

Remoção de trihalometanos (THM) em águas de abastecimento por tratamento convencional e adsorção em carvão ativado em pó (CAP)

TRICHALOMETHANES (THM) REMOTION IN TREATED WATER USING CONVENTIONAL TREATMENT AND POWDERED ACTIVATED CARBON (PAC)

Carlos Renato Marmo⁽¹⁾

Bruno Vicente de Azevedo Pereira dos Santos⁽²⁾

Ruben Bresaola Júnior⁽³⁾

⁽¹⁾Eng. Civil da Área de Desenvolvimento Urbano da Caixa Econômica Federal (GIDUR-Rio Branco - AC). Eng. Civil pela Universidade Estadual Paulista (UNESP), Ilha Solteira/SP. Mestre em Saneamento e Ambiente pela Universidade Estadual de Campinas/SP (UNICAMP).

⁽²⁾Engenheiro Civil e Mestre em Saneamento e Ambiente pela Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas/SP (UNICAMP).

⁽³⁾Engenheiro Civil, Mestre e Doutor pela Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo (EESC/USP). Professor Doutor do Dep. de Saneamento e Ambiente da Faculdade de Eng. Civil, Arquit. e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas/SP (UNICAMP).

Endereço: Rua Tapajós, 264, Condomínio Monterrei, Bloco 2, Apto. 304 – Bairro Estação Experimental. Rio Branco (AC) – Brasil. CEP: 69.907-520. Tel: +55 (68) 2106-3200, Fax: +55 (68) 2106-3200 - e-mail: renatomarmo@yahoo.com.br

Entrada: 13/11/2009 **Aprovação:** 25/11/2009

RESUMO

O trabalho de pesquisa avaliou, em escala de laboratório, a remoção de trihalometanos (THM) por processos de adsorção em carvão ativado em pó (CAP), seguido de tratamento físico-químico de coagulação, floculação, sedimentação e filtração. As moléculas de THM foram formadas em reações de oxidação de águas oriundas de poço freático na adição de ácidos húmicos, usando cloro livre como oxidante durante 24 horas. Os processos físico-químicos de coagulação-floculação foram efetuados em reatores estáticos de "jar-test", utilizando sulfato de alumínio como coagulante. Em uma primeira etapa foram realizados ensaios que investigaram as melhores condições de dosagem de coagulante e pH

de coagulação, para a remoção de cor aparente e turbidez da mistura água do poço, CAP, oxidante e precursor. A partir das condições ideais, foram conduzidos ensaios de avaliação da concentração de THM antes e após os procedimentos de tratamento (adsorção, sob diferentes tempos de contato; seguidos de tratamento físico-químico). A avaliação dos THM deu-se através de duas técnicas analíticas diferenciadas: cromatografia gasosa e espectrofotometria. Os ensaios demonstraram ser efetivos nas dosagens de CAP utilizadas, com remoções de THM de até 69,6%, quando feitas determinações por espectrofotometria. Por cromatografia gasosa, as porcentagens de remoção variaram até 88,9%. O tempo de contato entre as amostras e o adsorvente demonstrou ser importante, já que os resultados foram otimizados, quando se alternou o período das reações de adsorção de 60 para 120 minutos. O aumento na concentração de CAP de 10 até 150 mg/L, e do tempo de contato, de 60 até 120 minutos, resultou em melhores percentuais de remoção de THM.

ABSTRACT

The present research evaluated, in laboratory scale, the trihalomethanes (THM) remotion using adsorption with powdered activated carbon (PAC), followed by conventional processes of water treatment. THM molecule were produced in oxidation reactions with water samples with humic acids, using free chlorine during 24 hours in static reactors. In a first step, the experiments were conducted to discover the pH value and aluminum sulphate concentration to remove apparent color and turbidity from the mixture (water + humic acid + PAC + oxidant). Using the optimized conditions, it was measured THM concentration before and after the treatment process proposed. THM detection was comparatively investigated through two analytical techniques. The procedure of PAC adsorption,

followed by conventional processes of water treatment were effective, showing THM removal from the samples of up to 88,9%. The increase in PAC concentration from 10 to 150 mg/L, and adsorption reaction time from 60 to 120 minutes, resulted in the best performances.

Palavras-chave: Trialometanos; cromatografia; processos oxidativos; cloração; carvão ativado em pó. Trihalomethanes; chromatography; oxidation processes; chlorination; powdered activated carbon

INTRODUÇÃO

As reações de oxidação e desinfecção têm apresentado, recentemente, aspectos considerados negativos, principalmente no que se refere à produção de compostos e subprodutos indesejáveis, provenientes das reações entre a matéria orgânica natural (substâncias húmicas) e oxidantes utilizados, em processos de tratamento de águas de abastecimento. Em 1974, pesquisadores holandeses e americanos (ROOK, 1974 e BELLAR *et al.*, 1974) foram os pioneiros em detectar a presença de subprodutos halogenados, após processos de desinfecção final de águas para abastecimento público. Resultados de diferentes trabalhos de pesquisa recentes corroboram com estes pesquisadores, indicando que o uso do cloro como oxidante promove a formação de subprodutos da desinfecção (SPD). As principais classes desses compostos são representadas pelos trialometanos (THM), ácidos haloacéticos (HAA), haloacetnitrilos (HAN), entre outros (SERODES *et al.*, 2003; YOON *et al.*, 2003; WHITE *et al.*, 2003 e KIM *et al.*, 2002).

A presente pesquisa avaliou a remoção de trialometanos através de processo de adsorção em carvão ativado em pó (CAP), seguido de tratamento convencional, em reatores estáticos de "jar test", de coagulação, floculação, sedimentação seguido de filtração em papel 0,45 µm e filtração. Os ensaios permitiram inferir considerações a respeito das concentrações adequadas do adsorvente, dosagens de coagulante e valores de pH de coagulação, assim como foram monitorados os parâmetros físico-químicos (cor aparente, turbidez e cloro residual) de controle da qualidade da água, após o tratamento.

METODOLOGIA

O trabalho prático de pesquisa foi realizado nas dependências do Laboratório de Saneamento (LABSAN) e do Laboratório de Protótipos Aplicados ao Tratamento de Água e Efluentes (LABPRO) da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Unicamp. Foram utilizados os seguintes reagentes: hipoclorito de sódio PA (4 a 6%) da Vetec, como oxidante; e ácido húmico PA da Aldrich, como precursor. A detecção de trialometanos por cromatografia utilizou um cromato-

tógrafo a gás (HP 6890-5973; coluna capilar Supelco 2-4154, diâmetro nominal 250 µm e comprimento de 60,0 m) acoplado a um espectrômetro de massas (HP 5973), injetor automático, Purge and Trap CDC 6000. As análises de trialometanos por colorimetria foram realizadas com um espectrofotômetro DR 2500 da Hach, utilizando o kit de reagentes THM Plus[®] e conforme procedimentos padrões constantes do manual de utilização do equipamento (HACK, 2001).

A água bruta foi retirada de um poço freático, situado nas dependências da Unicamp, sendo adicionados, posteriormente, ácidos húmicos na dosagem de

Tabela 1: Valores de dosagens de produtos químicos e de pH iniciais, avaliados de acordo com o número dos ensaios para a primeira fase.

Fase	Ensaio	Dosagens de CAP (mg/L)	Dosagens de Sulfato de Alumínio (mg/L)	Valores de pH iniciais avaliados (Jarros 1 a 6)					
				1	2	3	4	5	6
1ª	1	10,0	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0
	2		15,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0
	3		25,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0
	4		40,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0
	5	20,0	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0
	6		15,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0
	7		25,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0
	8		40,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0
	9	30,0	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0
	10		15,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0
	11		25,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0
	12		40,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0
	13	50,0	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0
	14		15,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0
	15		25,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0
	16		40,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0
	17	100,00	15,0	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5
	18		25,0	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5
	19		40,0	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5
	20		60,0	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5
	21	150,00	15,0	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5
	22		25,0	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5
	23		40,0	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5
	24		60,0	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5
25	50,0	25,0	9,0	10,0	-	-	-	-	
	100,0	40,0	-	-	10,0	11,0	-	-	
	150,0	40,0	-	-	-	-	10,0	11,0	
26	50,0	40,0	9,0	9,5	10,0	-	-	-	
27	100,0	60,0	-	-	-	9,0	10,0	-	
	150,0	60,0	-	-	-	-	-	9,0	
27 (branco)	10,0 a 150,0 (J1 a J6)	---	---	---	---	---	---	---	

5,0 mg/L. A coleta da mesma foi realizada em bombonas de plástico, com 50 litros de capacidade, previamente lavadas com uma solução de ácido nítrico a 10% (Synth), mantidas por 2 horas e sendo, posteriormente, enxaguadas abundantemente com água oriunda da rede de abastecimento da Universidade. Antes das coletas, as bombonas foram condicionadas, diversas vezes, com a água do poço a fim de eliminar qualquer resíduo de ácido, que tenha permanecido aderido à superfície do plástico.

Para os ensaios de "jar test" foi utilizado um equipamento de agitação mecânica fabricado pela Nova Ética Equipamentos Científicos S.A, modelo 218/LDB. O aparelho possuía um sistema que permite a utilização de até 6 reatores, simultaneamente, com ajustes de rotação de 0 a 500 rpm e conseqüentemente, gradientes de velocidade variáveis de 0 a 800 s⁻¹ (MENDES, 1990). Os seis reatores em acrílico, que integram o conjunto, têm individualmente volume útil de 2 litros. Os mesmos possuem seção quadrada, em planta, medindo 11,5 cm de lado, altura total de 21 cm e parede com espessura de 5 mm. O agitador é constituído de um eixo vertical de 5 mm de diâmetro e rotor tipo turbina, confeccionado com paleta de aço inox, medindo 7,0 cm x 2,5 cm. Os ensaios de adsorção em carvão ativado em pó e o tratamento convencional com sulfato de alumínio visaram a remoção de trialometanos formados durante as reações de oxidação. Os parâmetros dos ensaios de formação de THM, para a reação de oxidação, foram: (a) dosagem de cloro livre: 10,0 mg/L; (b) concentração de ácidos húmicos: 5,0 mg/L e (c) tempo de contato do oxidante com a matéria orgânica: 24 horas.

A simulação do tratamento convencional em condições de laboratório, utilizando o "jar test" foi efetuada em duas fases. A primeira fase teve como função avaliar as dosagens de sulfato de alumínio e respectivos valores de pH de coagulação, que fornecessem os melhores resultados de remoções de cor aparente e

turbidez das soluções de ácidos húmicos, cloro livre e carvão ativado em pó. Nesta fase não foram efetuados ensaios de detecção de THM, pois o objetivo principal foi verificar as condições otimizadas de coagulação, floculação e sedimentação para cada dosagem de CAP, a ser utilizada na fase de remoção de organoclorados.

A segunda fase caracterizou-se por utilizar os dados otimizados da primeira na remoção efetiva de THM, avaliando desta forma, a eficiência da adsorção em CAP e do tratamento convencional com sulfato de alumínio. Os ensaios de adsorção em carvão ativado em pó foram realizados em dois diferentes tempos de contato (60 e 120 minutos), seguido de tratamento físico-químico de coagulação, floculação, sedimentação e posterior filtração, nas condições otimizadas obtidas na primeira fase. Os valores dos produtos químicos e de pH iniciais, assim como os parâmetros dos ensaios de "jar test", para a pesquisa, são apresentados nas tabelas 1 e 2, respectivamente.

Foram monitorados os parâmetros turbidez e cor aparente residual, de modo a serem verificados as dosagens ideais de sulfato de alumínio e do valor de pH de coagulação, para cada dosagem de carvão ativado em pó. Com base nestes parâmetros otimizados, foram realizados os ensaios da segunda fase, sendo monitoradas as concentrações de THM inicial e residual, de modo a ser determinado a porcentagem de remoção, este último após os processos de adsorção em CAP e tratamento físico-químico.

As amostras para as análises de trialometanos por cromatografia gasosa foram preservadas conforme preconizado pelo método SM 6010 B, para determinação de compostos orgânicos voláteis e pela EPA 524.2 (AWWA, 1998; EPA, 1995).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A tabela 3 apresenta dados otimizados dos experimentos da primeira fase (ensaios 1 a 27). Nela estão contidas as dosagens de coagulante e os valores de pH escolhidos em função das concentrações de CAP que promoveram as menores dosagens de sulfato de alumínio e melhores reduções de cor aparente e turbidez.

Desta forma, são indicados, para cada dosagem de CAP, a concentração de sulfato de alumínio e o valor do pH inicial, do jarro, a serem utilizados nos procedimentos de remoção de trialometanos das amostras.

Os resultados dos valores obtidos dos experimentos de adsorção, seguidos dos processos físico-químicos para a remoção de trialometanos, referentes aos ensaios 28 e 29, são apresentados nas tabelas 4 e 5, respectivamente. No ensaio 28 o tempo de contato entre o adsorvente e a mistura água do poço, ácidos húmicos, cloro livre

Tabela 2: Parâmetros utilizados nos ensaios de "jar test" da primeira e segunda fase.

Procedimento	Valores		
	Rotação (rpm)	Gradiente de velocidade (s ⁻¹)	Tempo
<i>Ensaios 1 a 26, 28 e 29</i>			
Mistura rápida	300	585	15 s
Floculação	80, 58 e 32	80, 50 e 20	10 min (cada)
Sedimentação (Vs = 1 cm/min)	---	---	7 min
Filtração	Papel de filtro SS nº 589 – 2 (faixa branca)		
<i>Ensaio 27 (branco)</i>			
Mistura rápida	---	---	---
Floculação	---	---	---
Sedimentação (Vs = 1 cm/min)	---	---	---
Filtração	Papel de filtro SS nº 589 – 2 (faixa branca)		

e CAP foi de 60 minutos, enquanto no ensaio 29 adotou-se um tempo de contato de 120 minutos.

Os resultados da adsorção de trialometanos, medidos pelos processos espectrofotométrico e cromatográfico, em função da dosagem de carvão ativado em pó, indicaram remoções graduais, de acordo com o aumento do adsorvente e do tempo de contato do mesmo com as amostras. Utilizando 60 minutos como tempo de contato (ensaio 28), a concentração de THM, medida por espectrofotometria, inicialmente igual a 125 µg/L, foi reduzida gradualmente para o valor de 38 µg/L, indicando uma remoção de aproximadamente 69,6 %. Para o tempo de contato de 120 minutos (ensaio 29) os valores obtidos para a concentração inicial e final de THM foram iguais a 135 µg/L e 42 µg/L, respectivamente,

com porcentagem de remoção da ordem de 68,9 % para a mesma.

Apesar do valor final de concentração de THM no jarro 2, medido por espectrofotometria, para o tempo de contato de 120 minutos, apresentar-se superior ao do tempo anterior, os valores intermediários indicaram melhores índices de adsorção, com exceção da dosagem de CAP igual a 20 mg/L. De acordo com a margem de erro de + 6 µg/L, estabelecida pelo método de detecção de trialometanos por espectrofotometria, os valores poderiam estar em um intervalo de variação que indicaria que a remoção de THM, para as dosagens de 20,0 e 150,0 mg/L de CAP no tempo de contato de 120 minutos, foi maior se comparada ao tempo de 60 minutos.

As figuras 1 a 3 indicam aspectos relacionados às metodologias de detecção de trialometanos:

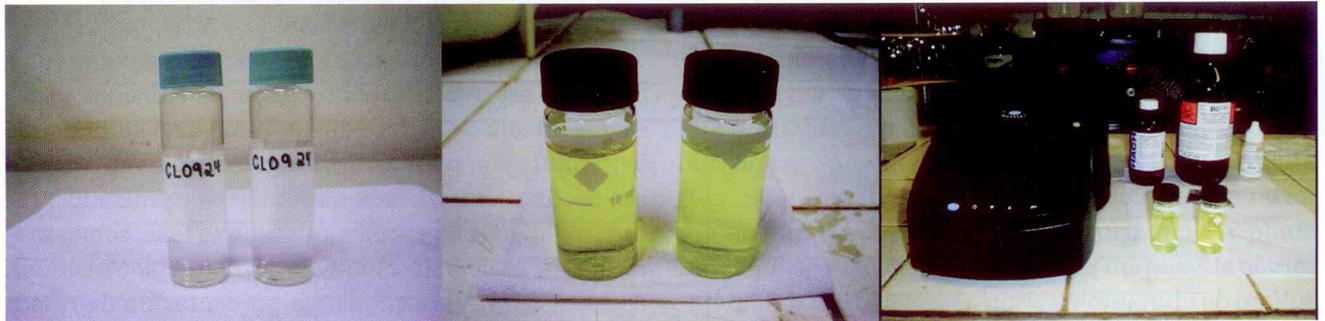


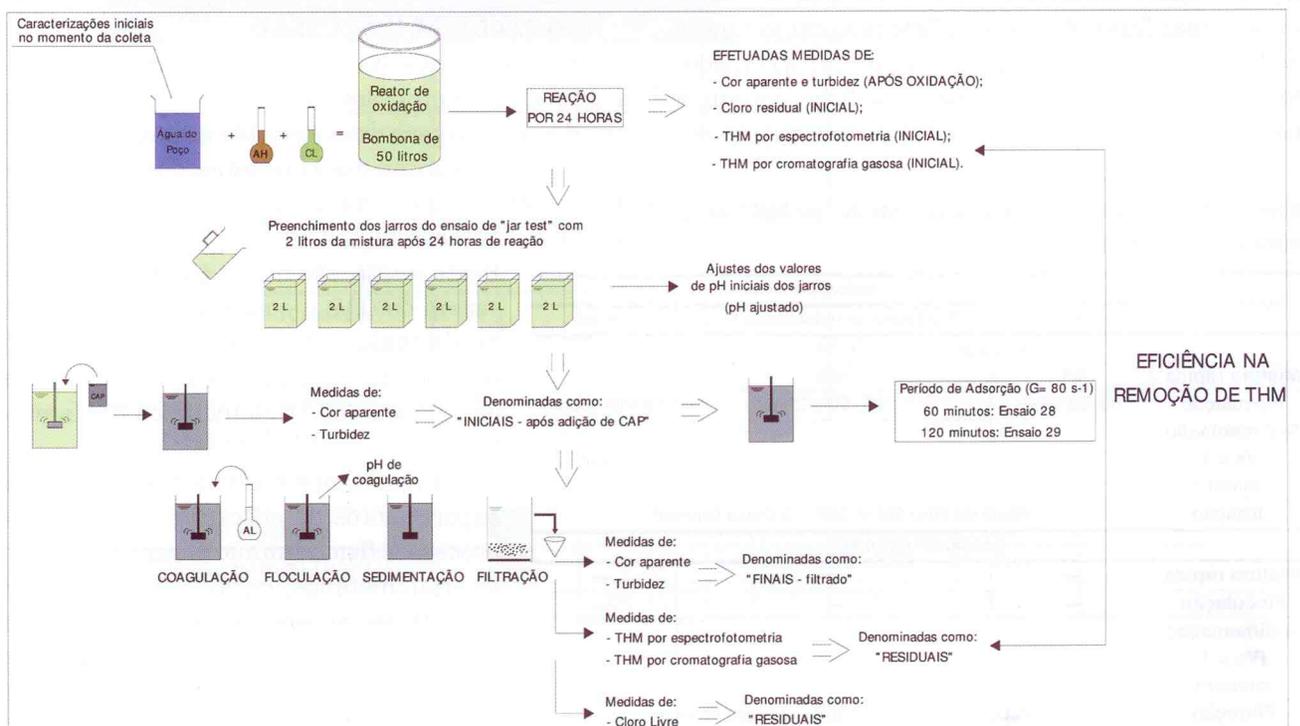
Fig. 1: Frascos ("vials") de 40 mL para coleta de amostras nas análises cromatográficas

Fig. 2: Cubetas denominadas amostra e branco, para as análises espectrofotométricas

Fig. 3: Espectrofotômetro DR 2500 Hach

A figura 4 apresenta o fluxograma dos procedimentos adotados para a etapa de adsorção de THM.

Figura 4: Fluxograma dos procedimentos para adsorção de THM.



Os resultados das análises de THM total final, medida por processo cromatográfico, para o ensaio com tempo de contato de 60 minutos indicaram concentrações iniciais de 192 µg/L, sendo reduzida em 70,3% no primeiro jarro (10,0 mg/L de CAP) e 89,1% no último (150,0 mg/L de CAP), com concentrações de, respectivamente, 57 e 21 µg/L de trialometanos total. No ensaio 29, com tempo de contato de 120 minutos entre os compostos e o CAP, foi obtida uma concentração de THM inicial de 63 µg/L, muito abaixo do valor obtido no ensaio 28 (192 µg/L). Teoricamente, as concentrações iniciais de THM deveriam ser muito próximas numericamente, tendo em vista que as condições de oxidação foram idênticas. Desta forma, os valores das concentrações obtidas para as amostras nos jarros pós-tratamento, do ensaio 29 estão, numericamente, inferiores ao obtido com o tempo de contato de 60 minutos. Entretanto, as porcentagens de remoção ficaram aproximadamente dentro da mesma ordem de grandeza, com exceção do jarro nº 2 (ensaio 29), cuja concentração final de THM foi de 1 µg/L.

Com os dados das tabelas 4 e 5, que sintetizam os resultados dos ensaios 28 e 29 foram construídos os gráficos da figura 5 que indicam o comportamento dos parâmetros THM residual medido por espectrofotometria (a) e cromatografia gasosa (b).

CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos e as análises realizadas, o estudo permitiu obter as seguintes conclusões.

- para cada concentração de carvão ativado em pó aplicada existe um ponto, relativamente otimizado, para compatibilização da dosagem de coagulante e do valor de pH inicial de coagulação, na procura do menor valor de cor aparente e turbidez residuais;

- os ensaios de adsorção de trialometanos por carvão ativado em pó, seguidos de ensaios simulando o tratamento convencional de água, obtiveram resultados de remoção de THM variando de 4,8 a 69,6%, por espectrofotometria. Por cromatografia gasosa, as porcentagens de remoção situaram-se entre 54,0 e 88,9%;

- ocorreram incrementos na remoção de THM conforme foi variada a dosagem de CAP de 10,0 para 150,0 mg/L, quando aplicadas ambas as técnicas utilizadas;

- a avaliação da influência do tempo de contato entre as amostras e o adsorvente indicou que ocorreram diferenças entre as medidas por cromatografia e espectrofotometria. Nas amostras avaliadas por espectrofotometria, a variação do tempo de contato de 60 para 120 minutos apresentou percentuais maiores de remoção de THM;

- nas análises por cromatografia gasosa das mesmas amostras submetidas à espectrofotometria, a influência do aumento do tempo de contato não pode ser detectada, tendo em vista que os percentuais atingiram valores muito semelhantes.

REFERÊNCIAS

1. AWWA; APHA; WEF. *Standard methods for the examination of water and waste water. 20th ed.* Baltimore, Maryland: [s.n.], 1998.
2. BELLAR, T. A.; LICHTENBERG, J. J.; KRONER, R. C. *The occurrence of organohalides in chlorinated drinking waters.* *Journal of American Water Works Association*, v. 66, n. 12, p. 703-706, 1974.
3. BUDD, G. C.; HESS, A. F.; SHORNEY-DARBY, H.; NEEMANN, J. J.; SPENCER, C. M.; BELLAMY, J. D.; HARGETTE, P. H. *Coagulation applications for new treatment goals.* *Journal of American Water Works Association*, v. 96, n. 2, p. 102-113, 2004.

Tabela 3: Dosagens otimizadas de sulfato de alumínio e valores de pH iniciais e de coagulação, em função de cada dosagem de carvão ativado em pó adotados para a segunda fase.

Dosagem de CAP (mg/L)	Dosagem de Coagulante (mg/L)	pH inicial	pH de coagulação	Cor aparente final obtida na 1ª fase (uC)	Turbidez final obtida na 1ª fase (uT)
10,0	40	7,45	6,72	2	0,17
20,0	25	6,54	6,35	5	0,30
30,0	40	6,49	6,02	8	0,19
50,0	40	7,03	6,34	10	0,24
100,0	40	5,99	5,48	9	0,33
150,0	60	7,48	6,48	1	0,23

Obs.: pH de coagulação é o valor medido após a adição do coagulante. Para águas com alta alcalinidade, a tendência de queda do valor do pH é menor do que para baixa alcalinidade (BUDD et al, 2004).

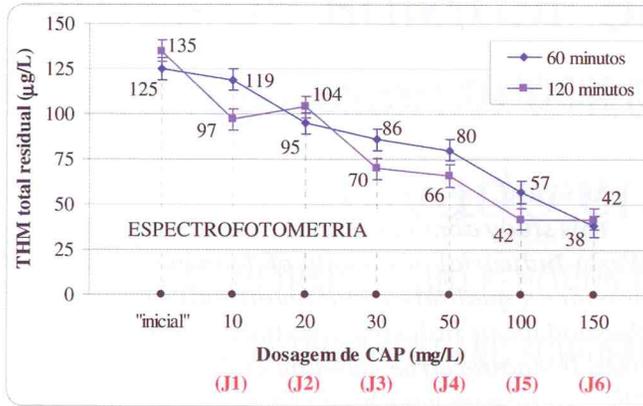
Tabela 4: Resultados dos experimentos de adsorção, seguido dos processos de coagulação, floculação, sedimentação e filtração para remoção de trihalometanos e cloro residual no ensaio 28, com tempo de contato entre o CAP e amostra igual a 60 minutos.

PARÂMETROS	JARROS					
	1	2	3	4	5	6
Dosagem de sulfato de alumínio (mg/L)	40,0	25,0	40,0	40,0	40,0	60,0
Dosagem de carvão ativado em pó (mg/L)	10,0	20,0	30,0	50,0	100,0	150,0
pH de coagulação	6,75	6,46	6,3	6,68	5,74	6,62
<i>THM total inicial: espectrofotometria = 125 µg/L e cromatografia = 192 µg/L</i>						
<i>Cloro inicial = 5,87 mg/L</i>						
THM total residual - espectrofotometria (µg/L)	119	95	86	80	57	38
% remoção	4,8%	24,0%	31,2%	36,0%	54,4%	69,6%
THM total residual - cromatografia gasosa (µg/L)	57	63	48	37	24	21
% remoção	70,3%	67,2%	75,0%	80,7%	87,5%	89,1%
Cloro residual (mg/L)	2,5	0,78	0,15	0,04	0	0,02
% remoção	57,4%	86,7%	97,4%	99,3%	100,0%	99,7%

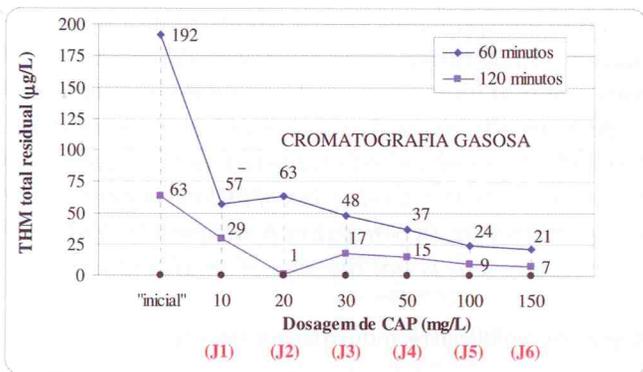
Tabela 5: Resultados dos experimentos de adsorção, seguido dos processos de coagulação, floculação, sedimentação e filtração para remoção de trihalometanos e cloro residual no ensaio 29, com tempo de contato entre o CAP e amostra igual a 120 minutos.

PARÂMETROS	JARROS					
	1	2	3	4	5	6
Dosagem de sulfato de alumínio (mg/L)	40,0	25,0	40,0	40,0	40,0	60,0
Dosagem de carvão ativado em pó (mg/L)	10,0	20,0	30,0	50,0	100,0	150,0
pH de coagulação	6,74	6,60	6,41	6,75	5,86	6,63
<i>THM total inicial: espectrofotometria = 135 µg/L e cromatografia = 63 µg/L</i>						
<i>Cloro inicial = 5,92 mg/L</i>						
THM total residual - espectrofotometria (µg/L)	97	104	70	66	42	42
% remoção	28,1%	23,0%	48,1%	51,1%	68,9%	68,9%
THM total residual - cromatografia gasosa (µg/L)	29	1	17	15	9	7
% remoção	54,0%	98,4%	73,0%	76,2%	85,7%	88,9%
Cloro residual (mg/L)	1,99	0,34	0,03	0,03	0,02	0,02
% remoção	66,4%	94,3%	99,5%	99,5%	99,7%	99,7%

Figura 5: Variação de THM residual para as amostras dos ensaios 28 e 29, determinados por espectrofotometria (a) e cromatografia gasosa (b) em função da dosagem de CAP para os tempos de contato de 60 e 120 minutos.

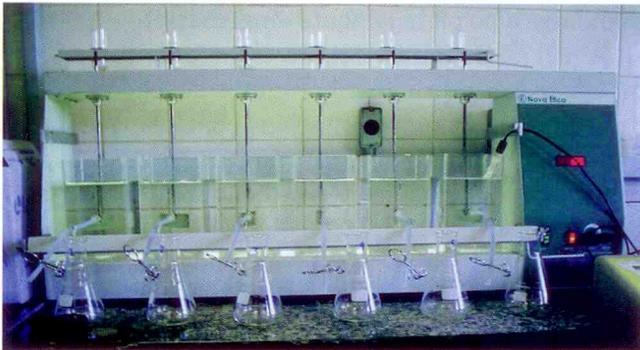


(a)



(b)

Figura 6: Jarros preenchidos com a amostra no momento do acerto dos valores de pH; e após a adição de CAP, respectivamente.



4. EPA. Method 524.2 - *Measurement of Purgeable Organic Compounds in Water by Capillary Column Gas Chromatography/Mass Spectrometry*. [S.I.]: United States Environmental Protection Agency, 1995.

5. HACH. *Odyssey DR 2500 Spectrophotometer procedure manual*. Loveland, Colorado: Hach Company Word Headquarters, 2001.

6. KIM, J.; CHUNG, Y.; SHIN, D.; KIM, M.; LEE, Y.; LIM, Y.; LEE, D. *Chlorination by-products in surface water treatment process*. *Desalination*, v. 15, p. 1-9, 2002.

7. MENDES, C. G. N. *Estudo da coagulação e floculação de águas sintéticas e naturais com turbidez e cor variáveis*. São Carlos: 1990. (Tese de Doutorado), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1990.

8. ROOK, J. J. *Formation of haloforms during chlorination of natural waters*. *Water Treatment and Examination*, v. 23, p. 234-243, 1974.

9. SERODES, J.; RODRIGUEZ, M.; LI, H.; BOUCHARD, C. *Occurrence of THMs and HAAs in experimental chlorinated waters of the Quebec City Area (Canada)*. *Chemosphere*, v. 51, n. 4, p. 253-263, 2003.

10. WHITE, D. M.; GARLAND, D. S.; NARR, J.; WOOLARD, C. R. *Natural organic matter and DBP formation potencial in Alaskan water supplies*. *Water Research*, v. 37, n. 4, p. 939-947, 2003.

11. YOON, J.; CHOI, Y.; CHO, S.; LEE, D. *Low trihalomethane formation in Korean drinking water*. *Science of Total Environment*, n. 302, p. 157-166, 2003.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), pelo apoio à realização do trabalho; à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pelo financiamento da parte experimental da pesquisa (Processo 03/14036-5); à Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior (CAPES) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão das bolsas de mestrado.

O download completo e o aprofundamento do presente trabalho, na forma de Dissertação de Mestrado apresentada à Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) em 2005, poderá ser obtido no endereço: <http://libdigi.unicamp.br/document/?code=vtls000375369>, ou através de contato direto com os autores.