

DETERMINAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO DE MATÉRIA ORGÂNICA PELO USO DE CARVÃO ATIVADO PULVERIZADO

Roberto José Duarte Neto¹, Giulliano Guimarães Silva², Adalcino Fernandes Reis Neto³ Rodrigo Folha Moreira⁴, Sérgio Carlos Bernardo Queiroz⁵

¹Estudante do Curso Superior de Engenharia Civil – IFTO. Bolsista do Programa de Iniciação Científica. e-mail: <robertoduarte.eng@gmail.com>

²Engenheiro Ambiental – Doutor em Tecnologia Ambiental. Professor no IFTO. e-mail: <giullianogsilva@gmail.com>

³ Engenheiro Ambiental pela UFT, Engenheiro Civil pelo Centro Luterano de Palmas - CEULP-ULBRA. e-mail: <neto.afr@gmail.com>

⁴Estudante do Curso Superior de Engenharia Civil – IFTO. Bolsista do Programa de Iniciação Científica. e-mail: <rodrigofomo@gmail.com>

⁵Engenheiro Ambiental – Doutor em Tecnologia Ambiental. Professor na UFT. e-mail: <sergiocbq@gmail.com>

Resumo: Atualmente tem se notado um aumento da concentração de matéria orgânica em cursos de água e em reservatórios. Este incremento de matéria orgânica (MO) muitas vezes vem de aportes de esgotos domésticos e efluentes industriais não tratados nos cursos d'água, já impactados por períodos prolongados de estiagem, e que tenham condições naturais adequadas para sua formação. Como consequências, está a ocorrência de sabor e odor na água, além da formação de subprodutos indesejados da cloração. Uma das alternativas empregada nas estações de tratamento de água (ETAs) para remoção de MO é a adsorção em carvão ativado pulverizado (CAP). A implantação de uma unidade de adsorção antecedendo a mistura rápida, deve ser previamente estudada, visto que tempos de contato maiores podem potencializar a adsorção com redução tanto do consumo de carvão, quanto da geração de lodo. Neste contexto, o presente trabalho objetiva investigar a influência das variáveis tempo de contato, dosagem e tipo de carvão ativado pulverizado, na eficiência da adsorção de MO em água bruta submetida ao processo de tratamento de água em ciclo completo. Foram avaliados o uso de 3 tipos de CAPs de origem diferentes. O CAP de origem vegetal teve significativa influência do tempo de contato e dosagem na remoção de MO medida em carbono orgânico total (COT), ou seja, maiores dosagem e tempo de contato trouxeram melhores resultados. Dosagens de 30 mg/L e tempo de contato de 25 minutos obtiveram os melhores resultados, atingindo eficiências próximas de 90% e concentração de COT inferior a 3,0 mg/L.

Palavras-chave: Carvão ativado pulverizado; matéria orgânica; tempo de contato; tratamento de água

1 INTRODUÇÃO

A vital dependência do ser humano com relação à água pressupõe que esta deve apresentar características físicas, químicas, biológicas e radioativas que não causem efeitos adversos à saúde (ALVARENGA, 2010). No entanto, a poluição das águas naturais por contaminantes químicos e biológicos é um problema de âmbito Mundial e no Estado do Tocantins a realidade não é diferente.

A presença de contaminantes orgânicos na água pode servir como nutriente para o crescimento indesejável de microrganismos, contribuir para a formação de compostos orgânicos halogenados ou até mesmo inviabilizar o processo de tratamento. Cursos de água que recebem aportes de esgotos domésticos e efluentes industriais não tratados, e que sofrem impactos de períodos prolongados de estiagem, podem ter aumento considerável da concentração de matéria orgânica, seja ela de origem natural ou humana, por meio de fármacos, produtos de cuidados pessoais, agrotóxicos dentre outros compostos que são frequentemente despejados de efluentes em corpos hídricos e de outros contaminantes inorgânicos e microbiológicos na água bruta. As consequências podem ser até mesmo a eutrofização de corpos d'água, com ocorrência de florações, e incremento de matéria orgânica que

podem acarretar diversos problemas, como sabor e odor, aumento da formação de subprodutos indesejados da cloração, interferências no processo de tratamento da água, aumento do consumo de químicos, além de corrosão de unidades do sistema de abastecimento (DI BERNARDO et al. 2017).

Uma das alternativas empregada nas ETAs na remoção de material orgânico é a adsorção em carvão ativado pulverizado (CAP). Essa prática tem sido adotada como complementação ao tratamento, sendo de fácil implementação em ETAs existentes, cujo principal objetivo é remover compostos odoríferos, toxinas liberadas por cianobactérias, subprodutos organo-halogenados, microcontaminantes orgânicos (fármacos, hormônios, agrotóxicos, etc.), sendo que boa parte não possui regulamentação no padrão de potabilidade (PASCHOALATO et al., 2008; KHAH e ANSARI, 2009; MARMO et al, 2010; FERNANDES et al., 2011).

Previamente a implantação de um sistema de adsorção em CAP devem ser avaliadas as melhores condições desta aplicação, visto que tempos de contato maiores de adsorção, podem potencializar a adsorção com redução tanto do consumo de carvão, quanto da geração de lodo, além de garantir maior segurança operacional do sistema, ou seja, eficiência de remoção de orgânicos e fornecimento de água tratada com qualidade.

Neste contexto, o presente trabalho teve como objetivo investigar as variáveis que podem influenciar na eficiência da adsorção de matéria orgânica em água bruta submetida ao processo de tratamento de água em ciclo completo com aplicação de três tipos de carvão ativado pulverizado (origem animal, vegetal e mineral), por meio da variação de tempo de contato e dosagem.

2 METODOLOGIA

Para realização dos referidos ensaios os experimentos foram divididos em quatro etapas, sendo elas Definição dos tipos de carvão ativado, Coleta e caracterização, Definição das condições da água e Planejamento Experimental.

A Tabela 1 apresenta os parâmetros físico-químico, unidades, métodos de medição e limites de quantificação para cada um dos parâmetros avaliados. Os ensaios de bancada seguiram os métodos indicados na APHA (2012), e foram realizados parte no laboratório da concessionária responsável pelo abastecimento público de Palmas-TO (Laboratório de Controle de Águas) e no laboratório do Instituto Técnico Federal do Tocantins – IFTO (Laboratório de Saneamento).

Tabela 1 - Parâmetros físico-químicos, unidades, métodos de medição, unidades, e limites de quantificação.

Parâmetro	Unid.	Métodologia	Referências	Limite de Quantificação
COT	mg/L (NPOC)	Oxidação por combustão catalítica a 680 °C	5310-B. Standard Methods, 2017	0,001 mg/L (NPOC)
Turbidez	uT	Nefelometria	180.1, EPA, 1993	0,14 uT
Cor aparente	uC	Espectrofotometria	2120 C. Standard Methods, 2017	5 uC
pH	-	Eletrometria	4500-H+ B, Standard Methods, 2017	-

Para efetivação dos ensaios de tratabilidade, foram utilizados os produtos químicos que estão apresentados na Tabela 2. Também são apresentadas as concentrações de cada um dos produtos com as condições de preparo das soluções. Além dos produtos abaixo destacados, também foram utilizados os três tipos de carvão ativado pulverizado objeto de estudo.

Tabela 2 - Concentrações dos produtos e condições a que foi submetido o preparo das soluções

Produto Químico	Concentração	Solução - Preparo
Policloreto de alumínio - PAC	Produto comercial líquido 16 a 18% Al_2O_3	Solução preparada com 1 grama do produto comercial em 1 L de água destilada
Hidróxido de Cálcio - Cal Hidratada	Produto comercial em pó – 93% de Hidróxido de Cálcio	Solução preparada com 5 gramas do produto comercial em 1 L de água destilada

Na Etapa 1, foram definidos os carvões cuja eficiência na remoção de matéria orgânica foi investigada. Foram selecionados três tipos de carvão de modo que fosse contemplado carvões cuja matéria prima fosse de origem animal, vegetal e mineral.

Para a Etapa 2, foram avaliados a série histórica dos resultados de COT dos principais mananciais submetidos ao abastecimento de água no Estado do Tocantins e Pará. A amostra de água bruta foi coletada no reservatório de acumulação do Córrego Caracol, localizado no município de Xinguara no Estado do Pará. O manancial em questão é utilizado para captação de água e abastecimento público do município e está localizado nas coordenadas geográficas: 7° 4' 28.06" S e 49° 56' 7.69" O. No reservatório de acumulação de água, foram estabelecidos 10 pontos de monitoramento alocados ao longo da área e profundidade do mesmo. O monitoramento objetivou identificar no reservatório, regiões críticas com concentração de matéria orgânica. Durante a realização do trabalho, a água bruta foi armazenada em reservatório com capacidade 1 m³, garantindo o monitoramento constante das características da água, homogeneização, de modo que fosse assegurado a qualidade dos ensaios.

Na Etapa 3, utilizando um equipamento Jartest, foram realizados, ensaios de coagulação, floculação e sedimentação visando à verificação das condições de coagulação utilizando o coagulante policloreto de alumínio (PAC) e alcalinizante cal hidratada. As testadas várias condições dos ensaios, como a variação de PAC, Cal, tempo de mistura rápida e floculação, velocidade de sedimentação, tendo como parâmetros de controle o pH de coagulação, turbidez e cor aparente da água decantada;

Na última fase, ou seja, Etapa 4, foi realizado o planejamento experimental para realização dos ensaios de tratabilidade utilizando os 3 tipos de CAPs selecionados para estudo. As condições experimentais para os ensaios de tratabilidade foi realizada por meio do software online Protimiza Experimental Design (<http://experimental-design.protimiza.com.br/>) com a metodologia de Delineamento de Faces Centradas, conforme Figura 1.



Figura 1 - Representação do planejamento experimental do DFC para o estudo das condições de aplicação dos CAP

A Tabela 3 mostra as condições experimentais e seus níveis reais e codificados e os valores mínimos e máximos das variáveis.

Tabela 3 - Variáveis do DCF para o estudo das condições de aplicação do carvão ativado pulverizado

Variável	Unidade	Código	Nível		
			-1	0	+1
Dosagem de CAP	mg/L	X ₁	5	17,5	30
Tempo de Contato	min	X ₂	5	25	45

Foram realizados 11 experimentos com cada tipo de carvão, intercalando em cada experimento o nível das variáveis de forma que todas sejam relacionadas. A dosagem de coagulante para todos os ensaios, seguiu o pré-fixado a partir da avaliação do diagrama de coagulação. Em cada série de ensaios há três repetições de medida de ponto central com a função de validar o modelo através da comparação da repetibilidade de resultados.

Com uso do equipamento Jarrest foram simuladas todas as etapas de tratamento previstas num sistema de ciclo completo. A simulação da filtração em areia utilizou filtros de laboratório de areia (FLA) constituídos de material acrílico e preenchidos com 15 cm de areia (areia tipo I com grãos entre 0,30 e 0,59 mm).

Os ensaios de tratabilidade com as etapas de adsorção em carvão ativado, coagulação, floculação, sedimentação e filtração em filtro de areia, seguiram as condições abaixo:

Adsorção com CAP

- Adsorvente: 03 Tipos de CAP;
- Dosagem CAP: Variável conforme Planejamento Experimental;
- Gradiente da adsorção = 100 s⁻¹;
- Tempo de contato: Variável conforme Planejamento Experimental;

Coagulação / Floculação

- Coagulante: Policloreto de Alumínio 18%; Dosagem PAC: 120 mg/L;
- Tempo de mistura rápida (T_{mr}): 30 segundos;
- Gradiente de mistura rápida (G_{mr}): 1000 s⁻¹;
- Tempo de floculação (T_f): 20 min;
- Gradiente de floculação: 25 s⁻¹;
- Velocidade de sedimentação: 0,5 cm/min

Filtração

- Meio filtrante: Areia tipo I com grãos entre 0,30 e 0,59 mm;
- Altura do meio filtrante: 15cm;

Parâmetros de Controle

- Água coagulada: pH;
- Água filtrada: turbidez, cor aparente, COT;

Todos os dados gerados nos delineamentos experimentais, passaram pelo tratamento estatístico no software Protimiza Experimental Design, sendo obtido o grau de significância de cada variável pesquisada (p-valor). Para os resultados que apresentaram significância estatística para alguma variável, o software elaborou um modelo matemático, que detalha as mudanças dos níveis das variáveis sobre as respostas. Cada modelo matemático foi submetido a análise de variância (ANOVA), onde foi verificado a adequação dos valores previstos com os valores experimentais, e posteriormente validado o modelo matemático pela ANOVA, foram gerados os gráficos de superfície de reposta para cada índice de desempenho.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Foram selecionados 3 tipos de carvão ativado para investigação no presente estudo, cujo as características estão disponíveis na Tabela 4. O CAP B, de origem vegetal, apresentou maior número de Iodo (860,5 mg I₂/g) e menor umidade (7,5%). O carvão de origem animal não dispunha de caracterização, já que o produto estava em escala experimental de testes e produção.

Tabela 4 - Caracterização dos carvões selecionados para realização do estudo.

CAP	Origem	Número de Iodo (mg I ₂ /g)	Umidade (%)
CAP A	Mineral (Betuminoso)	800,0	8,0
CAP B	Vegetal (Pinus)	860,5	7,5
CAP C	Animal (Escama de Peixe)	-	-

No reservatório de acumulação do Córrego Caracol, manancial selecionado para o estudo, procedeu-se com a identificação dos pontos críticos de concentração de matéria orgânica no interior, realizado com a amostragem simples de 10 pontos de monitoramento distribuídos em toda área do reservatório, no quais nota-se que regiões mais profundas e afastadas da área de influência direta do vertedouro do reservatório, tendem a apresentar maior concentração de matéria orgânica. Logo este foi o ponto escolhido para os ensaios.

Tabela 5 - Características físico-químicas da amostra da água de estudo - Córrego Caracol.

Parâmetro	Unidade	Resultado
Alcalinidade	mg/L de CaCO ₃	91
Cor aparente	uC	352
Cor verdadeira	uC	179
COT	mg/L	23,09
DBO	mg/L	4,5
pH (a 25°C)	-	7,07
Turbidez	uT	44,5

A Tabela 5 apresenta alguns resultados da caracterização físico-química da água de estudo. Analisando os resultados obtidos pela Tabela 5, na caracterização da água bruta, foi possível identificar uma alta concentração de matéria orgânica, nesse caso identificado pelo resultado de COT (23,09 mg/L), satisfazendo dessa forma a condição da água necessária para realização dos ensaios. Além do COT, também foi identificada elevada cor aparente (352 uC) e verdadeira (179 uC), situação essa perceptível na amostra, além de significativa presença de metais, no caso, ferro e manganês.

De um modo geral os resultados de cor verdadeira, alumínio dissolvido, ferro dissolvido e manganês dissolvido não atendem aos limites máximos estabelecidos para águas doces Classe II conforme Resolução CONAMA N° 357, de 17 de março de 2005 que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento.

Coletada a água de estudo, foram realizados ensaios para definição das condições de coagulação e floculação a partir da estruturação do diagrama de coagulação. A partir de vários testes, definiu-se a melhor condição de coagulação com os menores valores de turbidez e cor aparente em velocidade de sedimentação de 0,5 cm/minuto, sendo identificada a dosagem de 120 mg/L de PAC, sem o uso de alcalinizante e com pH de coagulação de 6,57. Nestas condições, chegou-se aos valores de 2,22 uT e 24 uC, em turbidez e cor aparente respectivamente.

Selecionado os carvões, coletado e caracterizado a amostra de água e definida as condições de coagulação, foram realizados os ensaios de tratabilidade variando dosagem e tempo de contato para cada um dos três tipos CAPs conforme estabelecido no planejamento experimental.

Foi obtido a concentração de COT de 13,75 mg/L para uma amostra do filtrado após realização dos ensaios de tratabilidade sem CAP, nesse caso o “branco”. Isso demonstra que para a água objeto desse estudo, somente o processo de tratamento convencional em dosagens adequadas de coagulante, é possível remover 40% da matéria orgânica presente na água.

Relativo à avaliação de eficiência de remoção de matéria orgânica na água objeto de estudo, utilizando os CAPs A, de origem mineral, B, de origem vegetal, e C, de origem animal, na Tabela 6, são apresentados os resultados de concentração e eficiência de remoção de COT alcançada ao fim dos ensaios de tratabilidade.

Tabela 6 - Resultados de concentração e eficiência de remoção de COT para cada tipo de CAP avaliado.

Resultados							
Dosagem CAP (mg/L)	Tempo de Contato (min)	Concentração COT (mg/L)			Eficiência de remoção COT (%)		
		CAP A	CAP B	CAP C	CAP A	CAP B	CAP C
5,0	5,0	4,21	4,83	4,51	82%	79%	80%
5,0	45,0	4,23	4,61	4,36	82%	80%	81%
5,0	25,0	4,12	4,73	4,65	82%	80%	80%
17,5	5,0	4,81	3,63	4,50	79%	84%	81%
17,5	45,0	4,03	3,16	4,30	83%	86%	81%
17,5	25,0	4,42	4,05	4,23	81%	82%	82%
17,5	25,0	4,31	4,16	4,91	81%	82%	79%
17,5	25,0	4,38	3,96	4,43	81%	83%	81%
30,0	5,0	4,09	3,71	4,67	82%	84%	80%
30,0	45,0	3,89	1,97	4,73	83%	91%	80%
30,0	25,0	4,02	2,15	4,42	83%	91%	81%

É possível identificar na Tabela 6 concentrações de COT na ordem de 1,97 mg/L na amostra filtrada com uso do carvão vegetal (CAP B). Alguns resultados atingidos no estudo, atendem a recomendação de pesquisadores da área (DI BERNANRDO, 2011) que recomendam 3,0 mg/L como

limite máximo para água tratada e inclusive a recomendação da Environmental Protection Agency (USEPA, 2012) que recomenda concentração de COT de máximo de 2,0 mg/L.

Em estudos similares em que foi avaliado a remoção de orgânicos com emprego de carvões de origem animal, mineral e vegetal, também foram obtidos melhores resultados com uso do carvão ativado vegetal. Em seu estudo Veronezi et al (2009) investigou a adsorção em carvão ativado pulverizado na remoção de saxitoxinas em águas de abastecimento, utilizando os três tipos de carvão, sendo obtido melhores resultados com uso do carvão vegetal com dosagens de até 50 mg/L e tempo de contato de 2 horas.

Foram alcançadas, no presente trabalho, eficiências de quase 92% na remoção de matéria orgânica, bem acima do recomendado pela Agência de Proteção Ambiental dos EUA (USEPA, 2012), que estabelece eficiência de remoção mínima de 40% para fontes abastecimento que possuam concentrações de COT acima de 8,0 mg/L e Alcalinidade entre 60 e 120 mg/L de CaCO₃. Vale lembrar que apenas o tratamento em ciclo completo, sem a adsorção em CAP, obteve estes 40% de remoção da concentração de COT.

Avaliando a Tabela 6 com os comparativos entre os CAPs foi possível identificar que o CAP B, de origem vegetal, obteve melhor eficiência, alcançando concentração de COT próximo a 2,0 mg/L na amostra do filtrado em condições de alta dosagem e tempo de contato do CAP. O CAP B possui a maior capacidade adsorptiva, nesse caso representado tanto pelo número de iodo indicado no laudo do fornecedor, ou seja, 860,5 mg I₂/g, como apresentado na Tabela 4.

O uso de CAPs nas condições de melhor eficiência é ideal para evitar a formação de subprodutos orgânico halogenados, potencialmente tóxicos aos seres humanos, que no caso tem como principal precursor a matéria orgânica presente na água (DI BERNANRDO, 2017)

Quanto aos CAP A e CAP C, de origem mineral e animal respectivamente, não foram identificadas alterações significativas de eficiência com a variação de dosagem e tempo de contato, ou seja, nem mesmo o aumento de dosagem e tempo de contato do carvão trouxeram melhoras na eficiência, assim como observado para os CAPs B.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O tratamento em ciclo completo sem aplicação de CAP, obteve apenas 40% de eficiência de remoção de carbono orgânico total. Já quando utilizado a adsorção em carvão ativado, o CAP B de origem vegetal obteve melhor eficiência na remoção de COT (91%) em relação aos CAPs A e C de origem mineral e animal (83% e 82%), respectivamente.

A aplicação do CAP B obteve as melhores eficiências de remoção de matéria orgânica com resultados superiores a 90%, inclusive com concentrações de COT abaixo do limite recomendado.

Se faz necessário, em trabalhos futuros, a avaliação de eficiência dos CAPs em dosagens superiores a 30 mg/L de modo que seja possível avaliar e/ou minimizar investimentos necessários para garantia do tempo de contato do CAP.

REFERÊNCIAS

- APHA Method: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 23^aedition, 2017.
- ALVARENGA, J. A. Avaliação da formação de subprodutos da cloração em água para consumo humano. 2010. 100p. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Minas Gerais UFMG. Belo Horizonte, 2010.
- DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. D.; VOLTAN, P. E. N. Métodos e Técnicas de Tratamento de Água. 3^a edição. São Carlos-SP: LDIBE, 2017.
- DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. D.; VOLTAN, P. E. N. Tratabilidade de água e dos resíduos gerados em estações de tratamento de água. 1^a edição. São Carlos-SP: LDIBE, 2011.
- FERNANDES, R.; BRESAOLA JUNIOR, R. Remoção de 17 α -etinilestradiol de águas para abastecimento, utilizando diferentes tecnologias de tratamento fisico-químico. Revista DAE, Campinas-SP, 2011. Disponível em: <http://revistadae.com.br/artigos/artigo_edicao_187_n_1463.pdf>. Acesso em: 20 de jan. 2020.
- KHAH, M. A.; ANSARI, R. Activated charcoal: preparation, characterization and applications: a review article. International Journal of Chemistry & Technology Research, Rasht, Iran, v.1, n.4, p. 2745-2788, 2009.
- MARCHETTO, M.; FILHO, F.S.S. Interferência do processo de coagulação na remoção de compostos orgânicos causadores de gosto e odor em águas de abastecimento mediante a aplicação de carvão ativado em pó. Revista Engenharia Sanitária Ambiental, v.10, n.3, p. 243-252, jul./set 2005. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S1413-41522005000300009>>.
- MARCHETTO, M.; FILHO, F.S.S. Otimização Multi-objetivo de Estações de Tratamento de Águas de Abastecimento: Remoção de Turbidez, Carbono Orgânico Total e Gosto e Odor. Revista Engenharia Sanitária Ambiental, v.11, n.1, p. 7-15, jan./mar 2006
- MARMO, C. R.; SANTOS, B. V. A. P.; JÚNIOR, R.B. Remoção de trihalometanos (THM) em águas de abastecimento por tratamento convencional e adsorção em carvão ativado em pó (CAP). Revista DAE, p. 19-25, 2010. Disponível em: <http://revistadae.com.br/artigos/artigo_edicao_182_n_1461.pdf>. Acesso em 19 mar. 2019
- PASCHOALATO, C. F. P. R.; TRIMAILOVAS, M. R.; DI BERNARDO, L. Formação de Subprodutos Orgânicos Halogenados nas Operações de Pré-oxidação com Cloro, Ozônio e Peroxônio e pós-cloração em Água Contendo Substância Húmica. Revista Engenharia Sanitária Ambiental, v.13, n.3, p.313-322, jul./set 2008.
- UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). EPA Drinking Water Guidance on Disinfection by-Products Advice Note n.4. Version 2. Disinfection By- Products in Drinking Water, 2012. Disponível em: <<http://www.epa.ie/pubs/advice/drinkingwater/epadrinkingwateradvicenoteadvicenoten04.html>>. Acesso em: 16 mar. 2020.
- VERONEZI, V.M.; GIANI, A.; MELO S.C.; GOMES, L.L.; LIBÂNIO, M. Avaliação da remoção de saxitoxinas por meio de técnicas de tratamento das águas de abastecimento. Revista Engenharia Sanitária Ambiental, v.14, n.2, p. 193-204, abr./jun., 2009. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/esa/v14n2/a07v14n2.pdf>>. Acesso em: 06 jul. 2019.