

I-381 – SIMULAÇÃO DOS PROCESSOS DE COAGULAÇÃO-FLOCULAÇÃO-DECANTAÇÃO: QUANTIFICAÇÃO DOS LODOS PRODUZIDOS

Ana Beatris Souza de Deus Brusa⁽¹⁾

Engenheira Civil (UFRGS/RS). Doutora em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental (UFRGS/IPH/RS) Professora Adjunta do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM).

Ana Mara Araújo Torres

Acadêmica do Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental (UFSM/RS).

Bárbara Machado Zimmermann

Acadêmica do Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental (UFSM/RS).

Eduarda Baggio

Acadêmica do Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental (UFSM/RS).

Endereço⁽¹⁾: Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Tecnologia, CTLab Sala 538, Avenida Roraima, nº 1000, Bairro Camobi, Santa Maria, RS, Brasil. CEP 97105-900 – Tel:(55) 32209667 – e-mail: absdeus@gmail.com

RESUMO

Este trabalho apresenta os resultados obtidos quando da simulação dos processos de coagulação, floculação e sedimentação utilizando três coagulantes, o coagulante inorgânico (sulfato de alumínio) e dois coagulantes orgânicos de origem vegetal à base de tanino. Foram avaliadas amostras de águas brutas com turbidez de 28 UNT, 32 UNT, 35 UNT, 44 UNT, 47 UNT, 49 UNT, 67 UNT, 77 UNT e 100 UNT. A simulação do processo de coagulação-floculação foi realizada com cada amostra de água bruta empregando os três coagulantes com duas diferentes dosagens de coagulante e cada teste foi realizado em duplicata, totalizando 54 testes. Os resultados obtidos mostram que há viabilidade no uso dos coagulantes orgânicos considerando-se, principalmente, o ganho ambiental.

PALAVRAS-CHAVE: Jar Test, Coagulante orgânico, Coagulante inorgânico, Lodo Gerado, Eficiência.

INTRODUÇÃO

A maioria das Estações de Tratamento de Água (ETAs), no Brasil, realizam o tratamento convencional d'água através dos processos de coagulação, floculação, sedimentação, filtração, desinfecção e fluoretação. No processo de coagulação é adicionada à água uma substância química, geralmente, sulfato de alumínio, a qual tem por finalidade promover a aglomeração dos sólidos em suspensão tornando-os mais pesados de forma a sedimentar, posteriormente, no tanque de decantação dando origem ao lodo da ETA, composto por hidróxido de alumínio, sólidos, produtos químicos empregados durante o processo da potabilização da água e subprodutos das reações ocorridas.

No Brasil há cerca de 7.000 ETAs e uma parcela significativa destas dispõem o lodo oriundo dos decantadores, da limpeza das unidades de floculação, de filtração e de tanques de produtos químicos, diretamente, nos cursos d'água.

A crescente demanda por água potável, com o conseqüente aumento no volume de esgotos gerados e dispostos, muitas vezes "in natura" ou pré-tratados nos cursos d'água naturais faz com que as concessionárias de abastecimento público utilizem uma quantidade maior de produtos químicos, mais especificamente, de coagulantes químicos e polieletrólitos, incrementando significativamente a geração de lodo, o qual apresenta teor de umidade superior a 95%, com pequena fração biodegradável e características fortemente oxidativas.

Sendo assim, é necessário e urgente buscar alternativas para minimizar a quantidade de lodos gerados nas estações de tratamento de água, bem como reduzir o seu potencial poluidor, bem como problemas estéticos associados à formação de bancos de lamas em cursos d'água superficiais e de saúde pública. Uma destas é a substituição do uso do coagulante químico (sulfato de alumínio) por coagulantes orgânicos de origem vegetal à base de acácia visando uma redução no volume de lodo gerado.

Este trabalho mostra que a substituição do coagulante químico (sulfato de alumínio) pelo coagulante orgânico de origem vegetal à base de tanino é viável, apresentando ganhos ambientais e econômicos.

OBJETIVOS

O objetivo principal deste trabalho experimental é quantificar o lodo gerado quando da simulação do processo de coagulação-floculação com o uso de coagulantes inorgânicos e orgânicos.

Para subsidiar o atendimento do objetivo principal, propõem-se como objetivos secundários à avaliação:

- i. dos parâmetros alcalinidade e pH antes e após do processo de coagulação-floculação;
- ii. da eficiência do processo de coagulação-floculação;
- iii. dos custos envolvidos associados ao uso dos coagulantes inorgânicos e orgânicos;
- iv. das vantagens e desvantagens do uso dos coagulantes inorgânicos e orgânicos.

METODOLOGIA

No laboratório LabHIDRO do CT/UFSM foram simulados, em escala de bancada, com o equipamento *Jar Test* (Teste de Jarros), os processos de coagulação, floculação e sedimentação de amostras de água bruta. O *Jar Test* permite determinar a melhor dosagem de coagulante, a chamada dosagem ótima. Além de ser utilizado também para a obtenção dos gradientes de velocidade e o tempo de mistura, que determinam variáveis de projeto de novas ETAs, ou como avaliação e revisão do dimensionamento de estações já implantadas e em funcionamento, com o objetivo de otimizar o processo de clarificação.

Após cada coleta de amostra de água bruta foram realizadas as seguintes atividades:

- i. Caracterização qualitativa da água bruta (pH, cor, turbidez e alcalinidade);
- ii. Calibração do equipamento Jar Test, neste foram simulados os processos de coagulação, floculação e sedimentação, tal como ocorre na ETA, para a determinação da dosagem ótima de coagulantes;
- iii. Preparação do coagulante orgânico natural e do coagulante inorgânico;
- iv. Colocação das amostras de água bruta nos jarros de 2 litros;
- v. Simulação do processo de coagulação: as hastes que compõem o aparelho foram colocadas para girar com velocidade correspondente a 150 rpm, e a seguir adicionado, simultaneamente, a cada jarro dosagens crescentes de coagulante de modo a cobrir a faixa de floculação da água;
- vi. Simulação do processo de floculação: após a adição do coagulante, foi cronometrado 1 minuto de mistura a 150 rpm, reduzida a rotação para 40 rpm e deixando em funcionamento por 20 minutos;
- vii. Simulação do processo de decantação: a amostra ficou em repouso por 30 minutos sedimentando os sólidos e após coletada amostras de água clarificada, evitando-se revolver o sedimento;
- viii. Caracterização qualitativa da água clarificada (pH, cor, turbidez e alcalinidade);
- ix. Avaliação da eficiência de remoção de cor e turbidez;
- x. Quantificação dos lodos produzidos devido ao emprego do coagulante.

Para atender os objetivos propostos foram testadas águas brutas com turbidez de 28 UNT, 32 UNT, 35 UNT, 44 UNT, 47 UNT, 49 UNT, 67 UNT e 77 UNT e 100 UNT sendo que para cada turbidez foram realizados dois testes para duas diferentes dosagens de coagulantes. A Figura 1 mostra o início do processo de decantação dos flocos formados após a adição dos coagulantes orgânicos naturais (Corg 1 e Corg 2) e coagulante inorgânico (Cinorg) e a floculação da amostra de água com turbidez de 67 UNT.



Figura 1: Simulação do processo de coagulação-floculação-sedimentação – Início da Fase de Sedimentação. Turbidez de 67 UNT. Coagulantes orgânicos naturais (Corg 1 e Corg 2) e Coagulante inorgânico (Cinorg).

RESULTADOS OBTIDOS

Considerando as simulações do processo de coagulação-floculação-sedimentação realizadas observou-se que a variabilidade dos valores dos parâmetros alcalinidade e pH não foram significativos para os coagulantes orgânicos, no entanto há uma redução nos valores de pH quando do uso do coagulante inorgânico. Quanto à formação do floco verificou-se que para algumas dosagens de coagulante o aspecto deste varia entre pequeno e médio, no entanto é de característica bem densa. As eficiências variam em função da turbidez, do tipo de coagulante, bem como sua dosagem. Nas Tabelas 1 e 2 estão representados alguns dados referentes a amostras de água com turbidez de 32 UNT e de 44 UNT.

Tabela 1: Resultados da simulação do processo de coagulação-floculação-sedimentação para amostra de água com turbidez de 32 UNT.

Coagulante	Dosagem (mg/l)	Aspecto do floco	pH Inicial	pH Final	Eficiência (%)
Orgânico 1	1,5	Pequeno-bom formação	7,0	6,9	84,4
Orgânico 1	2	Pequeno-bom formação	7,0	6,9	90,6
Orgânico 2	1,5	Pequeno-bom formação	7,0	6,9	87,5
Orgânico 2	2	Pequeno-bom formação	7,0	6,9	96,9
Inorgânico	40	Médio-bom formação	7,0	6,4	96,9
Inorgânico	60	Médio-bom formação	7,0	6,2	96,9

Tabela 2: Resultados da simulação do processo de coagulação-floculação-sedimentação para amostra de água com turbidez de 44 UNT.

Coagulante	Dosagem (mg/l)	Aspecto do floco	pH Inicial	pH Final	Eficiência (%)
Orgânico 1	1,5	Médio-bom formação	6,8	6,8	86,4
Orgânico 1	2	Médio-bom formação	6,8	6,9	93,2
Orgânico 2	1,5	Médio-bom formação	6,8	6,8	88,6
Orgânico 2	2	Médio-bom formação	6,8	6,8	93,2
Inorgânico	40	Médio-bom formação	6,8	6,3	95,5
Inorgânico	60	Médio-bom formação	6,8	6,5	97,7

Em termos de eficiência de remoção de turbidez após a simulação do processo de coagulação-floculação-sedimentação das amostras de água bruta observou-se que a dosagem ótima dos coagulantes orgânicos é de 2,0 mg/l, no entanto a eficiência de remoção de turbidez é maior para o coagulante orgânico 1 para turbidez inferior a 35 UNT, para turbidez superiores não foi verificada diferença significativa entre os coagulantes.

Na Figura 2 estão representados os valores de eficiência de remoção de turbidez em cada teste para a turbidez média de 100 UNT e dosagens do coagulante orgânico natural de origem vegetal de 10 mg/l, 12 mg/l, 14 mg/l, 16 mg/l, 18 mg/l e 20 mg/l. Para amostras de água bruta com turbidez média de 100 UNT (quatro testes) a dosagem ótima do coagulante orgânico natural de origem vegetal, foi de 10 mg/l, indicando uma eficiência de remoção de turbidez média de 96,8%. Verificou-se que dosagens superiores a este valor não causam incremento na eficiência de remoção.

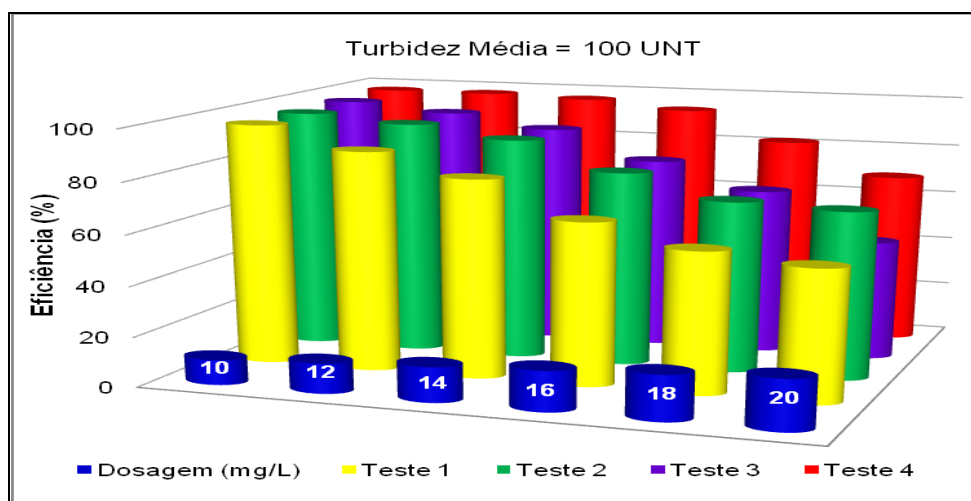


Figura 2: Eficiência de Remoção de Turbidez para diferentes dosagens do coagulante orgânico natural de origem vegetal.

Nas Tabelas 3, 4 e 5 estão representados os valores da turbidez inicial das amostras brutas analisadas, a eficiência de remoção de sólidos e a quantificação do volume de lodo produzido após simulação do processo de coagulação-floculação-sedimentação para os coagulantes orgânicos naturais (dosagem de 1,5 mg/l) e Coagulante inorgânico (dosagem de 40 mg/l). Nesta pode ser observado que a quantidade de lodo produzido é crescente em função da turbidez e que não há variabilidade entre o volume de lodo quando do uso dos coagulantes orgânicos.

Tabela 3: Quantidade de lodo produzido após simulação do processo de coagulação-floculação-sedimentação em função da turbidez inicial da amostra de água bruta

Sulfato de Alumínio - Dosagem: 40 mg/l		
Turbidez Inicial (UNT)	Eficiência (%)	Volume Lodo (m ³ /ano)
28	96,4	683,9
32	96,9	737,1
35	94,3	777,0
44	95,5	896,6
47	97,9	936,4
49	100,0	963,0
77	83,1	1.335,1

Tabela 4: Quantidade de lodo produzido após simulação do processo de coagulação-floculação-sedimentação em função da turbidez inicial da amostra de água bruta

Coagulante Orgânico 1 - Dosagem: 1,5 mg/l		
Turbidez Inicial (UNT)	Eficiência (%)	Volume Lodo (m ³ /ano)
28	78,6	380,12
32	84,4	433,17
35	85,7	472,96
44	86,4	592,33
47	93,6	632,12
49	91,8	658,64
77	93,5	1.035,85

Tabela 5: Quantidade de lodo produzido após simulação do processo de coagulação-floculação-sedimentação em função da turbidez inicial da amostra de água bruta

Coagulante Orgânico 2 - Dosagem: 1,5 mg/l		
Turbidez Inicial (UNT)	Eficiência (%)	Volume Lodo (m ³ /ano)
28	82,1	383,04
32	96,9	436,09
35	91,4	475,88
44	93,2	595,25
47	95,7	635,04
49	95,9	661,56
77	96,1	1.038,76

Com relação à geração de lodo após a simulação do processo de coagulação-floculação-sedimentação pode-se dizer que:

- é superior quando utilizado o coagulante inorgânico – Sulfato de Alumínio – por exemplo, para a turbidez de 28 UNT esta é 44% maior do que para os coagulantes orgânicos. No entanto, para turbidez de 77 UNT este valor sofre uma redução, sendo que o coagulante inorgânico gera 22% mais lodo que os coagulantes orgânicos;
- não há diferença significativa na geração de lodos quando do emprego dos coagulantes orgânicos;
- quando utilizado o coagulante inorgânico – Sulfato de Alumínio para águas com turbidez entre 28 e 35 UNT (águas de classe 1, Resolução CONAMA nº 357/2005) a quantidade anual de lodo é de cerca de 777 m³/ano, os quais precisam ser adequadamente dispostos no meio ambiente;
- quando do uso dos coagulantes orgânicos para águas com turbidez de 35 UNT (águas de classe 1, Resolução CONAMA nº 357/2005) a quantidade anual de lodo, para uma cidade de 200.000

habitantes, é de cerca de 470 m³/ano, os quais também precisam ser dispostos corretamente no meio ambiente;

- v. com relação aos custos para águas com turbidez de 35 UNT e para uma cidade de 200.000 habitantes tem-se um gasto mensal de R\$ 37.750,00 com o coagulante inorgânico. No entanto, quando do uso de coagulantes orgânicos nota-se um incremento de 60% no valor. Porém, a quantidade de lodo formado quando do emprego do coagulante inorgânico é superior (cerca de 1000 m³/ano).

CONCLUSÕES

Há uma melhora significativa na eficiência do processo de coagulação-floculação quando do uso dos coagulantes orgânicos, em relação ao sulfato de alumínio. Durante os testes, verificou-se a formação de flocos mais densos, maiores e de massa específica superior. Além disso, a remoção da turbidez, considerando-se as mesmas condições para os três coagulantes, é superior nos coagulantes orgânicos e com dosagem ótima inferior cerca de 20 vezes.

Com relação à quantidade de lodo gerado, os coagulantes orgânicos geram menor volume de lodo, há uma redução bastante significativa, em média 34%, considerando toda a faixa de turbidez estudada (28 a 100 UNT).

A principal vantagem do emprego dos coagulantes orgânicos sobre os inorgânicos e a redução no volume de lodo gerado, o qual deverá ser tratado e disposto no meio ambiente com menor impacto; porém como desvantagem apresenta um custo elevado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Gao, B.Y., Hahn, H.H. e Hoffmann. 2002. Evaluation of aluminum-silicate polymer composite as a coagulant for water treatment. *Water Research: a Journal of the International Water Association*, v.36 n.14, p. 3573-3581.
2. Ozacar, M., Sengil, I. A. 2008. Evaluation of tannin biopolymer as a coagulant AID for coagulation of colloidal particles. *Colloids and surfaces. Physicochemical and Engineering Aspects*, v.229, p.85-96.
3. Vanacor, R. N. Avaliação do Coagulante Orgânico Veta Organic utilizado em Estação de Tratamento de Água para Abastecimento Público. 2005. 188 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
4. Viessman, Warren, Jr.. Hammer, Mark J.. 1998. *Water supply and pollution control*. 6. ed. Menlo Park: Addison-Wesley. 827 p.