



# OTIMIZAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE COAGULAÇÃO QUÍMICA COM APLICAÇÃO DE CARVÃO ATIVADO EM PÓ NA REMOÇÃO DE MATÉRIA ORGÂNICA: ESTUDO DE CASO DO RIO JUNDIAÍ-SP

**Palavras-Chave:** Tratamento de água, coagulação química, matéria orgânica

**Autores/as:**

**Stefany Caroline de Padua Mathias, FECFAU, UNICAMP**

**Antônio Ilderlânio de Sousa Leite (mestrando em Engenharia Civil), FECFAU, UNICAMP**

**Larissa Silva Araújo (doutoranda em Engenharia Civil), FECFAU, UNICAMP**

**Prof. Dr. Ricardo de Lima Isaac (orientador) FECFAU, UNICAMP**

---

## INTRODUÇÃO:

A presença de compostos orgânicos dissolvidos em águas superficiais tem-se configurado um dos maiores desafios no tratamento de água, devido aos efeitos negativos nos processos das estações de tratamento de água (ETA), bem como em seu potencial de formação de subprodutos da desinfecção, como os trihalometanos e os ácidos haloacéticos, conhecidamente tóxicos (Uyak et al. 2007; Hillebrand e Benetti, 2019). A maioria dos sistemas de potabilidade de água superficiais são afetados pela presença de matéria orgânica dissolvida (MOD), seja de fonte natural ou antrópica, fazendo com que haja necessidade de combinação de diferentes técnicas na tratabilidade da água (Torres-Lozada et al, 2018). O tratamento convencional de água, amplamente aplicado no Brasil, é composto basicamente pelas etapas de coagulação, floculação, decantação, estas formam a fase de clarificação, por fim, filtração e desinfecção, visando remover substâncias presentes na água que apresentem risco à saúde humana (Crittenden et al., 2012). Devido à dificuldade na remoção de compostos orgânicos dissolvidos surge a possibilidade de aplicação de carvão ativado em pó (CAP) como adsorvente desses compostos (Shutova et al., 2020), possuindo relevante impacto na remoção de carbono orgânico dissolvido.

O desempenho operacional de ETAs convencionais pode ser otimizado através da execução de ensaios de tratabilidade em aparelho de Jar-Test, que simula, em escala de bancada, diferentes condições de coagulação, floculação e decantação, de forma a definir as melhores eficiências de remoção (Murshed; Van Leeuwen; Chow; Drikas, 2014).

Portanto, o projeto pretende investigar a presença e composição da matéria orgânica natural contida na água do Rio Jundiaí, realizando, em escala de bancada, ensaios de tratabilidade com a água bruta, com o coagulante cloreto de polialumínio (PAC), de modo a determinar as melhores condições de coagulação, floculação e decantação e, por fim, avaliar o efeito da aplicação de CAP mineral, em diferentes concentrações, na remoção de compostos orgânicos dissolvidos, tanto na água bruta quanto no final do processo de clarificação.

## METODOLOGIA:

Alíquotas de água do rio Jundiaí foram coletadas em ponto de amostragem, localizado no município de Salto-SP, em volume suficiente para a realização de ensaios de Jar-Test e caracterização da

água bruta. Realizaram-se análises em três situações: água bruta recém coletada do rio, água antes e depois dos ensaios. A água bruta foi caracterizada com base nas análises indicadas na Tabela 1, onde estão os parâmetros físico-químicos a serem analisados.

<b>Físico-químicos</b>	<b>Indicadores de MOD</b>
Turbidez (UT)	Cor verdadeira (UC)
Cor aparente (UC)	Carbono orgânico dissolvido (mg/L)
Alcalinidade (mg/L)	UV <sub>254</sub> (cm <sup>-1</sup> )
pH	SUVA <sub>254</sub> (L/mg.cm)

*Tabela 1 - Parâmetros físico-químicos e de matéria orgânica a serem analisados*

Para avaliar o desempenho do carvão ativado em pó na remoção de matéria orgânica dissolvida, aplicaram-se diferentes dosagens na água bruta a sua versão mineral produzida pela empresa CALGO<sup>®</sup>, e submetidas à agitação de 120 rpm, de modo a se estimar a capacidade do carvão de adsorver os compostos orgânicos naturais e delimitar as melhores dosagens.

Os ensaios de tratabilidade estão sendo realizados em equipamento Jar-Test padrão (Nova Ética<sup>®</sup>), que possui 6 jarros de acrílico, com a capacidade de 2 L cada. Os jarros preenchidos com a água de estudo, e submetidos aos ensaios, variando as concentrações de cloreto de polialumínio (PAC) e o pH entre 5 a 9. Como a otimização da coagulação faz parte do objeto de estudo, as condições de tempo de mistura, gradiente de velocidade e tempo de sedimentação foram definidas ao longo do trabalho, em função das características da água bruta e de seu comportamento nos ensaios. Após a determinação da dosagem ótima do coagulante, o carvão ativado mineral em pó foi aplicado em diferentes concentrações, escolhidas com base no ensaio de adsorção.

Diante dos resultados encontrados até então, a partir da análise dos dados, espera-se que seja possível discutir sobre a necessidade do emprego de carvão ativado em pó na água do rio Jundiaí, bem como sua relação com a coagulação otimizada.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO:**

Participei de uma das coletas de água do Rio Jundiaí, em Salto-SP, realizado pela equipe do “Serviço Autônomo de Água e Esgoto” (SAAE), no mês de agosto/2022, para obter a experiência e entender como são realizadas as coletas, além de conhecer o laboratório que auxilia na pesquisa e obtenção de resultados a serem analisados.

Para a realização de ensaios de adsorção e jar-test com aplicação de carvão ativado em pó (CAP), foram coletados 80 litros de água bruta do rio Jundiaí, em 3 de novembro e 21 de novembro de 2022, pela equipe do SAAE Salto, em parceria com os integrantes do grupo de pesquisa LABEETA

(Laboratório Estação Escola de Tratamento de Água) da FECFAU/Unicamp. A água foi reservada em galões de 20 litros, sendo preenchidos em sequências de 5 litros cada, e posteriormente encaminhadas ao Laboratório Multiusuário de Saneamento – LABSAN na FECFAU, neste, foi realizada prévia caracterização físico-química da água bruta (Tabela 2).

Parâmetros	03/11/2022	21/11/2022
pH	7,4	7,7
Alcalinidade (mg/L)	76,8	154,1
Cor Aparente (uC)	110	76
Cor Verdadeira (uC)	13	27
Turbidez (uT)	32	10
Condutividade (µS)	346	761
Absorbância (254nm)	0,22	0,26

*Tabela 2 - Parâmetros físico-químicos da água bruta coletada no Rio Jundiá em 03/11/2022 e 21/11/2022*

Observam-se os altos valores de cor aparente e absorbância nas duas coletas, evidenciando a presença de compostos dissolvidos. Além disso, em ambas as coletas, a água apresenta um aspecto amarelado, também um indicativo da presença de compostos dissolvidos (matéria orgânica, ferro, manganês, etc.), porém, a água coletada no dia 21/11 apresenta uma coloração mais esverdeada, característico também da presença de organismos fotossintetizantes (algas e cianobactérias).

Para os ensaios de adsorção Foram utilizados Carvão Ativado em Pó (CAP) mineral e vegetal, utilizando de diferentes tempos de contato, foram avaliados: 30 minutos, 1 hora e 24 horas. No intuito de avaliar a interferência da oxidação no processo de adsorção, dosagens de hipoclorito de sódio foram aplicadas em amostras de água bruta contendo CAP, contendo por volta de 10,1% de cloro na forma de  $Cl_2$ . Nos ensaios da primeira água coletada, em que há apenas aplicação de CAP, ambos os carvões obtiveram resultados parecidos de absorbância residual, nos tempos de 30 minutos e 1 hora, com eficiência média de remoção de 37,2%. O CAP vegetal com concentração de 50mg/L obteve a melhor eficiência, atingindo 39,6% no tempo de 30 minutos. Para os resultados encontrados em 24 horas, apenas o CAP vegetal na dosagem de 25mg/L apresentou um resultado muito próximo ao valor de absorbância da água bruta, evidenciando possível dessorção do material orgânico. Quando aplicado 3,5mg/L de cloro na forma de  $Cl_2$ , apenas o CAP vegetal 25mg/L apresentou uma leve redução na eficiência de remoção, indo para 31,9%, com tempo de 1 hora.

Para o segundo ensaio realizado, os resultados obtidos apresentaram redução de eficiência em quase todas as dosagens aplicadas, de ambos os carvões, tendo apenas o CAP mineral 50mg/L obtido remoção superior a 30%. Em 24 horas de ensaio, os CAP vegetal 50mg/L e mineral 25mg/L

apresentaram aumento na eficiência de remoção, sendo de 30,8% e 38,6%, respectivamente. Na situação onde foram aplicados 10 mg/L de cloro, na forma de  $Cl_2$ , houve expressiva redução na eficiência de remoção de absorbância a 254nm.

Para finalizar, foram realizados ensaios de Jar-Test, com e sem aplicação de CAP (Di Bernardo; Dantas; Voltan, 2011). A água bruta foi disposta nos jarros simultaneamente, com capacidade de 2 litros cada, adicionando aos poucos em todos os jarros, com o intuito de garantir a homogeneidade da água. A rotação das paletas foi ajustada conforme gradientes definidos, corrigida pela temperatura da água, que esteve na média de 22°C. A Tabela 3 apresenta os gradientes aplicados e os tempos de cada uma das etapas da clarificação.

ETAPAS	Gradiente e Tempo
Homogeneização da amostra	$G1 = 177 s^{-1}$
	T1 = 60s
Ajuste de pH	$G2 = 177 s^{-1}$
	T2 = 60s
Coagulação e adição de CAP	$G3 = 800 s^{-1}$
	T3 = 10s
Floculação	$G4 = 30 s^{-1}$
	T4 = 1200s
Sedimentação	T5 = 600s

*Tabela 3. Gradientes aplicados e os tempos de cada uma das etapas da clarificação*

Nos ensaios, primeiramente, foram realizados sem CAP, na busca das melhores condições de coagulação, utilizando 3 coagulantes diferentes: cloreto Férrico, Policloreto de Alumínio (PAC) 12 e PAC 18. Os parâmetros de turbidez e cor aparente residuais foram utilizados para se definir as melhores dosagens, estes também em função do pH.

Destaca-se o alto percentual de remoção de cor aparente pelo PAC 18 nas concentrações de 20mg/L e 40mg/L, e também na remoção de turbidez para 25mg/L. Já na aplicação de CAP junto aos coagulantes tivemos um aumento de eficiência, com destaque para a dosagem de 40mg/L de PAC 12, que atingiu 86,7% de eficiência na remoção de cor aparente. Houve relevante aumento na eficiência de remoção de turbidez em quase todas as situações estudadas, atingindo 92,5% de eficiência quando aplicados 20mg/L de PAC 18 e 91,2% com a dosagem de 40mg/L de PAC 12. A remoção de cor verdadeira atingiu o valor de 23% na condição de 20mg/L de PAC 18, e absorbância apresentou leve aumento, em comparação aos resultados do ensaio de adsorção.

## CONCLUSÕES:

Os resultados dos ensaios de adsorção, em média, não diferiram do encontrado na literatura para remoção de matéria orgânica natural, com média em torno de 30%. As baixas eficiências de remoção de absorvância a 254nm podem ter diversas explicações, como a interferência de outros compostos presentes na água, acenando para a necessidade de melhor investigação destes interferentes. A aplicação de cloro na forma de  $\text{Cl}_2$  não contribuiu significativamente para a remoção de compostos dissolvidos, podendo até ter oxidado os carvões e contribuído para grandes residuais de absorvância, quando aplicados 10mg/L de  $\text{Cl}_2$ .

Diante dos resultados, o PAC 18 mostrou-se um coagulante interessante para ser utilizado e estudados nos ensaios realizados posteriormente. Em geral, a adição de CAP vegetal promoveu as melhores reduções de cor aparente e turbidez, e o CAP mineral se mostrou mais eficiente na remoção de compostos dissolvidos.

A máxima remoção obtida com a associação entre CAP e coagulação foi de 46,4% em duas situações, com cloreto férrico e PAC 12. Com o PAC 18, a eficiência aumentou para 41% aplicando 20mg/L do coagulante.

Considerando que o tempo de clarificação, no Jar-Test, foi de cerca de 20 minutos, e comparando com os tempos estudados nos ensaios de adsorção, é possível concluir que a aplicação de carvão ativado, em conjunto com a coagulação, de modo geral, mostrou-se benéfica para a remoção de compostos dissolvidos, usando a absorvância a 254nm como indicador.

---

## BIBLIOGRAFIA

UYAK, Vedat; YAVUZ, Sema; TOROZ, Ismail; OZAYDIN, Sahin; GENÇELI, Esra Ates. **Disinfection by-products precursors removal by enhanced coagulation and PAC adsorption**. *Desalination*, 2016, p.334-344, 2007.

HILLEBRAND, Felipe José; BENETTI, Antônio Domingues. **Caracterização da matéria orgânica dissolvida em processos de tratamento de água para consumo humano usando fracionamento rápido**. *Engenharia Sanitária Ambiental*, 25, n.2, p.375-246, 2019.

TORRES-LOZADA, P.; AMEZQUITA-MARROQUÍN, C.P.; AGUDELO-MARTÍNEZ K.D.; ORTIZ-BENÍTEZ N.; MARTÍNEZ-DUCUARA, D.S. **Evaluation of turbidity and dissolved organic matter removal through double filtration technology with activated carbon**. *DYNA*, 205, n.85, p.234-239, 2018

CRITTENDEN, John C. et al. **MWH's Water Treatment: principles and design**. 3. ed. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Inc., 2012.

SHUTOVA, Y.; RAO, N. R. H.; ZAMYADI, A.; BAKER, A.; BRIDGEMAN, J.; LAU, B.; LI, Kai; LIANG, Heng; QU, Fangshu; SHAO, Senlin; YU, Huarong; HAN, Zheng-shuang; DU, Xing; LI, Guibai. **Control of natural organic matter fouling of ultrafiltration membrane by adsorption pretreatment: Comparison of mesoporous adsorbent resin and powdered activated carbon**. *Journal of Membrane Science*, 471, p.94-102, 2014.

MURSHED, M.; VAN LEEUWEN, J.; CHOW, C.; DRIKAS, M. **Modification of jar testing protocol combined with mEnCo model predicted dose to predict dissolved organic matter removal from surface water**. *Water Science and Technology-Water Supply*, 14, n.3, p.358-366, 2014.

DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. D.; VOLTAN, P. E. N. **Tratabilidade de Água e dos Resíduos Gerados em Estações de Tratamento de Água**. 3ª ed. São Carlos: LDIBE, 2011.