

METODOLOGIAS QUE UTILIZAM AGENTES COMPLEXANTES PARA A REMOÇÃO DE ÍONS FERRO EM MATRIZ AQUOSA: UMA REVISÃO

Sucris Beatriz Richeski¹

Sandra Regina de Moraes²

Resumo: Este estudo analisa as metodologias que utilizam agentes complexantes para a remoção de ferro (Fe) em água. Para tal, uma revisão sistemática foi realizada a partir da busca e seleção de artigos em bases de dados entre 2016 a 2021. Adotados critérios ao método, foram encontrados três trabalhos que apontam o método de precipitação química como o mais usual na remoção de Fe em água. Uma variabilidade nas condições operacionais é aplicada em NH_4OH , Orto-Poli-P e complexantes comerciais como sendo os agentes complexantes de maior potencialidade na remoção de Fe em estação de tratamento de água (ETA), com elevada eficiência. Conclui-se que as limitações observadas nas metodologias podem comprometer a eficiência do processo e, que há a necessidade de se ampliar as pesquisas experimental e documental nos campos da aplicação de agentes complexantes para a remoção de Fe em água.

Palavras-chaves: Agente complexante; Ferro; Precipitação química; Remoção.

METHODOLOGIES USING COMPLEXING AGENTS FOR THE REMOVAL OF IRON IONS IN AQUEOUS MATRIX: A REVIEW

Abstract: This study analyzes methodologies that use complexing agents to remove iron (Fe) from water. To this end, a systematic review was carried out based on the search and selection of articles in databases between 2016 and 2021. Adopting criteria for the method, three studies were found that indicate the chemical precipitation method as the most common method for removing Fe in Water. Variability in operating conditions is applied and NH_4OH , Ortho-Poli-P and commercial complexing agents are the complexing agents with the greatest potential for removing Fe in a water treatment plant (WTP), with high efficiency. The limitations observed in the methodologies can compromise the efficiency of the removal process, and that there is a need to expand experimental and documentary research in the fields of application of complexing agents for removal of Fe in water.

Keywords: Complexing agents; Iron; Chemical precipitation; Removal.

INTRODUÇÃO

Dentre as grandes preocupações mundiais, uma perpassa pela escassez de recursos hídricos

1 Universidade Estadual do Paraná - UNESPAR Campus União da Vitória. E-mail: <suh.richeski96@gmail.com>

2 Profa. Dra. da Universidade Estadual do Paraná - UNESPAR Campus União da Vitória. E-mail: <sandraremo@yahoo.com.br>

e, com isso, a água para o consumo humano necessita ser de boa qualidade. Alguns metais potencialmente tóxicos como o ferro (Fe), quando presente em excesso na água tende a acarretar odor, cor e diversos problemas de saúde e ao meio ambiente. A ingestão de altos níveis de Fe pode causar graves efeitos toxicológicos e prejuízos à saúde humana e animal além do meio ambiente.

A Organização Mundial da Saúde (WHO, 2008) recomenda que o teor para a concentração de Fe em água potável seja inferior a 300 mg L⁻¹. Em concordância, no Brasil, como padrão para a potabilidade da água para o abastecimento doméstico e consumo humano, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) e o Ministério da Saúde (Portaria 2.914/2011) estabelecem um teor máximo de 0,3 mg L⁻¹ de Fe.

Frente aos diversos problemas, estratégias corretivas e preventivas são aplicadas quando há excesso de Fe na água e, segundo Von Sperling (1996), os métodos preventivos usualmente mais baratos e eficazes tornam-se a melhor opção. Ademais, a aplicação de agente complexante para a remoção de Fe presente na água pode ser uma alternativa para a aplicação em sistemas de tratamentos.

Agentes complexantes são amplamente aplicados em muitos campos da indústria, em sistemas de tratamentos de água, e são usados para promover um eficiente controle da presença e de traços de íons metálicos em sistemas aquosos. Dada sua natureza química e por não serem facilmente biodegradáveis, alguns agentes complexantes estão sendo substituídos por substâncias mais ambientalmente amigáveis, tais como os: complexantes do grupo aminopolicarboxílico e orto-poli-fosfatos (KOŁODYŃSKA, 2013, RAMOS, et al., 2020).

A remoção de Fe da água por precipitação química que compreende processos de coagulação, floculação, decantação, incluindo a complexação, envolve a adição de diversos compostos químicos na água a ser tratada para formar precipitados insolúveis que depois podem ser, ou não, removidos por um processo de decantação (KOŁODYŃSKA, 2013). A aplicação da precipitação química na remediação de problemas tem impactos significativos se utilizadas adequadas quantidades de compostos químicos – agentes complexantes e se bem estabelecido o planejamento experimental.

Inúmeras metodologias são dispostas na literatura para a remoção de Fe presente em diferentes matrizes, contudo, neste estudo, o foco se concentra nas metodologias que contemplam a remoção de Fe mediada pelo uso de agentes complexantes. Desse modo, diante do contexto, este trabalho tem como objetivo realizar um levantamento das metodologias que utilizam agente complexante para a remoção de ferro presente em meio aquoso. Além disso, é fundamental identificar as condições experimentais aplicadas no processo de remoção de Fe em águas com base na eficiência de remoção e agente complexante adicionado, concentração inicial, valor de pH e outras condições operacionais existentes. Sob uma abordagem qualitativa descritiva, vários artigos foram selecionados, no período de 2016 a 2021 em bibliotecas virtuais, a fim de resultar um aporte teórico que se apresenta com abordagens reflexivas.

Na busca dos objetivos, algumas questões foram norteadoras e a composição dos objetivos e resultados configura em elucidar: Qual é o método usado para a remoção de Fe em águas? Quais agentes complexantes, ou compostos químicos são utilizados para a remoção de Fe em matriz aquosa? Quais as condições experimentais são aplicadas para uso dos agentes complexantes empregados?

Associadas às respostas dessas inquietações, são trazidas algumas reflexões acerca da variabilidade amostral, das diferentes condições experimentais empregadas, além dos variados compostos complexantes empregados e a respectiva eficiência do processo de remoção de Fe, a luz dos artigos indexados no período de 2016 a 2021 e que se inseriram nesse cenário.

REFERENCIAL TEÓRICO

Água e suas características

A agenda 2030 da Organização das Nações Unidas (ONU), no capítulo 6, defende que “[...] a água é fundamental para o desenvolvimento socioeconômico, para a produção de energia e alimentos, para a construção de ecossistemas saudáveis e para a sobrevivência da espécie humana [...]” e, sob esta ótica, entende-se que a água é uma das substâncias mais preciosas para a humanidade (UNRIC, 2021).

No entanto, algumas espécies químicas, quando presentes na água, podem exceder o valor máximo permitido (VMP) pela legislação e acabam provocando alterações nas propriedades química, física e biológicas da água, além de possibilitarem o surgimento de doenças (ALMEIDA et al., 2019). Para se evitar isso, a água para consumo deve seguir padrões de potabilidade, a fim de assegurar a saúde humana.

De acordo com o Ministério da Saúde, Portaria nº 2.914 de 12 de dezembro de 2011, para que a água seja considerada potável ela deve atender a importantes requisitos após seu tratamento: a concentração de íons ferro deve ser menor que $0,3 \text{ mg L}^{-1}$, a turbidez menor que $0,5 \text{ uT}$, cor de até 15 uH e concentração de cloro residual de até 2 mg L^{-1} (BRASIL, 2011).

No entanto, muitos são os fatores que interferem na qualidade da água e, segundo Apolinário, et al. (2012),

“[...] a presença de dejetos industriais e esgoto e o baixo índice pluviométrico das chuvas pode elevar a concentração de compostos tóxicos e de matéria orgânica dissolvida exigindo esforços cada vez maiores para atingir o padrão de potabilidade da água [...]” (APOLINÁRIO, et al., 2012, p. 2).

A água subterrânea representa, aproximadamente, 95% das reservas de água doce de todo o planeta, porém esta pode conter quantidades elevadas de Fe, que passe a ser considerado poluente quando seu teor exceder os limites das regulações (SOUSA, 2018). Almeida, et al. (2019), relata que o Fe, quando encontrado em excesso na água, tende a reduzir a capacidade de aceitação da água pela população. Essa população ao observar cor, detectar sabor e, algumas vezes, odor, considerará a água imprópria para o consumo e para o seu potencial uso doméstico.

Ferro como poluente

O ferro (Fe) está presente na crosta terrestre sendo o quarto elemento mais abundante, com cerca de 5% em massa. O Fe apresenta propriedades químicas e físicas de grande importância para os processos físicos e químicos nos sistemas biológicos e no ambiente mineral, sendo possível encontrá-lo em grandes jazidas na forma de minerais (DUARTE, 2019).

Dos poluentes metálicos, o Fe tende a ser considerado o menos tóxico entre os metais, pois é um constituinte comum das águas subterrâneas, mas pode induzir problemas e incômodos, como descoloração, manchas, deposição em sistemas de distribuição (SHARMA et al., 2005). Outro grande problema com o ferro é a sobrecarga no corpo que induz graves danos à saúde. Organismos vivos se alimentam de Fe que é um essencial micronutriente para o transporte de oxigênio sob a forma de hemoglobina e, além disso, o Fe participa de vários processos metabólicos, como na reparação do DNA (PUIG, et al., 2017).

O Fe possui grande importância e uma capacidade modular em processos químicos, geológicos e

biológicos quando analisado sua atividade no meio aquoso. O Fe^{3+} é considerado um ácido forte com K_{ps} que variam entre 2,2; 3,5; 6,3 e 9,6 sendo em meio aquoso e com pH abaixo de 2,2. Quando se tem o aumento do pH, o Fe^{3+} sofre hidrólise formando espécies como $\text{Fe}(\text{OH})_{2(\text{aq})}^{2+}$, $\text{Fe}(\text{OH})_{2(\text{aq})}^{+}$, $\text{Fe}(\text{OH})_{3(\text{aq})}$ e $\text{Fe}(\text{OH})_{4(\text{aq})}^{-}$ (DUARTE, 2019).

O elemento apresenta-se, também, com propriedades eletroquímicas, sendo seu potencial eletroquímico padrão de redução 0,77 V, isso significa que, nas condições padrões, o $\text{Fe}^{3+}(\text{aq})$ tende a ser reduzido a $\text{Fe}^{2+}(\text{aq})$ (SKOOG, 2006).

Em ambiente aquoso o Fe apresenta uma química notável, “[...] em que intrincados processos podem ocorrer e deslocar o equilíbrio químico, de forma a solubilizar e ressolubilizar os compostos, além de promover reações e transportar elétrons por meio de reações de oxirredução” Duarte (2019, p. 1). O comportamento químico do Fe na natureza pode promover variações nas suas espécies químicas quando em contato com a água ou na presença de oxigênio.

Frente a isso, tem-se como padrão para a potabilidade da água utilizada para o abastecimento público, um teor máximo de $0,3 \text{ mg L}^{-1}$ de Fe estabelecido pelo Ministério da Saúde - Portaria 2.914/2011 (BRASIL, 2011). Ciente desse limite redobra-se a atenção ao excesso de Fe encontrado na água que pode acarretar diversos danos, influenciar o sabor e a qualidade final da água, causar manchas em roupas e porcelanas, bem como alterações na preparação dos alimentos, entre outros (ALMEIDA, et al., 2019).

Remoção de ferro na água

A utilização de tecnologia sofisticada para a remoção de Fe e traços em águas de abastecimento é incomum, pois o uso no processo eleva substancialmente os custos de tratamento da água. Di Bernardo et al. (2017) infere as principais tecnologias empregadas como sendo: formação de precipitado e filtração, troca iônica, estabilização com polifosfatos, aeração-filtração, cloração-filtração e oxidação com permanganato de potássio seguida de filtração em rocha calcária.

A remoção de metais como Fe de soluções aquosas tem sido tradicionalmente realizada por precipitação química pela simplicidade do processo e seus custos relativos. No entanto, a precipitação química geralmente é adaptada para tratar águas residuais, em virtude da variação na concentração de Fe na água e muitas vezes pode produzir grande quantidade de lodo a ser tratado, posteriormente.

O tratamento de água mais utilizado ainda é o simplificado, no qual somente é realizada a etapa da desinfecção; já o tratamento convencional, é aquele em que são realizadas as etapas de mistura rápida, coagulação/floculação, decantação, filtração e desinfecção. Diante disso, inúmeras são as possibilidades para se ampliar o desenvolvimento de novas tecnologias e substâncias a serem aplicadas para a remoção do Fe presente na água.

Alguns métodos estabelecidos propiciam o controle operacional e a remoção de Fe da água e em outros sistemas. Ramos et al. (2020), Silva et al. (2019) e Valones et al. (2018) apontam o método de precipitação química como alternativa e, quando mediado com agentes complexantes, grande potencial para a remoção de Fe são alcançados. Além disso, elevada eficiência de remoção de Fe são obtidas aplicando a precipitação química e utilizando O Orto-polifosfato (O-poli-P), hidróxido de amônio (NH_4OH) e complexantes comerciais na remoção de Fe em sistemas aquosos (RAMOS, et al., 2020; SILVA, et al., 2019; VALONES, et al., 2018).

A aplicação de quelantes no estado líquido pode ser uma alternativa para a remoção do Fe em água. Ramos et al. (2020), explica que o:

Orto-polifosfato (O-poli-P) é um dos complexantes de metais de transição com potencial para ser aplicado em ETAs e vem sendo utilizado não só em sistemas de tratamento, mas também em redes de distribuição de água, pois promove inibição da corrosão, limpeza e blindagem de tubulações. (RAMOS et al., 2020 p. 4).

A quelação ocorre quando os complexos formados entre o metal e a molécula do quelante estão unidos por, pelo menos, dois sítios (BARROS et al., 2017). Nessa perspectiva, dadas as interações entre os íons Fe e o quelante, são formados precipitados insolúveis que tendem a ser removidos mais eficientemente.

A seção seguinte traz os aspectos metodológicos que delinearão a pesquisa, seguida da seção dos resultados que compreendem a revisão dos artigos que apontam os agentes complexantes, as condições experimentais e a eficiência dos processos para a remoção de Fe de forma crítica e discutida. Por fim, a seção considerações finais que aponta algumas perspectivas para o debate acerca das metodologias que fazem uso dos agentes complexantes utilizados para remoção de Fe em água.

METODOLOGIA

A pesquisa trata de uma revisão sistemática de artigos científicos que analisaram as metodologias que utilizam agentes complexantes na remoção de ferro em meio aquoso, publicados entre 2016 a 2021, com busca e seleção em bibliotecas virtuais que reúnem as bases de dados: Google Acadêmico, Scielo, Science Direct e Web of Science.

A revisão bibliográfica sistemática, segundo o autor Fernández-Ríos & Buela-Casal (2009), trata-se de uma metodologia que permite maximizar o potencial de busca, com o intuito de encontrar o maior número possível de resultados de forma organizada.

Com isso, algumas questões nortearão esta revisão: Qual é o método usado para a remoção de ferro em águas? Quais agentes complexantes, ou compostos químicos são utilizados para a remoção de ferro em matriz aquosa? Quais as condições experimentais são aplicadas para uso dos agentes complexantes empregados?

A fim de delimitar o objeto de estudo, os artigos que foram selecionados seguiram os seguintes critérios de inclusão: pesquisas que apontam a remoção de íons ferro em matriz aquosa por meio de agentes complexantes; pesquisas que envolvam o tratamento para a remoção de íons ferro em matriz aquosa.

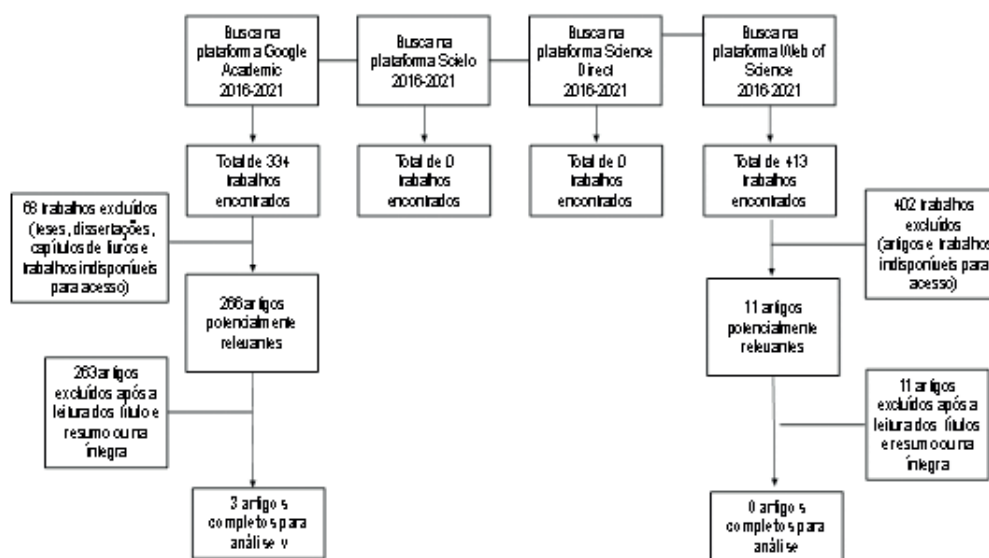
Os critérios de exclusão consideraram o emprego do agente complexante, a abordagem metodológica utilizada na remoção, bem como se o tratamento é aplicado para a remoção do ferro em matriz aquosa e foram excluídos trabalhos de revisões da literatura, dissertações, teses e *trabalhos indisponíveis para o acesso*.

Os descritores de assuntos utilizados para as buscas dos artigos nas plataformas incluíram: “remoção de ferro”, “remoção de íons ferro”, “agente complexante”, “complexação”, cruzados entre os operadores booleanos “AND” e “OR”, filtrando os artigos publicados entre 2016 a 2021. Os mesmos descritores, em inglês, também foram utilizados para a pesquisa. Assim, foram recuperados 334 artigos indexados na base Google Acadêmico, nas demais bases: Scielo e Science Direct zero e na Web of Science 413 potenciais artigos.

A partir dos critérios preestabelecidos aplicados para a base Google Acadêmico 68 trabalhos como teses, dissertações, capítulos de livro e trabalhos indisponíveis para o acesso foram excluídos e o processo para a seleção dos artigos ocorreu em duas fases. Na primeira, com uma triagem inicial, a partir da leitura do título e do resumo foram excluídos 263 e, na segunda fase, 3 artigos selecionados foram lidos na íntegra e tiveram uma minuciosa análise da metodologia com extração das condições experimentais e eficiência do processo de remoção. Para a base *Web of Science*, partindo dos 413 artigos indexados, inicialmente 402 foram excluídos e posteriormente 11, considerando as leituras do título, do resumo e alguns na íntegra como referido nas duas fases do processo de seleção.

A Figura demonstra o fluxo de seleção de artigos, cujo resultado se constituiu no *corpus* desta revisão.

Figura 1. Desenvolvimento do processo de seleção dos artigos nas diferentes plataformas



Fonte: Autoras (2021).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Apesar dos problemas gerados na qualidade da água devido à presença de íons ferro, o levantamento bibliográfico, no período de 2016 a 2021, revela a incipiente quantidade de pesquisas publicadas e acessíveis sobre a temática nas bibliotecas virtuais. Considerando os critérios metodológicos adotados, três artigos versam sobre metodologias que utilizam agentes complexantes para a remoção de ferro de sistemas aquosos. Os títulos e métodos, bem como as referências dos diferentes estudos são apresentados no Quadro 1.

Título	Método	Referência
Remoção de ferro em sistemas e subsistemas de distribuição de água potável em um estado do Nordeste, Brasil	Precipitação: decantação e floculação	VALONES et al., 2018
Remoção preferencial de ferro de licores de lixiviação de minério laterítico de níquel por precipitação química com NH_4OH	Precipitação química	SILVA et al., 2019
Complexação de ferro e manganês em presença de orto – polifosfato para otimização de tratamento de água de abastecimento: Estudo de caso	Precipitação: coagulação, floculação e decantação	RAMOS et al., 2020

Fonte: Autoras (2021).

As motivações, dificuldades e potenciais aplicações da precipitação química mediada por agentes complexantes para a remoção de ferro de água de abastecimento são focados nos artigos dispostos no Quadro 1.

Três pontos de convergências são suscitados entre os artigos: o método usado destacando a precipitação química; o propósito do estudo cuja finalidade é centrada na remoção de ferro de águas de abastecimento, e o local de ocorrência de aplicação que trata-se de uma estação de tratamento de água ou dados oriundos de ETAs. Na Tabela 1 constam as informações sobre os métodos de remoção de ferro e os respectivos resultados dos estudos.

Dentre as divergências nos artigos, segundo a Tabela 1, destacam-se as amostras, os teores iniciais de ferro, o agente complexante utilizado e as condições experimentais empregadas, que inviabilizaram qualquer análise discursiva comparativa. Contudo, dentre as contribuições, os artigos permitiram desvelar os agentes complexantes ou compostos químicos possíveis de serem utilizados na remoção de ferro, a fim de se planejar estudos em escala laboratorial para a remoção de ferro de sistema aquoso.

A contaminação da água pelo Fe é um problema de grande preocupação para a saúde pública de qualquer sociedade e, por isso, maior atenção deveria ser dada ao monitoramento do teor de Fe em águas de abastecimento público dos estados brasileiros. Valones et al. (2018) corrobora com a importância de se monitorar a presença e o teor de ferro em águas de abastecimento. Mesmo tratando de dados coletados das análises dos teores de ferro em água de uma ETA, retratam que a metodologia utilizada foi a precipitação química com o uso de agentes complexantes que não foram especificados, mas que se empregam nas etapas de decantação e coagulação, considerando os processos de remoção de ferro da água de abastecimento.

A aplicação de quelantes em estado líquido, de acordo com Ramos et al. (2020), apresenta-se como alternativa viável aos problemas causados pelo excesso de Fe em águas de abastecimento e diferentes modos de aplicação são recomendados. O uso de O-Poli-P é evidenciado, frente aos outros compostos, como sendo o mais viável, pois a remoção de Fe da água de abastecimento apresenta-se com elevada eficiência e os limites dos teores de Fe são seguros, dentro da legislação.

Com potencialidade de aplicação para a remoção de ferro, o NH_4OH , é o agente complexante destacado por Silva et al. (2019) que versam que o método Jarosita é um dos mais eficientes para a precipitação de íons Fe^{+3} em pH inferior a 2. Ressalta-se que os estudos foram realizados em um meio específico (licoeres de lixiviação de minério laterítico de níquel) e, neste caso, estudos sistemáticos da influência do pH são necessários para se aplicar o processo.

Tabela 1. Método, agente complexante, concentração inicial de ferro total e eficiência de remoção de Fe extraídos dos artigos.

N.I.: Não informado

Método	Meio	Agente precipitante	Volume total / mL	Concentração inicial Ferro total	Tempo adição	Temperatura	pH	Tempo contato	Referência
Precipitação: decantação e floculação	Sistemas e subsistemas distribuição de água potável em Pernambuco	Produtos químicos coagulantes - não especificados	N.I.	0,140 - 1,990 mg L ⁻¹ (Água Bruta) 0,050 - 1,020 mg L ⁻¹ (Água Tratada)	N.I.	N.I.	N.I.	N.I.	VALONES et al., 2018
Precipitação química	Licores de lixiviação de minério laterítico de níquel	NH ₄ OH	500	1,9 - 8,7 g L ⁻¹	20 min	90 e 95 °C	2 - 3,3	N.I.	SILVA et al., 2019
Precipitação: coagulação, floculação e decantação	Água coletada do reservatório Guarina na cidade Areia-Pa-raíba	250 µg L ⁻¹ O-poli-P comercial e 80 mg L ⁻¹ Al ₂ SO ₄	300 mL água decantada	10 mg mL ⁻¹ sulfato de alumínio ferroso (Fe Total N.I.)	N.I.	26°C	Alcalinidade Total 30 mg L ⁻¹ (CaCO ₃)	60 s	RAMOS et al., 2020

Fonte: Autoras (2021).

A Tabela 1 traz uma variabilidade amostral observada nos estudos que variam desde água bruta coletada em pontos de captação, licores de lixiviação de minério laterítico de níquel até água captada em estações de tratamento de água (ETA). Constatam-se, também, diferentes condições experimentais otimizadas, como pH, temperatura, concentração inicial de ferro total, tempo de contato do agente complexante ou tempo de reação que são dependentes da amostra utilizada e do agente complexante aplicado para a remoção de ferro. Além disso, as concentrações iniciais de ferro significativamente variam entre os diferentes estudos. Desse modo, nesse cenário, que é de grande complexidade, não é possível estabelecer qualquer forma de comparação entre os processos para a remoção de ferro e as condições experimentais aplicadas nos estudos.

A despeito da eficiência nos processos para a remoção de Fe, dependendo do agente complexante aplicado, é considerada elevada, de acordo com a Tabela 2, e os níveis de remoção de Fe da água são reduzidos, conduzindo os teores de Fe aos exigidos pela legislação, com produção de água de qualidade para o consumo humano e de acordo com as exigências da Portaria do Ministério de Saúde nº2914/2011 (BRASIL 2011).

Tabela 2. Agentes complexantes aplicados no processo de precipitação química e respectiva eficiência de remoção de íons Fe, em determinado pH nos diferentes artigos.

Agentes Complexantes	Eficiência Remoção Fe		Referência
	(%)	pH	
NH ₄ OH	> 98	> 2,7	SILVA et al., 2019
O-Poli P comercial	98	N.I.	RAMOS et al., 2020
Produtos químicos coagulantes comerciais	< 50	N.I.	VALONES et al., 2018

N.I.: Não informado.

Fonte: Autoras (2021).

Em contrapartida, os produtos químicos coagulantes comerciais conduzem a menor eficiência no processo (Tabela 2) e elevada concentração de Fe na água bruta tratada usada para o abastecimento humano, chegando a exceder o VMP previsto pela legislação brasileira vigente para os limites de água seguros. Neste caso, avaliar o intervalo entre a captação de amostras para o monitoramento hídrico é a recomendação, compreendendo que um rigor no cumprimento dos intervalos de análises deve ser seguido para se obedecer ao estabelecido pela legislação (VALONES et al., 2018).

As evidências teóricas conduzem ao entendimento que, se houver problemas na água relacionados à presença de excesso de Fe, o uso do método precipitação química aplicando agentes complexantes é viável para remediar ou mitigar os problemas. Ademais, com a adoção desse tratamento, possíveis benefícios são estimados quanto à redução de tempo e custo das análises (ALMEIDA et al., 2019). Embora haja a necessidade de que as condições experimentais a serem adotadas sejam muito bem estabelecidas para que os teores de Fe na água tratada possam atender a legislação brasileira vigente e os limites de água seguros.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os dados levantados por meio desta revisão sobre as metodologias que utilizam agentes complexantes para a remoção de ferro em água indicaram uma grande variabilidade amostral e nos teores iniciais de ferro, além de diferentes agentes complexantes e condições experimentais aplicadas. Além disso, caracterizaram hidróxido de amônio (NH₄OH), O-Poli-P e agentes complexantes comerciais como usuais na remoção de Fe em água utilizando o método de precipitação química. No entanto, a reprodução da metodologia em escala laboratorial, a partir desses insumos, carece de aperfeiçoamento no planejamento e execução laboratorial, no que se referem às condições operacionais aplicadas, considerando ainda, a eficiência a ser obtida no processo de remoção do Fe.

A análise dos artigos encontrados sobre a temática evidenciaram limitações nas metodologias que podem comprometer seus resultados. Com isso, ressalta-se a necessidade de se ampliar a pesquisa aplicada que busque utilizar agentes complexantes para a remoção de Fe em água. Para que se promova, também, a pesquisa documental, uma vez que existem lacunas na divulgação científica nesses campos de investigação devido a ausência da pesquisa experimental.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, A. B. B.; SILVA, P. B. A.; LIMA, M. R. P.; SANTOS, Y. T. C.; MOREIRA, Y. W. N. Concentração de Ferro e Manganês em águas de abastecimento no município de Crato, Ceará: caracterização e proposta de tratamento. **Estudos de caso e notas técnicas**, Ceará, 2019.

ANVISA – AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. Medicamentos. Descarte de Medicamentos: Responsabilidade Compartilhada. Disponível em: <<http://pisast.saude.gov.br:8080/descartemedicamentos/apresentacao-1>>. Acesso em: 07 set. 2021.

APOLINÁRIO, M. F.; MEIRELES, L. M.; SILVA, D. J.; SANTANA, H. F. Estudo da remoção de íons ferro e manganês da água utilizando peróxido de hidrogênio como agente oxidante. **Revista JCEC**, Minas Gerais, v. 4, n.4, p. 0412-0419, 2018.

BARROS, D. C.; CARVALHO, G.; RIBEIRO, M. A. Processo de biossorção para remoção de metais pesados por meio de resíduos agroindustriais: uma revisão. **Revista Biotecnologia & Ciência** v. 6, n. 1, p. 01-15, 2017.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria N° 2914/2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Diário oficial da União, 12 dez. 2011. Disponível em: <https://bvsmms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914_12_12_2011.html>. Acesso em: 09 out. 2021.

CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente. RESOLUÇÃO CONAMA n° 396, de 3 de abril de 2008. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=562>>. Acesso em: 25 abril 2021.

DUARTE, H. A. Ferro – Um elemento químico estratégico que permeia história, economia e sociedade. **Revista Química Nova**, Belo Horizonte, v. 42, n. 10, p. 1146-1153, 2019.

UNRIC. Disponível em: <<https://unric.org/pt/agua/>>. Acesso em: 31 out. 2021.

KOŁODYŃSKA D., Application of a new generation of complexing agents in removal of heavy metal ions from different wastes. **Environ Sci Pollut Res.**, v. 20, 5939–5949. 2013.

PUIG, S., RAMOS-ALONSO, L., ROMERO A. M., MARTÍNEZ-PASTOR M. T., The Elemental Role of Iron in DNA Synthesis and Repair. **Met. Integr. Biometal Sci.** v. 9, n. 11, p. 1483–1500, 2017.

RAMOS, R. O.; ALBUQUERQUE, M. V. C.; SÁTIRO, R. J.; LEITE, V. D.; LOPES, W. S. Complexação de ferro e manganês em presença de orto-polifosfato para a otimização de tratamento de água de abastecimento: estudo de caso. **Revista AIDIS**, Paraíba, v. 13, n. 3, p. 1085-1097, Dez. 2020.

SILVA, M. F.; MANSUR, M. B.; GOMES, R. C. T.; SANTOS, I. D.; RADINO-ROUSE, P. Remoção preferencial de ferro de licores de lixiviação de minério laterítico de níquel por precipitação química com NH₄OH. *In*: XXVIII ENCONTRO NACIONAL DE TRATAMENTO DE MINÉRIOS E METALÚRGICA EXTRATIVA BELO HORIZONTE – MG, Nov. 2019.

SHARMA, S. K. PETRUSEVSKI, B., SCHIPPERS, J. C., Biological Iron Removal from Groundwater: A Review, **J. Water Supply Res. Technol.- Aqua.** v. 54, n. 4, p. 239–247, 2005.

SKOOG, W.; HOLLER, C. **Fundamentos de Química Analítica**, Tradução da 8ª Edição norte-americana, Editora Thomson, São Paulo-SP, 2006.

SOUSA, D. F. L.; JUNIOR, J. C. F. R.; RODRIGUES, C. A. N. Tratamento de águas para consumo humano, utilizando filtro composto de carvão ativado produzido a partir de endocarpo de coco, borracha de pneu e caroços de açaí. *In*: IX CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL SÃO BERNARDO DO CAMPO/SP, Nov 2018.

VALONES, G.; BARBOSA, I. M. B. R.; VALONES, A.; TAVARES, R. G.; ARRUDA, V. C. M. Remoção de ferro em sistemas e subsistemas de distribuição de água potável em um estado do Nordeste, Brasil. **Revista Geama**, Pernambuco, v. 4, n. 4, p. 014-019, Dez 2018.

VON SPERLING, M. (1996); Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos; DESA – UFMG.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO) [Internet]. Guidelines for drinking-water quality. Genebra, 2008.