



TRABALHO DE GRADUAÇÃO

ENGENHARIAS 2020

ESTUDO DA CASCA DE BANANA COMO BIOADSORVEDOR DE PIGMENTOS DE MEIO AQUOSO

Brenda Gabriela de Souza¹

Gláucia Rodrigues¹

Prof. Dra. Monica Tais Siqueira D'Amélio Felipe²

Universidade São Francisco

brenda.gabriela@mail.usf.edu.br; rodrigues.glaucia@mail.usf.edu.br

¹Alunas do Curso de Engenharia Química, Universidade São Francisco; Campus Bragança Paulista

²Professora Doutora Orientadora, Curso de Engenharia Química, Universidade São Francisco; Campus Bragança Paulista.

Resumo. A adsorção, operação unitária de transferência de massa, é um dos métodos mais aplicados para o tratamento de efluentes líquidos e gasosos, para remoção de contaminantes do meio, inclusive de efluentes industriais de diversos setores, como os têxteis e cosméticos, que têm provocado danos ao meio ambiente devido à alta concentração de corantes que, se não são devidamente tratados, causam graves problemas de contaminação ambiental. A casca de banana, usada como adsorvente reduz o destino a aterros dos resíduos de escolas, lanchonetes etc. Assim, este projeto de pesquisa visou o estudo de resíduos orgânicos com estrutura porosa, a casca de banana, como potencial bioadsorvedor de corantes presentes em meio líquido. As etapas de preparação do material envolveram lavagem, ativação do material com solução natural, de ácido clorídrico e solução de hidróxido de sódio e bicarbonato de sódio, secagem ao sol e em estufa a 65°C. Ao término o material foi triturado, obtendo-se um pó. Caracterizou-se o material obtido pela granulometria e MEV. As isotermas foram obtidas para dois tipos de corantes, o Amarelo de Tartrazina e o Azul Índigo para a temperatura ambiente e fria (10°C). Classificou-se a adsorção obtida como fisissorção pela aplicação de modelos matemáticos de Langmuir, Freundlich, Redlich-Peterson, Temkin e Dubinin-Radushkevich. E por fim, concluiu-se que a casca de banana pode ser utilizada como bioadsorvente para o Amarelo de Tartrazina, sendo melhor a baixas temperaturas.

Palavras-chave: efluentes industriais, adsorção, biossorventes.

Absrtact. Adsorption, a unitary mass transfer operation, is one of the most applied methods for the treatment of liquid and gaseous effluents, to remove contaminants from the environment. This includes industrial effluents from various sectors, such as textiles and cosmetics, which have caused damage to the environment due to the high concentration of dyes that, if not properly treated, cause serious problems of environmental contamination. Banana peel, used as an adsorbent, reduces the destination of waste from schools, cafeterias, etc. Thus, this research project aimed at the study of organic residues with porous structure, the banana peel, as a potential bioadsorber of dyes present in liquid medium. The material preparation steps involved washing, activating the material with natural solution, hydrochloric acid and sodium hydroxide and sodium bicarbonate solution, drying in the sun and in an oven at 65 ° C. At the end, the material was crushed, obtaining a powder. The material obtained by granulometry and SEM was characterized. Isotherms were obtained for two types of dyes, Tartrazine Yellow and Indigo Blue for room and cold temperature (10 ° C). The adsorption obtained as a physisorption was classified by the application of mathematical models by Langmuir, Freundlich, Redlich-Peterson, Temkin and Dubinin – Radushkevich. Finally, it was concluded that the banana peel can be used as a bio-absorbent for Tartrazine Yellow, being better at low temperatures.

Keywords: industrial effluents, adsorption, biosorbents.

Introdução

A água, recurso essencial para a vida, é importante para diversos setores, tal como o industrial, que compreende unidades fabris de tecidos, alimentos, fármacos, cosméticos, entre outros. Segundo estudo da Agência Nacional de Água (ANA), a indústria de transformação ocupa a terceira colocação quando se fala em consumo de água, ficando atrás somente do abastecimento urbano e da atividade de irrigação agropecuária. Uma vez consumido

este recurso hídrico, ele precisa ser descartado, e em muitas das vezes é despejado de forma clandestina em rios e córregos. De forma estimada são cerca de 10 milhões de litros de água por hora, que afetam o meio ambiente, alterando a característica da água, causando a redução do oxigênio dissolvido, alteração na fauna aquática e de ecossistemas, até mesmo a total inutilização da água para uso recreativo e abastecimento (GAMA, 2017).

Os efluentes líquidos provenientes principalmente da indústria têxtil e cosmética, carregam grande quantidade de metais na forma de pigmentos utilizados nos processos de coloração e tingimento. Neste contexto viu-se a necessidade de um estudo voltado ao tratamento destes efluentes de forma a minimizar os impactos desses contaminantes no meio ambiente. Sendo o desenvolvimento e aplicação de materiais que visem a melhoria de processos uma das vertentes da engenharia química, pode-se destacar a adsorção como a operação unitária capaz de auxiliar neste processo, que através da transferência de massa reduz os poluentes presentes em meios líquidos e gasosos.

O processo da adsorção consiste em um material adsorvente retirar do meio um soluto, que pode ser um contaminante ou um material de interesse. O material adsorvente precisa conter algumas características como porosidade e seletividade ao soluto. A indústria sempre busca materiais que tenham maior eficiência e incentivam pesquisas no ramo, sejam elas internas ou em parcerias com universidades.

Um outro problema enfrentado pela humanidade, hoje, é a excessiva produção de lixo. O aumento da população, provoca o elevado consumo de alimentos, e, conseqüentemente, do descarte de materiais orgânicos. A casca de banana é resíduo orgânico amplamente produzido principalmente nas creches e escolas que descartam grandes quantidades deste material, quando unida a outros resíduos fibrosos de seu processamento este resíduo pode chegar até 40% do fruto (ALKARKHI; SHIN; MAT, 2011). Sua estrutura apresenta características essenciais aos adsorventes: a porosidade. Ademais, quando submetidas a um processo de ativação, adquirem a característica de reter compostos. Quando atingem essas características, esses compostos orgânicos passam a ser denominados de bioadsorventes.

Devido a esses dois fatores, os bioadsorventes têm sido alvo de estudos que visam determinar qual o melhor meio de ativação, concentração, além de condições operacionais, para que assim possam ser projetados para a escala industrial.

Neste âmbito, desenvolveu-se este trabalho que promoveu a ativação da casca de banana em meio ácido e básico, com o objetivo de identificar qual o melhor método. Foi também realizada a construção de isotermas para verificar a efetividade do processo de adsorção para dois diferentes cores – amarelo e azul – em duas temperaturas, para verificar sua influência. Foram utilizados modelos de dispersão para identificar parâmetros do sistema.

O presente trabalho, visa não somente o tratamento de resíduos líquidos, mas também propõe a reutilização da casca de banana como um bioadsorvente ou biosorvente. Segundo estudos, essa fruta popularmente conhecida e consumida, apresenta propriedade adsorvente capaz de reter partículas contaminantes em meio líquido. Sua utilização agrega valor a um material que pode assumir uma nova funcionalidade além da conhecida compostagem, reduzindo seu descarte em aterros, minimizando a produção de chorume, proliferação e doenças e contaminação do meio ambiente.

Assim, o estudo aqui desenvolvido espera promover a utilização de um resíduo orgânico, casca de banana, como material adsorvente para a remoção de corantes de efluentes líquidos industriais

Adsorção

Entre as operações unitárias de transferência de massa conhecidas, pode dizer que a adsorção é uma das mais importantes. Caracteriza-se pela movimentação de um soluto através de um meio, sendo este meio líquido ou gasoso, para um meio sólido (ALMEIDA, 2016). O processo de adsorção associado ao de clarificação atua na remoção de cor; remoção de odor desagradável que são causados por compostos e são inadequados a um produto; age também na purificação de ar e gases; ajuda a recuperar reagentes; atua na separação ou no processo de purificação de produtos da indústria de alimentos e farmacêutica, sendo estes produtos de alto valor; e desempenha importante papel no ciclo de águas residuais (TADINI, *et al.* 2016).

Até o século XIX os corantes utilizados eram naturais, retirados de moluscos, vegetais e outras matérias orgânicas, entretanto em 1856 foi descoberto o primeiro corante sintético pelo químico inglês William H. Perkin. Tal descoberta resultou numa revolução na produção de corantes, que tiveram novas formulações, variedade de cores e fórmulas em escala industrial (ZOLLINGER, 1987). Assim, os corantes passaram a ser utilizados em diferentes setores da indústria, passando pelas indústrias têxteis, indústria cosmética, alimentícia e em salões de beleza. Vale destacar, que a utilização de tinturas capilares e corantes alimentícios em residências, eleva a presença desses compostos em águas residuais, inviabilizando cada vez mais sua utilização pelo homem. (MATOS, 2015). A utilização de materiais adsorventes para a remoção de particulados de corantes e metais pesados do meio hídrico tem se tornado alvo de pesquisas (HAO *et al.*, 2018; LINGAMDINNE, *et al.*, 2018). O estudo de bioadsorvedores tem apresentado bons resultados neste processo, fazendo com que seu estudo seja ampliado.

A adsorção nada mais é do que uma operação unitária em sistemas particulados, no qual ocorre a separação de moléculas presentes em um fluido, sendo este gás ou líquido, por meio da fixação das moléculas (soluto) em um sólido adsorvente (CREMASCO, 2014). Ao atingir o adsorvente, o soluto sofre a ação de forças

de atração que o mantém ligado ao adsorvente. Tais forças podem ser caracterizadas como físicas ou químicas (TADINI, *et al.*, 2016; CREMASCO, *et al.* 2014).

Na fisissorção, adsorção física, as interações das forças são do tipo Van der Waals, intermoleculares e fracas, permitindo que o adsorvente seja regenerado. Nesta interação a cobertura do soluto no adsorvente ocorre em multicamadas com energia de ativação muito baixa ou nula (PERUZZO, 2003; TADINI *et al.*, 2016). Na quimissorção, adsorção química, soluto e adsorvente são ligados por um arranjo de elétrons, sendo por esse motivo irreversível. A cobertura ocorre em monocamada, sendo necessário vencer a energia de ativação entre eles (TADINI *et al.*, 2016; ALMEIDA; 2016).

A capacidade adsortiva é muito influenciada pela temperatura, independentemente do tipo de adsorvente utilizado, uma vez que esse processo é exotérmico, em sua maioria. Ao ser adsorvida, a molécula precisa reduzir seu teor energético, pois tende a perder parte de sua mobilidade, sendo assim libera energia (BARADEL, MUNHOZ, FLAIBAM, 2017). Logo, menores temperaturas são favoráveis à adsorção.

Outro fator que influencia no processo adsortivo é a porosidade do adsorvente. Assim, quanto maior a superfície de contato, maior a adsorção, e conseqüentemente o adsorvente deve ser poroso e essa porosidade deve ser adequada ao soluto, proporcionando maior afinidade de interação moléculas e tamanho de poro adequado (TADINI *et al.*, 2016).

Difusão

De acordo com CREMASCO (2019) difusão refere-se ao transporte de matéria, na forma de átomos, moléculas ou íons, em determinado meio, sendo este gasoso, líquido, sólido, em condição termodinâmica de estado supercrítico ou em plasma. A matéria transportada neste meio recebe o nome de soluto, a qual configura a difusão mássica.

Da perspectiva atômica, refere-se à migração das posições dos átomos no reticulado cristalino, são necessárias duas condições para que ocorra esta movimentação:

- Deve existir um espaço livre adjacente ao átomo;
- O átomo deve possuir energia suficiente para quebrar as ligações químicas que o une a seus átomos vizinhos e então causar uma distorção no reticulado cristalino durante seu deslocamento.

Difusão também é caracterizada em relação ao seu diâmetro (Figura 1):

- Difusão molecular: ocorre em poros de diâmetro grande
- Difusão de Knudsen: ocorre em poros de diâmetro médio (choques entre as moléculas e as paredes dos poros).
- Difusão Configuracional: poros com diâmetro igual moléculas.

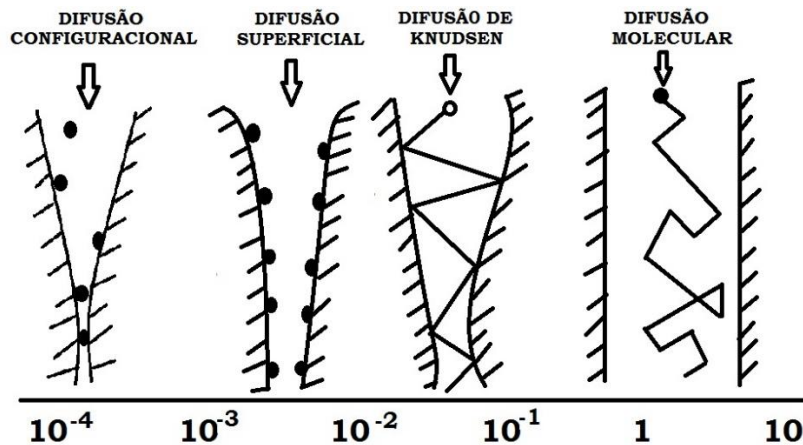


Figura 1 – Tipos de Difusão (Fonte: FELIPPE, 2019)

Isotermas

Segundo NASCIMENTO (2014), o processo de adsorção de transferência de massa ocorre até que o equilíbrio seja alcançado. Para que isso ocorra é necessário que uma certa quantidade de adsorvente (sólido) entre em contato com solução contendo o adsorvato (soluto adsorvível). Nessa interação há a tendência de que a moléculas e íon atraídos pelo adsorvente a ele se aderem e até que a concentração da solução se mantenha constante. Ao atingir o equilíbrio do sistema pode-se obter a capacidade de adsorção do material adsorvente. Assim, essa variável pode ser obtida pela Equação (1):

$$q = \frac{(C_0 - C_e).V}{m} \quad (1)$$

Onde:

q : capacidade de adsorção
 C_0 : concentração inicial do adsorvato
 C_e : concentração do adsorvato no equilíbrio
 V : volume da solução
 m : massa do adsorvente

De acordo com MOREIRA (2008), conhecendo-se q e C_e , é possível construir gráficos de isoterma de adsorção e a partir da análise de suas formas, obter informações a respeito dos mecanismos adsorptivos e processos de adsorção. A Figura 2, representa um gráfico q versus C_e que ilustra as possíveis formas de isotermas de adsorção:

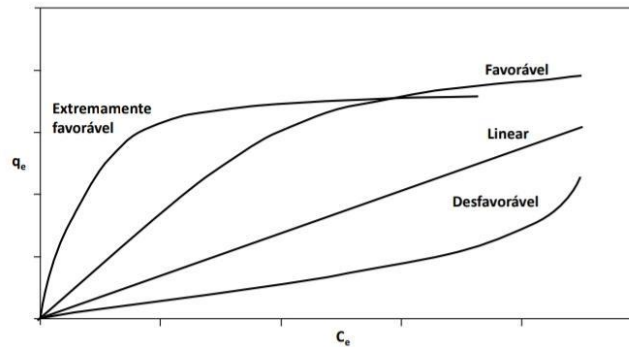


Figura 2 – Formas de isotermas de adsorção (Fonte: MOREIRA,2008)

- **Isoterma linear:** indica que a massa de adsorvida (adsorvato) por unidade de massa de adsorvente é proporcional à concentração de equilíbrio do adsorvato na fase líquida;
- **Isoterma favorável:** mostra que a massa do adsorvato retida por unidade de massa do adsorvente é alta para uma baixa concentração de equilíbrio do adsorvato em fase líquida;
- **Isoterma desfavorável:** informa que a massa do adsorvato retida no poro do adsorvente por unidade de massa, independe da concentração de equilíbrio do adsorvato na fase líquida. Além de que a massa de adsorvato retida por unidade de massa do material adsorvente é baixa, mesmo quando há alta concentração de equilíbrio do adsorvato na fase líquida.

De acordo com a IUPAC existem seis tipos de isotermas, que estão representados na Figura 3:

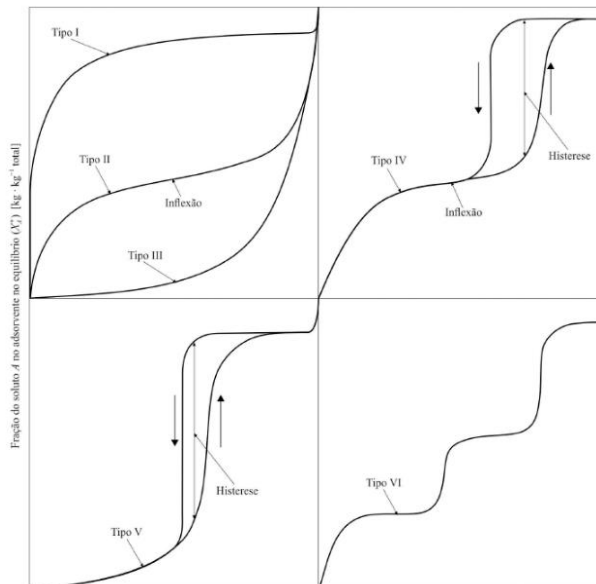


Figura 3 – Tipos de Isotermas segundo a IUPAC (Fonte: TADINI et. al., 2016).

Tipo 1 - indica que a adsorção ocorre em monocamadas, e que o adsorvente possui microporos, ou seja, os poros são menores ou iguais às partículas de adsorvato o que resulta em uma pequena superfície externa (ALMEIDA, 2016)

Tipo 2 – indica o processo de adsorção em multicamadas, em que os adsorventes não apresentam poros ou apresentam macroporos. Esta adsorção é resultante de interações fortes entre o soluto e o adsorvente. A primeira inflexão da curva ocorre quando a primeira camada de adsorção é saturada. A partir disso, ocorrem as formações das multicamadas (ALMEIDA, 2016).

Tipo 3 - ocorre quando o soluto a ser adsorvido tem baixa afinidade com o adsorvente, o que resultará em interações muito fracas entre adsorvente e adsorvato. Os adsorventes apresentam macroporos ou não possuem poros. Com tudo ao longo do processo a interação aumenta, devido à retenção do adsorvato no adsorvente, ou seja, quanto maior a quantidade de soluto adsorvida, maior a interação (TADINI *et. al.*, 2016).

Tipo 4 - a adsorção ocorre com histerese, que é a não sobreposição das curvas ou de partes delas. Os adsorventes são constituídos de mesoporos. Através da histerese é possível encontrar o tamanho e o volume de cada material (TADINI *et. al.*, 2016).

Tipo 5 - aproxima-se da curva 4, porém indica interações muito fracas entre o adsorvato e adsorvente (TADINI *et. al.*, 2016)

Tipo 6 - nesta curva a adsorção ocorre a partir de adsorventes não porosos, com superfície quase uniforme (ALMEIDA, 2016).

Dentre os modelos existentes para explicar a adsorção, utilizam-se os modelos de Langmuir e Freundlich, que são isotermas mais simples para dados experimentais (TADINI *et. al.*, 2016). Outras equações de isotermas que podem ser desenvolvidas são as de Redlich-Peterson, Temkin e Dubinin–Radushkevich (ALI; HULYA, 2010; MCKAY, 1996; OLIVEIRA, *et al.*, 2011; SOUSA NETO, 2011).

Modelo de Langmuir

Langmuir, por volta de 1916, expôs um modelo que se adequava melhor à adsorção de monocamada, pois segundo ele a energia adsorvativa dos sítios são iguais. Este tipo de adsorção é reversível, isto é, não ocorre interações entre as moléculas de soluto adsorvidas (ALMEIDA, 2016). O modelo de Langmuir é proposto pela Equação 2:

$$\frac{X}{W} = \frac{N_m K C}{1 + K C} \quad (2)$$

Onde X é número de moles do soluto dissolvido, W massa do adsorvente, N_m saturação da monocamada, C concentração do adsorvato no equilíbrio e K (m³·kg⁻¹) é a constante do modelo (ALMEIDA, 2016).

A linearização desta equação (Equação 3) permite determinar os valores de N_m e K. A linearização é realizada a partir do método de Lineweaver – Buck, como mostra a Equação 2 (NASCIMENTO *et. al.*, 2014):

$$\frac{W}{X} = \frac{1}{N_m K} * \frac{1}{C} + \frac{1}{N_m} \quad (3)$$

A isoterma de Langmuir pode ser expressa pelo fator de separação, chamado R_L. Ele pode ser obtido pela seguinte equação:

$$R_L = \frac{1}{1 + K L C_0} \quad (4)$$

Seus valores indicam tipos de isotermas de acordo com a tabela 1:

Tabela 1 – Classificação das Isotermas

Fator de Separação (R _L)	Tipo de Isoterma
R _L > 1	Desfavorável
R _L = 1	Linear
0 < R _L < 1	Favorável
R _L = 0	Irreversível

Modelo de Freundlich

O modelo de isoterma apresentado por Freundlich demonstra adsorção em multicamadas, em sólidos heterogêneos e pode ser utilizado em sistemas não ideais. Nesta isoterma é realiza a distribuição exponencial de diferentes energias de adsorção (NASCIMENTO *et. al.*, 2014), de acordo com a Equação 5:

$$\frac{W}{X} = K \cdot C^{\frac{1}{n}} \quad (5)$$

Onde X é número de moles do soluto dissolvido, W massa do adsorvente, C é a concentração de equilíbrio do soluto na fase fluida, K (kg·m⁻³)^{-1/n} é a constante do modelo e n é a constante referente a heterogeneidade da superfície do adsorvente, que indicará a intensidade da adsorção (TADINI *et. al.*, 2016).

Por meio da linearização da equação encontra-se as constantes, utilizando logaritmo em ambos os lados da equação, como na Equação 5 (NASCIMENTO *et al.*, 2014):

$$\log\left(\frac{W}{X}\right) = \log K + \frac{1}{n} \log C_A \quad (6)$$

Modelo de Redlich-Peterson

Esse modelo matemático (Equação 7) pode ser aplicado a processos adsorptivos que apresentam amplas faixa de concentração, pode ser utilizado para sistemas homogêneos ou heterogêneos. Três parâmetros compõem essa equação de isoterma, são eles K_{RP} , a_{RP} e β . Além disso, consiste na união de características dos modelos de Langmuir e Freundlich, quanto β tende a 1, e quanto tem de zero respectivamente. Geralmente esse modelo é utilizado para prever equilíbrios de adsorção de metais pesados por biossorventes.

$$q_e = \frac{K_{RP} C_e}{1 + a_{RP} C_e^\beta} \quad (7)$$

Modelo de Temkin

Modelo mais adequado para processo de adsorção gasosa, com dois parâmetros, essa equação de isoterma considera interações adsorvente-adsorvato e a uniformidade em que se distribuem as energias de ligação. Seu cálculo desconsidera os extremos de alta e baixa concentrações e ainda assume o decréscimo linear do calor de adsorção das moléculas na camada do adsorvente. A capacidade de adsorção, pode ser obtida nesse modelo pela Equação 8:

$$q_e = \frac{RT}{b} \ln(a_T C_e) \quad (8)$$

Onde:

q_e : quantidade de soluto adsorvido no equilíbrio

R: constante universal dos gases

T: temperatura

b: constante de Temkin em relação ao calor de sorção

a_T : constante da isoterma de Temkin

C_e : concentração do adsorvato em solução, no equilíbrio

Modelo de Dubinin-Radushkevich

Assim como a equação de Temkin, este modelo é pouco aplicado em sistemas de fase líquida, pois não considera aspectos que compõem esse meio. Utilizada para adsorvente de superfície não homogênea. Apresenta-se a Equação 9 não linear:

$$q_e = q_m \exp(-k\varepsilon^2) \quad (9)$$

Equação 10 linearizada:

$$\ln q_e = \ln q_m - k\varepsilon^2 \quad (10)$$

Onde:

ε : potencial de Polanyi

q_e : capacidade de adsorção no equilíbrio (mol.g⁻¹)

q_m : capacidade máxima de adsorção teórica para formação de uma monocamada (mol.g⁻¹)

k: constante associada à energia de adsorção

O potencial de Polanyi pode ser obtido pela Equação 11:

$$\varepsilon = RT \ln\left(1 + \frac{1}{C_e}\right) \quad (11)$$

Onde R é a constante dos gases reais (8,314 J. mol⁻¹), T é a temperatura do meio em escala termodinâmica K (Kelvin) e C_e representa a concentração da espécie química (mol. L⁻¹).

A energia média de adsorção está associada à constante k na equação 9, e é representada por E (kJ.mol⁻¹), pela seguinte Equação 12:

$$E = \frac{1}{\sqrt{k}} \quad (12)$$

Essa energia é utilizada para a diferenciar adsorção de metais, auxiliando a identificar se há interação é física ou química.

Casca de banana como Bioadsorvente

A banana é uma das frutas mais consumidas do mundo, sendo seu cultivo de grande importância econômica, sendo Brasil, China e Equador os principais produtores, no Brasil destaca-se como a segunda fruta mais importante devido a quantidade produzida, valor da produção e consumo (BORGES; SOUZA 2004).

Cultivada em muitos estados brasileiros, a banana é uma fruta popularmente consumida (FRANCISCO, 2011). Considerada como poluente, a casca da banana apresenta propriedades adsorventes, capaz de adsorver metais, compostos orgânicos (BONIOLLO, 2005) e pigmentos (MARTINS *et al.*, 2015).

A casca da banana representa cerca de 47 a 50% em peso da fruta madura, na qual não existe nenhuma aplicação de ordem industrial para seu consumo, sendo ocasionalmente oferecida como alimento de animais. Sua composição centesimal é 75% de água e 25% de matéria seca (Gondim *et al.*, 2005).

A utilização da casca da banana como bioadsorvente contribui para a solução de dois problemas conhecidos, a biomassa residual que passa a ser retirada dos locais de despejo e os efluentes que podem ser devidamente tratados com a reutilização desse material (BONIOLLO, 2005). No processo de formação da banana, sítios de adsorção presentes na sua casca já são ocupados por íons metálicos, logo, precisam de adequada remoção (CRUZ, 2009). Frente a essa necessidade, deu-se o surgimento de bioadsorventes de origem de restos de materiais da agroindústria para remediação.

Metodologia

A metodologia abordou duas vertentes: a primeira em relação à ativação da casca de banana em diferentes meios e sua caracterização, e a segunda em relação à construção de isotermas e aplicação de modelos.

Ativação das cascas de banana

As cascas de banana foram ativadas segundo Martins, et al. (2015). Realizou-se a coleta do material em escolas que servem este alimento às crianças. Sendo assim, as cascas foram levadas ao laboratório para a realização da lavagem em água destilada, uma vez que as cascas de banana não podem ser lavadas em água de torneira devido à capacidade de adsorver metais contidos na mesma.

Após serem lavadas, as cascas foram cortadas em pedaços de cerca de 5 cm e em seguida foram submetidas à ativação em meio ácido, básico ou natural (água destilada).

Ativação em meio ácido

Primeiro realizou-se a ativação do material em solução ácida de ácido clorídrico (HCl) a 0,5 mol/L. 500g de cascas de banana foram divididas em 2 béqueres de 1000 ml de capacidade, e adicionou-se a solução ácida até que ficassem submersas. Nessa etapa do processo, manteve-se o material em constante agitação (manual) com o auxílio de um bastão de vidro, por 2 horas. Ao término do período de 2 horas, retirou-se o material do meio ácido e aferiu-se sua massa.

Após, foram submetidas ao processo de lavagem por banho de imersão, procedimento necessário para retirar, por diferença de concentração, resíduo do meio de ativação que ficou nos poros. Adicionou-se ao material certa quantidade de água destilada, até que ficassem cobertas pelo líquido, e assim realizou-se a lavagem deixando o material em descanso na água e trocando-a a cada 30 minutos, por 4 vezes. Essa lavagem é necessária para retirar, por diferença de concentração, resíduo do meio de ativação que ficou nos poros.

Ao encerrar este processo, submeteu-se o material à etapa de secagem. Utilizando-se recipientes amplos, expôs-se o material à luz do sol, por 3 dias, a fim de totalizar 20 horas de exposição).

Então, secou-se o material em estufa a 65°C durante dois períodos de 12 horas com descanso de 12 horas. Com as cascas já secas, triturou-as em liquidificador, obtendo-se um pó resultante do material.

Ativação em meio básico

Realizou-se a ativação do material em duas soluções básicas diferentes. Foi utilizada uma solução de hidróxido de sódio (NaOH) a 0,5 mol/L e uma solução de bicarbonato de sódio (NaHCO₃) também a 0,5 mol/L, desenvolvendo-se o mesmo procedimento para ambas. Utilizou-se, inicialmente, um pouco mais de 1 kg de cascas de banana que foram divididas em 4 béqueres de 1000 ml de capacidade, e adicionou-se a solução básica até que as cascas de banana ficassem submersas. Nessa etapa do processo, manteve-se o material em constante agitação (manual) com o auxílio de um bastão de vidro, por 2 horas.

Ao término do período de 2 horas, retirou-se o material do meio básico e adicionou-se ao material certa quantidade de água destilada, até que este ficasse coberto pelo líquido, e fosse realizada a lavagem por imersão.

Essa lavagem é necessária para retirar, por diferença de concentração, resíduo do meio de ativação que ficou nos poros. Esse procedimento, devido às características da ativação básica, precisou ser realizado 10 vezes.

Ao encerrar este processo, submeteu-se o material à etapa de secagem, assim expôs-se o material à luz do sol, por 3 dias, a fim de totalizar 20 horas de exposição.

Então, secou-se o material em estufa a 65°C durante dois períodos de 12 horas com descanso de 12 horas. Com as cascas já secas, triturou-as em liquidificador, obtendo-se um pó resultante do material.

Caracterização das amostras

Para verificar a estrutura do material adsorvente obtido, foi realizada análise de microscopia eletrônica de varredura (MEV). Foi utilizado o Microscópio da Phenon World, modelo Pro X, com configuração de alta tensão de aceleração (15kV). As análises foram realizadas para a casca de banana nos meios ácido e básico (hidróxido de sódio).

Para analisar a caracterização do material particulado quanto ao tamanho da partícula, foram realizadas análises granulométricas por meio de peneiramento para cada tipo de tratamento do bioadsorvente. Foi utilizado o agitador de peneiras Solotest com 6 peneiras de respectivamente 8, 10, 16, 30, 50 e 200 Mesh. Pesaram-se as quantidades de material retidas em cada peneira e realizou-se o cálculo do diâmetro médio das partículas através da média ponderada, em função das massas.

Foram utilizados três modelos matemáticos para descrever a distribuição granulométrica: Gates Gaudin, Schumann (GGS), Rosin, Rammler e Bennet (RRB) e o modelo que estabelece a função $X = X(D)$ no formato log-nominal (FLARE, 2000).

Obtenção das Isotermas

A construção das Isotermas de Adsorção foi realizada com 11 dados para cada curva. Cada curva foi obtida para um volume de 50 mL de solução com concentração 13 mg/L de Amarelo de Tartrazina e 676 mg/L de concentração para o Azul Índigo com os respectivos comprimentos de onda 430nm e 600nm, as quais foram colocadas em béqueres com as seguintes quantidades de adsorvente em gramas: 0,05; 0,06; 0,08; 0,10; 0,12; 0,14; 0,15; 0,17; 0,19; 0,21; 0,23. A solução com o adsorvente permaneceu em constante agitação por 1 h. Ao término do tempo de contato, as amostras foram filtradas e o meio líquido foi analisado em espectrofotômetro para comparar com a solução inicial de corante. Realizou-se o procedimento com a temperatura ambiente, cerca de 26°C e em banho de gelo a 10°C.

A partir destes dados, foram construídas as curvas de isotermas que em um gráfico cujo eixo y apresenta a divisão do número de mols adsorvido (X) pela quantidade de adsorvente utilizado (W), e o eixo x, a concentração da solução coletada (mg/L).

Modelos Matemáticos

A partir do cálculo da capacidade de adsorção aplicaram-se os dados obtidos aos modelos matemáticos: Langmuir (Equação 2), Freundlich (Equação 4) obtendo-se diferentes curvas de adsorção.

Esses modelos foram aplicados utilizando-se o software Excel® e realizando o ajuste com a ferramenta solver®.

Resultados e Discussão

Ativação em Meio ácido

Realizaram-se duas bateladas, com diferentes quantidades do material. Durante a permanência da casca de banana no tratamento ácido, observou-se alteração na coloração da solução que inicialmente apresentou-se incolor e, posteriormente, assumiu coloração levemente marrom com aspecto turvo (Figura 4a).

Na primeira batelada, ao término do período de 2 horas, retirou-se o material do meio ácido e pesou-se, registrando redução de 71,4% de sua massa inicial de 500 g, obtiveram-se 143g de material. No procedimento de lavagem após o tratamento ácido, não se observou alteração na coloração das trocas de água, nem turbidez. Após à exposição ao sol, observou-se escurecimento das cascas que inicialmente apresentavam coloração característica amarela, mudando para cor marrom, fato devido a reações de oxidação dos compostos da casca. A textura do material também mudou ficando seca, dura e retorcida, conforme a Figura 4b. Após o processo de trituração, obtiveram-se 23,01 g de adsorvente, rendimento de 4,6%.



Figura 4 – (A). Solução turva em meio ácido; (B) cascas após a secagem ao sol (Fonte: Próprio Autor).

Na segunda batelada, realizando-se o mesmo procedimento, prepararam-se 989,17 g de cascas de banana, obtendo-se após o processo de trituração 75,69 g de adsorvente, com um rendimento de 7,65%.

A diferença encontrada no rendimento, pode ser devido à conservação das cascas de banana, as quais são provenientes de uma escola, isto é, a banana consumida poderia estar mais ou menos madura, o que causaria essa diferença.

Ativação em Meio básico com Hidróxido de Sódio (NaOH)

Foram realizadas duas bateladas de preparação. Durante este período de tempo, observou-se alteração na coloração da solução que inicialmente apresentou-se incolor e posteriormente assumiu coloração marrom intensa com aspecto turvo. As cascas passaram a escurecer e atingiram tom verde-escuro. A base pode ter acelerado o processo de decomposição da casca de banana.

No processo de lavagem, a coloração das trocas de água continuou com o aspecto da solução inicial, porém não estavam turvas, e mesmo após 5 horas de limpeza, o aspecto do meio continuava como o inicial. Após à exposição ao sol, observou-se grande redução em sua massa, característica da desidratação sofrida, conforme demonstra a Figura 5.

O adsorvente em pó apresentou massa de 21,7809g, redução significativa comparada com a massa inicial da casca de banana in natura que foi de 1112,3g, obtendo-se o rendimento de 1,96%. A degradação da estrutura auxiliou a exposição da água constituinte da casca da banana, contribuindo para uma maior desidratação e, conseqüentemente, menor massa final.



Figura 5 – (A) Coloração escura e turbidez do material em meio básico, (B) escurecimento cascas; (C) material depois da exposição ao sol (Fonte: Próprio Autor).

Na segunda batelada, realizando-se o mesmo procedimento, preparou-se 1285,70g de cascas de banana, obtendo-se após o processo de trituração 39,88g de adsorvedor, com um rendimento de 3,10%.

Ativação em meio básico com solução de Bicarbonato de Sódio (NaHCO₃).

Realizaram-se duas bateladas para a preparação do material. Quando colocado em contato com a solução notou-se um escurecimento das cascas do seu contorno em direção ao centro, que manteve-se com o aspecto característico da casca de banana, com coloração amarela. Após 30 minutos de contato, a solução apresentou turbidez e ficou um pouco escurecida, porém não se observou grau de degradação do material, que no final do período de 2h apresentou-se um pouco retorcido. Durante o processo de lavagem do material, notou-se que a água de troca se apresentou levemente turva e com coloração em tom de marrom claro, durante as etapas. Quanto ao

processo de secagem houve redução da massa do material, devido à desidratação sofrida no processo. As cascas ficaram retorcidas e bem escuras, conforme mostra a Figura 6.

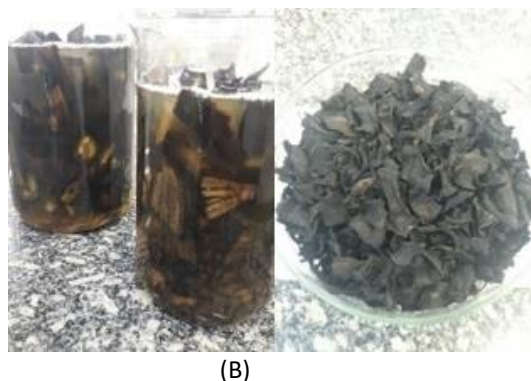


Figura 6 – (A) Turbidez da solução de NaHCO_3 , escurecimento do material, à direita, (B) o material pós lavagem, à esquerda material seco (Fonte: Próprio Autor)

Depois de moído obteve-se um pó, e observou-se grande redução da massa do material. A massa inicial das cascas in natura foi de aproximadamente 3,5 kg, enquanto o pó obtido ao final do processo, representou cerca de 4,28% dessa quantidade.

Ativações em Meio natural (água destilada)

Este procedimento foi realizado em uma batelada. Durante este período de tempo, observou-se alteração na coloração da solução que inicialmente apresentou-se incolor e posteriormente assumiu coloração marrom com aspecto levemente turvo. As cascas passaram a escurecer num tom de marrom-escuro, provavelmente devido a um processo de oxidação da casca.

Ao término do período de 2 horas, retirou-se o material do meio aquoso e, visualmente, pode-se perceber certa redução no volume do material. Observou-se também certa alteração na estrutura do material que ficou um pouco retorcido e com leve cheiro característico de degradação.

O processo de lavagem foi satisfatório, observando-se que a água de troca passou a sair limpa. Após à exposição ao sol, observou-se grande redução em sua massa, característica da desidratação sofrida, além de o material assumir coloração preta após esse processo (Figura 7).

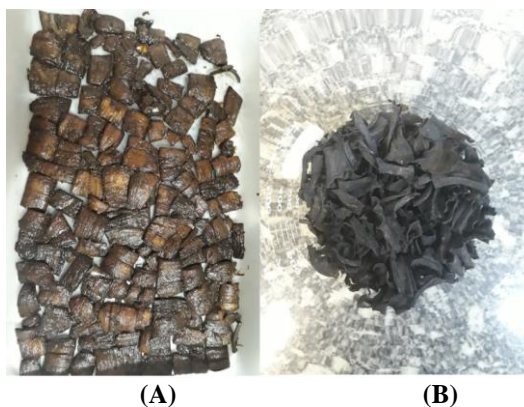


Figura 7 – (A) Material retirado da solução aquosa; (B) redução da massa do material preparado em solução aquosa

O adsorvente em pó apresentou massa de 60,06g, grande redução quando comparada com a massa inicial da casca de banana in natura que foi de 1123,43g, obtendo-se o rendimento de 5,35%.

A Tabela 2 apresenta a compilação dos resultados de rendimento mássico obtidos das preparações realizadas:

Tabela 2 – Rendimento mássico da casca de banana preparada em diferentes meios.

	Meio ácido	Meio básico NaOH	Meio básico NaHCO ₃	Meio natural
Massa inicial in natura	1489,17g	2398g	3500g	1123,43g
Massa final (pó)	98,60g	61,6609g	149,80g	60,06g
Rendimento	6,62%	2,57%	4,28%	5,35%

Diante dos resultados obtidos, o melhor rendimento do material ocorreu em meio ácido, sendo este de 6,62%.

Caracterização do bioadsorvente obtido

A caracterização do material bioadsorvente foi feita em análise de imagem pela microscopia eletrônica de varredura (MEV) e em dimensão pela determinação do tamanho médio do material obtido utilizando a ferramenta da distribuição granulométrica.

Na Figura 8, observa-se a superfície do material submetido aos seus respectivos meios de ativação, com resolução de 200µm. O material ativado em meio ácido (Figura 8a), apresentou menor dano em sua superfície. Em contrapartida, a ativação em meio básico, causou danos severos à casca de banana (Figura 8b), apresentando sensibilidade à ação de uma base forte.

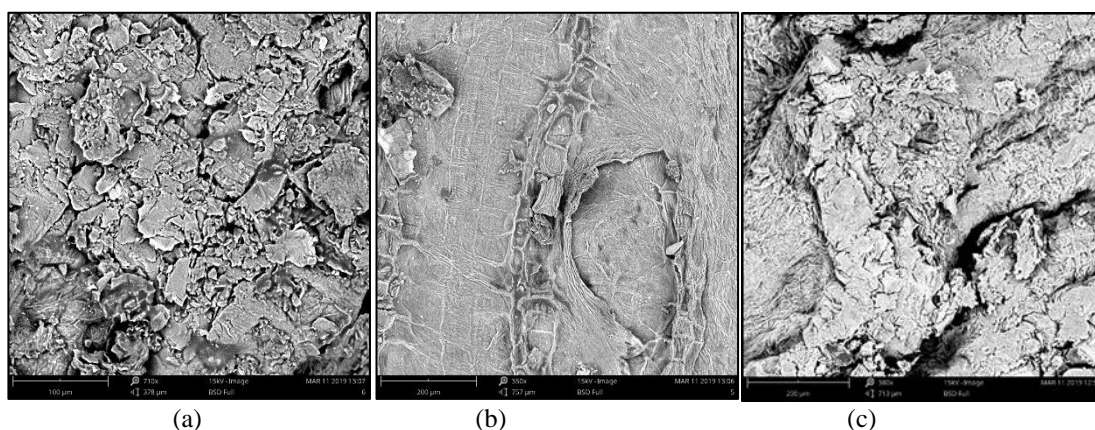


Figura 8 – MEV Casca de banana em (a) meio ácido, (b) meio básico, (c) meio natural

Para a obtenção dos dados de distribuição granulométrica do bioadsorvente, apresentados na Tabela 3, utilizou-se 84,502 g, 49,114 g e 45,825 g da casca de banana para cada meio de ativação, ácido, básico e aquoso, respectivamente.

Tabela 3 – Análise granulométrica – Casca de banana.

Peneira (mesh)	Di (mm)	Massa Casca Banana (g) em meio ácido (HCl)	Massa Casca Banana (g) em meio básico (NaOH)	Massa Casca Banana (g) em meio aquoso (água destilada)
8	2,360	3,763	3,410	5,910
10	2,000	3,248	3,048	4,854
16	1,180	19,278	14,417	16,841
30	0,600	36,184	20,037	11,608
50	0,300	11,021	7,341	3,621
200	0,075	10,911	0,862	2,828
Fundo		0,0980	-----	0,1632

Obteve-se similaridade para as três preparações ao analisar o diâmetro das partículas referentes à peneira 30, sendo sua abertura de 0,6 mm, pois para ambos os meios nesta faixa se concentrou as maiores quantidades de material, representando 42,87% para o meio ácido, 40,80% para o meio básico em relação às massas totais. O diâmetro médio da casca de banana tratada em ácido apresentou o tamanho, $0,76 \pm 0,09$ mm e também o de menor desvio padrão, isto é, o de partículas com tamanhos mais próximos. O tratamento com a base apresentou diâmetro médio de $0,92 \pm 0,1$ mm e o tratamento somente com a água, de $1,13 \pm 0,13$ mm. Este resultado mostra que a

alteração do meio de tratamento do adsorvente contribuiu para diminuir seu tamanho e aumentar a área de contato com o meio a ser adsorvido.

Foram aplicados os modelos granulométricos aos resultados obtidos e o modelo que melhor representou essas amostras foi o Gates, Gaudin, Schumann (GGS), representado pela Equação (13):

$$X = \left(\frac{D}{k}\right)^m \quad (13)$$

Onde:

D – diâmetro de partícula;

X – fração cumulativa com diâmetro menor que D;

k – parâmetro do modelo GGS;

m – parâmetro do modelo GGS;

A partir deste calculou-se o diâmetro médio de Sauter para a ativação em HCl que foi, 0,322 mm, segundo a Equação (14):

$$D_i = 1 / \sum(x_i/D_i) \quad (14)$$

Assim, obteve-se o gráfico a seguir, com a representação de cada uma das ativações, meio ácido, básico e aquoso.

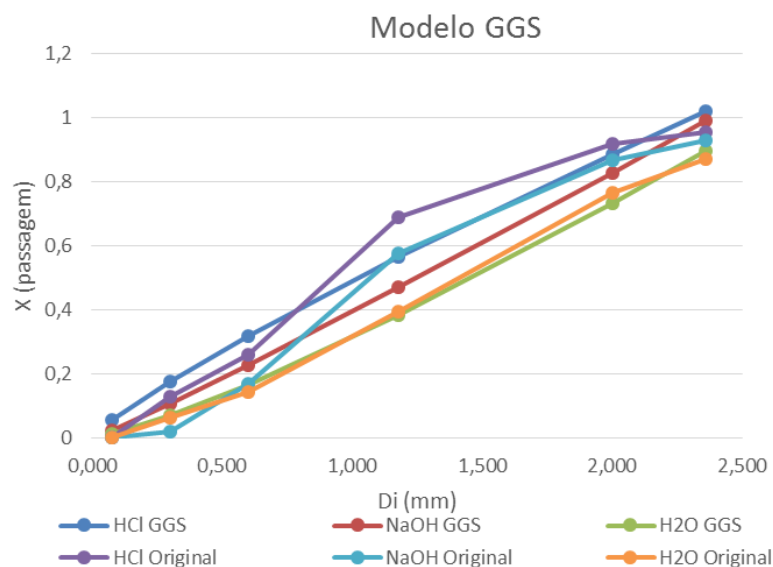


Figura 9 – Amostras originais de cada ativação e a aplicação do modelo GGS para cada uma delas (Fonte: Próprio Autor, 2019)

Na representação gráfica, assim como na tabela 3, nota-se que o material ativado em meio ácido apresentou menores diâmetros, resultando de maiores valores de X(passagem), sendo superior às demais preparações.

Isotermas de Adsorção

As isotermas foram obtidas para as diferentes condições apresentadas na metodologia. Para o Amarelo de Tartrazina, foi obtida à temperatura ambiente e a 10°C (Figura 10a), utilizando-se o bioadsorvente obtido nas quatro diferentes ativações, enquanto que para o Azul Índigo foi obtida à temperatura ambiente (Figura10b).

Inicialmente analisou-se o comportamento adsorptivo do material ativado em cada meio e diferentes corantes, com isso notou-se que o processo adsorptivo não ocorreu de maneira satisfatória com os materiais ativados nos meios básico e neutro. Em meio básico acredita-se que a degradação do material seja um fator importante pois a ação corrosiva da base forte NaOH que pode ter atingido os sítios ativos do material destruindo-os, além disso as soluções que continham essas amostras apresentaram muita turbidez e escurecimento, inviabilizando a leitura em espectrofotômetro. A base fraca (NaHCO₃) apresentou resultados similares, o que indica que a ativação básica não é eficiente para nenhum desses corantes. Quanto ao material ativado em meio aquoso (neutro), nota-se que não houve qualquer interação,

o que comprova que não é possível obter ativação dos sítio em meio neutro. Desta forma, nenhuma das isotermas previstas pela IUPAC representam essa adsorção.

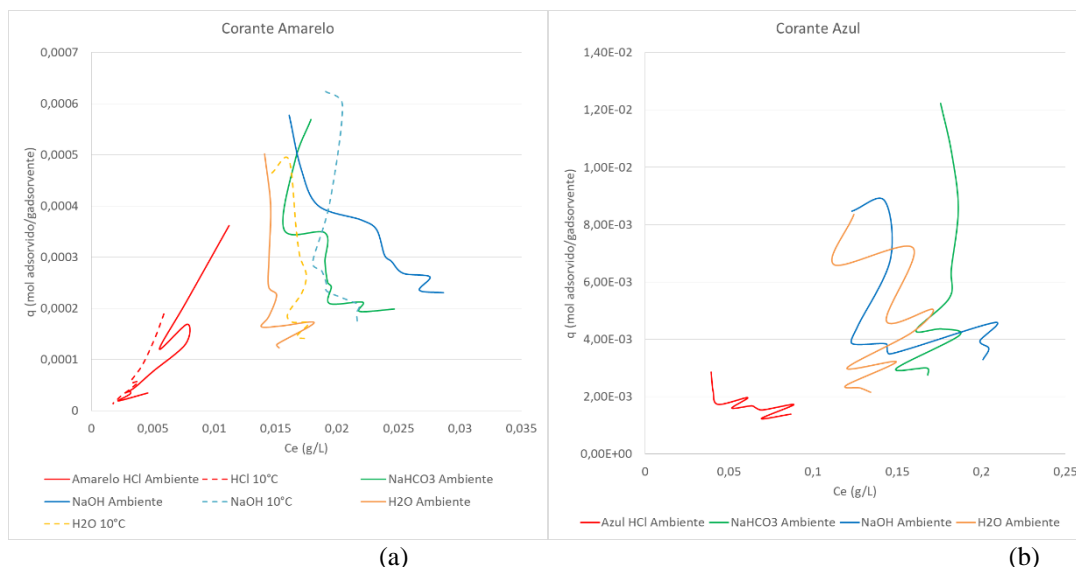


Figura 10 – (a) Comportamento adsorptivo do material com corante amarelo, (b) material com corante azul (Fonte: Próprio Autor, 2020).

No meio ácido para o corante Amarelo de Tartrazina, observa-se que a adsorção para o corante amarelo à temperatura ambiente apresentou-se semelhante à isoterma III da IUPAC, a qual representa em que o soluto apresenta baixa afinidade com o adsorvente. Entretanto, para o corante Azul, a isoterma obtida é não favorável, o que indica baixa afinidade do bioadsorvente com o corante.

Sabe-se que a temperatura é um fator de influência no processo adsorptivo, pois sua elevação pode causar a desobstrução de poros, melhorar a difusão e sua variação pode alterar o estado de equilíbrio de alguns adsorvatos, uma vez que é um processo exotérmico. Desta forma, construíram-se isotermas para o corante Amarelo de Tartrazina com os bioadsorvente ativados em HCl, NaOH e H₂O para a temperatura de 10°C. Nos meios básico e neutro, a temperatura não influenciou, concluindo que mesmo com a menor temperatura, o bioadsorvente não conseguiu adsorver. Já para a casca de banana ativada em meio ácido, houve uma melhora na adsorção, pois a concentração na solução diminuiu, o que indica maior quantidade de material adsorvido.

Mesmo com interação não favorável, a isoterma obtida para o corante Azul com casca de banana em meio ácido, a concentração da solução diminuiu. Assim, optou-se por aplicar os modelos matemáticos e seguir esse estudo apenas com o material ativado em meio ácido (HCl).

Isotermas aplicadas com modelos matemáticos

Após a construção das isotermas, foram ajustados os modelos de Langmuir e Freundlich, Redlich-Peterson, Temkin e Dubinin-Radushkevich a fim de identificar as características da adsorção. A Figura 11 apresenta os gráficos dos modelos ajustados para a isoterma obtida com o bioadsorvente ativado em meio ácido e realizada a adsorção em temperatura ambiente (cerca de 25°C) com o corante Amarelo de Tartrazina. A curva na coloração laranja, representa a isoterma obtida com os dados experimentais.

Os modelos de Langmuir, Freundlich e Dubinin-Radushkevich (esses dois últimos sobrepostos) estiveram mais próximos da isoterma experimental. Os outros dois modelos, não se ajustaram bem à isoterma experimental. É possível notar que os modelos de Langmuir e Redlich-Peterson apresentaram comportamento linear e semelhantes, uma vez que o modelo de Redlich-Peterson é uma melhoria de Langmuir. Entretanto suas interpretações são diferentes. O modelo de Redlich-Peterson é mais utilizado para prever equilíbrios na biossorção de metais, já o modelo de Langmuir, pode representar o modelo de adsorção de corantes em meio líquido. O modelo de Temkin, mostrou-se inadequado para a experimentos de biossorção, e segundo a literatura é um ajuste eficiente para processos de adsorção gasosa.

O modelo de Dubinin-Radushkevich, mesmo sendo muito semelhante ao de Freundlich, não pode representar esse modelo, pois é mais adequado a sistemas gasosos. O modelo de Freundlich prevê uma adsorção física, portanto, de baixa ligação entre o soluto e o adsorvente, mesmo sistema identificado pela classificação da IUPAC. Desta forma, pode-se concluir que esta adsorção pode ocorrer ocorre em multicamadas, tendendo a apresentar interação física entre adsorvente e adsorvato.

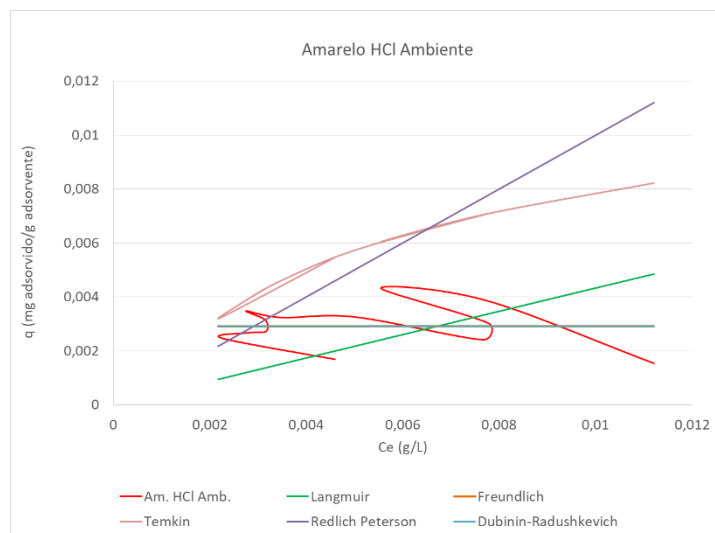


Figura 11 – curvas de adsorção para o corante amarelo em temperatura ambiente (Fonte: Próprio Autor, 2020)

A Figura 12 apresenta os ajustes realizados para a isoterma obtida a 10°C com o bioadsorvente ativado em meio ácido e o corante amarelo de Tartrazina.

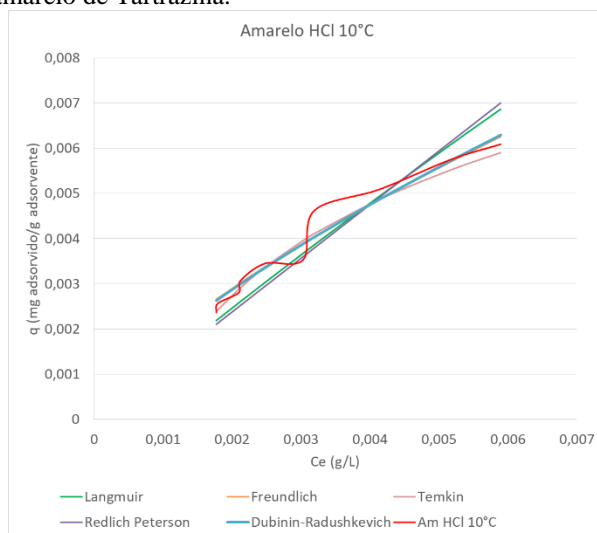


Figura 12 – Isotermas de adsorção para o corante amarelo à 10°C (Fonte: Próprio Autor, 2020)

Diferentemente das projeções apresentadas à temperatura ambiente, nota-se que a baixas temperaturas, a isoterma é favorecida por ser um processo exotérmico e é possível obter maior similaridade entre os modelos. Pode-se notar que as curvas de adsorção de Lagmuir e Rendlich-Peterson, também apresentam coerência. Assim como na análise em temperatura ambiente, o modelo de Freundlich teve com comportamento satisfatório, com característica de interação física, comportamento favorável à adsorção com ocorrência de multicamadas.

A Figura 13 apresenta os ajustes realizados para a isoterma obtida à temperatura ambiente, em torno de 25°C, com o bioadsorvente ativado em meio ácido e o corante Azul Índigo.

Ao analisar aos resultados obtidos, nota-se que não foi possível ajustar nenhum modelo. Entretanto, dentre os valores de erro, o modelo de Freundlich pode representar a adsorção analisada. Junto à curva de Langmuir, tem-se comportamento favorável à adsorção enquanto os modelos de Temkin e Redlich-Peterson apresentam linearidade. Diferente dos demais resultados, a curva de adsorção de Dubinin-Radushkevich foi nula.

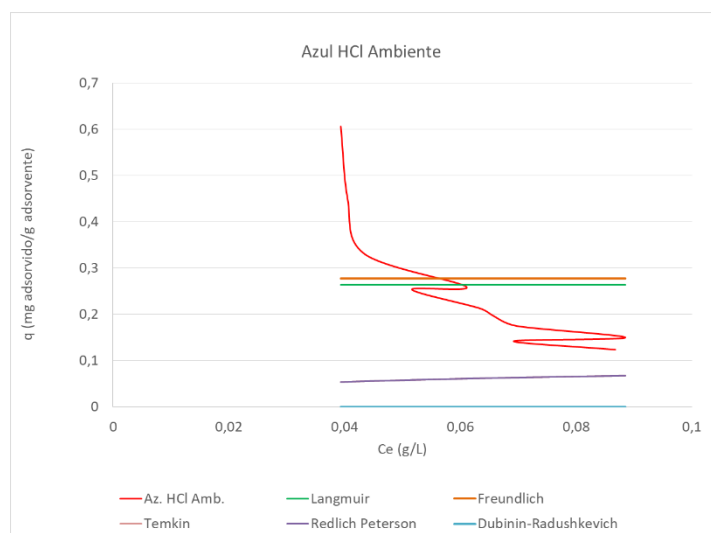


Figura 13 – Curva de adsorção corante azul à temperatura ambiente (Fonte: Próprio Autor, 2020).

A Tabela 4 apresenta os erros de cada modelo ajustado.

Tabela 4 – Parâmetros dos corantes analisados de acordo com a temperatura

Modelos	Amarelo à temperatura ambiente	Amarelo à 10°C	Azul à temperatura ambiente
Langmuir	3,2E-05	1,9E-06	0,22
Freundlich	5,4E-06	6,9E-07	0,20
Temkin	1,1E-4	6,4E-07	1,1E-3
Redlich-Peterson	1,0E-10	2,6E-06	--
Dubini	5,4E-06	6,8E-07	--

Sabe-se que os modelos de Langmuir e Freundlich são os mais simples e mais utilizados para o estudo de comportamento adsorptivo em meio aquoso, e que os demais comumente são utilizados para adsorção gasosa. Dentre esses, o modelo de Langmuir foi o que apresentou menor erro. Ressalva-se que o erro encontrado é a diferença com a isoterma experimental ao quadrado para eliminar valores negativos e mascarar tendências. Essa conclusão corrobora com o perfil da IUPAC de adsorção física.

Foram então determinados os parâmetros do modelo de Freundlich ajustados para as isotermas e organizados na Tabela 5.

Tabela 5 – Parâmetros dos corantes analisados de acordo com a temperatura

Parâmetros	Amarelo à temperatura ambiente	Amarelo à 10°C	Azul à temperatura ambiente
n	11442	1,4	2,0E-8
Kf (mg/L)	0,003	0,240	0,278

A constante K_f está relacionada com a capacidade adsorptiva. O valor de n determina se a adsorção é favorável ($1 < n < 10$), desfavorável ($0 < n < 1$) ou inviável ($n < 0$), nesse último caso o solvente tem mais afinidade pelo adsorvente do que o soluto (NASCIMENTO et al. 2014). Conforme observado nas isotermas, a obtida para o Amarelo de Tartrazina à 10°C, foi a única favorável, confirmada pelo valor de n. A obtida para o Azul à temperatura ambiente, que mostrou menor valor na solução, não é favorável, como também observado na isoterma. Já para o Amarelo à temperatura ambiente, o valor de n mostrou que não é favorável, provavelmente devido ao ruído da isoterma. A capacidade adsorptiva deste, foi cerca de 100 vezes menor que a dos demais.

Efetividade de adsorção

Pode analisar a efetividade da adsorção pelo percentual de remoção do corante do meio (%R), que é dado pela equação:

$$\%R = \frac{C_0 - C_e}{C_0} (100) \quad (15)$$

Onde, C_0 e C_e são as concentrações inicial e final de corante na fase líquida (g/L).

Assim obteve-se a representação na figura 16, na qual de acordo com o apresentado anteriormente a adsorção do corante amarelo ocorreu melhor a baixa temperatura, e o corante azul foi o melhor adsorvido. Isso pode ser devido a esse pigmento ser mais fraco, pois para a preparação da solução e possível leitura em espectro, foi necessário utilizar uma concentração 52 vezes maior que a utilizada com o corante amarelo.

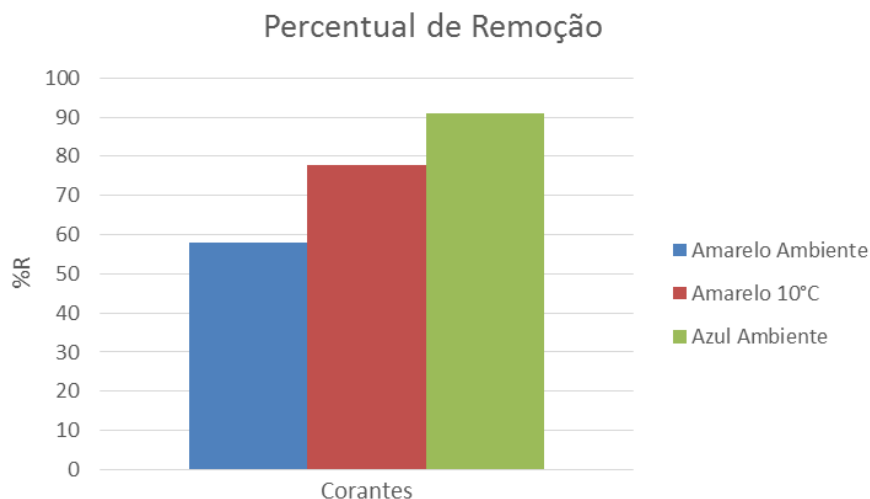


Figura 16 – Percentual de remoção dos corantes no meio

Conclusão

Ao longo do desenvolvimento deste projeto de pesquisa, pôde-se identificar e empregar métodos de caracterização, análise e obtenção do bioadsorvente casca de banana realizando sua preparação em diferentes meios e a construção de isotermas. Objetivou-se estudar e empregar modelos matemáticos a fim de verificar qual o melhor método representa as isotermas estudadas para cada um dos corantes: amarelo e azul.

Pôde-se observar que o rendimento deste adsorvente é pequeno quando comparado às massas iniciais utilizadas em cada preparação. Nota-se que em meio ácido apresentou maior rendimento, seguido da ativação aquosa, ativação básica em bicarbonato de sódio e ativação básica em hidróxido de sódio. Com isso pode-se concluir que a base bicarbonato de sódio, possivelmente por ser mais fraca, causa menor desidratação e agressão à superfície do material.

O bioadsorvente casca de banana foi favorável para a adsorção de corante amarelo e azul quando ativado em meio ácido, pois foi a que apresentou menor granulometria e menor dano superficial, sendo esta interação fraca e física classificada como fisissorção. O meio básico mostrou-se mais agressivo quando preparado com NaOH a ambas as estruturas, uma vez que a base fraca NaHCO_3 causou menor degradação quando comparada visualmente com o material ativado na base forte. Pode-se justificar esse resultado devido a reação da base com o componente orgânico, o que não ocorre com o ácido HCl que não ataca a estrutura orgânica do adsorvente, possibilitando a ativação de sítios e a interação adsorvente/adsorvato.

A temperatura influenciou a adsorção para a casca de banana, e diminuiu a quantidade de soluto na solução.

Dos modelos matemáticos empregados, Tenkin, Redlich-Peterson e Dubinin-Radushkevich mostraram-se menos representativos, pois seus modelos não consideram todas as variáveis para meio líquido, e são mais aplicáveis em estudos de adsorção gasosa.

Os modelos de Langmuir e Freundlich, são os mais aplicáveis à meios aquosos, e apresentam melhor representação gráfica e de parâmetros comparativos. Notou-se bom comportamento do modelo de Freundlich tendendo ao favorecimento da adsorção principalmente para a temperatura de 10°C com corante amarelo.

Desta forma, conclui-se que a casca de banana pode ser aplicada como bioadsorvente para corante Amarelo de Tartrazina a temperaturas mais baixas, mas não é adequada para o corante azul. Também se identificou que a adsorção é física o que permite a recuperação do material, tanto o soluto como o bioadsorvente.

Agradecimentos

Agradecemos a Universidade São Francisco e a nossa orientadora Monica Felipe pelo apoio e instrutora que possibilitou a realização do projeto.

Referências Bibliográficas

ALMEIDA, T. S. Remoção De Azul De Metileno Utilizando Um Compósito Magnético. Dissertação (Mestrado em ciência dos materiais). Rio de Janeiro, 2016.

ALKARKHI, A. F. M.; SHIN, Y.; MAT, A. Comparing physicochemical properties of banana pulp and peel flours prepared from green and ripe fruits. *Food Chemistry*, v. 129, n. 2, p. 312–318, 2011

BARADEL, M., MUNHOZ, T. Uso do Bagaço de Cana de Açúcar como Bioadsorvente para a Remoção de Corantes Presentes em Efluentes Industriais. Trabalho de Graduação – Curso Engenharia Química – Universidade São Francisco. 2017.

BONIOLO, M.R; YAMAURA, M. Viabilidade do uso da casca de banana como adsorvente de íons de Urânio. Instituto de Pesquisa Energética e Nucleares, Santos, p. 1, 2005.

BORGES, Ana Lúcia; SOUZA, Luciano S. O cultivo da bananeira. Cruz das Almas. EMBRAPA, 2004

CREMASCO, M. A. Operações Unitárias em Sistemas Particulados e Fluidodinâmicos. 2ª ed. São Paulo. Blucher, 2014. p. 127-324.

CREMASCO, M. A. Difusão Mássica. Editora Blucher, 2019. 9788521213918. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788521213918/>. Acesso em: 08 Jun 2020

CRUZ, M.A.R.F. da., Utilização da casca de banana como biossorvente. 2009. 74f. Dissertação - Universidade Estadual de Londrina, Londrina, PR, 2009.

FRARE L. M.; GIMENES, M. L.; PEREIRA N. C.; MENDES, E. S. Linearização do modelo log-normal para distribuição de tamanho de partículas. *Acta Scientiarum. Technology*, v. 22, n. 5, p. 1235-1239, 2000.

GAMA, D.C. Estudo da Agência Nacional de Águas aborda uso da água no setor industrial. Disponível em: <https://www.ana.gov.br/noticias/estudo-da-agencia-nacional-de-aguas-aborda-uso-da-agua-no-setor-industrial>, por ASCOM/ANA publicado: 12/10/2017– Acesso em 11/05/2020.

GEANKOPLIS, C. J. Transport Process and Separation Process Principles. 4th ed. University of Minnesota Press, 2003.

HAO, L. WANG, N. WANG, C. LI, G. Arsenic removal from water and river water by the combined adsorption - UF membrane process. *Chemosphere*, 202, pg. 768-776, 2018, <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.03.159>

Gondim JAM, Moura MFV, Dantas AS, Medeiros RLS, Santos KM. 2005. Composição centesimal e de minerais em cascas de frutas. *Cien Tecnol Aliment* 25: 825, -2005

LAKATOS, E.M.; MARCONI, M.A. Fundamentos de metodologia científica. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2003.

LINGAMDINNE, L.P., KODURU, J.R., CHANG, Y.Y., KARRI, R.R. Process optimization and adsorption modeling of Pb(II) on nickel ferrite-reduced graphene oxide nano-composite. *Journal of Molecular Liquids*, 250, pg 202 – 211, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2017.11.174>

MATOS, S. P. Operações Unitárias: Fundamentos, transformações, e aplicações dos fenômenos físicos e químicos. São Paulo. Érica, 2015, v.1, 160p.

NASCIMENTO, R. F. et al. Adsorção: Aspectos Teóricos e Aplicações Ambientais. Fortaleza, CE. UFC. 2014; 30,35p.

MOREIRA, S. de A. Adsorção de íons metálicos de efluente aquoso usando bagaço do pedúnculo de caju: estudo de batelada e coluna de leito fixo. 2008. 133 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento Ambiental) - Pós-graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2008. Disponível em: <http://www.teses.ufc.br/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=1383>.

Nascimento, Ronaldo Ferreira do. Lima, Ari Clecius Alves de Lima. Vidal, Carl a Basto s. Melo, Diego de Quadros Melo. Raulino, Giselle Santiago Cabral Asorção: aspectos teóricos e aplicações ambientais - Fortaleza: Imprensa Universitária, 2014.

PERUZZO, L. C. Influência de Agentes Auxiliares na Adsorção de Corantes de Efluentes da Indústria Têxtil em Colunas de Leito Fixo. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Química). Florianópolis, 2003.

SOUSA NETO, V. O. et al. Use of Coconut Bagasse as alternative adsorbent for separation of copper (II) ions from aqueous solutions: Isotherms, kinetics and thermodynamic studies. *Bioresources*, v.6, p. 3376-3395, 2011. Disponível em: http://www.ncsu.edu/bioresources/BioRes_06/BioRes_06_3_3376_Neto_OTSFKN_Coconut_Bagasse_Ads_Cu_2_Water_Kinet_Thermo_1822.pdf.

TADINI, C. et al. Operações Unitárias Na Indústria de Alimentos. Rio de Janeiro, RJ. LTC, 2016, v.1, 555p. <https://www.ana.gov.br/noticias/estudo-da-agencia-nacional-de-aguas-aborda-uso-da-agua-no-setor-industrial> por ASCOM/ANA publicado: 12/10/2017 00h00 última modificação: 03/11/2017 08h10 – Acesso em 11

PMT 2100 – Introdução à Ciência dos Materiais para a Engenharia - 2005

ZOLLINGER, H. Color chemistry, synthesis, properties and application of organic dyes and pigments. Weinheim, New York, p. 367, 1987