. A análise granulométrica permite determinar a frequência com que os fragmentos ocorrem em uma determinada classe ou faixa de tamanho, bem como seu arranjo sobre a rocha matriz. Ressaltando tal importância inicialmente o material particulado escolhido foi peneirado e a sua massa foi registrada separadamente em cada peneira. Utilizou-se oito peneiras mais o fundo com aberturas que variaram de 0,60 mm a 6,3 mm.

Curva de Calibração da Solução aquosa do azul índigo: Para a obtenção da curva de calibração, foram preparadas soluções de corante azul Índigo com diferentes concentrações, logo após foram lidas as absorvâncias, utilizando um espectrofotômetro com comprimento de onda pré-estabelecido de 570 nm. A linearização dos dados foi obtida, utilizando o Software Excel®.

Curva de ruptura para leito fixo: Foram realizadas duas curvas de ruptura, sendo elas: para apenas um leito fixo e para dois leitos fixos em série. Para apenas um leito, a massa de adsorvente utilizada foi de 35,22 g. Já para teste contendo leitos em série a massa para o primeiro leito foi de 35,53 g e do segundo 22,97 g. Em ambos os testes, a solução de corante foi bombeada para o leito com uma vazão de 0,437 g/s previamente ajustada. Conforme a solução percolava, o corante ficava impregnado nas folhas de goiaba fixadas ao leito, dessa forma o fluido na saída do leito foi coletado e analisado em diferentes intervalos de tempos.

4. Resultados Experimentais Obtidos

Foi realizado o peneiramento das folhas de goiabeira triturada, segundo a Tabela 2. O diâmetro médio de Sauter obtido foi de 1,97 mm.

Tabela 2. Dados obtidos através do peneiramento.

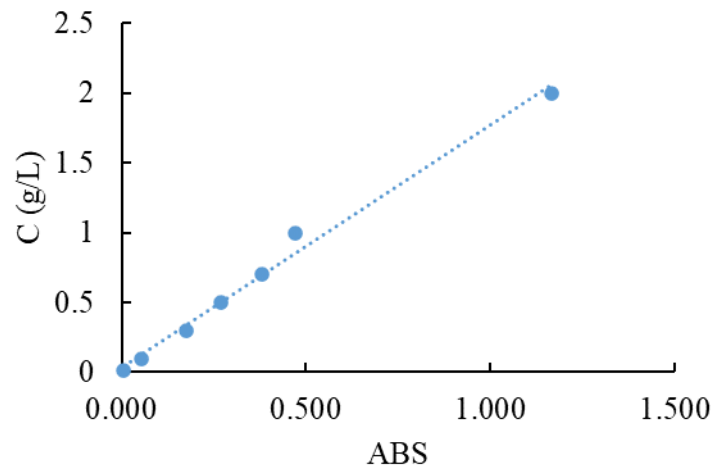
Diâmetros (mm)	Dmédio (mm)	Xn/D	Massa peneira (g)	Peneira com material (g)	Massa retida (g)	Fração massa retida
6,30	6,30	0,00	464,850	466,630	1,780	0,026
4,75	5,53	0,01	415,740	418,780	3,040	0,045
2,80	3,78	0,06	402,470	418,110	15,640	0,230
2,36	2,58	0,04	355,710	362,370	6,660	0,098
2,00	2,18	0,07	439,310	450,160	10,850	0,159
1,70	1,85	0,06	440,360	447,670	7,310	0,107
1,18	1,44	0,14	439,810	453,530	13,720	0,202
0,60	0,89	0,13	401,310	408,960	7,650	0,112
Fundo	0,00	0,00	394,170	395,590	1,420	0,021
SOMA (Xn/D)		0,51		TOTAL	68,07	

Fonte: Autores.

Para a obtenção da concentração das soluções obtidas na saída do leito, plotou-se a curva de calibração relacionando a absorvância com a concentração da solução, de acordo com a Equação 9 ($R^2 = 0,9902$), conforme a Figura 6.

$$C = 1,735A + 0,0345 \quad (9)$$

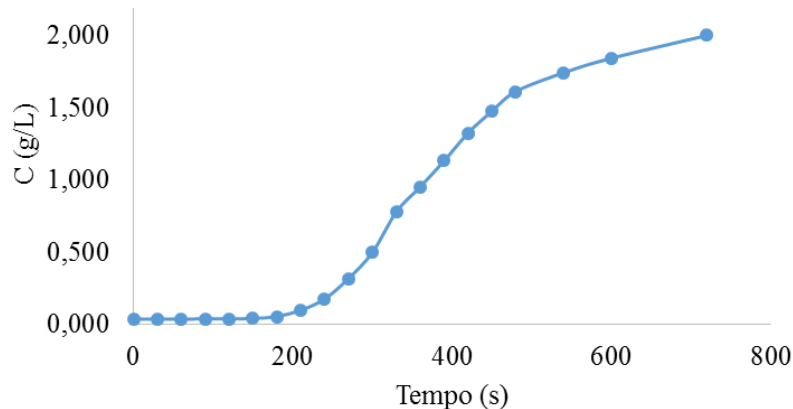
Figura 6. Curva de calibração entre concentração e absorvância.



Fonte: Autores.

A curva de ruptura representa como varia a concentração com o tempo. No presente trabalho, obteve-se duas curvas, uma para cada teste. Para o primeiro teste de apenas um leito fixo obteve-se a curva de ruptura presente na Figura 7.

Figura 7 – Curva de ruptura da operação em leito fixo (1º teste).



Fonte: Autores.

Nota-se na Figura 8 que para atingir uma concentração de 5% a da concentração inicial, ou seja, concentração de aproximadamente 0,1 g/L na saída, necessitou de um tempo de operação de aproximadamente 220 segundos. Para que o leito atingisse a saturação, ou seja, a concentração de saída ser igual a concentração inicial, o tempo foi de 720 segundos. A quantidade de água contaminada utilizada foi de 400 mL.

A Tabela 3 mostra os parâmetros dos modelos de Curva de Ruptura de Thomas (Equação 1) e Yan (Equação 2).

Tabela 3. Parâmetros dos Modelos de Curva de Ruptura para operação com um leito.

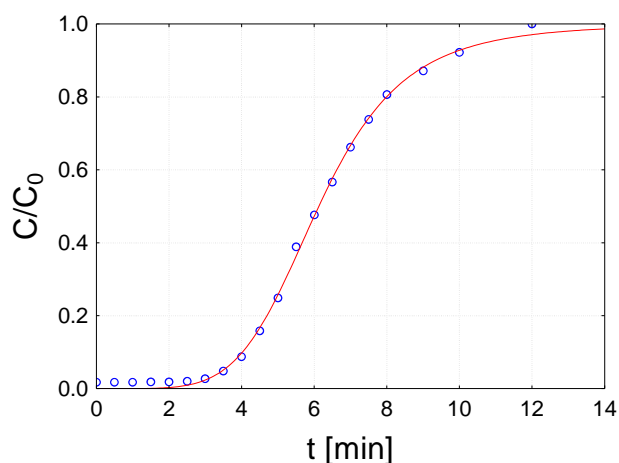
Modelos	Parâmetros	Desvio Padrão	R ²
Thomas	$q_{m\acute{a}x} = 9,30$ g corante/kg biomassa $k_{Th} = 435,19$	0,07 17,43	0,9953
Yan	$q_{YAN} = 9,10$ g corante/kg biomassa $\alpha = 5,22$	0,041 0,122	0,9985

Fonte: Autores.

Observa-se na Tabela 3 que ambos os modelos descreveram com alta precisão o comportamento da adsorção do azul índigo nas folhas de goiabeira. Os valores preditos pelos dois modelos da capacidade máxima de adsorção do corante na biomassa foram similares, entre 9,1 e 9,3 g de corante/kg de biomassa.

O ajuste pelo modelo Yan pode ser observado no gráfico da Figura 8.

Figura 8. Comparação entre dados experimentais da curva de ruptura e os preditos pelo modelo de Yan, para a operação de um leito.



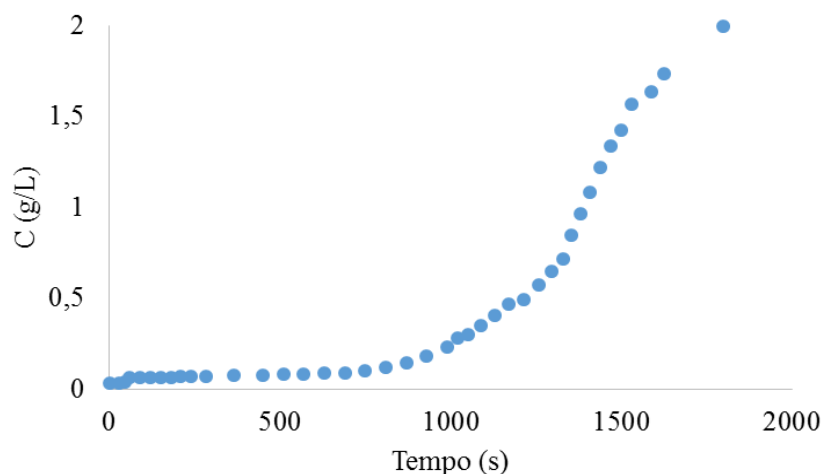
Fonte: Autores.

É possível observar na Figura 9 que até cerca de 3 min de operação, a concentração da solução que deixa o leito é próxima de zero, mostrando uma boa eficiência de separação.

Através da curva de ruptura foi possível calcular outras propriedades do leito e inferir sobre o processo de transferência de massa na adsorção. A capacidade máxima de adsorção no leito fixo, calculada por meio da Equação 7, apresentou um valor 9,5 g de corante/kg de biomassa, um erro menor que 3,2%. A partir dos dados experimentais também foi possível calcular a porcentagem útil do leito (53,6%), a altura da zona de transferência de massa (ZTM=6,96 cm), e um tempo útil de operação de cerca de 3,4 min.

Para o teste contendo dois leitos fixos conectados em série, obteve-se a curva de ruptura apresentada na Figura 9.

Figura 9. Curva de ruptura da operação em leito fixo em série (2º teste).



Fonte: Autores.

Observa-se na Figura 10 que para atingir uma concentração de 5% a da concentração inicial, necessitou de um tempo de operação de aproximadamente 720 segundos. Para que o leito atingisse a saturação, ou seja, a concentração de saída ser igual a concentração inicial, o tempo foi de 1800 segundos, ou seja, 30 minutos. O volume de água utilizada foi de 1 L.

A Tabela 4 apresenta os parâmetros dos modelos de Curva de Ruptura de Thomas (Equação 1) e Yan (Equação 2). O modelo de Thomas se mostrou mais apropriado para descrever o comportamento da adsorção do azul índigo nas folhas de goiabeira, sendo que o ajuste do modelo pode ser observado no gráfico da Figura 10.

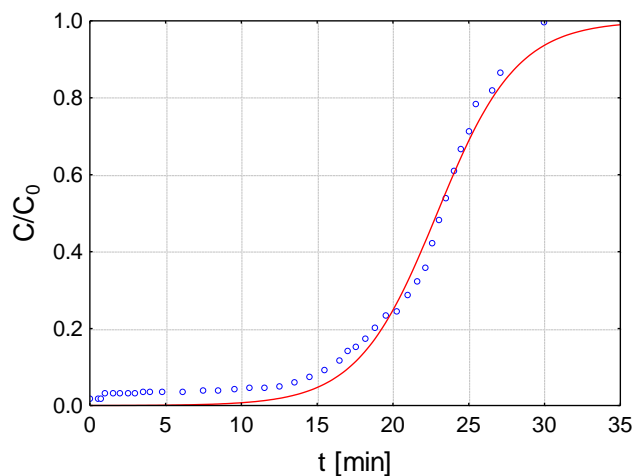
Tabela 4. Parâmetros dos Modelos de Curva de Ruptura: operação com dois leitos em série.

Modelos	Parâmetros	Desvio Padrão	R ²
Thomas	$q_{m\acute{a}x} = 20,6$ g corante/kg biomassa $k_{Th} = 190,17$	0,10 8,83	0,9839
Yan	$q_{YAN} = 20,57$ g corante/kg biomassa $\alpha = 8,62$	0,13 0,51	0,9750

Fonte: Autores.

Observa-se na Tabela 4 que os valores preditos da capacidade máxima de adsorção do corante na biomassa foram similares: 20,6 e 20,5 g de corante/kg de biomassa, para os modelos de Thomas e Yan respectivamente. Calculando a capacidade máxima pela Equação 7, o valor obtido a partir dos dados experimentais foi de 19,83 g de corante/kg de biomassa, um erro menor que 3,7%.

Figura 10. Comparação entre dados experimentais da curva de ruptura e os preditos pelo modelo de Thomas para a operação com dois leitos em série.



Fonte: Autores.

A partir dos dados experimentais também foi possível calcular a porcentagem útil do leito (54,7%), a altura da zona de transferência de massa ($ZTM=13,6$ cm), e um tempo útil de operação de cerca de 12 min.

Nota-se que a operação com dois leitos em série mostrou-se mais eficiente, pois além de operar por um maior tempo útil, utilizou maior quantidade de solução levando-se em conta a massa de adsorvente utilizada. Desta forma, a operação com dois leitos em série mostra-se mais eficiente.

5. Avaliação Crítica do Desenvolvimento e Obtenção dos Resultados

Levando-se em conta a alta concentração de corante contida na água e a massa de folhas utilizadas, o desempenho foi satisfatório. Destaca-se também que, com leitos conectados em série, o resultado obtido foi muito melhor, ultrapassando as expectativas criadas do teste de um leito fixo.

Dado as intenções do objetivo para a construção do equipamento, utilizou-se materiais de baixo custo ou reciclados e de fácil acesso. Assim, para a comunidade de interesse tal aplicação torna-se viável.

Para a possível aplicação industrial e limpeza de grandes quantidades de água contaminada, sugere-se a utilização de várias torres de adsorção conectadas duas a duas em série. Para tornar o processo ainda mais eficiente, a utilização de algum adsorvente industrial, como o carvão ativado, misturado com a folha de goiaba, pode-se fazer necessário.

A apresentação dos resultados obtidos foi feita na forma de vídeo, com áudio em inglês e legenda em português, para que todos os estudantes pudessem acompanhar e compreender o trabalho realizado. O Apêndice A apresenta imagens do vídeo apresentado pelos alunos. O vídeo apresentado encontra-se disponível ao público na plataforma do YouTube, no link: <https://youtu.be/TijyERB2k0o>.

6. Considerações Finais e Conclusões

Neste trabalho, um dos graves problemas relacionados à contaminação de água foi abordado. O despejo de águas residuárias em rios e mares tem gerado a contaminação de rios e mares, bem como problemas de saúde de moradores próximos às indústrias têxteis.

Diante do problema exposto aos estudantes de Engenharia Química, os conhecimentos científicos ensinados no curso foram abordados e adquiridos, de forma a propor uma solução viável, sustentável e de baixo custo para a purificação de

efluentes têxteis contaminados com corante azul índigo, proveniente da indústria do jeans, para fins de recuperação do Rio East River, na China.

Dentre os Processos de Separação mais empregados na separação de um soluto de uma corrente líquida, foi selecionado a operação de Adsorção, empregando biomassa como adsorvente, no caso a folha de goiabeira.

Após o estudo individual da teoria que envolve a operação de adsorção, foi selecionada a operação em leito fixo, foi então construído de tubos de pvc, material barato e de fácil acesso.

A partir de ensaios experimentais no leito construído e empacotado com a biomassa, foi possível calcular o tempo em que o leito fixo consegue operar na limpeza do efluente, bem como a capacidade máxima de adsorção desse corante na folha da goiabeira, que foi cerca de 20 g de corante/kg de biomassa, para os leitos operando em série.

Em termos de aprendizado, os alunos relataram, na ficha de avaliação da disciplina, que a Aprendizagem Baseada em Problemas e Organizada em Projetos (POPBL) possibilitou desenvolver outras habilidades além do conhecimento técnico da disciplina, como o trabalho em grupo, a proatividade, sociabilidade, empatia, habilidades de comunicação e expressão áudio-visual. Assim, acredita-se que o principal objetivo do projeto foi alcançado, uma vez que o aluno foi o protagonista da aquisição do seu saber, ao avaliar o problema proposto e encontrar uma solução viável, de baixo custo, fácil operação e com aspectos sustentáveis, como requerido.

Como sugestões para trabalhos futuros, espera-se incluir no desenvolvimento desses trabalhos um formulário de acompanhamento do discente, de forma a conhecer melhor de forma o uso dos projetos tem contribuído para desenvolver as competências e habilidades dos futuros engenheiros. Além disso, espera-se estender este projeto a outras disciplinas do curso de Engenharia Química.

Referências

- Almeida, N. P., Canhadas, M. C., Albertini, M. R. M. C., Santos, K. G. & Vieira Neto, J. L. (2020). Solid–fluid separation in the gravitational field: Courseware generation using computational fluid dynamics simulation. *Comput Appl Eng Educ.*, 28, 1566– 1579 <https://doi.org/10.1002/cae.22327>
- Almeida, N. P., & Santos, K. G. (2020). Ensino de laboratório de engenharia química usando abordagem de aprendizagem baseada em projetos: adsorção de gás com casca de banana. *Research, Society and Development*, 9 (3), e184932716. <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i3.2716>
- Ballesteros, M. A., Daza, M. A., Valdés, J. P., Ratkovich, N. & Reyes, L. H. (2019). Applying PBL methodologies to the chemical engineering courses: Unit operations and modeling and simulation, using a joint course project. *Education for Chemical Engineers*, 27, 35-42. <https://doi.org/10.1016/j.ece.2019.01.005>
- Barbosa, E. F. & Moura, D. G. (2014). Metodologias ativas de aprendizagem no ensino de engenharia. *Anais XIII International Conference on Engineering and Technology Education*, DOI 10.14684/INTERTECH.13.2014.110-116.
- Bardini, V. S. S. & Spalding, M. (2017). Aplicação de metodologias ativas de ensino-aprendizagem: experiência na área de engenharia. *Revista de Ensino de Engenharia*, 36(1), 49-58. DOI: 10.5935/2236-0158.20170005
- Bossi, K. M. L. & Schimiguel, J. (2020). Active methodologies in the teaching of Mathematics: state of the art. *Research, Society and Development*, 9(4), e47942819. <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i4.2819>
- Brescovit, L. E., Almeida, L. I. M. V., Ventura, I. G. S. & Silva, A. R. (2020). Active methodologies applied in the pedagogy course and initial years in Tangará da Serra, Mato Grosso State, Brazil. *Research, Society and Development*, 9(9), e276997365. <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i9.7365>
- Canteli, A. M. D. (2013). Recuperação do Aroma de Café, Benzaldeído, em Coluna de Adsorção Utilizando Carvão Ativado. Universidade Federal do Paraná, Paraná, Dissertação de Mestrado.
- Capellato, P., Ribeiro, L. M. S. & Sachs, D. (2019). Active Methodologies in the Teaching-Learning Process Using Seminars as Educational Tools in the General Chemistry Curricular Component. *Research, Society and Development*, 8(6), e50861090. <https://doi.org/10.33448/rsd-v8i6.1090>
- Caprara, A. (2001). *A Construção Narrativa de Problemas*. In: Mamede, S., Penaforte, J. C. (Orgs.). *Aprendizagem baseada em problemas: anatomia de uma nova abordagem educacional*. Hucitec/ESP-CE.
- Costa, F. V., Negro-Dellacqua, M., Souza, I. F., Rabelo, B. D., Savi, G. D. & Bortolotto, T. (2020). Use of innovative strategies in the teaching of hematology: an experience in medical education. *Research, Society and Development*, 9(5), e36953181. <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i5.3181>
- Cremasco, M. A. (2014). *Operações Unitárias em sistemas particulados e fluidomecânicos*. 2 ed. São Paulo: Blucher, 2014. 423p.
- Cunha, R. (2016). River Blue: O documentário que denuncia a poluição dos rios pela fabricação de jeans. <<http://www.stylourbano.com.br/river-blue-o-documentario-que-denuncia-a-poluicao-dos-rios-pela-fabricacao-de-jeans/>>.

- Delisle, R. (2000). *Como Realizar a Aprendizagem Baseada em Problemas*. Lisboa, Portugal: Edições ASA.
- Elias, A. P. A. J., Hussein, F. R. G. S. & Motta, M. S. (2018). Uma proposta interdisciplinar para o desenvolvimento de aplicativos de matemática financeira em engenharia elétrica. *Revista de Educação, Ciência e Tecnologia*, 7(1), 17-18. <https://doi.org/10.35819/tear.v7.n1.a2740>
- Foust, A. S., Wenzel, L. A., Clump, C. W., Maus, L. Andersen, L. B. (2012). *Princípios das operações unitárias*. LTC, 2ª edição.
- Freitas, F. R. N., Souza, A. T. S., Carvalho, N. A., & Pedrosa, J. I. S. (2020). Active methodologies in medicine courses: an integrative review. *Research, Society and Development*, 9(7), e151973922. <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i7.3922>
- Furini, T., Vivas, V., Gaydeczka, B. & Silva, P. (2020). Avaliação da formação em Engenharia Química pela percepção de egressos da UFTM (2014-2019). *Revista de Gestão e Avaliação Educacional*, 9(18), 1-16. doi:<https://doi.org/10.5902/2318133844235>
- Geankoplis, C. J. (1993). *Transport Processes and Unit Operations*. Ed Allyn and Bacon, London.
- Guang, L., Mingzhuo, J. & Guang, L. (2013) *The denim capital of the world: so polluted you can't give the houses away*. Chinadialogue. <<https://www.chinadialogue.net/article/show/single/en/6283-The-denim-capital-of-the-world-so-polluted-you-can-t-give-the-houses-away>>.
- Henley, E. J. & Seader, J. D. (2005). *Separation Process Principles*. (2a ed.), John Wiley & Sons.
- Mangucci, C. B., Stoppe, A. C. R., Morais, A. A., Melo, Y. A., Merola, G. N. & Santos, K. G dos. (2020). Construção de kit didático de câmara de poeira e avaliação de dinâmica de fluidos computacional: uma prática de aprendizagem ativa. *Research, Society and Development*, 9 (11), e41691110069. <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i11.10069>
- Massarani, G. (2002). *Fluidodinâmica em sistemas particulados*. (2a ed.), E-papers.
- McCabe, W. L. & Smith, J. C. (2004). *Unit Operation in Chemical Engineering*. (7a ed.), McGraw Hill.
- Meksi, N., Kechida, M. & Mhenni, F. (2007). Cotton dyeing by indigo with borohydride process: Effect of some experimental conditions on indigo reduction and dyeing quality. *Chemical Engineering Journal*., 31, 187-193. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2007.01.001>
- München, S., Adaime, M. B., Perazolli, L. A., Amantéa, B. E. & Zaghete, M. A. (2015). Jeans: a relação entre aspectos científicos, tecnológicos e sociais para o Ensino de Química. *Química Nova Escola*, 37(3), 172-179. 10.5935/0104-8899.20150036
- Negro-Dellacqua, M., Carvalho Junior, P. M., Sá-Junior, A. R., Bortolotto, T., Costa, F. V. & Sousa, I. F. de. (2019). Potentials and challenges of application of active methodologies in Physiotherapy teaching: student vision. *Research, Society and Development*, 8(5), e32851022. <https://doi.org/10.33448/rsd-v8i5.1022>
- Netto, A. V. (2018). Aplicação de simuladores de realidade virtual e Problem based learning para o treinamento de profissionais da área de segurança. *Revista de Educação, Ciência e Tecnologia*, 7(2). <https://doi.org/10.35819/tear.v7.n2>
- Neufeld, C. B., Ferreira, I. M. F., Caetano, K. A. de S. & Versuti, F. M. (2020). Problem-Based Learning: Exploratory Study of Perception of Psychology Students. *Research, Society and Development*, 9(5), e48952109. <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i5.2109>
- Pereira, A. S., et al. (2018). *Metodologia da pesquisa científica*. Ed. UAB/NTE/UFSM. https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/15824/Lic_Computacao_Metodologia-Pesquisa-Cientifica.pdf?sequence=1.
- Ricaurte, M. & Vilorio, A. (2020). Project-based learning as a strategy for multi-level training applied to undergraduate engineering students. *Education for Chemical Engineers*, 33, 102-111, ISSN 1749-7728, <https://doi.org/10.1016/j.ece.2020.09.001>.
- Sanchotene, I. J., Fumagalli, L. M. R., Vargas, V.C. & Ilha, P. V. (2020). Physical activity level and health risk behavior of Physical Education students. *Research, Society and Development*, 9(8), e233985693. <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i8.5693>
- Shitsuka, D. M., Pereira, A. S., Shitsuka, R. & Boghi, C. (2019). Active learning of programming in engineering classes: an action research study. *Research, Society and Development*, 8(3), e1783652. <https://doi.org/10.33448/rsd-v8i3.652>
- Silva, D. O., Castro, B. J. & Sales, G. L. (2018). Aprendizagem baseada em projetos e contribuições das tecnologias digitais. *Revista de Educação, Ciência e Tecnologia*. Canoas -RS, 7(1), 1-15. <https://doi.org/10.35819/tear.v7.n1.a2763>
- Silva, L. D., Lima, G. M., Silvério, B. C. & Santos, K. G. (2020). Desenvolvimento de um software educativo para projeto da separação sólido-líquido em centrífugas tubulares. *Revista Iberoamericana de Tecnología en Educación y Educación en Tecnología*, 25, 86-96, 2020. 10.24215/18509959.25.e09
- Sousa, S. O. (2015) Blended Online POPBL: uma Abordagem Blended Learning para uma Aprendizagem Baseada em Problemas e Organizada em Projetos. Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia Presidente Prudente, Tese de Doutorado.
- Tombini, C., Machado Junior, F. R. S. & Dalcanton, F. (2020). Different teaching methodologies in quality control class. *Research, Society and Development*, 9(10), e4869108730. <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i10.8730>
- Utsumi, A. G. (2020). Use of Active Learning Methodology in the Geographic Information Systems discipline. *Research, Society and Development*, 9(7), e904975014. <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i7.5014>
- Wankat, P. C. (2006). *Separation Process Engineering*. (2a ed.), Prentice Hall PTR.
- Welter, R. B., Foletto, D. S. & Bortoluzzi, V. I. (2020). Active methodologies: a possibility for students multiliteracy. *Research, Society and Development*, 9(1), e106911664. <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i1.1664>

Zhang, W. L., Dong, H., Yan, H., Li, Z., Jiang, X., Kan, H., Yang, A. & Li, R.C. (2011), Removal of Methylene Blue from Aqueous Solutions by Straw Based Adsorbent in a Fixed-bed Column. *Chemical Engineering Journal*. 173(2), 429-433. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2011.08.001>