

I-120 - IMPORTÂNCIA DO TAMANHO DAS PARTÍCULAS DE COAGULANTES INORGÂNICOS E ORGÂNICOS PROVENIENTES DE PLANTAS (Moringa oleifera E TANINO) NO TRATAMENTO DE ÁGUA

Natália Ueda Yamaguchi ⁽¹⁾

Docente no Programa de Pós-graduação em Tecnologias Limpas na Unicesumar, Doutora em Engenharia Química pela Universidade Estadual de Maringá e período sanduíche na Université Laval.

Joseane Debora Peruço Theodoro ⁽²⁾

Professora na Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Londrina. Doutora em Engenharia Química pela Universidade Estadual de Maringá.

Armando Mateus Pomini ⁽³⁾

Professor adjunto da Universidade Estadual de Maringá. Mestre e doutor em Química pela Universidade Estadual de Campinas. Atuou como químico do petróleo na Petrobras.

Andressa Jenifer Rubio Luciano ⁽⁴⁾

Mestranda em Tecnologias Limpas pelo Unicesumar. Engenheira Ambiental e Sanitarista pelo Unicesumar - Centro Universitário de Maringá.

Rosângela Bergamasco ⁽⁵⁾

Professora associada da Universidade Estadual de Maringá. Doutora em Engenharia Química pela Universidade Estadual de Campinas com período sanduíche na Université de Montpellier II (Scien. et Tech Du Languedoc) e pós-doutorado na Université Laval.

Endereço ⁽¹⁾: Av. Guedner, 1610 – Jardim Aclimação - Maringá - PR - CEP: 87050-900 - Brasil - Tel: (44) 3027-6360 - e-mail: natalia.yamaguchi@unicesumar.edu.br

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo, estudar o tamanho da partícula para cada coagulante: inorgânico (PAC e cloreto férrico) e orgânico (tanino e Moringa oleifera), usado no processo de coagulação/floculação para a turbidez inicial de 50 uT e 150 uT. Simulando as condições reais mais próximas de uma ETA, utilizou-se o equipamento jar-teste para os ensaios de coagulação/floculação. A contagem da partícula foi determinada pelo equipamento Contador de Partículas onde se estudou o tamanho da partícula para cada coagulante: inorgânico (PAC e cloreto férrico) e orgânico (tanino e Moringa oleifera), usado no processo de coagulação/floculação para a turbidez inicial de 50 uT e 150 uT, para o tempo de decantação de 60 minutos. A contagem das partículas avaliadas para os coagulantes orgânicos e inorgânicos, foi representativa para o coagulante Moringa oleifera extraída em solução salina (MgCl₂, CaCl₂, BaCl₂, KCl e NaCl), com o comportamento semelhante entre os sais mono e bivalente para os intervalos de blocos 36 a 40 µm e 40 a 60 µm.

PALAVRAS-CHAVE: Moringa Oleífera, Coagulantes alternativos, Tratamento de água.

INTRODUÇÃO

A água natural possui, como matéria orgânica, substâncias húmicas (partículas suspensas) e não húmicas (partículas dissolvidas), donde se destacam proteínas, carboidratos, algas, aminoácidos, produtos metabólicos, ácidos carboxílicos e hidrocarbonetos. Os ácidos húmicos podem se complexar a traços de metais e contribuir assim com a cor da água (Libânio, 2008). Partículas em suspensão, com tamanhos variando de suspensões grosseiras a colóides, e de origem variadas, como argila, silte, matéria orgânica, efluentes domésticos e industriais, microorganismos e bolhas de ar também podem estar presentes nas águas naturais (Moreira, 2003).

Em tratamento de água, a finalidade da coagulação e floculação é transformar as impurezas que se encontram em suspensão fina, em estado coloidal ou em solução, bactérias e protozoários ou plâncton, em partículas maiores (flocos) para que possam ser removidas por sedimentação e/ou filtração (Filho, 2010).

A floculação nas Estações de Tratamento de Água corresponde à etapa em que são fornecidas condições para facilitar o contato e a agregação de partículas previamente coaguladas, visando a formação de flocos com

tamanho e massa específica que favoreçam sua remoção por sedimentação, flotação ou filtração rápida. Após a mistura rápida, faz-se a agitação lenta, com o objetivo de proporcionar encontros e agregar as partículas menores em maiores, denominados flocos. Com o aumento do tamanho dos flocos, as forças de cisalhamento podem causar sua ruptura. A agregação e a ruptura ocorrem simultaneamente, conduzindo a uma única condição de distribuição de tamanho de floco (Di Bernardo e Dantas, 2005).

Há três tipos de partículas: orgânicas inertes, orgânicas viáveis e inorgânicas inertes. As partículas orgânicas inertes se originam de substâncias orgânicas não-reativas, que são substâncias derivadas de organismos vivos e contêm componentes derivados do carbono. As partículas orgânicas viáveis são capazes de viver, se desenvolver ou germinar em condições favoráveis; bactérias e fungos são exemplos de compostos orgânicos viáveis. As partículas inorgânicas inertes são substâncias não-reativas, como areia, sal, ferro, sais de cálcio e outras substâncias minerais. Por causa da contaminação molecular, aplicações em diversos processos de produção se concentram em medidas de partículas em micra. Essas partículas têm tamanho que variam de menos de um micron (μm) a aproximadamente 100 μm . O comprimento de um micron equivale a 1/1000 do milímetro. As partículas maiores de 100 μm são facilmente filtradas, e as partículas menores de 0,01 μm são pequenas demais para causar danos (Kochevar, 2006).

O termo científico de cada tipo de medida é útil em contextos diferentes, especialmente no microscópio. O diâmetro de Feret é a distância medida entre linhas paralelas teóricas que são traçadas tangentes ao perfil da partícula e perpendicular à escala ocular. As partículas que caem em uma superfície adotarão seu estado mais mecanicamente estável, isso quer dizer que apresentarão sua maior área ao observador e, consequentemente, sua maior dimensão. Todas as partículas podem ser classificadas de acordo com os seus grupos:

- Partícula: uma única partícula inteiramente com material semelhante.
- Agregado: um grupo de partículas unidas por intensas forças atômicas ou moleculares. As forças de atração das partículas podem ser comparadas às que unem um pedaço de concreto.
- Aglomerado: um grupo de partículas unidas por forças mais tênues de adesão e coesão. As forças de atração das partículas podem ser comparadas às que unem uma massa de sujeira.
- Floculado: um grupo de partículas unidas pelas forças mais tênues. As forças de atração das partículas podem ser comparadas a do pó que repousa em uma mesa.

O presente trabalho tem como objetivo, estudar o tamanho da partícula para cada coagulante: inorgânico (PAC e cloreto férrico) e orgânico (tanino e Moringa oleífera), usado no processo de coagulação/floculação para a turbidez inicial de 50 uT e 150 uT.

MATERIAIS E MÉTODOS

A água contendo caulim na concentração de 5g/L foi preparada a partir de água destilada como água de estudo. A água de estudo foi mantida sob agitação mecânica por 4 horas, e posteriormente diluída para a obtenção das soluções de turbidez 150 uT e 50 uT.

A extração dos componentes ativos da semente da Moringa oleífera foi realizada através da utilização das soluções salinas de KCl, NaCl, BaCl₂, CaCl₂ e MgCl₂ na concentração de 1 M. A extração foi realizada triturando de 10 g da semente da Moringa oleífera em um liquidificador com um litro de cada solução salina. Em seguida, a solução foi mantida em agitação magnética por 20 minutos, filtrada a vácuo, obtendo-se a extração dos componentes ativos da Moringa oleífera em meio salino a concentração de 1%.

Para o preparo da solução do coagulante inorgânico pesou-se 1 g de policloreto de alumínio (PAC) e diluiu-se em um balão volumétrico de 1 L, obtendo-se a concentração de 1 g/L. O PAC foi doado pela Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR) e as principais especificações do policloreto de alumínio líquido utilizado são: densidade $\rho_{\text{Bé}} = 31,2 - 1,2742 \text{ g/cm}^3 - 44,8\% - 352 \text{ g/L}$.

Para o preparo do coagulante inorgânico cloreto férrico, também foi pesado 1g de cloreto férrico e diluiu-se em um balão volumétrico de 1 L, obtendo-se a concentração de 1 g/L. O cloreto férrico utilizado é um reagente analítico da marca Synth (FeCl₃.6H₂O, peso molecular 270,30 g/mol).

Para o coagulante orgânico tanino (Tanfloc SG), pesou-se 1 g de Tanfloc SG e diluiu-se em um balão volumétrico de 1 L, obtendo-se a concentração de 1 g/L. O Tanfloc SG foi doado por uma indústria cervejeira, as características do líquido são: viscosidade 25°C Copo Ford nº4 Máx. 50 e pH (xarope) 1,3 - 2,3 (Tanac, 2008). Para todos os coagulantes em estudo foi utilizada a concentração de 80mg/L, sendo a melhor concentração determinada em ensaios experimentais.

Os ensaios de coagulação/floculação foram realizados em Jar Test marca MILAN Equipamento Científico Modelo JT102. A velocidade utilizada nos ensaios de coagulação/floculação, para propiciar a mistura rápida, foi fixada em 100 rpm e tempo de mistura rápida 1 minuto. Para a mistura lenta, a velocidade foi de 10 rpm e tempo de mistura lenta 10 minutos, seguindo de um tempo de decantação de 60 minutos durante o desenvolvimento dos experimentos. Esses valores de operação foram baseados em dados da literatura (Madrona, 2010; Tanac, 2008).

A contagem da partícula foi determinada pelo equipamento Contador de Partículas HACH-HIAC 9703+, onde se estudou o tamanho da partícula para cada coagulante: inorgânico (PAC e cloreto férrico) e orgânico (tanino e Moringa oleífera), usado no processo de coagulação/floculação para a turbidez inicial de 50uT e 150 uT, para o tempo de decantação de 60 minutos. Para cada duplicata o equipamento realiza quatro corridas, fornecendo as médias das quatro corridas. A unidade do tamanho do floco é dado em micrômetro (μm). O contador de partículas tem como princípio contar, para os intervalos de blocos (2 a 4, 4 a 6, 6 a 8, 8 a 10, 10 a 12, 12 a 16, 16 a 20, 20 a 24, 24 a 28, 28 a 32, 32 a 36, 36 a 40, 40 a 60, 60 a 80 e 80 a 100), as quantidades de partículas que se enquadram em cada bloco. A quantidade de amostra foi de 50 mL para cada coagulante avaliado. Entre as leituras foi realizada a lavagem do sensor de leitura com água destilada.

RESULTADOS

A contagem do tamanho das partículas foi realizada para os coagulantes inorgânicos (cloreto férrico e PAC) e orgânicos (Moringa oleífera e tanino) usados no processo de coagulação/floculação/sedimentação para o tratamento da água em estudo, para a turbidez inicial de 50 e 150 uT. A Figura 1 apresenta os resultados de frequência relativa para o tamanho do floco para os coagulantes inorgânicos e orgânicos para a concentração de 80 mg/L para a turbidez inicial de 50 uT. A frequência relativa (Figura 1) mais representativa para o coagulante orgânico tanino (Tanfloc SG) estão entre os intervalos de bloco 0 a 2 (11,62%), 2 a 4 μm (11,33%) e 10 a 12 μm (13,07%). O PAC apresentou valores de frequência relativa entre os intervalos de bloco 0 a 2 μm (19,23%) e 2 a 4 μm (16,66%) e o FeCl_3 nos intervalos de bloco 10 a 12 μm (10,71%) e 36 a 40 μm (12,62%).

Para a Moringa oleífera extraída em solução salina (MgCl_2 , CaCl_2 , BaCl_2 , KCl e NaCl), as frequências relativas mais significativas apresentaram comportamento semelhante entre os sais mono e bivalente para os intervalos e blocos 36 a 40 μm e 40 a 60 μm . Exceto para o M. BaCl_2 , os intervalos de bloco foram de 10 a 12 μm (13,27%), de 12 a 16 μm (11,77%) e de 16 a 20 μm (10,73). O intervalo de bloco de 80 a 100 μm para a M. MgCl_2 e o cloreto férrico apresentaram a frequência relativa de 1,25% e 1,07%, respectivamente.

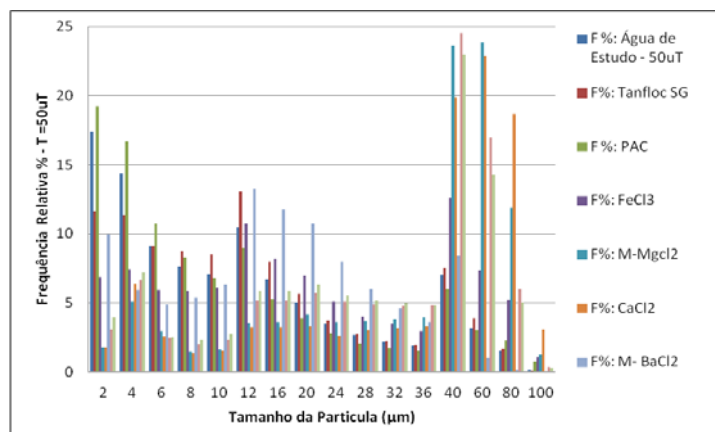


Figura 1: Frequência relativa do tamanho do floco para os coagulantes inorgânicos (cloreto férrico e PAC) e orgânicos (*Moringa oleífera* e tanino), tempo de sedimentação de 60 minutos, concentração de todos os coagulantes de 80 mg/L, turbidez inicial de 50 uT.

Na Figura 2 tem-se os resultados de frequência relativa ao tamanho do floco para os coagulantes inorgânicos (cloreto férrico e PAC) e naturais (*Moringa oleifera* e tanino), para a concentração de 80 mg/L e para a turbidez de 150 uT. Apesar do aumento do parâmetro turbidez para 150uT observou-se, na Figura 2, que os intervalos de bloco para o coagulante orgânico tanfloc SG e para os coagulantes químicos PAC e o FeCl_3 foram semelhantes aos encontrados para a turbidez de 50uT. Para a *Moringa oleifera* extraída em solução salina (MgCl_2 , CaCl_2 , BaCl_2 , KCl e NaCl), as frequências relativas mais significativas apresentaram o comportamento semelhante entre os sais monovalentes e os bivalentes para as variações da turbidez estudada (50 e 150 uT). Desta forma, pode-se perceber que a agregação na formação dos flocos no processo de coagulação para o coagulante orgânico *Moringa oleifera* é estável, não ocorrendo a ruptura dos mesmos depois de formados.

Comparando os tamanhos dos flocos analisados para o processo de coagulação/floculação utilizando os coagulantes orgânicos (tanino e *Moringa oleifera*) e coagulantes inorgânicos (cloreto férrico e PAC), observou-se que os coagulantes que apresentaram os maiores tamanhos de flocos foram os coagulantes orgânicos *Moringa oleifera* extraído em solução salina NaCl , KCl , MgCl_2 e CaCl_2 , para a turbidez de 50 uT e 150 uT. Isto ocorre porque os sais MgCl_2 e CaCl_2 possuem íons bivalentes, que são eletricamente adsorvidos ao componente ativo da *Moringa oleifera*, o qual se conecta a outro íon bivalente formando a estrutura reticular. Os sais NaCl e KCl possuem íons monovalentes que não deixam outro componente ativo ligar pois só tem uma valência (Okuda et al., 2001).

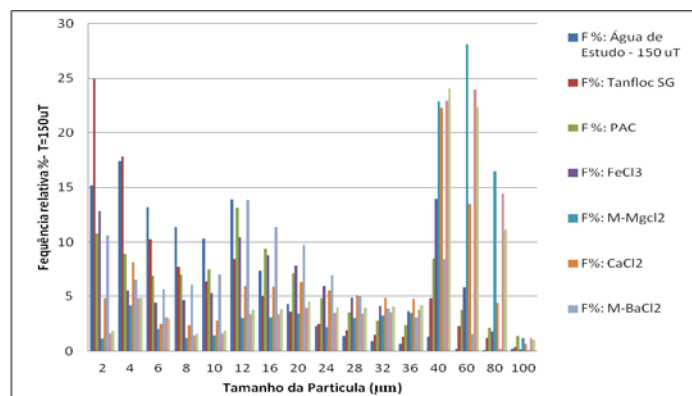


Figura 2: Frequência relativa do tamanho do floco para os coagulantes químicos (cloreto férrico e PAC) e coagulantes naturais (*Moringa oleifera* e tanfloc SG), tempo de sedimentação de 60 minutos, concentração de todos os coagulantes de 80 mg/L, turbidez inicial de 150 uT.

Observa-se que, para o coagulante orgânico tanino, a formação do floco ocorre pela adsorção de superfície das partículas dos colóides, ocorrendo em seguida a aglomeração das partículas e formando os flocos grandes. Para (Zhe et al., 2006), no processo de coagulação/floculação pelo mecanismo formação de ponte, os flocos produzidos por polímeros são muito mais fortes do que os formados pelo mecanismo de adsorção-neutralização e varredura, pois as partículas quando são formadas são desestabilizadas por sais simples que são propícios à ruptura, portanto, os flocos agregados formados por agente coagulantes poliméricos parecem ser significativamente mais resistentes à ruptura. Neste trabalho a *Moringa oleifera* apresentou este comportamento.

Analisando o tamanho da partícula, para o coagulante inorgânico cloreto férrico, o qual apresentou maior tamanho de flocos para o mecanismo de adsorção-neutralização do que para o mecanismo de varredura, quando estudado para a turbidez de 150 uT, estes resultados podem ser justificados por (Zhe et al., 2006), que justifica através das da formação dos flocos, quando são formados são desestabilizadas por sais simples, sendo propícios à ruptura.

Para o coagulante inorgânico PAC, o seu mecanismo de formação do floco adsorve na superfície das partículas do colóide e em seguida aglomera as partículas à cadeia do polímero, aumentando o tamanho do floco para a turbidez inicial de 150 uT, apresentando percentual significativo para o intervalo de bloco de 80 a 100 µm. Enquanto que o coagulante cloreto férrico possui partículas menores em relação aos outros três coagulantes (PAC, *Moringa oleifera* e tanino), devido ao tipo de mecanismo que foi analisado para o tamanho da partícula,

isto é, o mecanismo de adsorção-neutralização de carga em que os colóides são neutralizados pelas espécies hidrolisadas positivas de ferro formando flocos pequenos.

No processo de coagulação, a etapa de desestabilização é consumada em questão de segundos, durante a mistura rápida do coagulante, a qual se relaciona com a química do processo, enquanto que na floculação dos flocos, etapa que demanda tempo superior a alguns minutos, prevalece os aspectos físicos onde ocorrem colisões e crescimento dos flocos (Odegaard, 1979).

Os flocos, uma vez formados ou agregados, qualquer perturbação do sistema, por menor que seja, poderá causar a sua ruptura. Estudos sobre a cinética das reações, estabilidade das partículas e química da coagulação são de fundamental importância para a otimização do processo de coagulação (Moreira, 2003). A desestabilização das partículas e o tempo de formação dos flocos, bem como a otimização da intensidade da mistura, determinando os gradientes de velocidades mais adequados no processo de coagulação (Di Bernardo, 1993).

Os flocos gerados por vários mecanismos de coagulação apresentaram diferentes tamanhos, força e estrutura. As propriedades e dimensões fractal dos flocos formados sob três mecanismos de coagulação comum, adsorção-neutralização, varredura e formação de pontes apresentaram resultados em que o tamanho dos flocos diminuiu com o aumento da velocidade média de gradiente. Para o mecanismo de adsorção-neutralização ($0,6107\mu\text{m}$), para o mecanismo de varredura ($0,5618\mu\text{m}$) e o mecanismo formação de pontes ($0,3674\mu\text{m}$), desta forma as dimensões fractal dos flocos foram maiores quando formado por varredura e menor quando gerados por ponte de floculação (Zhe et al., 2006).

Dimensões fractal dos flocos para investigar a formação de flocos da solução de hidróxido de ferro na hidrólise de FeCl_3 e descobriram que o recém-formado floco de hidróxido de ferro tinha uma dimensão fractal de $2,25 \mu\text{m} \pm 0,05$, quando a hidrólise procedeu o floco cresceu e reestruturada para um forma mais compacta com uma dimensão fractal de um $2,52 \mu\text{m} \pm 0,05$ (Jung et al., 1996).

CONCLUSÃO

A contagem das partículas avaliadas para os coagulantes orgânicos e inorgânicos, para a turbidez de 50 e 150 uT, foi representativa para o coagulante *Moringa oleifera* extraída em solução salina (MgCl_2 , CaCl_2 , BaCl_2 , KCl e NaCl), com o comportamento semelhante entre os sais mono e bivalente para os intervalos de blocos 36 a $40 \mu\text{m}$ e 40 a $60 \mu\text{m}$.

AGRADECIMENTOS

Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), Fundação Araucária, Companhia De Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP) e Instituto Cesumar de Ciência, Tecnologia e Inovação (ICETI).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. DI BERNARDO, L., DANTAS, A. D. B., Métodos e Técnicas de Tratamento de Água. 2ª ed. v. 1. São Carlos, RiMa, 2005.
2. DI BERNARDO, Métodos e técnicas de tratamento de água. ABES, v.1, Rio de Janeiro, 1993.
3. FILHO, S. S. F., Processos Físico-Químicos I – Coagulação. Escola Politécnica Da USP Departamento De Engenharia Hidráulica E Sanitária, 2010.
4. JUNG S.J., AMAL R., RAPER J.A., Monitoring Effects Of Shearing On Floc Structure Using Small-Angle Light Scattering, Powder Technology 88, 51–54, 1996.
5. KOCHEVAR S. D., Guia básico para a tecnologia de partículas. 2006.
6. LIBÂNIO, Marcelo. Fundamentos da qualidade e tratamento de água. 2. ed. Campinas: Átomo, 2008.
7. MADRONA G. S. Extração/ Purificação do composto Ativo da Semente da *Moringa oleifera* Lam e sua utilização no Tratamento de água para Consumo Humano. Tese de Doutorado em Engenharia Química, UEM, Maringá –PR, 2010.

8. MOREIRA, H. A.- O Processo De Floculação No Tratamento De Águas De Abastecimento: Transposição De Resultados De Ensaio De Jarros Para Sistemas De Floculação Em Escala Real -22º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental Joinville - Santa Catarina - I-082, 14 a 19 de Setembro 2003.
9. ODEGAARD, H. Chemical Floc Formation in Wastewater Treatment - An Introduction. Prog. Wat. Tech., Supl. 1, p. 103-110, Pergamon Press, 1979.
10. OKUDA T., OKADA M. , BAES A. U, NISHIJIMA W., Coagulation Mechanism of Salt Solution-Extracted Active Component in *Moringa oleifera* Seeds . Water Research, Volume 35, Issue 3, February 2001, Pages 830-834.
11. PAVANELLI, G., 2001, Eficiência de diferentes tipos de coagulantes na coagulação, floculação e sedimentação de água com cor e turbidez elevada. São Carlos. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos.
12. RICHTER, C. A. Água: Métodos e tecnologia de tratamento. São Paulo: Blucher, 2009.
13. TANAC SG. http://www.tanac.com.br/sites/default/files/CT_TANFLOC_SG_PT_0.pdf, 2008.
14. ZHE Z.,T. L., WANG, D., YAO C., TANG H. Characterization Of Floc Size, Strength And Structure Under Various Coagulation Mechanisms. Powder Technology, Volume 168, Issue 2, 1, p. 104-110, 2006.