



APLICAÇÃO DE CAMPO MAGNÉTICO NA REMOÇÃO DE TURBIDEZ DE ÁGUA DE MANANCIAL SUPERFICIAL, DESTINADA AO CONSUMO HUMANO

Matheus Pinheiro Massaut⁽¹⁾

Engenheiro Sanitarista e Ambiental, mestrando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental – Universidade Federal de Santa Catarina

Ramon Lucas Dalsasso⁽²⁾

Doutor em Engenharia Ambiental, professor do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental e do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental – Universidade Federal de Santa Catarina

Endereço⁽¹⁾: Campus Universitário Reitor João David Ferreira Lima - Trindade - Florianópolis – Santa Catarina - CEP: 88040-900 - Brasil - Tel: +55 (48) 3050-3189 - e-mail: mpmassaut@hotmail.com

RESUMO

Os novos métodos que não requerem extensão de plantas existentes ou construção de reatores muito caros são ainda buscados. Este artigo busca apresentar uma contribuição prática para o avanço do conhecimento no tratamento das águas. É apresentado um estudo em escala piloto sobre a remoção de turbidez sob influência dos efeitos de um campo magnético. O sistema de tratamento das águas elaborado na pesquisa possui as características de filtração direta, sendo composto pelas etapas de coagulação e filtração. Uma bobina para geração de campo magnético foi construída e instalada para magnetizar a água antes do ponto de aplicação de coagulante. Alcançou-se valores inferiores de turbidez final quando foi aplicado campo magnético. A diferença percentual nos valores de turbidez entre os cenários com e sem magnetização chegou a mais de 60%.

PALAVRAS-CHAVE: Coagulação; Campo magnético; e Tratamento de água.

INTRODUÇÃO

Praticamente toda água que se encontra na natureza, principalmente em corpos de água superficiais, demanda tratamento para ser utilizada no abastecimento público. Isso se deve à grande variedade e volume de contaminantes liberados pelas atividades antrópicas, e, por vezes, processos naturais (RICHTER & AZEVEDO NETTO, 1991). A água consumida pelo ser humano deve obedecer a critérios de qualidade definidos por normas nacionais ou internacionais (DI BERNARDO et al., 1999). A obediência a esses critérios determina que a seleção da tecnologia de tratamento a ser adotada considere, além de qualidade da água a ser tratada, a própria característica da comunidade a ser beneficiada. Do ponto de vista tecnológico, água de qualquer qualidade pode ser, em princípio, transformada em água potável (DI BERNARDO et al., 1999).

Entretanto, analisando o aumento na degradação e poluição do meio ambiente e recursos hídricos, se faz necessário o aperfeiçoamento das técnicas e o domínio de novos conhecimentos na gestão do saneamento. As águas superficiais utilizadas como fonte para abastecimento estão sujeitas cada vez mais a poluentes e contaminantes, demandando tratamentos mais elaborados. Neste sentido, o aumento do uso de produtos químicos no tratamento das águas, como por exemplo os coagulantes à base de sais de alumínio, é um aspecto preocupante, tanto no ponto de vista econômico quanto na saúde humana. Os primeiros estudos que demonstram a neurotoxicidade do alumínio ao homem datam de mais de 100 anos.

Com isto, busca-se meios que aumentem a segurança, a eficiência do tratamento e a qualidade das águas relacionando o avanço tecnológico e econômico, como por exemplo a diminuição do consumo de produtos químicos. Paralelamente, têm-se discutido a aplicação de campos magnéticos para assistirem os processos de tratamento das águas de forma potencialmente eficaz (ZAIDI et al., 2014). Através do magnetismo podemos afetar as propriedades físicas dos contaminantes na água de forma a facilitar sua manipulação e, conseqüentemente, eliminação.

Segundo Zaidi et al. (2014), a aplicação de campo magnético no tratamento das águas tem a capacidade de melhorar o desempenho físico em termos de separação sólido-líquido, principalmente através da coagulação das partículas coloidais. Na presença de um campo magnético as partículas sofrem um alinhamento que facilita a sua agregação (VICK, 1991).

Uma das vantagens da implantação de campos magnéticos em sistemas de tratamento de águas é que se trata de uma tecnologia verde. No caso do uso de ímãs permanentes, não há necessidade de reposição e compra de materiais e gastos com eletricidade. O emprego e a instalação de dispositivos para geração de campo



magnético são considerados simples e econômicos (ZAIDI et al., 2014). É uma tecnologia que não gera resíduos na água e o efeito da magnetização é dissipado de acordo com a memória magnética.

Por tais razões, buscou-se neste trabalho aplicar campo magnético de forma auxiliar a etapa de coagulação. O objetivo é evidenciar a capacidade da magnetização em ajudar a remover a turbidez das águas.

MATERIAIS E MÉTODOS

As investigações experimentais ocorreram no Laboratório de Águas da Lagoa do Peri (LALP), administrado pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). O laboratório está localizado junto à Estação de Tratamento de Águas da Companhia Catarinense de Águas e Saneamento (CASAN) no sul da ilha de Florianópolis – SC. No local, através de instalações hidráulicas, a água bruta proveniente da Lagoa do Peri está à disposição para atividades experimentais. As águas deste manancial são caracterizadas pela presença de grandes densidades de cianobactérias. Segundo Melo Filho (2006), a turbidez característica encontra-se entre 4,98 e 6,42 NTU.

Construiu-se um sistema piloto para avaliar a remoção de turbidez com o auxílio de aplicação de campo magnético na etapa de coagulação. A Figura 1 apresenta de forma esquemática o sistema piloto.

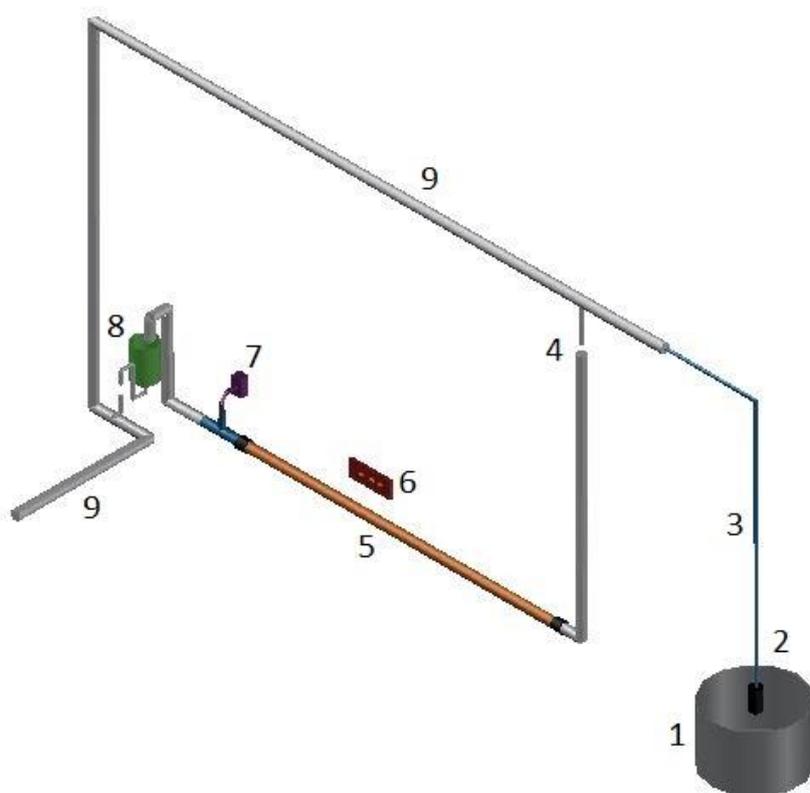


Figura 1: Esquema sistema piloto.

Dentre as partes constituintes mais importantes do sistema estão: 1 – reservatório de água bruta; 2 – bomba submersível; 3 – mangueira de alimentação; 4 – regulagem da vazão; 5 – bobina; 6 – painel de controle da bobina; 7 – bomba dosadora de coagulante; 8 – filtro de laboratório de areia; e 9 – tubulação de descarga. A partir do reservatório de água bruta, é realizado o bombeamento para o ponto de controle da vazão – uma abertura em uma peça hidráulica regula a vazão para $70 \text{ L}\cdot\text{h}^{-1}$. Na sequência o líquido flui pelo interior da bobina para receber a magnetização, e, em seguida, a dose de coagulante. Posteriormente, a água magnetizada e coagulada é transportada até o filtro de laboratório de areia (FLA).

A bobina desenvolvida para o experimento possui capacidade para gerar três intensidades de campos magnéticos diferentes (8, 12 e 24 mT). A mesma foi construída utilizando-se como estrutura uma tubulação de aço galvanizado com diâmetro externo e interno igual a, respectivamente, 48,5 e 41,5 mm. A escolha deste material ocorreu devido avaliação feita por Gabrielli et al. (2001) sobre os materiais que causam a menor interferência na exposição de campo magnético. Utilizou-se fio de cobre esmaltado de 14 AWG e fonte de 12 V e 12 A para alimentação de carga elétrica. Construiu-se três bobinas iguais em sequência, sendo que, a



ligação combinada entre elas altera o seu comprimento total, e, conseqüentemente, o campo magnético gerado. Em cada bobina foram necessários 198,0 m de fio de cobre para completar 1176 voltas em sua seção transversal (espiras – divididas em 4 camadas sobrepostas), distribuídas em 0,50 m. Nomeou-se como Bobina 1 aquela com 0,50 m de comprimento e que gera um campo magnético de 24 mT. A Bobina 2, com 1,0 m, capaz de gerar um campo de 12 mT. E, por fim, Bobina 3, com 1,5 m, e capacidade de produzir um campo magnético de 8 mT. Realizou-se, portanto, ensaios variando a intensidade de campo magnético aplicado.

O filtro de laboratório de areia foi desenvolvido com base nas recomendações de Di Bernardo et al. (2003). A espessura da camada filtrante é igual a 15 cm, sendo que, os grãos da areia possuem diâmetro compreendido entre 0,42 e 0,85 mm, tendo como diâmetro efetivo, 0,50 mm. A área da seção do filtro é igual a 0,05 m² e adotou-se como taxa de filtração a recomendação feita por Di Bernardo et al. (1999) para pré-filtros, igual a 36 m.d⁻¹. A vazão de trabalho foi igual a 70 L.h⁻¹. No fim de cada ensaio, retirou-se por completo a areia do filtro para realização da sua limpeza.

O coagulante utilizado nos ensaios foi o hidroxocloreto de alumínio (PAC) com 10,5% de Al₂O₃. De acordo com Di Bernardo et al. (2003), a dose de coagulante ótima para as águas deste manancial é igual a 22 mg PAC/L. Para a realização dos ensaios variou-se a dose de coagulante aplicada, sendo utilizadas as seguintes concentrações: 4,8 – 9,6 – 14,4 – 19,2 e 24 mg PAC.L⁻¹. Também foram realizados ensaios sem aplicação de coagulante, onde apenas a ação do campo magnético estava presente. A Tabela 1 apresenta de forma organizada todos os cenários de ensaios com as variáveis, campo magnético e dose de coagulante testadas.

Tabela 1: Ensaios experimentais realizados.

Ensaio	Dose de Coagulante (mg PAC.L ⁻¹)	Campo Magnético (mT)	Ensaio	Dose de Coagulante (mg PAC.L ⁻¹)	Campo Magnético (mT)
Cenário 1	0	0	Cenário 13	14,4	0
Cenário 2	0	8	Cenário 14	14,4	8
Cenário 3	0	12	Cenário 15	14,4	12
Cenário 4	0	24	Cenário 16	14,4	24
Cenário 5	4,8	0	Cenário 17	19,2	0
Cenário 6	4,8	8	Cenário 18	19,2	8
Cenário 7	4,8	12	Cenário 19	19,2	12
Cenário 8	4,8	24	Cenário 20	19,2	24
Cenário 9	9,6	0	Cenário 21	24,0	0
Cenário 10	9,6	8	Cenário 22	24,0	8
Cenário 11	9,6	12	Cenário 23	24,0	12
Cenário 12	9,6	24	Cenário 24	24,0	24

Os experimentos foram conduzidos em triplicata. No início de cada ensaio foi realizada a coleta de água bruta, e, sempre após 10 minutos, a coleta de água tratada na saída do filtro. Para análise da turbidez das águas, foi utilizado o Turbidímetro da marca HACH, modelo 2100P. Enquanto que, para análise do pH foi utilizado o pHmetro da marca Alfakit, modelo AT355. A Tabela 2 apresenta os parâmetros e as técnicas utilizadas para a leitura.

Tabela 2: Parâmetros e Técnicas Analíticas Utilizadas.

Parâmetro	Técnica Analítica	Unidade de Medida
pH	Potenciométrico	--
Turbidez	Nefelométrico	NTU

RESULTADOS OBTIDOS

A Tabela 3 apresenta os resultados obtidos experimentalmente.



Tabela 3: Resultados obtidos experimentalmente.

Cenário	pH Inicial	pH Final	Turbidez Inicial (NTU)	Turbidez Final (NTU)	Cenário	pH Inicial	pH Final	Turbidez Inicial (NTU)	Turbidez Final (NTU)
1	*	*	5,53	1,95	13	*	*	4,12	1,02
	*	*	4,73	1,70		7,54	6,50	7,65	1,03
	7,70	7,45	2,78	1,87		7,27	6,37	6,89	0,84
2	*	*	6,99	1,78	14	*	*	4,29	0,47
	*	*	5,48	2,16		7,55	6,74	7,48	0,67
	7,66	7,40	3,63	1,80		7,25	6,47	7,94	0,85
3	*	*	7,08	1,67	15	*	*	3,70	0,38
	*	*	5,95	1,58		7,52	6,92	6,82	0,37
	7,62	7,33	3,96	1,61		7,25	6,50	8,79	0,74
4	*	*	5,64	1,70	16	*	*	4,93	0,79
	*	*	5,63	1,97		7,39	6,80	7,48	0,67
	7,41	7,20	4,60	1,43		7,20	6,57	11,43	0,53
5	*	*	3,93	0,39	17	*	*	*	*
	7,69	7,16	7,17	0,65		7,54	6,50	7,64	1,03
	7,40	6,77	6,53	0,44		7,27	6,37	6,89	0,84
6	*	*	4,23	0,30	18	*	*	*	*
	7,63	7,36	6,59	0,36		7,55	6,74	7,48	0,67
	7,57	7,01	5,93	0,50		7,25	6,47	7,94	0,85
7	*	*	3,95	0,29	19	*	*	*	*
	7,20	7,02	6,24	0,45		7,52	6,92	6,82	0,37
	7,51	6,97	5,97	0,37		7,25	6,50	8,79	0,74
8	*	*	4,23	0,24	20	*	*	*	*
	7,42	6,32	6,24	0,30		7,39	6,80	7,48	0,67
	7,47	6,97	5,97	0,37		7,20	6,57	11,43	0,53
9	*	*	4,82	0,39	21	7,44	6,10	4,34	0,94
	7,42	7,23	6,24	0,40		7,56	6,67	6,15	0,66
	7,69	6,98	6,76	0,42		*	*	*	*
10	*	*	5,57	0,42	22	7,39	6,18	4,23	1,01
	7,63	7,36	6,59	0,36		7,38	6,92	7,70	0,27
	7,61	7,07	6,09	0,29		*	*	*	*
11	*	*	5,09	0,37	23	7,47	6,21	4,32	0,71
	7,55	7,12	5,62	0,32		7,55	6,57	6,35	0,95
	7,67	7,03	6,87	0,33		*	*	*	*
12	*	*	4,29	0,39	24	7,40	6,70	3,84	0,15
	7,59	7,13	6,37	0,32		7,44	6,91	6,42	0,38



7,66

7,03

6,87

0,33

*

*

*

*

(*) Leitura não realizada ou ensaio prejudicado.

As Figuras 2, 3, 4, 5, 6 e 7 apresentam gráficos box-plot. Os mesmos foram elaborados para cada dose de coagulante aplicada (iniciando-se pelos ensaios sem coagulante), os valores de turbidez final foram agrupados de acordo com o campo magnético exposto.

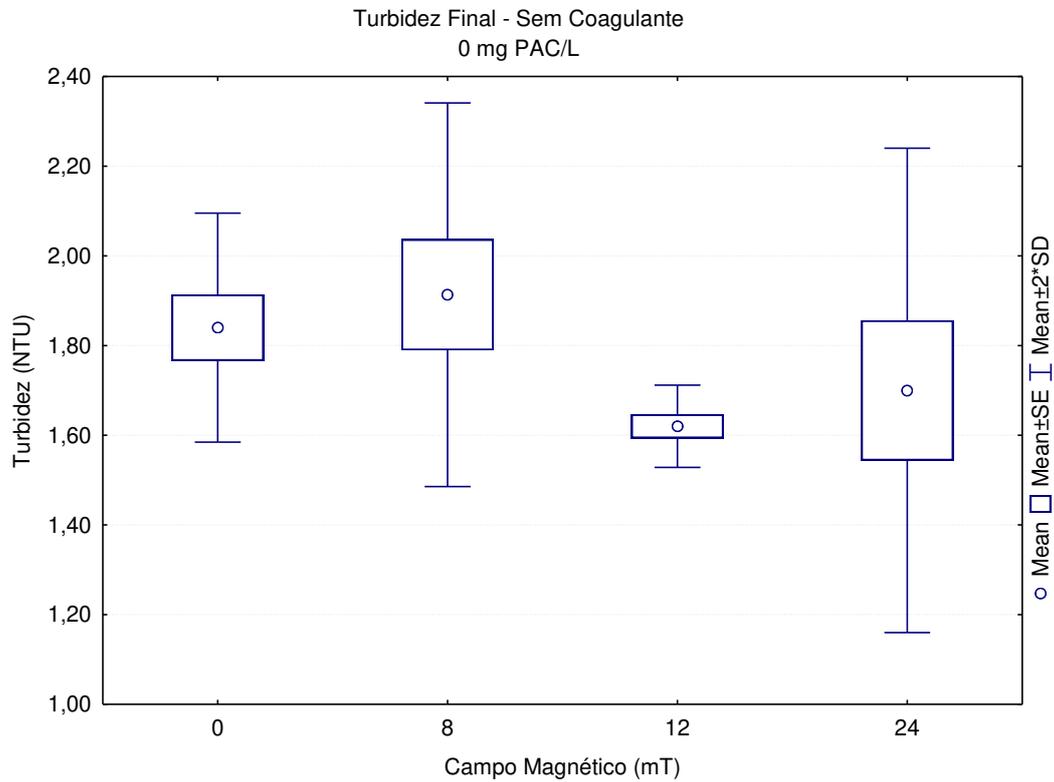


Figura 2: Box-plot resultados ensaios sem coagulante.



Turbidez Final - Com Coagulante
4,8 mg PAC/L

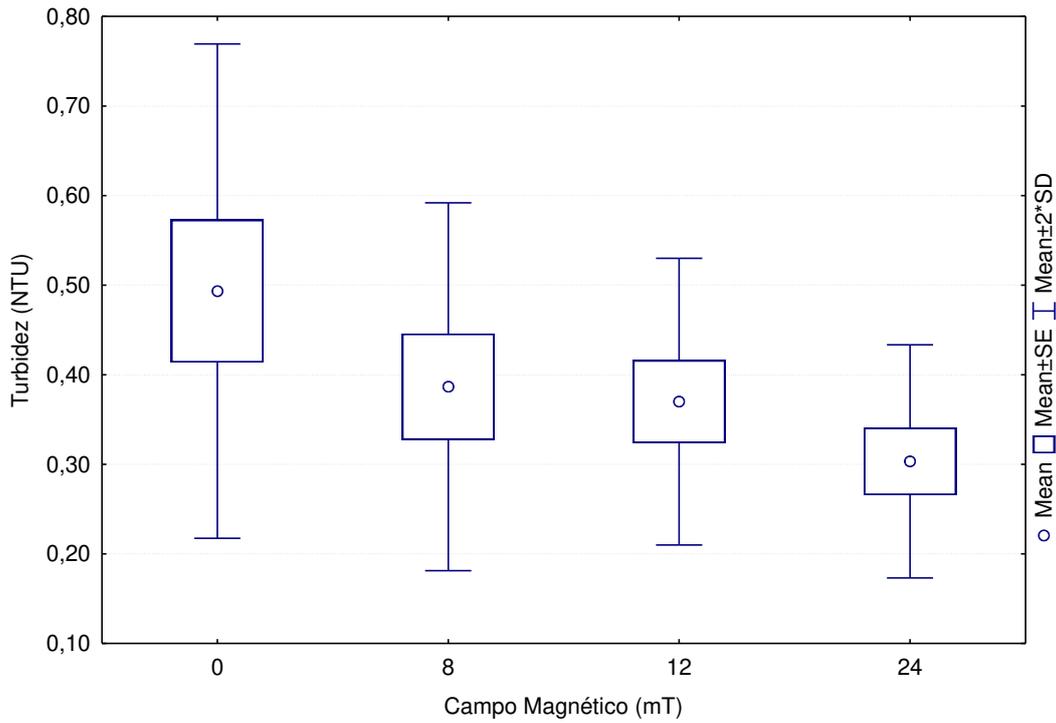


Figura 3: Box-plot resultados ensaios com 4,8 mgPAC.L⁻¹.

Turbidez Final - Com Coagulante
9,6 mg PAC/L

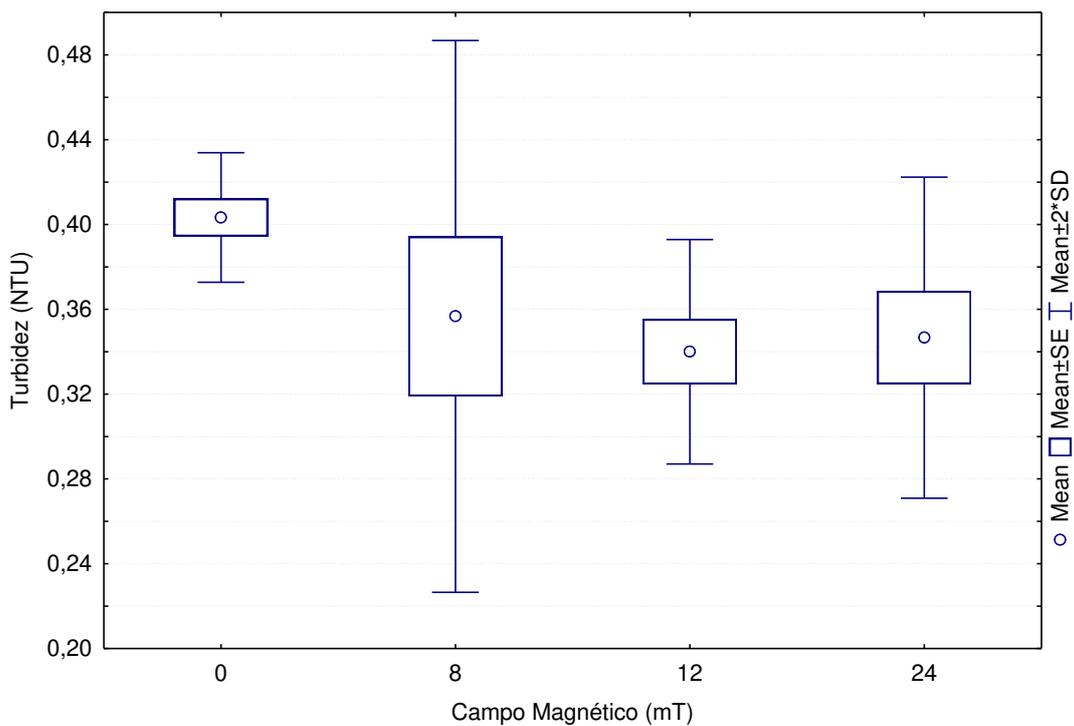


Figura 4: Box-plot resultados ensaios com 9,6 mgPAC.L⁻¹.



Turbidez Final - Com Coagulante
14,4 mg PAC/L

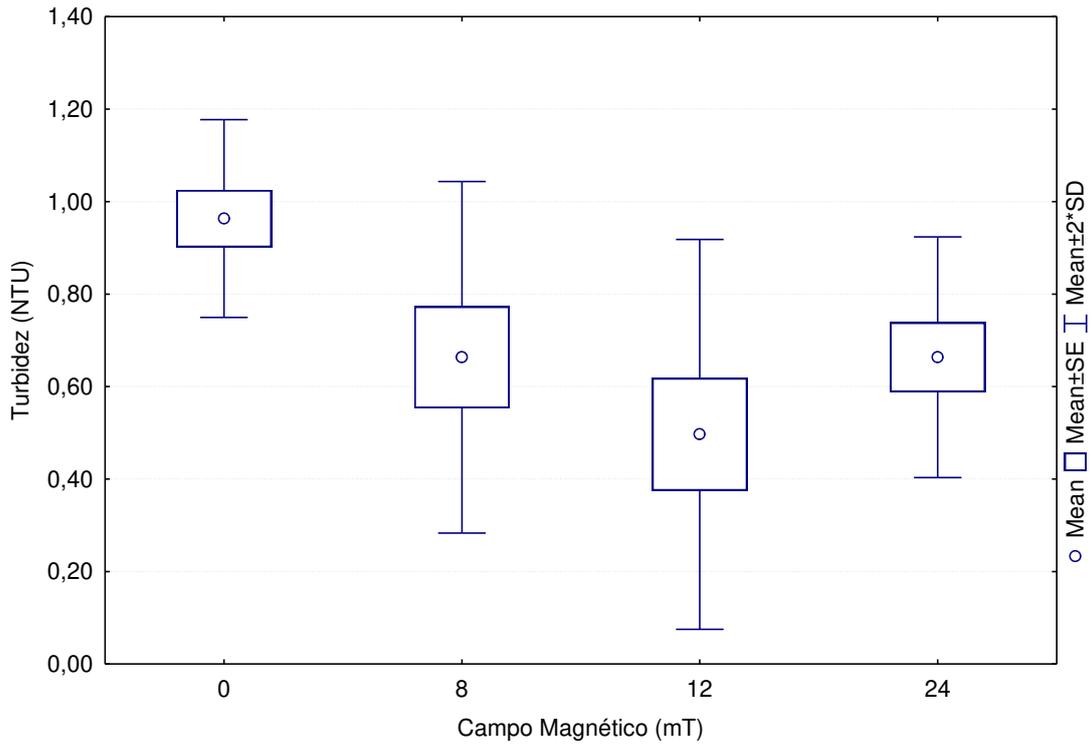


Figura 5: Box-plot resultados ensaios com 14,4 mgPAC.L⁻¹.

Turbidez Final - Com Coagulante
19,2 mg PAC/L

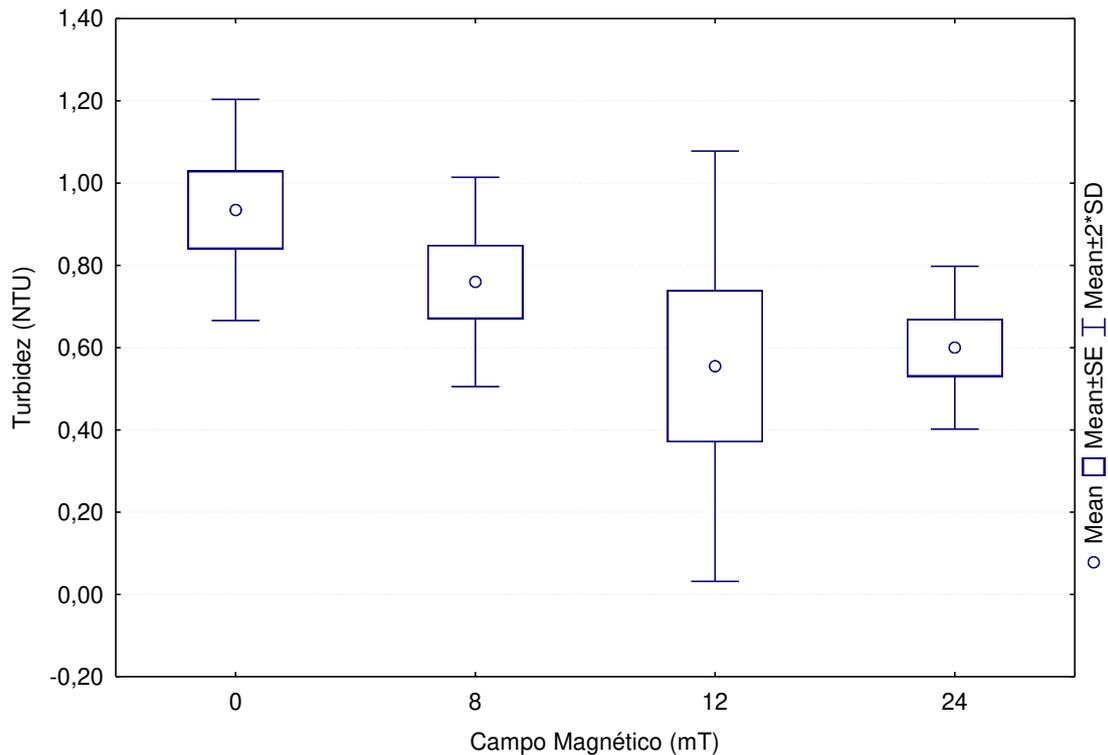


Figura 6: Box-plot resultados ensaios com 19,2 mgPAC.L⁻¹.

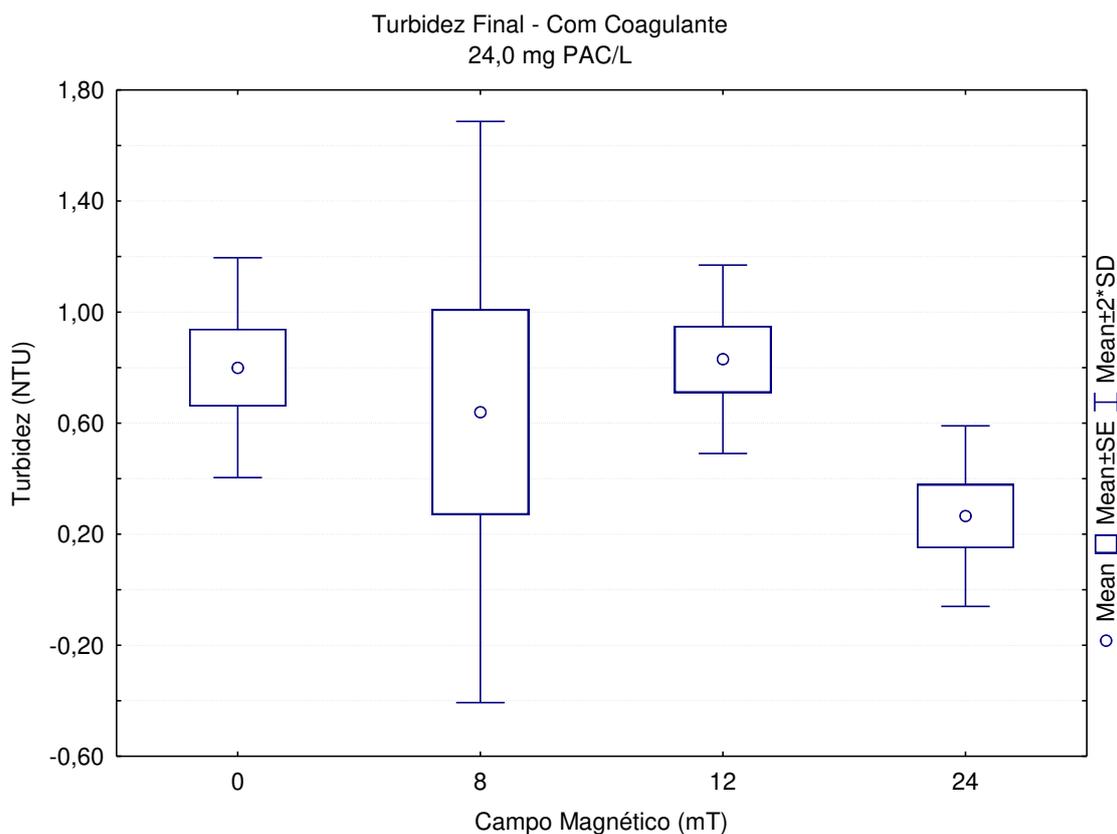


Figura 7: Box-plot resultados ensaios com 24,0 mgPAC.L⁻¹.

ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Analisando-se os resultados obtidos nos ensaios sem coagulante (Cenários 1, 2, 3 e 4) é possível observar que o valor mais baixo de turbidez (1,43 NTU) foi alcançado quando a água foi exposta ao campo magnético de 24 mT (Cenário 4). Entretanto, quando comparados os cenários 1 e 4 (respectivamente, campo magnético 0 e 24 mT) as médias de turbidez final são muito próximas, iguais a, respectivamente, 1,84 e 1,70 NTU, apresentando uma diferença de apenas 7,6%.

Em relação aos ensaios com aplicação de 4,8 mg PAC.L⁻¹ (Cenários 5, 6, 7 e 8) é possível observar que o valor mais baixo de turbidez (0,24 NTU) foi alcançado quando a água foi exposta ao campo magnético de 24 mT (Cenário 8). As médias de turbidez final do Cenário 5 (sem magnetização) e 8 (24 mT) são iguais a, respectivamente, 0,49 e 0,30 NTU, neste caso temos uma diferença de 38,8% nos valores.

Em relação aos ensaios com aplicação de 9,6 mg PAC.L⁻¹ (Cenários 9, 10, 11 e 12) é possível observar que o valor mais baixo de turbidez (0,32 NTU) ocorreu durante a exposição de 12 e 24 mT (Cenários 11 e 12). A diferença percentual da turbidez final média (ambas iguais a 0,32 NTU) entre os ensaios com 12 e 24 mT para os ensaios sem magnetização (0, 40 NTU) foi de 15,8%.

Analisando-se os resultados obtidos nos ensaios com aplicação de 14,4 mg PAC.L⁻¹ (Cenários 13, 14, 15 e 16) é possível observar que o valor mais baixo de turbidez (0,37 NTU) foi alcançado quando houve a exposição ao campo de 12 mT (Cenário 15). As médias de turbidez final do Cenário 13 (sem magnetização) e 15 (12 mT) são iguais a, respectivamente, 0,96 e 0,50 NTU, neste caso a diferença percentual chega a 47,9%.

Com relação aos resultados onde foi aplicada uma dose de 19,2 mg PAC.L⁻¹ (Cenários 17, 18, 19 e 20) é possível observar que o valor mais baixo de turbidez (0,37 NTU) ocorreu durante a exposição do campo magnético de 12 mT (Cenário 19). A média da turbidez final do Cenário 17 foi de 0,94 NTU, enquanto que no Cenário 19, 0,55 NTU, apresentando uma diferença percentual de 41,5%.

Por fim, em relação aos ensaios com aplicação de 24 mg PAC.L⁻¹ (Cenários 21, 22, 23 e 24), a turbidez mais baixa (0,15 NTU) foi alcançada durante a exposição do campo de 24 mT. A média da turbidez final do Cenário 21 foi de 0,80 NTU, enquanto que no Cenário 24, 0,27 NTU, apresentando uma diferença percentual de 66,2%.



CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A aplicação de campo magnético na etapa de coagulação auxilia a remoção de turbidez no tratamento das águas. Através dos resultados obtidos nos diversos ensaios realizados foi possível observar valores mais baixos de turbidez final quando se aplicou campo magnético no tratamento. Nos cenários em que não houve aplicação de coagulante, a ação do campo magnético surtiu pouco efeito. A diferença entre os cenários sem exposição e com exposição de campo de 24 mT (cenário que apresentou maior eficiência) foi de apenas 7,6%. Entretanto, o efeito da magnetização na remoção de turbidez foi mais significativo quando se aplicou coagulante. Nos cenários onde a dose de coagulante foi de 4,8 – 9,6 – 14,4 – 19,2 – e 24,0 mg PAC.L⁻¹, comparando-se os cenários sem exposição de campo com os cenários que apresentaram maior eficiência, a diferença percentual foi de, respectivamente, 38,8% - 15,8% - 47,9% - 41,5% - 66,2%. Demonstrando a capacidade da magnetização em auxiliar o processo de coagulação e, conseqüentemente, a remoção de turbidez.

Recomenda-se o aprofundamento dos estudos da aplicação de campo magnético na assistência ao tratamento das águas. É necessário investigar: a possibilidade da diminuição do volume de coagulante empregado; a possibilidade do aumento da carreira de filtração; outras configurações para geração de campo magnético, bem como intensidades maiores.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. DI BERNARDO, L., BRANDÃO, C. C. S., & HELLER, L. PROSAB – Programa de Pesquisa em Saneamento Básico. Tratamento de Águas de Abastecimento Por Filtração Em Múltiplas Etapas, 114, (1999).
2. DI BERNARDO, L. (Coord.); MENDES, C. G. N.; BRANDÃO, C. C. S.; SENS, M. L. & PÁDUA, V. L. Tratamento de Água para Abastecimento por Filtração Direta. Rio de Janeiro, ABES, 498p., 2003.
3. GABRIELLI, C.; JAOUHARI, R.; MAURIN, G.; KEDDAM, M., Magnetic water treatment for scale prevention, Water Res. v. 35, n. 13, p. 3249–3259, 2001.
4. MELO FILHO, L. C. “Avaliação da Ozonização como pré ou pós-tratamento à Filtração Direta Descendente na Remoção de Cianobactérias e Saxitoxinas”. Tese de Doutorado – Universidade Federal de Santa Catarina – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, 2006. 268 p.: il.
5. RICHTER, C. A.; AZEVEDO NETTO, J. M. Tratamento de água: tecnologia atualizada. São Paulo: E. Blücher, 1991.
6. VICK, W.S. Magnetic fluid conditioning. In Proceedings of the 1991 Speciality Conference on Environmental Engineering; American Society of Civil Engineers: Res-ton, VA, 1991.
7. ZAIDI, N. S., SOHAILI, J., MUDA, K., & SILLANPÄÄ, M. Magnetic field application and its potential in water and wastewater