REMOÇÃO DE ALTAS CONCENTRAÇÕES DE FLÚOR NATURAL NA ÁGUA, A PARTIR DA APLICAÇÃO DE ELETRÓLISE

Ana Lúcia Silva[(1)]
Engenheira Química pela Faculdade Osvaldo Cruz, Mestra em Recursos Hídricos e Doutora em Saúde Pública pela USP. Engenheira no Departamento de projetos de pesquisa e desenvolvimento tecnológico da SABESP.
Bruno Sidnei da Silva[(2)]
Engenheiro Sanitarista e ambiental pela UFSC, Mestre em Ciências pela USP. Gerente do Departamento de projetos de pesquisa e desenvolvimento tecnológico da SABESP.
Wagner Torres Lama
Químico pela USP. Consultor Auditor Perito na WL TORRES.
Jorge Prokopenko
Sócio-Proprietário da G&F.

Endereço[(1)]**:** Rua Raul Pompéia, 303, Vila Pompéia – São Paulo, SP. CEP: 05025-010. Telefone: +55 (11) 3388-8223 - e-mail: eng.anasilva@sabesp.com.br

RESUMO

O desenvolvimento de novas tecnologias capazes de remover altas concentrações de flúor natural em águas subterrâneas utilizadas para abastecimento público é de suma importância. Além disso, em um momento crítico para a humanidade, de mudanças climáticas ocasionadas pela descontrolada exploração dos recursos naturais e geração de poluição, faz-se necessário que as ciências de engenharia priorizem soluções com comprovado menor impacto ambiental, com mínimo consumo de recursos naturais e menor descarte de rejeito e resíduos. A tecnologia testada de patente da empresa G&F apresentou resultados altamente promissores, com baixa geração de resíduos, resíduos estes que podem ser plenamente reaproveitados em sistemas de tratamento de água. Os testes em escala piloto para vazão de 100 L/h e concentração de flúor na água bruta de 6,1 mg/L indicaram eficiência média de remoção de fluoreto na água atingiu 84%, com potencial de atingir até 91% do íon fluoreto – concentração final de flúor igual a 0,64 mg/L.

PALAVRAS-CHAVE: flúor, remoção de fluoreto, eletrólise

INTRODUÇÃO

A tecnologia utiliza eletrólise em meio aquoso, um método físico-químico de reação de oxirredução não natural/espontânea. Essas reações decorrem da aplicação de corrente elétrica aplicada em eletrodos compostos por material inerte, produz-se substâncias simples ou compostas. Esse princípio foi utilizado nos testes descritos e detalhados neste artigo. Um dos diferenciais do presente projeto é a alta concentração de flúor no recurso hídrico que foi objeto de teste para remoção a partir da tecnologia de eletrólise química, em torno de 6 mg/L, para fins de uso de água potável.

O flúor pertence ao grupo dos halogéneos, é elemento químico com elevada reatividade e amplamente distribuído no meio ambiente, sendo possível encontra-lo no solo, ar, rochas, alimentos e na água sob a forma de fluoretos. Seu comprovado benefício na prevenção da cárie dentária levou as autoridades sanitárias a promulgarem no Brasil a Lei N.º 6.050, de 24 de maio de 1974, a qual dispõe sobre a fluoretação da água em sistemas de abastecimento de água, onde existir Estação de Tratamento de Água (ETA). Mais tarde, a Portaria 635/Bsb, de 26 de Dezembro de 1975 é criada para aprovar normas e padrões sobre a fluoretação da água potável e amplia o escopo para processos de abastecimento de água em geral, e não apenas ETAs. Ou seja, inclui poços e outros sistemas. Além disso, também traz diretrizes sobre processos de dosagem, dose recomendada, métodos de ensaio, produtos químicos, etc. Como a dose de flúor relaciona-se com a temperatura, e esta varia substancialmente no Brasil em suas diversas regiões, a Secretaria de Saúde do Estado de São Paulo emite a Resolução SS-250, de 15/08/1995, que define os teores de concentração do íon fluoreto nas águas para consumo humano, fornecidas por sistemas públicos de abastecimento, onde temos que:

> Artigo 1. °- Fica estabelecido que o teor de concentração ideal de íon fluoreto na água destinada ao consumo humano é de 0,7 mg/L no Estado de São Paulo.
> Parágrafo único - Serão considerados dentro do Padrão de Potabilidade, as águas que apresentarem a concentração de íon fluoreto dentro da faixa de 0,6 a 8,0 mg/L.
> Artigo 2. °- As águas destinadas ao consumo humano que apresentarem teores de íon fluoreto inferiores a 0,6 mg/L e superiores a 1,0 mg/L serão consideradas fora do Padrão de Potabilidade.
> Parágrafo único- As águas destinadas ao consumo humano que apresentarem teores de íon fluoreto na faixa de 0,8 mg/L a 1,0 mg/L somente serão consideradas dentro do Padrão de Potabilidade, desde que o Serviço de Abastecimento Público de Água comprove que a média das temperaturas máximas diárias do ar do município por ele abastecido, observadas durante um período mínimo de 1 ano, encontra-se abaixo de 14,7ºC (graus Celsius). (SÃO PAULO, 1995, Página 1).

A definição de uma faixa com níveis máximo e mínimo dá-se pelos seguintes motivos:
- Em concentrações menores do 0,6 mg/L não se atinge o objetivo da fluoretação, que é a prevenção da cárie dentária;
- Em concentrações superiores a 0,8 mg/L podem ocorrer efeitos tóxicos para o ser humano. A depender da idade, tempo de ingestão e quantidade ingerida, esses efeitos podem se dar através da ocorrência da fluorose dental, até a geração de impactos nocivos para o sistema cardiovascular ou renal, alterações genéticas, esqueléticas, défictes cognitivos, citotoxidade, hipotireoidismo, dislipidemias, alterações enzimáticas e eletrolíticas e câncer (MAGALHÃES, 2018).

A ocorrência de excesso de fluoreto em poços na Bacia Sedimentar do Paraná no Estado de São Paulo já foi mapeada e estudada. Na Região Metropolitana da Cidade de São Paulo - RMSP foram encontrados valores aquíferos com concentrações de flúor próximos de 2,37 mg/L, chegando a atingir 12 mg/L em ponto isolado (NETTO et al, 2004 apud NETTO et al, 2016). Ao longo das últimas décadas vem se detectando uma tendência de aumento dessas concentrações, superando o limite que a OMS considera tóxico na água potável, e que consta na Portaria MS 888/21 como sendo de 1,5 mg/L de fluoreto. De acordo com o Relatório de Qualidade das Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo 2001-2003 (CETESB, 2004), 3% de todos os poços monitorados pela CETESB no Estado de São Paulo apresentam fluoreto acima dos limites de 1,5 mg/L.

A principal fonte de fluoreto na água provém da dissolução de fluorita e da apatita, e também pode ocorrer pela dissolução de hornblenda e certas micas onde o F^- substitui parte do grupo OH na estrutura mineral (RIBEIRO, 1992 apud NETTO, 2016).

O F^- pode ser removido da água por meio de várias técnicas, tais como:
- Processo de adsorção, por alumina ativada, carvão ativado, nanopartículas ou resinas sintéticas;
- Tratamento químico por coagulação e/ou precipitação;
- Membranas de osmose reversa;
- Eletrodiálise - aplicação de um potencial elétrico de corrente contínua, que permite a separação de íons de uma solução em cátions e ânions através de membranas seletivas, retendo-os em compartimentos específicos, originando uma solução concentrada e outra diluída;
- Eletroquímico + microfiltração – também envolve os processos de (eletro)coagulação e (eletro)sorção, mas sem adição de nenhum agente químico. Basicamente, na eletrocoagulação são utilizados eletrodos de alumínio que liberam íons Al^{3+} por uma reação anódica que, então, reagem com os íons fluoreto que estão em excesso próximo do anodo. Também podem ser utilizados eletrodos de ferro;
- Diluição simples.

Os testes com a tecnologia desenvolvida pela empresa George & Filho Industria, Comercio e Prestação de Serviços Ltda. (G&F) ocorreram no segundo semestre de 2023, em uma água de poço que apresenta concentração natural entre 6 e 7 mg/L de flúor. O equipamento criado pela G&F realiza a desfluoretação via eletrólise. O equipamento está resguardado por uma solicitação de patente dentro do Processo BR 10 2023 017275 0.

OBJETIVOS

O teste realizado teve por objetivo:

- Reduzir os níveis naturais de fluoreto que ocorrem na água de um dos poços, da concentração de cerca de 6,5 mg/L para concentração igual ou menor a 0,8 mg/L, através do teste em escala piloto durante o período de 7 (sete) dias para a vazão de 100 L/h;
- Avaliar o volume de água utilizado no processo e não reaproveitável (perda);
- Determinar a eficiência e eficácia da remoção dos íons fluoreto da água através do processo de eletrólise;
- Analisar a água produzida através de ensaios físico-químicos, visando detectar a eventual presença de contaminantes ou subprodutos previstos em legislação específica;
- Características de manutenção do equipamento, disponibilidade no mercado, custos, etc;
- Resíduos gerados e alternativas de destinação;
- Nível de automação.

METODOLOGIA

O processo de remoção do íon fluoreto por eletrólise ocorre da seguinte forma: aplica-se uma corrente elétrica através de um par de eletrodos até que a barreira de energia seja superada e as moléculas de água são quebradas em gases de H e O. O anodo de sacrifício aplicado é de alumínio, que neste caso de teste irá formar íons de Al ao invés dos de O.

O presente teste contou com um reator de eletrocoagulação constituído por um recipiente cilíndrico de polipropileno, equipado com eletrodo de alumínio ligados à uma fonte de alimentação de corrente contínua. A capacidade de tratamento do equipamento instalado era de 100 L/h. Os testes foram realizados em temperatura ambiente e pH natural da água, e o regime de trabalho se foi descontínuo (batelada). A concentração de flúor na água de testes manteve-se em torno de 6 mg/L.

A operação foi acompanhada por técnicos especialistas da G&F e SABESP, com formação nas áreas de química, engenharia e elétrica.

O efluente tratado era encaminhado para um segundo recipiente para que ocorresse a sedimentação do complexo que é formado entre os íons flúor e alumínio. O potencial aplicado, através da Lei de Faraday, determina diretamente a dosagem de coagulantes e transferência de massa do eletrodo, que formará o resíduo sedimentado no fundo do tanque, possível de ser 100% reaproveitável posteriormente, como auxiliar de coagulação com adição do íon fluoreto na sua composição química. A retirada das amostras ocorria nesse pequeno container/recipiente (Figura 1), em uma tomada de amostragem acima da faixa de deposição desses complexos AlxFy.

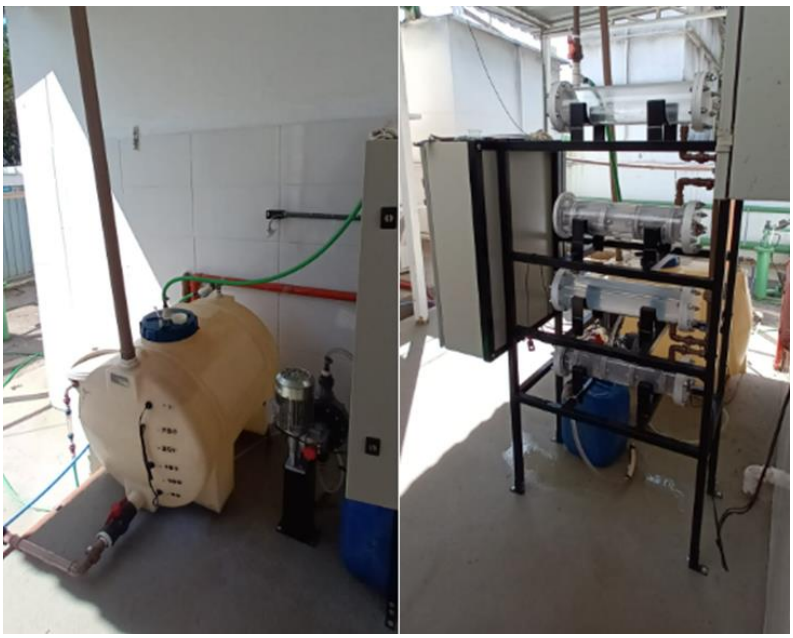
Os ensaios de qualidade da água foram realizados pela SABESP. As coletas de amostras do processo de tratamento tiveram frequência no mínimo diária, para acompanhamento da eficiência e ajustes do equipamento e também para identificar variações na qualidade da água que pudessem interferir no processo.

As coletas se deram em dois pontos do processo de tratamento: na água in natura e na água após passagem pelo processo de eletrólise, conforme Tabela 1. Os ensaios com maior frequência foram realizados com equipamentos de bancada, tais como flúor, pH. Ao longo dos trabalhos foram realizados ensaios extras, como a condutividade, para ajustes da corrente aplicada. Algumas amostras foram coletadas, armazenadas e posteriormente encaminhadas para ensaio no Laboratório de Controle Sanitário, para serem analisadas de acordo com os métodos acreditados pela ISO 17025/17, de forma a validarmos os resultados obtidos em bancada.

Figura 1 – Instalação G&F. (1) água bruta a ser tratada; (2) container de recebimento da água com complexo AlxFy; (3) eletrodo e instalação elétrica do equipamento.



Figura 2 – Instalação G&F. (1) Água bruta; (2) equipamento de eletrólise; (3) tanque de sedimentação do complexo AlxFy.



Visando avaliar a influência dos materiais aplicados neste teste (por exemplo, presentes na confecção do eletrodo), potencial contaminação, etc. também foram realizados dois ensaios completos para a água após o tratamento. E, para comparabilidade dos resultados de remoção e também para caracterizar a água a ser tratada, foi realizado um ensaio completo da água in natura. Estes três ensaios foram realizados por laboratório acreditado, contratado pela SABESP.

Tabela 1. Ensaios realizados durante o teste de desfluoretação

Item	Parâmetro	Periodicidade de ensaio	Responsável
1	Cloro residual, pH	2 a 4 x semana	SABESP/ G&F
2	Fluoreto[a]	2x semana será enviada uma amostra da água in natura e uma da água pós tratamento para Laboratório com ensaios	SABESP

		de flúor acreditados - ISO 17.025/17;	
4	Portaria MS 888/21	3 amostras: Dia 5 – água bruta Dias 5 e 15 – água tratada. Ensaios acreditados pela ISO 17.025/17.	SABESP

Legenda:

a. Dependendo dos resultados iniciais do teste, a periodicidade poderá ser revisada e alterada, em comum acordo por ambas as partes.

RESULTADOS OBTIDOS

Resultados operacionais

Foram identificadas algumas anomalias nos resultados químicos que indicaram a necessidade de melhorias no processo, mas que são de simples solução:

- Os laudos completos indicaram a presença de 1,2-Dicloroetano na água pós-tratada. Esse composto químico organoclorado intermediário na produção do monômero cloreto de vinila, precursor da produção do polímero PVC. Também pode ser usado como um intermediário para outros compostos químicos orgânicos e como um solvente. Por ser instável na presença de alumínio metálico, e neste teste foi utilizado um eletrodo a base de alumínio, considera-se que essa detecção se tratou de uma contaminação da matéria-prima, que pode ser sanada. Ou seja, é aceitável sua presença neste momento em que a tecnologia está em fase de testes;
- Os resultados divergentes entre os ensaios realizados em bancada e no laboratório da SABESP x Laboratório terceirizado devem-se a não completa sedimentação do lodo gerado no processo de remoção, e a redisponibilização do íon fluoreto para a massa d'água (complexo AlxFy). Entretanto, trata-se de uma condição simples de ser ajustada, com a instalação de um sistema de filtração após o tratamento, ou melhoria no processo de sedimentação.

Também se verificou uma falha no preparo de algumas amostras, que não passaram por filtração. Alguns flocos com o complexo instável AlxFy permaneceram e permitiram a liberação do íon fluoreto. Porém, ainda assim, verificou-se que ocorreu a remoção de grande parte do flúor presente nessas amostras – Figura 3.

Em relação aos resultados de remoção, verifica-se que o equipamento é bastante promissor e efetivo. A remoção média ficou em 84% (Tabela 2), ainda que considerando os resultados em que ocorreu falha na preservação pela não filtração prévia. A Figura 3 a seguir apresenta os resultados de forma gráfica.

Figura 3 – Remoção do íon fluoreto nos testes realizados

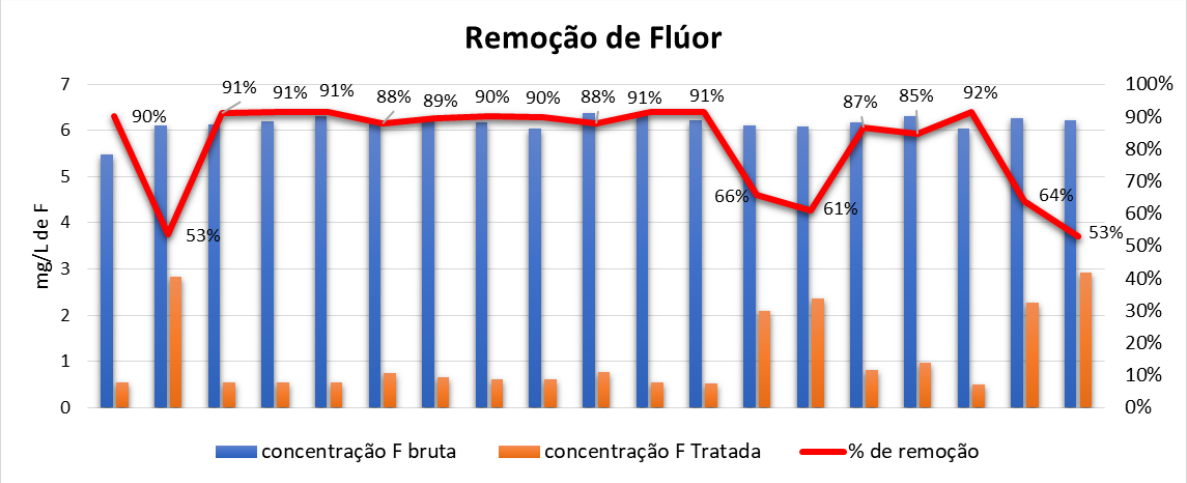


Tabela 2. Resultados obtidos para remoção do flúor por tecnologia de eletrólise

Data	mg/L F- água bruta	mg/L F- água tratada	% remoção
29/08/23	5,48	0,54	90%
29/08/23	6,1	2,841	53%
30/08/23	6,13	0,55	91%
30/08/23	6,2	0,54	91%
30/08/23	6,31	0,55	91%
31/08/23	6,15	0,74	88%
31/08/23	6,28	0,66	89%
31/08/23	6,17	0,61	90%
31/08/23	6,05	0,61	90%
01/09/23	6,38	0,78	88%
01/09/23	6,38	0,55	91%
01/09/23	6,22	0,53	91%
04/09/23	6,11	2,11	66%
05/09/23	6,09	2,37	59%
05/09/23	6,18	0,82	87%
06/09/23	6,31	0,96	85%
06/09/23	6,04	0,51	92%
06/09/23	6,27	2,271	64%
06/09/23	6,22	2,921	53%
Total de remoção			84%

Custos operacionais

Após o término dos testes, a G&F apresentou os custos estimados para a tecnologia. Para tanto, uma das etapas consiste na pesagem do eletrodo com balança de precisão, visando aferir a massa consumida durante o processo de tratamento e que está correlacionada com a qualidade da água, corrente elétrica aplicada e concentração "meta" para ser atingida.

A pesagem do eletrodo apresentou falha no procedimento de retirada e preservação do eletrodo. Este apresentou a formação de óxido de alumínio, o que gerou um incremento na massa incompatível com o consumo elétrico e resultados gerados. Diante disso a G&F realizou estimativa de cálculo a partir dos laudos de laboratório que indicaram a presença de alumínio no efluente tratado. Segue abaixo memória de cálculo da empresa:

1 – Utilizado o maior teor de alumínio total detectado no Laudo Analítico, igual a 85,48 mg/L;
2 - Utilizado esse valor para avaliar o teor de fluoreto no efluente final, ou seja, 2,37 mg/L e o resultado de fluoreto inicial, de 6,09 mg/L (resultado de 05/09/23);

Sendo assim, o cálculo da quantidade de alumínio utilizado no teste para remover cada 1 mg de Fluoreto foi de 22,86 mg de alumínio para cada 1 mg de fluoreto. Esse resultado demonstrou elevada quantidade de alumínio que atuou como coagulante, e não como desfluoretador. O custo para aplicar os 22,86 mg de alumínio por 1 ppm de Fluoreto ficou em torno de R$ 5,10 por m^3 tratado, valor pago em quantidade pequena no mercado – ou seja, custo não comercial.

O custo de tratamento, neste teste piloto, ficou em R$ 5,88 por m^3, considerando-se ainda o custo energético. Não foi considerado o valor estimado de custo de mão-de-obra para instalação e desinstalação, por não fazer parte do escopo desta etapa de testes.

Entretanto, a empresa considera que esse valor de cair em 50% após alguns ajustes técnicos e operacionais, tais como a instalação de equipamento para melhor ajuste de corrente aplicada, por exemplo.

DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

O objetivo deste teste era assegurar a remoção de flúor para atingimento de concentração igual ou menor a 0,8 mg/L. Ou seja, eficiência de remoção de 87%. A remoção média do flúor neste teste chegou a 84%. Entretanto, se desconsiderarmos os resultados em que ocorreu falha no preparo e preservação da amostra, essa remoção atingiria 91%, com o flúor médio da água tratada igual a 0,64 mg/L (para um flúor na água in natura igual a 6,16 mg/L, valores médios entre os dias 29/08/23 e 06/09/23).

Outra observação importante a ser considerada é que a tecnologia permite a reutilização completa dos resíduos gerados. Por se tratar de um lodo rico em Al^{+3} pode ser reutilizado diretamente no tratamento de água, a ser aplicado como auxiliar de coagulação. Deverá apenas ser tomado o cuidado de que a aplicação ocorra em sistemas com baixa concentração de flúor. Dessa forma, também poderá agregar esse íon, gerando economia em sistemas onde há necessidade de adição de fluorsilicato de sódio. Considera-se, dessa forma, a geração de rejeito igual a "zero".

Segundo a literatura técnica, os fatores que afetam diretamente a eficiência deste processo, são parâmetros relacionados com as condições de operação, tais como, densidade da corrente aplicada e tempo de reação, e com as características da água, como por exemplo, pH, alcalinidade e condutividade. Em adição, as características do reator também interferem, particularmente, a geometria do reator, a superfície e o espaçamento dos eletrodos (HAKIZIMANA et al, 2017).

Levando em consideração esses fatores, e também a partir das observações obtidas no teste realizado, indicamos a necessidade de implementação de algumas melhorias para novos testes em escala piloto ou real. Melhorias estas que demandarão soluções simples e de relativo baixo custo:

- Condutividade da água: Foi verificado que para melhor ajuste da dose de corrente elétrica seria necessário o acompanhamento para melhor aferição da condutividade da água bruta. A G&F não trouxe essa informação inicialmente, e como esse projeto estava em discussão desde 2020, a empresa possuía informações de condutividade dessa época, que não condiziam com as das águas de 2023 testadas. Nos foi dado a entender que a equipe da G&F considerou que a condutividade permaneceria estável. Como a condutividade interfere diretamente neste processo, houve uma sobrecarga inicial que levou a um maior consumo do eletrodo de alumínio.

- Decantador: Outra ocorrência importante se deu com relação ao container receptor do efluente tratado, cujas dimensões precisarão ser melhor aferidas para que sejam otimizadas. Seus custos também precisarão ser agregados para avaliação do custo desta tecnologia, que não se refere apenas ao custo do eletrodo e equipamentos associados.

- Filtro: a mesma situação descrita no item anterior se dará em relação a necessidade de instalação de um sistema de filtração. Esta etapa pode não ser necessária se a sedimentação for eficiente.

- Alterações no sistema de aplicação de corrente – foi verificado durante o teste que será necessário um ajuste no sistema de aplicação da corrente visando controlar a corrente aplicada e não a tensão, para obtenção de melhores resultados.

- Método de avaliação do consumo do eletrodo durante o processo de tratamento – a forma de avaliar o custo e eficiência do equipamento é determinar o consumo de alumínio x a concentração de flúor removida. Para tanto, a proposta da empresa foi de pesar o eletrodo antes e depois de encerrados os trabalhos. Porém, essa pesagem apresentou falhas pois foi observada a formação de óxido de alumínio no eletrodo por conta da forma que este foi acondicionado após a conclusão dos testes, gerando um resultado não confiável.

CONCLUSÕES

A eletrólise apresenta significativas vantagens, como sistemática simples, possibilidade de automação, fácil operação, manutenção, instalação compacta e alta eficiência. Além disso o lodo gerado é formado por íons Al^{+3} e F^{-1}, que pode ser diretamente reutilizado em outros sistemas de tratamento de água. Dada a forma do alumínio, este resíduo pode ser reutilizado como auxiliar de coagulação – só que um coagulante rico em flúor. Esse flúor removido complementaria a dose necessária em sistemas que não tenham flúor natural. Além disso, estima-se que a produção de lodo seja baixa. Seu uso seria direto, sem necessidade de desidratação, aplicável diretamente no processo de tratamento de água de uma ETA, junto a outros coagulantes.
Neste teste foram verificadas necessidades de melhorias, com implantação de alguns processos unitários para assegurar os resultados a serem obtidos. Entretanto, apesar desse investimento necessário, e dos custos obtidos ao final deste teste em escala piloto, consideramos a tecnologia altamente promissora, tanto do ponto de vista econômico-financeiro, como do ponto de vista ambiental. Sobressai-se principalmente pelos benefícios ambientais e a simplicidade em soluções de engenharia requeridas em relação ao manuseio dos resíduos gerados.

Uma das grandes desvantagens das tecnologias que são utilizadas para remoção de substâncias indesejáveis é o resíduo gerado, seja no formato de água de rejeito – o que envolve grandes volumes; seja na forma de lodo em grandes quantidades, para ser posteriormente encaminhado para aterros sanitários. Em ambos os casos, as desvantagens inviabilizam a maioria dos projetos, pois em geral estamos tratando de sistemas com problemas instalados em grandes centros urbanos. Qualquer necessidade de encaminhamento de volumes significativos de resíduos ou de rejeitos irá requerer soluções de engenharia custosas, complexas, com logísticas complicadas. Tecnologias como osmose reversa implicam no descarte de entre 20 e 30% da água total captada para tratamento. Outras, como as resinas de troca iônica, em torno de 5%.

Recomendam-se novos testes, em maior escala, com as melhorias implantadas e também para diferentes tipos de recurso hídricos, pois a qualidade da água é de grande importância na variação da eficiência dessa tecnologia. Testes com água de poço tendem a ter maior eficiência devido a não presença de íons em grande quantidade, o que gera maior consumo do eletrodo de alumínio.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRASIL. Lei nº. 6.050, de 24 de maio de 1974. Dispõe sobre a fluoretação da água em sistemas de abastecimento quando existir estação de tratamento. Lex: Coletânea de legislação e jurisprudência, São Paulo. Legislação Federal e Marginalia. 1974; 38:760.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº 635, de 26 de dezembro de 1975. Aprova normas e padrões sobre a fluoretação da água de sistemas públicos de abastecimento. Diário Oficial da União, Brasília, 30 de janeiro de 1976; Seção 1.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria, GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021. Altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS nº 5, 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. Disponível em: < https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-gm/ms-n-888-de-4-de-maio-de-2021-318461562>. Acesso em: 09 de jul. 2021.

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental – Relatório de qualidade das águas subterrâneas no Estado de São Paulo 2001 – 2003 – São Paulo: CETESB, 2004.

HAKIZIMANA, J.N., et al. *Electrocoagulation process in water treatment: A review of electrocoagulation modeling approaches. Desalination*. 404 (2017), p. 1-21

MAGALHÃES, H I C. *Efeitos do Flúor na Saúde Humana*. Universidade Fernando Pessoa Faculdade de Ciências da Saúde Porto, 2018. Dissertação de Mestrado.

NETTO, J P G M; BIANCHI NETO, C; FRANCO FILHO, F W B; RAMOS, C S B; Lima, N P ; BRUNELLI, B F. *Gênese, ocorrência e tecnologias de tratamento para o excesso de flúor na água subterrânea, com ênfase a região metropolitana de São Paulo*. Anais do XIX Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 2016.

SÃO PAULO. Secretária da Saúde do estado de São Paulo. Resolução SS-250, de 15/08/1995 Diário Oficial do Estado de São Paulo 1995; 16 ago.