

XIII Congresso Nacional de **MEIO AMBIENTE** de Poços de Caldas

www.meioambientepocos.com.br

XIII CONGRESSO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE DE POÇOS DE CALDAS

21, 22 E 23 DE SETEMBRO DE 2016

EFEITO DO CAMPO MAGNÉTICO NO PROCESSO DE COAGULAÇÃO PARA TRATAMENTO DE ÁGUA CONTAMINADA COM LAS

Nattácia R. A. Felipe Rocha¹, Alex Anderson O. Moura¹ Nadine Pereira Merlo¹ e Moilton R. Franco Junior²

¹ UniRV – Universidade de Rio Verde – Goiás -

² UFU – Universidade Federal de Uberlândia - PPG – Biocombustíveis – Minas Gerais.
moilton@ufu.br

Eixo temático : Gerenciamento de resíduos sólidos e líquidos.

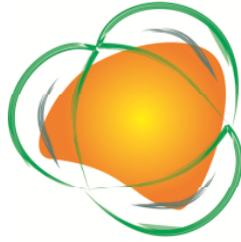
Abstract

In the area of environmental engineering, magnetic field started offering the potential for the efficient removal of pollutants and biological contaminants. With the rapid development of science, magnetic components are currently being widely studied in water treatment field. The utilization of new chemicals or magnetic field has received great attention due to their unique properties. The new methods which not required extension of existing plants or building very expensive reactors are still searching. In recent years much more attention has been directed to the possibility of improvement of waste water treatment by static magnetic field as auxiliary. The aim of this study was to determine the impact of constant magnetic field as well as the integration of this technique with the famous technique used for wastewater treatment which is coagulation by chlorate aluminium as a novel method for treatment. This new method has been found to be a useful method for removing turbidity, TS and COD from chemically treated wastewater.

Keywords: coagulation; magnetic field; water treatment; surfactant.

Resumo

Em engenharia ambiental, campo magnético começou a oferecer um potencial para remover eficientemente poluentes e contaminantes biológicos. Com o rápido desenvolvimento da ciência, componentes magnéticos são correntemente sendo largamente estudados no campo do tratamento de água. A utilização de novos compostos ou do campo magnético tem recebido grande atenção devido suas propriedades únicas. Os novos métodos que não requerem extensão de plantas existentes ou construção e reatores muito caros são ainda buscados. Em anos recentes bem mais atenção tem sido direcionada para a possibilidade de melhoria do tratamento de água residuária empregando campo magnético estático como um auxiliar. O objetivo deste trabalho foi de estudar o impacto de um campo magnético constant, tão bem como a integração desta técnica com a famosa técnica usada para tratamento de água que é a coagulação pelo cloreto de alumínio como um método



XIII Congresso Nacional de **MEIO AMBIENTE** de Poços de Caldas

www.meioambientepocos.com.br

XIII CONGRESSO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE DE POÇOS DE CALDAS
21, 22 E 23 DE SETEMBRO DE 2016

inovador para tratamento. Este novo método tem se mostrado ser útil para remover turbidez, sólidos totais e DQO para água residuária quimicamente tratada.

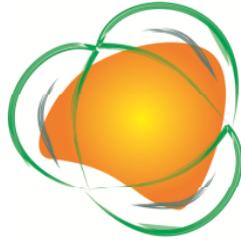
Palavras-Chaves: coagulação; campo magnético; tratamento de água; surfactante.

Introdução

É largamente conhecido que as indústrias de cosméticos e de materiais de limpeza utilizam grandes quantidades de surfactantes na composição de seus produtos. Dessa forma, a linha fluida proveniente do processo, que deve ser descartada para uma estação de tratamento, possui diferentes compostos químicos sendo alguns deles surfactantes como o LAS – lauril sulfato de sódio. Frequentemente, faz-se uso de estações de tratamento que possui alguns inconvenientes: ocupa área considerável da fábrica, o processo de tratamento é lento e o local torna-se um criadouro de ratos e baratas. Dessa forma processos mais atualizados e eficazes devem ser buscados inclusive visando melhoria das condições ambientais. Não é tão recente que o tratamento magnético de água (TMA) é conhecido como uma técnica efetiva para prevenir a formação de incrustação e uma separação da incrustação já formada em sistemas de águas industriais como aquecedores, trocadores de calor e outros. No caso específico de trocador de calor em sistemas de água aquecida serão prejudicados pela incrustação e haverá um aumento no consumo de energia e custos de operação.

Pesquisadores [Grimes, 1988; Parsons et al., 1997] informam redução de incrustação obtida por TMA e alguns outros observaram menores impactos [Busch et al., 1997]. Este fenômeno é agora mais largamente aceito apesar de que a primeira patente já tenha sido em 1945 [Vermeiren, 1958]. No período dos últimos sessenta anos muitos estudos foram conduzidos e vários equipamentos foram desenvolvidos sem o mais claro entendimento dos mecanismos. Alguns pesquisadores tem observado que a quantidade de deposição é aumentada quando o sistema é submetido a tratamento com campo magnético sob condições diversas [Grimes, 1988; Higashitani et al., 1993; Barret e Parsons, 1998; Kobe et al., 2002; Coey e Cass, 2000; Botello et al., 2004; Knez e Pohar, 2005]. Foi também descoberto que a taxa de nucleação depende do método e tempo de exposição da solução ao campo magnético [Holysz et al., 2002]. Caso de nucleação melhorada pela exposição alternada a campo magnético tem sido observado nos trabalhos de Wang et al., [Wang et al., 1997]. Dessa forma a disposição dos magnetos parece influenciar em um aumento ou redução da efetividade do processo que se deseja realizar [Gabielli et al., 2001; Holysz et al., 2003].

Um caso bem interessante é observado em trabalhos recentes em que o nanofluido é magnetizado para remover bactérias, como no trabalho de HATAMIE *et al.*, 2016. Os resultados de aumento de remoção podem ser conferidos na Figura que se segue:



XIII Congresso Nacional de **MEIO AMBIENTE** de Poços de Caldas

www.meioambientepocos.com.br

XIII CONGRESSO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE DE POÇOS DE CALDAS
21, 22 E 23 DE SETEMBRO DE 2016

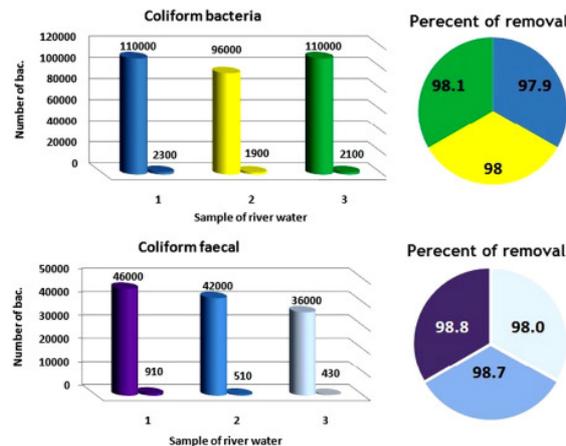
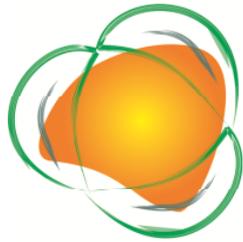


Figura 1 – Resultados de HATAMIE *et al.*, 2016 na remoção de coliforms com e sem aplicação de campo magnético.

Neste trabalho buscou-se associar o tratamento de água residuária contaminada por LAS empregando-se cloreto de alumínio com a presença de um campo magnético disposto em duas configurações, bem como sem a presença do referido. Os experimentos foram conduzidos com reprodutibilidade e amostras feitas em duplicatas para avaliar os seguintes parâmetros: turbidez, pH, condutividade, DQO, sólidos totais, absorvância (concentração de surfactante) e oxigênio dissolvido. Os resultados comprovaram sensível melhoramento no tratamento com adição de magnetos ao fundo do reator.

Material e Métodos

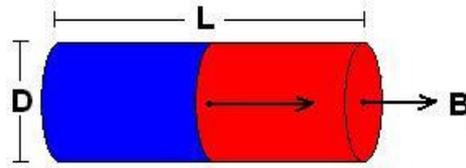
Água residual sintética a ser tratada foi preparada num tanque agitado empregando-se água destilada e surfactante LAS (lauril sulfato de sódio) fornecido pela VETEC Química S. A. – pureza 99% em massa). Aliquotas de 300 mL de água residual com concentração inicial de surfactante de 100 mg/L foram alimentadas aos reatores de vidro dispostos sobre agitadores magnéticos. Os reatores nomeados como 1 e 2 continham campo magnético no fundo e lateral, respectivamente, e o reator 3 não possuía nenhum ímã, ou campo magnético, em sua configuração. O magneto que foi utilizado possuía a seguinte estrutura de ação do campo magnético (B), como na figura 2:



XIII Congresso Nacional de **MEIO AMBIENTE** de Poços de Caldas

www.meioambientepocos.com.br

XIII CONGRESSO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE DE POÇOS DE CALDAS
21, 22 E 23 DE SETEMBRO DE 2016



$$En_{Mag} \approx 1,3 \cdot 10^6 \cdot D^2 \cdot L \cdot B^2$$

Figura 2 – Esquema da ação do campo magnético no ímã ou ímã.

Em que D e L são diâmetro e largura e En_{Mag} é a equação que permite estimar o valor do campo magnético proporcionado pelo ímã.

Em seguida, pesou-se em uma balança analítica 0,15g de Cloreto de Alumínio (Aldrich – 99,5%) em três amostras iguais e transferiu-se essa medida para cada reator. Foi iniciado o processo de agitação lenta durante 1 hora. A rotação do reator empregada foi de 6 rpm.

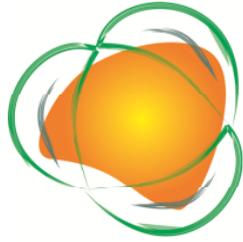
Após a agitação ser desligada, inicia-se o processo de decantação da água residual. Amostras foram retiradas (± 30 mL) de cada reator para prosseguir com as análises, a cada hora, por um período de mais de sete horas consecutivas. Ademais, os reatores descansaram por 24 horas e amostragem foi feita após este período visando observar a estabilidade dos parâmetros.

As grandezas aferidas, temporalmente, foram: Turbidez (NTU), pH, condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$), ST (sólidos totais g/kg), DQO (Demanda Química de Oxigênio) e OD (oxigênio dissolvido, mg/L). As medidas foram feitas em triplicatas e seguiram os padrões do Standard Methods.

A concentração de surfactante na água tratada era aferida através da medida da absorbância da amostra. A absorbância era determinada em espectrofotômetro UV VIS. Utilizou-se o comprimento de onda de 650 nm. Cada alíquota era retirada dos reatores sendo devidamente preparada para a determinação em que foi usado um kit de análises para LAS – Alfakit-Florianópolis SC).

Resultados e Discussão

Coagulação química melhorada tem sido estudada (Revolta, 2014) em nosso laboratório resultando em estímulos para continuidade desta linha. Nestes estudos (Revolta, 2014; Revolta *et al.*, 2013) observou-se limites ou faixas de concentração inicial a ser empregada para o coagulante. Dessa forma, optou-se por utilizar um valor que estivesse dentro da média que seria de 300 – 1000 mg/L para os tradicionais coagulantes testados por Revolta, 2014. Igualmente, o nível de agitação da mistura no



XIII Congresso Nacional de **MEIO AMBIENTE** de Poços de Caldas

www.meioambientepocos.com.br

XIII CONGRESSO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE DE POÇOS DE CALDAS
21, 22 E 23 DE SETEMBRO DE 2016

reator tem sido objeto de pesquisa e observou-se que a rotação de 6 rpm atende a troca de massa necessária para o processo desejado.

Desta maneira, após agitação do reator, amostras eram coletadas empregando-se micropipeta (2 mL) introduzida no interior do reator. O monitoramento dos parâmetros se deu por seis horas consecutivas e uma análise, após 24 horas de decantação, foi feita dando desfecho ao tratamento.

As Figuras 3 e 4 ilustram o comportamento da condutividade elétrica e da Demanda Química de Oxigênio (DQO) da mistura com o tempo. A curva de condutividade de mistura apresenta um ponto de mínimo para os três reatores sendo que ele é mais acentuado para o reator com campo magnético aplicado na base. É interessante observar que o valor da condutividade duplica-se em relação à inicial quando a decantação do sistema alcança 24 horas. Isso sugere uma migração, ou retorno, dos íons para o seio da solução.

Com relação à DQO, nota-se uma queda acentuada deste parâmetro nas duas primeiras horas de decantação. A partir da terceira hora de descanso, percebe-se que a DQO da mistura não sofre alteração apreciável, nem mesmo ao transcorrer 24 horas. Efeitos da presença do campo magnético, bem como da disposição deste no reator, não são observados com evidência.

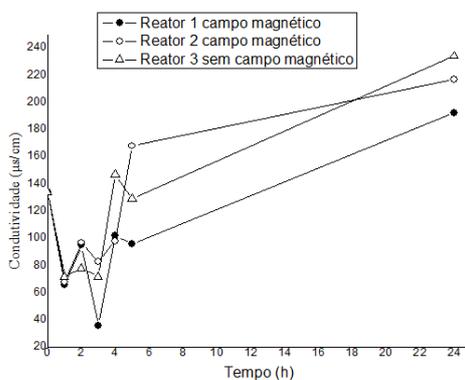


Figura 3 – Condutividade da água tratada com cloreto de alumínio em função do tempo.

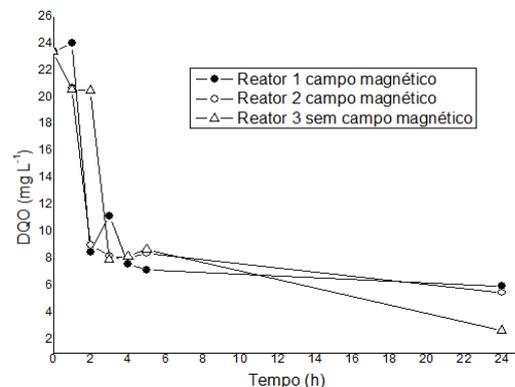
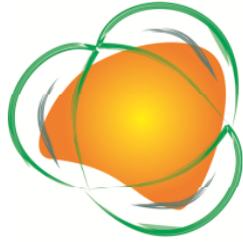


Figura 4 – DQO da água tratada com cloreto de alumínio em função do tempo.

Legenda : (● campo no fundo do reator; ○ campo na lateral; ◻ sem campo)

A curva de oxigênio dissolvido (OD) pode ser conferida através da Figura 4, para os três reatores. Uma influência marcante da disposição dos magnetos no reator fica evidente nas cinco primeiras horas de decantação da mistura. Ademais, está evidenciado o menor nível de oxigênio no sistema para o campo magnético aplicado ao

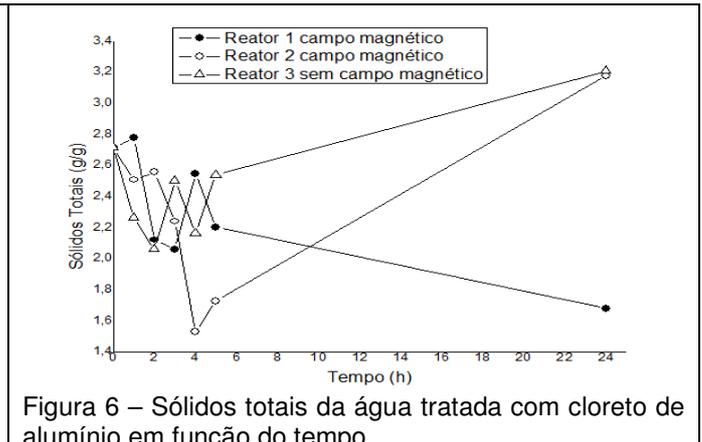
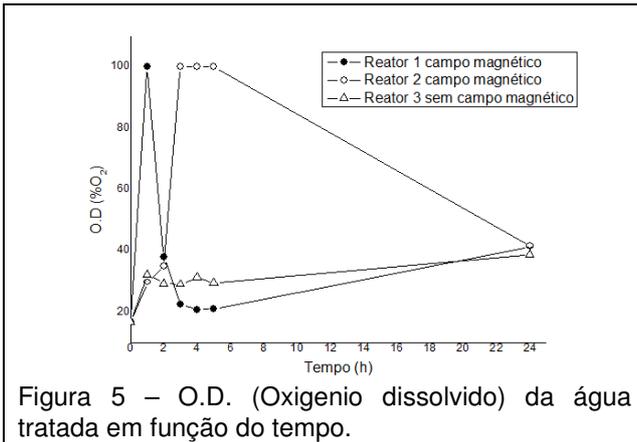


XIII Congresso Nacional de MEIO AMBIENTE de Poços de Caldas

www.meioambientepocos.com.br

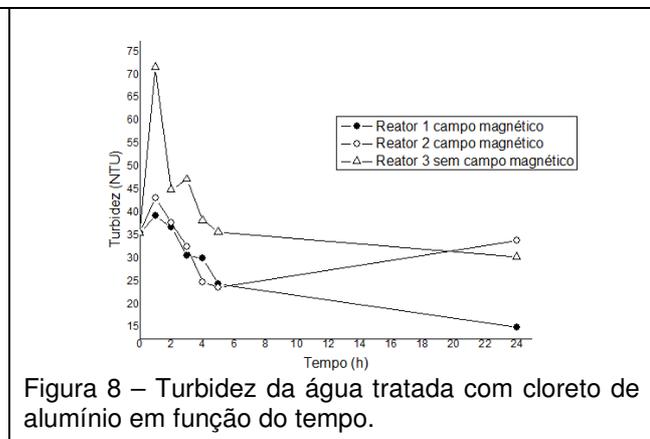
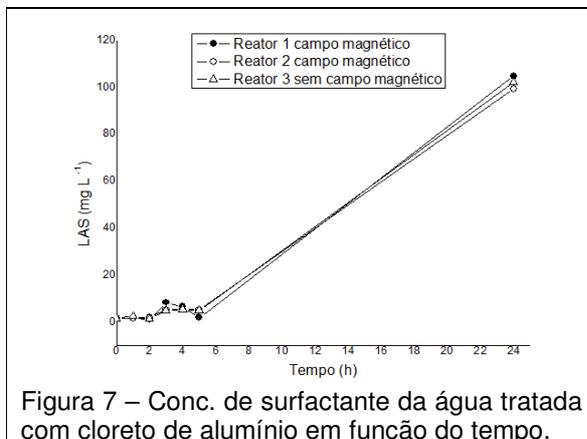
XIII CONGRESSO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE DE POÇOS DE CALDAS
21, 22 E 23 DE SETEMBRO DE 2016

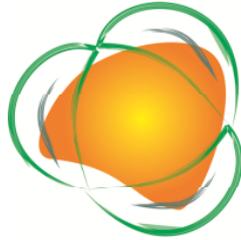
fundo do reator. Entretanto, após o período de 24 horas, nota-se que o nível de oxigênio dissolvido é semelhante para os reatores 1, 2 e 3.



A análise de sólidos totais mostrou que o parâmetro oscila durante o monitoramento dos três reatores e que o processo coagulativo é benéfico para a redução de surfactante entretanto há que permanecer atento para a posição de distribuição dos magnetos no reator. Através da Figura 6, recomenda-se aloja-los na base do reator o que leva a uma redução de, aproximadamente, 70% dos sólidos totais iniciais.

A concentração inicial de LAS nos reatores era de 100 mg/L e cai abruptamente na primeira hora de decantação após o tratamento, para todos os sistemas. De acordo com a Figura 7, esse valor se mantém em níveis baixos nas seis primeiras horas de decantação vindo a subir com o tempo atingindo o valor inicial após 24 horas. Este resultado vem reforçar a necessidade de interrupção do processo de tratamento nas seis primeiras horas de decantação.





XIII Congresso Nacional de **MEIO AMBIENTE** de Poços de Caldas

www.meioambientepocos.com.br

XIII CONGRESSO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE DE POÇOS DE CALDAS
21, 22 E 23 DE SETEMBRO DE 2016

Comprovadamente, a turbidez do sistema é reduzida com o uso do coagulante, bem como com a aplicação do campo magnético em quaisquer das duas configurações do reator. Esse aspecto está evidente na Figura 8. O período de descanso de 24 horas beneficia a configuração em que o campo magnético fora aplicado à base do reator.

Conclusões

Coagulação química pode ser melhorada empregando-se um agente motriz, neste caso foi usado campo magnético com duas configurações distintas. Observou-se que a disposição dos magnetos distribuídos ao fundo do reator, proporciona alguns benefícios em termos de melhorias na turbidez final e sólidos totais.

Não se recomenda um período longo de decantação haja vista o retorno dos íons para o seio da solução, o que prejudica todo o processo de tratamento.

Agradecimentos

Os autores agradecem à UniRV – Universidade de Rio Verde – Goiás – Brazil pela concessão da bolsa de pesquisa na chamada interna 01/2016 – PRPPG/UniRV, bem como o apoio de espaço físico. (projetos 26/2016 e 39/2016).

Referências Bibliográficas.

BARRET, R.A.; PARSONS, S.A. The influence of magnetic fields on calcium carbonate precipitation, *Water Res.* 32(3) (1998) 609–612.

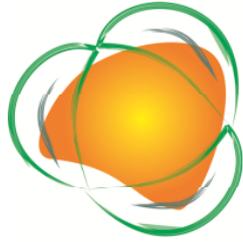
BOTELLO-ZUBIATE, M. E.; ALVAREZ, A.; MARTINEZ-VILLAFANE, A.; ALMERAYA-CALDERON, F.; MATUTES-AQUINO, J. A. Influence of magnetic water treatment on the calcium carbonate phase formation and the electrochemical corrosion behavior of carbon steel, *J. Alloys Compd.* 1(369) (2004) 256–259

BUSCH, K.W.; BUSCH, M.A.; DARLING, R.E.; MAGGARD, S.; KUBALA, S.W. Design of a test-loop for the evaluation of magnetic water-treatment devices, *Process Saf. Environ. Prot.* 75 (1997) 105–114.

COEY, J.M.D.; CASS, S. Magnetic water treatment, *J. Magn. Mater.* 209 (2000) 71–74.

GABRIELLI, C.; JAOUHARI, R.; MAURIN, G.; KEDDAM, M. Magnetic water treatment for scale prevention, *Water Res.* 35(13) (2001) 3249–3259.

GRIMES, S.M. Magnetic field effect on crystals, *Tube Int.* (March) (1988) 111–118.



XIII Congresso Nacional de **MEIO AMBIENTE** de Poços de Caldas

www.meioambientepocos.com.br

XIII CONGRESSO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE DE POÇOS DE CALDAS

21, 22 E 23 DE SETEMBRO DE 2016

HIGASHITANI, K.; KAGE, A.; KATAMURA, S.; IMAI, K.; HATADE, S. Effects of magnetic field on the formation CaCO_3 particles, *J. Coll. Interface Sci.* 156 (1993) 90–95.

HOLYSZ, L.; CHIBOWSKI, M.; CHIBOWSKI, E. Time-dependent changes of zeta potential and other parameters of in situ calcium carbonate due to magnetic field treatment, *Coll. Surf. A Physio chem. Eng. Asp.* 208 (2002) 231–240.

HOLYSZ, L.; CHIBOWSKI, E.; SZCZES, A. Influence of impurity ions and magnetic field of the properties of freshly precipitated calcium carbonate, *Water Res.* 37 (2003) 3351–3360.

KNEZ, S.; POHAR, C. The magnetic field influence on the polymorph composition of CaCO_3 precipitated from carbonized aqueous solutions, *J. Coll. Interface Sci.* 281 (2005) 377–388.

KOBE, S.; DRAZIC, G.; MCGUINNESS, G.; STRAZISAR, J. TEM examination of the influences of magnetic field on the crystallization for of calcium carbonate: a magnetic water-treatment device, *Acta Chimica Slovenica* 48 (2001) 77–86.

KOBE, S.; DRAZIC, G.; CEFALAS, A. C.; SARANTOPOULOUS, E.; STRAZISAR, J., Nucleation and crystallization of CaCO_3 in applied magnetic fields, *Cryst. Eng.* 5(2002) 243–253.

PARSONS, S. A.; WANG, B. L.; JUDD, S. J.; STEPHENSON, T. Magnetic treatment of calcium carbonate scale-effect of pH control, *Water Res.* 31(2) (1997) 339–342.

REVOLTA, B. S., ALMEIDA, J. S. M., FRANCO JR, M. R. Tratamento de águas residuárias domésticas como auxiliar da descontaminação de águas subterrâneas. *Anais do III CIMAS - São Paulo.* Outubro de 2013.

REVOLTA, B. S. **Coagulação química melhorada visando o tratamento de água cinza.** dissertação de mestrado FEQUI-UFU – Janeiro de 2014 – 155 pg.

VERMEIREN, T. Magnetic treatment of liquids for scale and corrosion prevention, *Corros. Technol.* 5 (1958) 215–219.

WANG, Y.; BABCHIN, A. J.; CHERNYI, L. T.; CHOW, R. S.; SAWATZKY, R. P. Rapid onset of calcium carbonate crystallization under the influence of a magnetic field, *Water Res.* 31(2) (1997) 346–350.

HATAMIE, A.; PARHAM, H.; ZARGAR, B.; HEIDARI, Z. Evaluating magnetic nano-ferrofluid as a novel coagulant for surface water treatment *Journal of Molecular Liquids* 219 (2016) 694–702