

ESTUDO DE CASO DA OTIMIZAÇÃO DO USO DE CARVÃO ATIVADO UMECTADO EM CONJUNTO COM SULFATO DE ALUMÍNIO NO TRATAMENTO DE ÁGUA

Amanda Myrna de Meneses e Costa¹
Amanda Laurentino Torquato²
Thiago Santos de Almeida Lopes³
Whelton Brito dos Santos⁴
Weruska Brasileiro Ferreira⁵

RESUMO

Com os múltiplos usos da água em todas as vertentes da sociedade, a qualidade dos recursos hídricos se faz de grande importância, principalmente para o abastecimento humano. Alguns parâmetros são determinantes para a classificação da água como potável, sejam eles microbiológicos ou organolépticos. Dentre estes, destacam-se a cor e turbidez, indicadores de material particulado suspenso, como matéria orgânica, que pode provocar alteração no sabor e odor da água. No ano de 2018 a estação de tratamento de água (ETA) de Gravatá, na Paraíba, foi alvo de críticas, uma vez que a água distribuída apresentava essas características de forma marcante após o tratamento. Visando uma maior eficiência do processo utilizado na ETA em questão, este estudo verificou as dosagens ótimas do coagulante já utilizado, o sulfato de alumínio, em conjunto com o carvão ativado umectado. Os ensaios foram realizados em *Jar-test*, com avaliação de cor, turbidez, pH e absorvância ao final de cada experimento, onde os dois primeiros foram medidos após decantação e filtração. Os resultados obtidos apontam que a redução da dosagem do coagulante para 25 mg.L⁻¹ e a aplicação de 5 mg.L⁻¹ do carvão ativado umectado promoveram remoções satisfatórias dos parâmetros em estudo, gerando água de qualidade conforme os padrões de potabilidade.

Palavras-chave: Abastecimento de água, *Jar-test*, Cor e turbidez, Sabor e odor, ETA Gravatá.

INTRODUÇÃO

Atualmente, em função dos desenvolvimentos social e industrial obtidos pela humanidade, evidencia-se usos múltiplos dos recursos hídricos, entre eles: abastecimento humano, irrigação e geração de energia elétrica. Devido ao aumento e diversificação desses usos, assim como do crescimento populacional, problemas frequentes de quantidade e

¹ Graduanda do Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Estadual da Paraíba – UEPB, mndmyrna@gmail.com;

² Doutoranda em Recursos Naturais pela Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, amanda.torquato02@gmail.com;

³ Doutorando em Recursos Naturais pela Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, thiagosantos_al@outlook.com;

⁴ Doutorando em Recursos Naturais pela Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, wheltonbrt@gmail.com;

⁵ Professor orientador: Doutora em Engenharia Química, Professora do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Estadual da Paraíba – UEPB, weruska_brasileiro@yahoo.com.br.

qualidade da água vêm à tona, trazendo efeitos deletérios tanto para o ambiente quanto para a sociedade (ANA, 2017).

O conceito de qualidade da água possui forte relação com a finalidade do seu uso (FUNASA, 2014). A Resolução 357/2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) classifica as águas doces, salobras e salinas do território nacional de acordo com a qualidade exigida para seus respectivos usos em treze classes distintas. Àquelas destinadas ao abastecimento humano são enquadradas na classe especial, segundo a mesma Resolução, desde que seja realizado um processo de desinfecção para tal fim. Essa classe também engloba águas reservadas à preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas e dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral.

Em classes de qualidade inferiores também pode-se fazer uso da água para consumo humano, desde que essas passem por tratamentos convencionais ou avançados, visando a melhoria das características organolépticas da mesma, como cor, odor e sabor, assim como das físicas, químicas e bacteriológicas (FUNASA, 2014) para atender aos parâmetros descritos pela Portaria de Consolidação nº 5 de 28 de setembro de 2017, Anexo XX, que dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.

O tratamento convencional é composto pelas etapas de clarificação, desinfecção, correção de pH, reservação e distribuição. Na primeira etapa ocorrem a coagulação, floculação, decantação e filtração com o objetivo de retirar impurezas presentes na água, sejam elas particuladas ou dissolvidas, que causam alterações na cor e turbidez da mesma, podendo provocar uma recusa do produto final pelo consumidor (LIBÂNIO, 2010). Esses parâmetros também influenciam no tipo de tratamento a ser aplicado, podendo alterar a dosagem dos produtos necessários nesta etapa.

O tipo mais comum de tratamento utilizado no Brasil, o convencional, faz uso de coagulantes capazes de desestabilizar impurezas presentes com a produção de hidróxidos insolúveis que englobam as partículas coloidais em suspensão e dissolvidas na água e formam aglomerados que podem ser removidos pela decantação e filtração, logo após a etapa de floculação. Os coagulantes comumente utilizados são o sulfato de alumínio, o cloreto férrico, o sulfato ferroso clorado, o sulfato férrico e o hidróxicloreto de alumínio (HELLER; PÁDUA, 2010).

Ainda durante a clarificação, outros produtos podem ser utilizados como auxiliares na coagulação e floculação, dentre eles os polímeros, que contribuem com a agregação das

partículas suspensas e com a remoção de cor, odor e sabor, e o carvão ativado, que também pode ser acrescentado nesta etapa com a finalidade de adsorver compostos orgânicos e inorgânicos da água a ser tratada (DI BERNARDO; DANTAS; VOLTAN, 2017).

A ETA de Gravatá, localizada no município de Queimadas – PB, realiza o tratamento convencional nas águas do Açude Epitácio Pessoa, conhecido como Açude de Boqueirão, reservatório que abastece 19 cidades paraibanas com uma capacidade máxima de armazenamento de 411,7 hm³ (AESAs, DNOCS, CAGEPA, 2015). Porém, no último ano, o açude passou por um período de falta de recarga que causou alterações nas características organolépticas da água, principalmente sabor e odor, que permaneceram mesmo após o tratamento, segundo denúncias dos moradores de Campina Grande, uma das cidades abastecidas pela estação.

Posto isso, o presente estudo buscou otimizar as dosagens de sulfato de alumínio e de carvão ativado umectado em conjunto com polímero já utilizado na ETA de Gravatá através de simulações em escala laboratorial realizadas em *Jar-test* compostas de duas etapas, em busca da promoção de um tratamento mais específico e eficaz para as águas do reservatório em questão com base na remoção de cor e turbidez atendendo ao preconizado pelo Anexo XX da Portaria de Consolidação n° 5/2017.

METODOLOGIA

A coleta da água foi realizada segundo as recomendações do *Manual de Controle de Qualidade da Água para Técnicos que Trabalham em ETAs* (FUNASA, 2014). As amostras coletadas no canal a montante da unidade de mistura rápida da ETA de Gravatá já haviam sido submetidas à aplicação de peróxido de hidrogênio na torre de mistura da captação a fim de oxidar compostos orgânicos e inorgânicos possivelmente presentes na água.

Antes de passar por qualquer etapa do estudo, as amostras foram caracterizadas a partir de medições de cor aparente, turbidez e pH. A simulação das etapas de coagulação, floculação e decantação (ensaio de tratabilidade), foi realizada no *jar-test* com capacidade de 2 L cada jarro nas configurações operacionais disponíveis na Tabela 1. Para a etapa de filtração utilizou-se papel de filtro comum Tipo 102 que, em comparação com o filtro de papel Wathman 40, se mostra eficiente para determinação de cor e turbidez de águas brutas (LEAL; LIBÂNIO, 2002).

Tabela 1 – Configurações utilizadas no *Jar-test* para os ensaios de tratabilidade

Etapa	Velocidade de Rotação	Tempo
Mistura Rápida	700 RPM	7 segundos
	70 RPM	10 minutos
Mistura Lenta	40 RPM	10 minutos
	20 RPM	10 minutos
Decantação	0 RPM	2 minutos e 12 segundos
Descarte	-	3 segundos
Coleta	-	20 segundos

Primeiramente, mantiveram-se fixas as dosagens de sulfato de alumínio e polímero, 50,0 e 0,1 mg.L⁻¹, respectivamente, utilizados em conjunto na ETA em questão, e se alterou a dosagem aplicada de carvão ativado umectado de 5,0 a 30,0 mg.L⁻¹, com escalonamento de 5,0 mg.L⁻¹. Desse modo, foi determinada a melhor dosagem de carvão ativado a ser utilizado.

Já na segunda etapa, mantiveram-se fixas a dosagem ótima de carvão ativado e a de polímero utilizada na ETA, e se alterou a do coagulante entre 25,0 e 50,0 mg.L⁻¹, com escalonamento de 5,0 mg.L⁻¹, assim, definindo a melhor dosagem do sulfato de alumínio para o tratamento das amostras estudadas.

Ambas dosagens ótimas, tanto do carvão ativado como do coagulante, foram determinadas a partir da observação dos parâmetros cor aparente e turbidez, determinadas a partir de medidores nefelométricos. Todas as leituras foram realizadas em triplicata, e calculado o valor médio para cada ensaio. Foram realizadas leituras após a etapa de decantação e de filtração.

Também observou-se o percentual de remoção desses parâmetros, calculado pela Equação 1 abaixo.

$$\% \text{ de remoção} = \frac{\text{valor}_{\text{água bruta}} - \text{valor médio}}{\text{valor}_{\text{água bruta}}} \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

Valor_{água bruta}: valores de cor e turbidez medidos antes dos ensaios;

Valor médio: média obtida para as medições de cor e turbidez após os ensaios.

Para a análise da concentração de matéria orgânica foi realizado o método indireto de medida de concentrações descrito no *Standart Methods for the Examination of Water and Wastewaters* (APHA et al., 2012) por absorção ultravioleta a 254 nm em espectrofotômetro UV/VISÍVEL, observada ao final de cada ensaio.

DESENVOLVIMENTO

As características físicas, químicas e microbiológicas dos corpos hídricos se dão devido a capacidade de transporte e dissolução de substâncias das águas, alterando fatores como cor, turbidez, pH, sabor e odor, dependendo das concentrações de material orgânico presente (LIBÂNIO, 2010).

A cor da água se dá pela reflexão da luz em partículas coloidais dispersas predominantemente de origem orgânica ou ainda devido a presença de compostos de ferro e manganês ou de resíduos industriais. A concentração de tais partículas em conjunto com as suspensas também é determinante na turbidez da massa líquida, que pode ser provocada por fragmentos de argila, silte, plâncton, microrganismos e matéria orgânica e inorgânica particulada. É empregada como parâmetro indicador de eficiência do tratamento de água, não somente como padrão organoléptico, mas também como indicador microbiológico, uma vez que sua remoção está correlacionada com a de cistos e oocistos de protozoários (LIBÂNIO, 2010).

Além de facilitar a formação de subprodutos, a presença de matéria e compostos orgânicos podem atribuir odor e sabor às águas, interferir na remoção dos compostos citados e propiciar condições para o crescimento de forma mais intensa de microrganismos na rede de distribuição (LIBÂNIO, 2010). O sabor e odor tem significativa importância quando a água é distribuída para consumo humano, uma vez que a população beneficiada pelo abastecimento tende a rejeitar a mesma.

Os valores máximos permitidos para esses parâmetros organolépticos estão descritos no Anexo XX da Portaria de Consolidação nº 5/2017, que dispõe do controle e da vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, expressos na Tabela 2.

Tabela 2 – Valores máximos permitidos para cor aparente, turbidez, sabor e odor

Parâmetro	Valor máximo permitido	Unidade
Cor aparente	15	uH
Turbidez	5	uT
Sabor e odor ⁶	6	Intensidade

Fonte: Anexo 10 do Anexo XX da Portaria de Consolidação nº 5/2017

⁶ Intensidade máxima de percepção para qualquer característica de gosto e odor com exceção do cloro livre, nesse caso, por ser uma característica desejável em água tratada.

Buscando atender à legislação, existem diversas formas de tratamento da água. O tratamento convencional, também chamado de ciclo completo, visa a produção de água potável a partir de águas brutas superficiais e é composto pelas etapas de coagulação, floculação, sedimentação, filtração, para ser acondicionada nos reservatórios para posterior distribuição (DI BERNARDO; DANTAS; VOLTAN, 2017). Ainda fazem parte as etapas de desinfecção e de fluoreação, a última caracteriza-se como opcional.

Durante a coagulação são adicionados produtos químicos à água, os coagulantes, sob intensa agitação de modo que o produto seja uniformemente disperso a fim de desestabilizar as impurezas presentes, unindo-as em partículas maiores e mais pesadas. O sulfato de alumínio é o coagulante mais utilizado atualmente (ReCESA, 2008). Após esse processo, a água é conduzida para os floculadores com sua agitação reduzida gradativamente para a formação dos flocos, aglomerados gelatinosos que podem ser removidos durante as etapas de decantação e filtração (FUNASA, 2014).

Durante a decantação, a matéria em suspensão se deposita por gravidade no fundo do decantador, que objetiva o máximo de deposição de materiais particulados. As partículas suspensas que não foram retiradas no decantador são retidas durante a filtração.

As características da água bruta são determinantes na escolha do tipo de tratamento utilizado. Os polímeros podem ser empregados como auxiliares da coagulação e floculação e trazem vantagens como redução dos gastos com produtos químicos e aumento da eficiência de remoção de cor, turbidez e carbono orgânico total da água, formando um agregado partícula-polímero-partícula, no qual o polímero atua como “ponte” de ligação (FUNASA, 2014; HELLER; PÁDUA, 2010).

Assim como os polímeros, o carvão ativado não se enquadra como coagulante, mas pode estar presente na etapa de clarificação da água como adsorvente de substâncias causadoras de sabor, odor, toxicidade e mutagenicidade presentes na água, como agroquímicos, geosmina e cianotoxinas (DI BERNARDO; DANTAS; VOLTAN, 2017). Se constitui, assim, como uma ótima opção para a remoção dos compostos orgânicos e eventuais precursores de trihalometanos, que derivam da complexação do cloro com a matéria orgânica em solução (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2006).

Em 2018, a concessionária responsável pelo abastecimento de água do estado da Paraíba recebeu inúmeras reclamações sobre o sabor e odor da água distribuída pela ETA de Gravatá, uma vez que o açude Epitácio Pessoa passou por um período de falta de recarga e contava com

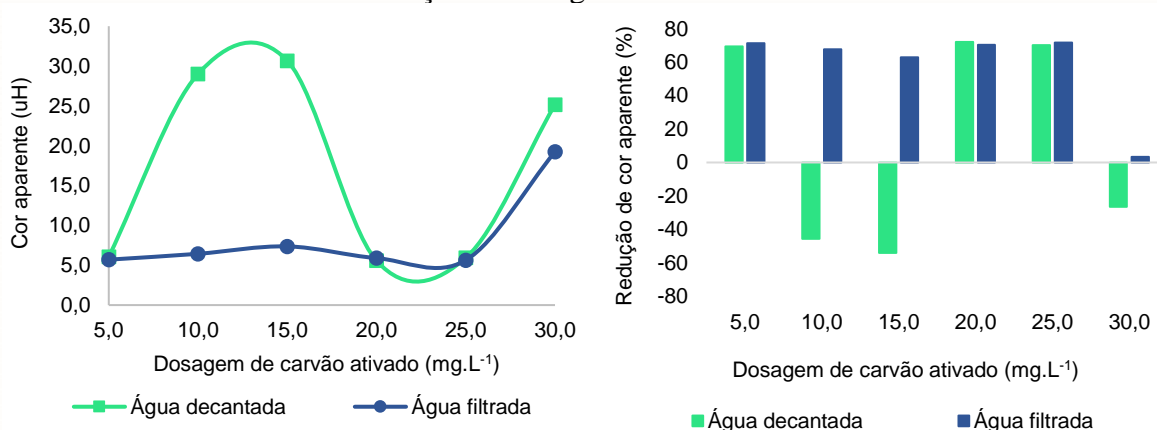
31,60% do seu volume total (AESAs, 2018), o que aumentou a concentração de matéria orgânica na água e alterou, conseqüentemente, os padrões de potabilidade supracitados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As amostras de água bruta apresentaram um valor médio de cor aparente de 19,9 uH, turbidez de 1,06 uT e pH igual a 7,8, acima do máximo permitido conforme os padrões organolépticos de potabilidade (Tabela 1).

Após realização dos ensaios de *Jar-test*, foram obtidos os resultados expressos na Figura 1 em relação à cor aparente para dosagens fixas de sulfato de alumínio (50 mg.L^{-1}) e polímero ($1,0 \text{ mg.L}^{-1}$) e diferentes dosagens de carvão ativado umectado após as etapas de decantação e filtração.

Figura 1 – Cor aparente e percentuais de remoção após as etapas de decantação e filtração na otimização da dosagem de carvão ativado

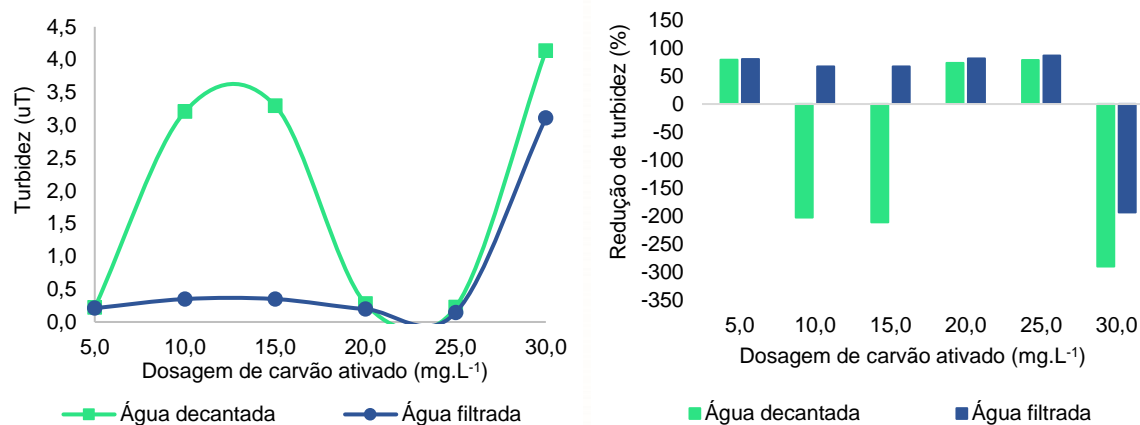


Nota-se que a maior porcentagem de redução da cor aparente, ainda na fase de decantação, foi de 72,0%, com a aplicação de $20,0 \text{ mg.L}^{-1}$ de carvão ativado, enquanto a água filtrada apresentou maior porcentagem de redução (71,7%) na dosagem de 25 mg.L^{-1} , ambas com valor de 5,6 uH para esse parâmetro. Na dosagem de 20 mg.L^{-1} , a água filtrada apresentou remoção de 70,4%, o que corresponde a um valor de 5,9 uH.

Estudos realizados por Duarte (2011), evidenciam uma porcentagem de redução similar para cor aparente, 74,1%, quando utilizado 10 mg.L^{-1} de carvão ativado pulverizado (CAP) concomitantemente com hidróxicloreto de alumínio, para medidas pré-filtração. Ainda segundo o mesmo autor, os valores obtidos antes e depois do processo de filtração não sofrem alterações significativas.

Com as dosagens de coagulante e polímero fixadas, foi analisada a turbidez da água após a decantação e filtração, como no caso anterior. Os resultados obtidos podem ser verificados na Figura 2.

Figura 2 – Turbidez e percentuais de remoção após as etapas de decantação e filtração na otimização da dosagem de carvão ativado



Com uma remoção de 79,2% na turbidez da água bruta, a dosagem de 5,0 mg.L⁻¹ de carvão ativado umectado reduziu esse parâmetro para 0,22 uT após a água passar pelo processo de decantação. Por outro lado, observou-se um aumento de 289,8% na dosagem de 30 mg.L⁻¹. Para a água filtrada obteve-se uma redução de 86,5% de turbidez, valor que corresponde à 0,14 uT quando foram utilizados 25 mg.L⁻¹ do carvão umectado.

Resultados semelhantes foram observados por Freire e Lima (2017) que obtiveram uma remoção de 82,35% de turbidez ao utilizar uma dosagem de 10 mg.L⁻¹ de sulfato de alumínio associada à 10 mg.L⁻¹ de carvão ativado umectado e 64,70% nas dosagens de 20 mg.L⁻¹ para os dois produtos. Após esse processo, além dos parâmetros já citados, foram analisados o pH a cada dosagem de carvão ativado, assim como a absorvância de cada ensaio. Os valores estão expostos na Tabela 3.

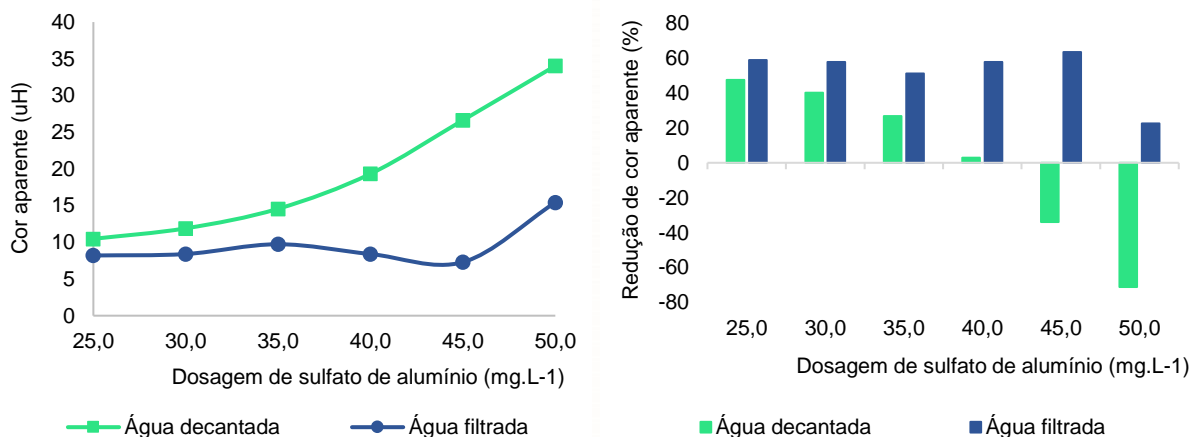
Tabela 3 – pH e absorvância da água após filtração na otimização da dosagem de carvão ativado

Dosagem de carvão ativado (mg.L ⁻¹)	pH	Absorvância (254 nm)
5,0	7,60	0,065
10,0	7,70	0,074
15,0	7,70	0,078
20,0	7,80	0,115
25,0	7,80	0,056
30,0	8,00	0,115

Seguindo as recomendações da Portaria de Consolidação nº 5/2017, os melhores resultados obtidos foram aqueles nas dosagens de 20 e 25 mg.L⁻¹ de carvão ativado. A dosagem de 5 mg.L⁻¹ também alcançou ótimos resultados que atendem a Portaria, logo, é mais viável a sua utilização, por depender menos recursos. A absorvância também foi considerada satisfatória, com valores baixos tanto para 25 mg.L⁻¹ como para 5 mg.L⁻¹ do carvão umectado, o que indica baixas concentrações de matéria orgânica.

Sendo assim, foi realizada a segunda etapa do ensaio com a dosagem ótima do carvão ativado e 1,0 mg.L⁻¹ do polímero, com alteração na dosagem de sulfato de alumínio entre 25,0 e 50,0 mg.L⁻¹ a fim de observar qual dosagem ótima do coagulante para agir em consonância com o carvão ativado sem que o mesmo interfira negativamente na etapa de clarificação. Os resultados para cor aparente nessa etapa estão ilustrados na Figura 3.

Figura 3 – Cor aparente e percentuais de remoção após as etapas de decantação e filtração na otimização da dosagem de sulfato de alumínio



Foram obtidos resultados satisfatórios para a aplicação de uma dosagem de 25 mg.L⁻¹ de sulfato de alumínio após as etapas de decantação e filtração, com percentuais de remoção de 47,4 e 58,8%, que resultaram em valores de cor aparente de 10,5 e 8,2 uH, respectivamente.

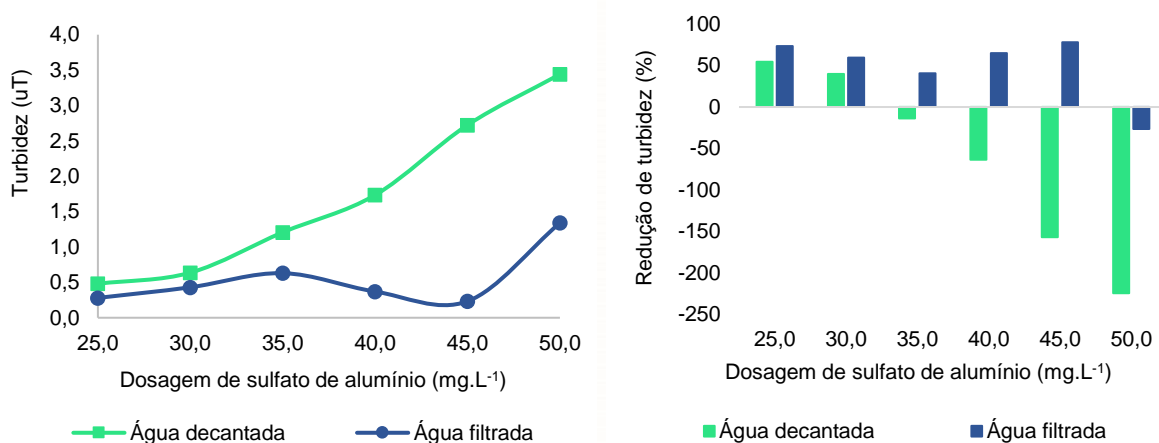
Já a aplicação da dosagem utilizada na ETA de Gravatá, 50 mg.L⁻¹, em conjunto com o carvão ativado, aumentou a cor aparente da água para 34,0 uH, um acréscimo de 71% ainda na etapa de decantação. Após a filtração, obteve-se um valor de 15,4 uH, uma redução de 22,4% do valor inicial. Porém, em nenhuma das etapas foi alcançado o valor padrão definido na Portaria de Consolidação nº 5/2017 para tal dosagem.

Segundo Marchetto e Filho (2005), as partículas de carvão ativado, quando este é aplicado durante a coagulação, podem ser incorporadas ao hidróxido metálico formado nesta

etapa, reduzindo a eficiência de absorção dele. Embora os autores não tenham encontrado diferenças significativas de remoção dos compostos causadores de gosto e odor na água para uma dosagem de 25 mg.L⁻¹ de coagulante e diferentes concentrações de de carvão ativado, isso pode ocorrer em dosagens mais altas de coagulante, como foi o caso do presente estudo.

Assim como na primeira etapa, também foram verificados os valores de turbidez obtidos após a etapa de filtração e decantação, expostos na Figura 4. Mais uma vez, a dosagem de 25 mg.L⁻¹ apresentou ótimos resultados tanto para a água decantada quanto filtrada, com remoção de 54,7% na turbidez da água bruta após a primeira etapa e de 73,6% depois da filtração, correspondendo aos valores de 0,48 e 0,28 uT, respectivamente.

Figura 4 – Turbidez e percentuais de remoção após as etapas de decantação e filtração na otimização da dosagem de sulfato de alumínio



Assim como para o parâmetro de cor aparente, a dosagem de 50 mg.L⁻¹ não atendeu aos padrões de potabilidade para turbidez, sendo seu valor acrescido em 224,5% após a decantação e em 26,4% após a filtração, retornando os valores de 3,44 e 1,34 uT, respectivamente.

Após a verificação desses parâmetros, também foram verificados o pH e a absorvância das amostras, resultados expressos na Tabela 4.

Tabela 4 – pH e absorvância da água após etapa de filtração na otimização do sulfato de alumínio

Dosagem de sulfato de alumínio (mg.L ⁻¹)	pH	Absorvância (254 nm)
25,0	8,00	0,099
30,0	7,90	0,085
35,0	7,90	0,077
40,0	8,00	0,066
45,0	8,00	0,060
50,0	7,90	0,090

Assim como na primeira etapa do ensaio, os resultados descritos acima foram comparados com os parâmetros expressos na referida Portaria, logo, conclui-se que a dosagem ótima do coagulante sulfato de alumínio a ser utilizado em consonância com o carvão ativado seria de 25 mg.L⁻¹, uma vez que apresentou maior remoção de impurezas e ainda atende os padrões de potabilidade exigidos, com valores de cor e turbidez abaixo do permitido, sendo esses os fatores determinantes para consideração de tal dosagem como ótima, apesar de ter apresentado maior valor de absorvância.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos experimentos realizados constatou-se que as dosagens ideais seriam de 5 e 25 mg.L⁻¹ para o carvão ativado e o sulfato de alumínio, respectivamente. Nessas quantidades, foi observada uma melhor remoção de componentes orgânicos da água, assim como uma otimização do uso do coagulante, uma vez que a ETA de Gravatá utiliza o dobro da dosagem definida como ótima neste estudo. Portanto, foram otimizados os usos tanto do sulfato de alumínio quanto do carvão umectado, a procura de atender as exigências da Portaria de consolidação nº 5/2017 do Ministério da Saúde. Contudo, a viabilidade econômica da utilização do carvão ativado deve ser estudada.

REFERÊNCIAS

AESA – Agência Executiva de Gestão das Águas. “**Volume de açudes: Açude Epitácio Pessoa**”. Disponível em: http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/monitoramento/volume-acude/?id_acude=531. Acesso em: 30 de out de 2018.

AESA, DNOCS, CAGEPA. **Últimas informações recebidas sobre os volumes dos 126 reservatórios d'água da paraíba monitorados pela AESA**. Disponível em: <http://site2.aesa.pb.gov.br/aesa/volumesAcudes.do?metodo=preparaUltimosVolumesPorMunicipio>. Acesso em 30 de out de 2018.

ANA – Agência Nacional das Águas. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2017: relatório pleno**. Brasília: ANA, 2017.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria de Consolidação nº 5, de 26 de setembro de 2017**. Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional Do Meio Ambiente - CONAMA. **Resolução nº 357, de 17 de março de 2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões

de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF.

DI BERNARDO, L; DANTAS, A. D. B; VOLTAN, P. E. N. **Métodos e técnicas de tratamento de água**. 3. ed. São Carlos: LDiBe Editora, 2017.

DUARTE, M. A. C. **Tratamento de água para consumo humano de reservatório eutrofizados através de pré e interoxidação, adsorção em carvão ativado e dupla filtração**. 2011. Tese (Doutorado em Engenharia Hidráulica e Saneamento) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

FILHO, O. S.; WIECHETECK, G. K.; FILHO, A. G. A.; DÖLL, M. M. R. **Otimização de parâmetros de clarificação de água do sistema de tratamento de Ponta Grossa (PR)**. Revista de Engenharia e Tecnologia. v. 3, n. 2, p. 35-46, ago. 2011.

FREIRE, R. C; LIMA, R. A. **Remoção de cor, turbidez e odor de água bruta utilizando carvão ativado umectado em substituição ao carvão ativado pulverizado utilizando sulfato de alumínio líquido como coagulante: estudo de caso barragem de Bita Ipojuca-PE**. São Paulo, 2017.

FUNASA – Fundação Nacional de Saúde. **Manual do controle de qualidade da água para técnicos que trabalham em ETAS**. Brasília: Funasa, 2014.

HELLER, L; PÁDUA, V. L. **Abastecimento de água para consumo humano**. v. 2. 2. ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2010.

JULIANO, V. B. **Remoção dos compostos 2-metilisoborneol e geosmina de água de abastecimento por carvão ativado granular e ação microbiana**. 2010. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

LEAL, F. C. T.; LIBÂNIO, M. **Estudo da remoção da cor por coagulação química no tratamento convencional de águas de abastecimento**. Engenharia Sanitária e Ambiental. v. 7, n. 3, p. 117-128, jul-set, 2002.

LIBÂNIO, M. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água**. 3. ed. Campinas: Editora Átomo, 2010.

MARCHETTO, M.; FILHO, S. S. F. **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**. Engenharia Sanitária e Ambiental. v. 10, n. 3, p. 243-252, jul-set, 2005.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Vigilância e controle da qualidade da água para consumo humano**. Brasília: Ministério da Saúde, 2006.

ReCESA. **Abastecimento de água: operação e manutenção de estações de tratamento de água (guia do profissional em treinamento – nível 2)**. Belo Horizonte: ReCESA, 2008.