

II-493 – REMOÇÃO DE CLORIDRATO DE METILTAMINA POR ADSORÇÃO UTILIZANDO CARVÃO ATIVADO PRODUZIDO A PARTIR DA BORRA DE CAFÉ

Ana Carolina Ferreira Figueiredo⁽¹⁾

Engenheira Ambiental pela Universidade Estadual de Maringá (UEM). Mestranda no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental, em associação ampla entre a Universidade Estadual do Centro-Oeste (UNICENTRO) e Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG).

Alexandre Botari

Professor Associado da Universidade Estadual de Maringá - UEM. Doutor em Engenharia Hidráulica e Saneamento pela Universidade de São Paulo (USP).

Endereço⁽¹⁾: Rua 24 de maio, 230 - Centro - Irati - PR - CEP: 84500-0 - Brasil - Tel: (44) 99756-7794 - e-mail: anacarolina_ferreira@outlook.com

RESUMO

O presente trabalho avaliou o potencial da borra de café como material precursor na produção de carvão ativado a fim de agregar valor a esse resíduo. A eficiência de remoção foi analisada na adsorção do corante cloridrato de metiltiamina. Para ativação química, foram utilizados dois tipos de agente ativante: o ácido fosfórico (H_3PO_4) e o hidróxido de sódio (NaOH). Para a produção do carvão e sua ativação procedeu-se a carbonização do material realizada em mufla a 350°C por cerca de uma hora. Os agentes ativantes utilizados, levaram à produção de carvões com características físico-químicas distintas. Foram realizados experimentos em batelada, além de experimento em leito fixo, em um sistema de filtração com reservatório em uma instalação piloto para avaliar a remoção de corante em solução. Foi verificado que ambos os carvões removeram mais de 90% da concentração inicial de corante em regime de batelada e que o tempo necessário para se atingir o equilíbrio de remoção, foi de 10 e 30 minutos para o carvão ativado com H_3PO_4 e NaOH, respectivamente. Os testes experimentais na instalação piloto simulando um sistema de filtração resultaram em uma eficiência de remoção da ordem de 100% da concentração inicial de corante para ambos os carvões produzidos. Foi possível concluir que o carvão ativado obtido da borra de café, para os dois agentes ativantes utilizados neste trabalho mostraram-se adequados para a adsorção do corante cloridrato de metiltiamina.

PALAVRAS-CHAVE: Adsorção, carvão ativado, borra de café, cloridrato de metiltiamina.

INTRODUÇÃO

As indústrias têxteis são responsáveis pela geração de grandes volumes de efluentes líquidos que contém em sua composição corantes sintéticos que durante o processo de tingimento não se fixaram nas fibras, o que consequentemente faz com que esses efluentes tenham uma elevada carga orgânica e uma forte coloração.

A elevada estabilidade biológica das moléculas de corantes dificulta sua degradação pelos sistemas de tratamentos convencionais normalmente empregados (KLEN et al., 2012). Assim, se não tratados adequadamente antes de serem despejados, os efluentes têxteis colorem os corpos d'água, interferindo a transparência e estética da água, a solubilidade de gases, além de reduzir a penetração de luz solar e consequente alteração dos processos de fotossíntese (GUARATINI; ZANONI, 2000).

O processo de adsorção com carvão ativado, é um dos métodos mais promissores para o tratamento desses efluentes, pois proporciona a efetiva remoção de corantes. Entretanto, o carvão ativado empregado no processo de adsorção, ainda tem sua aplicação em grande escala limitada, pois é um material de alto valor econômico devido à origem e o valor das matérias-primas geralmente adotadas para sua fabricação. Assim, a utilização de materiais precursores alternativos de baixo custo, é uma das formas de diminuir seu custo, visto que o carvão ativado pode ser produzido a partir de qualquer matéria carbonácea.

A borra de café possui características físico-químicas favoráveis para ser convertida em carvão ativado. E por ser um resíduo gerado em grande quantidade, pode representar um problema ambiental caso sua destinação

final seja feita de maneira incorreta. Dessa forma, torna-se interessante a conversão deste resíduo a um produto de maior valor agregado como o carvão ativado, e sua aplicação na remoção de contaminantes da água.

Neste contexto, o principal objetivo deste trabalho é produzir carvão ativado usando como material precursor a borra de café e avaliar sua eficiência na remoção do corante sintético cloridrato de metiltiamina, conhecido como azul de metileno (AM), de soluções aquosas.

MATERIAIS E MÉTODOS

Os experimentos realizados no presente estudo, assim como a instalação piloto do sistema de filtração, foram desenvolvidos nos laboratórios pertencentes ao Campus Regional de Umuarama da Universidade Estadual de Maringá.

As três etapas do trabalho, serão descritas a seguir:

PRIMEIRA ETAPA: PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DOS CARVÕES ATIVADOS

Para a produção do carvão ativado utilizou-se como matéria prima a borra de café proveniente do preparo convencional de café realizado em residências e na cantina da universidade. Ao ser obtida, a borra era armazenada em pote de vidro, e ao ser levada para o laboratório era disposta em forma de alumínio e colocada em estufa até sua secagem.

Após estarem secas e resfriadas, pesou-se 50 g da borra de café em balança analítica, e com auxílio de papel filtro qualitativo, funil, kitassato e uma bomba de alto vácuo, lavou-se a amostra com água deionizada para remoção de compostos solúveis. Realizou-se esse procedimento até que a água resultante da lavagem estivesse com cor inferior a 10 uH (Unidade de Hazen). A amostra era então levada para estufa sobre uma temperatura de 120°C pelo período de 2 horas para secagem, em seguida resfriada em dessecador e armazenada em recipientes fechados.

O processo de ativação química foi o escolhido para produção do carvão ativado obtido a partir da borra de café. Assim, colocou-se 50 gramas de borra de café lavada e seca em um béquer de 250 mL, e com uma proveta, adicionou-se 200 mL de solução de NaOH (0,1 mol/L) ou H₃PO₄ 85% (1:1 - p/v) previamente preparadas, garantindo uma proporção 1:4 (borra de café/solução de agente ativante). Homogeneizou-se a mistura com uma espátula, para que o ativante impregnasse toda a massa de borra de café, e deixou-se em contato dinâmico durante 1 hora. Após esse tempo, a amostra filtrou-se com auxílio de bomba a vácuo, kitassato e papel filtro qualitativo para remover o excesso de solução de agente ativante, e transferiu-se para uma forma de alumínio, para carbonização no forno mufla a 350°C durante 1 hora. Após atingir a temperatura ambiente, lavou-se a amostra com água destilada para remoção do agente ativante e seus produtos de decomposição, e em seguida, levou-se para estufa por 2 horas a 120°C para secagem. Dessa maneira, após serem resfriadas em dessecador, calculou-se o rendimento dos carvões obtidos, através da equação 1 (MANGUEIRA, 2014):

$$\text{Rendimento} = (\text{massa final do carvão/massa inicial de da matéria prima}) \times 100 \quad \text{equação (1)}$$

pH:

Determinou-se os pHs dos carvões ativados, seguindo também procedimento proposto por Mangueira (2014). Pesou-se 1,0000 g de carvão ativado em balança analítica e transferiu-se para um Erlenmeyer de 250 mL, em seguida, acrescentou-se 100 mL de água destilada. A mistura foi então aquecida e deixada em ebulição durante 5 minutos. Ao atingir temperatura ambiente, adicionou-se mais 100 mL de água destilada e o pH da suspensão foi medido com auxílio de um pHmetro previamente calibrado.

Densidade Aparente:

De acordo com procedimento preconizado por Di Bernardo (2002), estabeleceu-se a densidade aparente (bulk) dos carvões. Primeiramente, pesou-se uma proveta de 50 mL em uma balança analítica e após isso colocou-se

um volume de carvão ativado na proveta até atingir 50 mL. Assim, pesou-se a proveta novamente, e obteve-se a massa de carvão obtida pela diferença entre o peso da proveta preenchida com carvão ativado e o peso do instrumento vazio. Dessa forma, pode-se calcular a densidade aparente pela equação 2:

$$\text{Densidade aparente (g/cm}^3\text{)} = \text{massa de carvão (g)} / \text{volume da proveta (mL)} \quad \text{equação (2)}$$

Massa Específica e Análise Granulométrica

A massa específica dos carvões, foi obtida pelo método do picnômetro. Já a distribuição granulométrica dos carvões ativados por tamanho de partícula foi obtida por peneiramento, utilizando um conjunto de 6 peneiras com diferentes aberturas (2,00; 1,18; 0,6; 0,425; 0,3 e 0,15 mm) e agitação manual.

SEGUNDA ETAPA: ENSAIOS DE ADSORÇÃO EM BATELADA

Cinética de Adsorção

Os tempos escolhidos para serem avaliados para os dois carvões para se obter as cinéticas de adsorção, foram definidos baseados em observações de testes preliminares. Assim, os tempos definidos foram: 0, 15, 30, 45, 60, 90, 120 min para o carvão produzido com NaOH (CA-NaOH) e 0; 1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10; 15; 20; 25; 30 para ensaio com carvão produzido com H₃PO₄ (CA- H₃PO₄).

Os ensaios de cinética de adsorção foram realizados em triplicata, com uma concentração de 5 mg.L⁻¹ de AM. Colocou-se um volume fixo de solução (250 mL) com pH natural em contato com 0,5 g dos carvões ativados em um béquer, e tampou-se com papel alumínio (para evitar contaminação e evaporação do líquido). Somente para o carvão produzido com NaOH, também realizou-se o ensaio de cinética de adsorção com pH da solução ácido (pH= 5), que foi ajustado com uma pequena quantidade de solução 0,1 M de HCl (ácido clorídrico) previamente preparada. Manteve-se em agitação, o béquer com a mistura, utilizando-se um agitador magnético. Durante a agitação, retirou-se alíquotas nos tempos pré-determinados com auxílio de uma pipeta de pasteur, e transferiu-se para tubos falcon de 10 mL. Centrifugou-se as amostras por 20 minutos a 3500 rpm em uma centrífuga, para separação do carvão da solução de AM. A solução sobrenadante foi analisada por espectrofotometria no comprimento de onda de 664 nm, e para encontrar as concentrações de AM, utilizou-se uma equação da reta obtida na construção de uma curva de calibração de AM.

Calculou-se a quantidade de corante adsorvida por unidade de massa de carvão q_e (mg.g⁻¹), pela equação 3:

$$q_e = [(C_i - C_f)/m] \times V \quad \text{equação (3)}$$

Em que C_i (mg.L⁻¹) é a concentração inicial do corante na solução, C_f (mg.L⁻¹) é a concentração do corante remanescente após o contato com os carvões ativados, V (L) é o volume da solução e m a massa de carvão (g) (SCHNEIDER, 2008).

Análise da cor provocada por carvão ativado com NaOH

Para a análise do efeito da coloração fornecida pelo CA-NaOH, adicionou-se 0,5 g do carvão, em 250 mL de água destilada em um béquer. Manteve-se sob agitação, e em tempos pré determinados (5,10,15,20,25 e 30 minutos), retirou-se alíquotas com uma pipeta de pasteur, e transferiu-se para tubos Falcom. Centrifugou-se as amostras por 20 minutos a 3500 rpm em uma centrífuga, e analisou-se a solução sobrenadante Espectrofotometria no mesmo comprimento de onda (664 nm) que o AM.

TERCEIRA ETAPA: ENSAIOS DE ADSORÇÃO NA INSTALAÇÃO PILOTO (SISTEMA DE FILTRAÇÃO)

Para realização do estudo de adsorção em sistema de filtração, foram montados dois filtros preenchidos com cada um dos dois tipos de carvões produzidos. Ambos os filtros foram construídos com tubos de PVC com as mesmas características geométricas: 75 mm de diâmetro e altura de 45 cm. Inseriu-se uma placa de plástico perfurada para servir de apoio para a camada suporte e o meio filtrante. A camada suporte, foi constituída de três camadas de areia de 3 cm e respectivas granulometrias, iniciando da camada inferior: 2,36, 1,18 e 0,3 mm.

A solução de AM utilizada nos ensaios, foi acondicionada em reservatório com capacidade de 9 litros, localizado acima dos filtros. Conduziu-se a solução de AM do reservatório para o filtro por meio de canalizações controladas por registros. Além disso, na parte inferior dos filtros, também implantou-se registros, permitindo a coleta do material filtrado e o controle da vazão, como pode ser observado na Figura 1:

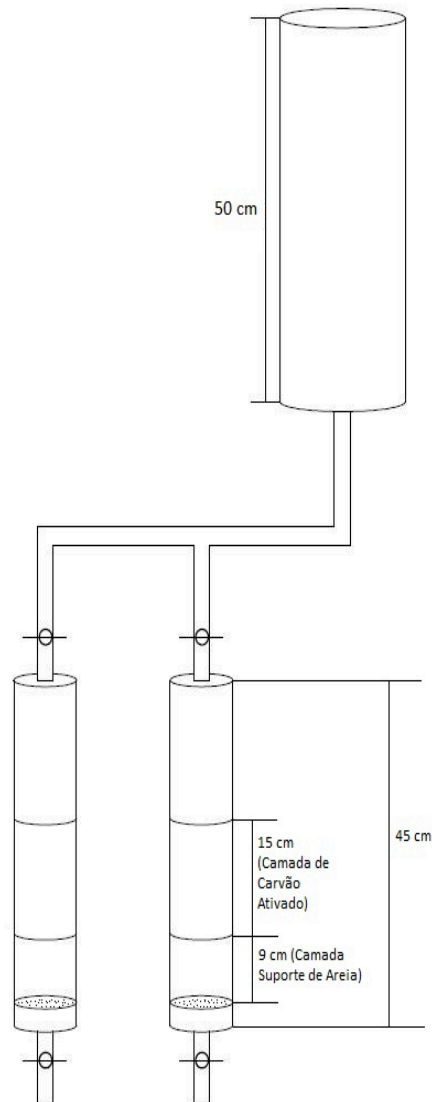


Figura 1: Esquema representativo da instalação piloto do sistema de filtração preenchido com os carvões ativados produzidos

Em operação, após passar pelos filtros com uma taxa de filtração de $240 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$, coletou-se a água em béqueres e retirou-se alíquotas para análise da concentração final de AM em espectrofotômetro.

Assim como nos ensaios de adsorção em batelada, os ensaios em leito fixo foram realizados com solução de AM de concentração $5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, com pH natural da solução e temperatura de 25°C .

Vale ressaltar, que antes de ser utilizado, o (CA-NaOH), foi lavado várias vezes com água destilada para remover a cor gerada por esse adsorvente, antes de se iniciar os ensaios em leito fixo, até que a cor residual fosse inferior a $0,006 \text{ nm}$ no comprimento de onda de 664 nm .

RESULTADOS DA PRIMEIRA ETAPA

Os resultados das caracterizações físico-químicas dos carvões produzidos, são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1: Caracterização físico-química dos carvões ativados obtidos

Carvão	Rendimento (%)	pH	Densidade Aparente (g.cm ⁻³)	Massa Específica (g.cm ⁻³)
CA-NaOH	7,19	8,80	0,1555	0,4975
CA-H ₃ PO ₄	14,7	2,97	0,4211	1,2136

É apresentado na Figura 2, a curva granulométrica de cada carvão ativado, de acordo com as aberturas das peneiras (mm) e a porcentagem de massa que passa.

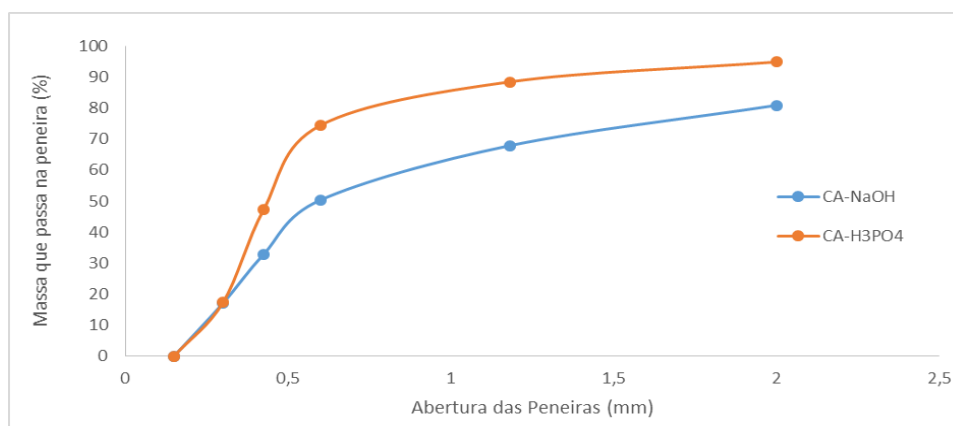


Figura 2: Curva granulométrica dos carvões ativados com NaOH e H₃PO₄

Como pode ser observado na Tabela 1, o CA-H₃PO₄ apresentou maior rendimento (14,7%), que o CA-NaOH (7,19%). Apesar do rendimento ter sido baixo, a obtenção de carvão ativado a partir da borra de café, se mostra vantajosa visto que se obteve um produto de valor agregado, a um resíduo que seria descartado, e que caso sua destinação não fosse adequada, poderia ocasionar poluição ambiental. Os rendimentos apresentados, podem estar relacionados aos valores de densidades apresentados, uma vez que o CA-H₃PO₄ apresentou maior valor de densidade aparente (1,2136 g.cm⁻³) que o CA-NaOH (0,4975 g.cm⁻³), assim como nos valores de massa específica, ou seja, o CA-NaOH apresenta maior quantidade de partículas finas, em relação ao CA-H₃PO₄, o que é confirmado pela curva granulométrica dos carvões. Dessa forma, considerando uma mesma quantidade de massa dos dois carvões dentro de um mesmo volume, o CA-H₃PO₄ ocupa um menor espaço que o CA-NaOH, como pode ser visualizado na Figura 3:

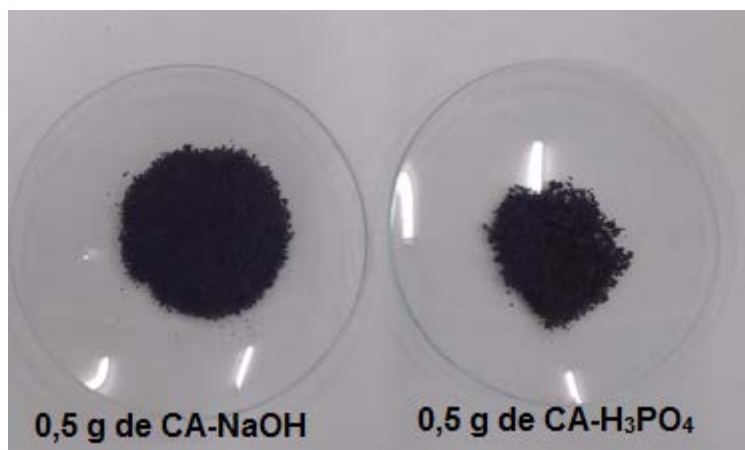


Figura 3: Carvão ativado com NaOH e carvão ativado com H₃PO₄

Essas disparidades observadas podem ser explicadas pela interação do agente ativante com a borra de café que pode ter influenciado significativamente nas características físicas obtidas.

Já os valores de pH dos carvões ativados gerados em laboratório, apresentam-se ácidos com pH igual a 2,97 (CA-H₃PO₄) a levemente básicos com pH igual a 8,80 (CA-NaOH), como mostrado na Tabela 1. Esses valores se mostram concordantes com o processo de produção empregado, visto que utilizou-se um ácido e uma base para ativação química dos carvões.

RESULTADOS DA SEGUNDA ETAPA – ENSAIOS DE ADSORÇÃO EM BATELADA

Cinética de Adsorção

Na Tabela 2 encontram-se os dados referentes ao processo de adsorção do AM em função do tempo, utilizando CA-NaOH em solução com pH natural.

Tabela 2: Valores da adsorção da solução de corante azul de metileno com pH natural em função do tempo, utilizando CA-NaOH

Tempo (min)	Concentração final (mg.L ⁻¹)	Concentração Adsorvida (mg.L ⁻¹)	Quantidade Adsorvida (mg.g ⁻¹)	Eficiência de Remoção (%)
0	0	0	0	0
15	0,6015	4,3985	2,1993	87,97
30	0,4597	4,5403	2,2701	90,81
45	0,3851	4,6149	2,3075	92,30
60	0,3776	4,6224	2,3111	92,45
90	0,3179	4,6821	2,3410	93,64
120	0,2806	4,7194	2,3597	94,39

Já na Tabela 3, é possível observar os dados referentes ao processo de adsorção em função do tempo, em solução com pH ácido (pH=5).

Tabela 3: Valores da adsorção da solução de corante azul de metileno com pH ácido em função do tempo, utilizando CA-NaOH

Tempo (min)	Concentração final (mg.L ⁻¹)	Concentração Adsorvida (mg.L ⁻¹)	Quantidade Adsorvida (mg.g ⁻¹)	Eficiência de Remoção (%)
0	0	0	0	0
15	0,6015	4,3985	2,1993	87,97
30	0,4223	4,5776	2,2889	91,55
45	0,3776	4,6224	2,3112	92,45
60	0,3478	4,6522	2,3261	93,04
90	0,3179	4,6821	2,3410	93,64
120	0,2955	4,7044	2,3522	94,09

Na Figura 3, encontram-se as cinéticas de adsorção de AM pelo carvão produzido com NaOH, em solução com pH natural e em solução com pH ácido.

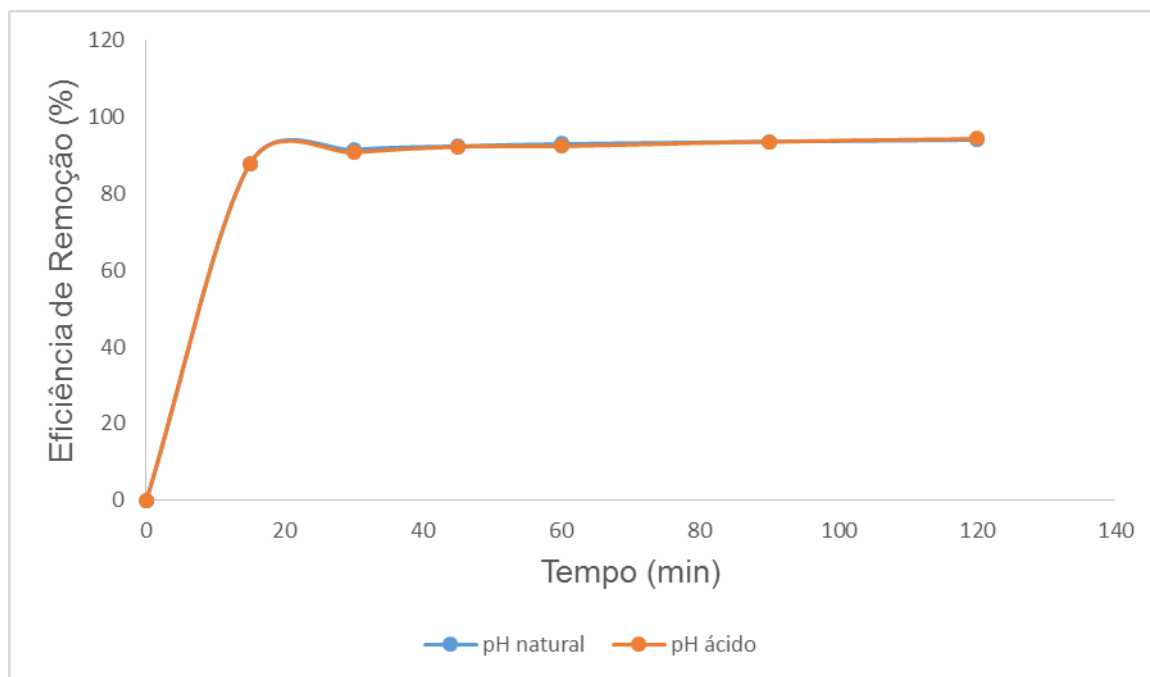


Figura 4: Cinética de adsorção de AM pelo carvão produzido com NaOH com pH da solução natural e ácido

A partir da Figura 4 e dos dados representados nas Tabelas 2 e 3, é possível analisar que a variação do pH não interferiu de forma significativa a eficiência de remoção do AM. Dessa maneira, em testes subsequentes, optou-se por realizar ensaios de adsorção, apenas utilizando solução com pH natural, uma vez que para a variação do pH da solução é necessário a utilização de reagente, representando um custo adicional no processo de adsorção para remoção do corante.

Também é possível analisar, que independente do pH da solução, houve uma alta eficiência de remoção de AM, de aproximadamente 90%, logo nos primeiros 15 minutos de ensaio, como pode ser observado nas Tabelas 2 e 3. Após os 30 minutos, não houve aumento relevante na eficiência de remoção, ou seja, o equilíbrio de adsorção foi atingido. Assim, para avaliar melhor o aumento da eficiência de remoção utilizando CA-NaOH, realizou-se ensaios de adsorção retirando-se alíquotas em menores intervalos de tempo (0; 1; 2; 3; 4; 4.30; 5; 10; 15; 20; 25 e 30 minutos).

Os resultados obtidos em teste de adsorção utilizando (CA-NaOH) em menores intervalos de tempo até se atingir 30 minutos, podem ser observados na Tabela 4.

Tabela 4: Valores da adsorção da solução de corante azul de metileno com pH natural em função do tempo, utilizando CA-NaOH

Tempo (min)	Concentração final (mg.L ⁻¹)	Concentração Adsorvida (mg.L ⁻¹)	Quantidade Adsorvida (mg.g ⁻¹)	Eficiência de Remoção (%)
0	0	0	0	0
1	1,1313	3,8689	1,9343	77,37
2	0,9672	4,0328	2,0164	80,66
3	0,8776	4,1223	2,0612	82,45
4	0,8254	4,1746	2,0873	83,49
4,3	0,8029	4,1970	2,0985	83,94
5	0,7582	4,2418	2,1209	84,84
10	0,6388	4,3612	2,1806	87,22
15	0,5642	4,4358	2,2179	88,72
20	0,4970	4,5030	2,2515	90,10
25	0,4299	4,5403	2,2701	90,81
30	0,2806	4,5701	2,2851	91,00

Na Figura 5, é possível observar a cinética de adsorção do (CA-NaOH), em menores intervalos de tempo.

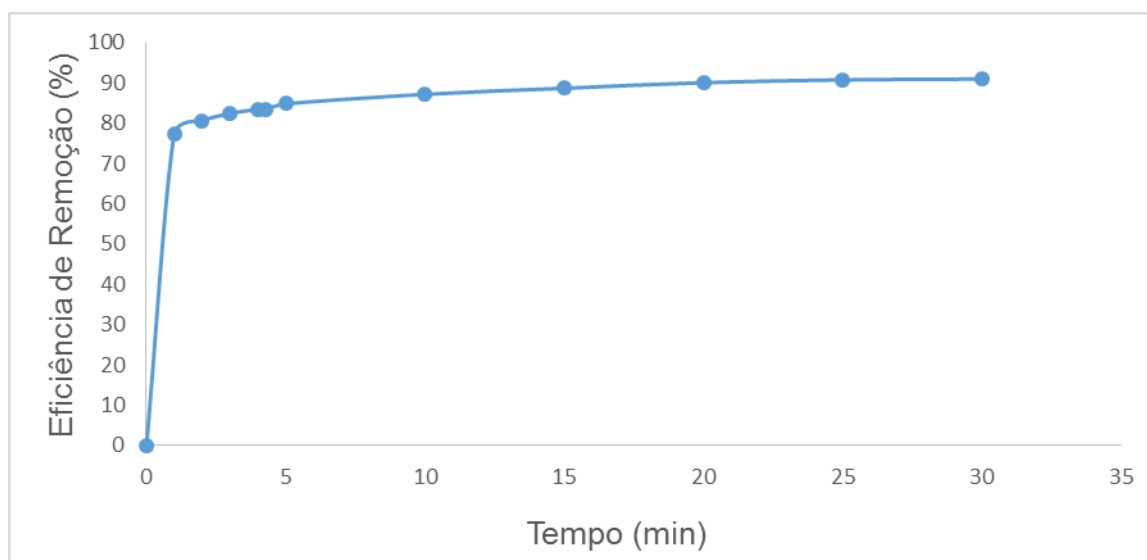


Figura 5: Cinética de adsorção de AM pelo carvão ativado com NaOH em menores intervalos de tempo

Os resultados obtidos em teste de adsorção utilizando o (CA-H₃PO₄), podem ser observados na Tabela 5.

Tabela 5: Valores da adsorção da solução de corante azul de metileno com pH natural em função do tempo, utilizando CA-H₃PO₄

Tempo (min)	Concentração final (mg.L⁻¹)	Concentração Adsorvida (mg.L⁻¹)	Quantidade Adsorvida (mg.g⁻¹)	Eficiência de Remoção (%)
0	0	0	0	0
1	3,6960	1,3040	0,6520	26,08
2	2,7234	2,2766	1,1383	45,53
3	1,9622	3,0378	1,5189	60,76
4	1,5766	3,4234	1,7117	68,47
5	1,2308	3,7692	1,8846	75,38
6	0,9124	4,0876	2,0438	81,75
7	0,7706	4,2294	2,1147	84,59
8	0,5368	4,4632	2,2316	89,26
9	0,3900	4,6099	2,3050	92,20
10	0,2756	4,7244	2,3622	94,49
15	0,1886	4,8114	2,4057	96,23
20	0,1015	4,8985	2,4493	97,97
25	0,0915	4,9085	2,4542	98,17
30	0,0915	4,9085	2,4542	98,17

Na Figura 6, é possível observar a cinética de adsorção do CA-H₃PO₄.

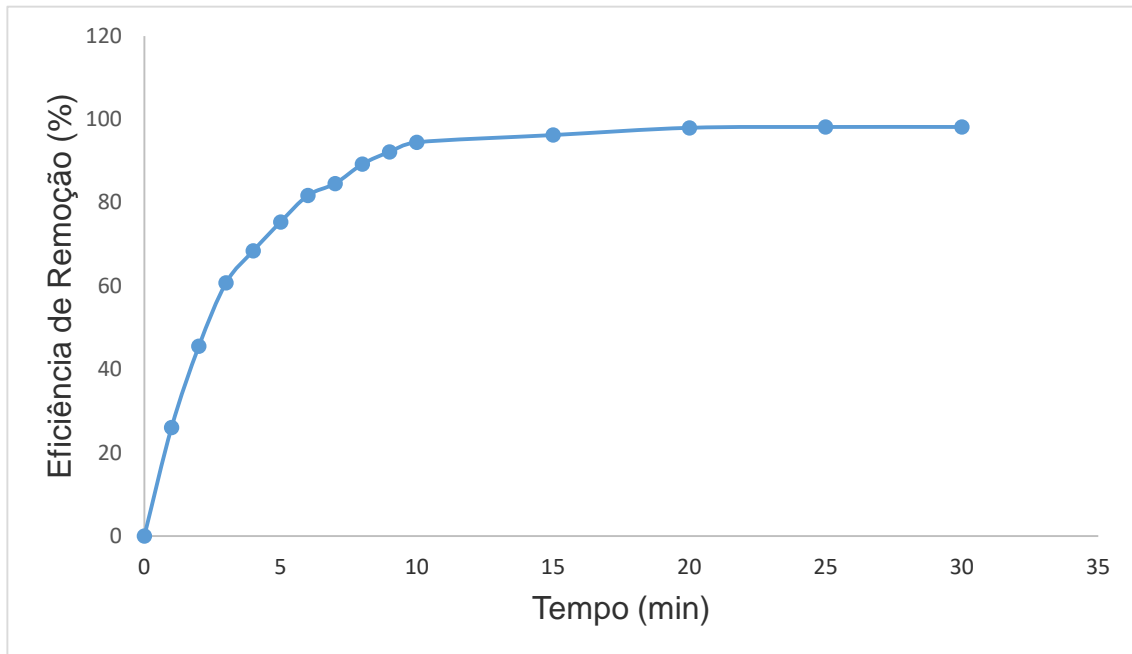


Figura 6: Cinética de adsorção de AM pelo carvão ativado com H₃PO₄

De acordo com as Tabelas 4 e 5, em 1 minuto de ensaio de adsorção, percebe-se que o (CA-NaOH), apresentou eficiência de remoção do corante maior (77,37%) do que o CA-H₃PO₄ (26,08%). Essa remoção mais rápida, pode ser explicada pelo fato de que CA-NaOH, apresentou maior superfície específica pois, conforme a Tabela 1 possui massa específica menor (0,4975 g.cm⁻³) do que o CA-H₃PO₄ (1,2136 g.cm⁻³), e portanto, maior área de contato entre adsorvato e adsorvente, o que pode ter favorecido o processo.

Apesar do CA-NaOH ter eficiência de remoção mais rápida, nota-se que, de maneira geral, para os dois carvões ativados, conforme Figuras 5 e 6, a taxa de adsorção é elevada nos primeiros minutos e diminui com o passar do tempo. Esse comportamento é considerado normal, visto que para o processo de adsorção, o número de sítios ativos disponíveis nos primeiros minutos para a impregnação do corante é maior, assim como a sua quantidade na solução (de COSTA, et al., 2015).

Comparando-se os dados dos dois tipos de carvões produzidos, pode-se observar também, que o CA-H₃PO₄, atingiu o tempo de equilíbrio (10 minutos) mais rápido, e teve maior eficiência de remoção de AM do que o CA-NaOH considerando um período de tempo total.

Avaliação da cor provocada por carvão ativado com NaOH

O CA-NaOH, apesar de ter tido alta eficiência de remoção do corante AM, teve a desvantagem de gerar cor a solução nos ensaios em batelada. Dessa forma, ensaios utilizando água destilada, nos mesmos tempos definidos para os ensaios de cinética de adsorção e mesmo comprimento de onda que o AM, foram realizados a fim de quantificar a cor gerada por este carvão. Na Tabela 6, os valores de absorbância obtidos são apresentados:

Tabela 6: Valores de absorvância obtidos com 0,5 g de carvão ativado com NaOH em água destilada com comprimento de onda de 664 nm

Tempo (min)	Absorvância (nm)
5	0,006
	0,013
	0,018
10	0,006
	0,018
	0,018
15	0,014
	0,014
	0,018
20	0,014
	0,016
	0,019
25	0,016
	0,040
	0,040
30	0,023
	0,037
	0,039

A partir da tabela 6, é possível analisar que o carvão ativado com NaOH, realmente provoca cor na solução, apesar de também remover em ensaios em batelada. No entanto, a elevada capacidade de adsorção desse carvão produzido em um curto intervalo de tempo, supera essa desvantagem. Além disso, deve-se considerar que essa cor gerada é proveniente de um material natural (a borra de café), que se fosse lançado em corpo hídrico receptor seria menos prejudicial que o corante que é uma molécula que possui uma elevada estabilidade biológica e que dificilmente seria degradada. Assim, para que a utilização do CA-NaOH seja eficiente em filtros, é necessário que sejam lavados até que a água proveniente da lavagem esteja totalmente límpida.

RESULTADO TERCEIRA ETAPA: ENSAIOS DE ADSORÇÃO NA INSTALAÇÃO PILOTO (SISTEMA DE FILTRAÇÃO)

Ensaio de adsorção em leito fixo (sistema de filtração)

Os resultados para os ensaios de adsorção em sistema de filtração estão representados na Tabela 7.

Tabela 7: Resultado para os ensaios de adsorção em coluna

Carvão Ativado	Concentração Inicial da Solução (mg.L ⁻¹)	Concentração final (mg.L ⁻¹)	Concentração Adsorvida (mg.L ⁻¹)	Quantidade Adsorvida (mg.g ⁻¹)	Eficiência de Remoção (%)
CA-NaOH	5	0,0268	4,9731	2,4866	99,46
		0,0194	4,9805	2,4903	99,61
		0,0194	4,9805	2,4903	99,61
CA-H ₃ PO ₄	5	0,0044	4,9955	2,4978	99,91
		0,0119	4,9880	2,4940	99,76
		0,0045	4,9955	2,4978	99,91

A partir da Tabela 7, é possível observar que os dois carvões obtiveram quase 100% de remoção da concentração inicial de AM em ensaio de adsorção em sistema de filtração na instalação piloto. O que confirma, que independentemente do tipo agente ativante, a borra de café se mostrou uma precursora para produção de carvão ativado empregados em sistema de filtração, sendo viável sua utilização em escala real.

CONCLUSÕES

Com base no trabalho realizado, concluiu-se que:

A utilização da borra de café como material precursor para obtenção de carvão ativado, mostrou-se satisfatória, apesar do baixo rendimento de produção;

Os diferentes agentes ativantes utilizados (NaOH e H₃PO₄) levaram à formação de carvões ativados com características físico-químicas bastante distintas;

Independentemente do valor de pH da solução, em sistema em batelada, o carvão produzido com NaOH, apresentou elevada remoção na concentração inicial de AM;

O CA-H₃PO₄, atingiu o equilíbrio de adsorção em menos tempo (10 minutos) que o CA-NaOH (30 minutos). No entanto, o carvão ativado com NaOH, apesar de ter levado mais tempo para atingir o equilíbrio (30 minutos), também se mostrou bastante eficiente, e em apenas 5 minutos removeu mais de 80% da concentração inicial de AM;

A elevada capacidade de remoção de corante pelo CA-NaOH supera a desvantagem da cor gerada pelo mesmo, entretanto, foi necessário que o carvão passasse por vários ciclos de lavagem, para que sua utilização em filtros fosse viável, o que sugere que mais estudos podem ser desenvolvidos para contornar esse inconveniente;

Nos ensaios realizados em sistema de filtração na instalação piloto, ambos os carvões produzidos removeram aproximadamente 100% da concentração inicial do corante para a taxa de filtração da ordem de 240 m³.m².dia⁻¹, o que demonstra que há potencial desses carvões serem aplicados em sistemas em escala real;

É confirmado que a borra de café, independente do agente ativante utilizado pra sua ativação, tem potencial para ser precursora na produção de carvões ativados e ser aplicada na remoção de substâncias poluentes em meio aquoso.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. DABROWSKI, A. Adsorption- from theory to practice. **Advances in Colloid and Interface Science**, v.93, p. 135-224, 2001.
2. de COSTA, P. D. Produção, caracterização e aplicação de carvão ativado de casca de nozes para adsorção de azul de metileno. **Revista Virtual de Química**, Criciúma, v. 7, n. 4, p. 1272-1285, 2015.
3. DI BERNARDO, L.; DI BERNARDO, A.; CENTURIONE FILHO, P. L. **Ensaio de Tratabilidade da Água e dos Resíduos Gerados em Estações de Tratamento de Água**. São Carlos, RIMA, 2002.
4. GUARATINI, C. C. T.; ZANONI, M. V. B. Corantes Têxteis. **Química Nova**, p. 71-78. 2000.
5. KLEN, M. R. F., et al. Adsorption kinetics of blue 5G dye from aqueous solution on dead floating aquatic macrophyte: effect of pH, temperature, and pretreatment. **Water, Air and Soil Pollution**, Dordrecht, v. 223, n. 9, p. 4369-4381, Sept. 2012.
6. MANGUEIRA, E. S. V. **Produção de carvão ativado a partir de endocarpo de coco da baía (*Cocos nucifera*) aplicado ao processo de adsorção do herbicida metribuzin**. 2014. 103 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana e Ambiental) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2014.
7. SCHNEIDER, 2008. **Adsorção de compostos fenólicos sobre carvão ativado**. 2008. 93 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo, 2008.