



II-453 – SISTEMA ELETROLÍTICO COMO TRATAMENTO TERCIÁRIO DE EFLUENTE SANITÁRIO

Carlos Afonso Salles⁽¹⁾

Engenheiro Ambiental pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. Mestre em Saneamento Ambiental e Recursos Hídricos pelo Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul.

Anderson Teodoro⁽²⁾

Engenheiro Ambiental pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. Mestrando no Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul.

Maria Lúcia Ribeiro⁽³⁾

Engenheira Química pela Universidade Federal de São Carlos. Mestre em Química (Físico-Química) pela Universidade de São Paulo. Doutora em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Professora Associada do Departamento de Hidráulica e Transporte da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul.

Carlos Nobuyoshi Ide⁽⁴⁾

Engenheiro Civil pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. Mestre em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Doutor em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Professor Associado do Departamento de Hidráulica e Transporte da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul.

Manoel Lucas Machado Xavier⁽⁵⁾

Aluno de Graduação em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul.

Endereço⁽¹⁾: DHT/CCET/UFMS, CX. POSTAL 549, CEP 79070-900, Campo Grande/MS, fone: +55 (67) 3345-7490, fax: +55 (67) 3345-7499, e-mail: salles@nin.ufms.br

RESUMO

Dentre os processos de desinfecção aplicados no tratamento de efluentes sanitários o mais difundido é a cloração, que agrega eficiência e baixo custo. Porém, esta prática causa um efeito secundário preocupante: a geração de subprodutos comprovadamente cancerígenos, mutagênicos e que podem ser bioacumulados nas cadeias tróficas, após lançamento em cursos d'água. Este trabalho teve como finalidade investigar a viabilidade técnica e econômica de dispositivo eletrolítico como alternativa de tratamento terciário de efluente sanitário secundário, proveniente de reator anaeróbico, com enfoque para a remoção da DQO e desinfecção eletroquímica, em substituição à cloração. O sistema experimental foi concebido para trabalho em fluxo contínuo, sendo composto de dois compartimentos principais: a câmara eletroquímica (célula eletrolítica) e câmara de dupla função (tanque de contato/decantação). Adotando-se os parâmetros de controle, em três níveis constantes para cada fase experimental, tempo de detenção hidráulica (3,31, 13,91 e 25,26 minutos) e a densidade de corrente elétrica aplicada na célula eletrolítica (0,41667, 4,1667 e 10,4167 mA/cm²), procedeu-se a obtenção de resultados para parâmetros de investigação físico-químicos e microbiológicos. Como resultado, a eficiência de remoção de DQO chegou a 26,15%, com aplicação de densidade de corrente elétrica de 10,4167 mA/cm² e tempo de detenção hidráulica de 3,31 minutos, e a eficiência de desinfecção chegou a 99,99% para coliformes totais e 100% para *Escherichia coli*, para aplicação de densidade de corrente elétrica de 10,4167 mA/cm² e tempo de detenção hidráulica de 25,26 minutos. Considerando-se a eficiência de tratamento, associando remoção de DQO e desinfecção, a condição experimental mais efetiva foi para aplicação de densidade de corrente elétrica de 10,4167 mA/cm² e tempo de detenção hidráulica de 13,91 minutos, com redução de 15,25% da DQO, 99,82% de coliformes totais e 100% de *Escherichia coli*, evidenciando forte indicativo de viabilidade técnica do dispositivo eletrolítico como técnica alternativa de tratamento terciário de efluentes sanitários.

PALAVRAS-CHAVE: Eletrólise, Esgoto, Desinfecção.



INTRODUÇÃO

A rápida veiculação hídrica de agentes patogênicos permite sua difusão por extensas áreas, a partir do ponto de contaminação, o que possibilita a ocorrência de endemias e epidemias nas populações servidas por águas contaminadas, de forma direta (por contato com a água) ou indireta (através de vetores ou alimentos contaminados). Por este motivo, a manutenção da qualidade das águas naturais é uma das principais preocupações e desafios das engenharias sanitária e ambiental, garantindo a saúde pública e a integridades dos ecossistemas naturais.

Como medida de prevenção e controle da disseminação de doenças de veiculação hídrica foram desenvolvidas e adotadas técnicas de desinfecção de águas, visando os diversos usos, com excelentes resultados do ponto de vista epidemiológico, sem que houvesse preocupação aparente com a consequente formação de compostos secundários, subprodutos destes processos, já que o foco principal era o poder desinfetante das técnicas aplicadas.

Diversos processos de desinfecção de águas são conhecidos e aplicados, em todo o mundo, para garantir o controle sanitário local e a saúde das populações servidas por estas, considerando-se seus diversos usos (como abastecimento, irrigação, balneabilidade e lazer).

Para águas destinadas ao abastecimento público é necessário que, além da inativação local dos microrganismos, seja conferida, a esta, a característica de ser capaz de inibir qualquer atividade microbiológica até o ponto final de consumo. Dentre os processos de desinfecção aplicados, o único que tem a capacidade de oferecer esta ação prolongada, de forma efetiva, é a cloração. Em função desta característica, a legislação brasileira, através da Portaria nº 518/2004, do Ministério da Saúde (MS), que estabelece os padrões de potabilidade da água, exige que haja, nos pontos finais de consumo, uma concentração residual mínima de 0,2 mg/L de cloro ativo (BRASIL, 2005a).

A desinfecção de efluentes sanitários é exigida por lei, no Brasil, através da Resolução nº 357/2005, do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), que dispõe sobre a classificação de corpos d'água, diretrizes para seu enquadramento e os padrões de lançamentos de efluentes líquidos, sendo a persistência da ação desinfetante indesejada, neste caso, ao contrário das águas destinadas ao abastecimento público, no entanto se faz necessário atingir um nível de desinfecção compatível com o enquadramento do curso d'água receptor, de forma local, considerando-se sua capacidade de suporte, tanto para parâmetros microbiológicos como para compostos residuais e secundários originados de processos de desinfecção (BRASIL, 2005b).

Em função da alta eficiência de desinfecção de agentes clorados, associada à facilidade de sua obtenção e aplicação, e baixo custo operacional, o processo de cloração é, também, amplamente empregado como técnica de desinfecção de efluentes sanitários domésticos e hospitalares, em Estações de Tratamento de Esgotos (ETE's). Esta prática gera um efeito secundário preocupante, sob o aspecto da saúde pública e ambiental: a geração e lançamento de compostos organoclorados em cursos d'água, subprodutos da cloração, comprovadamente cancerígenos, mutagênicos e que podem ser bioacumulados nas cadeias tróficas (DE LUCA, 2000, apud AISSE et al., 2003; EPA, 2001, apud JORDÃO & ALEM SOBRINHO, 2003; LIN & YEH, 2005).

Este efeito foi primeiramente detectado pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (Environmental Protection Agency – EPA), em 1974, ao relacionar a incidência de casos de câncer à qualidade da água de abastecimento, o que foi comprovado, posteriormente, ser efeito de compostos organoclorados, principalmente trihalometanos (THM's) e ácidos haloacéticos (AHA's), encontrados em concentrações muito superiores a de outros contaminantes (EPA, 2001, apud JORDÃO & ALEM SOBRINHO, 2003), e, possivelmente, gerados como subproduto do controle de proliferação de algas no reservatório de adução por aplicação de agentes clorados, de ação biocida, a partir da reação destes com a matéria orgânica disponível. Outro caso semelhante foi identificado em 1975, durante monitoramento da água do Reservatório de Occoquan, Virgínia do Norte, também nos Estados Unidos, fonte para abastecimento de cerca de 600.000 (seiscentos mil) habitantes, quando foram identificadas elevadas concentrações de THM's, principalmente clorofórmio, gerados como subproduto de tratamento rotineiro com agentes clorados (HOEHN et al., 1977).



Esta descoberta provocou modificação de diversos procedimentos relacionados ao tratamento de águas de abastecimento público e residuárias, tornando a legislação norte-americana rigorosa no estabelecimento de padrões de potabilidade e de lançamento para estes compostos. Esta medida foi também adotada em países da Comunidade Européia, seguidos de muitos outros países no mundo, inclusive o Brasil (JORDÃO & PESSOA, 2003).

Em função dos riscos impostos pela desinfecção por agentes clorados, diversos estudos foram realizados no sentido de determinar os riscos gerados a partir de outros processos de desinfecção, e apontar técnicas que ofereçam menores riscos ambientais com boa eficiência na inativação de organismos patogênicos (RIBEIRO & LAPOLLI, 2003).

Diante deste quadro, se faz necessário o desenvolvimento de novas tecnologias para desinfecção de esgotos sanitários, igualmente eficientes e de custos e operação acessíveis, que possam ser aplicadas em larga escala, beneficiando todas as populações, indistintamente, garantindo as condições sanitárias exigidas para uma vida saudável.

O objetivo deste trabalho é a obtenção de dados que subsidiarão projeto de pesquisa de Pós-Graduação, como mestrado acadêmico, que investigará o potencial do sistema eletrolítico como dispositivo de tratamento terciário de efluente sanitário secundário, proveniente de reator anaeróbio, enfocando, principalmente, a remoção de sólidos em suspensão, degradação de compostos orgânicos e inorgânicos remanescentes e desinfecção, em função da atividade eletroquímica no dispositivo concebido.

MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi realizado no Laboratório de Qualidade Ambiental – LAQUA, da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul – UFMS, através de protótipo de bancada. Sua idealização objetivou a capacidade de reproduzir as condições operacionais encontradas em escala real, para tratamento de efluente sanitário secundário, proveniente de biodegradação anaeróbia de esgoto bruto em Reator Anaeróbio em Fluxo Ascendente (RAFA), da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) da UFMS.

O protótipo, desenvolvido para trabalho em fluxo contínuo, foi concebido com três compartimentos principais, que serão detalhados na sequência: reservatório de abastecimento por bombeamento, cuba eletrolítica e tanque de contato/decantação.

Planejamento experimental

Para avaliação da eficiência de desinfecção do efluente sanitário processado através do sistema experimental, visando ao adequado tratamento estatístico e otimização dos resultados obtidos, foi realizado o planejamento experimental fatorial 3^2 , sendo escolhidas como variáveis independentes o tempo de detenção hidráulica (TDH) no tanque de contato/decantação (que determina a vazão operacional e o tempo de exposição à ação eletroquímica na cuba eletrolítica) e a densidade de corrente elétrica (C) aplicada no dispositivo eletrolítico, fixados em três níveis distintos: mínimo (–), intermediário (0) e máximo (+), como apresentado na Tabela 1.

Tabela 1. Planejamento experimental adotado.

Planejamento experimental fatorial 3^2			
Fator B (densidade de corrente elétrica)	Fator A (tempo de detenção hidráulica)		
	nível baixo (– 1)	nível médio (0)	nível alto (+ 1)
nível baixo (– 1)	A^-B^-	A^0B^-	A^+B^-
nível médio (0)	A^-B^0	A^0B^0	A^+B^0
nível alto (+ 1)	A^-B^+	A^0B^+	A^+B^+



A escolha destes parâmetros de controle (tabela 2) deu-se pela grande influência esperada sobre o resultado final, relacionada diretamente com a vazão operacional e a atividade reativa (eletroquímica e de contato).

Inicialmente, pensou-se em adotar a vazão como parâmetro de controle, mas, tendo em vista a expectativa de geração de compostos oxidantes na cuba eletrolítica, e a continuidade de sua atividade reativa no tanque de contato, de forma similar a outras técnicas de desinfecção por agentes químicos, achou-se conveniente adotar o tempo de detenção hidráulica (tabela 3) como parâmetro de controle, em substituição à vazão, fixando como valor intermediário 25 min, tempo de contato adotado como ótimo para a maioria das técnicas aplicadas de desinfecção química, como a cloração, exigindo, para o sistema experimental concebido, uma vazão correspondente de 69 mL/min.

Tabela 2. Parâmetros de investigação e níveis de ensaios.

Parâmetros de Investigação			
Fatores	Níveis		
	baixo (– 1)	médio (0)	alto (+ 1)
A: tempo de detenção hidráulica no tanque de contato (min)	5,75 (vazão 290 mL/min)	25,00 (vazão 69 mL/min)	45,00 (vazão 38 mL/min)
B: densidade de corrente elétrica (mA/cm²)	0,41667 (alimentação 0,20 A)	4,1667 (alimentação 2,0 A)	10,4167 (alimentação 5,0 A)

A configuração escolhida para o dispositivo eletrolítico foi baseada em estudos anteriores, apresentados por Fang et al. (2006), Aisse et al. (2005), Sinoti (2004), Feng et al. (2004), Li et al. (2004), Tolentino-Bisneto & Bidoia (2003), Jia et al. (2001), Frischkorn et al. (2000a; 2000b), Araújo (1999), Wiendl (1998), Nakasono et al. (1993) e Paternarakis & Fountoukidis (1990), adotando-se características construtivas e geométricas próprias.

Tabela 3. Tempos de detenção hidráulica para as etapas de estudo.

Tempos de detenção hidráulica (TDH) (min)			
Fator A	Níveis		
	baixo (– 1)	médio (0)	alto (+ 1)
TDH na Célula Eletrolítica	3,31	13,91	25,26
TDH no Tanque de Contato	5,75	25,00	45,00
TDH no Sistema Experimental	9,06	38,91	70,26

Sistema eletrolítico

O dispositivo eletrolítico concebido é fechado, de fluxo horizontal contínuo, composto de dois compartimentos principais: câmara de reação eletroquímica e câmara de dupla função (contato/decantação).



As duas câmaras trabalharam afogadas, alimentadas por bombeamento, garantindo a incorporação dos gases oxidantes, gerados no processo, ao efluente em tratamento, com perspectivas de aumento da eficiência do sistema.

A câmara de reação eletroquímica (Figura 1) tem volume útil de 0,9 L, e foi confeccionada em acrílico e PVC, e composta de 2 (duas) placas flexíveis de grafite (eletrodos inertes), de 3,2 mm de espessura e 0,05 m² de superfície (0,1 m x 0,5 m), dispostas paralelamente, com distanciamento de 2,0 cm, compondo um único compartimento (célula eletrolítica), que operou com tempos de detenção hidráulica (TDH) mínimo de 5,75 min e a máximo de 45,00 min, e densidades de corrente elétrica mínima de 0,41667 mA/cm² e a máxima de 10,4167 mA/cm², mantidas por uma corrente contínua de alimentação que variou de 0,2 A a 5,0 A. Todos os parâmetros de controle operacional, citados, foram mantidos constantes em cada etapa do experimento.

As velocidades de escoamento do efluente, aplicadas na câmara eletrolítica, foram constantes, e os tempos de detenção hidráulica aplicados nas fases experimentais para este dispositivo variando de 3,31 a 25,26 min, podendo ser caracterizado, segundo Wiendl (1998), como variando de ultra-rápido a rápido, respectivamente.

Os gases gerados no processo eletrolítico, na sua maioria fortes oxidantes, foram incorporados ao efluente em tratamento, por turbilhonamento ocasionado pela própria produção destes nos eletrodos, e continuaram sua ação desinfetante na câmara de dupla função (contato/decantação).



Figura 1. Câmara de reação eletroquímica do sistema eletrolítico.

O dispositivo eletrolítico foi eletricamente alimentado e controlado através de um quadro de comando composto de chaves contadoras, um retificador de corrente com banco de capacitores, mostradores digitais de tensão e corrente, para um perfeito controle operacional e de obtenção de dados para investigação de viabilidade operacional.

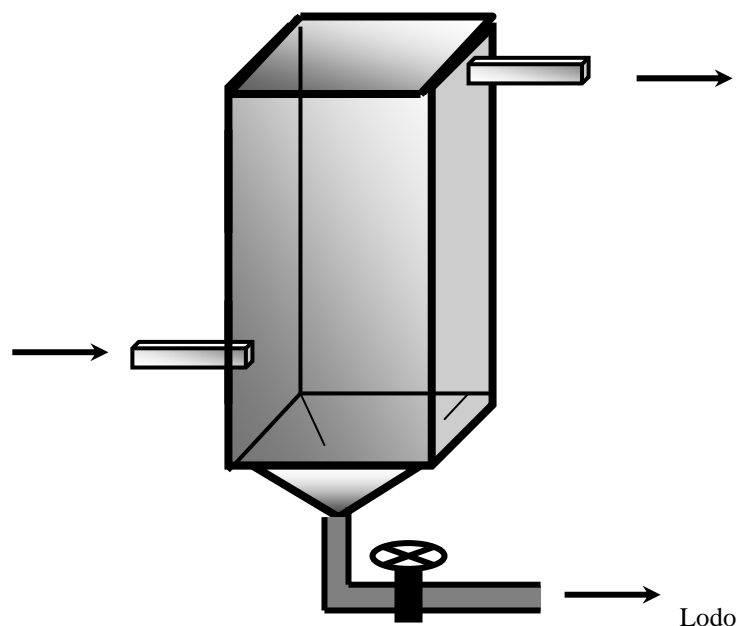


Figura 2. Câmara de contato/decantação do sistema eletrolítico.

A câmara de contato/decantação (Figura 2) tem volume operacional de 1,6 litros, totalmente vedado, com extração inferior de lodo por coletor cônico e com tempos de detenção hidráulica mínimo de 5,75 min e máximo de 45,00 min.

Esquema simplificado do sistema experimental

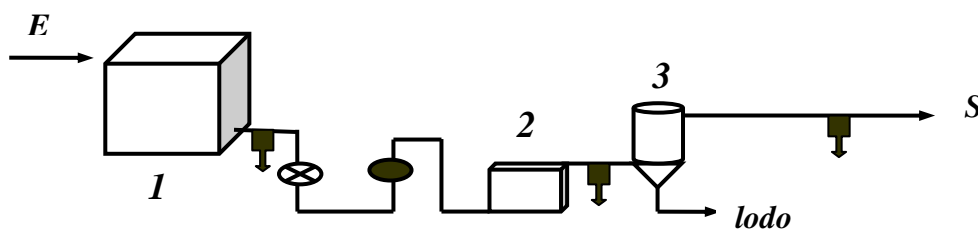


Figura 3. Representação esquemática do sistema experimental.

onde:

E → alimentação do sistema experimental com efluente sanitário

S → saídas do efluente sanitário tratado

1 → tanque de equalização quali-quantitativo

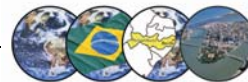
2 → câmara de reação eletroquímica do sistema eletrolítico

3 → câmara de contato/decantação do sistema eletrolítico

■ → ponto de coleta de amostras

⊗ → bomba elétrica para controle da vazão de alimentação dos dispositivos

● → rotâmetro



Procedimento de coleta

As coletas foram realizadas por amostragens simples, e aquelas correspondentes aos pontos de amostragens após os dispositivos, obedeceram, rigorosamente, o tempo individual de detenção hidráulica, para que fossem representativas, permitindo estabelecer uma relação comparativa entre as características do afluente e dos efluentes, tendo em vista que os dispositivos testados trabalharam em fluxo contínuo de pistão.

Além dos parâmetros de interesse, coliformes totais e *Escherichia coli*, foram monitorados temperatura, turbidez, condutividade, sólidos dissolvidos totais (SDT), sólidos suspensos totais (SST), sólidos sedimentáveis, demanda química de oxigênio (DQO), cloreto (Cl^-), residual de cloro ativo, residual de cloro combinado (cloroaminas), dióxido de cloro, clorito, nitrogênio total e nitrogênio amoniacal.

As análises laboratoriais foram realizadas no Laboratório de Qualidade Ambiental (LAQUA), da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul – UFMS. Os métodos de amostragem e analíticos foram referenciados pela publicação “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater”, 21ª edição (APHA, 2005), sendo utilizado o método de tubos múltiplos, para determinação dos parâmetros coliformes totais e *Escherichia coli*.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com base nos resultados obtidos, foram feitos tratamentos estatísticos que evidenciaram aspectos que serão destacados neste item.

Aspectos operacionais

Neste item, serão destacados detalhes e observações relacionadas aos aspectos operacionais que exerceram influência direta no resultado final obtido.

Vazão

A manutenção das vazões previstas no planejamento experimental foram obtidas com sucesso e mantidas constantes durante todas as fases do experimento, sem variações. O sucesso desta operação se deve, principalmente, ao conjunto bomba hidráulica de palhetas/inversor de frequência, que permitiu um rigoroso controle deste parâmetro, sem que houvesse necessidade de ajustes intermediários durante as etapas experimentais previstas na fase de planejamento.

A perfeita interação dos dispositivos que compunham o sistema experimental também contribuiu para o bom andamento das investigações, não apresentando qualquer obstrução ou vazamento durante a realização do experimento.

As vazões experimentais tiveram como base os tempos de detenção hidráulica no tanque de contato/decantação, que garantiram a proporcionalidade em relação à escala real para o dispositivo de bancada.

Densidade de corrente elétrica

As densidades de corrente elétrica aplicadas no experimento estão diretamente relacionadas com tensão elétrica e a área superficial dos eletrodos em contato com o eletrólito (efluente sanitário).

O controle experimental da densidade de corrente elétrica aplicada se deu através de fonte retificadora de corrente elétrica associada a dois multímetros digitais, permitindo uma precisa leitura da corrente contínua e tensão (diferença de potencial – DDP) aplicadas.

A Tabela 4 apresenta as densidades de corrente elétrica aplicadas em cada etapa do experimento, com indicação das respectivas alimentações, em corrente contínua, que foram mantidas constantes durante todas as fases experimentais, através do controle da tensão de alimentação.



Tabela 4. Densidades de corrente elétrica aplicadas durante as fases experimentais.

Densidades de Corrente Elétrica aplicadas no experimento			
Fatores e níveis experimentais correspondentes	Níveis		
	baixo (- 1)	médio (0)	alto (+ 1)
B: densidade de corrente elétrica (mA/cm²)	0,41667 (alimentação 0,20 A)	4,1667 (alimentação 2,0 A)	10,4167 (alimentação 5,0 A)

A tensão elétrica é a responsável pelo fluxo de corrente elétrica gerada, e o seu controle se deu com uso de regulador de tensão de alimentação do sistema experimental, a partir da rede elétrica convencional, de tensão 110 V e corrente alternada. O regulador de tensão teve por finalidade a obtenção e controle da corrente contínua de alimentação do sistema eletrolítico, com auxílio de multímetros digitais, que permitiram maior precisão durante a operação.

A Tabela 5 apresenta as tensões elétricas aplicadas, e suas variações, para obtenção e manutenção de valor constante da corrente elétrica contínua de alimentação do sistema eletrolítico, garantindo a aplicação de densidade de corrente elétrica prevista para cada etapa experimental. As tensões indicadas em negrito são aquelas que permitiram o controle após estabilização do sistema, imposto à nova condição experimental.

Tabela 5. Tensão elétrica aplicada durante as fases experimentais.

Diferenças de Potenciais - DDP (tensão elétrica) aplicadas no experimento				
Fatores e níveis experimentais correspondentes		Fator A (tempo de detenção hidráulica)		
		nível baixo (- 1)	nível médio (0)	nível alto (+ 1)
Fator B (densidade de corrente elétrica)	nível baixo (- 1)	4,4 V	4,6 V	4,4 V
	nível médio (0)	20,0 V	19,6 V (19,5 V - 20,0 V)	18,4 V
	nível alto (+ 1)	41,6 V (41,6 V - 42,6 V)	32,8 V (32,8 V - 45,2 V)	26,4 V (26,4 V - 41,0 V)

Como já era esperado, para as condições experimentais que utilizaram um nível alto de corrente elétrica de alimentação (5,0 A), houve grande variação da tensão até sua estabilização, permanecendo constante. As tensões aplicadas no início de operação de duas etapas experimentais específicas (5,0 A aplicados para níveis médio e alto de tempo de detenção hidráulica), inicialmente, eram muito superiores à condição de estabilização, indicando que é necessário um condicionamento prévio do efluente sanitário, no próprio dispositivo, e dos eletrodos, superior ao seu tempo de detenção hidráulica neste, até que haja condição de interação eletrolítica adequada para a obtenção de resultados confiáveis e reprodutíveis. Este efeito se deve à maior atividade imposta pelas reações eletroquímicas e pela maior vazão aplicada no sistema, gerando maior turbulência e, conseqüentemente, maior interação dos compostos, presentes no efluente processado, com os eletrodos.

Os valores de tensão elétrica aplicada indicados na Tabela 5, em negrito, são finais, a partir dos quais a condição experimental desejada foi alcançada. Portanto, pode-se fixar a tensão nestes valores até que a corrente elétrica atinja os níveis desejados, experimentalmente. Neste caso, haverá uma elevação gradativa da corrente elétrica contínua aplicada, até sua estabilidade no nível desejado, indicando que o dispositivo



eletrolítico (efluente em processamento e eletrodos) apresenta-se condicionado, garantindo regularidade dos resultados obtidos, com boa confiabilidade.

Resultados obtidos

Neste item, serão apresentados os dados analíticos que caracterizam o efluente sanitário utilizado no experimento, em todas as suas etapas, que subsidiarão Dissertação sobre o tema, onde serão feitas as pertinentes observações e discussões. Estes serão destacados de duas formas:

- como resultados analíticos, diretamente; e
- como variação em relação à condição inicial do efluente sanitário processado, para cada parâmetro analítico.

Caracterização físico-química e bacteriológica

Os dados apresentados, a seguir, que visam caracterizar o efluente sanitário em todas as etapas experimentais, foram subdivididos com base nos dispositivos que integraram o experimento: célula eletrolítica e tanque de contato/decantação. Portanto, foram três as fases analíticas que forneceram os dados experimentais:

- antes da fase eletrolítica (efluente sanitário secundário utilizado no experimento);
- após a fase eletrolítica (efluente da célula eletrolítica); e
- após a fase de contato/decantação (efluente do tanque de contato/decantação).

Cada fase analítica contém três etapas experimentais (I, II e III), correspondentes às variações do parâmetro de controle operacional tempo de detenção hidráulica (variável de investigação), distintos para cada dispositivo e o conjunto experimental. Estas etapas experimentais, por sua vez, foram subdivididos em três níveis de aplicação de densidade de corrente elétrica (variável de investigação), que corresponde ao segundo parâmetro de controle operacional. As condições experimentais apresentadas e adotadas para ordenação dos dados obtidos, foram previamente estabelecidas em planejamento experimental.

Na Tabela 6 são apresentados os valores obtidos, analiticamente, para os parâmetros investigados, que caracterizam o efluente sanitário secundário utilizado no experimento. É importante destacar que o efluente sanitário utilizado é proveniente de tratamento secundário, por via anaeróbia (reator anaeróbio de fluxo ascendente – RAFA), da Estação de Tratamento de Esgoto da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (ETE/UFMS), que trata o esgoto do Campus Universitário de Campo Grande, incluindo esgoto hospitalar, proveniente do Hospital Universitário. Este aspecto merece destaque, pois confere características diferenciadas ao esgoto recebido pela ETE/UFMS, em relação ao esgoto doméstico convencional, sendo elas:

- apresenta-se mais diluído;
- contém eventuais cargas de choque de agentes desinfetantes (principalmente cloro ativo), proveniente de limpeza das instalações hospitalares, que podem interferir na operação do reator anaeróbio, cuja eficiência depende diretamente da boa condição da atividade biológica anaeróbia em seu interior;
- apresenta elevado risco biológico, em função da possível presença de microrganismos potencialmente resistentes a agentes convencionais de desinfecção, além de residuais de substâncias medicamentosas, mesmo após administração ao paciente, podendo estar presentes em suas excreções.

Tabela 6. Caracterização do Efluente Sanitário Secundário utilizado no Experimento

Caracterização do Efluente Sanitário Secundário utilizado no Experimento									
Parâmetros Analíticos e de Controle Operacional	Etapas do Experimento								
	I			II			III		
Tempo de Detenção Hidráulica (min)	5,75			25,00			45,00		
Densidade de Corrente Elétrica	0,4166 7	4,1667	10,416 7	0,4166 7	4,1667	10,416 7	0,4166 7	4,1667	10,416 7
									Média dos resultados obtidos



(mA/cm ²)										
pH	7,00	7,00	7,00	7,10	7,06	7,06	7,00	7,00	7,00	7,02
Alcalinidade (mg/L CaCO₃)	169,43	169,43	169,43	146,53	146,53	146,53	157,98	176,30	176,30	162,05
Temperatura (°C)	27,6	27,6	27,6	27,0	27,0	27,0	27,8	26,5	26,5	27,18
Cor (Pt/L)	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5
Turbidez (UNT)	20,2	20,2	20,2	11,0	11,0	11,0	14,1	16,7	16,7	15,68
Condutividade (µS/cm)	420	420	420	423	423	423	423	445	445	426,89
Coliformes Totais (NMP/100 mL)	1,3 x 10 ⁶	1,3 x 10 ⁶	1,3 x 10 ⁶	1,1 x 10 ⁶	1,1 x 10 ⁶	1,1 x 10 ⁶	1,1 x 10 ⁶	2,3 x 10 ⁶	2,3 x 10 ⁷	1,43 x 10⁶
Escherichia coli (NMP/100 mL)	5,0 x 10 ⁴	5,0 x 10 ⁴	5,0 x 10 ⁴	4,0 x 10 ⁴	4,0 x 10 ⁴	4,0 x 10 ⁴	2,2 x 10 ⁵	2,6 x 10 ⁴	2,6 x 10 ⁴	6,02 x 10⁴
Sólidos Sedimentáveis (mL/L)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
Sólidos Dissolvidos Totais (SDT) (mg/L)	297,2	297,2	297,2	299,4	299,4	299,4	299,4	314,9	314,9	302,11
Sólidos Suspensos Totais (SST) (mg/L)	9,0	9,0	9,0	18,0	18,0	18,0	11,0	16,0	16,0	13,78
Sólidos Totais (mg/L)	306,23	306,23	306,23	317,36	317,36	317,36	310,36	330,93	330,93	315,89
Cloro Livre Residual (mg/L Cl)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Cloro Combinado (mg/L Cl)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Dióxido de Cloro (ClO₂) (mg/L Cl)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Clorito (mg/L Cl)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Cloreto (mg/L Cl⁻)	42,78	42,78	42,78	44,58	44,58	44,58	47,73	53,59	53,59	46,33
Nitrogênio Total (NT) (mg/L N)	17,3	17,3	17,3	16,8	16,8	16,8	16,7	19,6	19,6	17,58
Nitrogênio Amoniacal (NH₃) (mg/L N)	7,80	7,80	7,80	20,10	20,10	20,10	18,00	21,10	21,10	15,99
Demanda Química de Oxigênio (DQO) (mg/L O₂)	103,65	103,65	103,65	128,89	128,89	128,89	94,15	122,57	122,57	115,21

Os resultados analíticos que caracterizam o efluente sanitário após o primeiro, e principal, dispositivo experimental, a célula eletrolítica, são apresentados na Tabela 7.



Tabela 7. Caracterização do Efluente da Célula Eletrolítica.

Caracterização do Efluente da Célula Eletrolítica									
Parâmetros Analíticos e de Controle Operacional	Etapas do Experimento								
	I			II			III		
Tempo de Detenção Hidráulica (min)	3,31			13,91			25,26		
Densidade de Corrente Elétrica (mA/cm ²)	0,4166 7	4,1667	10,416 7	0,4166 7	4,1667	10,416 7	0,4166 7	4,1667	10,416 7
pH	7,02	6,88	6,67	6,94	6,08	5,98	6,86	6,28	6,01
Alcalinidade (mg/L CaCO ₃)	160,27	155,69	167,14	148,82	139,66	112,19	137,38	137,38	112,19
Temperatura (°C)	28,7	30,0	39,0	30,0	34,1	49,1	29,1	34,7	56,2
Cor (Pt/L)	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5
Turbidez (UNT)	17,1	18,9	20,3	11,6	24,7	48,8	11,7	26,2	78,3
Condutividade (µS/cm)	417	411	413	414	389	335	418	372	350
Coliformes Totais (NMP/100 mL)	2,2 x 10 ⁶	3,3 x 10 ⁵	1,1 x 10 ⁶	3,0 x 10 ⁶	5,0 x 10 ⁵	2,0 x 10 ³	2,8 x 10 ⁵	4,0 x 10 ⁵	2,0 x 10 ²
<i>Escherichia coli</i> (NMP/100 mL)	1,7 x 10 ⁵	3,3 x 10 ⁵	1,3 x 10 ⁵	1,3 x 10 ⁶	1,7 x 10 ⁴	1	2,7 x 10 ⁵	1,2 x 10 ⁴	1
Sólidos Sedimentáveis (mL/L)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,9
Sólidos Dissolvidos Totais (SDT) (mg/L)	295,1	290,9	292,3	293,0	275,3	237,1	295,8	263,3	247,7
Sólidos Suspensos Totais (SST) (mg/L)	15,0	22,0	12,0	6,0	9,0	34,0	22,0	22,0	38,0
Sólidos Totais (mg/L)	310,11	312,86	304,28	298,99	284,30	271,08	317,82	285,26	285,70
Cloro Livre Residual (mg/L Cl)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Cloro Combinado (mg/L Cl)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Dióxido de Cloro (ClO ₂) (mg/L Cl)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Clorito (mg/L Cl)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Cloreto (mg/L Cl)	41,43	34,67	27,47	41,43	29,72	19,81	45,03	22,07	30,17
Nitrogênio Total (NT) (mg/L N)	17,0	17,2	17,5	17,0	16,8	17,2	16,1	18,0	19,4
Nitrogênio Amoniacal (NH ₃) (mg/L N)	8,70	9,90	7,70	19,20	18,70	18,90	17,90	20,20	20,80
Demanda Química de Oxigênio (DQO) (mg/L O ₂)	87,45	92,32	76,55	112,53	100,18	109,23	92,29	119,85	136,39

Os resultados analíticos que caracterizam o efluente sanitário após o segundo, e último, dispositivo experimental, o tanque de contato/decantação, são apresentados na Tabela 8.



Tabela 8. Caracterização do Efluente do Tanque de Contato/Decantação.

Caracterização do Efluente do Tanque de Contato/Decantação									
Parâmetros Analíticos e de Controle Operacional	Etapas do Experimento								
	I			II			III		
Tempo de Detenção Hidráulica (min)	5,75			25,00			45,00		
Densidade de Corrente Elétrica (mA/cm ²)	0,4166 7	4,1667	10,416 7	0,4166 7	4,1667	10,416 7	0,4166 7	4,1667	10,416 7
pH	7,05	6,87	6,70	6,79	6,05	5,98	6,81	6,32	6,02
Alcalinidade (mg/L CaCO ₃)	160,27	155,69	160,27	155,69	132,80	116,77	155,69	137,38	116,77
Temperatura (°C)	28,5	30,1	38,2	29,5	32,8	45,1	28,7	34,0	44,6
Cor (Pt/L)	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5
Turbidez (UNT)	17,5	18,7	21,9	16,8	20,1	43,6	13,9	25,6	59,8
Condutividade (µS/cm)	422	411	412	414	389	333	417	374	354
Coliformes Totais (NMP/100 mL)	3,4 x 10 ⁵	8,0 x 10 ⁵	2,4 x 10 ⁵	5,0 x 10 ⁶	1,3 x 10 ⁶	1,2 x 10 ³	3,0 x 10 ⁵	2,0 x 10 ⁵	1,3 x 10 ³
<i>Escherichia coli</i> (NMP/100 mL)	2,6 x 10 ⁴	2,2 x 10 ⁵	2,8 x 10 ⁴	2,2 x 10 ⁶	1,1 x 10 ⁵	1	8,0 x 10 ⁴	1,1 x 10 ⁴	1
Sólidos Sedimentáveis (mL/L)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Sólidos Dissolvidos Totais (SDT) (mg/L)	298,6	290,9	291,6	293,0	275,3	235,7	295,1	264,7	250,5
Sólidos Suspensos Totais (SST) (mg/L)	14,0	13,0	6,0	19,0	17,0	25,0	11,0	20,0	24,0
Sólidos Totais (mg/L)	312,65	303,86	297,57	311,99	292,30	260,66	306,11	284,68	274,53
Cloro Livre Residual (mg/L Cl)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Cloro Combinado (mg/L Cl)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Dióxido de Cloro (ClO ₂) (mg/L Cl)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Clorito (mg/L Cl)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Cloreto (mg/L Cl)	---	36,02	27,47	46,38	30,62	22,07	46,83	31,07	22,97
Nitrogênio Total (NT) (mg/L N)	17,2	18,1	17,7	17,3	16,4	16,8	16,0	19,1	19,2
Nitrogênio Amoniacal (NH ₃) (mg/L N)	6,40	7,50	7,10	19,30	18,50	18,20	18,10	20,60	20,80
Demanda Química de Oxigênio (DQO) (mg/L O ₂)	91,46	83,72	77,56	114,97	94,44	98,46	92,72	93,44	51,14



Variação dos resultados em relação à condição inicial para cada etapa

Os dados apresentados, a seguir, visam destacar a variação dos resultados analíticos em cada dispositivo (célula eletrolítica e tanque de contato/decantação) e no conjunto experimental, como um todo, com intenção de evidenciar aspectos positivos e negativos em todas as fases experimentais, relacionadas aos parâmetros analíticos, que fundamentarão as observações e discussões realizadas neste trabalho, após o devido tratamento estatístico dos dados obtidos.

As variações dos resultados analíticos identificadas para a fase eletrolítica são apresentadas na Tabela 9.

Tabela 9. Variação dos Resultados Analíticos na Célula Eletrolítica (%).

Variação dos Resultados Analíticos na Célula Eletrolítica (%)									
Parâmetros Analíticos e de Controle Operacional	Etapas do Experimento								
	I			II			III		
Tempo de Detenção Hidráulica (min)	3,31			13,91			25,26		
Densidade de Corrente Elétrica (mA/cm²)	0,4166 7	4,1667	10,416 7	0,4166 7	4,1667	10,416 7	0,4166 7	4,1667	10,416 7
pH	0,29	-1,71	-4,71	-2,25	-13,88	-15,30	-2,00	-10,29	-14,14
Alcalinidade (mg/L CaCO₃)	-5,41	-8,11	-1,35	1,56	-4,69	-23,44	-13,04	-22,08	-36,36
Temperatura (°C)	3,99	8,70	41,30	11,11	26,30	81,85	4,68	30,94	112,08
Cor (Pt/L)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Turbidez (UNT)	-15,35	-6,44	0,50	5,45	124,55	343,64	-17,02	56,89	368,86
Condutividade (µS/cm)	-0,71	-2,14	-1,67	-2,13	-8,04	-20,80	-1,18	-16,40	-21,35
Coliformes Totais (NMP/100 mL)	69,23	-74,62	-15,38	172,73	-54,55	-99,82	-74,55	-82,61	-99,99
<i>Escherichia coli</i> (NMP/100 mL)	240,00	560,00	160,00	3150,0 0	-57,50	-100,00	22,73	-53,85	-100,00
Sólidos Sedimentáveis (mL/L)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	900,00
Sólidos Dissolvidos Totais (SDT) (mg/L)	-0,71	-2,14	-1,67	-2,13	-8,04	-20,80	-1,18	-16,40	-21,35
Sólidos Suspensos Totais (SST) (mg/L)	66,67	144,44	33,33	-66,67	-50,00	88,89	100,00	37,50	137,50
Sólidos Totais (mg/L)	1,27	2,17	-0,64	-5,79	-10,42	-14,58	2,40	-13,80	-13,67
Cloro Livre Residual (mg/L Cl)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cloro Combinado (mg/L Cl)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Dióxido de Cloro (ClO₂) (mg/L Cl)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Clorito (mg/L Cl)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cloreto (mg/L Cl⁻)	-3,16	-18,95	-35,79	-7,07	-33,33	-55,56	-5,66	-58,82	-43,70
Nitrogênio Total (NT) (mg/L N)	-1,73	-0,58	1,16	1,19	0,00	2,38	-3,59	-8,16	-1,02



Nitrogênio Amoniacal (NH ₃) (mg/L N)	11,54	26,92	-1,28	-4,48	-6,97	-5,97	-0,56	-4,27	-1,42
Demanda Química de Oxigênio (DQO) (mg/L O ₂)	-15,63	-10,93	-26,15	-12,69	-22,27	-15,25	-1,98	-2,22	11,28

As variações dos resultados analíticos identificadas para a fase de contato/decantação são apresentadas na Tabela 10.

Tabela 10. Variação dos Resultados Analíticos no Tanque de Contato/Decantação (%).

Variação dos Resultados Analíticos no Tanque de Contato/Decantação (%)									
Parâmetros Analíticos e de Controle Operacional	Etapas do Experimento								
	I			II			III		
Tempo de Detenção Hidráulica (min)	5,75			25,00			45,00		
Densidade de Corrente Elétrica (mA/cm ²)	0,4166 7	4,1667	10,416 7	0,4166 7	4,1667	10,416 7	0,4166 7	4,1667	10,416 7
pH	0,43	-0,15	0,45	-2,16	-0,49	0,00	-0,73	0,64	0,17
Alcalinidade (mg/L CaCO ₃)	0,00	0,00	-4,11	4,62	-4,92	4,08	13,33	0,00	4,08
Temperatura (°C)	-0,70	0,33	-2,05	-1,67	-3,81	-8,15	-1,37	-2,02	-20,64
Cor (Pt/L)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Turbidez (UNT)	2,34	-1,06	7,88	44,83	-18,62	-10,66	18,80	-2,29	-23,63
Condutividade (µS/cm)	1,20	0,00	-0,24	0,00	0,00	-0,60	-0,24	0,54	1,14
Coliformes Totais (NMP/100 mL)	-84,55	142,42	-78,18	66,67	160,00	-40,00	7,14	-50,00	550,00
<i>Escherichia coli</i> (NMP/100 mL)	-84,71	-33,33	-78,46	69,23	547,06	0,00	-70,37	-8,33	0,00
Sólidos Sedimentáveis (mL/L)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-100,00
Sólidos Dissolvidos Totais (SDT) (mg/L)	1,20	0,00	-0,24	0,00	0,00	-0,60	-0,24	0,54	1,14
Sólidos Suspensos Totais (SST) (mg/L)	-6,67	-40,91	-50,00	216,67	88,89	-26,47	-50,00	-9,09	-36,84
Sólidos Totais (mg/L)	0,82	-2,88	-2,20	4,35	2,81	-3,84	-3,68	-0,20	-3,91
Cloro Livre Residual (mg/L Cl)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cloro Combinado (mg/L Cl)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Dióxido de Cloro (ClO ₂) (mg/L Cl)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Clorito (mg/L Cl)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cloreto (mg/L Cl ⁻)	???	3,90	0,00	11,96	3,03	11,36	4,00	40,82	-23,88
Nitrogênio Total (NT) (mg/L N)	1,18	5,23	1,14	1,76	-2,38	-2,33	-0,62	6,11	-1,03



Nitrogênio Amoniacal (NH ₃) (mg/L N)	-26,44	-24,24	-7,79	0,52	-1,07	-3,70	1,12	1,98	0,00
Demanda Química de Oxigênio (DQO) (mg/L O ₂)	4,59	-9,32	1,32	2,17	-5,73	-9,86	0,47	-22,04	-62,50

As variações dos resultados analíticos identificadas para o conjunto experimental (célula eletrolítica e tanque de contato/decantação), como um todo, são apresentadas na Tabela 11.

Tabela 11. Variação dos Resultados Analíticos no Sistema Experimental (%).

Variação dos Resultados Analíticos no Sistema Experimental (%) (Célula Eletrolítica + Tanque de Contato/Decantação)									
Parâmetros Analíticos e de Controle Operacional	Etapas do Experimento								
	I			II			III		
Tempo de Detenção Hidráulica (min)	9,06			38,91			70,26		
Densidade de Corrente Elétrica (mA/cm ²)	0,4166 7	4,1667	10,416 7	0,4166 7	4,1667	10,416 7	0,4166 7	4,1667	10,416 7
pH	0,71	-1,86	-4,29	-4,37	-14,31	-15,30	-2,71	-9,71	-14,00
Alcalinidade (mg/L CaCO ₃)	-5,41	-8,11	-5,41	6,25	-9,38	-20,31	-1,45	-22,08	-33,77
Temperatura (°C)	3,26	9,06	38,41	9,26	21,48	67,04	3,24	28,30	68,30
Cor (Pt/L)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Turbidez (UNT)	-13,37	-7,43	8,42	52,73	82,73	296,36	-1,42	53,29	258,08
Condutividade (µS/cm)	0,48	-2,14	-1,90	-2,13	-8,04	-21,28	-1,42	-15,96	-20,45
Coliformes Totais (NMP/100 mL)	-73,85	-38,46	-81,54	354,55	18,18	-99,89	-72,73	-91,30	-99,94
<i>Escherichia coli</i> (NMP/100 mL)	-48,00	340,00	-44,00	5400,0 0	175,00	-100,00	-63,64	-57,69	-100,00
Sólidos Sedimentáveis (mL/L)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Sólidos Dissolvidos Totais (SDT) (mg/L)	0,48	-2,14	-1,90	-2,13	-8,04	-21,28	-1,42	-15,96	-20,45
Sólidos Suspensos Totais (SST) (mg/L)	55,56	44,44	-33,33	5,56	-5,56	38,89	0,00	25,00	50,00
Sólidos Totais (mg/L)	2,09	-0,77	-2,83	-1,69	-7,90	-17,86	-1,37	-13,97	-17,04
Cloro Livre Residual (mg/L Cl)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cloro Combinado (mg/L Cl)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Dióxido de Cloro (ClO ₂) (mg/L Cl)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Clorito (mg/L Cl)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cloreto (mg/L Cl ⁻)	???	-15,79	-35,79	4,04	-31,31	-50,51	-1,89	-42,02	-57,14



Nitrogênio Total (NT) (mg/L N)	-0,58	4,62	2,31	2,98	-2,38	0,00	-4,19	-2,55	-2,04
Nitrogênio Amoniacal (NH ₃) (mg/L N)	-17,95	-3,85	-8,97	-3,98	-7,96	-9,45	0,56	-2,37	-1,42
Demanda Química de Oxigênio (DQO) (mg/L O ₂)	-11,76	-19,23	-25,17	-10,80	-26,73	-23,61	-1,52	-23,77	-58,28

CONCLUSÕES

As maiores eficiências de desinfecção foram obtidas para aplicação de densidade de corrente elétrica de 10,4167 mA/cm² e tempos de detenção hidráulica (tempos de exposição à atividade eletroquímica) de 13,91 e 25,26 minutos, com inativações da ordem de 99,82% e 99,99% para coliformes totais, respectivamente, e de 100% para *Escherichia coli*, nas duas condições.

A avaliação das variações obtidas para os parâmetros físico-químicos identificaram o potencial do dispositivo eletrolítico experimentado como técnica de tratamento terciário, com destaque para a redução da DQO, da ordem de 26,15%, com aplicação de densidade de corrente elétrica de 10,4167 mA/cm² e tempo de detenção hidráulica de 3,31 minutos, e de 22,27%, com aplicação de densidade de corrente elétrica de 4,1667 mA/cm² e tempo de detenção hidráulica de 13,91 minutos.

Considerando-se a associação da eficiência de remoção de DQO e de desinfecção, a condição experimental mais efetiva é para aplicação de densidade de corrente elétrica de 10,4167 mA/cm² e tempo de detenção hidráulica de 13,91 minutos, com redução de 15,25% da DQO, 99,82% de coliformes totais e 100,0% de *Escherichia coli*.

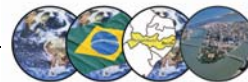
As informações obtidas neste trabalho dão forte indicativo da viabilidade técnica do dispositivo eletrolítico experimentado tanto como técnica de desinfecção como de tratamento terciário (polimento) de efluente sanitário secundário, proveniente de tratamento anaeróbico, que deve ser confirmada e evidenciada em Dissertação, de cujo Projeto de Pesquisa deriva este trabalho, com considerações sobre a validação estatística e interpretação dos dados apresentados, e análise de viabilidade técnico/econômica do dispositivo concebido.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a CAPES pela concessão das bolsas de Mestrado e Iniciação Científica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AISSE, M. M.; CORAUCCI FILHO, B.; ANDRADE NETO, C. O.; JÜRGENSEN, D.; LAPOLLI, F. R.; MELO, H. N. S.; PIVELI, R. P.; DE LUCA, S. J. Cloração e Descloração. In: Desinfecção de efluentes sanitários, PROSAB 3, ABES-RJ, RIMA, São Carlos, 2003, p.113-168.
2. _____.; LOBATO, M. B.; JÜRGENSEN, D. Desinfecção de efluentes utilizando hipoclorito gerado "in-loco". In: 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, trabalho II-378, Anais, ABES, Rio de Janeiro, 2005, 13p.
3. APHA; AWWA; WEF. Standard methods for the examination of water and wastewater. 21 th ed., American Public Health Association, Washington, 2005.
4. ARAÚJO, A. A. Desinfecção de água por oxidação anódica. Dissertação (mestrado), Universidade Federal do Ceará – UFC, Fortaleza, 1999, 80p.
5. ARSLAN, I.; BALCIOGLU, I. A.; TUHKANEN, T.; BAHNEMANN, D. H₂O₂/UV-C and Fe²⁺/H₂O₂/UV-C versus TiO₂/UV-A treatment for reactive dye wastewater. Journal of Environmental Engineering, v. 126, n. 10, October, 2000, p. 903-911.
6. BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria MS nº 518, de 24 de março de 2004. Secretaria de Vigilância em Saúde, Ed. do Ministério da Saúde, Brasília, 2005a, 28p.



7. _____. Ministério do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, Brasília, 2005b, 23p.
8. DE LUCA, S. J. PROSAB II, Tema 1. Rio de Janeiro: FINEP, 2000. (Relatório final de pesquisa), apud Aisse et al. (2003).
9. EPA. Controlling disinfection by-products and microbial contaminants in drinking water. 2001 (EPA/600/R-01/110), apud Jordão & Alem Sobrinho (2003).
10. EXPANSUL. Dióxido de cloro. Disponível em: <<http://www.expansul.com.br>>. Acesso em: 20 set 2001.
11. FANG, Q.; SHANG, C; CHEN, G. MS2 inactivation by chloride-assisted electrochemical disinfection. *Journal of Environmental Engineering*, v.132, n.1, 2006, p.13-22.
12. FRISCHKORN, H.; ARAÚJO, A. L.; VIEIRA, R. H. S. F.; KININGER, F. Efeitos bactericidas da oxidação anódica na desinfecção de água. In: XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, trabalho II-040, Anais, ABES, Rio de Janeiro, 2000a, 11p.
13. _____.; ARAÚJO, A. L.; KININGER, F.; VIEIRA, R. H. S. F.. Parâmetros de controle na produção de cloro no tratamento de água por oxidação anódica. In: XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, trabalho II-041, Anais, ABES, Rio de Janeiro, 2000b, 12p.
14. HOEHN, R. C.; SHAFFER, P. B.; BELL, F. A.; CLIFFORD JR., W. R. Trihalomethanes and viruses in a water supply. *Journal of the Environmental Engineering Division*, v.103, n.5, 1977, p.803-814.
15. JIA, C; ZHANG, B; CHEN, R. Relations of electrolytes to the by-product CHCl₃ produced in electrochemical disinfection. PMID: 12600111 [PubMed - indexed for MEDLINE], *Hua Xi Yi Ke Da Xue Xue Bao*, v.32, n.2, 2001, p.288-290. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?cmd=Retrieve&db=PubMed&list_uids=12600111&dopt=Abstract>. Acesso em 20 jul. 2006.
16. JORDÃO, E. P; PESSOA, C. A. Tratamento de esgotos domésticos. 3ª ed., ABES, Rio de Janeiro, 2003, 720p.
17. _____.; ALEM SOBRINHO, P. Análise Crítica. In: Desinfecção de efluentes sanitários, PROSAB 3, ABES-RJ, RIMA, São Carlos, 2003, p.409-422.
18. LI, X. Y.; DIAO, H. F.; FAN, F. X. J.; GU, J. D.; DING, F.; TONG, A. S. F. Electrochemical wastewater disinfection: identification of its principal germicidal actions. *Journal of Environmental Engineering*, v.130, n.10, 2004, p.1217-1221.
19. LIN, Y. C.; YEH, H. D. Trihalomethane species forecast using optimization methods: genetic algorithms and simulated annealing. *Journal of Computing in Civil Engineering*, v.19, n.3, 2005, p.248-257.
20. NAKASONO, S.; BURGESS, J. G.; TAKAHASHI, K.; KOIKE, M.; MURAYAMA, C.; NAKAMURA, S.; MATSUNAGA, T. Electrochemical prevention of marine biofouling with a carbon-chloroprene sheet. *Applied and Environmental Microbiology*, v.59, n.11, 1993, p.3757-3762.
21. PATERMARAKIS, G.; FOUNTOUKIDIS, E. Desinfection of water by electrochemical treatment. *Water Research*, v.24, n.12, 1990, p.1491-1496.
22. RIBEIRO, L. F.; LAPOLLI, F. R. Avaliação do comportamento da *Daphnia magna* e *Vibrio fischeri* em efluentes domésticos desinfetados com dióxido de cloro (ClO₂). In: 6º Simpósio Ítalo-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Anais, ABES, Rio de Janeiro, 2003, 7p.
23. TOLENTINO-BISNETO, R.; BIDOIA, E.D. Effects of the electrolytic treatment on *Bacillus subtilis*. *Brazilian Journal of Microbiology*, v.34, São Paulo, 2003.
24. WIENDL, W.G. Processos eletrolíticos no tratamento de esgotos sanitários. ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro, 1998, 368p.