

**UNIVERSIDADE CESUMAR - UNICESUMAR**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS TECNOLÓGICAS E AGRÁRIAS**  
**CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA**

**ALTERNATIVAS DE DESINFECÇÃO DA ÁGUA PARA CONSUMO E OS**  
**IMPACTOS DOS SUBPRODUTOS GERADOS**

**NAYARA ARAUJO CABRAL**

MARINGÁ – PR  
2020

Nayara Araujo Cabral

**ALTERNATIVAS DE DESINFECÇÃO DA ÁGUA PARA CONSUMO E OS  
IMPACTOS DOS SUBPRODUTOS GERADOS**

Artigo apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Química da UNICESUMAR – Centro Universitário de Maringá como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharela em Engenharia Química, sob a orientação do Prof. Dr. Ricardo Andreola.

MARINGÁ – PR

2020

NAYARA ARAUJO CABRAL

**ALTERNATIVAS DE DESINFECÇÃO DA ÁGUA PARA CONSUMO E OS  
IMPACTOS DOS SUBPRODUTOS GERADOS**

Artigo apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Química da UNICESUMAR –  
Centro Universitário de Maringá como requisito parcial para a obtenção do título de  
Bacharela em Engenharia Química, sob a orientação do Prof. Dr. Ricardo Andreola.

Aprovado em: \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_.

BANCA EXAMINADORA

---

Dr. RICARDO ANDREOLA - UNIVERSIDADE CESUMAR

---

Me. FERNANDO PEREIRA CALDERARO - UNIVERSIDADE CESUMAR

---

Dra. THAISE MOSER TEIXEIRA - UNIVERSIDADE CESUMAR

# **ALTERNATIVAS DE DESINFECÇÃO DA ÁGUA PARA CONSUMO E OS IMPACTOS DOS SUBPRODUTOS GERADOS**

Nayara Araujo Cabral

Ricardo Andreola

## **RESUMO**

Cada vez mais procura-se utilizar ou ingerir água que seja segura para consumo, ou seja, que tenha passado por um tratamento adequado e que tenha parâmetros de qualidade, enquadrados no padrão estabelecido pela legislação vigente. Esse é um desafio importante para todos, pois a água é fundamental para a sobrevivência humana. A água é o principal alimento ingerido pelo homem, e corresponde a 80% da composição do corpo humano. Esse contato intenso explica o fato de o organismo humano ser facilmente atingido por microrganismos parasitas, sendo que estes se alojam e se desenvolvem no corpo hospedeiro, quando as condições lhes são favoráveis. Além dos contaminantes microbiológicos, existem os contaminantes químicos, que surgem em decorrência do processo de tratamento. Alguns dos parâmetros de qualidade são relacionados às características microbiológicas da água, como a presença de protozoários, vírus ou bactérias. Outros parâmetros estão relacionados à presença de compostos químicos orgânicos ou inorgânicos nocivos à saúde humana, como os subprodutos da desinfecção (trihalometanos, ácidos halo acéticos, entre outros). Existem comprovações na literatura sobre a carcinogenicidade de diversos subprodutos da desinfecção. O processo de desinfecção é fundamental para a potabilização da água e existem atualmente diversas tecnologias, desde as tradicionais, como a cloração, até às mais modernas, como a ozonização e filtração por membranas. Este trabalho consiste na revisão bibliográfica das alternativas de desinfecção da água para consumo e os impactos de seus subprodutos, com o objetivo de identificar os prós e contras das tecnologias estudadas. Para tanto, será feito um levantamento bibliográfico sistemático em periódicos científicos. Espera-se obter informações das tecnologias de desinfecção e seus efeitos, para que seja possível a análise de viabilidade e eficiência, sendo que a referida eficiência está vinculada à legislação vigente (Portaria de Consolidação n.5/2017 e/ou RDC Anvisa n.275/2005), que também estabelece as concentrações máximas de subprodutos da desinfecção em água tratada.

**Palavras-chave:** Inativação. Microrganismos. Qualidade.

## **ALTERNATIVES FOR DISINFECTION OF WATER FOR CONSUMPTION AND THE IMPACTS OF THE GENERATED BY-PRODUCTS**

### **ABSTRACT**

Increasingly there is an attempt to use or ingest water that is safe for consumption, it means, that has undergone adequate treatment and that has quality parameters within the standard established by current legislation. This is an important challenge for everyone, as water is fundamental for human survival. Water is the main food ingested by man, and corresponds to 80% of the composition of the human body. This intense contact explains the fact that the human organism is easily affected by parasitic microorganisms, that lodged and develop in the host body, when conditions are favorable. In addition to microbiological contaminants, there are chemical contaminants that arise as a result of the treatment process. Some of the quality parameters are related to the microbiological characteristics of the water, such as the presence of protozoa, viruses or bacteria. Other parameters are related to the presence of organic or inorganic chemical compounds harmful to human health, such as disinfection by-products (trihalomethanes, halo acetic acids, among others). There is evidence in the literature on

the carcinogenicity of various disinfection by-products. The disinfection process is fundamental for the potabilization of water and there are currently several technologies, from traditional ones such as chlorination to the most modern ones, such as ozonation and membrane filtration. This work consists of a bibliographic review of the alternatives for disinfecting drinking water and the impacts of its by-products, in order to identify the pros and cons of the studied technologies. For that, a systematic bibliographic survey will be made in scientific journals. It is expected to obtain information on disinfection technologies and their effects so that it is possible the analysis of feasibility and efficiency, and that efficiency is linked to current legislation (Consolidation Ordinance no.5 / 2017 and / or RCB Anvisa (National Health Surveillance Agency) no.274 / 2005), which also establishes the maximum concentrations of disinfection by-products in treated water.

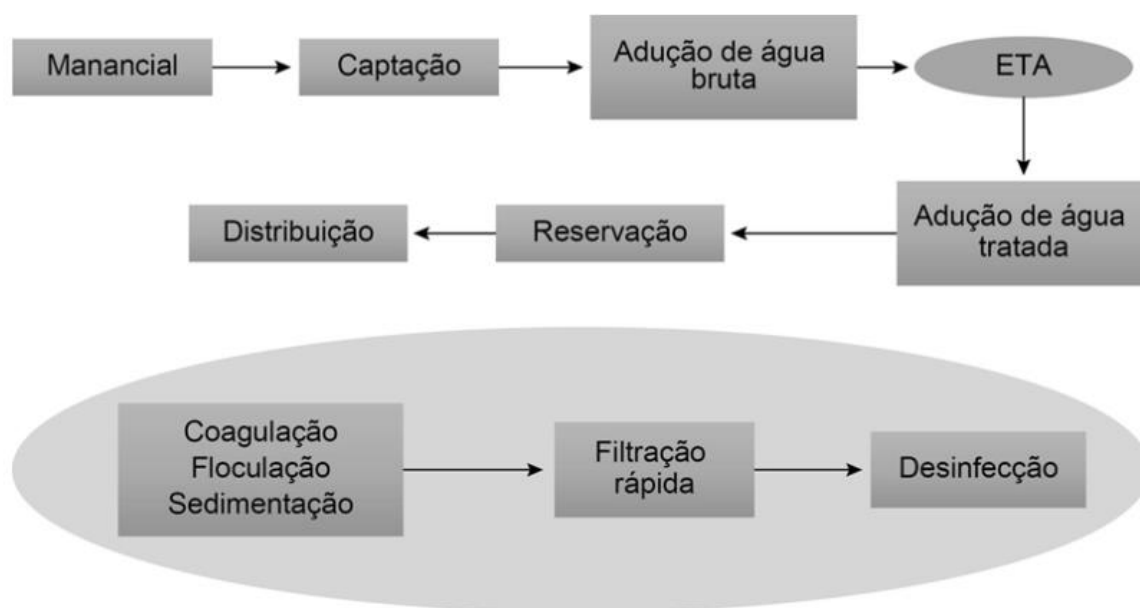
**Keywords:** Inactivation. Microorganisms. Quality.

# 1 INTRODUÇÃO

Um dos problemas enfrentados no Brasil é a falta de água tratada em muitos lugares, principalmente nas regiões Norte e Nordeste, onde também as condições de saneamento são precárias. Outra situação é a dos produtores rurais que utilizam águas subterrâneas, muitas vezes sem tratamento adequado. Nas cidades, as companhias de saneamento e abastecimento de água (como a Sanepar, no Paraná) realizam o controle de qualidade microbiológico e físico-químico, para que a água tratada seja distribuída à população, atendendo aos parâmetros de qualidade, preconizados pela Portaria de Consolidação n.05 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2017), para água tratada superficial (rios e lagos). Para o caso de água subterrânea (poços tubulares e minas), a legislação pertinente para o controle de qualidade é a RDC Anvisa n.274/2005 (BRASIL, 2005).

Ferreira Filho (2017) traz um fluxograma que abrange, desde o manancial, até a distribuição. Depois da adução de água bruta, a água é direcionada para a Estação de Tratamento de Água (ETA), onde passa por processos como coagulação, floculação, sedimentação, filtração rápida e desinfecção, sendo este último processo, o foco do presente trabalho.

Figura 1 - Concepção clássica de Estações de Tratamento de Água (ETAs) convencionais



Fonte: FERREIRA FILHO (2017)

Na área rural, o controle de qualidade da água fica a cargo do proprietário rural, que normalmente capta água de uma nascente ou mina. Apesar da qualidade da água dos mananciais subterrâneos, de modo geral, ser superior à qualidade da água de rios e lagos tomados para tratamento, as águas subterrâneas são facilmente contaminadas por agentes microbiológicos, como coliformes, entre outros. Além deste, o controle físico-químico também é necessário (VALÉRIO, SOUZA, ANDREOLA, 2019).

A água é o principal alimento ingerido pelo homem, e corresponde a 80% da composição do corpo humano. Esse contato intenso explica o fato de o organismo humano ser facilmente atingido por microrganismos parasitas, sendo que estes se alojam e se desenvolvem no corpo hospedeiro, quando as condições lhe são favoráveis (TOMINAGA e MÍDIO; 1999).

A água contaminada por microrganismos pode transmitir diversas doenças e de maneiras diferentes. Pode ocorrer diretamente pela água contaminada com urina ou fezes, ocasionando cólera, febre tifoide, amebíase, leptospirose, giardíase, entre outros; pela falta de limpeza, ocasionada por más práticas de higiene, podendo provocar escabiose, pediculose, tracoma, conjuntivite, enterobiose, etc.; ainda por parasitas encontrados em organismos que vivem na água, que, por sua vez, ocasionam dengue, malária, febre amarela, esquistossomose (OPAS,2001). São várias as doenças que podem ser desenvolvidas através da água, evidenciando-se a importância de se ter cada vez mais ações, visando uma água livre de patogênicos.

A Portaria de Consolidação nº5 de 2017 (Brasil, 2017), do Ministério da Saúde, estabelece que os coliformes totais e a *Escherichia coli* devem estar ausentes na água, para que se respeite o padrão microbiológico vigente de água potável. Ainda, determina que toda água destinada ao consumo humano deve obedecer ao padrão de potabilidade e está sujeita à vigilância da qualidade da água.

Souto (1995) afirma que as principais origens de contaminação da água são diversas e incluem esgotos domésticos, efluentes industriais e agropecuários, acidentes ambientais, construção de barragens, desmatamento, mineração, entre outros. Os impactos dessas formas de contaminação nos mananciais superficiais e subterrâneos são diversos. Os mananciais subterrâneos freáticos são os mais suscetíveis, depois dos superficiais.

Devido a tais contaminações, medidas de desinfecção vêm sendo muito estudadas e desenvolvidas, com o objetivo de inativar microrganismos patogênicos, que quando instalados no corpo humano, dão origem a diversas doenças. Tal fato é preocupante, visto que cerca de

2,2 bilhões de pessoas no mundo não têm acesso à água potável, ofertada de forma segura (ONU, 2019).

Todas as tecnologias apresentam pontos fortes e fracos, já que podem, por exemplo, serem viáveis, do ponto de vista financeiro, e não tão viáveis quanto à eficiência, sendo esse o então objetivo da presente pesquisa, estudar as tecnologias existentes. Além disso, deve-se analisar cada forma de desinfecção e o contexto a ser aplicado, pois a eficiência da desinfecção pode ser influenciada pelas características da água, como pH, turbidez e matéria orgânica (MONTEIRO, P. C. G.; BRANDÃO, C. C. S.; DE SOUZA, M. A. A.; 2005).

Nesse contexto, seria prudente perguntar: seria seguro utilizar-se de uma água natural quando a mesma pode apresentar microrganismos causadores de doenças? Essa realidade indesejada é a que vem ocorrendo em muitos contextos. Assim, conhecer as tecnologias de desinfecção é necessário para que se adote a melhor opção para determinadas necessidades.

## **2 DESENVOLVIMENTO**

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

O presente trabalho tem por propósito o levantamento bibliográfico das alternativas de desinfecção de água para consumo humano e para uso em processo produtivo.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Realizar um levantamento bibliográfico sobre as principais alternativas de desinfecção em periódicos científicos;
- Realizar um levantamento sobre a eficiência das alternativas encontradas e a possível geração de subprodutos não desejados;

### **2.3 METODOLOGIA**

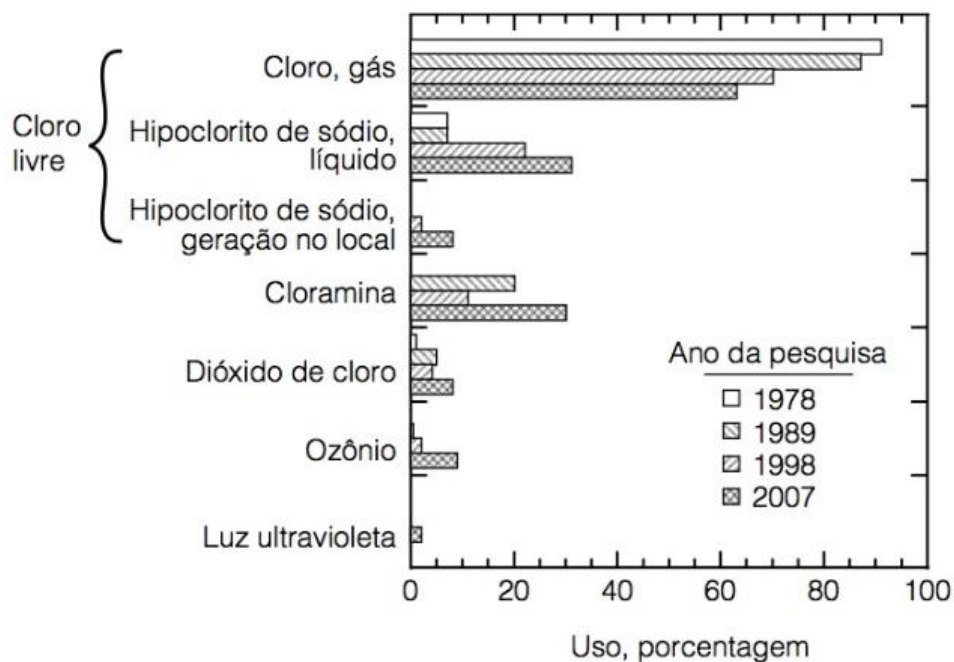
A metodologia do presente trabalho consiste na revisão sistemática de literatura. A revisão de literatura pressupõe a construção de uma síntese, distribuída em diversos tópicos, que é apta a proporcionar uma ampla compreensão sobre o conhecimento. Tal revisão é um primeiro passo em busca do conhecimento científico (Botelho, L. L. R.; Cunha, C. C. de A.; Macedo, M., 2011). Para Landeiro et al. (2011), a revisão sistemática tem por finalidade diminuir o viés pessoal, e fornecer uma base científica sólida para auxiliar na tomada de decisões.



## 2.4 PROCESSOS DE DESINFECÇÃO

Howe et al. (2016) traz a frequência de uso, ao longo dos anos, de algumas das tecnologias empregadas para desinfecção. Nesse sentido, é notório o decréscimo da utilização de cloro gasoso, ao mesmo tempo em que se observa o crescimento de outras formas de cloro, como o uso de cloraminas e dióxido de cloro, assim como também meios alternativos, como a ozonização e a radiação por UV. Porém, mesmo com o decréscimo do cloro gasoso, no decorrer dos anos representados, ele continua sendo a forma de desinfecção principal, com mais de 60% de uso, no ano de 2007.

Figura 2 - Produtos químicos utilizado para a desinfecção ao longo dos anos



Fonte: Howe et al. (2016)

Gonçalves (2003) destaca critérios que se deve observar no momento da escolha do desinfetante. São eles:

- Não ser tóxico para o homem ou qualquer outro animal;
- ser tóxico em baixa concentração para o organismo-alvo;
- ser suficientemente solúvel em água;

- ser eficaz nas condições de temperatura e pH encontrados no meio líquido;
- ser de custo razoável em relação aos volumes de água ou efluente a desinfetar;
- não apresentar elevado riscos aos operadores;
- permitir fácil medida e controle de sua concentração.

Além disso, outro fator que se deve levar em conta, no momento da escolha do desinfetante, são os subprodutos que aquele pode gerar. A Portaria n°5 de 2017 traz uma tabela de padrão de potabilidade para substâncias químicas que representam perigo à saúde, e dentre essas substâncias, estão os produtos secundários da desinfecção.

**Tabela 1- Anexo 7 do Anexo XX**

DESINFETANTES E PRODUTOS SECUNDÁRIOS DA DESINFECÇÃO		
Parâmetro	Unidade	VMP
Ácido haloacético total	mg/L	0,08
Bromato	mg/L	0,01
Clorito	mg/L	1
Cloro residual livre	mg/L	5
Cloramina total	mg/L	4
2,4,6 Triclorofenol	mg/L	0,2
Trihalometanos total	mg/L	0,1

**Fonte: Portaria de Consolidação do MS n°5 de 2017**

Santos e Gouveia (2011) apontaram em seu trabalho para a possibilidade do risco de malformação e prematuridade de bebês devido à presença de trihalometanos. Há também indícios consistentes sobre defeitos no tubo neural e no sistema urinário, decorrente dos THMs (HWANG e JAAKKOLA,2003 apud SANTOS e GOUVEIA., 2011, p. 03).

Ainda seguindo esse raciocínio, a Agência Americana de Proteção Ambiental (USEPA) traz alguns subprodutos da desinfecção e seus possíveis efeitos à saúde humana, como mostrado na figura a seguir.

**Tabela 2 - Limites máximos estabelecidos pela Agência Americana de Proteção Ambiental de alguns subprodutos e seus efeitos potenciais à saúde**

Subproduto da desinfecção	Limite máximo (µg/L)	Efeitos potenciais à saúde
Bromato	10	Câncer
Clorito	1000	Desenvolvimento de efeitos no aparelho reprodutor
Clorofórmio	80	Câncer, efeitos no fígado, rim e aparelho reprodutor
Dibromoclorometano	80	Sistema nervoso, efeitos no fígado, rim e aparelho reprodutor
Bromodiclorometano	80	Câncer, efeitos no fígado, rim e aparelho reprodutor

Bromofórmio	80	Câncer, sistema nervoso, efeitos no fígado e no rim
THM (total)	80	Câncer e outros efeitos
Ácidos haloacéticos (total)	60	Câncer e outros efeitos
Ácido dicloroacético	60	Câncer e desenvolvimento de efeitos no aparelho reprodutor
Ácido tricloroacético	60	Fígado, rim e desenvolvimento de câncer

Fonte: Adaptado de USEPA (1999b e 2004) apud FRANQUINI (2010)

Vigora no Paraná, a Lei N° 17278 de 01/08/2012, que é ainda mais restritiva quanto ao VMP de trihalometanos totais e ácidos haloacéticos, sendo que o VMP daqueles é 0,08 mg/L e o VMP deste é 0,06 mg/L, para todos os serviços de saneamento básico.

Richter (1991) afirma que o mecanismo da desinfecção depende tanto da natureza do agente desinfetante, como também do tipo de organismo que se pretende inativar. Assim, a velocidade de destruição dos microrganismos, de maneira aproximada, é dada por:

$$\frac{dN}{dt} = -KN$$

Onde,

k = taxa de mortalidade, constante para desinfetante específico.

N= n° de organismos ainda vivos, no instante t.

Depois de integrada, a equação fornece:

$$\ln \frac{N_t}{N_0} = -Kt$$

Onde,

N<sub>0</sub>= n° de organismos no instante t<sub>0</sub>.

Passando para a base 10:

$$\log \frac{N_t}{N_0} = -0,4343Kt = -kt$$

Sendo:

$$k = 0,4343 K$$

O valor de K depende tanto da natureza do desinfetante como também da sua concentração, temperatura, pH e outros fatores do meio ambiente (RICHTER, 1991).

A tabela 3 mostra a eficiência de alguns dos meios de desinfecção e os possíveis subprodutos.

**Tabela 3 - Características de alguns desinfetantes**

	Eficácia de desinfecção				Formação de subprodutos	
	Bactérias	Vírus	Protozoários	Endósporos	Regulamentados	Podem ser regulamentados no futuro
Cloro livre	Excelente	Excelente	Razoável a fraco	Bom a fraco	THM's e HAA	Diversos

Cloro combinado	Bom a fraco	Razoável	Fraco	Fraco	Traços de THM's e HAA	halogenados de cianogênio
Dióxido de cloro	Excelente	Excelente	Bom	Razoável	Clorito	Clorito
Ozônio	Excelente	Excelente	Bom	Excelente	Bromato	Carbono orgânico biodegradável
Radiação UV	Bom	Razoável	Excelente	Razoável	Nenhum	Desconhecidos

Fonte: Adaptado de HOWE et al. (2016)

#### 2.4.1 AS DIVERSAS FORMAS DE CLORAÇÃO

A medida de desinfecção mais comum é a cloração. Tominaga e Mídio (1999) apresentam como justificativa para a predominância desse processo, o fato dele, em qualquer dos diversos compostos, eles possuem a função de destruir ou inativar microrganismos causadores de diversas enfermidades, à temperatura ambiente e em período curto de tempo. Entretanto, a cloração gera subprodutos, como os trihalometanos (THM), que surgem da reação do cloro livre com a matéria orgânica, presente na água.

Algumas vantagens de se utilizar o cloro gasoso para desinfecção são: menor espaço de estocagem, dosagem mais precisa e menores perdas do princípio ativo (BITTENCOURT, 2014).

Assim, o cloro é o agente desinfetante mais utilizado, porque é encontrado facilmente como gás ou líquido, apresenta baixo custo, e simples aplicação; em razão de sua alta solubilidade, deixa residual em água (exigência da legislação vigente) e ainda é apto a destruir a maioria dos patogênicos. Apresenta também algumas desvantagens, como seu forte poder de corrosão e o fato de ser venenoso, o que exige maior cuidado no manuseio. Além disso, ele pode causar problemas nas propriedades organolépticas, especialmente na presença de fenóis (RICHTER, 1991).

A aplicação da cloração pode ser feita de três maneiras distintas: cloração simples, cloração ao “break-point” e amônia-cloração. Na cloração simples, faz-se uma aplicação de uma dosagem de forma que, certo tempo depois, tenha-se uma concentração de cloro residual livre, considerado suficiente, para águas não muito poluídas. Porém, em águas mais poluídas, já não seria eficaz o método anterior, pois o cloro residual também seria consumido, nesse caso, aplica-se a cloração ao “break-point” que tem suas dosagens variáveis, conforme a necessidade específica da água, principalmente em relação à amônia e aos compostos nitrogenados. Já na amônia-cloração, adiciona-se cloro e amônia com o objetivo de gerar

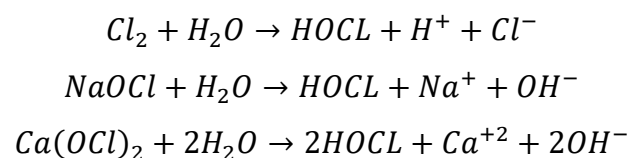
cloraminas que possibilitam a formação de residuais de cloro combinado, que são mais estáveis do que os de cloro livre (RICHTER, 1991).

A desvantagem na utilização do cloro e seus combinados é intensa geração de subprodutos indesejáveis, provenientes da reação entre a matéria orgânica com o cloro, como os trihalometanos, e os ácidos haloacéticos. Existem diversas moléculas, denominadas de trihalometanos. Entretanto, existem quatro mais frequentes, em níveis de concentração. Os trihalometanos mais frequentes são o triclorometano (também chamado de clorofórmio), o bromodiclometano, o dibromoclorometano e o tribromometano, sendo que a soma destes compostos dá origem ao que se chama de trihalometanos totais (ANDREOLA et al., 2005).

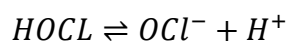
Os trihalometanos são absorvidos pelo sistema gastrointestinal de forma rápida. O clorofórmio (CF) também é absorvido rapidamente em via oral; já por inalação, é absorvido de 60 a 80 % de toda a quantidade de CF disponível. É importante destacar que ele também pode ser absorvido pela pele. O CF absorvido se espalha rapidamente na corrente sanguínea, sendo então, transportado para os tecidos. Em razão da sua lipossolubilidade, tem tendência em se alojar em tecidos com alto teor lipídico, como tecido adiposo, fígado e rins. Além disso, há razões para se acreditar que o CF pode penetrar à placenta, pois já foram detectados, no cordão umbilical, concentrações maiores do que no sangue materno (TOMINAGA e MÍDIO, 1999).

O cloro, quando em contato com o organismo, causa interferências relacionadas à membrana celular do microrganismo, como alteração da permeabilidade, modificações e mutações dos ácidos nucleicos (WEF, 1996 apud GONÇALVES et al., 2003).

O cloro pode ser aplicado na forma de cloro gasoso, hipoclorito de sódio e hipoclorito de cálcio, demonstrado nas seguintes equações, na fase líquida (FERREIRA FILHO, 2017):



Nas três reações, nota-se a geração de ácido hipocloroso. Em razão de ser um ácido fraco, o mesmo se dissocia em fase líquida, o que possibilita a formação do íon hipoclorito (FERREIRA FILHO, 2017):

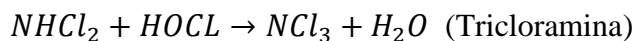
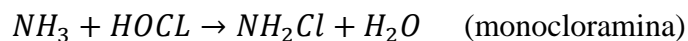


A soma das concentrações de íon hipoclorito e ácido hipocloroso é o que se chama de cloro livre (FERREIRA FILHO,2017):

$$\text{Cloro livre} = [\text{HOCL}] + [\text{OCL}^-]$$

O cloro pode agir também na forma de cloraminas, e na forma de dióxido de cloro. A ação de cloraminas ocorre quando existe amônia na água, o que desencadeia reações que formam monocloramina, dicloramina, tricloramina e tricloreto de nitrogênio, sendo que a soma destes compostos citados é denominada cloro residual combinado. As dicloraminas têm melhor efeito na inativação das bactérias, quando em comparação às monocloraminas; já as tricloraminas não apresentam efeito desinfetante (MEYER, 1994).

Howe et al. (2016) traz as reações da geração das cloraminas:



O dióxido de cloro é um substituto com forte poder oxidante, considerado mais efetivo na destruição de protozoários patogênicos, tendo como vantagem em relação ao cloro gasoso, o fato de as propriedades oxidantes e desinfetantes manterem-se praticamente intactas, mesmo numa faixa ampla de pH (LAPOLLI et al.,2005).

Liu et al. (2020) enfatiza em seu trabalho a possibilidade do uso de pré-oxidantes antes da cloração, com o objetivo de controlar a formação de subprodutos. O referido autor compara dois fortes oxidantes, sendo eles, o permanganato de potássio e o ferrato de potássio, e conclui que a taxa de redução de subprodutos foi baixa, mesmo utilizando alta dose de permanganato; já quanto ao ferrato, ele se torna mais eficaz na redução de produtos não desejados; porém, teve sua eficiência diminuída, quando em alta dosagem. O permanganato de potássio, além de atuar no controle de características organolépticas e remoção de metais como ferro e manganês, também é utilizado como pré-oxidante, atuando no controle dos trialometanos e outros subprodutos (Bryant, 1992 apud Rosalém et al., 2012). Esta última característica se dá devido ao fato de o permanganato reduzir a quantidade de matéria orgânica natural, antes da efetiva cloração.

O cloro, quando empregado como agente oxidante e desinfetante, apresenta uma relativa estabilidade na fase líquida, sendo que depois de certo tempo, sua concentração tende

a zero ou a valores constantes. Devido ao decaimento da concentração ao longo do tempo, é comum que a ETA adicione maior quantidade de cloro, para que se assegure a concentração de, no mínimo, 0,2 mg/L ao longo do sistema de distribuição. Não obstante, a coagulação pode ser utilizada na fase de inicial da cloração, pois quanto maior for a quantidade de matéria orgânica removida, menor será a demanda de cloro (FERREIRA FILHO; SAKAGUTI, 2008).

O potencial de geração de trihalometanos foi aproximadamente três vezes maior no processo, utilizando-se cloro na pré-oxidação, em vez do permanganato de potássio, enquanto a formação destes mesmos subprodutos foi 1,4 vezes maior, quando se utilizou o cloro ativo, ao invés do tratamento sem oxidação (ROSALÉM et al., 2012).

#### **2.4.2 RADIAÇÃO UV**

Segundo Wright e Cairnes (1988), citado por Libânio et al. (2002), a desinfecção por UV surgiu em 1878, sendo efetivamente implementada industrialmente em 1955, na Áustria e na Suíça, sendo que no ano de 1985, o número de instalações operando com essa tecnologia já era de 500 e 600, respectivamente, nos países citados. Assim, o processo de desinfecção por luz UV é conhecido há muito tempo. Esta é uma forma de desinfecção que não deixa residual químico na água após o tratamento, uma exigência da legislação atual, para garantir que uma contaminação posterior, na rede de distribuição, por exemplo, seja eliminada por meio do residual de desinfecção existente, sendo esta questão, uma desvantagem a seu favor.

Os fótons da luz UV reagem de forma direta com os ácidos nucleicos dos microrganismos, arruinando-os. O código genético, essencial para o desenvolvimento de todo organismo, é formado por ácidos nucleicos, sendo que estes se dão na forma de DNA ou RNA. Enquanto o DNA atua como banco de dados do organismo, o RNA atua nos processos metabólicos da célula. A luz UV, por sua vez, interfere no DNA. Essa interferência geralmente não é fatal, mas bloqueia uma posterior reprodução da cadeia (HOWE et al., 2016).

A aplicação de radiação UV e o contato com a água ocorrem através de sistemas de engenharia disponíveis pelos fabricantes. Os contadores são dispostos em uma pequena seção com lâmpadas UV tubulares instaladas paralelamente ou perpendicularmente ao fluxo. Dessa forma, a água passa pelas lâmpadas, que é iluminada pela luz UV, sendo desinfetada em alguns segundos (HOWE et al., 2016).

Ainda sobre a luz UV, Libânio et al. (2002) mencionam que “a radiação UV insere-se no rol dos processos físicos de desinfecção de águas de abastecimento, dos quais fazem parte

também a fervura e as radiações gama e solar”. Assim, a radiação UV não insere nenhum composto químico à água, quando de seu tratamento. O mesmo não ocorre na desinfecção com as variações por compostos à base de cloro. Para a produção de derivados de leite, como o queijo artesanal, a presença de residuais de cloro na água usada na produção afeta de modo negativo o processo bioquímico de fermentação, prejudicando a obtenção do produto.

Barroso e Wolf (2009) afirmam que “a formação de subprodutos é mínima, quando se emprega a radiação UV como agente desinfetante, porque este atua por meio físico, atingindo principalmente nos ácidos nucléicos dos microrganismos.” Complementando a ideia, Gonçalves et al.(2003) diz que a desinfecção por UV é uma opção barata e segura, pois não tem a presença de químicos tóxicos.

### **2.4.3 OZONIZAÇÃO**

O mecanismo de inativação do processo, conhecido como ozonização, se deve a seu forte potencial oxidante, sendo que este pode interromper a função da membrana celular do microrganismo e de atacar a camada de proteção do vírus (BRYANT et al., 1992, citado por MONTEIRO et al., 2005). O ozônio é o mais forte competidor do cloro para agente de desinfecção, sempre amplamente utilizado na Europa (RICHTER, 1991).

Para Gonçalves et al. (2003), “o ozônio age nos constituintes da membrana citoplasmática, nos sistemas enzimáticos e nos ácidos nucléicos dos microrganismos. Nos vírus, o ozônio ataca tanto as proteínas da célula como os ácidos nucléicos”.

O ozônio é um gás tóxico, gerado no próprio local de aplicação, devido à sua instabilidade. Como efeitos da ozonização, tem-se: a oxidação da matéria orgânica, melhoria da cor, redução das concentrações de metais como ferro e manganês, formação dos produtos biodegradáveis, utilizando-se de ácidos húmicos, fragmentação dos fenóis e remoção de orgânicos não-biodegradáveis (RICHTER, 1991).

A reação de desinfecção por ozonização é uma reação oxidativa, em que o ozônio é convertido em oxigênio e água, na medida em que os microrganismos vão sendo destruídos. O ozônio pode ser gerado por métodos diferentes como: eletrolítico, fotoquímico e radioquímico (HOWE et al., 2016).

O ozônio atua nos constituintes da membrana citoplasmática, nos sistemas enzimáticos e nos ácidos nucléicos dos microrganismos. O fato de esse gás ser instável e de alto potencial oxidante torna-o atrativo, já que sua instabilidade faz com que não se deixe residual prejudicial ao meio ambiente. Além disso, o ozônio é considerado mais poderoso, pois é



capaz de destruir também os vírus, que são mais resistentes (LAPOLLI et al., 2003). Quando a água apresenta íon brometo, podem ser formados, além de trihalometanos, aldeídos e ácidos (SINGER e ASCE, 1997, citado por PASCHOALATO et al., 2008).

Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS), o formaldeído origina-se da oxidação da matéria orgânica durante o processo de ozonização ou cloração. Todavia, as concentrações em que são encontrados durante a ozonização são bem menores do que as concentrações prejudiciais (FRANQUINI, 2010, citado por WHO, 1995).

Como desvantagem da ozonização, cita-se a dificuldade de ajustar o processo à grande variabilidade de vazão, sendo indicado às demandas, com pequenas mutabilidades. Outro ponto negativo é em relação ao custo, visto que o custo da ozonização é o dobro da cloração, devido ao alto custo de equipamentos para geração de ozônio e pelo consumo de energia elétrica. Em uma importante estação de tratamento de Amsterdam, por exemplo, a ozonização é usada em um primeiro momento, com o objetivo de oxidar os fenóis, destruir vírus e melhorar as características físicas da água, e depois se aplica a cloração (RICHTER, 1991).

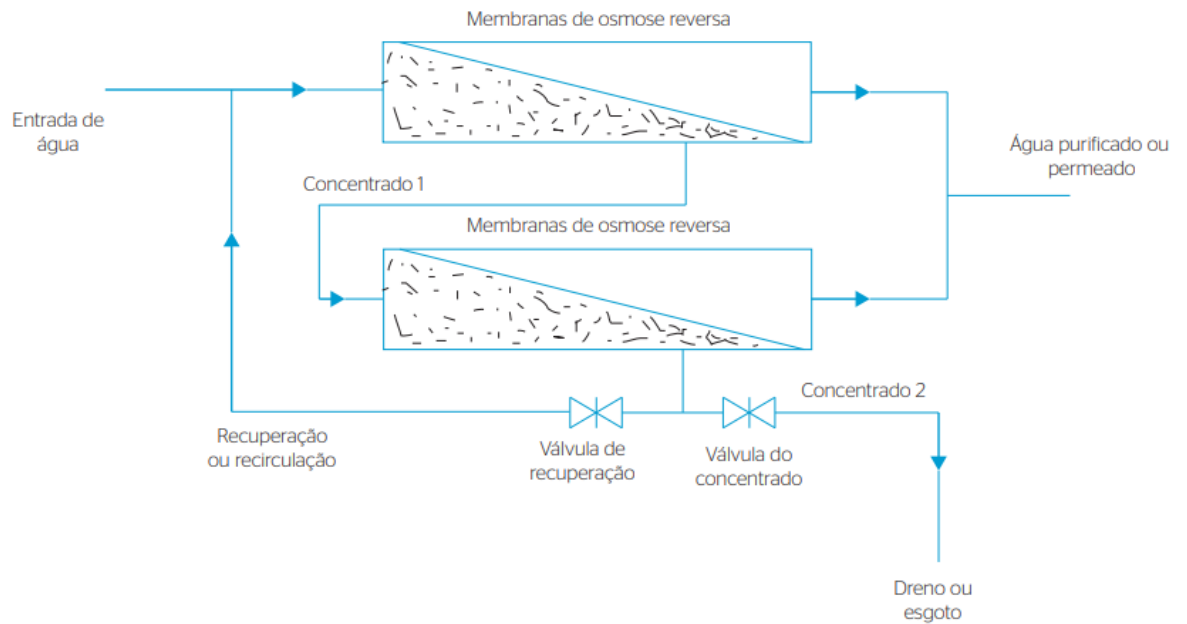
#### **2.4.4 TRATAMENTO POR MEMBRANAS**

Membranas são obstáculos seletivos, que dividem duas fases, bloqueando a passagem, total ou parcialmente, de compostos de uma fase para a outra (GHIGGI, 2011).

A vantagem da utilização de membranas para purificação da água por meio da osmose reversa, é que ela assegura uma destruição de 95 a 99% de partículas orgânicas, inorgânicas e microrganismos presentes (SILVA et al., 1996 apud FARIA, 2016).

Assim, a utilização do tratamento por membranas apresenta vantagens em relação ao processo convencional, como não necessitar de produtos químicos para remoção de contaminantes, exigência de menor espaço para instalação e por possuir características de operação mais simplificadas (MIERZWA, 2009).

**Figura 3 - Esquema simplificado de produção de água por osmose reversa**



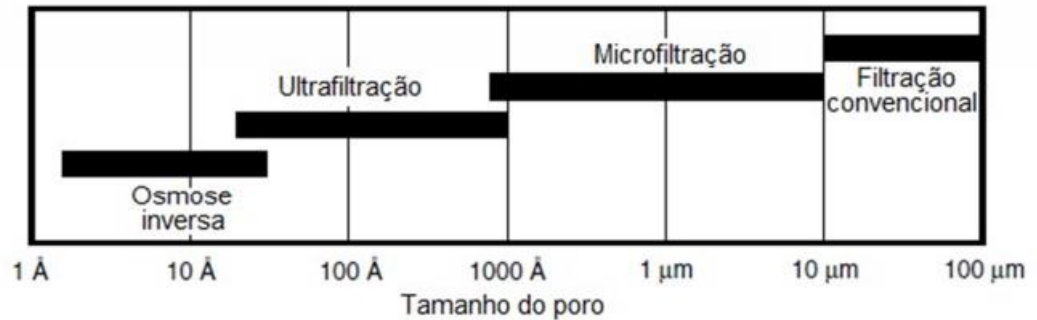
**Fonte: FARIA (2016)**

Dentre os processos de tratamentos por membranas, os que mais se destacam são a microfiltração, a ultrafiltração, a nanofiltração, a osmose reversa e a eletrodialise. O que distingue cada um é a aptidão de separação do contaminante e o tipo e intensidade da força motriz usada, para que ocorra tal processo. Na eletrodialise, a separação é alcançada através de uma diferença de potencial elétrico entre as membranas, que faz com que os contaminantes atravessem essa membrana. Já nos outros processos citados, a pressão hidráulica é usada para se obter a separação entre a água/contaminantes e a água que atravessa a membrana (MIERZWA, 2009).

Na osmose reversa, as membranas são exclusivamente densas; na nanofiltração, as membranas podem ser porosas ou densas, e na microfiltração e ultrafiltração, são utilizadas as porosas. Nos processos por membranas porosas, a filtração acontece essencialmente por exclusão de tamanhos, enquanto em membranas densas, a divisão se dá em função da afinidade entre os compostos das fases, com o material da membrana (Ghiggi, 2011).

Na figura 4, é demonstrada a forma dos diferentes tipos de separação, em função do tamanho do poro.

**Figura 4 - Comparação do tamanho de partículas com o tamanho de poros de membranas que utilizam o gradiente de pressão como força motriz**



Fonte: adaptado de BAKER (2004) apud GHIGGI (2011)

### 3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

São várias as formas de desinfecção de água e vários os fatores que devem ser considerados na escolha de uma dessas formas, de modo a suprir a necessidade de cada caso. Dentre estes fatores, citam-se custo, eficiência, estrutura necessária, manutenção, mão de obra específica, geração de subprodutos, dentre outros. Nessa pesquisa, foram apontadas algumas alternativas, relacionadas a esse processo.

A cloração é a alternativa de desinfecção predominante, pois possui características vantajosas em relação ao custo e tempo de aplicação e ao fato de ter deixar cloro residual em água, que é uma exigência da legislação. Já quanto à desvantagem, tem-se a geração de subprodutos como os trihalometanos, mas esta pode ser amenizada com a utilização de pré-oxidantes antes da cloração.

A opção pela ozonização mostra-se um forte concorrente da cloração, considerando-se a sua eficiência contra vírus, bactérias e até endósporos. O que prejudica sua aplicação é o seu custo, que é bem maior, quando em comparação com o da cloração. Além disso, a ozonização pode gerar bromato e não é indicado para aplicações que tenham grandes variações de vazão.

Assim como a ozonização, a radiação UV não deixa residual livre em água, o que faz com que seja adicionado este residual em água depois da desinfecção, para que a legislação seja atendida. Um dos principais benefícios da radiação por UV é a não geração de subprodutos indesejados.

Seguindo esse mesmo raciocínio, as membranas também são opções relevantes, já que são capazes de assegurar uma destruição significativa de partículas e microrganismos

presentes, não ocupam espaço e são de fácil aplicação. Elas também não deixam residual em água, apresentando grande vantagem, quanto a isso.

Diante da abrangência do assunto, nota-se ser impossível o esgotamento deste, o que evidencia a importância dar continuidade aos estudos, relacionados com os impactos dos subprodutos da desinfecção, para que a água, seja ela superficial ou subterrânea, tenha a melhor qualidade possível.

## REFERÊNCIAS

ANDREOLA, R.; BERGAMASCO, R.; GIMENES, M.; FILHO, B.; CONSTANTINO, A. (2005). **Formação de trihalometanos em uma estação de tratamento de água**. Acta Scientiarum-technology - ACTA SCI-TECHNOL. v27i2.1457. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/251067056\\_Formacao\\_de\\_trihalometanos\\_em\\_uma\\_estacao\\_de\\_tratamento\\_de\\_agua](https://www.researchgate.net/publication/251067056_Formacao_de_trihalometanos_em_uma_estacao_de_tratamento_de_agua) . Acesso em 16 de outubro de 2020.

BARROSO, L. B.; WOLFF, D. B. **Radiação ultravioleta para desinfecção de água**. Scientia. Série: Ciências Naturais e Tecnológicas, S. Maria, v.10, n.1, p- 1-13 2009. Disponível em: <https://www.periodicos.ufn.edu.br/index.php/disciplinarumNT/article/view/1250>>. Acesso em 04 de maio de 2020.

BITTENCOURT, C. **Tratamento de água e efluentes: fundamentos de saneamento ambiental e gestão de recursos hídricos**. São Paulo: Erica, 2014. ISBN 9788536509167. Disponível em: <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edsmib&AN=edsmib.000009818&lang=pt-br&site=eds-live>. Acesso em 18 de outubro de 2020.

BOTELHO, L. L. R.; CUNHA, C. C. DE A.; MACEDO, M. O MÉTODO DA REVISÃO INTEGRATIVA NOS ESTUDOS ORGANIZACIONAIS. Gestão e Sociedade, v. 5, n. 11, p. 121-136, 2 dez. 2011. Disponível em <https://www.gestoesociedade.org/gestoesociedade/article/view/1220>. Acesso em 03 de set de 2020.

BRASIL. Portaria de Consolidação nº5 de 28-09-2017. Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde. Disponível em: <<https://www.portalarquivos2.saude.gov.br/images/pdf/2018/marco/29/PRC-5-Portaria-de-Consolida---o-n--5--de-28-de-setembro-de-2017.pdf>>. Acesso em 04 de maio de 2020.

BRASIL. **Resolução RDC**. Anvisa, nº 275, de 22 de setembro de 2005.

FARIA, Paulo Gil Siqueira de et al . **Reaproveitamento do concentrado gerado por sistema de tratamento de água por osmose reversa em uma clínica de hemodiálise.** Eng. Sanit. Ambient., Rio de Janeiro , v. 21, n. 2, p. 329-336, Junho 2016 . Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S141341522016000200329&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S141341522016000200329&lng=en&nrm=iso) . Acesso em 18 de outubro de 2020.

DOS SANTOS, S. M.; GOUVEIA, N. **Presença de trihalometanos na água e efeitos adversos na gravidez.** Revista Brasileira de Epidemiologia. São Paulo: v. 14, n. 1, p. 106-119, 2011. Disponível em: < <http://www.scielo.br/pdf/rbepid/v14n1/10.pdf> . Acesso em 09 de setembro de 2020.

FERREIRA FILHO, S.S.; SAKAGUTI, M. **Comportamento cinético do cloro livre em meio aquoso e formação de subprodutos da desinfecção.** Eng. Sanit. Ambient., Rio de Janeiro , v. 13, n. 2, p. 198-206, June 2008. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S141341522008000200010&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S141341522008000200010&lng=en&nrm=iso)> . Acesso em 16 de outubro de 2020.

FERREIRA FILHO, S. S. **Tratamento de água:** concepção, projeto e operação de estações de tratamento. Rio de Janeiro: GEN LTC, 2017. ISBN 9788535287400. Disponível em: <https://www.search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edsmib&AN=edsmib.000017204&lang=pt-br&site=eds-live> Acesso em 18 de outubro de 2020.

FRANQUINI, P.E. **Estudo de formação e remoção de subprodutos da desinfecção, em águas de abastecimento com ácidos húmicos tratadas com cloro.** 2010. 161 p. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Campinas, SP. Disponível em: <http://www.repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/258649> . Acesso em 16 de agosto de 2020.

GHIGGI, F.F. **Tratamento de águas para consumo doméstico com membranas de ultra filtração.** 2011. Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação –Faculdade de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre - RS, 2011. Disponível em: < <http://www.hdl.handle.net/10183/38383>>. Acesso em 16 de outubro de 2020.

GONÇALVES, R. F.; HAANDEL, A. C. V.; CORAUCCI FILHO, B.; et al. **Desinfecção de efluentes sanitários.** [S. I: s.n.]. PROSAB, 2003. Disponível em:<<https://www.finep.gov.br/images/apoio-e-financiamento/historicodeprogramas/prosab/ProsabRicardo.pdf>>. Acesso em 04 de maio de 2020.

HOWE, K. J. ; et al. **Princípios de tratamento de água.** São Paulo: Cengage Learning, 2016. Disponível em: <https://www.search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edsmib&AN=edsmib.000011163&lang=pt-br&site=eds-live> . Acesso em: 18 de outubro de 2020.

KLEIN, F. R. Estudo Da Degradação Termomecânica E Fotooxidativa De Poli (Acrilonitrila Butadieno) Para Fins De Reciclagem Primária. Pós-Graduação Em Ciência E Engenharia De Materiais, Florianópolis, v. 1, n. 1, p. 14/15, mar. 2009. Disponível em: <<https://www.repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/93385/271862.pdf?sequence=1>> Acesso em 07 de maio de 2020.

LANDEIRO, G.M.B.; et al . **Revisão sistemática dos estudos sobre qualidade de vida indexados na base de dados SciELO.** Ciênc. saúde coletiva, Rio de Janeiro , v. 16, n. 10, p. 4257-4266, out. 2011 . Disponível em [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S141381232011001100031&lng=pt&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S141381232011001100031&lng=pt&nrm=iso) . Acesso em 09 de setembro de 2020.

LAPOLLI, F. R. ; et al . **Desinfecção de efluentes sanitários através de dióxido de cloro.** Eng. Sanit. Ambient., Rio de Janeiro , v. 10, n. 3, p. 200-208, Sept. 2005. Disponível em:[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S141341522005000300004&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S141341522005000300004&lng=en&nrm=iso) . Acesso em 16 de outubro de 2020.

LAPOLLI, F.R.; et al. Desinfecção de efluentes sanitários. [S. I: s.n.]. **PROSAB**, 2003. Disponível em: <https://www.finep.gov.br/images/apoio-e-financiamento/historico-de-programas/prosab/ProsabRicardo.pdf>. Acesso em 04 de maio de 2020.

LIBÂNIO, M.; SOUZA AGUIAR, A. M.; FERNANDES NETO, M. L.; BRITO, L. L. A.; DOS REIS, A. A.; MACHADO, P. M. R.; SOARES, A. F. S.; VIEIRA, M. B. C. M. **Avaliação do emprego da radiação ultravioleta na desinfecção de águas com turbidez e cor moderadas.** Engenharia ambiental e sanitária (UFMG), v.7, n.1, jan/mar 2002 e abr/jun 2002. Disponível em:<http://www.abes-dn.org.br/publicacoes/engenharia/resaonline/v7n12/v7n12a02.pdf> . Acesso em 04 de maio de 2020.

LIU, Z; et.al. **Comparison of different disinfection processes for controlling disinfection by-product formation in rainwater.** ELSEVIER, v.385, n.121618, Nov, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304389419315729> . Acesso em 16 de outubro de 2020.

MEYER, Sheila T.. **O uso de cloro na desinfecção de águas, a formação de trihalometanos e os riscos potenciais à saúde pública.** Cad. Saúde Pública, Rio de Janeiro , v. 10, n. 1, p. 99-110, mar. 1994. Disponível em [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0102311X1994000100011&lng=pt&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102311X1994000100011&lng=pt&nrm=iso) . Acesso em 03 set. 2020.

MIERZWA, José Carlos. **Desafios para o tratamento de água de abastecimento e o potencial de aplicação do processo de ultrafiltração.** 2009. Tese (Livre Docência em

Hidráulica e Saneamento Ambiental) - Escola Politécnica, University of São Paulo, São Paulo, 2009. doi:10.11606/T.3.2017.tde-01082017-113514. Acesso em 18 de outubro de 2020.

MONTEIRO, P.C.G; et al. **Viabilidade do uso da radiação solar na desinfecção da água.** Dissertação (Mestrado em tecnologia ambiental e recursos hídricos) – Universidade de Brasília, Brasília. Disponível em: <[http://www.65.182.2.246/docum/crid/CD\\_Agua/pdf/por/doc14605/doc14605.pdf](http://www.65.182.2.246/docum/crid/CD_Agua/pdf/por/doc14605/doc14605.pdf)>. Acesso em 16 de outubro de 2020.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU,2019). Disponível em: <<https://www.nacoesunidas.org/onu-1-em-cada-3-pessoas-no-mundo-nao-tem-acesso-a-agua-potavel/>> . Acesso em 04 de maio de 2020.

ORGANIZAÇÃO PAN-AMERICANA DA SAÚDE (OPAS). **Água e Saúde**, 30 de maio de 2001. Disponível em: [https://www.paho.org/bra/index.php?option=com\\_docman&view=download&alias=203-agua-e-saude-3&category\\_slug=saude-e-ambiente-707&Itemid=965](https://www.paho.org/bra/index.php?option=com_docman&view=download&alias=203-agua-e-saude-3&category_slug=saude-e-ambiente-707&Itemid=965) . Acesso em 16 de outubro de 2020.

PARANÁ. Lei nº 17278, de 01 de agosto de 2012. **Estabelece VMP para trihalometanos e ácidos haloacéticos.** Diário Oficial do Estado. Disponível em: <<https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=244211>>. Acesso em 16 de outubro de 2020.

PASCHOALATO, C. F. P. R.; TRIMAILOVAS, M. R.; DI BERNARDO, L. **Formação de subprodutos orgânicos halogenados nas operações de pré-oxidação com cloro, ozônio e peroxônio e pós-cloração em água contendo substância húmica.** Eng. Sanit. Ambient., Rio de Janeiro , v. 13, n. 3, p. 313-322, Set. 2008. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S141341522008000300011&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S141341522008000300011&lng=en&nrm=iso) . Acesso em 20 de setembro de 2020.

RICHTER, C. A. **Tratamento de água:** tecnologia atualizada. São Paulo: Blucher, 1991. ISBN 9788521217404. Disponível em: <https://www.search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edsmib&AN=edsmib.000016204&lang=pt-br&site=eds-live> . Acesso em 18 de outubro de 2020.

ROSALÉM, S.F.; AGRIZZI,A.D.;CARDOSO, M.C.M.C.;COELHO, E.D.C. **Avaliação de trihalometanos formados na etapa de préoxidação com cloro e permanganato de potássio em água de abastecimento.** Revista DAE, Vitória – ES. v., n.191, p. 54-59, Jan-abr, 2013. Disponível em: < <http://www.doi.editoracubo.com.br/10.4322/dae.2014.100>>. Acesso em 16 de outubro de 2020.

SOUTO, J.P; LIRA, A. G. S; FIGUEIRA, J.S; et al. **Poluição fecal da água:** microrganismos indicadores. In: Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, VI, 2015, Porto Alegre. IBEAS 2015. Disponível em: <https://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2015/VIII-009.pdf>. Acesso em 04 de maio de 2020.

TOMINAGA, Maria Y; MIDIO, Antonio F. **Exposição humana a trihalometanos presentes em água tratada.** Rev. Saúde Pública, São Paulo , v. 33, n. 4, p. 413-421, Aug. 1999 . Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0034-89101999000400013&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-89101999000400013&lng=en&nrm=iso) . Acesso em 16 de outubro de 2020.

VALÉRIO, V. S; SOUZA, V. F. C.; ANDREOLA, R. **Segurança alimentar em águas de abastecimento:** análise físico-química e microbiológica de águas de poço tubular. In: XI EPCC Encontro Internacional de Produção Científica Unicesumar. 2019, Maringá. Anais Eletrônico. Maringá: Centro Universitário Unicesumar. 2015.

WISBECK, E; et al. **Desinfecção de água de chuva por radiação ultravioleta.** Eng. San. Ambient. Rio de Janeiro, v.16, n.4, p. 337-342, Dez. 2011. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S141341522011000400004&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S141341522011000400004&lng=en&nrm=iso)> . Acesso em 04 de maio de 2020.