

AVALIAÇÃO EM ESCALA LABORATORIAL DA UTILIZAÇÃO DO PROCESSO ELETROLÍTICO NO TRATAMENTO DE ÁGUAS

Marcelo Henrique Otenio*

Embrapa Gado de leite, Rua Eugênio do Nascimento, 610, 86038-330 Juiz de Fora – MG, Brasil

Luciana Cadioli Panchoni, Gabriela Correia Araújo da Cruz e Clézio Ravanhani

Laboratório de Análises Físico-Químicas e Microbiológicas de Água e Esgoto, Serviço Autônomo de Água e Esgoto, CP 151, 86360-000 Bandeirantes – PR, Brasil

Ederio Dino Bidóia

Departamento de Bioquímica e Microbiologia, Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista, 13506-900 Rio Claro – SP, Brasil

Recebido em 4/1/07; aceito em 20/9/07; publicado na web em 10/3/08

LABORATORY SCALE ASSESSMENT OF AN ELECTROLYTIC PROCESS FOR WATER TREATMENT. Water treatment uses chlorine for disinfection causing formation of trihalomethanes. In this work, an electrolytic water pre-treatment was studied and applied to the water from a fountainhead. The action against microorganisms was evaluated using cast-iron and aluminum electrodes. Assays were made in laboratory using the electrolytic treatment. After 5 min of electrolysis the heterotrophic bacteria count was below 500 cfu/mL and complete elimination of total and fecal coliforms was observed. Using electrolytic treatment as a pretreatment of conventional tap water treatment is proposed.

Keywords: electrolytic treatment; water disinfection; water quality.

INTRODUÇÃO

Quase que a totalidade da água consumida hoje provém de algum processo de purificação; o uso de cloro como desinfetante é bastante difundido no Brasil, sendo sua eficiência largamente conhecida. Porém, os problemas com os subprodutos gerados na cloração, como, por exemplo, os halometanos, são ainda objeto de estudos científicos recentes.^{1,2} A obtenção de fontes seguras para fornecimento de água para as grandes cidades tem sido considerada estratégica.

A idéia principal da utilização do tratamento eletrolítico, pela sua ação bactericida, é para a substituição do cloro no pré-tratamento de águas.

Este trabalho tem caráter pioneiro, sendo destacado que não se encontram, até este momento, na literatura citações que utilizem o tratamento eletrolítico aplicado em pré-tratamento de água antes do tratamento convencional de uma Estação de Tratamento de Água (ETA).

Patermarakis e Fountoukidis estudaram a desinfecção de águas de abastecimento pelo tratamento eletrolítico. A água natural proveniente de uma represa situada em Atenas, Grécia, contaminada por coliformes e estreptococos fecais, foi eletrolisada utilizando eletrodos de titânio e corrente de 2,5 mAcm⁻² e se obteve uma redução do número de microorganismos que dependia do tempo de eletrólise utilizado.³

Alguns grupos se destacaram utilizando o processo eletrolítico. Okochi *et al.*⁴ propuseram a desinfecção de água de abastecimento com eletrodos de fibra de carbono ativado. Uma corrente alternada entre os potenciais de 1,0 e -0,8 V foi usada em sistema de fluxo e de batelada na água a ser tratada, obtendo-se não só a desinfecção como o bloqueio da adsorção das células bacterianas na superfície do eletrodo. O carvão ativado em conjunto com a corrente elétrica

aplicada controlaram a contaminação da água em 20 UFC mL⁻¹. Este grupo de pesquisadores tem testado variações na utilização do processo eletrolítico para tratamento de água, variando o eletrodo,⁵ quando utilizou eletrodo de nitreto de titânio ou, recentemente⁶ com uso de “periodato” regenerado eletroquimicamente a partir da oxidação do iodato a periodato.

Neste sentido, é tendência desta linha de pesquisa a busca por alternativas com menor ou nenhuma geração de cloro ou de substâncias oxidantes que possam causar prejuízo à saúde humana.^{1,2}

O tratamento eletrolítico é um sistema constituído de uma célula eletrolítica com a passagem de corrente elétrica contínua ou alternada através de eletrodos na solução de tratamento, a qual é denominada solução eletrolítica. Durante o tratamento, são produzidas reações eletroquímicas que podem transformar quimicamente substâncias recalcitrantes que compõem os poluentes. Pode permitir também uma redução na concentração iônica, ocasionar a morte de microorganismos e produzir substâncias desinfetantes como, por exemplo, o gás cloro.⁷

Este processo também permitiu a esterilização de microorganismos ao serem utilizados eletrodos de grafite com potencial aplicado de 0,74 V em relação ao eletrodo de calomelano saturado (ECS). Foi observado que a morte de microorganismos era devido ao efeito sobre a coenzima-A presente nas células das bactérias.⁸ Nas reações que ocorrem com a passagem da corrente elétrica nos eletrodos são gerados vários componentes tóxicos à viabilidade celular.⁹

O objetivo deste trabalho foi utilizar o tratamento eletrolítico na água proveniente do Rio das Cinzas, Bandeirantes – PR, avaliando a possibilidade da retirada do gás cloro utilizado no pré-tratamento da água bruta, na ETA do Serviço Autônomo de Água e Esgoto (SAAE), onde numa primeira fase foram testados o processo eletrolítico e coadjuvantes do tratamento tradicional de água. Finalmente, buscou-se avaliar a geração de substâncias tóxicas pelo processo eletrolítico aplicado através de testes de biotoxicidade aguda com o microcrustáceo *Daphnia similis*.

*e-mail: otenio@cnppl.embrapa.br

PARTE EXPERIMENTAL

Material utilizado

Foi utilizada água não tratada ou água bruta proveniente do manancial Rio das Cinzas, da Bacia Hidrográfica do Paranapanema, coletada na entrada da ETA do SAAE, Bandeirantes – PR.

Os eletrodos para a realização de eletrólises são de ferro fundido (Fe/C) com 214,6 cm² ou alumínio com alto teor de pureza. O ânodo e o cátodo possuem a mesma área, apresentam 1,30 mm de espessura e estão distanciados 9 mm (Figura 1).



Figura 1. Equipamento: fonte de corrente contínua e aparato com eletrodos e agitador magnético, para rotina de aplicação do tratamento eletrolítico

Para análise microbiológica de coliformes totais e fecais e contagem de bactérias heterotróficas foram usados: caldo lactosado concentração dupla e simples (Merck), meio sólido *plate count agar* (Merck), meio líquido verde bili brilhante (Merck), meio líquido EC (Merck) e solução tampão fosfato como água de diluição, adicionada de sulfato de magnésio 5%.

Foram utilizados reagentes usuais do tratamento convencional de água na fase experimental como o sulfato de alumínio [Al₂(SO₄)₃·18H₂O], pó de qualidade comercial, utilizado na forma de solução aquosa numa concentração de aproximadamente 54,80 g L⁻¹ e a cal hidratada Ca(OH)₂ em suspensão aquosa (água de cal), com 90% de (CaO) na concentração aproximada de 4,24%.

O microcrustáceo *Daphnia similis* Claus, 1876 (Cladocera, Crustácea), foi utilizado como organismo indicador nos testes de toxicidade aguda, na água eletrolisada. Para estes testes, foram utilizados os seguintes reagentes: ácido clorídrico (Merck); bicarbonato de sódio (Merck); cloreto de potássio (Merck); dicromato de potássio (Merck), hidróxido de sódio (Merck); sulfato de cálcio diidratado (Merck); sulfato de magnésio heptaidratado (Merck) e água natural de uma fonte isenta de contaminação química ou biológica (contagem de bactérias heterotróficas abaixo de 500 UFC mL⁻¹) com teor de dureza em carbonato de cálcio entre 40 a 48 mg L⁻¹.

Aplicação do tratamento eletrolítico

As citações no texto, ensaio ou experimento serão utilizadas significando a realização do processo eletrolítico em batelada, com variação do tempo e condições químicas de execução.

Foram realizados 24 ensaios diferentes em triplicata da água proveniente do Rio das Cinzas, que é o manancial lótico de abastecimento municipal; foram testadas variações para otimização do sistema. O tratamento eletrolítico ocorreu de novembro de 1998 a dezembro de 2000.

Um volume de 20 L de água não tratada na entrada da ETA do SAAE foi coletado para realização dos experimentos. Um volume de 1 L de água não tratada foi eletrolisado, utilizando eletrodo de ferro ou de alumínio. Utilizou-se, inicialmente, a corrente de 1 A, em diferentes tempos de tratamento eletrolítico. Além disso, foram testados vários coadjuvantes do tratamento rotineiro da água¹⁰ pa-

ralelamente ao tratamento eletrolítico, como a cal hidratada e o sulfato de alumínio, segundo as especificações de Batalha e Parlato.¹¹ Após a eletrólise foram realizadas as análises físico-químicas e microbiológicas.¹⁰⁻¹²

A Tabela 1 indica a condição experimental de cada ensaio.

Metodologia analítica

As determinações de coliformes totais e fecais foram realizadas pela técnica de tubos múltiplos,¹³ com resultados expressos em número mais provável por cem mililitros (NMP/100 mL). Também foi realizada a contagem de bactérias heterotróficas por plaqueamento utilizando a técnica *pour plate* com meio PCA,^{14, 15} e os resultados expressos em unidades formadoras de colônias por mililitro em UFC/mL.

As análises físico-químicas foram realizadas conforme metodologia do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*.¹⁶ Foram avaliados os seguintes parâmetros: pH; condutividade (µS); oxigênio dissolvido - OD (mg L⁻¹); cor (APHA, Pt/Co); turbidez (FTU); alcalinidade (mg de CaCO₃ L⁻¹); dureza da água (mg de CaCO₃ L⁻¹); matéria orgânica (mg de O₂ consumido L⁻¹); alumínio III (mg L⁻¹); cloro (mg L⁻¹); demanda química de oxigênio - DQO (mg L⁻¹) e ferro (mg L⁻¹).

O cultivo e a manutenção da *Daphnia similis* foram realizados com utilização de água de fonte natural de uma localização rural do município de Bandeirantes (Bairro Yara/Leite Katyara), onde se encontrou água de qualidade satisfatória (físico-química e microbiológica) e com dureza, condutividade e pH nos valores exigidos pela técnica de cultivo. A alimentação da *Daphnia similis* foi com a alga *Selenastrum capricornutum*.¹⁷

Nos testes de toxicidade foram utilizados jovens com idade entre 6 e 24 h de vida.

Foi padronizada a toxicidade aguda frente ao dicromato de potássio de 0,04 a 0,17 mg L⁻¹. Tanto nos testes com amostra quanto no teste de padrão de toxicidade foram utilizados 4 indivíduos em séries por 5 tubos de ensaio com volume de 10 mL.¹⁷⁻²⁰

Para realização dos testes com água eletrolisada – água proveniente da eletrólise – em diferentes tempos foi colocada frente a indivíduos padronizados como para a toxicidade aguda ao dicromato, em volume de 10 mL, e para cada tempo de eletrólise foram montadas 5 réplicas, onde 4 organismos foram introduzidos em cada replicação.

Foi instalado simultaneamente um grupo controle executado com 5 réplicas contendo apenas água natural num sistema estático, ou seja, um sistema fechado no qual não ocorreu a renovação da solução teste por um período de 24 e 48 h.

O cálculo da CE(50), que é a concentração nominal do agente tóxico que causa efeito agudo, ou seja, imobilização em 50% dos organismos em 48 h de exposição, foi realizado utilizando o programa estatístico *Trimmed Spearman-Kärber*.¹⁹ A conversão dos resultados para unidades tóxicas (UT) utilizou a Equação:

$$UT = 100/CE(50)$$

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O tratamento eletrolítico pode ser utilizado em várias atividades e a eletro-oxidação de matéria orgânica é uma destas possibilidades. Nesse processo, vários parâmetros podem ser avaliados e mensurados, além do efeito esperado, especificamente neste trabalho, que é a eliminação de microorganismos.

Os resultados apresentados são representativos dos 24 ensaios realizados, com o intuito de nortear uma metodologia para utiliza-

Tabela 1. Condições experimentais, referentes aos ensaios realizados

Experimento	Tipo de eletrodo	Corrente aplicada, no decorrer do tempo	Aditivo	Tempo de espera para a análise	Análise diferenciada
1	ferro	1,0	—	imediate	—
	ferro	1,0	—	imediate	Avaliação de presença de sedimento
3	ferro	1,5	—	imediate	—
4	ferro	1,5	—	imediate	Manutenção da corrente aplicada
5	ferro	1,5	Cal hidratada 4,24% na dosagem de 2 mL/L	imediate	—
6	ferro	1,0	Cal hidratada 4,24% em diferentes dosagens	imediate	—
7	ferro	1,0	Cal hidratada 4,24% na dosagem de 2 mL/L	30 min após o término da eletrólise	—
8	ferro	1,0	Sulfato de alumínio 54,80 g/L na dosagem 0,3 mL/L	30 min após o término da eletrólise	—
9	alumínio	1,0	—	imediate	—
10	alumínio	1,0	Cal hidratada 4,24% na dosagem de 2 mL/L	imediate	Pesagem do eletrodo no início e final do experimento
11	alumínio	1,0	Sulfato de alumínio 54,80 g/L na dosagem 0,2 mL/L	imediate	Pesagem do eletrodo no início e final do experimento
12	ferro	1,0	Cal hidratada 4,24% na dosagem de 2 mL/L	imediate	Pesagem do eletrodo no início e final do experimento
13	ferro	1,5	Cal hidratada 4,24% na dosagem de 2 mL/L	30 min após o término da eletrólise	Manutenção da corrente aplicada
14	ferro	2,0	Cal hidratada 4,24% na dosagem de 2 mL/L	30 min após o término da eletrólise	Manutenção da corrente aplicada
15	ferro	1,0	Cal hidratada 4,24% na dosagem de 2 mL/L	30 min após o término da eletrólise	—
16	ferro	1,0	Cal hidratada 4,24% na dosagem de 2 mL/L	30 min após o término da eletrólise	—
17	ferro	1,0	Cal hidratada 4,24% na dosagem de 2 mL/L	30 min após o término da eletrólise	—
18, 19 e 20 (tratamento completo – da água bruta até água tratada para distribuição)	(1) ferro	1,0 (5 min)	Cal hidratada 4,24% na dosagem de 2 mL/L	Tratamento completo da água com, filtração e correção de cloro e fluor	
	(2) ferro	1,0 (5 min)	Cal hidratada 4,24% na dosagem de 2 mL/L	Tratamento completo da água com sulfatação (floculação), filtração e correção de cloro e fluor	
	(3) Tratamento completo da água com sulfatação (floculação), filtração e correção de cloro e fluor, conforme tratamento convencional utilizado na ETA Bandeirantes (controle)				
21, 22, 23, 24 (testes para toxicidade aguda)	ferro	1,0 (em tempos 5, 10, 15, 20, 25, 30)	Cal hidratada 4,24% na dosagem de 2 mL/L	Geração de amostras para o teste de toxicidade aguda ao microcrustáceo <i>Daphnia similis</i>	

Obs.: (1) Os ensaios foram realizados em escala de laboratório, onde um volume de 1 L de água do Rio foi eletrolisada em tempos determinados. (2) Para avaliação dos resultados considerar-se-á: água bruta (água sem nenhum aditivo e sem aplicação do processo eletrolítico); tempo 0 (zero) água adicionada dos aditivos e sem aplicação do processo eletrolítico); e demais tempos (5, 10, 15 e 20) realizados com ou sem aditivos e analisadas conforme metodologia proposta, na busca da otimização do processo. (3) Os experimentos que apresentam a mesma condição de ensaio (repetidos) foram realizados em dias diferentes, e com a intenção de variando-se a água bruta, que chega na ETA, pudesse se avaliar alguma diferença na resposta do processo aplicado.

ção do processo eletrolítico no pré-tratamento da água bruta em escala laboratorial. Apenas os resultados mais significativos serão apresentados.

No início do trabalho, quando se aplicou a eletrólise na água bruta, observou-se uma dificuldade da manutenção da corrente apli-

cada. A solução do problema foi a utilização de água de cal, que é utilizada rotineiramente no SAAE Bandeirantes como corretora de pH, que aumentaria a condutividade sem a geração de cloro, presente ou gerado com outros componentes normalmente utilizados para aumentar a condutividade como os sais NaCl e KCl. Isto pro-

cura garantir a não formação de substâncias que possam causar a morte dos microorganismos além do processo eletrolítico. O experimento 6 (Figura 2) serviu para determinar a dosagem adequada de aditivo para manutenção da corrente aplicada. O gráfico mostra a variação do pH com a quantidade de água de cal por litro de água bruta tratada, em tempo fixo de eletrólise de 10 min. A partir deste ensaio, sempre quando se utilizou a água de cal esta foi adicionada na dosagem de 2 mL/L. Este volume foi o que obteve um aumento e estabilidade da corrente aplicada. Dosagens maiores que esta subiriam o valor de pH acima de 10,5-11, o que é inadequado para tratamento de água pelo sistema convencional.^{10,11}

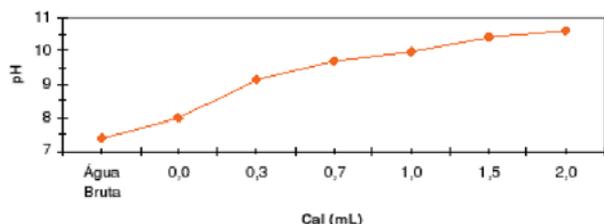


Figura 2. Efeito do tempo da quantidade de cal sobre o pH da água eletrolisada por 10 min (experimento 6)

O pH e a condutividade são grandezas sempre associadas, pois a condutividade é diretamente proporcional à ionização de substâncias dissolvidas no líquido.

A ação da eletrólise tem também uma estreita relação com a condutividade e, conseqüentemente, com o pH, quanto maior a condutividade maior a transmissão de corrente e, no caso específico deste trabalho, a ação da descarga elétrica sobre microorganismos está diretamente relacionada com a possibilidade de a corrente passar pelo corpo líquido. A condutividade ainda pode ser incrementada com o processo eletrolítico; Angelis *et al.*⁷ observaram um aumento do pH e da condutividade com o tempo de eletrólise de águas residuárias.²²

Na Figura 3a, vê-se que a condutividade e o pH do experimento 5 aumentam com a adição de água de cal, porém o processo eletrolítico não amplifica este efeito, em comparação com os ensaios 2 e 9 sem adição de água de cal. O intuito da utilização da água de cal é, além do aumento da condutividade (meio para ocorrer a transmissão de corrente), utilizar um adjuvante que não possibilitou a geração de cloro e é de uso rotineiro em ETAs.

A Figura 3b refere-se à alcalinidade, que é a capacidade que as águas têm de neutralizar os ácidos. A água bruta do Rio das Cinzas não tem uma alcalinidade alta, com a utilização da água de cal (ensaio 5) há um aumento não muito significativo da alcalinidade da água, este aumento oscila com o aumento do tempo, com tendência de queda. O processo eletrolítico não altera os resultados, considerando o padrão de potabilidade, Portaria n.º 518/2004 do Ministério da Saúde,²¹ das análises físico-químicas.²²

A dureza da água é decorrente da presença de cátions polivalentes como cálcio e magnésio. Quando da utilização da água de cal, vê-se um acréscimo na dureza, isto decorrente do cálcio adicionado para aumentar a condutividade da água, porém pode-se observar na Figura 3c, que os valores medidos não ultrapassam 94 mg L⁻¹ de dureza da água, valor dentro dos padrões de potabilidade da Portaria n.º 518/2004 do Ministério da Saúde.²¹ Esta Figura mostra que alguns experimentos foram conduzidos por mais que 30 min, para garantir que o tempo decorrido não altere os parâmetros.

A Figura 4 mostra que a matéria orgânica (oxigênio consumido) não sofre variação pela ação do processo eletrolítico, exceto no experimento 2, onde a matéria orgânica já se encontrava alta na água bruta, e mesmo variando os aditivos do experimento 5 (água de cal)

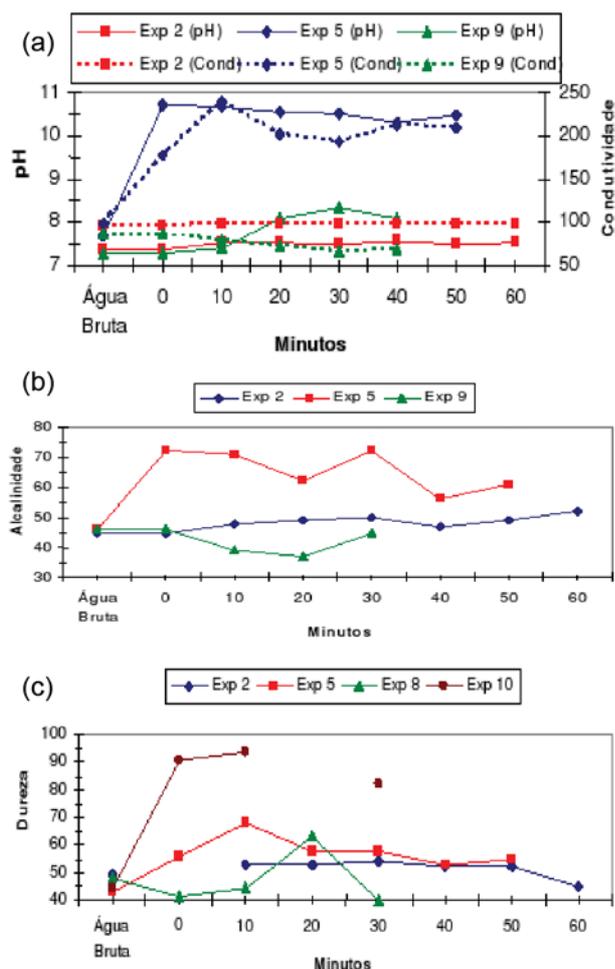


Figura 3. (a) Efeito do tempo de eletrólise sobre o pH e a condutividade da água eletrolisada nos experimentos 2 (sem cal), 5 (2 mL de cal 4,24%) e 9 (sem cal e eletrodo de alumínio); (b) efeito do tempo de eletrólise sobre a alcalinidade da água eletrolisada nos experimentos 2 (sem cal), 5 (2 mL de cal 4,24%) e 9 (sem cal e eletrodo de alumínio); (c) efeito do tempo de eletrólise sobre a dureza da água eletrolisada nos experimentos 2 (sem aditivo e eletrodo de Fe), 5 (com cal e eletrodo de Fe), 8 (com sulfato de alumínio e eletrodo de Al) e 10 (com cal e eletrodo de Al)

e do experimento 8 (sulfato de alumínio) não houve variação. Somente com a utilização do eletrodo de alumínio (ensaio 9), observou-se diminuição no valor de matéria orgânica, porém esta diminuição não é considerável para valores baixos de determinação.

Houve uma preocupação com a liberação de ferro na água, decorrente da possibilidade da dissolução do eletrodo (eletrodo de ferro), e, posteriormente, a geração de cor, o que poderia acarretar dificuldades nas fases posteriores do tratamento da água. Os resultados da dosagem de ferro total nos ensaios mostraram uma variação mínima; o teor de ferro da água bruta e da água eletrolisada dos ensaios sempre esteve abaixo de 0,3 mg/L.²¹

No teste 12, foi realizada a pesagem dos eletrodos utilizados no início do teste e no final após aproximadamente 115 min de funcionamento. Houve uma diferença entre o peso inicial e o final de 0,31 g que é considerada uma perda de massa normal no processo eletrolítico, não alterando a dosagem de Fe total na água eletrolisada, decorrente da formação de precipitados poucos solúveis de Fe(OH)₃ que vão decantar no tratamento de água.^{10,11}

Neste trabalho, experimentou-se também o eletrodo de alumínio. Os resultados apresentados na Figura 5 mostram que a utiliza-

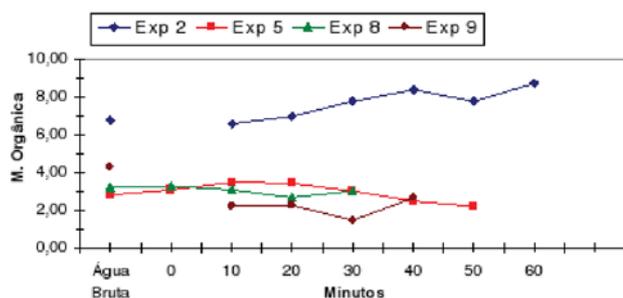


Figura 4. Efeito do tempo de eletrólise sobre a quantidade de matéria orgânica presente na água eletrolisada

ção de eletrodos de alumínio para fins de pré-tratamento de águas é inviável, porque o alumínio aumentou em 5 vezes o limite permitido pela legislação sem a utilização de aditivos na eletrólise (ensaio 9), e em 75 vezes com a utilização de água de cal como aditivo somente nos primeiros 5 min de processo eletrolítico (ensaio 10).

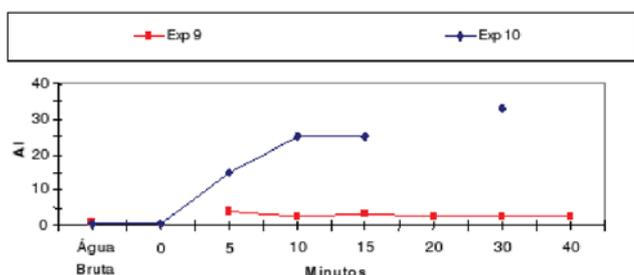


Figura 5. Efeito do tempo de eletrólise sobre o teor de alumínio presente na água eletrolisada, nos experimentos 9 (eletrodo de alumínio, sem aditivo) e 10 (eletrodo de alumínio, com cal)

O alumínio em águas de abastecimento tem colocações muito controversas, a legislação atual admite um máximo de $0,2 \text{ mg L}^{-1}$ de alumínio residual,²¹ pois a maioria dos tratamentos utiliza sais floculantes de alumínio.^{10,11}

Os resultados da contagem de bactérias por plaqueamento (UFC/mL) mostram que o processo eletrolítico é bastante efetivo para eliminar bactérias, e com o aumento da condutividade este efeito é mais visível (experimento 5). As variações do tipo de aditivo (água de cal nos experimentos 5, 10, 13, 15 e 16 ou sulfato de alumínio no experimento 8) e de eletrodos (ferro nos experimentos 4, 5, 8, 13, 15, 16 ou alumínio no experimento 10) não apresentaram grandes variações nas contagens de bactérias heterotróficas, como mostra a Figura 6. Esta diminuição é parecida com aquela ocorrida nos trabalhos de Okochi *et al.*,⁶ geradas com periodato na eletrólise, e por Matsunaga *et al.*,⁵ em sistema contínuo de desinfecção de água de torneira. Vale ressaltar que pelos ensaios ocorrerem em dias diferentes e com água superficial natural – água bruta – o valor inicial de contagem de bactérias mostrou uma variação bastante grande, porém isto foi também válido por mostrar que o efeito da eletrólise é mantido em diferentes contagens de bactérias.

A Figura 7 mostra a contagem de coliformes totais e fecais frente a ação do processo eletrolítico. Os testes 12, 15, e 16 mostram que o aditivo, água de cal, favorece a ação da descarga elétrica sobre os coliformes.

Os coliformes totais e fecais são os indicadores de contaminação mais usados para monitorar a qualidade sanitária da água.²³ No trabalho realizado por Matsunaga *et al.*,⁵ os coliformes fecais (*Escherichia coli*) foram efetivamente eliminados, comparando-se com outros microorganismos (leveduras, estafilococos e outros) adicionados na água.

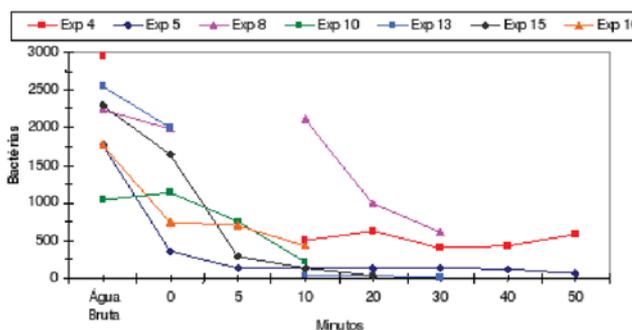


Figura 6. Efeito do tempo de eletrólise sobre a contagem de bactérias heterotróficas na água eletrolisada nos ensaios 4,5, 8, 10, 13, 15 e 16

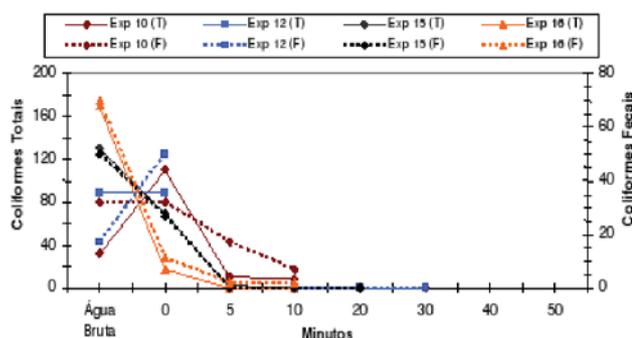


Figura 7. Efeito do tempo de eletrólise sobre o número de coliformes totais (T) e fecais (F) nos experimentos 10, 12, 15 e 16

Para garantir a segurança da utilização do processo eletrolítico no pré-tratamento de águas utilizou-se o teste de toxicidade aguda com o microcrustáceo *Daphnia similis*, usado rotineiramente na avaliação da toxicidade química em meio líquido.

A Figura 8 mostra o aumento da toxicidade aguda ao microcrustáceo pelo tempo de eletrólise. Este aumento é devido, possivelmente, a substâncias que possam ser geradas nos eletrodos, como radicais livres e outros oxidantes.

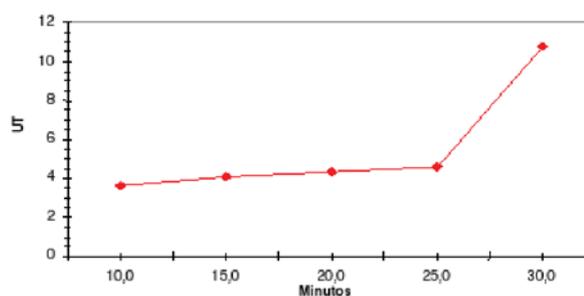


Figura 8. Efeito do tempo de eletrólise na quantidade de unidades tóxicas (UT) presentes na água, com medida da toxicidade aguda à *Daphnia similis*

O que se destaca é que o tempo de eletrólise determinado nos testes como o padrão de trabalho (5 min) apresentou mais de 70% de *Daphnias* vivas, sendo impossível calcular o valor de Unidades Tóxicas (UT) pelo método estatístico o EC 50 para este tempo de eletrólise; por este motivo, o gráfico apresentado inicia em 10 min.

CONCLUSÕES

O tratamento eletrolítico mostrou-se efetivo na eliminação de bactérias heterotróficas e de coliformes totais e fecais da água bruta

do Rio das Cinzas, reduzindo cerca de 16 vezes as bactérias heterotróficas após 10 min de eletrólise; com 5 min de tratamento os indicadores coliformes apresentam contagem zero. As avaliações da toxicidade aguda mostraram que no tempo mínimo necessário para o efeito bactericida (5 min) não existe toxicidade à *Daphnia similis*.

Os parâmetros físico-químicos não foram afetados pela ação da eletrólise, e o pH que é alterado pela adição da água de cal, aditivo que possibilita o aumento da condutividade, não altera a qualidade da água podendo melhorar a fase de floculação e decantação na rotina de tratamento da ETA.

O tratamento eletrolítico pode significar uma economia no ponto de vista de substâncias químicas (cloro); testes em escala piloto são necessários para avaliar o consumo elétrico do sistema proposto e, então, simular o custo benefício e avaliar a diminuição da geração de trihalometanos na água distribuída.

O eletrodo de alumínio não pode ser indicado para a proposta de pré-tratamento de água, por dissolver alumínio na água acima dos valores permitidos pela legislação vigente.

A instalação da escala piloto é necessária para avaliar o tempo de eletrólise numa rotina, com um equipamento (câmara de contato) para a validação do processo de tratamento eletrolítico, mas por se tratar de uma nova tecnologia fica patente a colaboração no aspecto de utilização de tratamentos alternativos para água de consumo humano.

AGRADECIMENTOS

Ao Serviço Autônomo de Água e Esgoto (SAAE) de Bandeirantes – Paraná – Brasil.

REFERÊNCIAS

1. El-Shahat, M. F.; Abdel-Halim, S. H.; Hassan, G. A.; *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* **1998**, *60*, 502.
2. Bisneto, R. T.; Bidóia, E. D.; *Brazilian Journal of Microbiology* **2003**, *34*, 48.
3. Patermarakis, G.; Fountoukidis, E.; *Water Res.* **1990**, *24*, 1491.
4. Okochi, M.; Lim, T. K.; Nakamura, N.; Matsunaga, T.; *Appl. Microbiol. Biotechnol.* **1997**, *47*, 18.
5. Matsunaga, T.; Okoshi, M.; Takahashi, M.; Nakayama, T.; Wake, H.; Nakamura, N.; *Water Res.* **2000**, *34*, 3117.
6. Okochi, M.; Yokokawa, H.; Tae Kyu, L.; Taguchi, T.; Takahashi, H.; Yokouchi, H.; Kaiho, T.; Sakuma, A.; Matsunaga, T.; *Appl. Environ. Microbiol.* **2005**, *10*, 6410.
7. Angelis, D. F.; Corso, R. C.; Moraes, P. B.; Domingos, R. N.; Rocha-Filho, R. C.; Bidóia, E. D.; *Quim. Nova* **1998**, *21*, 20.
8. Matsunaga, T.; Namba, Y.; Nakajima, T.; *Bioelectrochemistry and Bioenergetics* **1984**, *13*, 393.
9. Grahl, T.; Markl, H.; *Appl. Microbiol. Biotechnol.* **1996**, *45*, 148.
10. Cetesb; *Operação e Manutenção de E.T.A.*, Bnh/ Abes/ Cetesb: São Paulo, 1973.
11. Batalha, B. L.; Parlatore, A. C.; *Controle da Qualidade da Água para Consumo – Bases e Conceitos Operacionais*, Bnh/Abes/Cetesb: São Paulo, 1977.
12. Souza, A. B.; Derísio, J. C.; *Guia Técnico de Coleta de Amostras de Água*, Cetesb: São Paulo, 1977.
13. Cetesb; “Determinação do número mais provável pela técnica de tubos múltiplos”, Bnh/ Abes/Cetesb: São Paulo, 1978, (norma técnica L5.202).
14. Branco, S. M.; *Hidrobiologia Aplicada à Engenharia Sanitária*, 2ª ed., Bnh/ Abes/Cetesb: São Paulo, 1978.
15. Cetesb; *Contagem Padrão de Colônias de Bactérias*, Bnh/ Abes/ Cetesb: São Paulo, 1986, (norma técnica L5.201).
16. Clesceri, L. S.; Greenberg, A. E.; Trkussell, R. R.; Frason, M. A. H.; *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 20th ed., Apha: Washington, 1998.
17. Cetesb; *Teste de Toxicidade Aguda com Daphnia similis*, Bnh/Abes/Cetesb: São Paulo, 1991, (norma técnica L5.018).
18. Finney, D. J.; *Statistical Methods on Biological Assay*, Griffin LTD: Wycombe, 1978.
19. Hamilton, M. A.; Russo, R. C.; Trurston, R. V.; *Environ. Sci. Technol.* **1977**, *11*, 714; Hamilton, M. A.; Russo, R. C.; Trurston, R. V.; (Correction), *Environ. Sci. Technol.* **1978**, *12*, 417.
20. Litchfield, J. T.; Wilcoxon, F. A.; *J. Pharmacol. Exp. Ther.* **1949**, *96*, 99.
21. Ministério da Saúde; *Norma de Qualidade da Água para Consumo Humano*, Portaria nº 518 de 25 de março de 2004.
22. Nour, E. A. A.; *Noções básicas de laboratório*, Apostila do Curso de Laboratório de Saneamento da Faculdade de Engenharia Civil, Unicamp: Campinas, 1993.
23. Valias, A. P. G. dos S.; Silva, E. N.; *Revista Brasileira de Ciência Avícola* **2001**, *3*, 83.