

PROPOSTA DE CUSTOMIZAÇÃO E AUTOMATIZAÇÃO DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA PARA AUMENTAR A CAPACIDADE DE ÁGUA POTÁVEL NA CIDADE DE PATROCÍNIO/MG

Data de aceite: 26/01/2024

Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua

Discente do curso de bacharelado em Engenharia Química da Universidade Santo Amaro (UNISA)

Pós-doutor em Química pela Universidade Federal de Uberlândia (UFU)

Doutor em Química Universidade Federal de Uberlândia (UFU)

<http://lattes.cnpq.br/12970002659897780>

<https://orcid.org/0000-0003-3587-486X>

RESUMO: Os serviços de saneamento básico no Brasil não são vistos e/ou tratados com a devida importância, visto a relação direta com a qualidade da saúde pública coletiva. A falta de interesse é perceptiva em função da ausência de: *i*) políticas públicas voltadas para ampliação e melhorias em obras de saneamento; *ii*) existência de legislações desatualizadas e repletas de “brechas” para facilitar o não-cumprimento da mesma e *iii*) ausência nas pautas públicas no âmbito municipal, estadual e federal. Diante disso, o município de Patrocínio localizado na região do Alto Paranaíba, no estado de Minas Gerais apresenta um problema quase crônico em relação à capacidade de oferecer água potável para a população. O município

possui uma autarquia municipal, o DAEPA (Departamento de Água e Esgoto de Patrocínio), com uma estação de tratamento de água (ETA) projetada para uma cidade de até 40 mil habitantes. Entretanto, sua população é superior a 93 mil habitantes com uma demanda de água potável superior a esta população e vem desencadeando inúmeros e repetitivos problemas em relação à falta de abastecimento e as propriedades organolépticas que demonstram o tratamento inadequado da água para abastecimento público. Neste sentido, pretende-se apresentar uma proposta de customização e automatização das diferentes etapas de tratamento da ETA de Patrocínio com referência em relação a ETA do Bom Jardim pertencente ao Departamento Municipal de Água e Esgoto (DMAE) localizado na cidade de Uberlândia, região do Triângulo Mineiro no estado de Minas Gerais, se destaca como referência nacional e internacional no que tange o tratamento de água.

PALAVRAS-CHAVE: água potável, estação de tratamento de água, saneamento básico e saúde pública.

PROPOSAL FOR CUSTOMIZATION AND AUTOMATION OF THE WATER TREATMENT PLANT TO INCREASE DRINKING WATER CAPACITY IN THE CITY OF PATROCÍNIO/MG

ABSTRACT: Basic sanitation services in Brazil are not seen and/or treated with due importance, given the direct relationship with the quality of collective public health. The lack of interest is perceptible due to the absence of: *i)* public policies aimed at expanding and improving sanitation works; *ii)* existence of outdated legislation, full of “gaps” to facilitate non-compliance; and *iii)* absence from public agendas at the municipal, state and federal levels. Therefore, the municipality of Patrocínio located in the Alto Paranaíba region, in the state of Minas Gerais, presents an almost chronic problem in relation to the ability to offer drinking water to the population. The municipality has a municipal autarchy, the DAEPA (Department of Water and Sewage of Patrocínio), with a water treatment plant (WTP) designed for a city of up to 40 thousand inhabitants. However, its population is more than 93 thousand inhabitants with a demand for drinking water greater than this population and has been triggering numerous and repetitive problems in relation to the lack of supply and the organoleptic properties that demonstrate the inadequate treatment of water for public supply. In this sense, we intend to present a proposal for customization and automation of the different stages of treatment of the WTP of Patrocínio with reference to the WTP of Bom Jardim belonging to the Municipal Department of Water and Sewage (DMAE) located in the city of Uberlândia, region of Triângulo Mineiro in the state of Minas Gerais, stands out as a national and international reference in terms of water treatment.

KEYWORDS: drinking water, water treatment plant, basic sanitation and public health.

1 | HISTÓRIA, HIDROGRAFIA E SANEAMENTO BÁSICO NO MUNICÍPIO DE PATROCÍNIO

O município de Patrocínio, fundado em 1842, possui uma população de 93 mil habitantes que se encontram distribuídos em um perímetro urbano de 2.888,559 km² com uma densidade demográfica de 31,4 hab/km². Sua população se encontra, majoritariamente, no perímetro urbano (89%) que se distribuem em quarenta e oito bairros. Já na área rural, a população está concentrada em quatro distritos (enquanto na zona rural está distribuída em quatro distritos e oito povoados (IBGE, 2021). Localizado na região do Alto Paranaíba no estado de Minas Gerais, o município se encontra inserido na Bacia do Rio Paranaíba e se localiza entre as sub-bacias hidrográficas dos afluentes Mineiros do Alto Paranaíba e do Rio Araguari (IGAM, 2020). A área urbana, atualmente, ocupa três sub-bacias: Congonhas, Dourados e Rangel. Além disso, possui diversos ribeirões, córregos, riachos e cachoeiras (PMSB, 2016). O sistema de tratamento de água e esgoto é de responsabilidade do Departamento de Água e Esgoto de Patrocínio (DAEPA), fundado em 18 de novembro de 1968.

O DAEPA possui somente uma Estação de Tratamento de Água (ETA) (Figura 2) que foi projetada para operar com capacidade máxima de 120 L/s e que atenderia uma população de, aproximadamente, 40 mil habitantes. Entretanto, todo e qualquer gestor

de uma autarquia desta natureza, sabe que nenhuma ETA deve ser operada com sua capacidade máxima, visto que poderá provocar um colapso em todo o sistema de tratamento, comprometendo-o em função de: (i) danificação de peças e estruturas da ETA; (ii) diminuição ou ineficiência de todos os processos (ajuste de pH, decantação, flotação, cloração e fluoretação) onde se adiciona substâncias químicas; (iii) acelera a saturação dos filtros, exigindo limpezas com maior periodicidade; (iv) interfere diretamente na eficiência do processo de desinfecção, devido a presença de material húmico, matéria orgânica e substâncias químicas que podem sofrer oxidação pelo cloro; (v) ineficiência da etapa de fluoretação, já prejudicada pela escolha do fluossilicato de sódio; e (vi) contaminação dos reservatórios da ETA, dos bairros e das residenciais ou comerciais (caixas d'água). Logo a eficiência de tratamento é toda comprometida, sendo recomendado trabalhar no máximo com 80% de sua capacidade (FILHO, 2007; FUNASA, 2017; LIBÂNEO, 2008).



Figura 1: Estação de Tratamento de Água no bairro São Judas Tadeu

Fonte: Acervo do autor (2023).

2 | CUSTOMIZAÇÃO E AUTOMATIZAÇÃO DAS ETAPAS DE TRATAMENTO DE ÁGUA

O sistema de dosagem manual utilizado, atualmente, pelo DAEPA poderá ser automatizado nas etapas de adição de cal virgem e cloreto de polialumínio para a etapa de coagulação, decantação e floculação, conforme modelo utilizado pelo Departamento Municipal de Água e Esgoto (DMAE) Uberlândia (Figuras 2 e 3).



Figura 2: **(a)** tanque manual para adição de cal virgem em pó; **(b)** armazenamento de cal hidratada
Fonte: Acervo do Autor (2023).

Pela Figura 2a observa-se um tanque de mistura para cal virgem, no qual é necessário o operador transportar manualmente e colocar dentro do tanque. Isto ocasiona a inalação, irritação, desidratação da pele e irritação nos olhos; mesmo com o uso dos EPIs necessários, isto leva os operadores ao adoecimento e até possíveis afastamentos do trabalho. Além disso, é necessário um grande espaço para armazenar os sacos de cal virgem; ocorre a obstrução do tanque de mistura, sendo necessárias inúmeras paradas para limpeza e desobstrução, implicando em paralisações no processo de tratamento e perda de eficiência do produto. Já a Figura 2b, observa-se um sistema constituído por dois tanques com capacidade de armazenamento de 50.000 L/tanque de cal hidratada e totalmente solubilizada em água, representando: (i) maior capacidade de armazenamento do insumo químico; (ii) garantia de adição do produto totalmente solubilizando, o que evita perda de produto e ganho na eficiência do mesmo; (iii) não há registro de problemas relacionados a saúde ocupacional de trabalhadores que lidam com este produto; (iv) possibilita a adição de cal hidratada durante 24 horas/dia; (v) maior facilidade de acesso para manutenção e limpeza; (vi) maior facilidade de armazenamento, uma vez que o produto é comprado líquido e transportado pelo fornecedor em caminhões tanques.

Na etapa de coagulação, decantação e floculação, a maioria das ETAs trabalham ainda com a adição do sulfato de alumínio $[Al_2(SO_4)_3]$ que tende a ser substituído pelo cloreto de polialumínio (PACl) que se constitui em um polímero, podendo ser adquirido e armazenado na forma líquida e em tanques, conforme a Figura 3.



Figura 3: **(a)** local de armazenamento de sulfato de alumínio em pó em ETA **(b)** tanque de armazenamento do cloreto de polialumínio (PACl) utilizado pelo DMAE-Uberlândia.

Fonte: Acervo do autor (2023).

Pela Figura 3a observa-se como é feito o armazenamento do sulfato de alumínio na forma sólida, considerando-se: *(i)* necessidade de grandes espaços para armazenamento; *(ii)* ambiente bastante insalubre e de difícil limpeza; *(iii)* dificuldade no manuseio, sendo carregado nas costas do operador; *(iv)* incrustação e entupimento do sistema de diluição e mistura; *(v)* possibilidade de incrustar nas partes metálicas de etapas posteriores, causando desgaste de peças e colaborando para maior periodicidade na manutenção e *(vi)* devido a sua maior densidade ($2,83 \text{ g cm}^{-3}$) em relação à água, possibilita este insumo ir para o fundo do tanque de decantação, diminuindo sua presença durante a floculação.

O PACl é um polímero com maior grau de pureza, porém de custo mais elevado do que o sulfato de alumínio. No entanto, este custo adicional pode ser igualado ou reduzido em relação ao emprego do sulfato de alumínio, em função: *(i)* possui menor densidade ($1,28 \text{ g/cm}^3$) e maior solubilidade (1330 g/L) em relação ao sulfato em água, logo sua distribuição em meio aquoso é maior; *(ii)* a alta carga catiônica de Al^{3+} eleva a capacidade de coagulação, uma vez que acelera a velocidade na formação dos flocos; *(iii)* maior capacidade de armazenamento em menor espaço, conforme os tanques de 15.000 L apresentado na Figura 3b; *(iv)* melhoria na saúde ocupacional dos operadores de ETA, em

função da não exposição direta ao produto; (v) maior facilidade na limpeza do ambiente; (vi) maior praticidade na reposição do insumo, uma vez que os tanques são repostos diretamente por caminhões oriundos da fábrica; (vii) os tanques precisam ser lavados somente a cada três meses; e (viii) menor formação de lodo nos tanques de decantação e floculação, diminuindo a periodicidade de limpeza e paralisações no tratamento. Em relação às características do local onde ficarão os tanques, deverá seguir as mesmas recomendações realizadas para os tanques de cal hidratada.

Todo o conjunto de sistema de ajuste de pH, coagulação, decantação e floculação podem ser automatizados, possibilitando mensurar a quantidade de cada insumo em tempo real e conseqüentemente facilitando na tomada de decisões em caso de possíveis incidentes, conforme Figura 4.

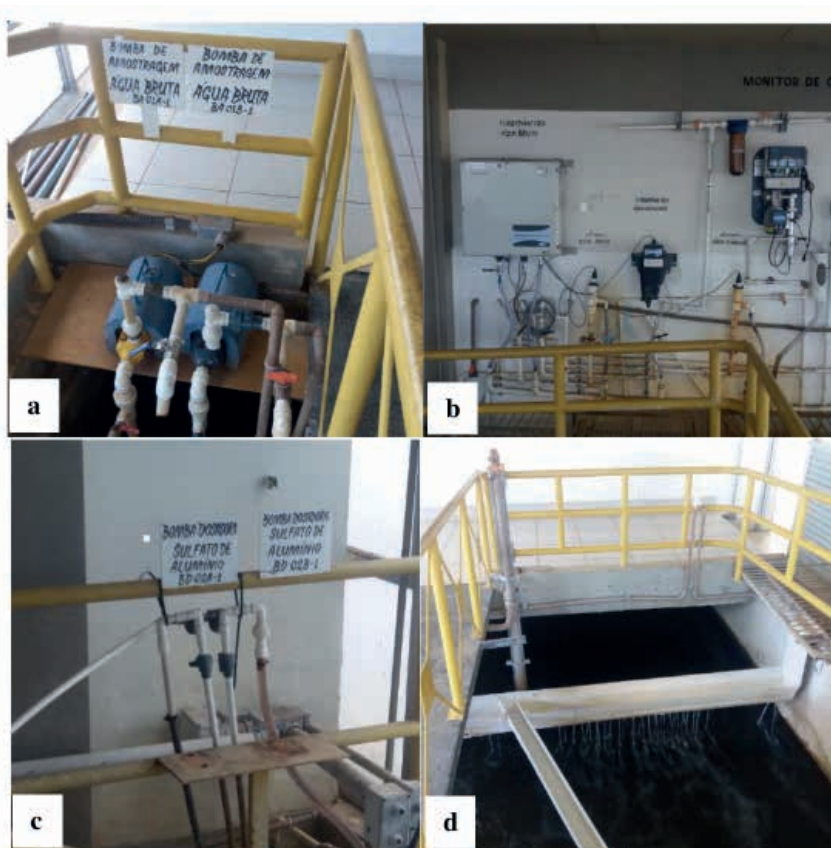




Figura 4: **(a)** sistema de controle de recepção de água bruta; **(b)** medidores de pH, cor, turbidez da água bruta e após o processo de coagulação e decantação em tempo real; **(c)** dosador de cal virgem e PACl; **(d)** distribuição da cal virgem e PACl na água bruta e **(e)** painel de controle, dentro do laboratório, que transmite informação de pH, cor, turbidez em tempo real para o operador; na ETA Bom Jardim - Uberlândia.

Fonte: Acervo do autor (2023).

Pelas imagens que compõe a Figura 4, fica evidente que a automatização do sistema de medição de pH, cor e turbidez tanto da água bruta, quanto após a etapa de coagulação e decantação; permite o monitoramento em tempo real com informações mais fidedignas; o funcionamento da ETA 24 horas por dia com maior segurança e facilidade para o operador da ETA em trabalho. O consumo de insumos com maior eficiência de atuação e nenhum desperdício, possibilitando o tratamento da água de forma homogênea.

2.1 Introdução de um sistema de ar para lavagem e operação de filtros em sistema alternado

A filtração constitui-se em um importante processo de retirada de partículas que são responsáveis pela cor e turbidez, cuja presença poderá reduzir a eficiência da desinfecção na inativação de micro-organismos patogênicos. A filtração é imprescindível na etapa de tratamento, uma vez que atua de forma a corrigir possíveis falhas ocorridas nas etapas anteriores (coagulação, floculação, decantação/flotação), garantindo a qualidade da água tratada (LIBÂNIO, 2008). Esta etapa é tão relevante que está consolidada no meio técnico por meio da Portaria 518 do Ministério da Saúde (2004) e pela Agência de Proteção Ambiental dos EUA (EPA – *Environmental Protection Agency*).

O sistema de filtração deve, preferencialmente, ocorrer de forma a se ter um sistema que possibilite utilizar um jogo de filtros enquanto o outro está passando por reparos ou lavagem, de forma a se evitar interrupções durante o processo de tratamento de água (LIBÂNIO, 2008). Durante este processo é interessante adicionar um sistema que

possibilite a passagem de uma corrente de ar por toda a estrutura do filtro para simplificar e melhorar a limpeza posterior com água, este sistema é utilizado pelo DMAE, conforme Figura 5.



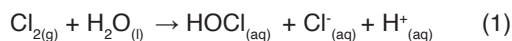
Figura 5: Sistema de filtração utilizado pelo DMAE

Fonte: Acervo do Autor (2023).

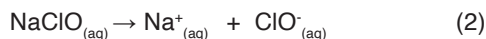
Pela Figura 5, observa-se uma tubulação de cor azul, por onde passa a água que é arrastada por ar e soprada nos filtros, com posterior passagem de água para limpeza final. Esta etapa deverá ser dimensionada por meio de projeto realizado por empresas especialistas neste setor.

2.2 Etapa de desinfecção

Na desinfecção ou cloração, é utilizado o cloro como principal agente oxidante nas ETAs. Isso é justificado pela sua ação desinfetante, por possuir um forte poder oxidante, baixo custo e por possibilitar a presença de cloro residual nas redes de distribuição, garantindo a qualidade da água até o consumo (LV; WANG; LI, 2019), conforme a Equação 1.



Além disso, o hipoclorito pode ser gerado diretamente por meio da dissociação de sais em água (Equação 2)



Como o potencial de oxidação varia de acordo com as espécies cloradas predominantes, pode-se afirmar que a cloração é dependente do pH do meio, em pH alto ($\text{pH} > 8,5$) predomina o íon hipoclorito (FUNASA, 2014; XIONG et al., 2020).

Estes processos têm como objetivo principal a destruição ou inativação de organismos patogênicos (LIBÂNIO, 2008; MEYER, 1995). Além disso, tem sido empregado para outros fins, tais como: (i) controle de sabor e odor; (ii) prevenção de crescimento de algas; (iii) remoção de ferro e manganês; (iv) remoção de cor e controle do desenvolvimento de biofilmes em tubulações (LIBÂNIO, 2008). O cloro tem a característica ímpar de formar compostos que permanecem na água, proporcionando um residual desinfetante ativo, permitindo a inativação de micro-organismos tanto após a aplicação, quanto ao longo das tubulações da rede de distribuição ou mesmo nos reservatórios dos pontos de consumo (LIBÂNIO, 2008). O cloro pode ser empregado na forma gasosa (Cl_2), hipoclorito de sódio ou cálcio (NaClO ou $\text{Ca}(\text{ClO}_2)$) e até na forma de dióxido de cloro (Cl_2O), sendo os dois primeiros mais utilizados conforme a Figura 6.

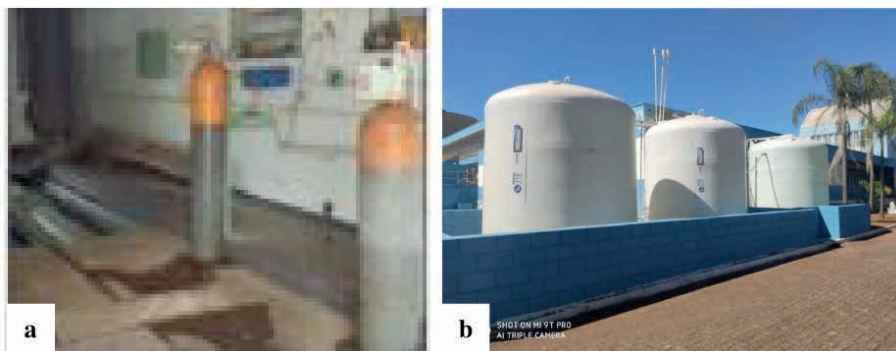


Figura 6: **(a)** cloração por meio de cloro gasoso, semelhante ao empregado pelo DAEPA; **(b)** cloração por meio do uso de hipoclorito de sódio empregado no DMAE-Uberlândia.

Fonte: Acervo do Autor (2023).

O uso de cloro na forma gasosa (Figura 6a) vem sendo substituído em quase todas as ETAs existentes ou em fase de construção. Isto se deve a vários fatores, entre os quais: (i) altamente instável, propiciando maior risco de vazamento e possíveis problemas pulmonares (edema pulmonar); (ii) gás letal em ambientes onde a concentração for maior que 1.0 mg/L; (iii) capacidade de formar compostos explosivos ao reagir com outras substâncias presentes no meio; (iv) dificuldade de armazenamento e transporte; (v) requer grande investimento em tecnologias para armazenamento seguro; (vi) aumenta o número de casos em relação a prejuízos à saúde ocupacional do operador, levando até mesmo a afastamento temporário ou permanente de funcionários (LIBÂNIO, 2008; MEYER et al.,

1995). Já a Figura 6b, mostra o uso do cloro na forma de hipoclorito de sódio. Ao se utilizar este sal no processo de desinfecção, o mesmo não oferece os riscos apresentados de (i) a (vi) no parágrafo anterior. Além disso, sua utilização na forma sólida possibilita: (i) maior facilidade de transporte e armazenamento; (ii) alta solubilidade em água e fácil mistura nos tanques; (iii) facilidade de limpeza dos tanques; (iv) maior capacidade de estoque (tanques de 15 a 20.000 L) e controle (presença de um medidor de nível transparente do lado externo do tanque. Como desvantagem, o hipoclorito precisa passar por um pequeno sistema de purificação a fim de remover possíveis impurezas que solidificaram durante o processo de extração e de separação do sal, conforme Figura 7.



Figura 7: Sistema de purificação do hipoclorito de sódio

Fonte: Acervo do autor (2023).

2.3 Etapa de fluoração ou fluoretação

A fluoretação é a adição controlada de um composto de flúor à água de abastecimento público com a finalidade de elevar à concentração do mesmo a um teor pré-determinado e, desta forma, atuar no combate e prevenção da cárie dentária; sendo um grave problema de saúde pública em todo o mundo e também no Brasil (FERREIRA; NARVAL, 2015; FUNASA, 2012). A princípio, qualquer composto solúvel de flúor, libera o íon fluoreto (F^-) que é utilizado na etapa de fluoretação. No entanto, outros fatores devem ser considerados a fim de equilibrar a escolha da substância, entre os quais: (i) a substância deve apresentar solubilidade e grau de pureza adequados, assegurando a concentração final de fluoreto desejável; (ii) não deve apresentar toxicidade ou outra característica indesejável na água; (iii) o preço deve ser acessível – incluindo disponibilidade, custo com transporte, continuidade no fornecimento pelo fabricante, facilidade de armazenamento e manuseio (LIBÂNEO, 2008).

Baseado nas propriedades apresentadas e nos fatores a serem considerados e descritos por Libâneo (2008), a substância mais indicada seria o ácido fluossilícico que vem sendo empregado por um maior número de ETAs no Brasil. Além de todas as propriedades apresentadas, podemos incluir: (i) não decanta, levando ao encrustamento de tubulações e maior paralisação para manutenção e limpeza; (ii) não acumula e não fica em excesso, possibilitando oscilações no monitoramento de flúor; (iii) não apresenta problemas de saúde ocupacional para operadores de ETA, uma vez que o sistema é automatizado em termos de dosagem contínua; (iv) possibilita operar 24 horas por dia e (v) maior capacidade de estoque e limpeza dos tanques, conforme Figura 8.



Figura 8: Tanque de 15.000L com ácido fluorossilícico na ETA–DMAE

Fonte: Acervo do Autor (2023).

O DAEPA trabalha com o fluossilicato de sódio que além da baixa solubilidade e alta densidade que ocasiona: (i) encrustamento nas tubulações e sucessivas paralisações para limpeza; (ii) oferece riscos à saúde ocupacional do trabalhador, tanto em termos de esforço físico (carregar sacos de 50 kg, misturar manualmente) quanto inalação de pó do sal que pode ocasionar problemas respiratórios ao longo do tempo; (iii) não possibilita monitorar, constantemente, a concentração de flúor na água que é requerida; (iv) o monitoramento oscila entre não quantificar flúor ou quantificar em excesso, esta situação já foi alvo de denúncia e reportada em jornais de grande circulação na cidade de Patrocínio.

3 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

As ações a serem implementadas foram elencadas por intermédio da atual infra-estrutura do DAEPA, demanda da população em consonância com as diretrizes estabelecidas pela resolução do CONAMA em relação aos parâmetros de qualidade para águas com fins potáveis. Tal projeto não possui aspectos políticos, ideológicos ou demagógicos para promover ou denegrir a imagem de qualquer representante político, mas sim demonstrar a atual situação e propor medidas para que a atual câmara legislativa possa avaliar sugerir e refletir sobre a melhoria da qualidade da ETA para o fornecimento de água para fins potáveis a toda a comunidade patrocínense.

REFERÊNCIAS

BRASIL. Resolução CONAMA 274/2000. Portaria 518, de 25 de março de 2005. Ministério da Saúde. www.mma.gov.br/res/res05/res27400.pdf

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). **Resolução nº 357, 17 de março de 2005: classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para enquadramento, condições e padrões de lançamento de efluentes entre outras providências.** Funasa: Brasília, p. 1-23, 2007.

FILHO, C. F. M. **Abastecimento de água.** Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 154 p., 2015.

FERREIRA, R. G. L.; NARVAL, P. C. Fluoretação da água: significados e lei da obrigatoriedade na visão de lideranças em saúde. **Revista da Associação Paulista de Cirurgiões Dentistas**, v. 69, n. 3, 266-271, 2015.

FUNDAÇÃO NACIONAL DA SAÚDE (FUNASA). **Manual de fluoretação da água para consumo humano.** Funasa: Brasília, p.1-73, 2012.

FUNDAÇÃO NACIONAL DA SAÚDE (FUNASA). **Manual de cloração de água em pequenas comunidades utilizando o clorador simplificado desenvolvido pela Funasa.** Brasília, 40 p., 2014.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS (IGAM). **Mapas das Bacias hidrográficas do Rio Paranaíba.** http://www.igam.mg.gov.br/index.php?option=com_content&task=view&id=89&

LIBÂNIO, M. **Fundamentos de Qualidade e Tratamento de água**. 2 ed. São Paulo: Átomo, 2008.

LV, J.; WANG, Y.; LI, N. Oxidation of Citalopram with Sodium Hypochlorite and Chlorine Dioxide: Influence Factors and NDMA Formation Kinetics **Molecules**, v.24, p.3065, 2019.

MEYER, S. T. O uso de Cloro na desinfecção de águas, a formação de trihalometanos e os riscos potenciais à saúde pública. **Caderno Saúde Pública**, v. 10, n. 1, p. 99-110, 1994.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. Portaria nº **2914, 12 de dezembro de 2011: procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade**. Brasília, p. 1-38, 2011.

PLANO MUNICIPAL DE SANEAMENTO BÁSICO (PMSB). **Relatório do Plano Municipal de Saneamento Básico**. 350 p., 2016.

XIONG, R. et al. UV-LED/chlorine degradation of propranolol in water: degradation pathway and product toxicity. **Chemosphere**, v. 248, p. 125957, 2020.