ANÁLISE COMPARATIVA DE CUSTO DO USO DE HIDRÓXIDO DE CÁLCIO E CARBONATO DE SÓDIO NA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA

Lucas Rachid de Oliveira Lannes [(1)]
Engenheiro Ambiental pela Escola de Engenharia da Universidade Federal Fluminense (UFF). Mestre em Processos Químicos e Bioquímicos da Escola de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Coordenador de Operações da Rio+ Saneamento.
Alan Johnny Ribeiro de Matos [(1)]
Gestor Ambiental pela UNOPAR. Supervisor de operações da Rio+ Saneamento.
Carlos Riendo Ferreira de Castro [(1)]
Engenheiro Ambiental pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense (IFF). Analista de Operações da Rio+ Saneamento.
Robson Ricardo de Siqueira [(1)]
Gestão Ambiental pela Universidade Estácio de Sá. Técnico de Operações da Rio+ Saneamento.
Jessica Rodrigues Pires da Silva [(1)]
Engenheira Química pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ). Mestre em Tecnologias Ambientais e Sustentabilidade (NYIT). Doutora em Engenharia Química (COPPE/UFRJ).

Endereço[(1)]: Av. Brasil, 597 - Extensão do Bosque, Rio das Ostras, RJ – CEP: 28893-304 - Tel: +55 21 3961-7000 - e-mail: lucas.lannes@riomaissaneamento.com.br

RESUMO

Este estudo tem como objetivo comparar os custos operacionais e a eficiência do uso de Hidróxido de Cálcio em suspensão (geocálcio) e Carbonato de Sódio (barrilha) como agentes alcalinizantes no tratamento de água em uma Estação de Tratamento de Água (ETA) localizada na Região dos Lagos do Rio de Janeiro. A análise foi baseada em dados operacionais reais dos anos de 2023 e 2024, incluindo informações sobre o consumo de produtos, custos envolvidos e parâmetros físico-químicos da água tratada. A pesquisa também considerou aspectos operacionais relacionados à aplicação dos produtos, com foco na viabilidade técnica e econômica de cada alternativa.

PALAVRAS-CHAVE: Produtos Químicos, Tratamento de Água, Alcalinizante.

INTRODUÇÃO

A qualidade da água, dentro de um sistema de tratamento de água, é a principal atividade a ser realizada pelo operador da unidade, onde deve ser monitorada e conhecida, pois a variação da característica da água bruta ocorre de acordo com o clima, pluviometria ou pela ação antrópica. Com isso, conforme maior detalhamento e monitoramento de parâmetros como a cor, turbidez, pH e alcalinidade, maior precisão será alcançada, em especial quanto a dosagem dos produtos químicos necessários para a otimização da água. Isto porque, os produtos químicos são o principal fator de custo para unidades de grandes vazões, enquanto o custo com pessoal é o principal para unidades de pequenas vazões (DI BERNARDO, 2005).

A utilização do hidróxido de cálcio como principal agente alcalinizante em Estações de Tratamento de Água (ETAs) no Brasil é amplamente reconhecida na literatura técnica. Segundo Di Bernardo e Dantas (2005), a cal hidratada representa aproximadamente 80% do mercado nacional de alcalinizantes em ETAs. Essa predominância é corroborada por dados operacionais da SABESP (2022), os quais indicam a adoção desse composto em 92% de suas unidades de tratamento. Do ponto de vista da eficiência química, o hidróxido de cálcio apresenta elevada capacidade de correção imediata do pH, devido à liberação direta de íons hidroxila (OH^-), ao passo que o carbonato de sódio atua predominantemente como agente tamponante, promovendo o aumento da alcalinidade de forma mais gradual (Viessman, 2014). Essas distinções operacionais são determinantes para a escolha do alcalinizante mais apropriado, considerando-se as características físico-químicas da água bruta a ser tratada.

Do ponto de vista operacional, o ajuste do pH e da alcalinidade no tratamento de água está diretamente relacionado ao controle de reações ácido-base, que influenciam a solubilidade e a eficiência dos coagulantes. A alcalinidade atua como um sistema tampão, impedindo variações bruscas no pH e assegurando condições ideais

para a formação e estabilidade dos flocos. A compreensão desses fundamentos permite maior precisão na dosagem dos reagentes, evita desperdícios e contribui para a segurança e eficiência do processo como um todo. Segundo Tchobanoglous (2014), o controle químico adequado reduz a formação de subprodutos e otimiza o desempenho dos sistemas de clarificação.

No tratamento de água, a escolha do alcalinizante é uma etapa essencial para garantir a eficiência dos processos de coagulação e floculação. Entre os alcalinizantes mais utilizados destacam-se a cal hidratada ($Ca(OH)_2$), o carbonato de sódio (Na_2CO_3) e a soda cáustica (NaOH), cada um com características que influenciam o custo, o manuseio e a adequação ao processo. A atuação diferenciada desses alcalinizantes decorre de suas propriedades químicas distintas. O hidróxido de sódio (NaOH-Soda) é particularmente eficaz para elevações rápidas e significativas do pH, pois se dissocia completamente em água, liberando íons OH^-. No entanto, por não contribuir com íons carbonato ou bicarbonato, seu efeito na alcalinidade é limitado, sendo mais indicado para correções de pH quando não há necessidade de aumento da capacidade tampão (DI BERNARDO, 2005). Já o carbonato de sódio (Na_2CO_3 - Barrilha) atua predominantemente na alcalinidade por se dissociar em bicarbonato (HCO_3^-) e carbonato (CO_3^{2-}), que compõem o sistema tampão da água (VIESSMAN, 2014). Esse composto tem um efeito limitado no pH final, mantendo a alcalinidade estável (METCALF & EDDY, 2014). O hidróxido de cálcio ($Ca(OH)_2$) pode ser utilizado de duas formas, como cal hidratada (hidróxido de cálcio hidratado) ou como geocálcio (hidróxido de cálcio em suspensão). A cal hidratada é um pó seco obtido pela hidratação da cal virgem (CaO), enquanto o geocálcio é uma suspensão aquosa de hidróxido de cálcio, mais fácil de dosar e aplicar em sistemas de tratamento. Ambos atuam principalmente no pH devido à liberação direta de íons OH^- (TCHOBANOGLOUS, 2014). Esse composto eleva o pH mais rapidamente, mas com menor contribuição à alcalinidade total (DI BERNARDO, 2005).

Estudos apontam que a faixa de pH ideal para o processo de floculação geralmente varia entre 6,0 e 8,0, dependendo do tipo de coagulante e das características específicas da água bruta. Por exemplo, coagulantes à base de alumínio, como o sulfato de alumínio, apresentam melhor desempenho em pH levemente ácido, enquanto coagulantes à base de ferro, como cloreto férrico, podem atuar de forma eficaz em faixas de pH um pouco mais amplas (Metcalf & Eddy, 2014). Manter o pH dentro dessa faixa otimiza a formação de flocos, reduz a turbidez e minimiza o consumo de químicos adicionais, promovendo maior eficiência operacional e economia nos custos de tratamento.

OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo principal avaliar as vantagens operacionais e econômicas do uso de Hidróxido de Cálcio em suspensão em substituição ao Carbonato de Sódio no tratamento de água, com base nos dados coletados de uma Estação de Tratamento de Água (ETA). A pesquisa busca, além de comparar os custos operacionais e a quantidade de dosagem necessária de ambos os reagentes, investigar a capacidade do Hidróxido de Cálcio em elevar a alcalinidade da água bruta, com o intuito de estabilizar o pH e otimizar os processos de tratamento. Ao analisar essas variáveis, o estudo pretende fornecer uma visão detalhada sobre a viabilidade e os benefícios do Hidróxido de Cálcio, não apenas como uma alternativa operacional mais eficiente, mas também como uma solução econômica para o tratamento de água, visando sempre a melhoria da qualidade da água tratada.

MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi realizado em uma estação de tratamento de água (ETA) com uma capacidade nominal de tratamento de até 600 L/s, localizada na região dos Lagos do Rio de Janeiro. O estudo visa mostrar as etapas executadas durante a substituição do produto químico alcalinizante visando avaliar a eficiência na correção do pH de água bruta, assim como a redução de custos com a troca do produto. As informações e dados dos processos de tratamento da ETA foram realizados por meio de visitas técnicas, enquanto dados de consumo de químicos foram extraídos de controles internos da ETA.

Foram utilizados dados reais de monitoramento, que forneceram informações de consumo de produtos químicos (como alcalinizante e coagulante), vazão média mensal e dados de qualidade de água bruta, decantada e tratada. Todos os dados são referentes ao ano de 2023 e 2024, realizando o comparativo entre os meses dos dois anos. Durante o ano de 2023, a unidade possuía uma vazão menor ao de 2024, uma vez que a unidade sofreu uma *retrofit* de melhoria a aumento de vazão, porém, foi realizado a correção para comparação. Para o tratamento dos dados foram analisados possíveis valores da série de dados que aparentemente apresentavam erros.

Os dados coletados incluíram turbidez, pH e cor da água bruta e tratada e da água decantada. Além disso, avaliou-se a quantidade necessária de cada produto para tratar o mesmo volume de água, sob condições similares, e o valor de mercado dos alcalinizantes testados. Esses levantamentos conferiram maior robustez à análise comparativa, permitindo uma avaliação detalhada da eficiência, custo e benefício de cada produto.

A metodologia foi dividida em cinco etapas principais, sendo a primeira etapa que consistiu na identificação dos alcalinizantes mais utilizados no mercado para o tratamento de água potável. Essa seleção foi realizada com base na disponibilidade e popularidade dos produtos, destacando o carbonato de sódio e o hidróxido de cálcio em suspensão como objetos de estudo. Na segunda etapa, determinou-se a faixa de aplicação ideal do coagulante utilizado no tratamento, o Policloreto de Alumínio (PAC). Este coagulante é amplamente reconhecido por sua eficiência na remoção de partículas e impurezas, sendo uma escolha padrão em processos de tratamento de água.

A terceira etapa focou na definição do pH ideal para o processo, estabelecido entre 7,0 e 8,5. Essa faixa é considerada ótima para maximizar a eficiência do tratamento, como destacado por Ferraro (2018). O controle do pH foi considerado essencial, uma vez que afeta diretamente a solubilidade dos compostos presentes na água, bem como os processos de coagulação e floculação. Já a quarta etapa envolveu a realização de testes de jarro com variação nas dosagens dos alcalinizantes, visando determinar a melhor faixa de dosagem para otimizar o processo. Além disso, teve como objetivo analisar a qualidade dos coágulos formados, avaliando aspectos como resistência, sedimentabilidade e estabilidade. Os testes em bancada foram essenciais para compreender o comportamento dos reagentes testados em diferentes condições de tratamento, sendo essa etapa fundamental para garantir a eficiência do tratamento com o menor consumo possível de produtos, reduzindo custos operacionais e minimizando desperdícios.

Posteriormente, a quinta etapa, consistiu no teste em na planta operacional da ETA, onde foi aplicado na prática a substituição do produto químico, possibilitando uma análise detalhada de seu desempenho no contexto real de operação que gerou todos os resultados.

Durante o período em que utilizamos a barrilha, o sistema operava por meio de um tanque de preparo com misturador mecânico, seguido por um tanque de armazenamento da solução e um sistema de bombas dosadoras helicoidais. O tanque de preparo tinha a função de dissolver a barrilha (carbonato de sódio) em água, utilizando o misturador mecânico para garantir a homogeneização da solução, evitando a formação de sedimentos ou agregados que pudessem comprometer sua qualidade.

Após o preparo, a solução era armazenada em um tanque específico, onde permanecia sob controle até ser dosada de forma controlada no processo de tratamento da água. O sistema de bombas dosadoras helicoidais permitia uma dosagem precisa e contínua da solução, sendo ajustada conforme a necessidade do processo, para garantir o pH desejado e manter a eficiência do tratamento.

Para o sistema de hidróxido de cálcio em suspensão, substituímos o tanque de armazenamento por um maior, equipado com um misturador mecanizado, seguido por bombas dosadoras. Esse tanque é responsável por receber e armazenar a suspensão de hidróxido de cálcio, mantendo-a homogênea por meio de um sistema de agitação, o que impede a decantação do hidróxido de cálcio e assegura que a solução esteja pronta para ser dosada de forma precisa.

RESULTADOS OBTIDOS E ESPERADOS

O estudo revelou que o Hidróxido de Cálcio em suspensão apresenta um custo significativamente menor em comparação ao Carbonato de Sódio, também chamado como barrilha, trazendo uma ligeira vantagem na sedimentação de impurezas durante o tratamento da água. A substituição do Carbonato de Sódio pelo Hidróxido de Cálcio em suspensão trouxe benefícios econômicos substanciais, com uma redução de cerca de 69% no custo operacional de produto químico, conforme Figura 2 e Figura 3, no período do estudo. Este resultado destaca a vantagem econômica do Hidróxido de Cálcio, considerando que, para o mesmo volume de água produzido, mesmo tendo um maior consumo de Hidróxido de Cálcio, ele se tornou vantajoso devido ao custo unitário do produto se comparado com o da barrilha.

Tabela 1 – Consumo de Barrilha e Geocálcio

	2023	2024				
Mês	Consumo de Barrilha (kg)	Consumo de Geocálcio (kg)	% de variação de consumo	Custo com Barrilha (R$)	Custo com Geocálcio (R$)	% de variação de Custo
Julho	4.075	4.712	14%	R$ 21.598	R$ 7.397	66%
Agosto	6.150	6.382	4%	R$ 32.595	R$ 10.020	69%
Setembro	5.750	5.571	-3%	R$ 30.475	R$ 8.747	71%
Outubro	7.525	7.999	6%	R$ 39.883	R$ 12.558	69%
Novembro	9.950	8.252	-21%	R$ 52.735	R$ 12.956	75%
Dezembro	12.200	14.733	17%	R$ 64.660	R$ 23.130	64%
	45.650	**47.648**	**4%**	**R$ 241.945**	**R$ 74.808**	**69%**

Foi identificado que o geocálcio (hidróxido de cálcio) não apresentou melhorias significativas na eficiência do tratamento, considerando os resultados obtidos na água decantada. Os dados analisados demonstraram que sua aplicação não gerou avanços expressivos na eficiência de remoção de impurezas da água bruta, indicando que o desempenho do processo permaneceu semelhante ao observado com outros alcalinizantes testados, conforme é observado na Figura 1.

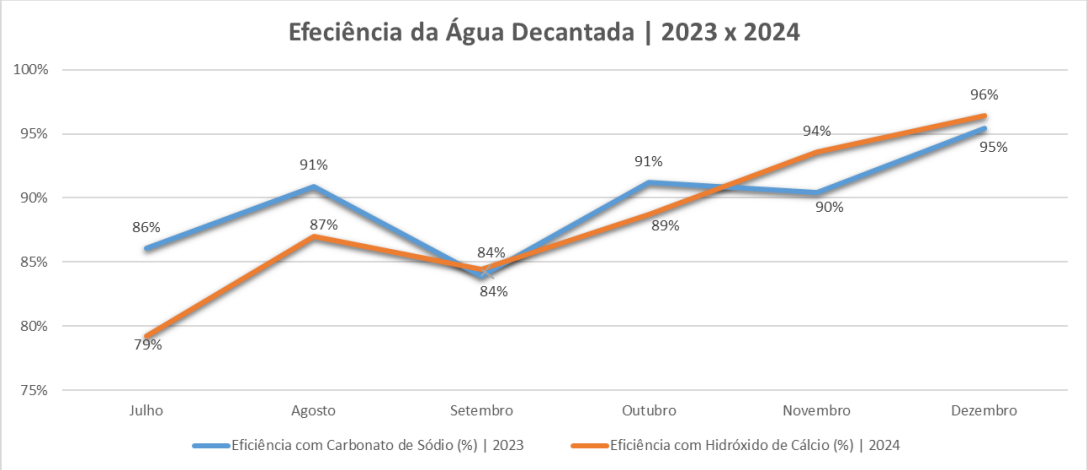


Figura 1 - Eficiência da Água Decantada

Outro aspecto observado durante os testes em planta com o geocálcio foi a ocorrência frequente de entupimentos na linha de dosagem. Por outro lado, o geocálcio apresentou uma vantagem operacional significativa, diferentemente da barrilha, que exige o preparo manual da solução, o geocálcio já é fornecido pronto para uso. Essa característica não apenas oferece maior praticidade, mas também minimiza a possibilidade de erros associados ao preparo manual da solução, contribuindo para a padronização e a eficiência operacional do processo.

Um aspecto que ainda demanda estudos mais aprofundados é a possível redução no consumo de coagulante. Após o início da dosagem de geocálcio, foi observada uma diminuição no volume de coagulante utilizado na unidade, mesmo em condições de entrada com turbidez similar. Essa tendência, conforme as Figura 2 e Figura 3, sugere que o geocálcio pode ter contribuído para uma maior eficiência no processo de coagulação, embora sejam necessárias análises adicionais para confirmar e quantificar esse efeito.

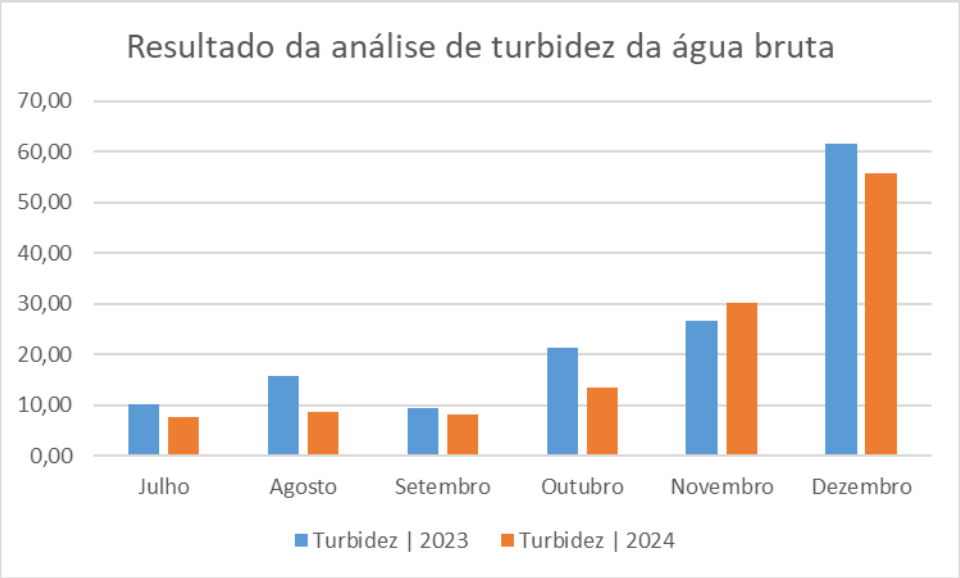


Figura 2 - Resultados da análise de turbidez da água bruta

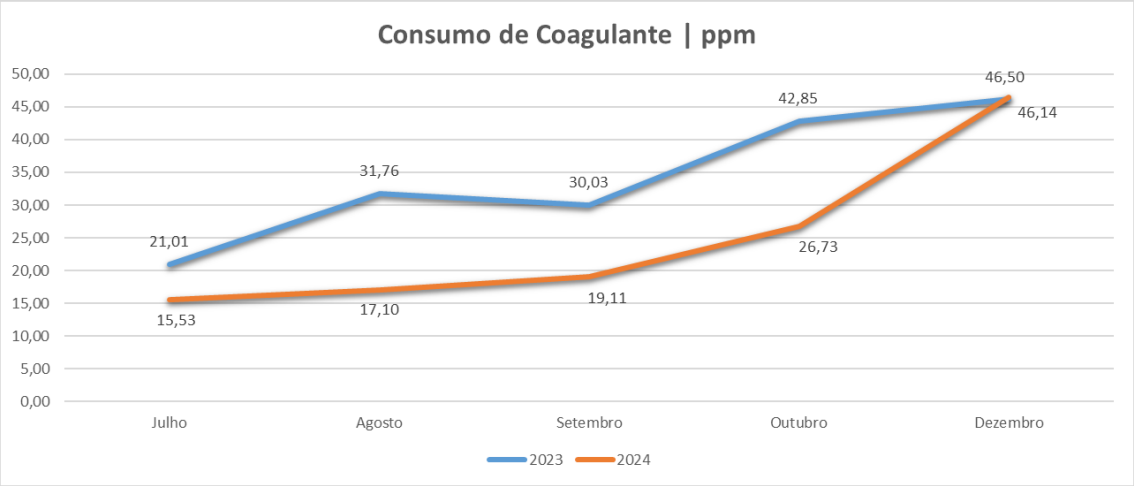


Figura 3 - Consumo de Coagulante

O Carbonato de Sódio apresentou custos operacionais mais elevados, mesmo utilizando quantidades menores de produto para atingir os mesmos resultados de estabilização do pH e remoção de impurezas. O estudo de caso identificou que a barrilha possui um valor médio de R$ 0,033 por metro cúbico de água tratada, enquanto o custo do geocálcio foi de R$ 0,012 por metro cúbico, levando em consideração o custo do produto pelo volume de água tratada durante o período do estudo.

Esses dados evidenciam a viabilidade do Hidróxido de Cálcio em suspensão como uma alternativa mais econômica e eficiente ao Carbonato de Sódio, não só no que diz respeito à redução de custos, mas também na melhoria da eficiência operacional, porém a qualidade de tratamento se manteve a mesma comparando com a barrilha. A substancial redução nos custos operacionais torna o Hidróxido de Cálcio uma escolha vantajosa para o tratamento de água, tanto do ponto de vista econômico quanto ambiental.

CONCLUSÕES

O Hidróxido de Cálcio em suspensão mostrou-se uma alternativa economicamente vantajosa ao Carbonato de Sódio, com uma redução de 69% nos custos operacionais de produtos químicos durante o período avaliado. Além do menor custo, o produto oferece maior praticidade operacional, por já ser fornecido pronto para uso, eliminando a necessidade de preparo manual da solução.

Embora os resultados de eficiência na remoção de impurezas tenham sido similares aos obtidos com a barrilha, observou-se uma possível redução no consumo de coagulante após a implementação do geocálcio, mesmo sob condições de turbidez semelhantes. Esse efeito sugere uma interação favorável no processo de coagulação que necessita de estudos complementares para confirmação.

Apesar das vantagens, a ocorrência de entupimentos na linha de dosagem do geocálcio destaca a necessidade de ajustes técnicos para otimizar sua aplicação. No geral, o Hidróxido de Cálcio se apresenta como uma alternativa promissora, combinando benefícios econômicos, operacionais e potenciais melhorias no processo de tratamento de água.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. DI BERNARDO, L.; DANTAS, A.D.B.; Métodos e técnicas de tratamento de água; 2ª edição; Volume 1; Editora Rima, 2005
2. TCHOBANOGLOUS, George; BURTON, Franklin L.; STENSEL, H. David. Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery. 5. ed. New York: McGraw-Hill, 2014.
3. METCALF & EDDY. Wastewater Engineering: Treatment and Reuse. 2014.
4. FERRARO, Andréa S.; GARCIA, Débora A. Tratamento de Água e Efluentes: Fundamentos e Tecnologias. 3. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2018.
5. SABESP – Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo. Relatório de Insumos Químicos nas ETAs do Estado de São Paulo. São Paulo, 2022.
6. VIESSMAN, W.; HAMMER, M. J. Water Supply and Pollution Control. 8th ed. London: Pearson, 2014.