304- REMOÇÃO DE COR E TURBIDEZ PELA SOLUÇÃO ALTERNATIVA COLETIVA SIMPLIFICADA DE TRATAMENTO DE ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO (SALTA-Z)

Nádia Almeida Machado[(1)]
Graduanda em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Viçosa (UFV).
Rafael Kopschitz Xavier Bastos[(2)]
Engenheiro Civil, Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF). Especialização em Engenharia de Saúde Pública (ENSP/FIOCRUZ), PhD em Engenharia Sanitária (University of Leeds, UK), Professor Titular, Departamento de Engenharia Civil (UFV).
Luiza Vital Oliveira[(3)]
Mestre em Engenharia Civil (UFV). Engenheira Ambiental (UFV).
Bruno Moreno Ramos da Silva[(4)]
Engenheiro Ambiental (UFV). Mestre em Engenharia Civil (UFV). Doutor em Engenharia Civil (UFV). Pós-doutorando em Engenharia Civil (UFV).
Júlia Sprangim Meira dos Santos [(5)]
Graduanda em Engenharia Ambiental, Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Viçosa..

Endereço[(1)]**:** Rua Rodrigues Pais, 219 – Chácara Santo Antônio – São Paulo - SP - CEP: 04717-020 - Brasil - Tel: +55 (35) 99206-6304 - e-mail: **nadia.machado@ufv.br.**

RESUMO

O presente estudo teve como objetivo avaliar o desempenho da SALTA-z no tratamento de água superficial para remoção simultânea de turbidez e cor verdadeira. Uma unidade da SALTA-z foi instalada nas dependências da Estação de Tratamento de Água (ETA) da Universidade Federal de Viçosa (UFV), apresentando os mesmos elementos das unidades distribuídas pela FUNASA, acrescidos de um filtro de areia (paralelo ao de zeólita). A unidade foi avaliada nas seguintes condições: três faixas de turbidez: 1-20uT, 100-200uT e 300-500uT (os valores mais altos de turbidez foram produzidos artificialmente com terra); três faixas de cor verdadeira: 1-50uH, 100-200uH e 300-400uH (produzidas com substâncias húmicas); taxa de filtração de 180m³/m².d. A cor verdadeira foi removida sobretudo durante a sedimentação e o desempenho dos filtros foi bastante similar, tendo ambos produzido, em todas as condições avaliadas, água filtrada com turbidez abaixo de 0,3uT e cor verdadeira igual ou inferior a 5uH, atendendo, assim, o exigido no padrão de potabilidade brasileiro. Conclui-se que a Salta-z é um sistema robusto, capaz de alcançar elevada eficiência na remoção simultânea de cor verdadeira e turbidez ao tratar água superficial, mesmo em condições adversas de qualidade da água bruta.

PALAVRAS-CHAVE: cor e turbidez, padrão de potabilidade, tratamento de água, solução simplificada.

INTRODUÇÃO

O acesso à água potável e ao saneamento é um direito reconhecido pela Organização das Nações Unidas (ONU) desde 2010. Entretanto, a realização plena desse direito é ainda realidade distante para diversos agrupamentos populacionais, inclusive e particularmente no Brasil, ainda mais no meio rural. De acordo com o Programa Nacional de Saneamento Rural (PNSR), 59,5% da população nas áreas rurais não possuem atendimento adequado de abastecimento de água (BRASIL, 2019).

A fim de promover o acesso a serviços de abastecimento de água em pequenas comunidades rurais, ribeirinhas e outros povos e comunidades tradicionais, a Fundação Nacional da Saúde (FUNASA) desenvolveu a Solução Alternativa Coletiva Simplificada de Tratamento de Água com zeólita (SALTA-z) (SANTOS; CARVALHO, 2018). Apesar de ser apresentada como solução simplificada, e de fato o é o ponto de vista de estrutura física, a SALTA-z, quando aplicada para tratamento de águas superficiais, inclui todas as etapas do chamado tratamento convencional, ou em ciclo completo: coagulação, floculação e decantação, filtração e desinfecção. A Figura 1 traz uma representação esquemática da concepção original da SALTA-z para o tratamento de águas superficiais, onde se nota a previsão da desinfecção antes da filtração. Além disso, se inicialmente, a Salta-z foi pensada para o tratamento de águas

subterrâneas com elevados teores de ferro e manganês e, por isso, contava com filtro de zeólita, este foi mantido também no arranjo para tratamento de águas superficiais e remoção de turbidez (BRASIL, 2017).

Figura 1 – Configuração original da SALTA-z para tratamento de águas superficiais
Fonte: adaptado de BRASIL, 2017

A avaliação da SALTA-z em sua concepção original já foi objeto de estudo (OLIVEIRA, 2022), resultando em sugestões de ajustes operacionais e de configuração nas etapas da coagulação, filtração e desinfecção, das quais, para efeito do presente trabalho, cabe destacar: (i) filtração em areia e não em zeólita, quando o objetivo central for a remoção de turbidez; (ii) desinfecção pós-filtração e não pré-filtração. O presente trabalho vem em continuidade ao referido estudo de Oliveira, já, portanto, excluindo a desinfecção pré-filtração e dando sequência à avaliação comparativa entre a filtração em areia e em zeóllita, mas agora incorporando a avaliação da remoção de cor, em simultâneo à remoção de turbidez.

METODOLOGIA

Uma unidade da SALTA-z, fornecida pela Funasa, foi instalada nas dependências da ETA UFV de forma adaptada às condições locais em termos de disponibilidade de área e relevo (Figura 2). A unidade era alimentada a partir de uma derivação da adutora de água bruta da ETA UFV, sendo bombeada para um reservatório de água bruta de 5.000 L, a partir do qual o sistema era alimentado por gravidade. A floculação era realizada em uma caixa d'água de 5.000 L, onde também se dava a decantação, em operações em batelada. Após o decantador foram instalados dois filtros rápidos descendentes em paralelo, sendo um de zeólita e o outro de areia natural de rio.

Figura 2. Configuração das unidades da Salta-z instaladas nas dependências da UFV.

A eficiência da SALTA-z foi avaliada em diferentes condições de qualidade da água bruta em termos de turbidez e cor verdadeira: (i) 1 – 20uT; 100 – 200 uT e 300 – uT; (ii) 1 – 50uH; 100 – 200uH e 300 – 500 uH. Foram realizados experimentos combinando-se as faixas de turbidez e de cor verdadeira, com duas repetições para cada combinação.

Para os experimentos da água bruta com turbidez alta, nas faixas de 100-200uT e 300-500uT, foi necessário "produzir" turbidez. Para tanto, foi utilizado solo retirado nas dependências da ETA UFV, o qual foi peneirado em duas peneiras: uma de malha mais grossa, de 3 a 5 mm e uma mais fina, de 0,425 mm. O solo peneirado era misturado com água bruta em uma bombona de 80L e a suspensão resultante era adicionada ao reservatório de água bruta. Assim como para a turbidez, foi necessária "produção" de cor verdadeira da água bruta nas faixas de 100-200uH e 300-400uH, o que foi realizado com preparação de solução de substâncias húmicas em pó (75% ácido húmico e 10% fúlvico) da marca Arvensis.

Os filtros de areia e zeólita foram operados em paralelo com taxa de filtração de 180 $m^3/m^2.d$, seguindo a recomendação da NBR 12216 (ABNT, 1992) para filtração em camada simples de areia. Entre dois ensaios sequenciais eram realizadas operações de retrolavagem com água decantada produzida na SALTA-z.

A SALTA-z era operada em batelada e durante o enchimento do decantador eram realizadas análises pontuais de cor verdadeira, turbidez e pH na água bruta em intervalos de 30 minutos a 1 hora. Durante a carreira de filtração foram realizadas análises de turbidez e cor verdadeira em intervalos de 15 minutos.

Todas as análises foram realizadas conforme o *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, AWWA, WEF, 2017), A turbidez foi determinada em turbidímetro de bancada da marca Hach (modelo TL2360). As análises de cor verdadeira foram realizadas em espectrofotômetro de luz visível da marca Hach (modelo DR2800) após centrifugação a 3000 rpm por 30 minutos. As medidas de pH foram em pHmetro de bancada da marca DIGIMED (modelo DM-22).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A fim de observar alterações de turbidez e cor durante a decantação, foram utilizados os valores de tempo de sedimentação obtidos a partir de experimentos realizados por Oliveira (2022): 3 h para a faixa de turbidez de 1 uT a 20uT; 5,5 h para 100 uT a 200 uT e 6,5 h para 300 uT a 500uT. A Tabela 1 apresenta a turbidez e cor verdadeira da água bruta e da água decantada ao final desses ensaios.

Tabela 1: Turbidez, cor e pH da água bruta e água decantada e dose de coagulante.

Turbidez (uT)	cor (uH)	AB	Turbidez AB (uT)	Cor AB (uH)	pH AB	Dose de $Al_2(SO_4)_3$ (mg/L)	Turbidez AD (uT)	Cor AD (uH)	pH AD
1-20	1-50	A1	16	32	7,2	8	8,6	3	6,9
		A2	4,1	11	7,4	8	3,2	3	7,1
	100- 200	A3	4,4	140	7,5	14	3,1	4	6,8
		A4	6,9	145	7,5	16	3,9	2	6,8
	300 a 400	A5	9,6	300	7,5	14	4,3	4	6,8
		A6	4,3	300	7,4	16	2,4	4	6,9
100-200	1-50	A7	162	28	7,4	14	12	2	6,9
		A8	178	33	7,4	16	18	3	6,6
	100-200	A9	178	144	7,5	12	13	5	7,1
		A10	185	199	7,2	14	17	3	6,9
	300- 400	A11	179	394	7,4	16	15	3	7,1
		A12	172	336	7,4	12	10	3	7,1
300-500	1 a 50	A13	406	35	7,5	16	19	4	6,8
		A14	373	41	7,5	14	17	2	6,9
	100- 200	A15	342	186	7,5	14	18	2	6,9
		A16	327	187	7,4	10	17	2	7,0
	300-400	A17	397	352	7,4	12	22	6	6,9
		A18	388	325	7,6	12	20	3	7,2

AB: água bruta; AD: água decantada

A Figura 3 apresenta os resultados do monitoramento de turbidez na decantação para a faixa de turbidez da água bruta de 100 a 200uT, na qual as curvas do gráfico correspondem às águas brutas testadas na faixa A7 a A12 (Tabela 1). Nas demais faixas de turbidez (0 a 20uT e 300 a 500uT), as curvas de remoção de turbidez apresentaram comportamento semelhante ao da faixa de 100 a 200uT.

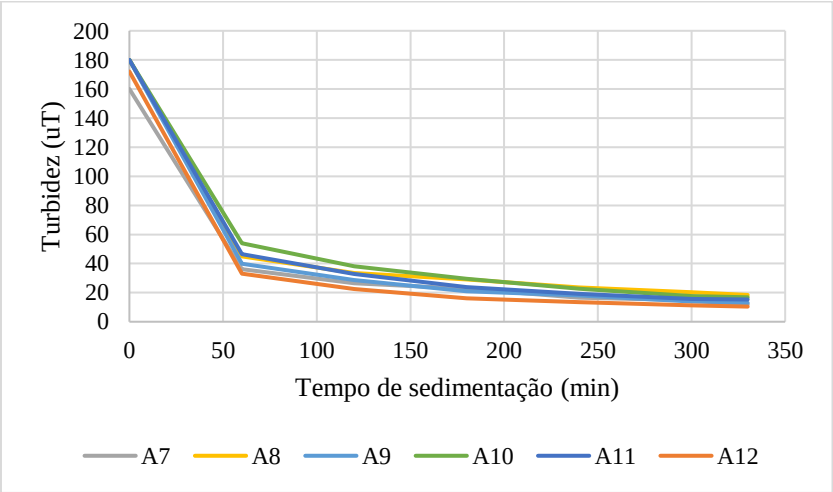

Figura 3: Turbidez da água decantada; ensaios com turbidez da água bruta de 100 a 200uT.

A Figura 4 apresenta os resultados do monitoramento de cor verdadeira na decantação para a faixas de turbidez da água bruta de 100 a 200uT; novamente, as curvas dos gráficos correspondem às águas testadas na faixa A7 a A12 (Tabela 1). Nas demais faixas de turbidez (0 a 20uT e 300 a 500uT), as curvas de remoção de cor verdadeira apresentaram comportamento semelhante ao da faixa de 100 a 200uT.

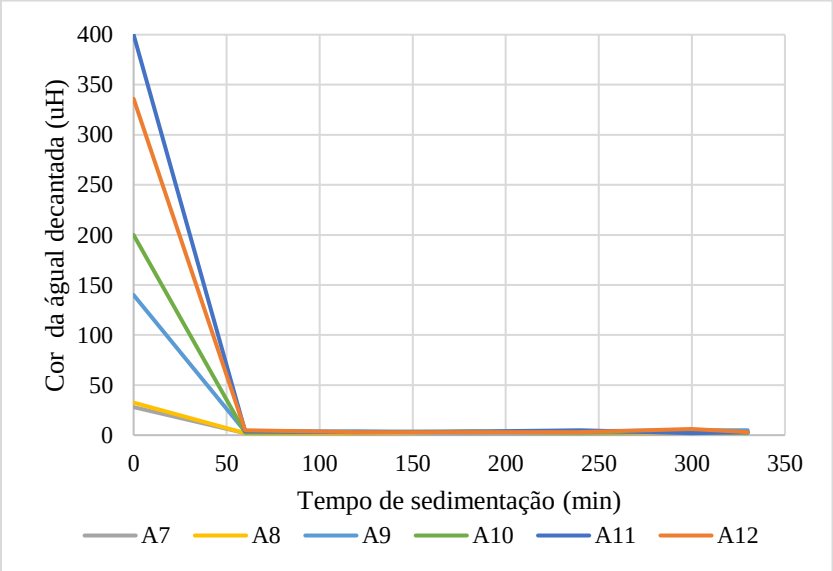

Figura 4: Cor verdadeira da água decantada; ensaios com turbidez da água bruta de 100 a 200uT.

Ambos os filtros, de areia e de zeólita, nos diferentes valores de turbidez e cor verdadeira de água bruta e de água decantada, foram capazes de manter a turbidez da água filtrada abaixo de 0,3 uT em 100% das amostras. A Tabela 2 apresenta a média dos valores de cor verdadeira durante as carreiras de filtração para as repetições de cada combinação de turbidez e cor verdadeira.

Tabela 2: Médias de cor verdadeira (uH) durante o monitoramento das carreiras de filtração para as diferentes faixas de turbidez e cor verdadeira da água bruta.

Faixa de turbidez (uT)	Filtro de areia			Filtro de zeólita		
	Faixas de cor verdadeira (uH)			Faixas de cor verdadeira (uH)		
	1 a 50	100 a 200	300 a 400	1 a 50	100 a 200	300 a 400
1 a 20	2	1	2	2	1	2
	1	1	2	1	1	2
100 a 200	1	3	2	1	2	2
	1	2	2	1	2	2
300 a 500	1	1	3	1	1	2
	1	1	2	1	1	1

A remoção de partículas em suspensão e de matéria orgânica natural é promovida por mecanismos distintos de coagulação. Em decorrência, a remoção de turbidez e de cor verdadeira apesenta diferentes demandas de doses de coagulante e, assim, uma dessas duas variáveis controla o processo de coagulação. Segundo Cheng et al. (2008), a presença de ácido húmico, responsável pela cor verdadeira da água, além de diminuir o potencial zeta da suspensão, tornando-o mais negativo, também afeta a remoção de turbidez, pois o coagulante interage primeiro com o ácido húmico e só depois com as partículas em suspensão. Isso também é destacado por Edwards e Amirtharajah (1985), afirmando que o hidróxido de alumínio não precipita até que tenha complexado todo o material húmico.

Na Tabela 1 é possível observar que maiores doses de coagulante foram necessárias para tratar a água bruta na faixa de turbidez mais baixa (1 a 20uT) e de cor verdadeira mais elevada (100 a 200 uH e 300 a 400 uH), em comparação com a água bruta nas faixas de valores mais elevados de turbidez (300 a 500 uT) e cor verdadeira (300 a 400 uH).

A eficiência de remoção de turbidez durante a decantação variou de 23 a 56% para a faixa de 0 a 20uT até acima de a 90% para as demais faixas; já a eficiência de remoção de cor verdadeira foi de 77,3% a 95% na faixa de cor da água bruta de 1 a 50 uH e superior a 97% para as faixas de 100 a 200uH e de 300 a 500uH, chegando a valores finais de 2 a 6 uH. Na Figura 3 é possível observar que, diferentemente da turbidez (Figura 2), cujo decaimento

durante a etapa de sedimentação se deu de forma mais gradual (ainda que com queda mais acentuada nos primeiros 50 mim, a remoção de cor verdadeira se completou praticamente início da sedimentação (primeiros 50 min). Isso confirma o entendimento do coagulante interagir primeiramente com o ácido húmico e só depois com as partículas em suspensão.

Conforme referido, ambos os filtros foram capazes de manter a turbidez da água filtrada abaixo de 0,3uT em 100% das amostras, portanto, atendendo plenamente às exigências da Portaria GM/MS nº 888/2021 (BRASIL, 2017) para tratamento em ciclo completo: turbidez da água filtrada (i) menor ou igual a 0,50 uT em 95% das amostras analisadas, como indicador de remoção de cistos de *Giardia*; e (ii) menor ou igual a 0,30 uT em 95% das amostras analisadas caso seja necessário comprovar a remoção de oocistos de *Cryptosporidium*.

Ainda em relação à filtração, a principal distinção de desempenho observada foi que o filtro de zeólita apresentou menores valores médios e variações de turbidez da água filtrada ao longo das carreiras de filtração em grande parte das operações. Apesar dessa diferença, o desempenho dos filtros foi similar, tendo ambos alcançado eficiências médias de remoção de turbidez de 97% a 99%.

Os filtros mantiveram boa estabilidade quanto à remoção de turbidez ao longo das carreiras de filtração e, mesmo com oscilações pontuais, não ocorreu trespasse. Vale ressaltar que as carreiras foram muito curtas devido a restrição de volume de água disponível no decantador e pela realização de retrolavagem entre cada ensaio; assim, em carreiras mais longas, é possível que ocorra trespasse.

Como a cor verdadeira foi removida preponderantemente na decantação, a remoção na filtração, em termos percentuais, foi baixa, com eficiências médias entre 18% a 60%. Não obstante, os filtros de areia e de zeólita apresentaram desempenho similar e mantiveram boa estabilidade na remoção de cor verdadeira, alcançando valores na água filtrada de 1 a 5uH. Com valores tão baixos de turbidez e de cor verdadeira é bem provável que o padrão de potabilidade referente à cor (15 uH, como cor aparente) tenha sido sistematicamente atendido, com folga.

CONCLUSÕES

A remoção de cor verdadeira se deu preponderantemente na decantação para todas as condições estudadas. Para as faixas de turbidez mais elevada da água bruta, a decantação foi também responsável por elevada eficiência de remoção de turbidez.

Os filtros de areia e zeólita apresentaram desempenho similar quanto à remoção de turbidez e de cor verdadeira.

Conclui-se que a SALTA-z é um sistema de tratamento robusto, com elevada capacidade de remoção de cor verdadeira e de turbidez em condições diversas e adversas de água bruta.

Como os filtros apresentaram desempenho similar, sugere-se que não há necessidade de utilizar zeólita para a remoção de turbidez e cor verdadeira no tratamento de águas superficiais.

AGRADECIMENTOS

À Fundação Nacional da Saúde (FUNASA) e à Fiotec (Fundação para o Desenvolvimento Científico e Tecnológico em Saúde) / Fiocruz (Fundação Oswaldo Crus) pelo aporte de recursos, materiais e financeiros, que viabilizaram a instalação da infraestrutura para o desenvolvimento do presente estudo. Ao CNPq, pela concessão de bolsa de Iniciação Científica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA - AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION; AWWA - AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION; WEF - WATER ENVIRONMENT FEDERATION. Standard methods for the examination of water and wastewater. 23. ed. Washington, DC: American Public Health Association, 2017.

2. BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional da Saúde. Manual da solução alternativa coletiva simplificada de tratamento de água para consumo humano em pequenas comunidades utilizando filtro e dosador desenvolvidos pela Funasa/Superintendência Estadual do Pará. Brasília: Funasa, 2017. 49p.
3. BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional da Saúde. Programa Nacional de Saneamento Rural. 260p. Brasília: Funasa, 2019.
4. BRASIL. Ministério da Saúde/Gabinete do Ministro. Portaria GM/MS, nº 888, de 4 de maio de 2021. Altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação nº 5/GM/MS, de 28 de setembro de 2017, para dispor sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Diário Oficial da União, Brasília, 07 mai. 2021. Seção 1.
5. CHENG, W. P. et al. A study on the removal of organic substances from low-turbidity and low-alkalinity water with metal-polysilicate coagulants. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, v. 312, n. 2–3, p. 238–244, 2008.
6. EDWARDS, G. A.; AMIRTHARAJAH, A. Removing color caused by humic acids. Journal of the American Water Works Association, v. 77, n. 3, p. 50–57, 1985.
7. OLIVEIRA, L. V. Avaliação de desempenho da solução alternativa coletiva simplificada de tratamento de água para consumo humano em pequenas comunidades (Salta-z). 2022. 143f. Dissertação [Mestrado em Engenharia Civil] - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2022.
8. ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). Direito humano à água e ao saneamento: resolução da Assembleia Geral n°64/292. Nova Iorque: Assembleia Geral, A/RES/64/292, 28/07/2010. Disponível em: https://www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/RES/64/292. Acesso em 06 nov. 2022.
9. SANTOS, S. L. D. X.; CARVALHO, E. B. Nota Informativa - Solução Alternativa Coletiva Simplificada De Tratamento De Água Destinada Ao Consumo Humano e
10. Em Pequenas Comunidades. Coordenação de Controle da Qualidade da Água para Consumo Humano. Brasília, DF, 2018.