

POTENCIAL DOS RESÍDUOS VEGETAIS DO EXTRATIVISMO AMAZÔNICO PARA SÍNTESE DE CARVÃO ATIVADO DE ALTA CAPACIDADE ADSORTIVA

Data de aceite: 03/06/2024

Elivelton de Santa Cruz Pereira

Universidade Federal do Sul e Sudeste do
Pará – UNIFESSPA, Programa de Pós-
Graduação em Química - PPGQ
Marabá-PA
<https://lattes.cnpq.br/2789518855121312>

Francisco Adriano de Oliveira Carvalho

Universidade Federal do Sul e Sudeste do
Pará – UNIFESSPA, Programa de Pós-
Graduação em Química - PPGQ
Marabá-PA
<http://lattes.cnpq.br/7974443191001763>

RESUMO: Muitos são os danos ambientais causados pelo descarte indevido de resíduos, como corantes, metais pesados e compostos orgânicos nos cursos d'água. A adsorção com o uso de carvão ativado oriundo de biomassas tem ganhado destaque na remoção desses poluentes. Assim, o presente trabalho buscou avaliar o potencial adsorptivo dos carvões ativados obtidos a partir dos resíduos vegetais do bioma amazônico, cacho de pupunha (*Bactris gasipaes* Kunth), caroço de cajá (*Spondias mombin* L.), casca de cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*) e braço de buriti (*Mauritia vinifera*), visando a remediação de contaminantes em efluentes aquosos. Os ensaios de adsorção mostram que todos os adsorventes foram mais eficientes para

a remoção do corante têxtil verde brilhante (VB), quando comparado a remoção do corante têxtil amarelo ácido 17 (AY 17). Ademais, os adsorventes designados, CCP700 (carvão da casca de cupuaçu a 700 °C), CCJ800 (carvão do caroço de cajá a 800 °C) e o CPP700 (carvão do cacho de pupunha a 700 °C) foram os mais eficientes para a remoção do corante têxtil verde brilhante. Os ensaios de adsorção sugerem, também, que os materiais possuem alta capacidade adsorptiva devido à alta remoção do corante têxtil verde brilhante mesmo na presença de uma pequena massa de adsorvente. Além disso, em meio básico o índice de remoção foi superior ao meio ácido, alcançando 99,8% de remoção com 0,2 g de adsorvente e pH 6 para todos os carvões usados no experimento, apontando que as interações eletrostáticas são importantes no processo de adsorção. Outrossim, os ensaios de adsorção com os carvões sintetizados e comercial são muito próximos para a remoção do corante têxtil verde brilhante. Infere-se, portanto, que a utilização dos adsorventes produzidos neste trabalho também é viável para utilização comercial e são promissores para o tratamento de efluentes contaminados.

PALAVRAS-CHAVE: adsorvente; ensaios de adsorção; amarelo ácido 17; verde brilhante.

POTENTIAL OF PLANT RESIDUES FROM AMAZON EXTRACTIVISM FOR SYNTHESIS OF HIGH ADSORPTIVE CAPACITY ACTIVATED CARBON

ABSTRACT: Several environmental damages are caused by the disposal of the waste, such as dyes, heavy metals and organic compounds in waterways. Adsorption process using an activated trigger from biomass has gained prominence in the removal of these pollutants. Thus, the current work focuses to evaluate the adsorptive potential of activated carbons obtained from plant residues from the Amazon biome, peach palm bunch (*Bactris gasipaes* Kunth), cajá seed (*Spondias mombin* L.), cupuaçu peel (*Theobroma grandiflorum*) and buriti arm (*Mauritia vinifera*), with the remediation of contaminants in aqueous effluents. The adsorption tests show that all adsorbents were more efficient for removing the textile dye brilliant green (VB), when compared to removing the textile dye acid yellow 17 (AY 17). Furthermore, the designated adsorbents, CCP700 (charcoal from cupuaçu shell at 700 °C), CCJ800 (charcoal from cajá seeds at 800 °C) and CPP700 (charcoal from peach palm at 700 °C) were the most efficient for removing brilliant green textile dye. The adsorption tests also suggest that the materials have a high adsorption capacity due to the high removal of the bright green textile dye even in the presence of a small mass of adsorbent. Furthermore, in basic medium the removal rate was higher than in acidic media, reaching 99.8% removal with 0.2 g of adsorbent and pH 6 for all adsorbents used in the experiment, indicating that the electrostatic interactions are important in the process. Furthermore, adsorption tests with synthesized and commercial carbons are very similar for removing the brilliant green fabric dye. It is therefore inferred that the use of the adsorbents produced in this work is also viable for commercial use and is promising for the treatment of contaminated effluents.

KEYWORDS: adsorbent; adsorption assays; acid yellow 17; Bright Green.

INTRODUÇÃO

O Brasil é um dos maiores produtores e consumidores têxteis, ocupando a quinta posição no ranking mundial da indústria têxtil e é o quarto no ramo de vestuário. No entanto, este setor também tem sido responsável por grandes impactos ao meio ambiente, uma vez que os corantes utilizados na linha de produção quando descartados de forma incorreta nos cursos d'água são considerados fontes altamente poluidoras, visto que, esses compostos apresentam propriedades físicas e químicas que são extremamente prejudiciais ao meio ambiente e aos seres humanos (XAVIER, 2020; CAVALCANTI; SANTOS, 2020). Além disso, os efluentes produzidos pela indústria têxtil impedem a passagem de luz no meio aquático e com isso retardam o processo de fotossíntese (LALNUNHLIMI; KRISHNASWAMY, 2016). Outrossim, dados na literatura reportam que, algumas classes de corantes podem causar irritação na pele, nas vias aéreas e quando ingeridas podem gerar substâncias com propriedade carcinogênicas e mutagênicas (BAZZO, 2015).

Dentre os diversos corantes utilizados na indústria têxtil, destaca-se o amarelo ácido 17 (AY 17), este é um corante aniônico reativo, bastante empregado na indústria têxtil, gráfica e cosmética, bem como no processo de produção de sabão e detergente. O AY 17 pode causar dispneia, dermatite e irritação nos olhos, no sistema cardiovascular e no

sistema nervoso do ser humano. Similarmente, esse corante tem efeitos mutagênicos e tumorigênicos em bactérias, leveduras e em células somáticas de mamíferos, podendo afetar o material genético, e ocasionar problemas na reprodução e crescimento desses seres (ASHRSF et al., 2012).

Outro corante muito utilizado na indústria têxtil, o verde brilhante (VB), possui caráter básico e coloração verde, e geralmente é encontrado na forma de sulfato e pertence à família dos trifenilmetano (CALVETE et al., 2010). O VB é muito utilizado como agente dermatológico, medicamento veterinário e medicamento para a alimentação de aves para inibir a propagação de fungos e parasitas intestinais. Mesmo com tantas aplicações, esse corante pode apresentar diversos problemas para o homem e também para o meio ambiente, causando náuseas, vômitos, diarreia, irritação no trato gastrointestinal e respiratório e durante sua degradação produz óxidos de carbono, óxidos de nitrogênio e óxidos de enxofre (KUMAR & BARAKAT, 2013).

Devido a estes efeitos e impactos no meio ambiente, tem-se buscado cada vez mais desenvolver de novas técnicas eficientes e baixo custo no tratamento de água e efluentes (HYNES, 2020). Dentre os métodos que podem ser empregados para a remoção desses efluentes, o uso do carvão ativado vem sendo altamente empregado no processo de adsorção, já que, a maioria dos processos tradicionais (coagulação, flotação, decantação, filtração e desinfecção) não são considerados totalmente eficientes para a remoção de coloração (KIELING, 2016).

Vale salientar que o uso de adsorventes, provenientes de matérias orgânicas utilizadas no processo de adsorção é considerado de baixo custo, apresentam alta porosidade e, além disso, são materiais que possuem alta disponibilidade, o que não ocorre com maioria dos adsorventes utilizados atualmente no mercado. Diante do exposto, o respectivo trabalho tem como objetivos sintetizar adsorventes a partir das biomassas do caroço de cajá, casca de cupuaçu, cacho de pupunha e braço de buriti (peciolos das folhas), e avaliar a capacidade adsorptiva para os corantes têxteis: amarelo ácido 17 e verde brilhante em meio aquoso.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização dos experimentos, foram coletadas as matérias-primas: cacho de pupunha, casca de cupuaçu, caroço de cajá e braço de buriti (peciolos das folhas) na comunidade quilombola de Bailique-Centro localizada no município de Oeiras do Pará/PA. Para os testes de adsorção foram utilizados soluções sintéticas de Verde Brilhante (VB) e Amarelo Ácido 17 (AY 17) da Sigma aldrich.

Materiais

Inicialmente, as biomassas foram selecionadas e lavadas com água corrente para a remoção de impurezas. Posteriormente, os insumos foram secos por exposição aos raios solares, em seguida, levados para melhor secagem na estufa a 90 °C por 24 h. Depois de isentos de impurezas, os mesmos foram triturados em um moinho de facas tipo Willey (SL-31). A identificação dos grupos funcionais presentes nas biomassas foi realizada através da Espectroscopia de Absorção Molecular na Região do Infravermelho. Os espectros de infravermelho das amostras foram obtidos utilizando o equipamento Agilent Technologies (Cary 630 FTIR) com registros de varreduras na região espectral de 400 a 4000 cm^{-1} .

Posteriormente, os materiais foram submetidos aos ensaios de carbonização em triplicatas num forno mufla da marca MAGNUS sob taxa de aquecimento de 10 °C/min. A primeira carbonização foi realizada com temperatura máxima de 600 °C por 2 h. Repetiu-se os experimentos sob as mesmas condições variando a temperatura para 700, 800 e 900 °C para todos os materiais, exceto para o material oriundo do braço de buriti que a carbonização foi apenas a 600 °C. Para a identificação dos grupos funcionais presentes nas amostras após o processo de carbonização foi seguido o mesmo procedimento realizado para os materiais *in natura*.

Preparação e caracterização dos adsorventes

Em uma balança analítica foram pesadas separadamente a massa do corante Amarelo Ácido 17, o qual possui massa molecular 551,29 g mol^{-1} , fórmula molecular $\text{C}_{18}\text{H}_{10}\text{Cl}_2\text{N}_4\text{Na}_2\text{O}_7\text{S}_2$ e a massa do corante Verde Brilhante, que possui massa molecular igual a 482,64 g mol^{-1} e fórmula molecular $\text{C}_{27}\text{H}_{34}\text{N}_2\text{O}_4\text{S}$. Um litro de solução estoque de 1000 mg L^{-1} de cada corante foi preparada e devidamente armazenados até a realização dos ensaios de adsorção.

Curva analítica

A partir das soluções estoque, foram preparadas soluções de Verde Brilhante diluindo alíquotas em tubo *ependorf* de 2 mL na faixa de concentração de 1,0 a 7,5 mg/L . As leituras no UV-VIS foram realizadas em um espectrofotômetro da marca Bel Espectro S05, com faixa de operação de 320 a 1.000 nm, no comprimento de onda máximo, ($\lambda_{\text{máx}}$), 625 nm, para o corante Verde Brilhante e em 400 nm para o corante Amarelo Ácido 17. No entanto, para Amarelo ácido a curva analítica foi construída na faixa de concentração de 1 a 22 mg/L . As amostras foram medidas numa cubeta de quartzo de 1 mL e caminho óptico de 1 cm em triplicata

Descrição do procedimento experimental

Todos os adsorventes foram classificados em peneiras com mesh passante de 325 e retida em peneira com mesh de 400. Inicialmente, foram adicionados 0,5 g dos adsorventes em 100 mL de solução de AY 17 contidas em frasco tipo erlenmeyer de 250 mL na concentração de 100 e 200 mg/L. Em seguida, o erlenmeyer contendo a mistura adsorvente/corante foi levado a uma mesa de agitação orbital da marca Fisatom (mod. 786 e série 2090002), sob agitação de 150 rpm e 25 °C por 200 min.

Para o corante VB os ensaios foram realizados nas mesmas condições do AY 17, porém nas concentrações de 100, 200, 300 e 500 mg/L. Ainda para o VB foram realizado estudos de dosagem (0,1 -1,0 g) e de pH com adição de pequenas quantidades de HCl ou NaOH ajustando os mesmos para (3 – 10), ambos experimentos para concentração de 300 mg/L. Ao final dos experimentos, o adsorvente foi separado do sobrenadante com auxílio de uma centrífuga analógica modelo 80-2B. Por fim, as leituras de absorbâncias para o VB foram realizadas no comprimento de onda de 625 nm e para o AY 17 em 400 nm. Ressalta-se que, os estudos de dosagem e pH foram feitos apenas para os três melhores carvões e na melhor temperatura de carbonização. Todos os experimentos foram realizados triplicatas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Carbonização das biomassas

No processo de carbonização dos materiais a 600 °C, observou-se que não houve carbonização de forma homogênea em todos os precursores. Observa-se através do aspecto visual que ainda há material *in natura* no precursor de caroço de cajá (Figura 1a), isso evidencia que a transferência de calor não ocorreu de forma uniforme para esse material. Os demais materiais apresentaram aspecto homogêneo, não apresentado resíduo não carbonizado, Figura 1b, indicando que a carbonização ocorreu de forma eficiente. A eficiência da carbonização foi confirmada através da Espectroscopia Vibracional na Região do Infravermelho (FTIR).

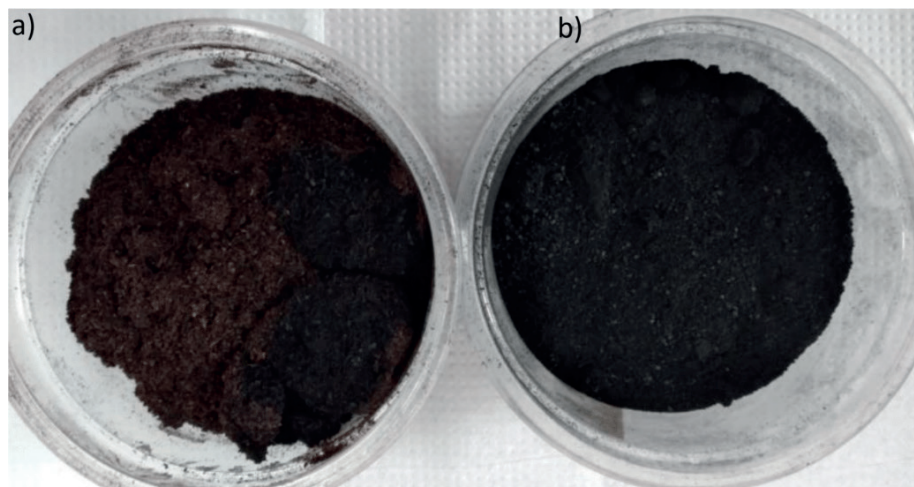


Figura 1: Aspecto visual dos precursores carbonizados: a) Caroço de cajá a 600 °C e b) Pupunha na mesma temperatura.

Os rendimentos obtidos a partir da queima das biomassas são mostrados na Tabela 1.

MATERIAL	600 °C	700 °C	800 °C	900 °C
Caroço de Cajá	Não carbonizou	23%	21,9%	20,3%
Casca de Cupu	27,6%	25,7%	24,1%	22,6%
Cacho de Pupunha	28%	25,2%	22,6%	19,4%
Buriti	11,6%	Não utilizado	Não utilizado	Não utilizado

Tabela 1 - Efeitos da variação de temperatura no rendimento da queima das biomassas por 2 h para massa inicial de 50 g.

É possível observar nos dados da Tabela 1 que com o aumento da temperatura de queima o rendimento diminui para todos os materiais precursores. Vários trabalhos relatam que com o aumento de temperatura o rendimento gravimétrico tende a diminuir devido a maior perda de massa associada ao processo de queima da biomassa (AZEVEDO et al., 2013.; VIEIRA et al., 2013.; SILVA et al., 2018).

O carvão oriundo da biomassa do braço de buriti (pecíolos das folhas) apresentou rendimento muito baixo (11,6%) para a temperatura de carbonização a 600 °C. Devido esse baixo aproveitamento, não foram realizados experimentos de carbonização em temperaturas mais elevadas (LOPES, 2020). Essa baixa porcentagem de produção se deve ao fato desta biomassa apresentar a menor densidade dentre todos os materiais. Outrossim, para essa biomassa, foi perceptível através do aspecto visual grande quantidade de cinzas. De acordo com Silva (2020), a matéria mineral contida nas cinzas é um fator negativo no processo de adsorção, pois causa um efeito desfavorável na remoção de efluentes contaminados.

Caracterização dos adsorventes

Os espectros de infravermelho apresentados na Figura 2 para todos os materiais *in natura* apresentam uma banda bastante larga na região por volta de 3500 a 3200 cm^{-1} , essa é uma banda de estiramento característica do grupo OH (hidroxila), geralmente essa absorção é um indicativo de água nas amostras. Verifica-se também nos espectros *in natura*, que nas regiões próximas de 2800 cm^{-1} aparecem bandas de estiramento que é característico das ligações C-H (sp^2 e sp^3), essas bandas são comumente apresentadas por substâncias lignocelulósicas. Constata-se ainda nos espectros *in natura*, uma banda de estiramento da ligação C-O em 1000 cm^{-1} . Segundo Pavia et al. (2015) as bandas de estiramento C-O aparecem entre 1260 e 1000 cm^{-1} .

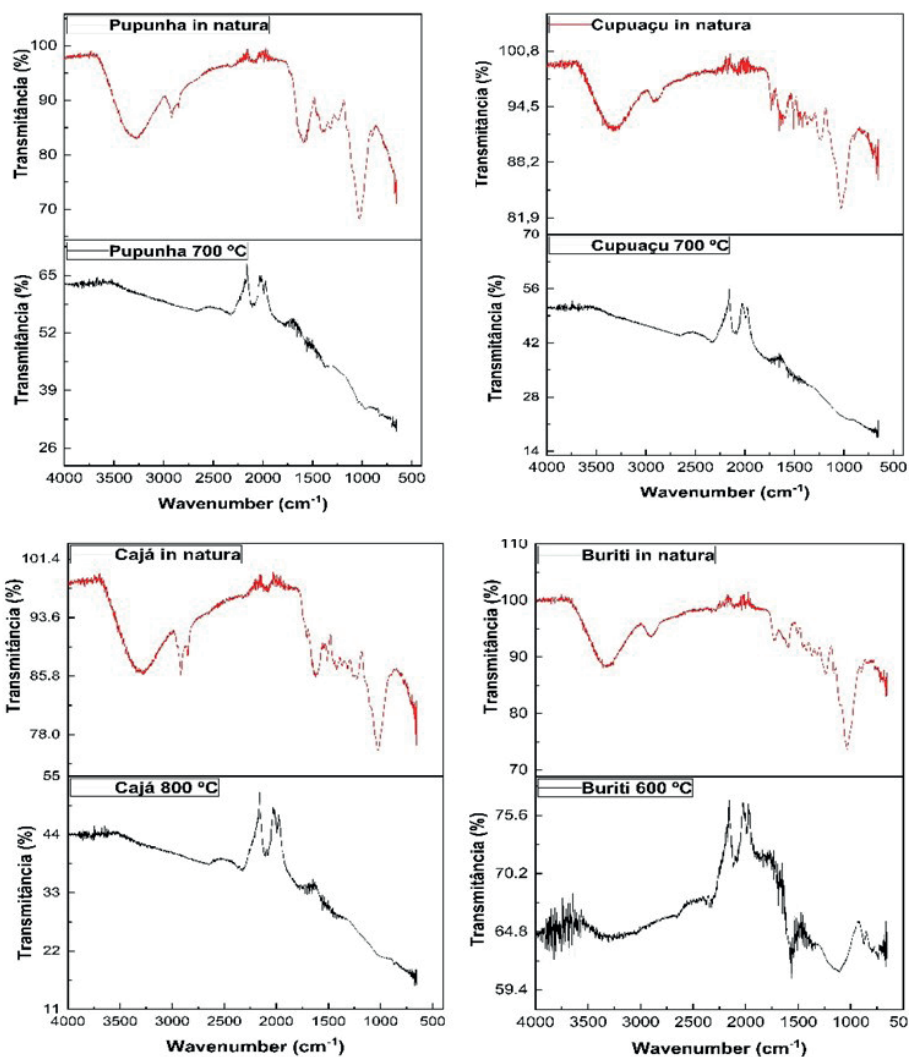


Figura 2: Espectros vibracionais (FTIR) na região de 4000 a 400 cm^{-1} dos adsorventes: *in natura* e carbonizados.

Nos espectros para os precursores carbonizados, percebe-se a ausência das bandas de estiramento dos grupos que apareceram nos materiais *in natura*, indicando que os grupos O-H, C-O, C-H (sp^2 e sp^3) foram eliminados das amostras devido a carbonização nas temperaturas bastante elevadas. Por esse motivo, para as amostras carbonizados quase não é observado bandas vibracionais.

Curva de calibração para o corante aniônico amarelo ácido 17

A curva analítica para o corante têxtil aniônico amarelo ácido 17, na faixa de concentração de 1,0 a 22 mg/L do corante é mostrada na Figura 3.

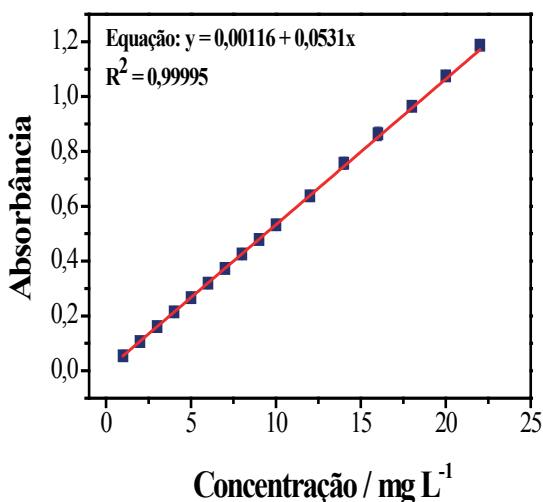


Figura 3: Curva de calibração para o corante têxtil aniônico amarelo ácido 17.

De acordo com Lopes (2020) nesta faixa de concentração a curva de calibração apresentou uma excelente linearidade, caracterizada por um coeficiente de correlação, r^2 de 0,99995. Para concentrações acima de 22 mg/L foi observado um desvio da linearidade devido à alta absorvidade molar do corante em 400 nm, favorecendo desvios da lei de Beer-Lambert. Assim, para as amostras com concentrações fora desta faixa de concentração foram realizadas diluições para a quantificação.

Medidas de adsorção para o corante aniônico amarelo ácido 17

A remoção do AY 17 na concentração de 200 mg/L não ocorreu de forma eficiente para todos os materiais adsorventes utilizados. Os testes mostraram que o CCP600 (carvão da casca de cupuaçu a 600 °C) foi o adsorvente que apresentou o maior índice de remoção com porcentagem igual a 35,58% (dados não mostrados). Para verificar se a concentração do corante estava influenciando no processo foram feitos novos ensaios com 100 mg/L do AY 17 (Figura 4). Quando comparado com a concentração de 200 mg/L, há um aumento da capacidade adsorptiva para os materiais, em conformidade com dados reportados na literatura, porém abaixo dos índices de remoção ideal para materiais adsorventes, que é acima de 90 %.

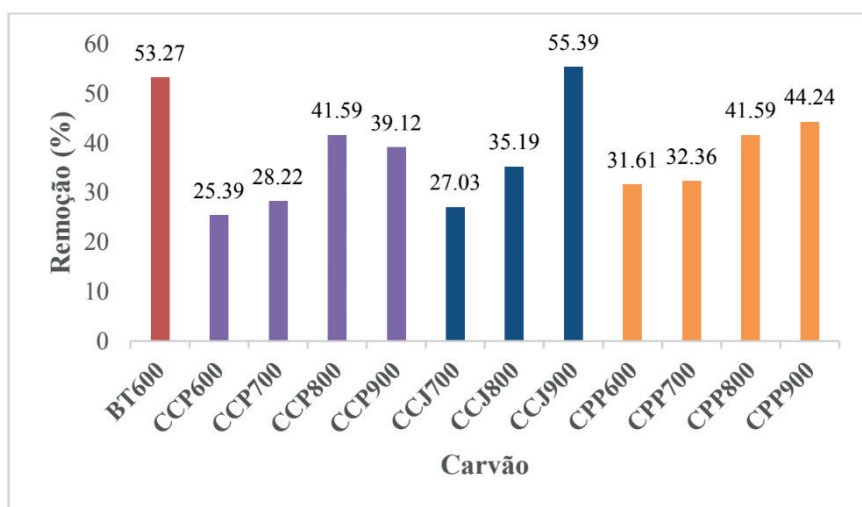


Figura 4: Remoção do corante AY 17 na concentração de 100 mg/L com 0,5 g dos carvões em diferentes temperaturas de carbonização.

De acordo com os dados da Figura 5, observa-se que a melhor remoção, 55,39%, foi o material CCJ900 (carvão do caroço de cajá a 900 °C). Porém, a temperatura do processo de carbonização é um fator predominante para a produção de carvão, pois quanto maior a temperatura maior será o gasto energético, isso acaba tornando a produção mais cara, inviabilizando a produção desse adsorvente, principalmente em escala industrial.

Curva de calibração para o corante têxtil catiônico Verde Brilhante

A curva analítica para o corante têxtil catiônico verde brilhante (VB), na faixa de concentração de 1,0 a 7,5 mg/L do corante é mostrada na Figura 5.

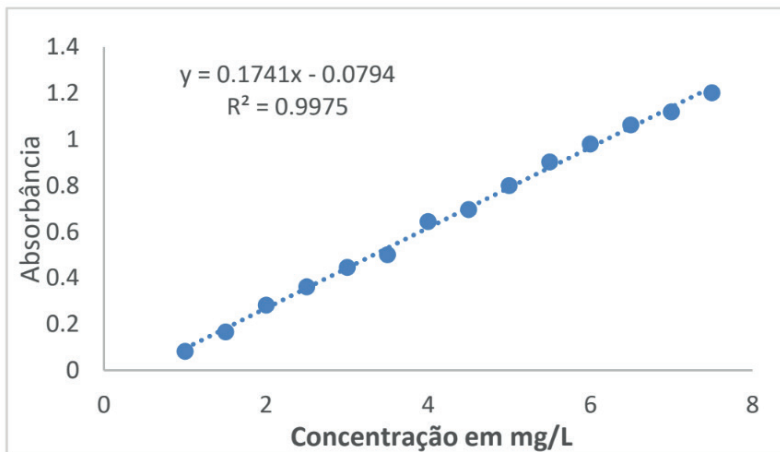


Figura 5: Curva de calibração para o corante têxtil Catiônico verde Brilhante.

A Figura 5 mostra que na faixa de concentração de 1,0 a 7,5 mg/L a curva de calibração apresentou boa linearidade, caracterizada por um coeficiente de correlação, r^2 de 0,9975. Para concentrações acima de 7,5 mg/L foi observado um desvio da linearidade devido à alta absorvidade molar do corante catiônico verde brilhante em 625 nm ser favorável ao desvio da lei de Beer-Lambert.

Medidas de adsorção para o corante têxtil catiônico Verde Brilhante

Os ensaios de adsorção para esse corante ocorreram de forma muito eficiente, a Figura 6 mostra que os sobrenadantes do VB apresentam pouca ou mesmo nenhuma coloração para as concentrações de 100, 200 e 300 mg/L. Já para a concentração de 500 mg/L é possível verificar a diferença de cor nos tubos de ensaio, dessa maneira, é perceptível observar diferença através do aspecto visual, indicando que alguns carvões apresentam melhor capacidade adsorptiva que outros para remoção desse corante catiônico. Ressalta-se que, a coloração mais forte apresentada nos primeiros tubos de ensaio da esquerda para a direita nas Figuras (6b, 6c e 6d), é da solução inicial, sem uso de carvão.

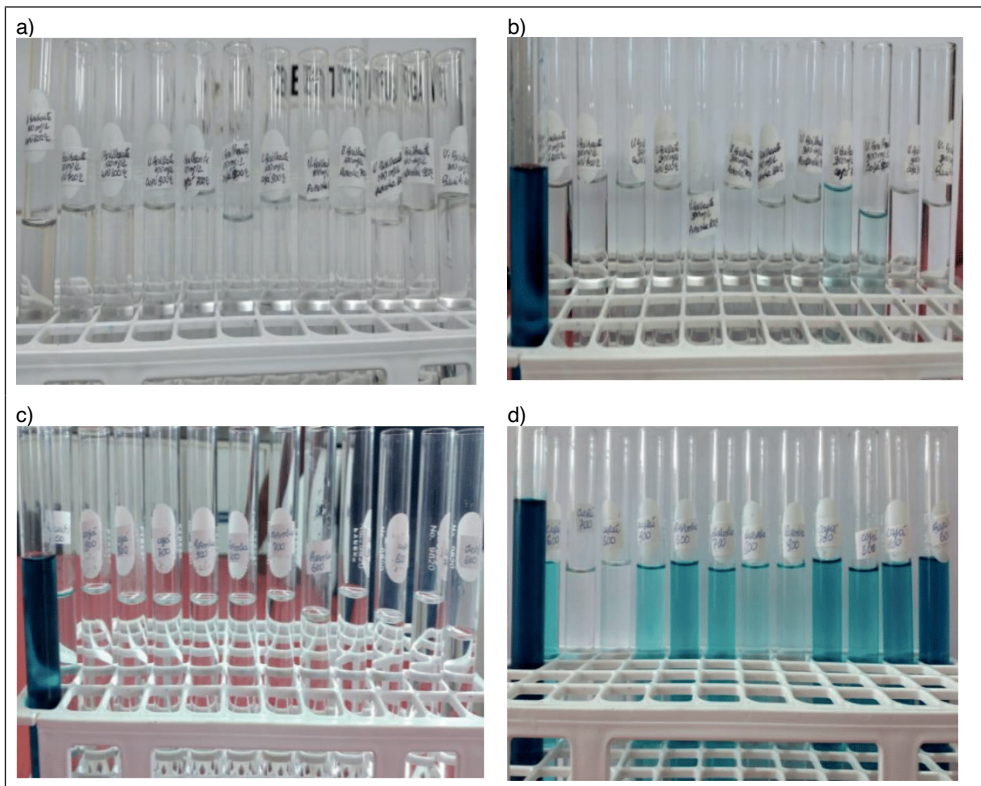


Figura 6: Aspecto visual dos sobrenadantes do VB nas concentrações: a) 100 mg/L, b) 200 mg/L, c) 300 mg/L e d) 500 mg/L após o processo de adsorção,

Os dados reportados na Tabela 2, 500 mg/L de VB, confirmam a alta eficiência adsorptiva dos carvões, caracterizado por índices de remoção superiores a 90%. Estes dados permitem afirmar que a interação adsorvente/adsorvato é mais efetiva, quando comparada ao amarelo ácido 17, e pode estar associada ao caráter catiônico do corante VB e ao menor tamanho deste corante. Vale ressaltar que, os ensaios foram feitos nas mesmas condições para os dois corantes.

Materiais	Remoção %
BT600	92,62
CCP600	99,40
CCP700	99,90
CCP800	99,91
CCP900	99,66
CCJ700	98,16
CCJ800	98,94
CCJ900	97,57
CPP600	98,59
CPP700	99,27
CPP800	99,82
CPP900	99,86

Tabela 2 - Remoção do corante VB na concentração de 500 mg/L com 0,5 g dos carvões em diferentes temperaturas de carbonização.

Uma vez que na presença 0,5 g de carvão houve grande remoção do corante VB na concentração de 500 mg/L, foi selecionado, com exceção do CCP600 (carvão do braço de buriti a 600 °C), apenas um carvão de cada precursor para avaliar outros parâmetros no processo de adsorção. Os adsorventes utilizados para os outros processos de adsorção devido ao alto índice de remoção do corante VB também na faixa de concentração de 500 mg/L foram o CCP700 (carvão da casca de cupuaçu a 700 °C) com 99,90% de remoção, o CCJ800 (carvão do caroço de cajá a 800 °C) que obteve 98,94% de remoção e o CPP700 (carvão do cacho de pupunha a 700 °C) com remoção de 99,27%.

Estudo da capacidade de remoção do VB em função da variação de massa dos adsorventes do CCP700, CCJ800 e CPP700

A Tabela 3 mostra o efeito da massa de adsorvente dos diferentes carvões na faixa de 0,1 a 1,0 g na remoção do VB em 300 mg/L a 150 rpm e 25 °C. É observado que para todos os adsorventes, a partir de 0,1 g o percentual de remoção é acima de 95%. Esse alto grau de remoção do corante com uma pequena massa de adsorvente mostra a alta afinidade dos materiais para o verde brilhante.

Nota-se também que, conforme foi aumentada a quantidade dos carvões no experimento, houve maior remoção do corante. Isso acontece porque o número de sítios ativos nos adsorventes é proporcional ao aumento da sua massa, ou seja, há mais locais disponíveis para alocar as moléculas do corante catiônico verde brilhante (FIGUEIREDO, 2022). Por isso, com a utilização de apenas 0,3 g de carvão todos os adsorventes alcançaram remoção acima de 99,7%.

Massa (g)	Remoção %		
	CCP700	CCJ800	CPP700
0,1	97,09	95,45	98,77
0,2	98,65	98,52	99,80
0,3	99,77	99,72	99,85
0,4	99,85	99,84	99,85
0,5	99,85	99,85	99,85
0,6	99,85	99,85	99,85
0,7	99,85	99,85	99,85
0,8	99,85	99,85	99,85
0,9	99,85	99,85	99,85
1,0	99,85	99,85	99,85

Tabela 3 - Estudo da capacidade adsorptiva dos carvões (CCP700), (CCJ800) e (CPP700) em função da variação de massa de adsorvente a 150 rpm, 25 °C, 200 min e 300 mg L⁻¹ de VB.

Os resultados para todos os materiais são satisfatórios em escala de laboratório, indicando a viabilidade do uso de biomassas para produção de carvão ativado. O mesmo fato é observado em outros trabalhos, ao aumentar a massa de adsorventes a remoção de corantes é aumentada. Brasil (2019) usa carvão ativado comercial para a remoção do corante amarelo C-RG na concentração de 50 ppm, os resultados mostram que para a concentração do carvão igual a 1 g/L a remoção do corante é de 78,95% e quando a concentração mássica do carvão foi duplicada, alcançou-se 92,02% de remoção do corante.

Outro trabalho que mostra maior remoção com o aumento de massa de adsorvente é o de Valcarenghi et al. (2014), que usa carvão ativado granular (CAG), pó de serragem de MDF e de madeirite como adsorventes para a remoção do corante Azul de Metileno na concentração de 0,15 g/L, o trabalho evidencia que independente do adsorvente os melhores resultados foram alcançados com o aumento da massa, no qual, com a utilização de 6 g de adsorventes os índices de remoção foram de 98,2% para o para serragem de MDF, 97,9% para a serragem de madeirite e aproximadamente 100% para o carvão ativado granular.

Estudo comparativo da adsorção do CCP700, CCJ800 e CPP700 em função do pH

Os resultados para os testes de pH são apresentados na Tabela 4. Para todos os materiais utilizados no experimento verifica-se que houve maior remoção à medida que o pH da solução aumenta. O CCJ800 foi o carvão que apresentou a menor porcentagem de remoção com 78,16% no pH igual a 3. Nesse mesmo pH, o CCP700 apresentou 83,46% de remoção e o carvão com melhor capacidade adsorptiva, acima de 99,33%, em toda faixa de pH foi o CPP700.

pH	Remoção %		
	CCP700	CCJ800	CPP700
3	83,46	78,16	99,33
4	99,76	98,95	99,51
5	99,84	93,44	98,90
6	99,84	99,85	99,80
7	99,82	99,85	99,84
8	99,80	99,85	99,85
9	99,80	99,85	99,82
10	99,82	99,85	99,81

Tabela 4 - Comparação da capacidade adsorptiva em função do pH dos adsorventes (CCP700), (CCJ800) e (CPP700) a 150 rpm, 25 °C, 200 min e usando 0,2 g de adsorvente.

A partir do pH 6 todos os carvões alcançaram índice de remoção acima de 99,8%. Conforme verificado por Leal et al. (2012) a maior remoção em valores de pH mais elevados para esse corante se deve ao fato de que o VB é um corante de caráter catiônico, que em pH ácido pode ocorrer uma competição entre os íons H⁺ presentes na solução com os íons também de carga positiva presentes no corante verde brilhante, por consequência, em pH ácido o índice de remoção é menor do que em pH alcalino.

A influência do pH no processo de adsorção também é mostrada no trabalho de Ferreira (2013), no qual, foi usado carvão ativado granular comercial e casca de arroz modificada com NaOH para a remoção do corante Amarelo Tartrazina (AT), observou-se que para os dois adsorventes houve mais remoção em pH 2, a maior porcentagem de remoção foi de 20%. Esse fato é explicado porque o grupo N-N do corante AT é negativamente carregado, caracterizando ser um corante aniônico, por isso ele é melhor removido da solução em meio ácido.

O mesmo fato também é observado no trabalho de Marin et al. (2015) que utiliza o adsorvente comercial Dowex™ Optipore™ SD-2 para a remoção do corante Azul Reativo 5G, os resultados mostram que em pH 2 a remoção do corante foi de (292 ± 8 mg/g) e em pH entre 5 e 9 a remoção foi de (aproximadamente 134 ± 9 mg/g). A maior remoção é verificada em pH ácido porque o corante possui um grupo sulfonato, responsável por seu caráter aniônico, possuindo assim, carga parcial negativa. Desse modo, ocorre uma maior interação eletrostática entre a superfície positiva do adsorvente e o corante aniônico, por isso é favorecida a adsorção em pH 2.

Estudo comparativo da adsorção do VB com uso dos carvões produzidos neste trabalho e com um carvão ativado comercial

Para verificar a qualidade dos carvões produzidos, foi realizado ensaios de adsorção do corante verde brilhante na concentração de 500 mg/L usando carvão ativado comercial, os testes foram feitos em duplicatas, nas mesmas condições que foram realizados os ensaios para os carvões sintetizados neste trabalho. O resultado de remoção desse corante com o uso de carvão ativado comercial foi muito satisfatório, com remoção de 99,6%.

Em comparação aos melhores carvões das biomassas utilizadas neste trabalho, nota-se que o potencial adsorptivo se mostraram muito eficiente, pois na concentração de 500 mg/L os carvões BT600 (carvão de braço de buriti a 600 °C), CCP700 (carvão da casca de cupu a 700 °C), CCJ800 (carvão do caroço de cajá a 800 °C) e o CPP700 (carvão do cacho de pupunha a 700 °C) apresentaram 92,62%, 99,90%, 98,94% e 99,27% de remoção do corante VB, respectivamente.

CONCLUSÃO

Os ensaios realizados neste estudo indicam o potencial do uso de carvões obtidos de precursores amazônicos como adsorventes alternativos para a adsorção dos corantes têxteis amarelo ácido 17 e verde brilhante em meio aquoso, sendo mais eficientes para o corante catiônico. No que se refere a caracterização dos adsorventes, por meio da espectroscopia vibracional na região do infravermelho, verificou-se que todos os adsorventes apresentam uniformidades estruturais, nos quais os grupos funcionais orgânicos foram removidos durante a carbonização.

Os ensaios de adsorção para o corante amarelo ácido 17 apresentaram valores de remoção máxima de 55,39%. Por outro lado, a remoção do corante verde brilhante alcançaram valores de remoção próximos de 100%, indicando que houve uma maior interação química dos carvões com esse corante, quando comparado com o AY 17. Os estudos também mostraram que o pH influencia diretamente no processo de adsorção do VB, pois em meio básico observa-se maior remoção do que em meio ácido.

Os carvões CCP 700, CPP 700 e CCJ 800 apresentaram valores de remoção iguais ou superiores ao carvão comercial para o corante têxtil verde brilhante. Em razão disso, pode-se inferir que os carvões produzidos a partir dessas biomassas são excelentes alternativas no que diz respeito a substituição do carvão ativado comercial, outrossim, essas fontes renováveis se utilizadas corretamente são opções valiosas para mitigar os impactos causados por esses insumos que na maioria das vezes são descartados incorretamente no meio ambiente.

REFERÊNCIAS

- ASHRAF, A. M.; *et al.* **Removal of acid yellow-17 dye from aqueous solution using eco-friendly biosorbent.** Department of Chemistry, University of Malaya, Kuala Lumpur 50603. *Desalination and Water Treatment*. v. 52. p. 4530-4545. Malaysia, 2012.
- AZEVEDO, S. H. C.; *et al.* **Influência da temperatura final de carbonização e da taxa de aquecimento no rendimento gravimétrico e no teor de cinzas do carvão do *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*.** Goiânia: Centro Científico conhecer. v. 9. n. 16. p. 1279. Jul. 2013.
- BAZZO, A. **Aplicação e caracterização do caroço de abacate (*Persea americana* mil) como adsorvente na remoção do corante violeta cristal.** Dissertação (Mestrado em Ciência dos Materiais). Porto Alegre, RS, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2015.
- BRASIL, A. J. **Avaliação da capacidade de adsorção do carvão da pirólise do capim elefante em corante têxteis red-SB e amarelo C-RG.** Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Química). Natal-RN: Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2019.
- CALVETE, T.; LIMA, E. C.; CARDOSO, N. F.; DIAS, S. L. P.; RIBEIRO, E. S. **Removal of brilliant Green dye from aqueous solutions using home-made activated carbons.** *Clean: Soil, Air, Water*, v. 38, p. 521-532, 2010.
- CAVALCANTI, M. A.; SANTOS, F. G. **A indústria têxtil no Brasil: uma análise da importância da competitividade frente ao contexto mundial.** Pernambuco: *Exacta*. 20 (3), 706-726, 2020.
- FERREIRA, T. F. **Adsorção do corante Amarelo Tartrazina utilizando carvão ativado e casca de arroz.** Trabalho de Diplomação (Curso em Engenharia Química). Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), 2013.
- FIGUEIREDO, S. P. **Remoção de prednisona por adsorção em carvão ativado obtido a partir do bagaço de oliveira.** Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Química). Bajé: Universidade Federal do Pampa, 2022.
- HYNES, N.R.J.; *et al.* **Modern Enabling Techniques and Adsorbents based Dye Removal with Sustainability Concerns in Textile Industrial Sector-A comprehensive review.** *Journal of Cleaner Production*, 2020.
- KIELING, G. A. **Adsorção de betex-benzeno, tolueno, etilbenzeno e xileno – em cinza de casca de arroz e carvão ativado.** Tese de doutorado submetida ao programa de Pós-graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Metais da UFRGS como requisito parcial para obtenção do grau de Doutora. Porto Alegre: UFRGS, 2016.
- KUMAR R.; BARAKAT M.A. **Decolourization of hazardous brilliant green from aqueous solution using binary oxidized cactus fruit peel.** *Chemical Engineering Journal*, 226, p. 377–383, 2013..
- LALNUNHLIMI, S.; KRISHNASWAMY, V. **Decolorization of azo dyes (Direct Blue 151 and Direct Red 31) by moderately alkaliphilic bacterial consortium.** *Brazilian Journal of Microbiology*, v. 47, p. 39-46, 2016.
- LEAL, P. V. B.; *et al.* **Estudo da adsorção do corante azul de metileno em resíduos de babaçu.** Gurupi, TO, *Journal of Biotechnology and Biodiversity*, 3 (4), 166-171, 2012.

LOPES, O. D. **Estudos de Adsorção do corante amarelo ácido 17 usando carvão ativado do cacho do açaí e da casca da castanha.** Dissertação de mestrado. Marabá: UNIFESSPA, 2020.

MARIM, P.; *et al.* **Avaliação do efeito da temperatura, pH e granulometria do adsorvente na adsorção do corante azul reativo 5G.** Programa de Pós-graduação *Stricto Sensu* em Engenharia Química da Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Paraná: ENGEVISTA, v. 17. n. 01. p. 59-68, 2015.

DUARTE-NETO, F. J.; *et al.* **Processos de adsorção de corantes em argilas esmectíticas: uma revisão.** Campina Grande: Revista Eletrônica de Materiais e Processos. v. 9. n. 1. p. 51-59, 2014.

PAVIA, K. D.; *et al.* **Introdução a espectroscopia.** 2. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2015.

SILVA, C. R.; *et al.* **Influência da temperatura final de carbonização nas características do carvão vegetal de espécies tropicais.** Gurupí, TO, Brazilian Journal of Forestry Researc. PFB, 2018.

SILVA, O. E. D. **Produção de carvão ativado a partir de endocarpo de coco para aplicação em processos de adsorção da dipirona.** Trabalho Final de Curso (Engenharia Química). João Pessoa, PB, Universidade Federal da Paraíba, 2020.

VALCARENGHI, G.; *et al.* **Adsorção de azul de metileno de solução aquosa com utilização de pó de serragem de mdf e madeirite e carvão ativado granular.** Florianópolis, SC, XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química, 2014.

VIEIRA, S. R.; *et al.* **Influência da temperatura no rendimento dos produtos da carbonização de *Eucalyptus microcorys*.** Cerne: Lavras. v. 19. n. 1. p. 59-64, 2013.

XAVIER, F. S. C. **Avaliação da remoção de corantes têxteis presentes em águas residuárias utilizando bagaço de cana-de-açúcar como adsorvente.** Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental). Centro de Ciências e Tecnologia. Campina Grande: Universidade Estadual da Paraíba, 2020.