

Técnicas Simplificadas de Tratamento de Água

Lima, J. P. M.; Rollemberg, S. L. S.*

Rev. Virtual Quim., 2020, 12 (2), 00-00. Data de publicação na Web: 3 de abril de 2020

<http://rvq.sbq.org.br>

Simplified Water Treatment Techniques

Abstract: Water is an essential element to human survival however if it is to direct consumption it is necessary the treatment aiming to avoid health problems that can occur from low quality water intake. The water treatment technologies can be divided in three main groups, which are: simplified systems, conventional systems, and advanced treatment systems. The simplified modalities are process with low cost that uses natural resources, besides present operational simplicity. In this context it is know that many residents of rural communities located in the Brazilian semiarid travel long distances to obtained water with bad quality and high turbidity, so this paper has the objective to present treatment techniques that can be applied in these communities, which don't have water supply systems. For such it were presented simplified techniques of coagulation and flocculation through natural products, like chitosan, *Moringa oleifera*, vegetable tannins and Tanfloc. Moreover, it were explained alternatives ways of filtration and disinfection, which culminates in the understanding of the techniques showed here are simple, can be applied to water of direct consumption, even with bad quality; are versatile, have low cost, and are efficient in the treatment.

Keywords: Simplified treatment systems; natural coagulants and flocculants; alternative forms of filtration and disinfection.

Resumo

A água é um elemento essencial para a sobrevivência humana, porém, para consumo direto, é necessário que seja feito tratamento, visando a evitar os problemas de saúde oriundos de uma ingestão de água de baixa qualidade. As tecnologias de tratamento de água podem ser divididas em três principais grupos, sendo eles: sistemas simplificados, sistemas convencionais e sistemas avançados de tratamento. As modalidades simplificadas são processos de baixo custo e que fazem uso de recursos naturais, além de apresentar simplicidade operacional. Nesse contexto, sabe-se que muitos moradores das comunidades rurais localizadas no semiárido brasileiro são obrigados a percorrer grandes distâncias para a obtenção de água de péssima qualidade e de turbidez muito elevada, tendo o atual trabalho o objetivo de apresentar técnicas de tratamento que podem ser aplicadas nessas comunidades desprovidas de sistemas de abastecimento de água. Para tal, foram apresentadas técnicas simplificadas de coagulação e floculação, por meio de produtos naturais, como quitosana, *Moringa oleifera*, taninos vegetais e Tanfloc. Ademais, foram explicadas formas alternativas de filtração e desinfecção, culminando no entendimento de que as técnicas aqui apresentadas são simples, aplicáveis a águas para consumo direto, mesmo com pior qualidade; versáteis, de baixo custo e eficientes no que tange ao tratamento.

Palavras-chave: Sistemas simplificados de tratamento; coagulantes e floculantes naturais; formas alternativas de filtração e desinfecção.

* Universidade Federal do Ceará, Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Av. Mister Hull, s/n, Bloco 713, Pici, CEP 60455-760, Fortaleza-CE, Brasil.

 silviorollemberg@gmail.com
DOI: [10.21577/1984-6835.20200036](https://doi.org/10.21577/1984-6835.20200036)

Técnicas Simplificadas de Tratamento de Água

João Pedro Machado de Lima, Silvio Luiz de Sousa Rollemberg*

Universidade Federal do Ceará, Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Av. Mister Hull, s/n, Bloco 713, Pici, CEP 60455-760, Fortaleza-CE, Brasil.

*silviorollemberg@gmail.com

Recebido em 29 de Agosto de 2019. Aceito para publicação em 24 de Março de 2020

1. Introdução
2. Operações Unitárias no Tratamento de Água
3. Técnicas Simplificadas de Coagulação/Floculação
 - 3.1. Fundamentos da coagulação
 - 3.2. Fundamentos da floculação
 - 3.3. Produtos naturais utilizados como coagulantes e floculantes
4. Modalidades Alternativas de Filtração
 - 4.1. Filtração lenta de areia
 - 4.2. Sistema de dupla filtração
 - 4.3. Filtração em múltiplas etapas (FIME)
 - 4.4. Filtração utilizando zeólitas
5. Modalidades Alternativas de Desinfecção
 - 5.1. Desinfecção por radiação solar
 - 5.2. Desinfecção por clorador de pastilha
6. Conclusão

1. Introdução

A água é um elemento indispensável para a sobrevivência humana, no entanto, esta pode conter uma diversidade de compostos que, quando ingeridos, podem causar danos à saúde. Portanto, a água bruta, seja ela advinda de manancial superficial ou subterrâneo, necessita de operações que garantam a remoção de poluentes, atendendo ao padrão de potabilidade

descrito na portaria de consolidação Nº 05 de 2017 do Ministério da Saúde.¹

As tecnologias de tratamento de água podem ser divididas em três principais grupos, sendo eles: sistemas simplificados de tratamento, sistemas convencionais e os sistemas avançados de tratamento. Os sistemas simplificados de tratamento de água utilizam processos de baixo custo e, por vezes, fazem uso de recursos naturais, sendo conhecidos pela sua simplicidade operacional. Já os sistemas convencionais,

baseiam-se em rotas de tratamento já consolidadas, citando os sistemas de filtração em linha, filtração direta, dupla filtração e filtração completa ou convencional. Nos sistemas de tratamento avançado, citam-se as tecnologias emergentes de tratamento, destacando as membranas de filtração, os processos oxidativos avançados e outros.

Embora no Brasil haja a predominância dos sistemas convencionais nas ETAs, sabe-se que há muitas regiões, especialmente as localizadas em áreas rurais, onde não há abastecimento de água. Os dados mais recentes divulgados pelo SNIS (2016) mostram que, aproximadamente, 20 % da população brasileira não possui sistema de abastecimento de água. Devido a isso, muitos moradores das comunidades rurais localizadas no semiárido Brasileiro são obrigados a percorrer grandes distâncias para a obtenção de água de péssima qualidade e de turbidez muito elevada.²

Além do problema citado acima, observa-se que muitas das ETAs em operação não são sustentáveis, tanto do ponto de vista ambiental quanto do econômico, pois, na concepção delas, foi avaliado apenas o aspecto tecnológico, sendo desprezadas as questões ambientais e sociais. Em consequência, observa-se ETAs com: (i) elevados custos energéticos; (ii) alta demanda de insumos químicos; (iii) complexidade operacionais e manutenção que, as vezes, exigem mão de obra especializada, que não pode ser suprida por profissionais residentes nas regiões próximas à planta; (iv) elevados custos de implantação, o qual pode tornar a planta inviável para determinadas comunidades.

A partir dessas dificuldades, percebe-se a importância de sistemas de tratamento de água simplificados, os quais sejam ambientalmente adequados, economicamente viáveis e socialmente aceitos.

Nesse contexto, esse trabalho apresenta técnicas de tratamento que podem ser aplicadas em comunidades desprovidas de sistemas de abastecimento de água, visando ao tratamento simplificado da água. Deve-se ressaltar que a terminologia “simplificada” não significa a obtenção de água fora do padrão de potabilidade, mas sim o uso de processos de menor desenvolvimento tecnológico, que possibilitem a produção de água tratada com atendimento aos padrões de potabilidade.

2. Operações Unitárias no Tratamento de Água

O fluxograma das estações de tratamento de água é composto através de operações unitárias, as quais são definidas através das características da água bruta. No entanto, deve ser destacado que o padrão de potabilidade exige que toda água destinada ao consumo humano deve atender a condições mínimas de qualidade para que, assim, possa ser ingerida diretamente ou com fins de higienização, sendo necessário passar por processo de tratamento.³

Considerando um sistema completo ou convencional de tratamento, observa-se que o mesmo é composto por 5 (cinco) principais etapas de tratamento, sendo estas: Coagulação, Floculação, Sedimentação, Flotação, Filtração e Desinfecção.

Nesse trabalho, serão apresentadas alternativas simplificadas para as etapas citadas, avaliando os métodos tradicionais e as vantagens e desvantagens das técnicas simplificadas.

3. Técnicas Simplificadas de Coagulação/Floculação

3.1. Fundamentos da coagulação

A maioria das partículas suspensas na água possui carga negativa, por conta disso há uma atração desses colóides aos íons dissolvidos na água de carga positiva (K^+ , Na^+ e outros). Quando os íons positivos são atraídos pelas partículas suspensas (colóides), ocorre a formação de uma camada “rígida” e compacta denominada camada de Stern. Ao redor dessa camada positiva, há a formação de subcamadas (cargas de sinal diferente se atraindo). Essa segunda camada é chamada de difusa e sua espessura depende da concentração de íons na camada compacta (Stern). Quando dois colóides semelhantes se aproximam um do outro, ocorre interação entre as camadas difusas, fazendo com que haja repulsão em decorrência da força eletrostática entre os mesmos, fenômeno denominado de “teoria da dupla camada” o qual está apresentado na Figura 1.

Devido à estabilização das partículas (mostrado acima), é necessária a adição de

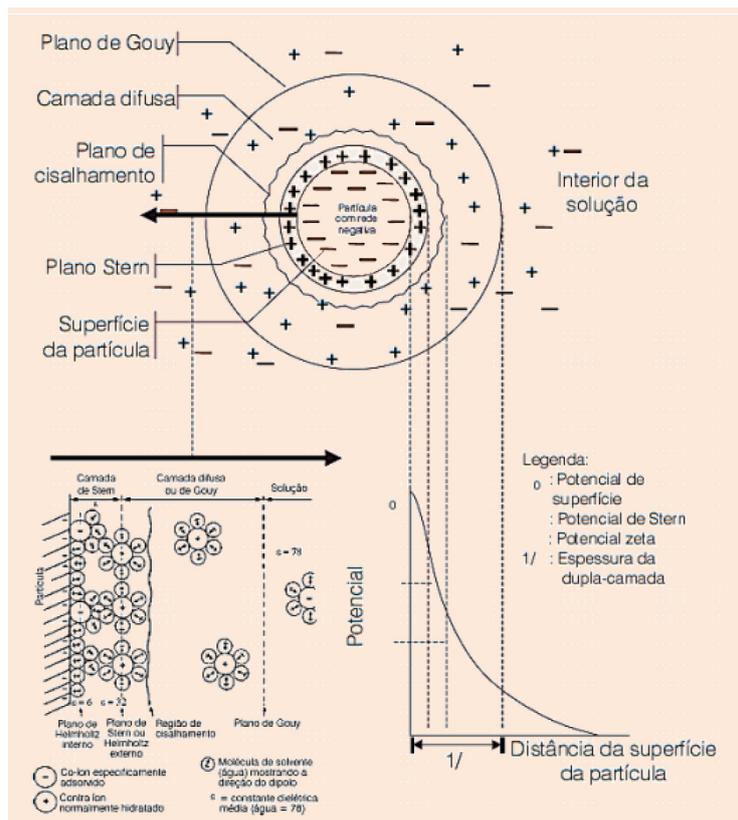


Figura 1. Teoria da dupla camada.⁴

compostos químicos que eliminem ou reduzam as cargas elétricas dos coloides, de forma que estes possam se agregar formando flocos maiores que possam sedimentar. Dessa forma, a coagulação é o processo químico que atua principalmente nas partículas em suspensão visando o aumento da taxa com que os coloides se agregam.⁵

Os coagulantes podem ser divididos em 2 (dois) principais grupos: polieletrólitos (polímeros, ex: policloreto de alumínio) e coagulantes metálicos (sulfato de alumínio, sulfato férrico e cloreto férrico). Nos polieletrólitos, as cadeias poliméricas já estão formadas quando colocadas em água. Por outro lado, os coagulantes metálicos, ao entrar em contato com a água, passam por uma etapa de hidrólise e os íons carregados positivamente (ferro, alumínio ou outros) são liberados no meio. Em seguida, ocorre o transporte das espécies hidrolisadas para o contato com as impurezas, etapa denominada de mistura rápida.⁶

Quando o coagulante é colocado na presença dos coloides podem ocorrer 4 (quatro) mecanismos de desestabilização: (1) compressão da dupla camada; (2) adsorção e neutralização de cargas; (3) varredura e (4) adsorção e formação de pontes. Ressalta-se que a coagulação pode

ocorrer como resultado individual ou combinado (geralmente) desses mecanismos.⁶

3.1.1. Compressão da dupla camada

O mecanismo da compressão da dupla camada ocorre quando se utiliza coagulantes com íons de cargas contrárias, principalmente os íons de elevada carga positiva (ex. Fe^{3+} e Al^{3+}). O nome “compressão da dupla camada” se dá justamente pela ação dos íons, os quais atravessam a camada difusa e a camada compacta (ver Figura 1), reduzindo assim o potencial zeta e a espessura da dupla camada, permitindo assim a aproximação das partículas.

3.1.2. Adsorção-neutralização de cargas

Esse mecanismo realiza-se quando os cátions metálicos na forma de sais são adicionados à água, levando à formação de espécies solúveis hidrolisadas. Esses compostos serão adsorvidos pelos coloides e posteriormente serão neutralizados devido à diferença de cargas. Atenção especial deve ser dada a esse

processo, pois, caso seja adicionado uma elevada quantidade de sais de cátions metálicos, pode acontecer o fenômeno chamado de “reversão de cargas”, isto é, os colóides passam a ter carga positiva e continuam a se repelir.

Ressalta-se ainda a importância da adsorção-neutralização de cargas quando se utiliza o tratamento de água através da filtração direta (coagulação seguido dos filtros), pois é necessário, nessa rota de tratamento, que se formem aglomerados (partículas) desestabilizados a serem retidos no meio granular pelos filtros rápidos.

3.1.3. Varredura

O processo de coagulação por varredura geralmente ocorre quando há dosagens elevadas de sais de alumínio e ferro, comumente maiores do que a concentração de saturação dos respectivos hidróxidos, ocasionando assim a formação de precipitados de alumínio ou de ferro (hidróxidos metálicos). Os precipitados possibilitam a formação de flocos desestabilizados que sedimentam com velocidade superior aos flocos formados pelos demais mecanismos. Por conta disso, quando se utiliza a rota de tratamento por ciclo completo, é favorável que ocorra esse mecanismo, visando à formação de flocos de maior velocidade de sedimentação para facilitar a remoção dos sólidos no tanque de sedimentação.

Importante citar que a formação dos precipitados depende da quantidade de coagulante adicionado, do pH da mistura e da concentração de alguns tipos de colóides na água, poderá ocorrer a formação de precipitados do tipo $\text{Al}(\text{OH})_3$ ou $\text{Fe}(\text{OH})_3$ (hidróxidos metálicos).

3.1.4. Adsorção e formação de pontes

Esse mecanismo ocorre quando são adicionados polímeros (naturais ou sintéticos) de grandes cadeias moleculares, os quais servem de ponte entre a superfície à qual estão aderidos e outras partículas.

Nesse mecanismo, observa-se que, quando o polímero adere a um colóide, ocorre a desorção da água superficial ligada ao colóide, verifica-se, então, a neutralização da carga e a aglomeração com outras partículas. Como resultado, tem-se a formação de flocos capazes de liberar água mais facilmente.

3.2. Fundamentos da floculação

A floculação é a etapa em que a formação dos flocos é otimizada, ressaltando que o processo de aglomeração dos colóides ocorre imediatamente após a estabilização destes (coagulação), no entanto, caso se queira formar flocos de maior tamanho e densidade, é recomendada uma etapa voltada apenas para formação dos flocos.

Como se sabe, a coagulação é realizada através de métodos de mistura rápida em que o coagulante é disperso na água de tratamento. Por outro lado, o processo de floculação se inicia com a agitação menos intensa (mistura lenta), visando o encontro entre as partículas menores para formar agregados maiores ou flocos e, simultaneamente, evitar que, com o aumento do tamanho dos flocos, as forças de cisalhamento possam causar sua ruptura.⁷

Segundo Libânio (2005), as colisões entre as partículas são resultados de 3 (três) mecanismos: (i) movimento Browniano (floculação pericinetica), das (ii) diferenças de velocidade das linhas de corrente do fluido em escoamento (floculação ortocinetica) e das (iii) distintas velocidades de sedimentação dos flocos (sedimentação diferencial).⁸

- I. Floculação pericinetica: Esse mecanismo ocorre devido à energia térmica do fluido, ocasionando o movimento Browniano (aleatório) das partículas coloidais de dimensão menor a $1 \mu\text{m}$. Essa fase se inicia logo após a desestabilização das partículas e termina em segundos, ocorrendo assim os primeiros choques.⁹
- II. Floculação ortocinetica: Nesse tipo de floculação, é necessária a introdução de energia externa (mecânica) que fomenta a aglutinação das partículas desestabilizadas e dos microflocos. As partículas maiores são mais susceptíveis a esse mecanismo, o qual é criado pelas diferenças de velocidades dentro do líquido. A floculação ortocinetica é o mecanismo no qual pode haver controle. Os parâmetros gradiente de velocidades e tempo de residência permitem o controle da eficiência. Assim, esse é o único mecanismo que pode ser alterado para poder melhorar a operação.
- III. Floculação por sedimentação diferencial: Devido a não uniformidade e densidade dos flocos formados, ocorrem diferentes velocidades de sedimentação, o que

ocasiona choque entre os flocos e um maior crescimento destes. A taxa de floculação por sedimentação diferencial é maximizada quando as partículas possuem tamanho e massa específicos altos, bem como elevada diferença entre seus tamanhos.¹⁰

Quando se busca a melhoria do processo de floculação, geralmente utiliza-se floculantes, polímeros sintéticos orgânicos solúveis em água, que costumam ser derivados de matérias-primas não renováveis. Esses polímeros podem ser classificados em catiônicos, aniônicos, anfóteros e não iônicos.

Os polímeros catiônicos podem ser usados sem a aplicação de coagulantes (para águas com elevada turbidez), pois podem reduzir o potencial zeta, atuando tanto na coagulação como na floculação. Por outro lado, os polímeros aniônicos e não iônicos não possuem as características de redução do potencial zeta, mas apresentam grande poder de floculação quando aplicado em águas que já passaram por etapa de neutralização de carga dos colóides.

Importante citar que uma pequena dosagem de floculantes (polímeros) pode reduzir bastante o consumo de coagulantes, com significativa melhoria na decantação e filtração. Além dessas vantagens, cita-se também a redução do volume de lodo gerado nos decantadores.

3.3. Produtos naturais utilizados como coagulantes e floculantes

As desvantagens e malefícios de coagulantes a base de sais inorgânicos e floculantes poliméricos sintéticos, aliados à necessidade de técnicas simplificadas de tratamento de água, vem ocasionando o aumento do uso de coagulantes e floculantes naturais. Esses produtos apresentam várias vantagens em relação aos químicos por serem biodegradáveis e não tóxicos, além de produzirem lodo em menor quantidade e com menores teores de metais.¹¹

Como se sabe, os resíduos gerados nos processos de coagulação e floculação são ricos em hidróxidos metálicos não biodegradáveis. O lodo obtido ao final do processo apresenta potencial ecotoxicológico e necessita de tratamento e disposição ambientalmente correta, pois concentra diversos componentes orgânicos e inorgânicos. Aliado a isso, cita-se que 11 % de todo o alumínio presente na água, o qual

geralmente é advindo do uso de coagulantes a base de alumínio, permanece como residual após o tratamento, sendo transportado pela rede de distribuição. Ressalta-se que este metal está correlacionado com doenças neurodegenerativas, como Parkinson e Doença de Alzheimer, bem como doenças de coordenação motora. Encefalopatias, demência e distúrbios neurológicos são as principais manifestações fisiológicas observadas que indicam a neurotoxicidade crônica do alumínio sobre o sistema nervoso.^{12,13}

Os polímeros floculantes também apresentam desvantagens do ponto de vista sanitário. Monômeros residuais, resultantes do processo de polimerização industrial ou de sua degradação natural, podem ser liberados nas águas e tornarem-se contaminantes preocupantes. Um exemplo é a acrilamida, utilizada como matéria-prima para fabricação de floculantes. Essa substância é classificada como uma substância provavelmente carcinogênica em humanos (grupo 2A), segundo a Agência Internacional de Pesquisa sobre o Câncer (IARC).¹⁴

Nesse contexto, Teixeira et al. (2017) elaboraram um estudo comparativo entre coagulantes naturais frente aos inorgânicos e sintéticos. Dentre as vantagens dos produtos naturais, os autores citaram: (i) alta disponibilidade dos coagulantes e floculantes naturais, os quais costumam ser derivados de resíduos de frutas, especiarias e subprodutos da indústria alimentícia (Choy et al., 2014; Oladoja et al., 2015); (ii) diminuição de até cinco vezes do volume de lodo gerado no processo; (iii) baixa corrosividade sobre o sistema de distribuição; (iv) em geral, não apresentam riscos à saúde humana e animal, diferentemente dos compostos utilizados atualmente os quais são a base de alumínio; (v) reduzem custos e perigos nos processos de tratamento de água; e (vi) estimulam o desenvolvimento de tecnologias ambientalmente sustentáveis.¹⁵⁻¹⁷

Diante das perspectivas promissoras do uso de coagulantes e floculantes naturais no tratamento de água, são apresentados abaixo os principais produtos naturais reportados na literatura que podem ser utilizados em sistemas de tratamento alternativos.

3.3.1. Quitosana

Segundo Fávere (1994), a Quitosana (QTS) é um biopolímero derivado da quitina (segundo

polímero mais abundante na natureza), por uma reação de hidrólise alcalina. Com relação as características e propriedades da QTS, cita-se que este é um polímero linear de alto peso molecular.¹⁸

No âmbito do tratamento de água, a quitosana tem sido empregada como adsorvente de poluentes específicos, como metais, corantes e outros. No entanto, a alternativa de maior atratividade de aplicação da QTS tem sido como coagulante/floculante por ser um polieletrólito catiônico. Dessa forma, o uso de QTS pode ser realizado como coagulante/floculante ou até mesmo como um polieletrólito auxiliar, nesse caso é utilizado o biopolímero em conjunto com coagulantes inorgânicos (como o sulfato de alumínio), visando à redução das dosagens de coagulantes metálicos e a redução de lodo gerado, além de outras vantagens.

Júnior e Abreu (2018), afirmaram que esse biopolímero pode ser utilizado em dosagens bem menores (0,2-0,5 mg.L-1) do que os coagulantes a base de sais inorgânicos. Ademais, os autores ressaltaram que esse polímero não consome alcalinidade natural das águas e promove a formação de flocos maiores e mais densos, favorecendo a velocidade de sedimentação e a redução do tempo de estabilização do sistema.¹⁹

Além das vantagens citadas, cita-se que o lodo gerado no uso de QTS é rico em matéria orgânica, podendo ser degradado naturalmente por microrganismos (biodegradável). Com relação ao volume de lodo produzido, este é bem menor do que o volume gerado quando se utiliza coagulantes a base de alumínio.²⁰

Os estudos aplicando a QTS no tratamento de água apresentaram resultados animadores. Zemouri et al. (2013) observou que a quitosana foi capaz de reduzir em 85 % a turbidez de uma água natural bruta a ser utilizada para abastecimento. Quando combinada a coagulantes a base de alumínio, a eficiência aumentou para 97 % de redução de turbidez. Spinelli (2001) conseguiu uma remoção de, aproximadamente, 95 % de turbidez, por meio do uso de QTS. Além disso, a autora salientou outra vantagem do uso da quitosana em relação ao sulfato de alumínio citando que o lodo proveniente do tratamento com QTS pode ser direcionado diretamente para um aterro sanitário convencional, enquanto que no tratamento com sulfato de alumínio o resíduo final tem que ser disposto em aterro sanitário industrial.^{21, 22}

Além do uso no tratamento de água, destaca-se que a quitosana também pode ser aplicada como coagulante no tratamento de esgoto (nesse caso, em rotas físico-químicas). Vaz (2009), por exemplo, utilizou quitosana no tratamento de efluentes gerados na indústria da galvanoplastia, apresentando remoção de cor em 98,68 % e 99,44 % de turbidez. O autor concluiu que, apesar de o custo ser um pouco maior que os demais coagulantes (químicos), a necessidade de uma baixa dosagem o torna mais adequado ambientalmente, além da sua biodegradabilidade já salientada.²³

Em contrapartida, as desvantagens do uso da QTS se devem a baixa solubilidade em água, o que pode limitar a eficiência dessa substância e também se citam os problemas relacionados ao excesso da quitosana no tratamento de água, pois pode promover a reestabilização das partículas coloidais (tornando-as carregadas positivamente) e aumento da concentração de matéria orgânica na água tratada, tornando-se um problema devido à possibilidade da formação de subprodutos de desinfecção quando em contato com o cloro residual comumente utilizado como agente desinfetante.

3.3.2. *Moringa oleifera*

Moringa oleifera é uma espécie arbórea, pertence à família Moringaceae, composta por um gênero (*Moringa*) e quatorze espécies, nativa do noroeste indiano e pode ser encontrada em vários países dos trópicos. É uma árvore de grande porte variando em altura entre 5 a 12 m (Figura 2).²⁴

As sementes de moringa ficam acondicionadas no interior da vagem em conchas fechadas que se abrem quando maduras (VERSIANI, 2008), também possuem crescimento rápido e boa adaptação à seca (CARDOSO et al., 2008). Uma árvore de moringa produz em média 2000 vagens por ano, as sementes obtidas como frutos da moringa podem ser utilizadas para clarificação e remoção de microrganismos de águas destinadas ao consumo humano.^{26, 27}

Cardoso et al. (2008) ainda chegaram a concluir que a *Moringa oleifera* apresentou-se promissora na coagulação e floculação de água potáveis, por ter sido eficiente na remoção de cor e turbidez.²⁷

As sementes de moringa, figura 3, possuem cerca de 40 % de massa composta por óleos e proteínas catiônicas, responsáveis pelo efeito coagulante,



Figura 2. Árvore de Moringa oleifera.²⁵

atuando no mecanismo de neutralização de cargas e formação de pontes. A presença da proteína catiônica de alto peso molecular desestabiliza as partículas presentes na água e flocula os colóides, assim o processo de coagulação/floculação provocado pela proteína existente na polpa da Moringa oleifera age de maneira semelhante ao mecanismo provocado pelos polieletrólitos, polímeros originários de proteínas e polissacarídeos de origem sintética ou vegetal.

As eficiências apresentadas pelo uso da semente de moringa têm sido bastante elevadas para remoção de cor e turbidez, geralmente acima de 90%. O uso da semente de *Moringa oleifera* em conjunto com sistemas de filtração pode ser uma alternativa eficaz na remoção de microrganismos presentes em águas, principalmente tratando-se de protozoários como oocistos de *Cryptosporidium* e de *Giardia*, como comprovado por Nishi et al. (2011), os quais conseguiram eliminar em mais de 90% os oocistos desses microrganismos.^{28, 29}

Na coagulação com a *Moringa oleifera*, deve-se utilizar sementes maduras e secas. Para obtenção das sementes, devem ser removidas as vagens e as “asas” das sementes para, em seguida, ocorrer a trituração até a formação de um “pó” de semente, o qual é misturado com a água a ser coagulada/floculada. A quantidade necessária de semente depende de quanta impureza que a água pode vir a conter. No tratamento de 10 L (dez litros) de água bruta, em média, são necessárias cerca de 1 g (um grama) de semente triturada.

Dentre as vantagens em se utilizar a semente de moringa na coagulação, cita-se a comumente boa remoção de turbidez, não toxicidade das sementes, capacidade de remoção de microrganismos (citando também a *E. coli*), pouca ou nenhuma alteração do pH e menor geração de lodo (cerca de 4 a 5 vezes menor) quando comparado com sais inorgânicos, além desses resíduos gerados serem biodegradável.



Figura 3. Sementes de moringa. – Fonte: ARANTES, 2014.

3.3.3. Taninos vegetais

O nome “Tanino” é um termo técnico que se refere a compostos orgânicos vegetais, sendo extraído da casca de vegetais como da *Acacia mearnsi* de Wildemann (acácia negra). Segundo Silva (1999), os taninos podem ser definidos como moléculas com propriedade coagulante, reduzindo, assim o potencial zeta dos colóides e permitindo a formação de flocos.³⁰

Os taninos apresentam uma característica muito positiva para os processos de coagulação e floculação que é a capacidade de formar, com macromoléculas (proteínas, por exemplo) e sais minerais, um complexo forte, o que é útil no que tange à precipitação desses.³¹

Os polímeros catiônicos à base de taninos apresentam diversas vantagens quando comparados aos coagulantes inorgânicos tradicionais: não alteram o pH da água tratada por não consumirem a alcalinidade do meio, ao mesmo tempo que são efetivos numa ampla faixa de pH (4,5-8,0) (SILVA, 1999; BARRADAS, 2004), reduzem o volume de lodo gerado, que é biodegradável, e solubilizam em água fria. Outra característica dos taninos é sua capacidade de adsorver metais dissolvidos, pois estes possuem a capacidade de aglutinarem com os metais e assim precipitarem.^{30,32}

Os resultados de eficiência com o uso de Taninos têm sido muito próximos aos obtidos por coagulantes sintéticos. Skoronski et al. (2014) apresentaram resultados positivos nesse aspecto, quando utilizando taninos no tratamento de água captada de um rio. Na pesquisa, o tanino eliminou a necessidade de aplicação de alcalinizantes (reduzindo o volume de lodo gerado), por ter deixado o pH numa faixa ótima; não variou a condutividade elétrica das amostras; e removeu sólidos suspensos, por ter aumentado o diâmetro dos contaminantes, o que o comprova sendo um ótimo fator no processo de floculação.³¹

Também é importante ressaltar que diversos autores têm observado que esse coagulante tem sido considerado o coagulante natural de melhor desempenho dentre os naturais.

3.3.4. Tanfloc

O Tanfloc é um polímero orgânico-catiônico natural de baixo peso molecular, que apresenta coloração escura e elevada viscosidade.³³

Esse elemento colabora de diferentes formas nos processos de coagulação e floculação. Com relação às características físico-químicas, ele atua formando um floco de forma irregular, com maior área de contato em relação ao formado pelo uso do sulfato de alumínio, o que resulta em maior eficiência na clarificação, além de garantir menor cor e turbidez ao final do tratamento.⁶

Coral et al. (2009) foram capazes de fazer uma comparação direta entre a coagulação com Tanfloc e sulfato de alumínio. Ambos apresentaram resultados eficientes no tratamento, entretanto o primeiro apresentou características distintas na forma de tratar, as quais se citam: não alteração do pH e redução mais rápida da turbidez. Além disso, há ainda os aspectos ambientais que podem ser citados, uma vez que, por ser um polímero natural, o Tanfloc não apresenta metais remanescentes ao tratamento, o que facilita a disposição final do lodo.³³

Complementando essa ideia, Bongiovani et al. (2010) comprovaram que a utilização de agentes coagulantes orgânicos biodegradáveis (Tanfloc foi o utilizado na pesquisa) é uma alternativa técnica aos coagulantes convencionais, possuindo benefícios de saúde pública, além de preservação ambiental.³⁴

4. Modalidades Alternativas de Filtração

4.1. Filtração lenta de areia

O processo de filtração no tratamento de água foi desenvolvido baseado na observação da limpeza que a água subterrânea apresentava ao percolar pelo solo até os aquíferos e tornar-se afluentes das fontes, denominada filtração lenta.³⁵

A filtração lenta de areia ocorre por meio da filtração física das partículas e ajuda na remoção de patógenos e de matéria orgânica na camada biologicamente ativa da areia, chamada de biofilme (GUCHI, 2015). Vantagens desse processo são as mais variadas, tais como citadas pelo autor: (i) sua construção utiliza materiais simples, como areia e/ou cascalho devidamente classificados, concreto ou argila e tubulação padrão; (ii) pode ser operado sem necessidade de equipamentos especializados; e (iii) opera em função do fluxo gravitacional, sendo o seu gasto energético o mínimo. Essas características são, então, indicativas de que se aplicam bem a comunidades

rurais, já que essa tecnologia é apropriada para água de consumo direto.³⁶

Paterniani e Conceição (2004) complementam essa concepção vantajosa do filtro lento de areia, apresentando benefícios semelhantes aos da pesquisa anteriormente citada, como (i) o não uso de produtos químicos, (ii) a não necessidade de equipamentos de alta tecnologia para o bom funcionamento; (iii) a não necessidade de operadores qualificados, (iv) a fácil construção e (v) a produção de pouco lodo.³⁵

4.2. Sistema de Dupla Filtração

O Sistema de Dupla Filtração (SDF) consiste em uma Filtração Rápida Descendente (FRD) precedida de alguma modalidade de Filtração Direta Ascendente (FDA), que pode ser Filtração Direta Ascendente em Pedregulho (FAP) ou em Areia Grossa (FAAG).

Conforme Di Bernardo e Dantas (2005) essa modalidade permite o tratamento de águas com piores qualidades, uma vez que permite o uso de taxas de filtração mais elevadas, garante maior segurança com relação à sazonalidade da qualidade da água bruta e apresenta maior remoção de microrganismos.⁶

A FDA consiste em diminuir o tamanho dos vazios intergranulares favorecendo o escoamento, o que favorece uma utilização efetiva da camada de meio filtrante. Além disso, há menor perda de carga no meio granular, tendo em vista a remoção considerável de impurezas.³⁷

Ainda na mesma pesquisa, a autora afirmou que a filtração direta ascendente apresenta vantagens em relação aos outros processos de semelhante funcionamento por ter maior capacidade de retenção de sólidos no fundo do filtro, além de apresentar durações de carreiras mais prolongadas.

Em sistemas de dupla filtração, a FRD é inserida como um tratamento complementar,

tendo em vista que é uma técnica que recebe o efluente da FDA e ocorre o seu escoamento no sentido descendente através do meio filtrante, que costuma ser de areia e/ou antracito.³⁸

4.3. Filtração em múltiplas etapas (FIME)

Essa modalidade de tratamento surgiu com o intuito de ser uma derivação aprimorada da tecnologia mais clássica, que é a filtração lenta. Ela se baseia na combinação de um pré-filtro dinâmico ou em leito de pedregulho seguido de um filtro lento.

Os pré-filtros dinâmicos são estruturas que objetivam reduzir a quantidade de sólidos suspensos, por consequência a turbidez; o que resulta em menor problemática futura na manutenção e operação das unidades subsequentes do tratamento.³⁹

Di Bernardo, Brandão e Heller (1999) afirmaram que a FIME é uma tecnologia que pode ser considerada versátil, tendo em vista suas características, como o seu custo de implantação compatível com a realidade do mercado brasileiro por exemplo. Além disso, é uma modalidade de tratamento que se adéqua às mudanças de qualidade da água, bem como não necessita de operação e manutenção realizada por profissionais de extrema qualificação.⁴⁰

Segundo Visscher (1996), a água tratada pelo sistema de FIME apresenta baixa turbidez, não demonstra ter impurezas nocivas nem organismos patogênicos.⁴¹

4.4. Filtração utilizando Zeólitas

A zeólita é uma sílica de alumínio cristalino, cuja estrutura é composta por uma combinação em forma de ligação tetraédrica entre SiO_4^- e $[\text{AlO}_4]^{5-}$, tendo suas pontas ligadas por moléculas de oxigênio, conforme figura 4 (QUEROL et al., 2002).⁴²

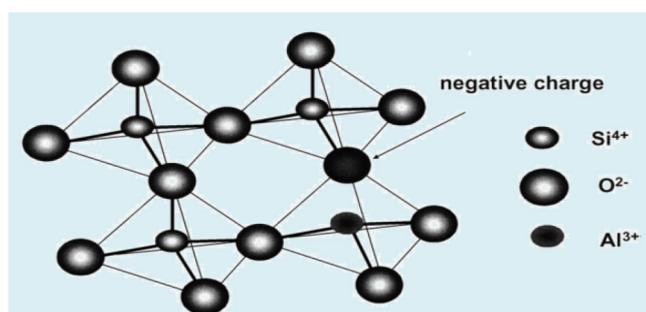


Figura 4. Estrutura molecular da zeólita.⁴²

O material zeolítico pode ser caracterizado pela alta capacidade de troca catiônica e boa adsorção, o que o permite ser utilizado como adsorvente de baixo custo. Uma das suas principais aplicações tem sido na remoção de íons metálicos e do íon amônio em água.⁴³

Fungaro e Silva (2002) listaram uma série de vantagens do uso desse material, os quais se destacam os seguintes fatos: (i) o seu custo ser inferior aos das resinas poliméricas trocadoras de íons utilizadas comercialmente; (ii) a sua estrutura que permite seletividade por tamanho, forma e carga; e (iii) sua síntese ser realizada por material abundante, as cinzas de carvão no caso.⁴⁴

Nesse mesmo estudo, os autores foram capazes, por exemplo, de remover cádmio, zinco e cobre de soluções aquosas, utilizando zeólitas sintetizadas com cinzas de carvão, obtendo-se uma remoção maior que 70 % dos íons já citados. Em 2005, Fungaro, Izidoro e Almeida conseguiram remover mais de 90 % de compostos tóxicos da água, comprovando a grande eficiência que as zeólitas apresentam no tratamento de água.⁴⁵

É válido salientar que essa transformação de um resíduo de um processo produtivo, como é o caso das cinzas de carvão, em um produto que pode substituir outros que são mais caros e dispendiosos no processo de tratamento, é de suma importância, uma vez que se encaixa perfeitamente no pensamento de ser uma atividade sustentável, por permitir o desenvolvimento dos processos produtivos atrelados à proteção ambiental.

5. Modalidades Alternativas de Desinfecção

A desinfecção é um processo adotado após a filtração que visa eliminar organismos patogênicos presentes na água via adição de produtos químicos, em maior parte das vezes. A eliminação dos microrganismos ocorre por destruição da estrutura molecular, interferência ou inativação de enzimas e ainda interferência na biossíntese e crescimento celular.⁶

Ainda segundo Di Bernardo e Dantas (2005), a desinfecção possibilita o uso de taxas de filtração mais elevadas, oferece maior segurança com relação às variações bruscas de qualidade da água bruta, apresenta maior remoção global de microrganismos e pode dispensar o descarte de

água pré-filtrada no início da carreira de filtração.⁶

A escolha do agente desinfetante a ser utilizado no tratamento, segundo Reiff e Witt (1995), deve atender a alguns critérios, como (i) apresentar poder de inativação dos patógenos presentes na água, (ii) ter uma determinação precisa, rápida e fácil, (iii) ser aplicável dentro de algumas condições, (iv) produzir residuais resistentes durante a distribuição e (v) não ser tóxico ao ser humano, dentre outros.⁴⁶

Diante disso, com relação aos agentes físicos, os mais comumente utilizados são radiação ultravioleta (UV) e o calor. Já sobre os químicos, tem-se cloro gasoso, hipoclorito de sódio ou de cálcio e ozônio.

A questão do uso de cloro, por exemplo, é causadora de debates, tendo em vista que alguns estudos afirmam que alguns microrganismos como *Giardia sp.* e *Cryptosporidium sp.* permanecem na água mesmo após o processo de cloração (Tchobanoglous, 2003). Além disso, a formação de Trihalometanos é muito grave, tendo em vista seu poder danoso à saúde humana, por serem carcinogênicos; e a relação de formação baseada na reação do cloro com substâncias húmicas presentes na água (Rook, 1977).^{47, 48}

Nesse contexto, surge a necessidade de serem analisadas técnicas de caráter efetivo e que possam ser aplicadas às comunidades rurais, levando em consideração os aspectos sociais, econômicos e ambientais.

5.1. Desinfecção por radiação solar

A ação dos raios emitidos pelo sol sobre a água a ser tratada é direcionada ao DNA das células, causando alteração em sua estrutura, o que torna o organismo patógeno incapaz de reproduzir-se. Dessa forma, a inativação do organismo ocorre e ele perde sua capacidade de proliferação de doenças.⁴⁹

Moura et al. (2002), em seu estudo, foram capazes de utilizar radiação solar para inativar *E. coli*, bactéria indicadora de contaminação fecal, em águas com turbidez e cor moderadas, o que comprova a eficiência dessa técnica no processo de desinfecção.⁵⁰

Comunidades carentes que não apresentam alguma modalidade mais refinada de tratamento de água, principalmente de ambientes com altas taxas de radiação solar, são as mais aconselhadas a utilizarem a modalidade de desinfecção por

radiação solar, já que é uma alternativa de baixo custo que permite um bom rendimento, sendo capaz de fornecer água sem riscos à saúde.⁵¹

Silva (2004) citou que o uso de energia solar para desinfecção de águas (SODIS) possibilita a desinfecção de águas captadas de poços ou mananciais superficiais, cujas características biológicas são inadequadas ao consumo direto, porém que apresenta boas características físico-químicas. Além disso, também retrata que essa tecnologia é limitada no que tange à necessidade de consumo da água desinfetada no mesmo dia da desinfecção, tendo em vista a possibilidade da reativação dos microrganismos patógenos.⁵²

5.2. Desinfecção por clorador de pastilha

Aisse et al. (2003) definiu o clorador de pastilha como um sistema simples, que pode ser fabricado com materiais resistentes à corrosão química, tendo seu funcionamento baseado na solução clorada formada a partir da passagem da água a ser tratada, a qual promove a dissolução das pastilhas de hipoclorito de cálcio que ficam armazenadas no interior do próprio sistema.⁵³

Em sua pesquisa, Bazzarella (2005) utilizou clorador de pastilha para realizar a desinfecção das águas cinza para reuso não potável em edificações. Por meio dessa técnica, a autora foi capaz de uma alta taxa de remoção de E. coli e Coliformes Termotolerantes. Além disso, ainda foi capaz de remover cor remanescente dos tratamentos prévios e apresentou uma completa desodorização da água.⁵⁴

Ainda sobre o tratamento de águas cinza, Cuba e Manzano (2014) montaram um sistema simples que tinha por objetivo reutilizar água proveniente de máquina de lavar em sistema de descarga de aparelhos sanitários. Com o uso de materiais de simples acesso, como tubos, um reservatório (caixa d'água), uma máquina de lavar e o sistema de descarga do aparelho sanitário, em conjunto com um pressurizador, o qual foi o mais custoso; houve reuso médio de 3,31 m³/mês de água. Essa vazão representa uma economia de 17 % no consumo de água de uma residência com 4 adultos, durante 10 meses de operação. Válido comentar que o sistema de desinfecção utilizado foi por pastilhas de cloro, tendo em vista a dissolução lenta, promovendo um tratamento contínuo e a facilidade de compra desse material em locais que vendem material para piscina.⁵⁵

6. Conclusão

Diversas são as modalidades que podem ser utilizadas atualmente para que se possam tratar águas com diversos níveis de qualidades, principalmente pelas comunidades rurais. De fato, o trabalho apresentou formas alternativas de tratamento, em todas as operações unitárias, que apresentam características muito positivas aos seus usos, como os fatos de serem simples, aplicáveis a águas para consumo direto, mesmo com pior qualidade; versáteis, de baixo custo e eficientes.

Em geral, foi possível perceber que as comunidades, principalmente carentes, têm possibilidades alternativas simplificadas de tratamento de água, usando coagulante e floculantes naturais, por exemplo, as quais são acessíveis economicamente, ambientalmente corretas e que cumprem muito bem a função essencial de eliminar patógenos, garantindo um eficiente tratamento de água, que visa ao consumo direto no cotidiano.

Referências Bibliográficas

- ¹ Ministério da Saúde. Portaria de Consolidação nº 05, de 2017. Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde. Brasília, 2017. [\[Link\]](#)
- ² Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento. Diagnóstico dos serviços de Água e Esgoto - 2016. Brasília: SNIS, 2016. [\[Link\]](#)
- ³ Mondardo, R. I.; *Dissertação de Mestrado*, Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil, 2004. [\[Link\]](#)
- ⁴ Rodrigues, A. M. T.; *Trabalho de Conclusão de Curso*, Universidade Federal da Paraíba, Brasil, 2018. [\[Link\]](#)
- ⁵ Jiang, J. The role of coagulation in water treatment. *Current Opinion in Chemical Engineering* **2015**, *8*, 36. [\[CrossRef\]](#)
- ⁶ Di Bernardo, L.; Dantas, A. D. Métodos e técnicas de tratamento de água. *Engenharia Sanitaria e Ambiental* **2005**, *11*, 107. [\[CrossRef\]](#)
- ⁷ Pelissari, L. M. T.; *Tese de Doutorado*, Universidade Federal do Espírito Santo, Brasil, 2006. [\[Link\]](#)
- ⁸ Libânio, M.; *Fundamentos de qualidade e tratamento de água*. Átomo: Rio de Janeiro, 2005.
- ⁹ Calijuri, M. C.; Cunha, D. G. F.; *Engenharia Ambiental*, Elsevier: São Paulo, 2013.

- ¹⁰Richter, C. A.; *Tratamento de lodos: de estações de tratamento de água*, Edgard Blucher: São Paulo, 2001.
- ¹¹ Kawamura, S. Effectiveness of Natural Polyelectrolytes in Water Treatment. *Journal American Water Works Association* **1991**, *83*, 88. [[CrossRef](#)]
- ¹² Srinivasan, P. T.; Viraraghavan, T.; Subramanian, K. S. Aluminium in drinking water: An overview. *Water As* **1999**, *25*, 47. [[Link](#)]
- ¹³ Fiorentini, V.; *Dissertação de Mestrado*, Universidade Federal de Santa Maria, Brasil, 2005. [[Link](#)]
- ¹⁴ International Agency for Research on Cancer; *Monographs on the Evaluation of the Carcinogenic Risk of Chemicals to Humans*, v. 60, Acrylamide: Lyon, 1994. [[Link](#)]
- ¹⁵ Teixeira, M. R.; Camacho, F. P.; Sousa, V. S.; Bergamasco, R. Green technologies for cyanobacteria and natural organic matter water treatment using natural based products. *Journal of cleaner production* **2017**, *162*, 484. [[CrossRef](#)]
- ¹⁶ Choy, S. Y.; Prasad, K. M. N.; Wu, T. Y.; Raghunandan, M. E.; Ramanan, R. N. Utilization of plant-based natural coagulants as future alternatives towards sustainable water clarification. *Journal of environmental sciences* **2014**, *26*, 2178. [[CrossRef](#)]
- ¹⁷ Oladoja, N. A. Headway on natural polymeric coagulants in water and wastewater treatment operations. *Journal of Water Process Engineering* **2015**, *6*, 174. [[CrossRef](#)]
- ¹⁸ Favere, V. T.; *Tese de Doutorado*, Universidade Federal de Santa Catarina. Brasil, 1994. [[Link](#)]
- ¹⁹ Júnior, Lima; Abreu, F. O. M. S. Produtos Naturais utilizados como coagulantes e floculantes para tratamento de águas: uma revisão sobre benefícios e potencialidades. *Revista Virtual de Química* **2018**, *10*, 709. [[CrossRef](#)]
- ²⁰ Renault, F.; Sancey, B.; Badot, P.-M.; Crini, G. Chitosan for coagulation/flocculation processes – An eco-friendly approach. *European Polymer Journal* **2009**, *45*, 1337. [[CrossRef](#)]
- ²¹ Zemmouri, H.; Drouiche, M.; Sayeh, A.; Lounici, H.; Mameri, N. Chitosan Application for Treatment of Beni-Amrane's Water Dam. *Energy Procedia* **2013**, *36*, 558. [[CrossRef](#)]
- ²² Spinelli, V. A.; *Dissertação de Mestrado*, Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil, 2001. [[Link](#)]
- ²³ Vaz, L. G. L.; Klen, M. R. F.; Veit, M. T.; Silva, E. A.; Barbiero, T. A.; Bergamasco, R. Avaliação da eficiência de diferentes agentes coagulantes na remoção de cor e turbidez em efluente de galvanoplastia. *Eclética Química* **2010**, *35*, 45. [[CrossRef](#)]
- ²⁴ Bezerra, A. M. E.; Momente, V. G.; Medeiros Filho, S. Germinação de sementes e desenvolvimento de plântulas de moringa (*Moringa oleifera* Lam.) em função do peso da semente e do tipo de substrato. *Horticultura Brasileira* **2004**, *22*, 295. [[Link](#)]
- ²⁵ Arantes, C. C.; *Tese de Doutorado*, Universidade Estadual de Campinas, Brasil, 2014. [[Link](#)]
- ²⁶ Versiani, L. C. F.; *Dissertação de Mestrado*, Universidade Federal de Ouro Preto, Brasil, 2008. [[Link](#)]
- ²⁷ Cardoso, K. C.; Bergamasco, R.; Cossich, E. S.; Moraes, L. C. K. Otimização dos tempos de mistura e decantação no processo de coagulação/floculação da água bruta por meio da *Moringa oleifera* Lam. *Acta Scientiarum Technology* **2008**, *30*, 193. [[CrossRef](#)]
- ²⁸ Nkurunziza, T.; Nduwayezu, J. B.; Banadda, E. N.; Nhapi, I. The effect of turbidity levels and *Moringa oleifera* concentration on the effectiveness of coagulation in water treatment. *Water Science and Technology* **2009**, *59*, 1551. [[CrossRef](#)]
- ²⁹ Nishi, L.; Madrona, G. S.; Vieira, A. M. S.; Bassetti, F. J.; Silva, G. F.; Bergamasco, R. 3rd *International workshop advances in cleaner production: Cleaner production initiatives and challenges for a sustainable world*, São Paulo, Brasil, 2011. [[Link](#)]
- ³⁰ Silva, T. S. S.; *Tese de Doutorado*, Fundação Oswaldo Cruz, Brasil, 1999. [[Link](#)]
- ³¹ Skoronski, E.; Niero, B.; Fernandes, M.; Alves, M. V.; Trevisan, V. Estudo da aplicação de tanino no tratamento de água para abastecimento captada no rio Tubarão, na cidade de Tubarão, SC. *Revista Ambiente e Água* **2014**, *9*, 4. [[CrossRef](#)]
- ³² Barradas, J. L. D.; *Tanino-Uma solução ecologicamente correta: agente floculante biodegradável de origem vegetal no tratamento de água*. Publicação Técnica: Novo Hamburgo, 2004.
- ³³ Coral, L. A.; Bergamasco, R.; Bassetti, F. J. *Resumo do International Workshop Advances in Cleaner Production*, São Paulo, Brasil, 2009. [[Link](#)]
- ³⁴ Bongiovani, M. C.; Konradt-Moraes, L. C.; Bergamasco, R.; Lourenço, B. S. S.; Tavares, C. R. G. Os benefícios da utilização de coagulantes naturais para a obtenção de água potável. *Acta Scientiarum. Technology* **2010**, *32*, 167. [[CrossRef](#)]
- ³⁵ Paterniani, J. E. S.; Conceição, C. H. Z. Eficiência da pré-filtração e filtração lenta no tratamento de água para pequenas comunidades. *Revista de Engenharia Ambiental* **2004**, *1*, 17 [[Link](#)]
- ³⁶ Guchi, E. Review on slow sand filtration in removing microbial contamination and particles from drinking water. *American Journal of Food and Nutrition* **2015**, *3*, 47. [[CrossRef](#)]

- ³⁷ Kuroda, E. K.; *Tese de Doutorado*, Universidade de São Paulo, Brasil, 2002. [[Link](#)]
- ³⁸ Paula, D.; *Tese de Doutorado*, Universidade de São Paulo, Brasil, 2003. [[Link](#)]
- ³⁹ Veras, L. R. V.; Di Bernardo, L. Tratamento de água de abastecimento por meio da tecnologia de filtração em múltiplas etapas-FIME. *Engenharia Sanitária e Ambiental* **2008**, *13*, 109. [[CrossRef](#)]
- ⁴⁰ Di Bernardo, L., Brandão, C. C. S., Heller L.; *Tratamento de águas de Abastecimento por Filtração em Múltiplas Etapas*. ABES/PROSAB, Rio de Janeiro, 1999. [[Link](#)]
- ⁴¹ Visscher, J. T.; Castaño, G. G.; Latorre, Jorge. M.; *Filtración en múltiples etapas-FiME: bondades y limitaciones*. Cinara, 1996. [[Link](#)]
- ⁴² Querol, X.; Moreno, N.; Umaña, J. C.; Alastuey, A. Hernández, E.; López-Soler, A.; Plana, F. Synthesis of zeolites from coal fly ash: an overview. *International Journal of coal geology* **2002**, *50*, 413. [[CrossRef](#)]
- ⁴³ Fungaro, D. A.; Bruno, M. Utilização de zeólitas sintetizadas a partir de cinza de carvão para remoção de azul de metileno em água. *Orbital* **2009**, *1*, 49. [[Link](#)]
- ⁴⁴ Fungaro, D. A.; da Silva, M. G. Utilização de zeólita preparada a partir de cinza residuária de carvão como adsorvedor de metais em água. *Química Nova* **2002**, *25*, 1081. [[CrossRef](#)]
- ⁴⁵ Fungaro, D. A.; Izidoro, J. C.; Almeida, R. S. Remoção de compostos tóxicos de solução aquosa por adsorção com zeólita sintetizada a partir de cinzas de carvão. *Eclética Química* **2005**, *30*, 31. [[CrossRef](#)]
- ⁴⁶ Reiff, F. M. E Witt, V. M. *Guías para la selección y aplicación de tecnologías de desinfección de agua para consumo humano en pueblos pequeños y comunidades rurales en América Latina y el Caribe*. Division de Saud y Ambiente, Série Técnica Nº 30, OPAS/OMS: Washington, 1995. [[Link](#)]
- ⁴⁸ Rook, J. J. Chlorination reactions of fulvic acids in natural waters. *Environmental Science & Technology* **1977**, *11*, 478. [[CrossRef](#)]
- ⁴⁹ Bryant, E. A.; Fulton, G. P.; Budd, G. C.; *Disinfection alternatives for safe drinking water*, Van Nostrand Reinhold: New York, 1992. [[Link](#)]
- ⁵⁰ Moura, A. *Dissertação de Mestrado*, Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil, 2002. [[Link](#)]
- ⁵¹ Monteiro, P. C. G.; Brandão, C. C. S.; Souza, M. A. A. Viabilidade do uso da radiação solar na desinfeção da água. *Gestão ambiental en el siglo XXI* **1998**, *1*. [[Link](#)]
- ⁵² SILVA, M. J. M.; *Dissertação de Mestrado*, Universidade Estadual de Campinas, Brasil, 2004. [[Link](#)]
- ⁵³ Aisse, M. M.; Coraucci Filho, B.; Andrade Neto, C. O.; Jürgensen, D.; Lapolli, F. R.; Melo, H. N. S.; Piveli, R. P.; Lucca, S. J. Em: *Desinfecção de efluentes*, Gonçalves, R. F. ed., sanitários. ABES: Rio de Janeiro 2003,. cap. 4
- ⁵⁴ Bazzarella, B. B.; *Dissertação de Mestrado*, Universidade Federal do Espírito Santo, Brasil, 2005. [[Link](#)]
- ⁵⁵ Cuba, R. M. F.; Manzano, D. P. Avaliação Técnica e Econômica do Reúso de Águas Cinzas em Aparelhos Sanitários, *Colloquium Exactarum* **2014**, *6*, 72. [[CrossRef](#)]