

Azadirachta indica A. JUSS. NA REMOÇÃO DE PRATA EM ÁGUAS RESIDUAIS POR MEIO DA ADSORÇÃO.

Yargo Lucio Gentil¹
Anne Caroline Marinho Gama²
Luiz Fernando de Oliveira Coelho³
Sanduel Oliveira de Andrade⁴
Dr^a. Andréa Maria Brandão Mendes de Oliveira⁵

RESUMO

O uso de materiais biossorbentes para remoção de metais em efluentes aparece como um método alternativo para esse grave problema ambiental. Esse trabalho visa constatar a viabilidade técnica no uso da espécie vegetal *Azadirachta Indica* A. Juss para a produção de carvão ativado e sua eficiência na utilização como biossorbente na remediação de íons de Prata (Ag^{++}) em águas residuárias. Para descrição da cinética do processo adsorptivo utilizou-se dos modelos de Pseudo 1^a ordem e Pseudo 2^a ordem. As isotermas foram ajustadas pelos modelos de adsorção de Langmuir e Freundlich. Ademais, pode-se constatar que o biossorbente produzido obteve resultado satisfatório, atrelando sua eficiência ao seu baixo custo para sua produção, consumando numa viável técnica para a remoção dos íons de prata em efluentes industriais e em corpos hídricos contaminados.

Palavras-chave: Biossorbentes, Carvão ativado, Freundlich, Langmuir, Metais Pesados.

INTRODUÇÃO

Considerado como um dos principais problemas da atualidade em nível de esfera global, a falta de água de qualidade para o consumo humano tem se tornando cada vez mais escassa, no momento em que os corpos hídricos passaram a ser alvo para o descarte de efluentes provenientes das indústrias (GOMES, BEZERRA & TERÁN, 2018). Configurando-se como o principal causador da degradação dos corpos receptores, o processo industrial vem promovendo uma contaminação generalizada, desde a Revolução Industrial, com a inserção de metais pesados em seus efluentes e seu posterior descarte no meio (GONSALVES et al., 2014).

Entre os principais metais pesados contribuintes para essa contaminação, tem-se a Prata (Ag^{++}) em solução, comumente encontrado em indústrias de imagem e eletrônicos em

¹ Graduando do Curso de Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, yargogentil@gmail.com;

² Graduanda do Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, annecarol97@hotmail.com;

³ Graduando do Curso de Direito da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, lfoclula@hotmail.com;

⁴ Doutorando em Engenharia de Processos da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, prof.sanduelandrade@gmail.com;

⁵ Professor orientador: Doutora. Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, prof.andreabrandao@gmail.com.

geral, na qual participa das mais variadas etapas do processo produtivo e são descartados no meio ambiente juntamente aos efluentes gerados sem dispor de nenhum tratamento prévio eficiente, seja por negligência das indústrias ou, como em muitos casos, inviabilidade técnica no tratamento, ocasionando adversos impactos ao ecossistema, promovendo assim, o desequilíbrio ambiental, devido seu potencial tóxico e bioacumulativo (SALES et al., 2015).

Vários são os métodos capazes de realizar o tratamento desses efluentes visando a remediação de metais pesados em águas residuais, dentre os principais, a adsorção utilizando carvão ativado é considerada eficaz para esse tipo de descontaminação, sendo apontada como uma alternativa tecnológica de alto potencial e de baixo custo, contribuindo de forma significativa para a preservação dos corpos hídricos receptores e para o desenvolvimento tecnológico do País (GENTIL et al., 2018). A adsorção, nada mais é, do que um fenômeno físico-químico de transferência de massa, onde certos componentes de uma fase fluida são adsorvidos para uma superfície sólida, a qual possui propriedades favoráveis para esse processo (ANASTOPOULOS & KYZAS, 2015).

Na busca de contribuir com a minimização dos problemas ambientais ocasionados pelo lançamento de efluentes industriais em corpos receptores, provocando sua contaminação direta, atenta-se a encontrar alternativas tecnológicas adequadas para o tratamento desses efluentes, utilizando material de baixo custo e que atenda aos requisitos de eficiência. Uma possível alternativa viável é a utilização da *Azadirachta indica* A. JUSS. para a produção de carvão ativado, investigando-se sua eficiência para a sua aplicação em soluções tecnológicas visando objetivar a remediação do íon Prata em águas residuais.

METODOLOGIA

O presente trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Análises de Água – LAAG da UFCG – *Campus Pombal*, no período de janeiro a agosto de 2018. O íon metálico estudado foi a Prata (Ag^{++}) e, a solução foi sintetizada de AgNO_3 , na concentração $0,01 \text{ mol.dm}^{-3}$. O biossorvente foi preparado a partir da espécie vegetal *Azadirachta indica* A. Juss. A amostra obtida regionalmente, foi seca em estufa por 24 horas, visando atingir o teor de umidade ideal para a pirólise, cerca de 30% (MAIA, 2014). Em seguida, foi pirolisada numa mufla à uma temperatura máxima de $417 \text{ }^\circ\text{C}$, atingindo-os aos poucos com intervalos crescentes de $50 \text{ }^\circ\text{C}$ a cada 30 minutos. Após a pirólise, foi macerado e peneirado numa granulometria de mesh 16.

Na sua ativação, realizou-se, segundo a metodologia proposta por Schettino Jr (2004), utilizando-se a solução ativante de hidróxido de sódio (NaOH) na concentração de 7,5 M, numa proporção mássica adaptada de 1:3 (carvão:NaOH), misturando e homogeneizando em agitador térmico tipo SHAKER por duas horas à 180 rpm, em temperatura controlada de 50 °C. Após impregnada, a mistura foi seca em estufa por 18 horas à 180 °C. Posteriormente, foi realizado o processo de ativação térmica em mufla numa temperatura de 400 °C, atingindo-a em intervalos crescentes de 30 minutos/50 °C. Em seguida, a amostra ativada foi lixiviada à vácuo utilizando-se água deionizada e filtros de papel qualitativos e, por fim, seca em estufa por um período de 18 horas por 180 °C.

A isoterma de equilíbrio, foi construída de acordo com a variação do tempo de agitação de contato efetivo entre o carvão ativado e a solução contendo o íon metálico. Para a determinação do tempo de equilíbrio, foi homogeneizado, em agitador térmico tipo SHAKER, 0,5 gramas do biossorvente com 20 mL da solução de AgNO₃ na concentração 0,01 mol.dm⁻³, agitando-se por 30 minutos, 2, 6, 12 e 24 horas, sob velocidade de 180 rpm e temperatura de 25 °C. A análise da concentração residual do íon metálico, que corresponde à concentração do soluto em equilíbrio, foi realizada utilizando-se um espectrofotômetro de absorção atômica para o íon metálico prata.

A capacidade de adsorção do biossorvente Q (mg do metal/ g do adsorvente) foi determinada com base na diferença de concentração dos íons metálicos utilizando a equação 1:

$$Q = V(C_o - C_e)/W \quad (1)$$

Onde: Q é a capacidade de adsorção (mg/g), C_o e C_e são as concentrações (mg/L) do soluto na solução inicial e em equilíbrio respectivamente, V é o volume da solução (L) e W a massa do adsorvente (g).

O mecanismo e a natureza de adsorção foram avaliados quantitativamente por meio de isoterma de adsorção e segundo os modelos de equilíbrio de adsorção de Langmuir e Freundlich, os mais usados para descrever as isotermas para aplicações em tratamento de águas e efluentes. A partir dos resultados obtidos experimentalmente, foram construídas isotermas de adsorção para o íon prata, plotando-se os dados para obter as isotermas teóricas segundo os modelos de Langmuir (C_e/Q versus Q) e Freundlich (log Q versus log C_e), gerando as representações gráficas e permitindo a avaliação dos dados através de estatística descritiva.

Os coeficientes das equações dos modelos teóricos foram obtidos a partir de Langmuir, na equação 2:

$$Q = Q_{max} * KL * \frac{C_e}{1 + KL * C_e} \quad (2)$$

e Freundlich, na equação 3:

$$Q = KF * C_e^{1/n} \quad (3)$$

onde, para Langmuir: C_e = concentração do íon na solução de equilíbrio em mg L^{-1} , Q = quantidade de metal adsorvida em mg.g^{-1} de bioissorvente, Q_{max} = adsorção máxima (mg.g^{-1}) e KL = constante relacionada com a energia de ligação (L.mg^{-1}) do íon no bioissorvente. Em Freundlich: Q = quantidade de íon adsorvida em mg.g^{-1} de bioissorvente, C_e = concentração de metal na solução de equilíbrio em mg L^{-1} , KF é o coeficiente de adsorção de Freundlich em L.mg^{-1} e n é a estimativa do parâmetro de ajuste (adimensional).

A influência da dosagem do adsorvente e pH, foi determinada adotando-se o mesmo procedimento utilizado na obtenção da isoterma de equilíbrio. Para a dosagem do adsorvente, a massa do bioissorvente foi analisada na faixa entre 250 e 1000 mg para 20 mL da solução de AgNO_3 na concentração $0,01 \text{ mol.dm}^{-3}$. Para a influência do pH, a solução de nitrato de prata foi ajustada para valores de pH entre 3,0 e 7,0 utilizando soluções de HCl de concentrações 0,1 e 0,02 mol.L^{-1} e NaOH de concentrações 0,1 e 0,01 mol.L^{-1} .

REFERENCIAL TEÓRICO

Por muito tempo, a humanidade não se preocupou com os impactos adversos causados no meio ambiente ocasionados pela extração de recursos naturais de forma desordenada alterando, assim, sua qualidade. Mudança de cenário essa, quando a partir da Revolução Industrial, a qual visava absolutamente a produtividade e o crescimento econômico, ficou perceptível a instabilidade da vida útil do planeta, comprometendo, desta forma, a qualidade de vida da atual e futura gerações (POTT & ESTRELA, 2017). Promovendo tamanha degradação, o processo industrial acomete, com seus efluentes, a contaminação pontual ou generalizada dos corpos hídricos receptores, por conter consideradas concentrações de metais pesados como: Cádmio, Chumbo, Cobre, Cromo, Manganês, Mercúrio, Níquel, Prata e Zinco, resultando em alterações negativas em suas características físicas, químicas e biológicas (GONSALVES et al., 2014).

Os Metais pesados são aqueles elementos químicos pertencentes ao grupo que possuem como características o estado em que se encontram, geralmente, quando puro, seu

estado natural é sólido, com exceção do Mercúrio que, naturalmente, se apresenta como líquido. Suas principais características físico-químicas são: elevado brilho, dureza, cor entre dourado e prateado, condutividade elétrica, condutividade térmica, ductibilidade, maleabilidade e elevado ponto de fusão e ebulição (GEBARA, 2017). Para caracterizá-lo quanto à tabela periódica, por ter densidade elevada superior à $4,0 \text{ g/cm}^3$, esses metais também apresentam altos valores de número atômico, massa específica e massa atômica. Por destaque, esses metais possuem elevados níveis de reatividade e bioacumulação (SINGH, 2015). Vários são os efeitos adversos à saúde atribuídos às altas concentrações de metais pesados como distúrbios gastrientestinais, alterações reprodutivas, psicológicas e cognitivas, como também, problemas cardíacos e respiratórios, imunológicos e aumento significativo de vários tipos de câncer (OLIVEIRA, 2017).

Quando em solução, forma em que se apresentam nos efluentes provenientes das indústrias, os íons metálicos possuem elevado potencial tóxico para os corpos receptores, com ênfase nos corpos hídricos, devido a sua toxicidade para os organismos vivos, mesmo dispostos em pequenas concentrações. Comumente, têm-se a Prata iônica encontrada em diversas etapas do processo produtivo de indústrias como as de produção e processamento de imagem e fotografia, eletroeletrônicos e outras metalúrgicas na qual é associado a outros metais, sendo descartado juntamente aos seus efluentes ocasionando sério desequilíbrios ambientais. Alterações não só ao ecossistema, como também ao sistema econômico, causando prejuízos financeiros, uma vez que é considerado um metal nobre de alto valor incorporado e ao seu alto risco de escassez (MENDES & COELHO, 2007).

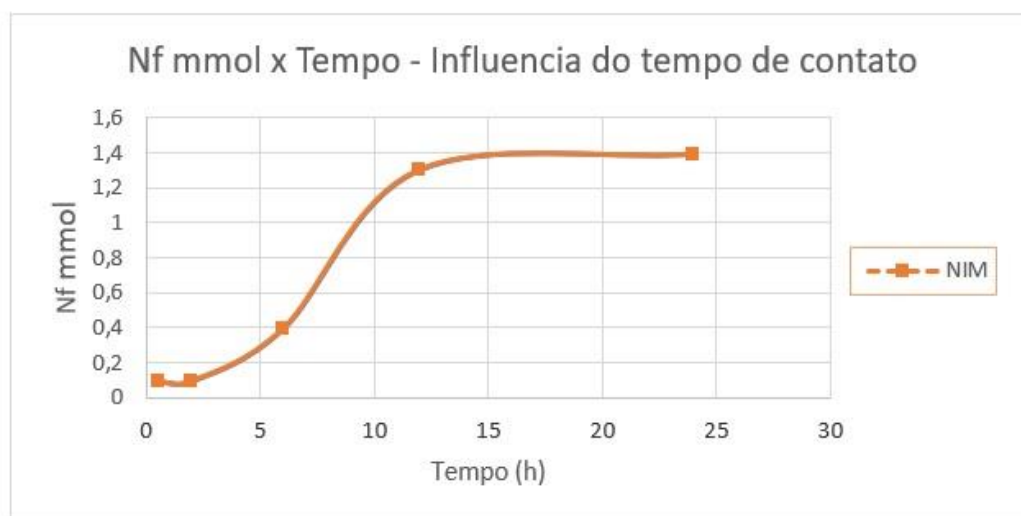
Vários são os métodos capazes de relizar a separação desses metais dos efluentes em que se encontram. Geralmente, são separados por processos físico-químicos como no caso da separação por membrana, troca iônica, coagulação, oxidação avançada, filtração, adsorção, entre outras, mas que, a adsorção no meio delas se destaca como um dos métodos mais eficientes, uma vez que depende basicamente das propriedades do material utilizado como biossorvente e da substância a ser adsorvida. O que pode influenciar diretamente nesse processo é a temperatura, polaridade do solvente, a velocidade de agitação, relação sólido-líquido, tamanho das partículas do sólido, concentração inicial do adsorvato e do adsorvente, pH da solução, outras espécies competitivas e impurezas na superfície do adsorvente, firmando-se numa técnica de tratamento bastante atrativa (ANASTOPOULOS; KYZAS, 2015).

Os materiais que apresentam propriedades básicas vegetativas, formados principalmente por lignina e celulose são aptos como produtores eficientes de carvões ativados para utilização com biossorvedores de metais pesados contidos em águas residuais. Tal habilidade se dá, devido a presença de determinados grupos funcionais e sua elevada área de superfície de contato, levando em consideração a quantidade e a qualidade porosa (JESUS et al., 2015). Destacando-se como uma possível potencial para a produção de carvão vegetal ativado, a *Azadirachta indica* A. Juss., conhecida regionalmente como Nim, é nativa da Índia, podendo ser encontrada em todas as regiões do Brasil, adaptando-se bem ao clima tropical. Seus grandes atrativos são seus diversificados fins de uso, pois, para além do reflorestamento para produção de madeira e fabricação de móveis, produção do carvão, há a extração de óleo para produção de pesticidas e inseticidas (BRASIL, 2013).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A determinação da influência do tempo de contato entre o adsorvente e o adsorvato, é fundamental para o alcance da eficiência do processo de adsorção, pois, se faz perceptível, graficamente, qual o equilíbrio atingido onde, a concentração do adsorvato (Ag^{++}) torna-se constante na solução. Desta forma, o efeito do tempo de contato para a adsorção do íon Ag^{++} pela *Azadirachta indica* A. JUSS. pode ser visualizado na Figura 1, observando-se que, o gradual equilíbrio foi atingido no tempo de 15 horas, determinando que a adsorção máxima para o Ag^{++} ocorre neste tempo considerado. Resultado, próximo ao encontrado segundo Gentil et al. (2018), que utilizou carvão vegetal da espécie Algaroba (*Prosopis juliflora*) ativado com HCl, na adsorção de Cobre (Cu^{++}), atingindo o tempo de equilíbrio em 12 horas.

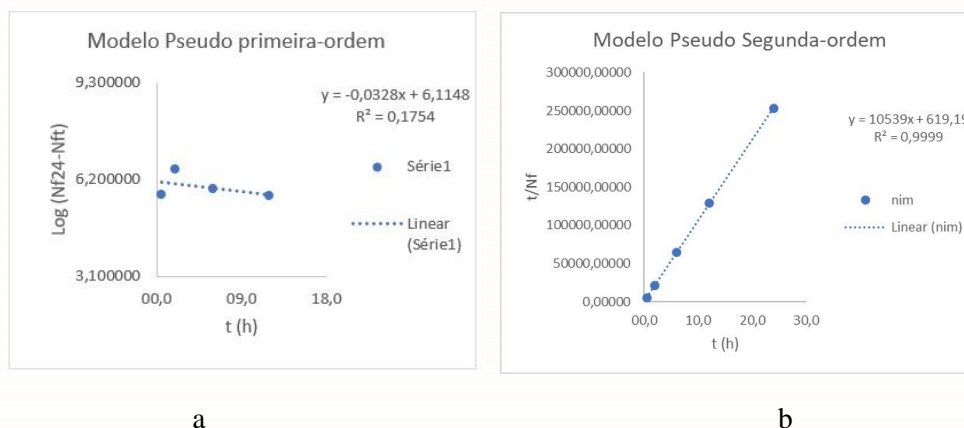
Figura 1. Influência do tempo de contato na adsorção da Ag^{++} pela *Azadirachta indica* A. JUSS.



Fonte: Autor (2019).

Para examinar o mecanismo de controle dos processos de adsorção, tais como transferência de massa e reação química, os dados experimentais para ambos os sólidos foram ajustados às equações cinéticas de Pseudo primeira-ordem e Pseudo segunda-ordem. A figura 2, apresenta o modelo de Pseudo 1ª ordem e Pseudo 2ª ordem e, seus respectivos resultados, encontram-se na Tabela 1 abaixo.

Figura 2. Ajuste dos dados de tempo na adsorção da Ag^{++} pela *Azadirachta indica* A. JUSS. à 25 °C ao modelo cinético de Pseudo 1ª ordem (a) e Pseudo 2ª ordem (b).



Fonte: Autor (2019).

Tabela 1. Resultados do ajuste dos dados de tempo da adsorção da Ag^{++} pela *Azadirachta indica* A. JUSS. à 25 °C ao modelo de cinética de Pseudo 1ª ordem e Pseudo 2ª ordem.

Modelo cinético	K1	Nmáx. calculado	R ²	Nmáx. experimental
Pseudo 1 ^a ordem	-0,4840	1,3036x10 ⁶	0,1754	0,09503
Pseudo 2 ^a ordem	9,46x10 ⁻⁵	9,46x10 ⁻⁵	0,9999	9,5x10 ⁻⁵

Fonte: Autor (2019).

Para modelo cinético de Pseudo 1^a ordem, na Tabela 1, nota-se que o valor do coeficiente de correlação R² se encontra inferior ao aceito, além de uma discrepância entre os valores de Nmáx. calculado e o Nmáx. experimental, determinando que o modelo de Pseudo 1^a ordem não é o modelo cinético que melhor representa o processo de adsorção do íon prata pelo carvão ativado da espécie *Azadirachta indica* A. JUSS. Diferentemente do modelo Pseudo 2^a ordem, onde percebe-se um valor R² bem próximo do ideal, além da proximidade dos valores de Nmáx. calculado e o Nmáx. experimental.

Desta forma, o modelo cinético que melhor representa o mecanismo e a natureza da adsorção do íon Prata pelo carvão ativado da espécie *Azadirachta indica* A. JUSS., é o Pseudo 2^a ordem. Corroborando com Firmino & Oliveira (2017), a qual utilizou espécie de *Prosopis juliflora* e *Azadirachta indica* A. JUSS. como biossorventes na adsorção do íon Cobre (Cu⁺⁺) onde, como modelo de melhor ajuste ao processo adsorptivo foi o Pseudo 2^a ordem, descrevendo os processos de quimissorção entre o adsorvente e o adsorvato por meio de foças covalentes e troca iônica.

Na utilização dos modelos Langmuir e de Freundlich pelo estudo de remoção por adsorção, foi possível expressar matematicamente alguma propriedade do material e também conhecer melhor a natureza do processo de adsorção. A Tabela 2 abaixo, apresenta os resultados dos parâmetros das equações dos modelos Langmuir e Freundlich na adsorção da prata pela *Azadirachta indica* A. JUSS. Percebe-se que o parâmetro do equilíbrio R1 se encontra entre 0 e 1, permitindo prever que a adsorção é favorável para e, é possível observar que o fator n é maior que 1, indicando que o processo de adsorção se dá, em maior extensão, na superfície do adsorvente.

Tabela 2. Resultados do ajuste dos dados de adsorção da Ag⁺⁺ pela *Azadirachta indica* A. JUSS. à 25 °C aos modelos de Langmuir e Freundlich.

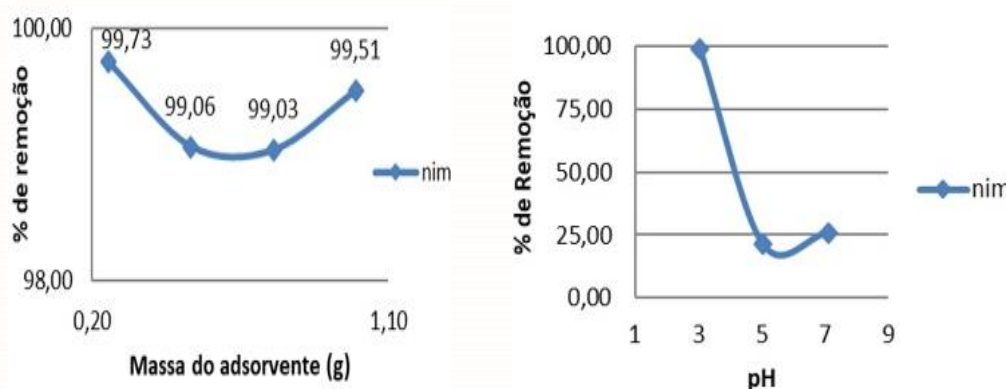
Langmuir				Freundlich			Experimental
K1	Nfmax	R2	RI	1/n	Kf	R2	Nfexp

$9,54 \times 10^{-5}$	362,62	0,873	0,97	0,6286	496,26	0,9257	$9,415 \times 10^{-5}$
-----------------------	--------	-------	------	--------	--------	--------	------------------------

Fonte: própria.

A influência da dosagem do adsorvente e do pH do meio, é respectivamente demonstrada na Figura 4 onde, para a dosagem do adsorvente, apresenta-se o valor da remoção em porcentagem, praticamente, em nível constante com o aumento da massa do adsorvente. Este resultado, justifica-se devido uma possível quase saturação dos sítios ativos para *Azadirachta indica* A. JUSS. e o pH que influenciou em uma melhor remoção se deu em pH ácido, por volta de 3,0.

Figura 4. Influência da massa do adsorvente e do pH do meio na adsorção de Ag^{++} pela *Azadirachta indica* A. JUSS.



Fonte: Autor (2019).

CONCLUSÕES

Considerando a necessidade da geração de novas tecnologias na área de tratamento de águas residuais contendo metais pesados em solução, contribuindo quanto a competitividade da indústria nacional a partir da geração de renda, melhorando, conseqüentemente, o desenvolvimento econômico e humano e na preservação do meio ambiente, infere-se que o biossorvente produzido a partir do carvão ativado da espécie *Azadirachta indica* A. Juss, obteve resultados satisfatórios, demonstrando sua eficiência atrelado ao baixo custo para sua produção, consumando numa técnica viável para a remoção dos íons de Prata (Ag^{++}) presentes em efluentes contamiandos.

REFERÊNCIAS

ANASTOPOULOS, Ioannis; KYZAS, George Z. **Progress in batch biosorption of heavy metals onto algae**. Journal of Molecular Liquids, v. 209, p. 77-86, 2015.

BRASIL, R. B. **Aspectos botânicos, usos tradicionais e potencialidades de Azadirachta indica (NEEM)**. Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.9, n.17; p. 2013 3267. Disponível em: <<http://www.conhecer.org.br/enciclop/2013b/MULTIDISCIPLINAR/Aspectos.pdf>>. Acesso em: 22 de fev. 2019.

FIRMINO, Lilian de Queiroz; OLIVEIRA, Andréa Maria Brandão Mendes de. **Desenvolvimento de um filtro de carvão ativado de Algaroba e do Nim para tratamento de efluentes**. In: XIV CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE, 14., 2017, Campina Grande. PIBIC. Campina Grande: Cnpq, 2017. p. 1 - 19.

GEBARA, Renan Castelhana. **Toxicidade de nanopartículas de óxido de ferro (Fe₃O₄) para o cladóceros tropical Ceriodaphnia silvestrii**. Dissertação de mestrado do Programa de Pós-graduação em Ecologia e Recursos Naturais. Universidade Federal de São Carlos. 2017.

GENTIL, Y.L.; COELHO, L. F. O.; OLIVEIRA, A. G.; FIRMINO, L. Q.; OLIVEIRA, A. M. B. M. **Remediação do íon cobre por carvão vegetal ativado em águas residuais**. In: congresso nacional de pesquisa e ensino em ciências. In: Anais III CONAPESC. Campina Grande-PB. Editora Realize, 2018. p. 1 - 9. Disponível em: <http://www.editorarealize.com.br/revistas/conapesc/trabalhos/TRABALHO_EV107_MD1_SA28_ID1529_28052018195331.pdf> Acesso em: 20 de fev. 2019.

GOMES, Edilson Barroso; BEZERRA, Cynara Carmo; TERÁN, Augusto Fachin. **Impacto Ambiental sobre a qualidade da água na Lagoa Azul, Parintís/AM**. Rev. Educação Ambiental em Ação. Número 63, ano XVI, ISSN 1678-0701. Março-junho/2018.

GONSALVES, A. A.; LEITE FILHO, C. A.; MEDEIROS, F. S.; ARAÚJO, C. R. M. **Casca do Tamarindo: Caracterização e Estudos de Adsorção de Azul de Metileno e Cromo (VI) usando a Técnica de Banho Finito de Líquido**. Revista Virtual de Química. 2014, 6 (5), 1466-

1482. Disponível em: <<http://rvq.s bq.org.br/imagebank/pdf/v6n5a22.pdf>> Acesso em: 22 de mar. 2019.

JESUS, Raphael Amâncio; OLIVEIRA, Grayce Kelly Carvalho; SANTOS, Thaynara Tavares; SILVA, Daniel Pereira; RUZENE, Denise Santos. **Aplicabilidade da lignina no tratamento de resíduos aquosos.** In: Simpósio de Engenharia de Produção de Sergipe, 7., 2015, São Cristóvão. Anais eletrônicos... São Cristóvão: DEPRO/UFS, 2015, p. 526-538. Disponível em: <<http://simprod.ufs.br/pagina/18182>>. Acesso em 09 mai. 2019

MAIA, Ivana Márcia Oliveira. **Proposta de metodologia experimental para a análise e quantificação da emissão de metano com aplicação na produção de carvão vegetal em laboratório.** 2014. 103 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia - Faculdade de Engenharia Mecânica, Uberlândia, 2014.

MENDES, F. M.; COELHO, N. M. M. **Estudo Do Uso Da Moringa Oleifera Para Remoção De Prata E Manganês Em Águas.** [s.l.], p. 1–18, 2007. ISSN: 1808-3064

OLIVEIRA, Vera Lucia Ferreira de. **Análise e influência da presença de metais pesados no desenvolvimento do esmalte dentário em crianças na região do Estuário de Santos e São Vicente.** Tese pela Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2017.

SALES P. F; BERTOLI, A. C; PINTO M. F; MAGRIOTISA Z. M. **Produção, Caracterização e Aplicação do Carvão Ativado Obtido a partir do Sabugo de Milho: A Busca pelo Reaproveitamento de um Resíduo Agroindustrial.** Revista Virtual de Química, 2015, 7 (4), 1174-1188. Disponível em: <<http://rvq.s bq.org.br/imagebank/pdf/v7n4a10.pdf>> Acesso em: 22 de nov. 2018.

SCHETTINO Jr, M. A. **Ativação química do carvão de casca de arroz utilizando NaOH.** Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória, 2004.

SINGH, Ashok K. **Engineered Nanoparticles: Structure, Properties and Mechanisms of Toxicity.** Elsevier Inc. (2015).

POTT, Crisla Maciel; ESTRELA, Carina Costa. **Histórico ambiental:** desastres ambientais e o despertar de um novo pensamento. Estudos Avançados, v. 31, n. 89, p. 271-283, 2017.