

Biocarvão Ativo de Bagaço de Laranja para a Adsorção de Cloridrato de Tetraciclina

Jennifer Modesto de Oliveira¹

Júlia da Silva Feitoza²

Lara Lemos Chaves³

Nicoli Farias de Sousa⁴

Jhonny Frank Sousa Joca⁵

Maria do Socorro Sousa Silva⁶

Resumo: Os antibióticos, quando descartados de forma inadequada, propiciam o desenvolvimento da resistência antimicrobiana, caracterizada pela capacidade das bactérias de serem tolerantes aos efeitos dos antibióticos. A tetraciclina (TC), fármaco comumente utilizado para tratar enfermidades humanas e veterinárias, vem sendo detectada em meios ambientais decorrente de seu descarte inadequado e bioacumulação. Essa presença continua favorece a seleção de micro-organismos resistentes. Diante desse cenário, o presente trabalho propõe a utilização do carvão ativado obtido a partir do bagaço da laranja como alternativa sustentável e de baixo custo como material adsorvente para a remoção parcial da tetraciclina em soluções aquosas de modo que diminua sua concentração. O carvão ativo é uma forma amorfa do carbono, tratado para aumentar suas propriedades de adsorção de substâncias químicas. A alta capacidade de adsorção é devido a área superficial e à presença de pequenos poros em sua estrutura, que permitem a retenção de moléculas invasoras. É amplamente utilizado em tratamento de água, filtração de processos químicos e em remoção de toxinas, pesticidas e fármacos. O bagaço da laranja é um resíduo agroindustrial abundante, foi submetido a processos de trituração, com granulometria de 20 mesh, tratamento com NaOH, carbonização de 100°C-300°C e ativação com H₃PO₄ para produzir um biocarvão ativo de alta adsorção.
Palavras-Chaves: Carvão ativo. Cloridrato de Tetraciclina. Adsorção.

¹Aluno do Curso Técnico em Química Integrado ao Ensino Médio - jennifer.oliveira99@etec.sp.gov.br

²Aluno do Curso Técnico em Química Integrado ao Ensino Médio - julia.feitoza01@etec.sp.gov.br

³Aluno do Curso Técnico em Química Integrado ao Ensino Médio - lara.chaves01@etec.sp.gov.br

⁴Aluno do Curso Técnico em Química Integrado ao Ensino Médio - nicoli.sousa01@etec.sp.gov.br

⁵Professor do Curso Técnico em Química Integrado ao Ensino Médio - jhonny.joca@etec.sp.gov.br

⁶Professora do Curso Técnico em Química Integrado ao Ensino Médio - maria.silva2473@etec.sp.gov.br

Abstract: Antibiotics, when improperly disposed of, promote the development of antimicrobial resistance, characterized by the ability of bacteria to tolerate the effects of antibiotics. Tetracycline (TC), a drug commonly used to treat human and veterinary diseases, has been detected in environmental matrices as a result of improper disposal and bioaccumulation. This continuous presence favors the selection of resistant microorganisms. In this context, the present study proposes the use of activated carbon obtained from orange bagasse as a sustainable and low-cost alternative adsorbent material for the partial removal of tetracycline in aqueous solutions, thereby reducing its concentration. Activated carbon is an amorphous form of carbon treated to enhance its ability to adsorb chemical substances. Its high adsorption capacity is due to its large surface area and the presence of small pores in its structure, which allow the retention of invasive molecules. It is widely used in water treatment, chemical process filtration, and the removal of toxins, pesticides, and pharmaceuticals. Orange bagasse, an abundant agro-industrial residue, was subjected to grinding processes (20-mesh granulometry), NaOH treatment, carbonization at 100°C–300°C, and activation with H₃PO₄ to produce a highly adsorptive bio-activated carbon. Keywords: Activated carbon. Tetracycline hydrochloride. Adsorption.

¹Aluno do Curso Técnico em Química Integrado ao Ensino Médio - jennifer.oliveira99@etec.sp.gov.br

²Aluno do Curso Técnico em Química Integrado ao Ensino Médio - julia.feitoza01@etec.sp.gov.br

³Aluno do Curso Técnico em Química Integrado ao Ensino Médio - lara.chaves01@etec.sp.gov.br

⁴Aluno do Curso Técnico em Química Integrado ao Ensino Médio - nicoli.sousa01@etec.sp.gov.br

⁵Professor do Curso Técnico em Química Integrado ao Ensino Médio - jhonny.joca@etec.sp.gov.br

⁶Professora do Curso Técnico em Química Integrado ao Ensino Médio - maria.silva2473@etec.sp.gov.br

1 INTRODUÇÃO

1.1 Efluentes emergentes

Nas últimas décadas, os estudos sobre efluentes emergentes têm ganhado destaque devido à crescente preocupação com os riscos que esses compostos representam para a saúde humana e para os ecossistemas aquáticos. Esses efluentes incluem substâncias como fármacos, hormônios, produtos de higiene pessoal, pesticidas e resíduos industriais que, embora presentes em baixas concentrações, podem causar efeitos tóxicos cumulativos a longo prazo (Montagner; Vidal; Acayaba, 2017).

Em ambientes aquáticos, por exemplo, a exposição contínua a esses poluentes pode provocar efeitos subletais em organismos, alterar as cadeias tróficas, prejudicar a biodiversidade e favorecer o surgimento de microrganismos resistentes a antibióticos.

Nesse contexto, o presente estudo foca no cloridrato de tetraciclina, um antibiótico amplamente utilizado nas áreas médica, veterinária e agrícola. Considerando que sua absorção no organismo, de acordo com Xu *et al* (2021, apud Amangelsin *et al.*, 2023), é de cerca de 75%, e que a fração não metabolizada é excretada pelas fezes e urina, essa substância pode alcançar os corpos d'água como micropoluente, especialmente na ausência de sistemas eficazes de tratamento de esgoto (Addamo *et al.*, 2005, apud SANTA CRUZ, 2017) uma vez que esses compostos são detectados em concentrações muito baixas, da ordem de microgramas ($\mu\text{g/L}$) ou nanogramas por litro (ng/L). A poluição ambiental causada pelo cloridrato tetraciclina está diretamente relacionada à sua elevada estabilidade química e à baixa taxa de metabolização nos organismos vivos.

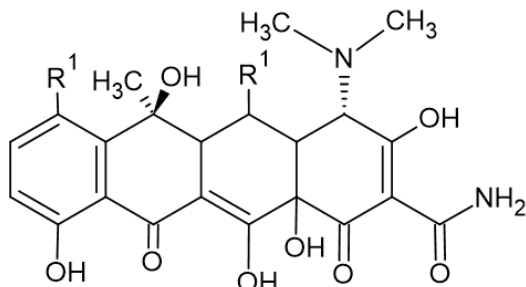
Devido ao seu uso extensivo em seres humanos e na medicina veterinária, resíduos desse composto frequentemente atingem o meio ambiente, principalmente por excreção ou descarte inadequado, sendo encontrados em solos, rios e estações de tratamento de esgoto.

1.2 Tetraciclina

A tetraciclina, com fórmula molecular $\text{C}_{22}\text{H}_{24}\text{N}_2\text{O}_8$, principal composto ativo dessa classe, apresenta características químicas importantes. Na sua forma livre, é um sólido cristalino com baixa solubilidade em água e limitada estabilidade química em diferentes faixas de pH, apresenta esse o comportamento anfótero, reagindo em pH ácido e básico, o que restringe seu emprego direto em formulações farmacêuticas (Mentges, Rodrigo, 2013). Para superar essas limitações, a tetraciclina pode ser convertida em seu sal cloridrato, resultante da reação com ácido clorídrico, que apresenta maior solubilidade aquosa e estabilidade química, facilitando sua utilização em formulações medicamentosas (Silva *et al.*, 2013).

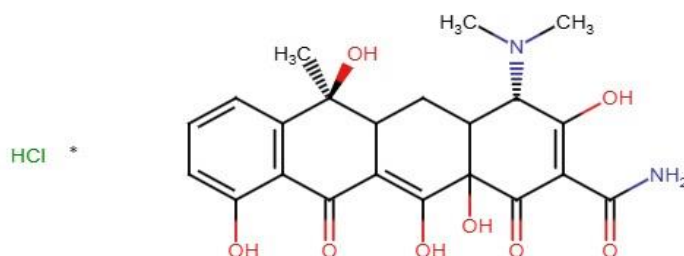
O cloridrato de tetraciclina corresponde a $C_{22}H_{24}N_2O_8 \cdot HCl$ e atua como um antibiótico bacteriostático, inibindo o crescimento bacteriano ao bloquear a síntese proteica, sendo eficaz contra bactérias Gram-positivas e Gram-negativas (Silva *et al.*, 2013).

Figura 1: Estrutura molecular da tetraciclina



Fonte: Autoria Própria

Figura 2: Estrutura molecular do cloridrato de tetraciclina



Fonte: Autoria Própria

Estruturalmente, a molécula de tetraciclina contém dois grupos cromóforos principais, constituídos por anéis aromáticos com ligações duplas conjugadas, que conferem à molécula a capacidade de absorver radiação nas regiões ultravioleta (UV) e visível, entre 250 e 380 nm (UTFPR, 2013). Ademais, a tetraciclina apresenta múltiplos grupos funcionais com propriedades ácido-base distintas.

1.3 Carvão Ativo

O Brasil destaca-se como um dos maiores exportadores de laranja do mundo, sendo responsável por aproximadamente 29,66% da produção global da fruta. Atualmente, cerca de 70% do suco de laranja consumido mundialmente tem origem em plantações ou processos de industrialização realizados no país.

O Brasil é responsável pela produção de 3/4 das exportações mundiais de suco de laranja. Este fato o torna o maior produtor e exportador do mundo. Em primeiro lugar, está o estado de São Paulo em produção, respondendo por 77% da produção nacional, seguido por Minas Gerais (6%), Paraná (5%), Bahia (4%) e Rio do Sul Grande (2%). (Da Silva e Pimentel, 2021, p.2)

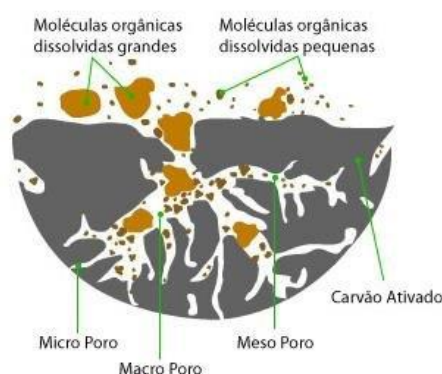
Esse elevado volume de produção gera uma grande quantidade de resíduos agrícolas, principalmente o bagaço da laranja, que podem ser aproveitados para tratamento de efluentes de maneira sustentável.

Dentre os adsorventes estudados no mercado, o uso do carvão ativado a partir do aproveitamento de resíduos orgânicos tem sido avaliado como uma opção de facilidade de produção e de menor custo. Diante disso, é utilizado em diversas áreas devido sua alta capacidade de adsorção e estabilidade química, como na remoção de poluentes orgânicos e inorgânicos (odores, pesticidas, fármacos e corantes) em sistemas aquosos. (Fernandes, 2021).

Produzidos por meio da decomposição térmica de materiais orgânicos em ambientes com a limitação ou inibição de oxigênio em temperaturas relativamente baixas. Esse material apresenta estrutura com alta porosidade devido ao rearranjo dos átomos de carbono durante o processo, podendo ser ativados quimicamente, em maioria com ácido fosfórico (H_3PO_4) ou cloreto de zinco ($ZnCl_2$), ou fisicamente pela pirólise (material submetidos em condições de altas temperaturas e baixo oxigênio) (Souza, 2010; Ferreira, 2019; Magdalena, 2019).

São classificados pelo tamanho em macro, meso e microporosidade, esses padrões dependerão diretamente da matéria prima, da preparação e da temperatura para produzir o carvão (Claudino, 2003; Fallah *et al.*, 2022). A figura exemplificada do processo de adsorção realizado pelo carvão ativado é mostrada na figura 3.

Figura 3: Processo de adsorção e poros do carvão ativado.



Fonte: MacrovenFoda, 2016.

1.4 Adsorção - Mecanismo de adsorção

Existem, dois tipos de adsorção: a adsorção física (fisissorção) e a adsorção química (quimissorção). Em determinadas situações, ambos os tipos podem ocorrer simultaneamente (Cheremisinoff; Ellerbusch, 1978).

A adsorção física ocorre devido a diferenças de energia e as forças de atração conhecidas como forças de Van der Waals, que mantêm as moléculas presas fisicamente à superfície do carvão. A fisissorção é uma interação eletrostática entre a partícula e os átomos da superfície

do sólido, resultante da atração entre dipolos permanentes ou induzidos, sem alteração dos orbitais atômicos ou moleculares das espécies envolvidas (Droguett, 1983).

Por outro lado, na adsorção química ocorre o rearranjo eletrônico entre as moléculas e o sólido, alterando a forma dos orbitais, de maneira semelhante a uma reação química. Geralmente, o adsorvente é constituído por partículas sólidas, através do qual a fase fluida escoou de forma contínua até que o sistema atinja o equilíbrio de transferência de massa. Como o adsorvato tende a se concentrar na superfície do adsorvente, a eficiência do processo de adsorção está diretamente relacionada à área superficial disponível. Dessa forma, os materiais adsorventes são, em sua maioria, sólidos porosos, o que proporciona uma maior área de contato e, conseqüentemente, uma melhor capacidade adsortiva (Borba, 2006).

A adsorção constitui um fenômeno de transferência de massa no qual um ou mais constituintes presentes em uma fase fluida, seja gasosa ou líquida, são transferidos para a superfície de uma fase sólida. Os compostos retidos na superfície são denominados adsorvatos, enquanto a fase sólida que os captura é denominada adsorvente (Ruthven, 1984; Karge *et al.*, 2008; apud Lima, 2016).

2. OBJETIVOS

O objetivo deste Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) é sintetizar amostras de carvão ativado proveniente do bagaço de laranja, com o intuito avaliar seu potencial de adsorção do fármaco Cloridrato de Tetraciclina.

Objetivo específico 1: Reutilizar uma fonte biodegradável de baixo custo para produção de adsorvente

Objetivo específico 2: Investigar a capacidade de remoção desse adsorvente para o fármaco Cloridrato de Tetraciclina

3. DESENVOLVIMENTO

3.1 Materiais e Reagentes

Para o preparo do carvão ativado foram utilizados os seguintes materiais e equipamentos: cascas de laranjas doados por comerciantes locais; forno de fogão 52LBU, 70L (Electrolux, Brasil), forno de fogão FGCT005PEVDA0BR/01 100L (Continental, Brasil), forno de fogão CFO4NAB 58L (Consul, Brasil) forno elétrico de embutir OE8MX 80L (Electrolux, Brasil), Air fryer Oven BFR2100P 12L (Britania, China), Air Fryer BFR21P 4L (Britania, Brasil), Air Fryer AFN-80-FB 8L (Mondial, Brasil); liquidificador full OLIQ610 (Oster, Estados Unidos), liquidificador BO8J8FTN15 28L (Mondial, Brasil), Mixer RI2622/72 (Philips, China); peneira de análise granulométrica 10 mesh (A bronzinox, Brasil); peneira de análise granulométrica 20 mesh (The W. S Tyler Company, Estados Unidos da América);

NaOH Micro Pérolas PA (Anidrol); H₃PO₄ 85% P.A (Nuclear, Brasil); pHmetro (MS TECNOPON, Brasil); estufa (Ero Eletronic, Reino Unido); Bico de bunsen (modelo desconhecido); mufla (Fornitec-IND. E COM. LTDA, Brasil); dessecador; balança analítica AY220 (Shimadzu do Brasil, Filipinas).

Para o preparo das soluções, utilizou-se o reagente Cloridrato de Tetraciclina e os dispositivos listados a seguir; balança analítica AY220 (Shimadzu do Brasil, Filipinas) e micropipeta variável (Joanlab, China).

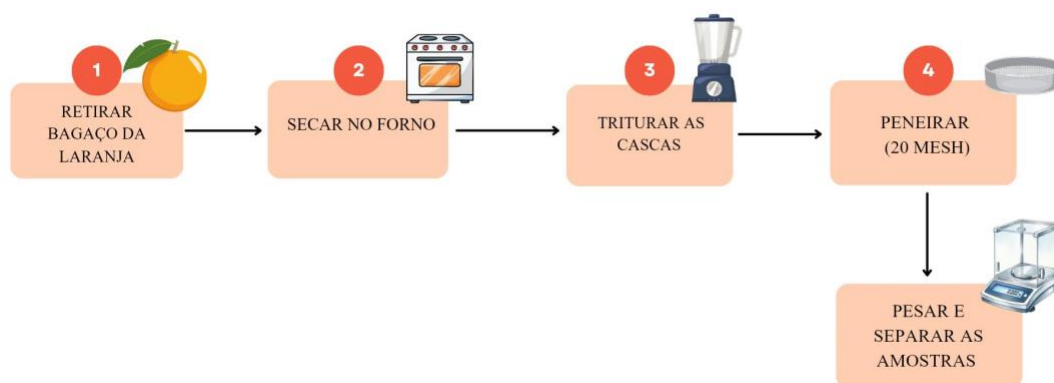
Por fim, o processo de adsorção foi realizado com o auxílio dos aparatos: agitador mecânico NI 1137 (Nova Instrumente, Brasil); papel de filtro qualitativo, filtração rápida (Química Moderna, Alemanha); espectrofotômetro 974529 UV-Visível (Eduotec, Brasil).

3.2 Procedimento experimental

3.2.1. Preparo do bagaço da laranja

Foram realizados estudos para a análise da adsorção do carvão produzido do bagaço da laranja provenientes do restaurante Oasis, local do município de Santo André. Para melhor e mais fácil compreensão dessa etapa, segue o fluxograma contendo os procedimentos adaptados de Magalhães (2018), realizados para o preparo das amostras:

Figura 4 – Fluxograma preparo das cascas de laranja



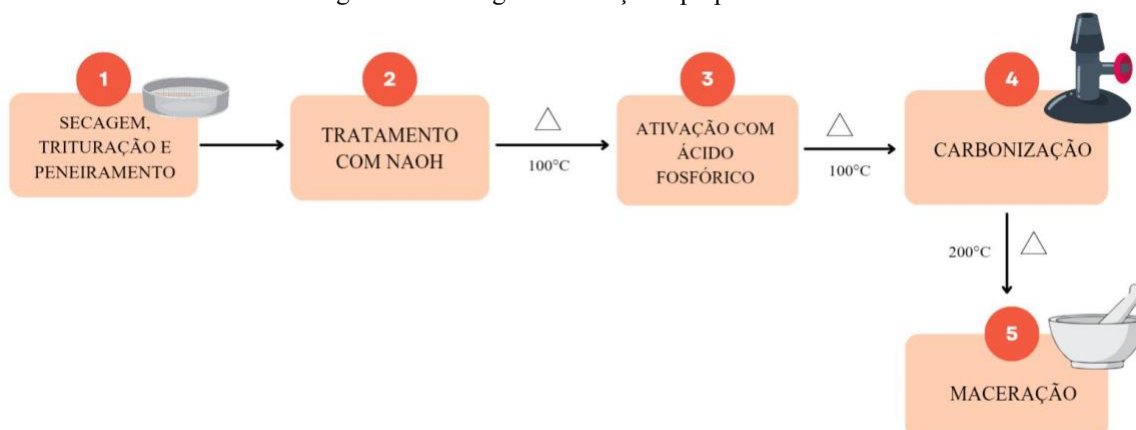
Fonte: Autoria própria.

3.2.2 Sínteses das amostras de carvão

Para a obtenção das amostras de carvão, realiza-se o método adaptado de Carrasquero, Montiel e Andrade (2022). Buscando melhor comparação nos resultados, fez-se duas amostras de carvão. As amostras foram denominadas F e H, a primeira tratada com NaOH e posteriormente ativada com H₃PO₄ 85% na proporção 1:1, e a segunda apenas ativada com H₃PO₄ 85% na proporção 1:1, respectivamente. Para a síntese do carvão, utilizou-se 20 gramas

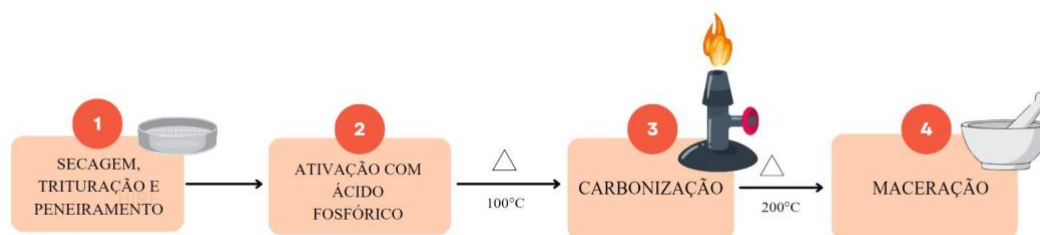
do material seco. Segue abaixo os fluxogramas exemplificando os processos de obtenção das amostras:

Figura 5 – Fluxograma ativação e preparo do carvão F



Fonte: Autoria própria.

Figura 6 – Fluxograma preparo do carvão H

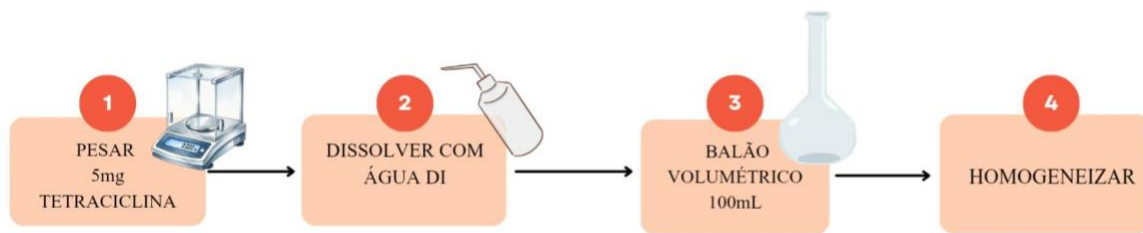


Fonte Autoria própria

3.2.3 Preparo da solução do cloridrato de tetraciclina

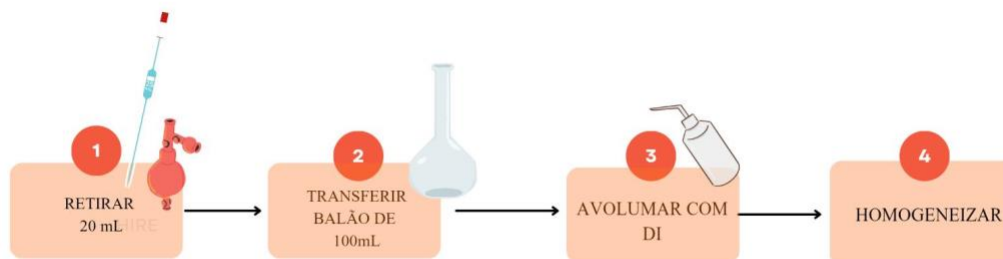
Para o preparo das soluções destinadas ao processo de adsorção, inicialmente, pesou-se 5 mg de cloridrato de tetraciclina em um béquer. Em seguida, adicionou-se água deionizada e a solução foi transferida para um balão volumétrico de 100 mL, completando-se o volume até o menisco. Posteriormente, uma alíquota de 20 mL da solução de 50 mg/L foi transferida para outro balão volumétrico de 100 mL, sendo novamente completado o volume até o menisco, a fim de obter uma solução diluída com concentração final de 10 mg/L.

Figura 6 – Fluxograma realização da solução 50mg/L da tetraciclina.



Fonte: Autoria própria

Figura 7 – Etapas da diluição para 10mg/L



Fonte: Autoria própria

3.2.4 Concepção da curva de calibração e varredura

Utilizou-se a solução de tetraciclina de concentração 50 mg.L^{-1} e 10 mg.L^{-1} realizou-se a Varredura no espectrofotômetro UV-VIS.

A partir da solução de tetraciclina de 50 mg.L^{-1} , preparou-se soluções com concentrações, em miligramas por litro, igual a 0,25; 0,5; 1,0; 5,0; 10,0; 15,0; 20,0 as quais foram empregadas para a confecção da curva de calibração de calibração, determinada no comprimento de onda de 271 nm.

3.2.5 Teste de adsorção

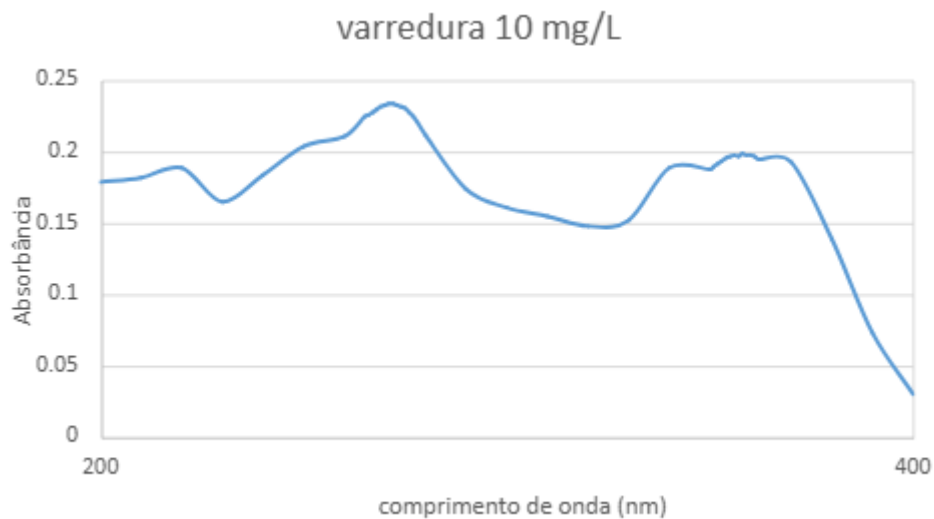
Foi realizado o teste de adsorção, utilizando soluções de cloridrato de tetraciclina de 20mg/L e 10mg/L, transferiu-se as soluções para um béquer e adicionou o carvão ativo na proporção de 1:100 e colocou em agitação por 30 minutos. Ao passar o intervalo de tempo, a agitação da amostra foi interrompida e iniciou o processo de filtração com papel de filtro qualitativo, filtração rápida (Química Moderna, Alemanha), posteriormente sendo medido pelo espectrofotômetro no comprimento de onda de 271nm.

4. Resultados e Discussão

4.1. Solução Cloridrato de Tetraciclina

A fim de conferir os valores analisados pela literatura, realizou-se a varredura na concentração de 10 mg/L. Na Figura 8 é possível observar o aumento da concentração ou aumento proporcional na absorbância. Esse comportamento do sistema pode ser descrito pela Lei de Lambert-Beer, segundo a qual e sob determinados condições, uma absorbância é diretamente proporcional à concentração da espécie e ao caminho ótico percorrido pelo feixe de luz incidente.

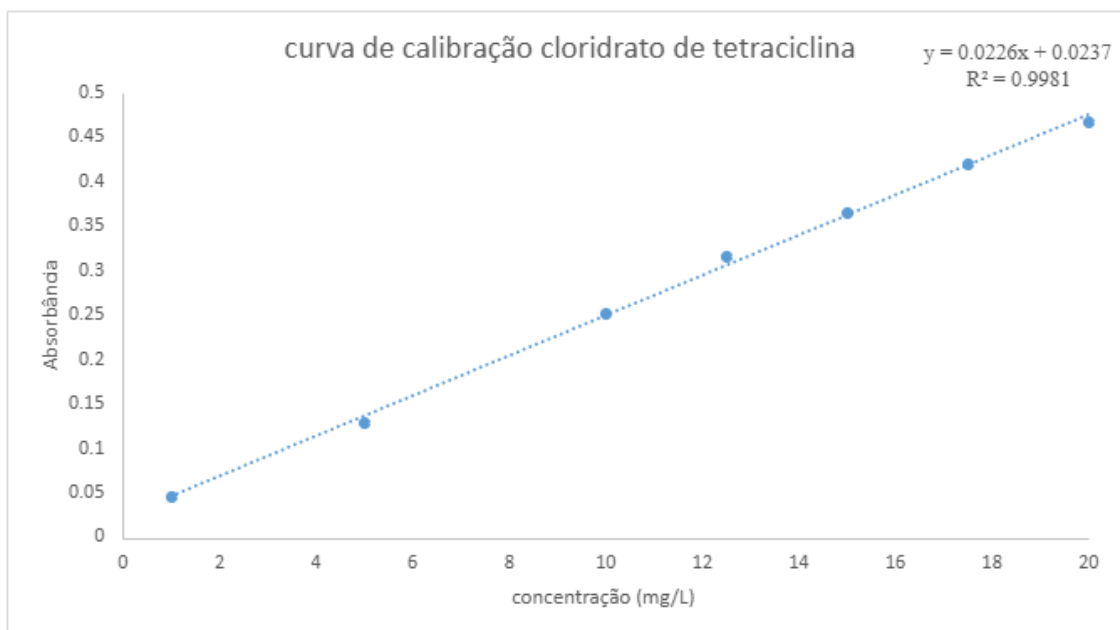
Figura 8 – Varredura na solução de 10 mg/L



Fonte: Autoria própria

Portanto, é possível uma determinação de uma faixa de trabalho em que uma resposta da absorvidade em função da concentração da espécie apresente um comportamento linear, esse gráfico é denominado de curva de confiança. Essa curva (Figura 10) obedece a equação da reta, $y = ax + b$, em que “y” é absorvidade, “x” é a concentração, “a” o coeficiente angular (0,0226) e “b” o coeficiente linear (0,0237).

Figura 9 – Curva de calibração do Cloridrato de Tetraciclina



Fonte: Autoria própria

O resultado da curva é a repetição de nove repetições e pode ser expressa por $y = 0,0226x + 0,0237$. O R-Square ou R^2 , que mede quanto do erro de previsão é eliminado, é 0,9981.

4.2. Carvão ativado

As figuras 11 e 12 trazem as amostras de carvão ativado provenientes do material bagaço de laranja, no qual a amostra F (figura 11), primeiro tratada com NaOH e posteriormente ativada com ácido fosfórico H_3PO_4 85% na proporção de 1:1 (1 g de casca de laranja para 1 mL de ácido), e a amostra H (figura 12) apenas ativada com H_3PO_4 85% na proporção 1:1, respectivamente.

Figura 10: Amostra do carvão F obtida por ativação H_3PO_4 e NaOH



Fonte: Autoria própria.

Figura 11: Amostra do carvão H obtida com ativação com H_3PO_4



Fonte: Autoria própria.

As amostras F e H de carvão ativado exibiram morfologia granular e porosa. Entretanto, com o decorrer do tempo, verificou-se a ocorrência de adsorção de água, possivelmente em função da alta área superficial do material.

4.3. Ensaios de adsorção

Os testes de capacidade de remoção da tetraciclina por adsorção em carvão ativado obtido do bagaço de laranja foram realizados utilizando massas de 0,1 g e 0,15 g de carvão ativado, em contato com 10 mL de solução de cloridrato de tetraciclina nas concentrações iniciais de 10 mg/L e 20 mg/L. Os ensaios foram conduzidos sob agitação magnética durante períodos de 15 e 30 minutos.

De acordo com os resultados obtidos, a variação do tempo de adsorção do carvão ativado e a variação na massa promoveram alterações significativas na porcentagem de cloridrato de tetraciclina adsorvido, evidenciando a influência direta do tempo sobre o processo de adsorção.

4.4. Cálculo da taxa de adsorção

Para quantificar a taxa de adsorção, ou seja, a redução da absorvância após a adsorção do carvão, empregou-se a Equação 1. As informações de todos os ensaios de adsorção, juntamente com os resultados dos cálculos e as taxas de adsorção correspondentes, estão apresentadas nas Figuras 11, sendo que cada figura representa, respectivamente, as amostras de carvão F e carvão H com metodologias diferentes.

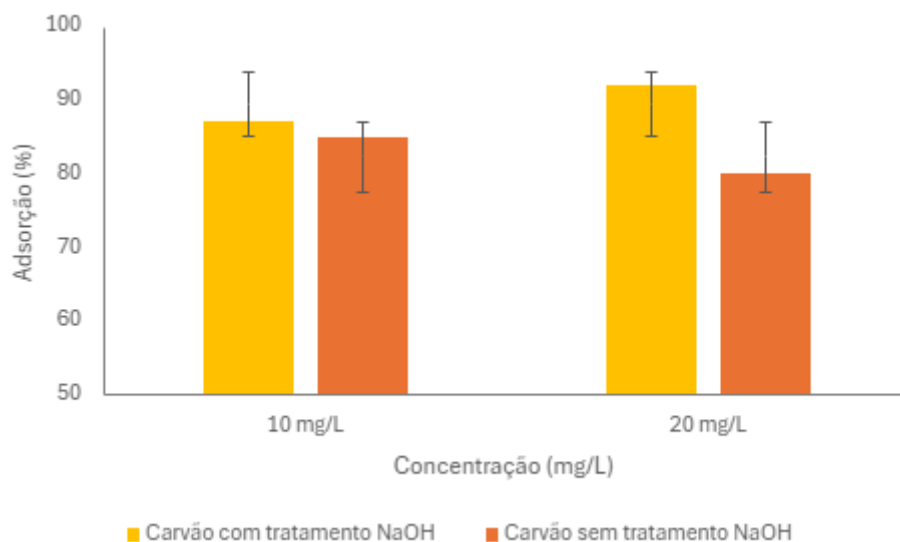
$$\text{Taxa de adsorção (\%)} = \frac{A_i - A_f}{A_i} \times 100$$

Em que:

A_i: Absorbância inicial;

A_f: Absorbância final

Figura 12: Adsorção em diferentes concentrações

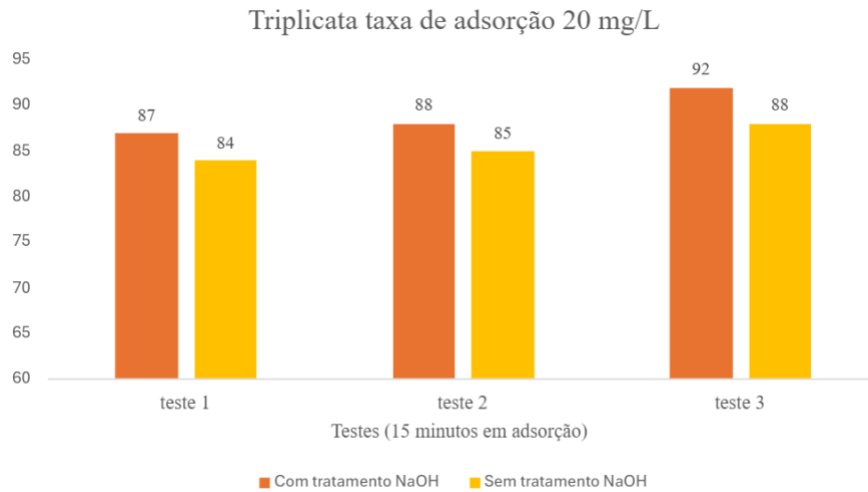


Fonte: Autoria própria.

Em primeira análise, é crucial ressaltar que tanto o tempo quanto a massa desempenham papéis essenciais no processo de adsorção. Os testes realizados com menor concentração demonstraram uma significativa diminuição na absorbância e na coloração da solução devido ao limite de detecção da solução.

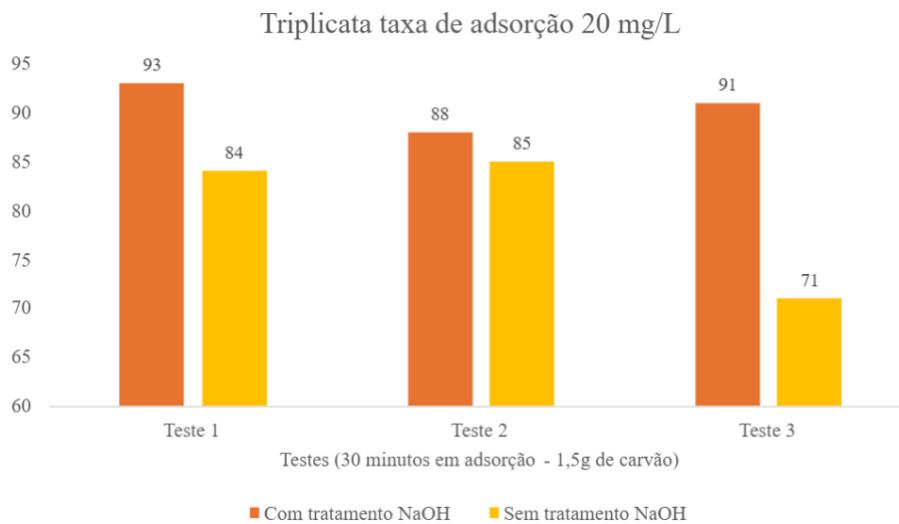
A seguir testes comparando o tempo de contato juntamente ao aumento da quantidade de carvão.

Figura 13 – Triplicata taxa de adsorção de Cloridrato de Tetraciclina 20 mg/L (15 minutos)



Fonte: Autoria própria

Figura 14 – Triplicata taxa de adsorção de Cloridrato de Tetraciclina em 20 mg/L (30 minutos – 1,5g)



Fonte: Autoria própria

Para a confirmação dos valores de adsorção com as duas metodologias, utilizou-se a equação dada pela curva de calibração do cloridrato de tetraciclina (figura 10) $Y=0,0226x + 0,0237$.

Tabela 1- Médias após adsorção de 30 minutos com amostras F e H em 10 mg/L (1:1g)

Metodologia do carvão	Concentração inicial	Absorbância inicial	Absorbância final	Concentração final
F	10 mg.L ⁻¹	0,284 A	0,035A	0,5147 mg. L ⁻¹
H	10 mg.L ⁻¹	0,230 A	0,033 A	0,4262 mg. L ⁻¹

Fonte: Autoria própria

Tabela 2- Médias após adsorção de 30 minutos com amostras F e H em 20 mg/L (1:1,5g)

Metodologia do carvão	Concentração inicial	Absorbância inicial	Absorbância final	Concentração final
F	20 mg. L ⁻¹	0,407 A	0,036 A	0,5442 mg. L ⁻¹
H	20 mg. L ⁻¹	0,407 A	0,079 A	2,4764 mg. L ⁻¹

Fonte: Autoria própria

Tabela 3- Médias após adsorção de 30 minutos com amostras F e H em 20 mg/L (1:1g)

Metodologia do carvão	Concentração inicial	Absorbância inicial	Absorbância final	Concentração final
F	20 mg.L ⁻¹	0,315 A	0,025 A	4,4433. 10 ⁻³ mg. L ⁻¹
H	20 mg.L ⁻¹	0,315 A	0,062 A	1,6946 mg. L ⁻¹

Fonte: Autoria própria

Tabela 4- Médias após adsorção de 15 minutos com as amostras F e H em 20 mg/L (1:1g)

Metodologia do carvão	Concentração inicial	Absorbância inicial	Absorbância final	Concentração final
F	20 mg. L ⁻¹	0,483 A	0,051 A	1,1444 mg. L ⁻¹
H	20 mg. L ⁻¹	0,483 A	0,066 A	1,8570 mg. L ⁻¹

Fonte: Autoria própria

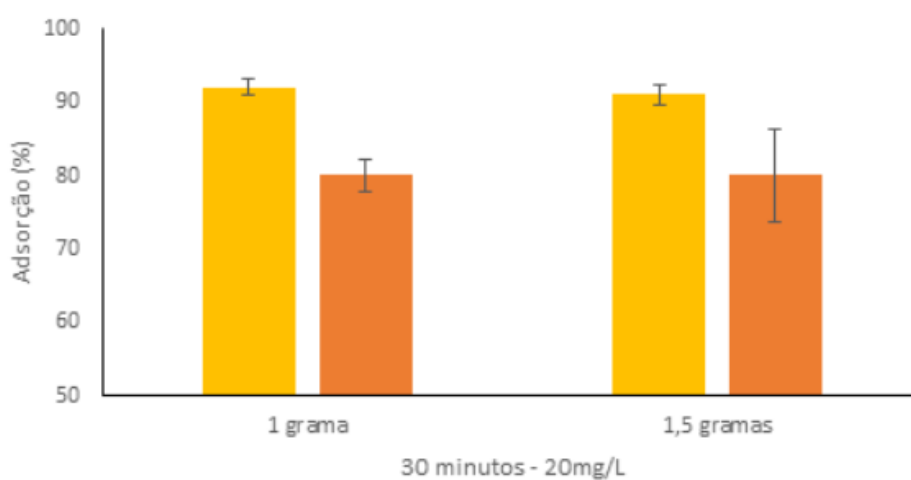
Uma comparação entre o tempo de adsorção, ou seja, tempo de contato entre o carvão ativo e a solução do cloridrato de tetraciclina, e o aumento da quantidade do carvão presente na amostra demonstraram não ter resultados ou mudanças significativas, isso indica que não influenciaram de maneira expressiva a eficiência do processo de adsorção. Sendo assim, o resultado pode estar relacionado ao limite de detecção, o que impede mudanças significativas de serem detectadas.

Em 10 mg/L, tanto F quanto H apresentaram elevada remoção, reduzindo a concentração final para valores abaixo de 1 mg/L. Em 20 mg/L, independentemente da proporção de carvão (1:1 ou 1:1,5), o carvão F apresentou resultados consistentemente melhores que o carvão H, alcançando as menores concentrações finais após adsorção.

A redução de tempo de contato de 30 min para 15 min não alterou de forma expressiva o desempenho da adsorção, indicando que o equilíbrio é alcançado rapidamente. O carvão F demonstrou maior eficiência global, alcançando a menor concentração final registrada (4,4433 × 10⁻³ mg/L).

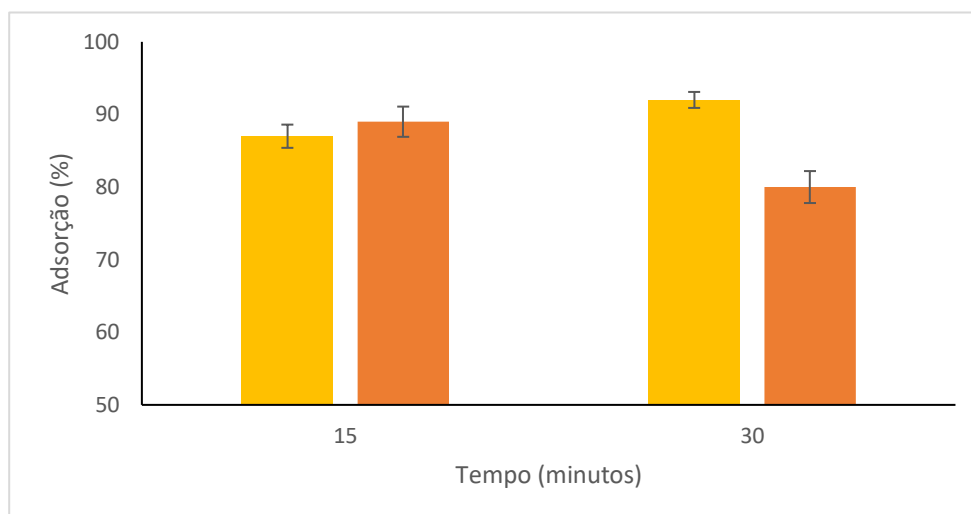
Portanto, a metodologia de carvão (F ou H) apresentou melhor desempenho do carvão F nas condições testadas e comparação dos percentuais de adsorção.

Figura 15- Variação da adsorção de Cloridrato de Tetraciclina em função da quantidade de carvão com as duas metodologias



Fonte: Autoria própria

Figura 16 – Percentual de adsorção de Cloridrato de Tetraciclina para os tempos de 30 minutos e 15 minutos em 20 mg/L



Fonte: Autoria própria

5. Conclusão

Os resultados demonstram que o tratamento do carvão ativado com o NaOH proporcionou melhoria expressiva na eficiência de adsorção do cloridrato de tetraciclina em todas as condições experimentais avaliadas. Em concentrações de 20mg/L por 30 minutos, o carvão tratado atingiu 92% de remoção, enquanto o não tratado obteve apenas 80%, evidenciando um ganho de 12 pontos percentuais de eficiência. Mesmo em condições de menor tempo (15 minutos) ou variação de massa (1,5 g), o material tratado manteve desempenho superior, com remoções acima de 85%, em contraste com valores de até 80% no carvão sem tratamento.

Esses resultados indicam que o tratamento alcalino com NaOH modificou de forma favorável a estrutura e superfície do carvão ativado, possivelmente aumentando a sua porosidade, o que intensificou as interações com as moléculas de tetraciclina. Dessa forma, o carvão tratado mostrou-se mais eficiente e estável no processo adsortivo, destacando-se como uma alternativa promissora para a remoção de antibióticos em efluentes aquosos.

6. Referências Bibliográficas

ALMEIDA, Wagner Batista de; GUERRA, Wendell; MARCIAL, Bruna Luana; PEREIRA-MAIA, Elene Cristina; RUGGIERO, Reinaldo; SILVA, Priscila Pereira; SANTOS, Hélio Ferreira dos. *Tetraciclina e gliciliclinas: uma visão geral*. Química Nova, São Paulo, v. 33, n. 3, p. 700–706, 2010. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/qn/a/W6JcWMb9wzTNhdLfdSZ4HVN/>. Acesso em: 16 jun. 2025.

AMANGELSIN, Yernar; SEMENOVA, Yuliya; DADAR, Maryam; ALJOFAN, Mohamad; BJØRKLUND, Geir. *O impacto da poluição por tetraciclina no ambiente aquático e estratégias de remoção*. Antibiotics, Basel, v. 12, n. 3, p. 440, 23 fev. 2023. DOI:

10.3390/antibiotics12030440. Disponível em:

<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10044355/>. Acesso em: 15 jun. 2025.

BAUTITZ, Ivonete Rossi. *Degradação de tetraciclina utilizando o processo foto-Fenton*. 2006. 106 f. Dissertação (Mestrado em Química) – Universidade Estadual Paulista, Araraquara, 2006. Disponível em:

<https://repositorio.unesp.br/server/api/core/bitstreams/aafba652-a208-4f20-844f-95d4031cf557/content>. Acesso em: 16 jun. 2025.

BRUCKMANN, Franciele da Silva. *Adsorção de tetraciclina em carvões ativados preparados a partir de resíduos lignocelulósicos*. 2022. 94 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologias Limpas) – Universidade Franciscana, Santa Maria, 2022. Disponível em:

http://www.tede.universidadefranciscana.edu.br:8080/bitstream/UFN-BDTD/1105/5/Dissertacao_FrancieleDaSilvaBruckmann_SemAssinaturas.pdf. Acesso em: 14 jun. 2025.

CARRARO, Nilton; NYSSSEN, Anna; OLIVEIRA, Edenis. *Produção e preço da laranja no Brasil: análise das safras 2015/16 a 2019/20*. Journalijdr – International Journal of Development Research. Disponível em: https://www.journalijdr.com/sites/default/files/issue-pdf/22490_0.pdf. Acesso em: 13 jun. 2025.

DOLZANI, Camila Pires; DOS SANTOS, Isabella Fuzari; PIMENTA, Larissa Fernandes; FRAGOSO, Danielle Liane; DE ALMEIDA, Aline. *O impacto da poluição por tetraciclina no ambiente aquático e estratégias de remoção*. Foco Científico, Nova Odessa, v. 27, n. 1, p. 132–153, jan./jun. 2023. Disponível em:

<https://ojs.focopublicacoes.com.br/foco/article/view/5045>. Acesso em: 15 jun. 2025.

FERREIRA, Andrea Pacheco. *Degradação do fármaco cloridrato de tetraciclina via processos oxidativos avançados*. 2015. 151 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) –

Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2015. Disponível em:

<https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/15479>. Acesso em: 16 jun. 2025.

FERNANDES, Sabrina. *Materiais adsorventes e suas aplicações: uma revisão bibliográfica*. 2021. Pós- Reitoria de graduação - Universidade federal rural do semi-árido (Ufersa) 2021.

Disponível em: <https://repositorio.ufersa.edu.br/server/api/core/bitstreams/bccef72e-63c1-4545-bc00-8252e4a64348/content>. Acesso em: 16 jun. 2025.

LIMA, Hugo Henrique Carline de. *Remoção de tetraciclina em solução aquosa por carvão ativado granular e carvão ativado em pó*. 2016. 96 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2016. Disponível em:

http://repositorio.uem.br:8080/jspui/bitstream/1/8568/1/Hugo%20Henrique%20Carline%20de%20Lima_2016.pdf. Acesso em: 14 jun. 2025.

LÜTKE, Sabrina. *Produção de carvão ativado a partir do bagaço da casca de acácia-negra (Acacia mearnsii de Wild.) e sua aplicação como adsorvente*. FURG. Disponível em:

<https://repositorio.furg.br/bitstream/handle/1/7982/TCC%20%20IUTKE%2C%20Sabrina%20Frantz.pdf>. Acesso em: 13 jun. 2025.

MAMEDES, Déborah. *Produção de adsorvente a partir da casca de batata para a remoção do corante Direct Black 22 de efluentes industriais sintéticos*. Centro Universitário Tabosa de Almeida – ASCES/UNITA. Disponível em:

https://www.PRODUCAO_DE_ADSORVENTE_A_PARTIR_DA_CASCA_DE_BATATA_PARA_A_REMOCAO_DO_CORANTE_DIRECT_BLACK_22_DE_EFLUENTES_INDUSTRIAIS_SINTETICOS. Acesso em: 10 jun. 2025.

MENTGES, Rodrigo. *Otimização da degradação do antibiótico cloridrato de tetraciclina utilizado em processos oxidativos avançados*. 2013. 61 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Química) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo, 2013.

Disponível em:

https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/15892/2/TD_COPEQ_2013_1_02.pdf.

Acesso em: 13 jun. 2025.

MONTAGNER, Cassiana C.; VIDAL, Cristiane; ACAYABA, Raphael D. *Contaminantes emergentes em matrizes aquáticas do Brasil: cenário atual e aspectos analíticos, ecotoxicológicos e regulatórios*. Química Nova, São Paulo, v. 40, n. 9, p. 1094–1110, 2017.

Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/NJr4QLWkxCKJXd6gHvdwtNk/?lang=pt>.

Acesso em: 4 out. 2025.

SANTA CRUZ, Sandro Luis Gauto. *Estudo de degradação da tetraciclina em água e esgoto empregando fotólise direta*. Química Nova, São Paulo, v. 40, n. 2, p. 140–145, fev. 2017.

DOI: 10.21577/0100-4042.20170091. Disponível em: <https://doi.org/10.21577/0100-4042.20170091>. Acesso em: 15 jun. 2025.