

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

JOÃO GABRIEL CARDOSO SANCHES

**ADSORÇÃO DOS CORANTES ALIMENTÍCIOS AMARELO CREPÚSCULO E
AZUL BRILHANTE UTILIZANDO CARVÃO ATIVADO COMERCIAL E
ENCAPSULADO**

JANDAIA DO SUL

2022

JOÃO GABRIEL CARDOSO SANCHES

**ADSORÇÃO DOS CORANTES ALIMENTÍCIOS AMARELO CREPÚSCULO E
AZUL BRILHANTE UTILIZANDO CARVÃO ATIVADO COMERCIAL E
ENCAPSULADO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Engenharia de Alimentos da Universidade
Federal do Paraná como requisito à obtenção do
título de Engenheiro de Alimentos.

Orientador: Prof^a. Dr^a. Érika de Castro Vasques
Coorientador: Prof. Dr. Raimundo Alberto Tostes

JANDAIA DO SUL

2022

DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO (CIP)
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SISTEMA DE BIBLIOTECAS – BIBLIOTECA JANDAIA DO SUL

Sanches, João Gabriel Cardoso

Adsorção dos corantes alimentícios amarelo crepúsculo e azul brilhante utilizando carvão ativado comercial e encapsulado. / João Gabriel Cardoso Sanches. – Jandaia do Sul, 2022. 1 recurso on-line : PDF.

Monografia (Graduação) – Universidade Federal do Paraná, Campus Jandaia do Sul, Graduação em Engenharia de Alimentos. Orientadora: Profa. Dra. Érika de Castro Vasques. Coorientador: Prof. Dr. Raimundo Alberto Tostes.

1. Contaminante. 2. Resíduos. 3. Cinética. I. Vasques, Érika de Castro. II. Tostes, Raimundo Alberto. III. Universidade Federal do Paraná. IV. Título.

CDD 664



PARECER Nº
PROCESSO Nº
INTERESSADO:

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
512/2022/UFPR/R/JA
23075.071163/2021-31
UFPR/R/JA/CCEAL - COORDENAÇÃO DO CURSO DE
ENGENHARIA DE ALIMENTOS - JANDAIA

TERMO DE APROVAÇÃO

JOÃO GABRIEL CARDOSO SANCHES

**"ADSORÇÃO DOS CORANTES ALIMENTÍCIOS AMARELO CREPÚSCULO E AZUL BRILHANTE
UTILIZANDO CARVÃO ATIVADO COMERCIAL E ENCAPSULADO"**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial a obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Alimentos no curso de Engenharia de Alimentos da Universidade Federal do Paraná, aprovado pela seguinte banca examinadora:

Orientador:

Profa. Dra. Érika de Castro Vasques

Curso de Engenharia de Alimentos, UFPR

Profa. Dra. Leda Saragiotto Colpini

Curso de Engenharia de Alimentos, UFPR

Profa. Dra. Dirlei Diedrich Kieling

Curso de Engenharia de Alimentos, UFPR

Jandaia do Sul, 09 de setembro de 2022.



Documento assinado eletronicamente por **ERIKA DE CASTRO VASQUES, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 09/09/2022, às 15:12, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **DIRLEI DIEDRICH KIELING, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 09/09/2022, às 15:14, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **LEDA MARIA SARAGIOTTO COLPINI, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 09/09/2022, às 15:17, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



A autenticidade do documento pode ser conferida [aqui](#) informando o código verificador **4851467** e o código CRC **14501F41**.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus por ter me dado forças e ânimo para que nunca desistisse, mesmo estando longe da família.

Aos meus pais, por todo apoio durante esses anos de graduação, anos que foram complicados e mesmo assim me incentivaram ao máximo a ir atrás dos meus objetivos. Se hoje estou nesse caminho, devo tudo a vocês.

Agradeço a minhas irmãs, pessoas que sempre estiveram prontas a me ajudar e a me fortalecer nesses anos. Essa conquista também é de vocês.

A minha orientadora, professora Érika, pela paciência e dedicação ao longo de toda graduação e projeto, assim como meu coorientador, professor Raimundo, por todo o suporte necessário para que esse projeto acontecesse.

ADSORÇÃO DOS CORANTES ALIMENTÍCIOS AMARELO CREPÚSCULO E AZUL BRILHANTE UTILIZANDO CARVÃO ATIVADO COMERCIAL E ENCAPSULADO

Érika de Castro Vasques, Raimundo Alberto Tostes,
João Gabriel Cardoso Sanches

RESUMO

Os corantes alimentícios são muito utilizados para intensificar a cor dos alimentos industrializados, pois muitos produtos ficam com uma aparência desbotada após o processamento térmico. Uma problemática enfrentada pelas indústrias é o tratamento de efluentes que contém esses corantes, pois são moléculas resistentes ao tratamento biológico convencional. Diante disso, a adsorção destaca-se como uma alternativa para a remoção de corantes não biodegradáveis, sendo uma das modalidades de tratamento terciário de efluentes. Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a capacidade de adsorção de um carvão ativado comercial (CAC) e de um carvão ativado encapsulado (CAE), produzido a partir de cascas de laranja, na remoção dos corantes alimentícios amarelo crepúsculo e azul brilhante presente em solução aquosa. Os experimentos de adsorção com CAC foram conduzidos a 25 °C e 35 °C. Após preparar uma solução de 20 mg/L de cada corante, uma alíquota de 30 mL foi retirada e colocada em erlenmeyers contendo 0,300 g de carvão. As amostras foram levadas para um agitador com controle de temperatura e retiradas de tempos em tempos. Em seguida, foram filtradas e a concentração final foi encontrada após a leitura da absorbância de cada amostra no comprimento de onda correspondente de cada corante. Os resultados demonstraram que o tempo de equilíbrio do CAC para ambos os corantes foi atingido em menos de 60 minutos, com capacidade máxima de adsorção em torno de 2 mg/g. O aumento da temperatura de 25 °C para 35 °C diminuiu a capacidade de adsorção para ambos os corantes. O CAE após pirólise e ativação com CO₂ não foi eficiente para a remoção dos corantes amarelo crepúsculo e azul brilhante em solução aquosa. Assim, outros métodos de ativação devem ser testados.

Palavras-chave: Contaminante, resíduos, cinética.

ADSORPTION OF FOOD DYE YELLOW AND BRIGHT BLUE USING COMMERCIAL AND ENCAPSULATED ACTIVATED CARBON

Érika de Castro Vasques, Raimundo Alberto Tostes,
João Gabriel Cardoso Sanches

ABSTRACT

Food coloring is widely used to intensify the color of processed foods, as many products have a faded appearance after thermal processing. A problem faced by industries is the treatment of effluents that contain these dyes, as they are molecules resistant to conventional biological treatment. Therefore, adsorption stands out as an alternative for the removal of non-biodegradable dyes, being one of the modalities of tertiary treatment of effluents. In this context, the objective of this work was to evaluate the adsorption capacity of a commercial activated carbon (CAC) and an encapsulated activated carbon (CAE), produced from orange peels, in the removal of twilight yellow and bright blue food colorings present in aqueous solution. The adsorption experiments with CAC were carried out at 25 °C and 35 °C. After preparing a 20 mg/L solution of each dye, an aliquot of 30 mL was taken and placed in erlenmeyers containing 0.300 g of charcoal. The samples were taken to a temperature-controlled shaker and removed from time to time. Then, they were filtered and the final concentration was found after reading the absorbance of each sample at the corresponding wavelength of each dye. The results showed that the CAC equilibrium time for both dyes was reached in less than 60 minutes, with a maximum adsorption capacity around 2 mg/g. Increasing the temperature from 25 °C to 35 °C decreased the adsorption capacity for both dyes. The CAE after pyrolysis and activation with CO₂ was not efficient for the removal of twilight yellow and brilliant blue dyes in aqueous solution. Thus, other activation methods should be tested.

Keywords: Contaminant, residues, kinetics.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - CASCAS DE LARANJAS ANTES E DEPOIS DO PROCESSO DE SECAGEM.	15
FIGURA 2 - MATERIAIS UTILIZADOS NA PRODUÇÃO DAS ESFERAS DE CARVÃO ATIVADO.	16
FIGURA 3 - CARVÃO DE CASCA DE LARANJA (A) EM SOLUÇÃO DE ALGINATO DE SÓDIO E (B) GOTEJADAS EM SOLUÇÃO DE CLORETO DE CÁLCIO.	16
FIGURA 4 - ESFERAS DE CARVÃO DE CASCA DE LARANJA EM SOLUÇÃO DE CLORETO DE CÁLCIO.	17
FIGURA 5 - MATERIAIS UTILIZADOS NOS EXPERIMENTOS DE ADSORÇÃO.	18
FIGURA 6 - CARVÃO ATIVADO ENCAPSULADO (A) ANTES E (B) DEPOIS DA SECAGEM EM ESTUFA.	19
FIGURA 7 - CINÉTICA DE ADSORÇÃO DO CORANTE AMARELO CREPÚSCULO EM CAC A 25 °C E 35 °C.	21
FIGURA 8 - CINÉTICA DE ADSORÇÃO DO CORANTE AZUL BRILHANTE EM CAC A 25 °C E 35 °C.	21
FIGURA 9 - COMPARAÇÃO DA CAPACIDADE DE ADSORÇÃO DO CARVÃO ATIVADO COMERCIAL E DO CARVÃO DE CASCA DE LARANJA PRODUZIDO POR DURÃES E VASQUES (2016).	22

ABREVIações E SIGLAS

ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CAC	Carvão ativado commercial
CCL	Carvão de casca de laranja
CAE	Carvão ativado encapsulado
UEM	Universidade Estadual de Maringá
UFPR	Universidade Federal do Paraná
B.E.T.	Brunauer, Emmett e Teller

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	12
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
METODOLOGIA	16
MATERIAIS	16
PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL	177
Adsorvatos	177
Adsorventes	18
Experimentos de adsorção	20
RESULTADOS E DISCUSSÃO	22
ENCAPSULAÇÃO DO ADSORVENTE DE CASCA DE LARANJA	2222
EXPERIMENTOS DE ADSORÇÃO	233
CONSIDERAÇÕES FINAIS	277
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	277

1 INTRODUÇÃO

Os produtos alimentícios processados industrialmente apresentam uma coloração desbotada, pois a cor é alterada ou até mesmo perdida durante o processamento, como um tratamento térmico, onde o alimento passará por um processo que irá elevar sua temperatura e com isso pode fazer com que o alimento perca sua cor inicial. Por esta razão, surge a necessidade da adição de um aditivo chamado corante alimentício. A problemática se encontra na remoção destes compostos dos efluentes industriais antes de ser descartado no corpo receptor, onde alguns são recalcitrantes, ou não biodegradáveis pelos tratamentos biológicos como lagoas de tratamento ou lodos ativados.

O tratamento térmico é um processo importante para a segurança e a qualidade do alimento, pois após passar por esse processamento, o alimento conseguira destruir alguns microorganismos deteriorantes e patogênicos presentes e que não são resistentes a uma alta temperatura, fazendo assim com que a segurança deste alimento seja preservada.

O processo de adsorção é uma das modalidades de tratamento terciário de efluentes, e sua principal vantagem é a remoção de compostos que não foram retirados nas etapas anteriores dos tratamentos biológicos. Por isso, o estudo dos processos adsorptivos e a descoberta de novos adsorventes vem despertando interesse tanto na comunidade científica como na indústria, pois destaca-se como uma operação muito eficaz.

Um dos adsorventes mais empregados nos processos de adsorção é o carvão ativado, que pode ser obtido a partir de resíduos como casca de coco e restos de cortiça. Existem vários estudos de adsorventes desenvolvidos a partir de uma gama de resíduos da agroindústria.

Desta forma, o objetivo deste trabalho de conclusão de curso foi avaliar a capacidade de adsorção de um carvão ativado comercial (CAC) e de um carvão ativado encapsulado (CAE), produzido a partir de cascas de laranja, na remoção dos corantes alimentícios amarelo crepúsculo e azul brilhante, presente em solução aquosa.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Os sistemas de tratamento de efluentes são constituídos por níveis: preliminar, primário, secundário e terciário. Os tratamentos preliminar e primário fazem uso de métodos físico-químicos. O tratamento secundário, também chamado de tratamento biológico, tem o objetivo de reduzir ao máximo a matéria orgânica presente nos efluentes. Já o tratamento terciário é uma etapa de polimento, para remover nutrientes, metais pesados e outros poluentes que não foram retirados nas etapas anteriores (GIORDANO, 1999). Neste trabalho. Daremos enfoque ao método de tratamento terciário chamado adsorção.

A adsorção é o processo de transferência de um ou mais constituintes (adsorvatos) de uma fase fluida (gás ou líquido) para a superfície de uma fase sólida (adsorvente). Quando as moléculas do adsorvato entram em contato com o adsorvente, existe uma força de atração que pode provocar a fixação do adsorvato na superfície do adsorvente.

Adsorventes são partículas sólidas porosas utilizadas no processo de adsorção. Os adsorventes mais comuns são o carvão ativado e sílica gel. O carvão ativado é um adsorvente proveniente da decomposição térmica de material carbonáceo, seguido por ativação com dióxido de carbono a altas temperaturas (700 a 1100 °C). O processo de ativação é feito para aumentar o número de poros deste material. Assim, a estrutura do carvão ativado é determinada pela quantidade de macro, meso e microporos presentes em sua superfície (RUTHVEN, 1984). Através da cinética de adsorção é possível prever o tempo de equilíbrio, ou seja, o tempo necessário para que o adsorvente atinja sua capacidade máxima de remoção.

No Brasil, conforme Resolução n° 387, de 05/8/1999, imposta pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), permite-se o uso de onze corantes artificiais em produtos alimentícios: amarelo tartrazina, amarelo crepúsculo, amarantho, vermelho ponceau, eritrosina, vermelho 40, azul indigotina, azul brilhante, azul patente V, azorrubina e verde rápido (ANVISA, 2022).

Os azocorantes representam uma família de corantes que tem como característica principal um ou mais grupamentos azo ($-N=N-$) ligados a sistemas aromáticos (VANDEVIVERE et al., 1998). Compostos com esse tipo de ligação

são considerados recalcitrantes ou não biodegradáveis. Portanto, não são removidos nos tratamentos biológicos tradicionais (STYLIDY et al., 2003).

No Brasil, o órgão que controla o lançamento de efluentes é o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) por meio da Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011, estabelecendo que os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados, direta ou indiretamente, nos corpos de água, após o devido tratamento e desde que obedeçam às condições, padrões e exigências dispostos nesta Resolução. Porém, esta norma não fixa valores máximos para o parâmetro cor, apenas indica que o efluente deve estar “visualmente ausente” de cor. Desta forma, o efluente pode parecer ausente de cor, mas os compostos recalcitrantes ainda estão presentes.

Muitos estudos comprovam que a adsorção é um método muito eficiente para a rápida remoção da concentração de corantes dissolvidos em efluentes. Dong et al. (2011) comparou a eficiência dos adsorventes comerciais carvão ativado, terra ativada, terra diatomácea, quitina e quitosana na remoção dos corantes azul brilhante, amarelo crepúsculo e amarelo tartrazina em solução aquosa. Como resultados, encontrou que a quitosana foi o melhor adsorvente para todos os corantes avaliados, removendo 50, 90 e 80% dos corantes azul brilhante, amarelo crepúsculo e amarelo tartrazina, respectivamente.

Oliveira et al. (2011) avaliou a capacidade de remoção dos corantes amarelo crepúsculo e azul de metileno por carvão ativado de caroços de pêssego. Seus experimentos foram conduzidos a 25 °C e como resultados obteve uma quantidade adsorvida de aproximadamente 178 mg_{corante} /g_{adsorvente} para o amarelo crepúsculo e 106 mg_{corante} /g_{adsorvente} para o azul de metileno.

Igarashi-Mafra et al. (2013) produziram um adsorvente a partir de cascas de laranja para remover o corante azul de metileno. A 20 °C a capacidade máxima de adsorção foi de 11,62 mg_{corante} /g_{adsorvente}. Além disso, observaram que a capacidade de adsorção diminuiu com o aumento da temperatura de operação.

Todos estes trabalhos citados anteriormente realizaram estudos de adsorção em batelada, que são experimentos de bancada muito importantes para avaliar a capacidade de adsorção e encontrar o tempo de equilíbrio do processo. Porém, quando se pensa em escala industrial, o carvão ativado na sua

forma em pó não é tão prático de se trabalhar. Desta forma, muitos estudos estão sendo desenvolvidos para produzir e avaliar adsorventes encapsulados em alginato de sódio, formando compósitos mais resistentes e viáveis de serem empregados no empacotamento de colunas de leito fixo.

Dentre estes trabalhos, destaca-se o estudo de Lucht (2019) que produziu um compósito a partir de resíduos de casca de arroz, para remoção do corante têxtil azul de metileno, e o estudo de Araújo (2022) que produziu um compósito a partir do bagaço de malte, resíduo da indústria cervejeira, para avaliar a remoção do paracetamol presente em efluente, um contaminante comum da indústria farmacêutica.

Diante do exposto, percebe-se que no setor alimentício o uso de aditivos como os corantes é amplamente empregado, sendo que as indústrias de doces e bebidas tem papel de destaque (BRANEN *et al.*, 2002). O corante amarelo crepúsculo é amplamente utilizado para realçar, restaurar ou conferir cor dos alimentos, principalmente de doces e salgadinhos, já o azul brilhante é utilizado na empresa de alimentos para agregar valor aos laticínios, balas, cereais, recheios, gelatinas, entre outros. Porém, a grande maioria das empresas empregam apenas o tratamento biológico para tratar seus efluentes, e nem sempre esse tratamento é eficaz para a remoção de compostos não biodegradáveis, como os corantes. Desta maneira, o estudo da remoção de corantes por adsorção tem papel de destaque em muitas investigações científicas e pesquisas sobre a produção de adsorvente e compósitos estão em evidência.

3 MATERIAL E MÉTODO

Os experimentos deste trabalho foram realizados nos laboratórios de ensino e pesquisa da Universidade Federal do Paraná, *campus* Jandaia do Sul. Algumas etapas foram feitas em parceria com a Universidade Estadual de Maringá, *campus* de Maringá.

3.1 MATERIAIS

Para a realização do experimento foram utilizados os seguintes materiais:

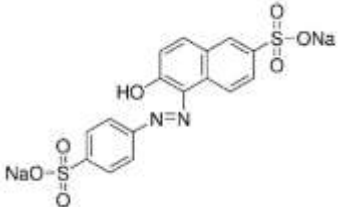
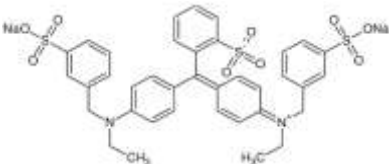
- ✓ 10 laranjas Bahia
- ✓ Secador de bandejas com circulação forçada
- ✓ Triturador
- ✓ Peneira
- ✓ Forno de pirólise (UEM)
- ✓ Béquer 300 mL
- ✓ Agitador magnético com aquecimento SL-95
- ✓ Bastão de vidro
- ✓ Seringa de 5 mL
- ✓ Agulha veterinária 1,6 x 40 mm
- ✓ Cloreto de cálcio (CaCl_2)
- ✓ Alginato de sódio
- ✓ Corante amarelo crepúsculo e azul brilhante
- ✓ Carvão ativado comercial
- ✓ Balança de precisão
- ✓ Conta gotas
- ✓ Balão volumétrico de 1000 mL
- ✓ Provetas de 100 mL
- ✓ Erlenmeyer 250 mL
- ✓ Espectrofotômetro UV-VIS 190-1000 nm
- ✓ Cubeta
- ✓ Água destilada
- ✓ Dessecador
- ✓ Funil de vidro
- ✓ Filtro de papel
- ✓ Agitador de laboratório orbital
- ✓ Faca

3.2 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

3.2.1 Adsorvatos

Neste trabalho, os adsorvatos avaliados foram os corantes alimentícios amarelo crepúsculo e azul brilhante, doados pela empresa Duas Rodas Industrial. Foram preparadas duas soluções aquosas com concentração de 20 mg/L, simulando um efluente sintético. A Tabela 1 mostra algumas propriedades destes corantes.

Quadro 1 – Propriedades dos adsorvatos.

Corante alimentício	Fórmula estrutural	Fórmula molecular	Massa molecular
Amarelo crepúsculo		$C_{16}H_{10}N_2Na_2O_7S_2$	452.37 g/mol
Azul brilhante		$C_{37}H_{34}N_2Na_2O_9S_3$	792,86 g/mol

Fonte: Sigma Aldrich (2022).

O corante azul brilhante possui muitos anéis aromáticos em sua estrutura e o amarelo crepúsculo é classificado como um corante azóico, pois possui um grupamento -N=N- em sua estrutura molecular. Compostos azo são resistentes à degradação aeróbia e, em condições anaeróbias, a ligação azo é reduzida gerando aminas aromáticas, que são incolores, mas também podem ser tóxicas (MARMITT et al., 2010). Compostos como esses são de difícil remoção pelos tratamentos biológicos de efluentes.

3.2.2 Adsorventes

Foi escolhido um carvão ativado comercial, doado pela empresa Carbomafra, para realizar os ensaios de adsorção a 25 °C e 35 °C.

A produção do carvão ativado encapsulado (CAE) se baseou no procedimento experimental descrito por Durães e Vasques (2016), e a encapsulação se baseou no trabalho de Araújo (2022).

Assim, as laranjas foram lavadas com água e detergente neutro, descascadas manualmente e, em seguida, foram levadas para uma estufa a 150 °C, permanecendo por 4 h, para a remoção da umidade, como mostra a Figura 1. Após a secagem, as cascas foram trituradas e peneiradas para obtenção de um pó fino, para facilitar o processo de pirólise. A pirólise e ativação do adsorvente foram feitas nos laboratórios de ensino e pesquisa da UEM, a fim de produzir um carvão ativado altamente poroso.

Figura 1 – Cascas de laranjas antes e depois do processo de secagem.



Fonte: O autor (2022).

Após secagem, trituração, pirólise e ativação, foi feita a encapsulação do carvão em esferas de alginato. A Figura 2 mostra os materiais utilizados nesta etapa do trabalho.

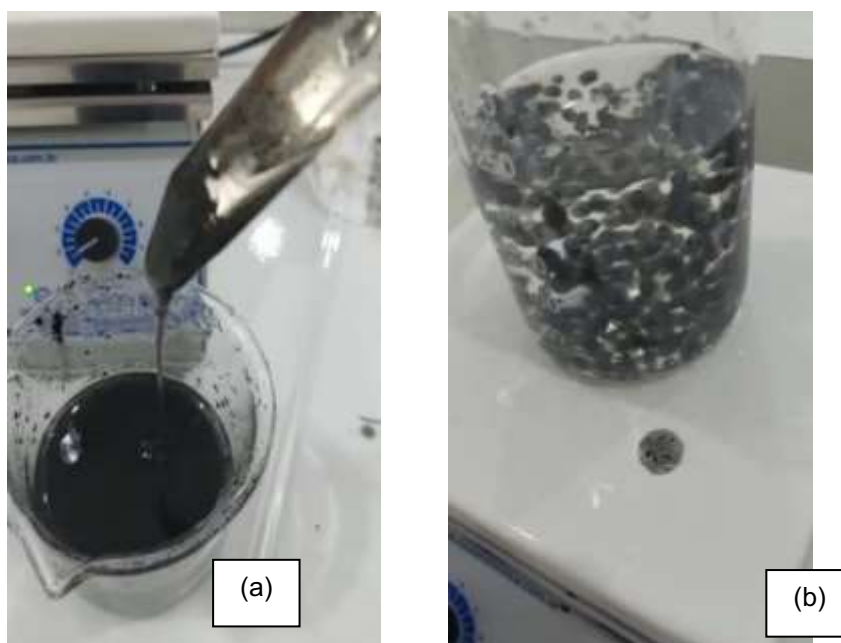
Figura 2 – Materiais utilizados na produção das esferas de carvão ativado.



Fonte: O Autor (2022).

Para a produção das esferas, inicialmente foi preparada uma solução com 4 g de alginato de sódio e 200 mL de água destilada. Em seguida, 4 g de carvão foram pesados e dissolvidos nessa solução de alginato, usando um bastão de vidro, até completa dissolução, como apresenta a Figura 3 (a). Com o auxílio de um conta gotas, esse preparado de carvão foi sendo gotejado em uma outra solução, contendo 4 g de cloreto de cálcio e 200 mL de água destilada, mantido sob agitação constante em um agitador magnético, como mostra a Figura 3 (b).

Figura 3 – Carvão de casca de laranja (a) em solução de alginato de sódio e (b) gotejadas em solução de cloreto de cálcio.



Fonte: O autor (2022).

Por fim, o carvão ativado encapsulado (CAE) permaneceu em repouso na solução de cloreto de cálcio por cerca de 30 minutos, Figura 4. Em seguida, as esferas de CAE foram lavadas com água destilada e secas em estufa a 50 °C, por aproximadamente 24 horas. Após este procedimento, o CAE foi acondicionado em recipiente fechado.

Figura 4 – Esferas de carvão de casca de laranja em solução de cloreto de cálcio.



Fonte: O autor (2022).

3.2.3 Experimentos de adsorção

Para avaliar a capacidade de adsorção foram realizados experimentos de cinética de adsorção. Uma alíquota de 30 mL de solução contendo corante foi colocada em erlenmeyer contendo 0,300 g de carvão e levada para uma incubadora com controle de temperatura, com rotação controlada em 150 rpm. Foram avaliadas as temperaturas de 25 °C e 35 °C. As alíquotas foram retiradas e filtradas nos tempos de 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 90 e 120 minutos. Em seguida, a leitura da absorbância antes e depois do processo de adsorção foi feita em espectrofotômetro UV-VIS no comprimento de onda do corante avaliado, para o amarelo crepúsculo foi de 480 nm e para o azul brilhante de 595 nm. A partir da curva de calibração de cada solução de corante, foi possível determinar a concentração final de cada alíquota após a leitura da absorbância. A Figura 5 apresenta os materiais utilizados nesta etapa do trabalho.

Figura 5 – Materiais utilizados nos experimentos de adsorção.



Fonte: O Autor (2022).

A cinética de adsorção fornece o tempo de equilíbrio, ou seja, quanto tempo demora para que o adsorvente atinja sua capacidade máxima de adsorção. A quantidade adsorvida em cada tempo foi calculada a partir da equação (1), deduzida a partir da relação entre as concentrações da solução antes e depois de determinado tempo.

$$q_t = \frac{(C_0 - C_f) * V}{m_{ads}} \quad eq. (1)$$

onde:

q_t : quantidade de corante adsorvido no tempo t (mg corante / g adsorvente);

C_0 : concentração inicial da solução (mg);

C_f : concentração final da solução (mg);

V : volume da alíquota (L);

m_{ads} : massa de adsorvente (g).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir são apresentados os resultados e discussão deste trabalho de conclusão de curso.

4.1 ENCAPSULAÇÃO DO ADSORVENTE DE CASCA DE LARANJA

A Figura 6 mostra o carvão ativado encapsulado (CAE) - (a) antes e (b) depois do processo de secagem em estufa.

Figura 6 – Carvão ativado encapsulado (a) antes e (b) depois da secagem em estufa.



Fonte: O Autor (2022).

Através da Figura 6 é possível observar que o CAE tem uma aparência esférica bastante uniforme. O tamanho das esferas diminui após o processo de secagem, passando de 4 mm para cerca de 2 mm de diâmetro. Além disso, a cor passa de preto brilhante para preto fosco.

4.2 EXPERIMENTOS DE ADSORÇÃO

Experimentos de adsorção com carvão ativado comercial (CAC) foram realizados a 25 °C e 35 °C, para avaliar a capacidade de remoção dos corantes amarelo crepúsculo e azul brilhante. As Tabelas 2 e 3 e as Figuras 7 e 8 apresentam os resultados obtidos.

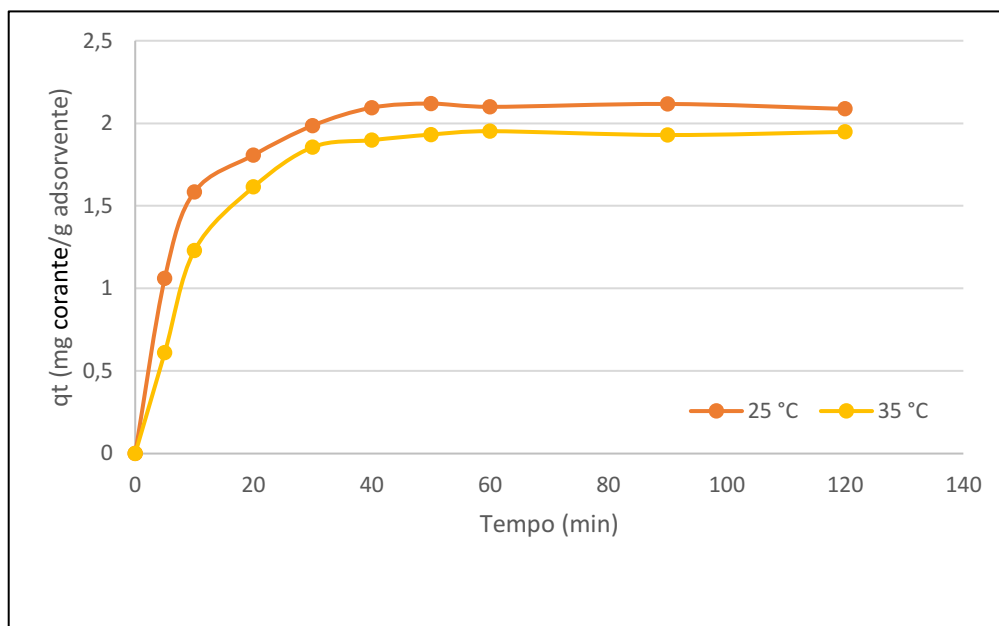
Quadro 2 – Experimentos de adsorção dos corantes amarelo crepúsculo e azul brilhante com CAC a 25 °C.

TEMPERATURA: 25 °C							
AMARELO				AZUL BRILHANTE			
AMOSTRA	TEMPO (min)	MASSA (g)	ABS	AMOSTRA	TEMPO (min)	MASSA (g)	ABS
1	5	0,3001	0,430	1	5	0,3003	0,256
2	10	0,3004	0,227	2	10	0,3007	0,129
3	20	0,3006	0,140	3	20	0,3009	0,055
4	30	0,3005	0,071	4	30	0,3003	0,024
5	40	0,3001	0,030	5	40	0,3001	0,020
6	50	0,3006	0,019	6	50	0,3008	0,017
7	60	0,3005	0,027	7	60	0,3007	0,016
8	90	0,3006	0,020	8	90	0,3002	0,015
9	120	0,3008	0,031	9	120	0,3009	0,012

Quadro 3 – Experimentos de adsorção dos corantes amarelo crepúsculo e azul brilhante com CAC a 35 °C.

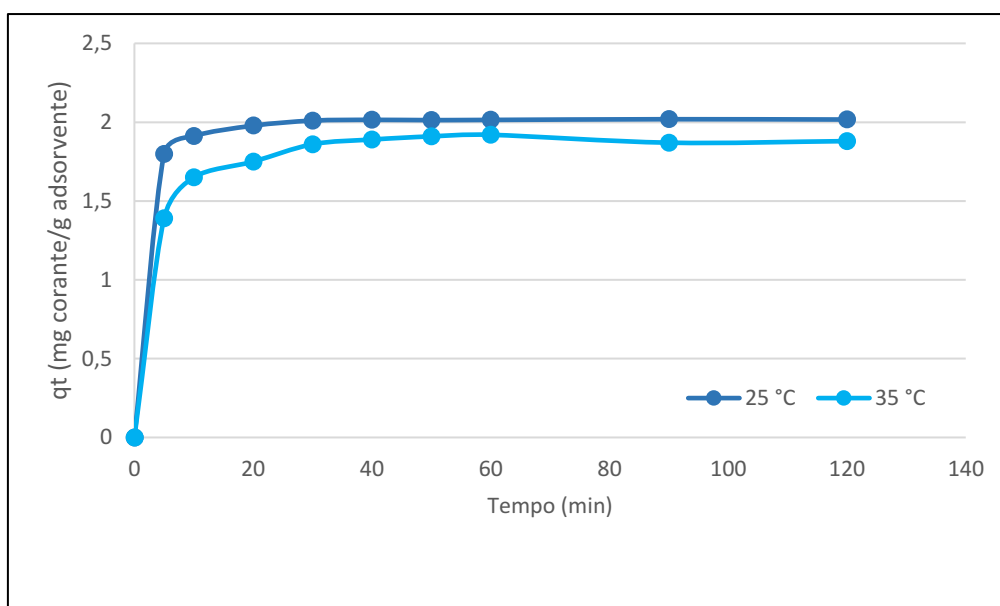
TEMPERATURA: 35 °C							
AMARELO				AZUL BRILHANTE			
AMOSTRA	TEMPO (min)	MASSA (g)	ABS	AMOSTRA	TEMPO (min)	MASSA (g)	ABS
1	5	0,3002	0,531	1	5	0,3001	0,287
2	10	0,3008	0,291	2	10	0,3009	0,120
3	20	0,3005	0,142	3	20	0,3000	0,053
4	30	0,3007	0,048	4	30	0,3008	0,027
5	40	0,3009	0,031	5	40	0,3005	0,021
6	50	0,3005	0,019	6	50	0,3009	0,020
7	60	0,3005	0,011	7	60	0,3001	0,009
8	90	0,3005	0,020	8	90	0,3001	0,013
9	120	0,3004	0,013	9	120	0,3009	0,002

Figura 7 – Cinética de adsorção do corante amarelo crepúsculo em CAC a 25 °C e 35 °C.



Fonte: O autor (2022).

Figura 8 – Cinética de adsorção do corante azul brilhante em CAC a 25 °C e 35 °C.



Fonte: O autor (2022).

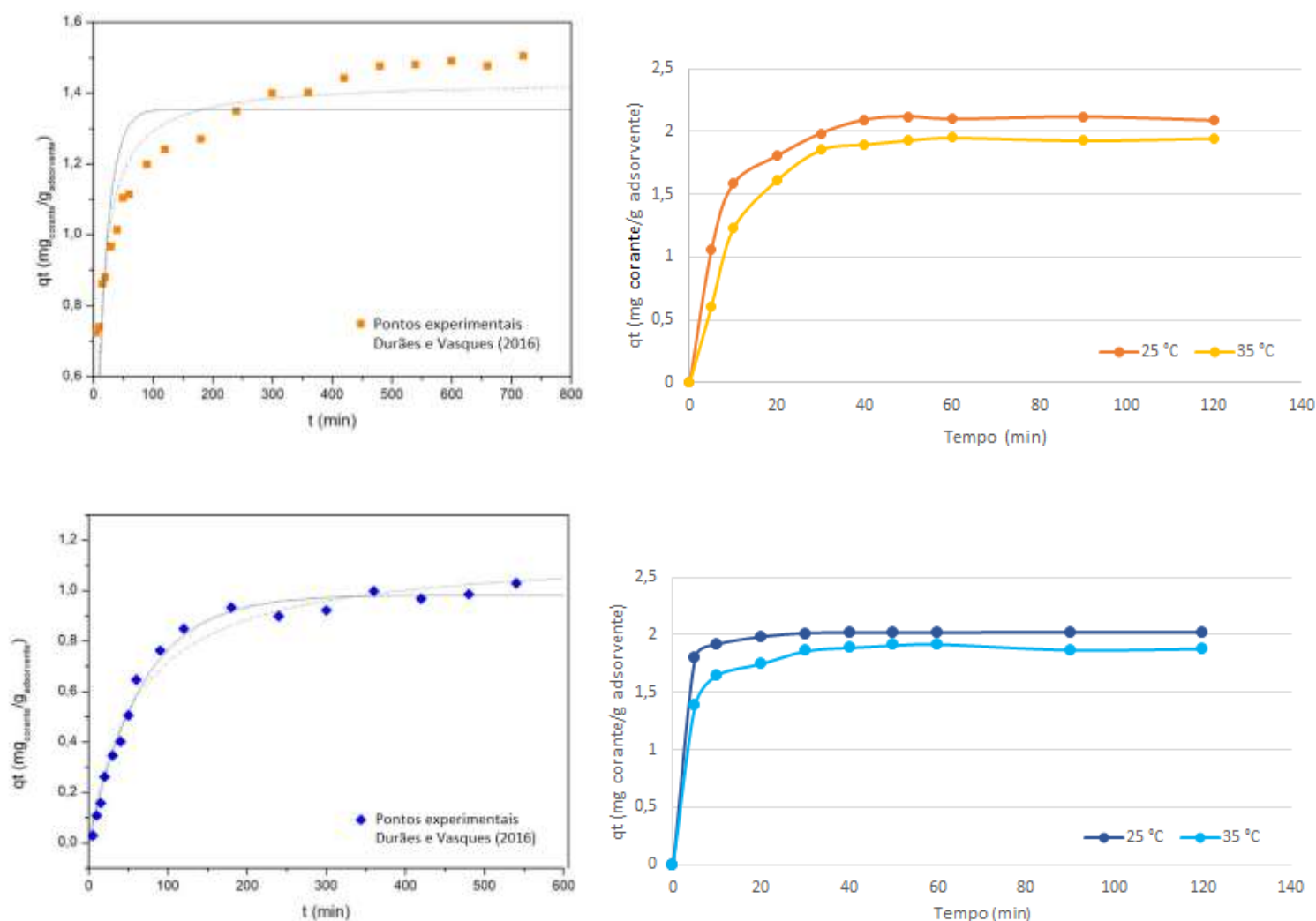
Verificando os resultados, e sabendo que a absorvância inicial do amarelo crepúsculo foi de 0,841 e do azul brilhante fora de 1,082, é possível constatar que a adsorção de ambos os corantes foi muito rápida no estágio inicial, principalmente para o corante azul brilhante, onde em 10 minutos cerca de 90% do corante já havia sido adsorvido. A capacidade máxima de adsorção dos

corantes pelo CAC ficou em torno de 2 mg de corante/g de CAC. Porém, a capacidade de adsorção diminuiu com o aumento da temperatura, confirmando o que diz nos estudos de Igarashi-Mafra et al. (2013) e Dotto et al. (2011).

O tempo de equilíbrio para o corante amarelo crepúsculo foi atingido a partir de 40 minutos, pois a quantidade adsorvida não variou mais em relação ao tempo. Já para o corante azul brilhante, o tempo de equilíbrio foi atingido a partir de 30 minutos.

A Figura 9 compara os resultados do trabalho de Durães e Vasques (2016) com os resultados encontrados neste estudo.

Figura 9 – Comparação da capacidade de adsorção do carvão ativado comercial e do carvão de casca de laranja produzido por Durães e Vasques (2016).



É possível constatar que o carvão de casca de laranja (CCL) produzido por Durães e Vasques (2016) tem uma ótima capacidade de adsorção para

ambos os corantes, porém um pouco menor que o CAC. Enquanto a capacidade máxima de adsorção do CAC ficou em torno de 2 mg/g, a capacidade máxima do CCL foi em torno de 1,5 mg/g para o amarelo crepúsculo e 1,0 para o azul brilhante.

Igarashi-Mafra et al. (2013) verificou uma capacidade máxima de adsorção de 11,62 mg/g para o corante azul de metileno a 20 °C, utilizando o mesmo tipo de adsorvente de casca de laranja, um resultado não tão discrepante ao de Durães e Vasques (2016). Já Oliveira et al. (2011) encontrou resultados bem mais altos para a adsorção a 25 °C do corante azul de metileno (106 mg/g) amarelo crepúsculo (106 mg/g) em carvão ativado de caroços de pêssego. Isso demonstra que adsorvente de caroços de pêssego são mais eficientes para a remoção desses corantes que adsorvente de casca de laranja.

Além disso, o tempo de equilíbrio do CCL foi bem maior que do CAC, sendo atingido a partir de 500 min para o amarelo crepúsculo e 350 min para o azul brilhante. Isso demonstra que o CCL tem potencial para a remoção dos corantes, mas sua eficiência poderia ser aumentada com técnicas de ativação.

A segunda etapa deste trabalho foi avaliar a capacidade de adsorção do carvão ativado de casca de laranja encapsulado (CAE). Então, experimentos de adsorção utilizando o CAE foram realizados para ambos os corantes, porém verificou-se que nenhum deles foi adsorvido, pois não houve decréscimo na absorbância de nenhuma das amostras com o tempo.

A hipótese para esse resultado desfavorável é de que a ativação que foi feita com CO₂ formou majoritariamente microporos. No estudo de Araújo (2022) o compósito produzido teve uma boa capacidade de remoção do paracetamol, mesmo após ativação com CO₂, provavelmente porque essa molécula é muito pequena (151 g/mol), quando comparada com moléculas maiores como dos corantes amarelo crepúsculo (452,37 g/mol) e azul brilhante (792,86 g/mol). No estudo de Lucht (2019) o compósito foi produzido após passar por ativação com KOH, e a adsorção do corante azul de metileno (320 g/mol) foi eficiente.

Diante disso, outras formas de ativação e uma caracterização mais minuciosa do CAE seria necessária para confirmar esta hipótese, como análise da área superficial do adsorvente (método B.E.T), para descobrir qual é a quantidade de macro, meso e microporos formados após o processo de ativação.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O emprego da adsorção para a remoção dos corantes alimentícios amarelo crepúsculo e azul brilhante foi muito eficiente utilizando o carvão ativado comercial (CAC), atingindo tempos de equilíbrio de 40 e 30 minutos, respectivamente. Concluiu-se que o aumento da temperatura de operação diminuiu a capacidade de adsorção de ambos os corantes. Isso demonstra que o emprego do processo de adsorção como tratamento terciário, em estações de tratamento de efluentes, pode ser empregado de maneira bastante eficiente em temperatura ambiente, tomando como referência 25 °C.

O carvão ativado encapsulado (CAE) após ativação com CO₂ não foi eficiente para a remoção dos corantes. Provavelmente, este método de ativação não favoreceu a afinidade entre este adsorvente e os corantes avaliados. Assim, sugere-se que trabalhos futuros sejam feitos avaliando outros métodos de ativação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANIVISA. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Disponível em <<https://www.gov.br/anvisa/pt-br>>. Acesso em 02/07/2022.

ARAÚJO, T. P. **Hidrocarvão ativado na adsorção de contaminante emergente: estudo em batelada e leito fixo**. Tese de doutorado – Universidade Estadual de Maringá (UEM), 2022.

CONAMA. Conselho Nacional do Meio ambiente. Disponível em <<http://www.mma.gov.br/conama>>. Acesso em 18/07/2022.

DONG, Y.; LU, B.; ZANG, S.; ZHAO, J.; WANG, X.; CAI, Q. **Removal of methylene blue from coloured effluents by adsorption onto SBA-15**. Journal Chemical Technology Biotechnology. v. 86, p. 616-619, 2011.

DOTTO, G.L.; VIEIRA, M.L.G.; GONÇALVES, J.O.; PINTO, L.A.A. **Remoção dos corantes azul brilhante, amarelo crepúsculo e amarelo tartrazina de soluções aquosas utilizando carvão ativado, terra ativada, terra**

diatomácea, quitina e quitosana: Estudos de equilíbrio e termodinâmica. Química Nova, v. 34, n. 7, p. 1193-1199, 2011.

DURÃES, N. C. Produção e caracterização de biossorventes provenientes de resíduos da agroindústria para remoção de compostos indesejáveis (recalcitrantes) de efluentes industriais. EVINCI – UFPR, 2019.

GIORDANO, G. Avaliação ambiental de um balneário e estudo de alternativa para controle da poluição utilizando o processo eletrolítico para o tratamento de esgotos. Niterói - RJ. Dissertação de Mestrado (Ciência Ambiental) Universidade Federal Fluminense, 1999.

IGARASHI-MAFRA, L.; MAFRA, M. R.; ZUIM, D. R.; VASQUES, E. C.; FERREIRA, M. A. Kinetics and thermodynamics of remazol brilliant blue adsorption on a Orange-peel adsorbent. Brazilian Journal of Chemical Engineering, v. 30, n. 3, 2013.

LUCHT, E. E. Produção e otimização de compósito adsorvente para remoção de corante com alginato de sódio e carvão ativado de casca de arroz. Dissertação de mestrado – Universidade Federal do Paraná (UFPR), 2019.

OLIVEIRA, P. S. A. Remoção de azul de metileno numa coluna de adsorção com enchimento de casca de noz carbonizada. Dissertação de mestrado – Instituto de Desenvolvimento e Inovação Tecnológica (IDIT), Universidade do Porto, FEUP, 2009.

RUTHVEN D. M. Principles of Adsorption and Adsorption Process. John Wiley & Sons: New York, 1984.

VANDEVIVERE, P. V.; BIANCHI, R.; VERSTRAETE, W. Treatment and reuse of wastewater from the textile wet-processing industry: review of emerging technologies. Journal Chemical Biotechnology, v. 72, p. 289-302, 1998.