

CONTRIBUIÇÃO QUÍMICA PARA O PLANO DE GERENCIAMENTO DE ÁGUAS RESIDUAIS DE SERVIÇOS DE SAÚDE

Ingrid Fiedler da Costa Machado^a, Juliana Schultz^a, Patricio Peralta Zamora^a e Antônio S. Mangrich^{a,b,*}

^aDepartamento de Química, Universidade Federal do Paraná, 81531-990 Curitiba – PR, Brasil

^bInstituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Energia e Ambiente, 40170-290 Salvador – BA, Brasil

Recebido em 29/11/2016; aceito em 15/02/2017; publicado na web em 13/04/2017

CHEMICAL CONTRIBUTION TO THE WASTEWATER MANAGEMENT PLAN OF HEALTH SERVICES. In this study were analyzed the main lines of health care waste at the Hospital of the Federal University of Paraná (HC/UFPR), performing an inventory that aims from awareness, characterization, until a viable wastewater treatment proposal for the institution. In this context, were emphasized physical and chemical analyses parameters, inorganic species following the legislation, as well as some chemical analysis used as support for the investigation of the environmental standard of hospital wastewater. The UFPR Clinical Hospital has a health care waste management plan, which is focused on the issue of solid waste. Thus, there are no policies, procedures and specific supervision for managing wastewater, which causes the waste to be disposed directly in the sewage network. At work in question was the physicochemical characterization, inorganic species other relevant chemical species and toxicological analysis of four collection points. Depending on the physical and chemical parameters, phenols and monitored toxicological analysis, one realizes that the hospital sewage characteristics are different from domestic sewage, which in principle suggests the need for special treatment. In this work, the behavior of the wastewater points of HC/UFPR against three types of treatment. The tests performed by the method of activated carbon, Fenton and photoFenton process.

Keywords: Hospital sewage; characterization; Fenton process; photo-Fenton process; activated carbon.

INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, a poluição ambiental alcançou proporções globais, principalmente em função do grande crescimento populacional. Esse aumento populacional propiciou a urbanização mal planejada e o desenvolvimento inadequado da atividade industrial, incluindo nesta última categoria a atividade agrícola e o uso exacerbado de agrotóxicos, também fortemente pressionada pelas demandas da crescente população. Em função desta realidade, grandes volumes de resíduos sólidos, líquidos e gasosos são gerados constantemente, os quais, tratados ou dispostos de maneira imprópria, apresentam um elevado potencial poluente de todos os compartimentos ambientais.^{1,2}

Particularmente relevante se mostra a poluição do meio hídrico, usualmente utilizado como vertedouro de resíduos líquidos oriundos das mais diversas atividades antrópicas. Dentro do contexto do saneamento, o tratamento e a disposição adequada de esgoto se mostra especialmente importante em razão da incessante geração de grandes volumes de esgoto doméstico e da diversidade química das espécies que caracterizam o esgoto industrial.

Nos últimos anos, grandes esforços têm sido dedicados ao estabelecimento de programas para gerenciamento de resíduos em serviços de saúde (hospitais, clínicas médicas, odontológicas e veterinárias; além de outras unidades de saúde). Destaque deve ser dado à Resolução da Diretoria Colegiada (RDC) ANVISA n.º 306, de 7 de dezembro de 2004,³ que dispõe sobre o Regulamento Técnico para o gerenciamento de resíduos oriundos de instituições de atenção à saúde. Trata-se de um documento importante, uma vez que considera a necessidade de prevenir e reduzir os riscos à saúde e ao meio ambiente dos inúmeros resíduos gerados pelos serviços de saúde. Entretanto, grande parte das ações se relaciona com o manejo dos resíduos sólidos, admitindo-se, de maneira geral, que os resíduos

líquidos podem ser descartados no esgoto sanitário das cidades, desde que exista um sistema de tratamento coletivo.

O potencial poluente deste tipo de resíduo líquido se mostra bastante elevado, não apenas em função da presença de agentes patogênicos (vírus e bactérias), mas também em razão da presença de excretas de pacientes tratados com quimioterápicos, antineoplásicos, antibióticos, dentre outros fármacos de relevância ambiental. A integração desses dois fatores, alta quantidade de agentes patogênicos e alta concentração de fármacos, propiciam o surgimento de bactérias multirresistentes no esgoto hospitalar, o que contribui com o surgimento e a disseminação da resistência bacteriana.^{4,5}

Levando-se em consideração o fato de que os micropoluentes veiculados pelo esgoto dificilmente são removidos pelos sistemas convencionais de tratamento, a necessidade de programas de gerenciamento que incluam controles e rotinas de tratamento são evidentes.⁶

Para contribuir com a implementação deste tipo de programa de gerenciamento de resíduos, no presente trabalho pretendeu-se diagnosticar a situação de um estabelecimento de serviço de saúde modelo. Caracterizou-se as águas residuais, enfatizando parâmetros físico-químicos e espécies inorgânicas descritos na legislação específica, assim como algumas espécies orgânicas que possam ser utilizadas como traçadores.

PARTE EXPERIMENTAL

Coleta das amostras

Inicialmente foi realizado um estudo de caracterização do local selecionado, Hospital de Clínicas da Universidade Federal do Paraná (HC/UFPR), objetivando-se identificar as principais linhas de resíduos (esgoto), assim como a sua provável composição.

Com a intenção de auxiliar no rastreamento de possíveis focos de contaminação foi encaminhada uma consulta às diferentes repartições do Hospital, solicitando informações sobre os produtos químicos

*e-mail: mangrich@ufpr.br

mais utilizados nos setores. Após a coleta de dados, foi estabelecida a listagem dos contaminantes com maior potencial tóxico e maior concentração, que poderiam ser encontrados em cada saída de esgoto do HC/UFPR.

Em função de várias ampliações realizadas desde 1961, o Hospital conta com inúmeras bifurcações em seu sistema hidráulico e sanitário, sendo necessário o rastreamento das saídas de esgoto com um corante, para identificar os pontos de interesse.

A amostragem foi realizada em triplicata, em três campanhas amostrais (06/08/2013, 16/10/2013 e 15/01/2014). Nos três dias as amostras foram coletadas no período da manhã, para otimizar o tempo e facilitar o processamento das análises.

Para a coleta das amostras foram seguidas as orientações do método EPA-821-R-02-012,⁷ que orienta a preparação da amostra para analitos totais recuperáveis em águas subterrâneas, potáveis e residuais.⁸

Caracterização físico-química

Os parâmetros temperatura, pH e condutividade elétrica das amostras foram registrados logo após a coleta, utilizando-se termômetro (Promolab), potenciômetro portátil digital (Digimed, 330i) e condutivímetro digital portátil (Digimed, DM-32), respectivamente.

A determinação da demanda química de oxigênio foi realizada de acordo com o especificado no Standard Methods (1995),⁹ em que a amostra é aquecida em recipientes fechados, com dicromato de potássio em meio fortemente ácido. As análises foram realizadas adicionando-se ao frasco de digestão 2,0 mL de amostra do esgoto devidamente homogeneizada, 1,5 mL de solução digestora, contendo dicromato de potássio, ácido sulfúrico e sulfato de mercúrio, e 3,0 mL de solução catalítica de sulfato de prata em ácido sulfúrico. A mistura foi aquecida a $150\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 20$ por 120 minutos. Após o resfriamento, a absorbância da amostra foi medida em 600 nm (Shimadzu, UV-2401PC), comprimento de onda absorvido pela solução de Cr (III) resultante da redução do íon dicromato.¹⁰

A DQO da amostra foi obtida por interpolação na curva analítica, expressa em $\text{mg O}_2\text{ L}^{-1}$, preparada a partir de padrão de biftalato de potássio, na faixa compreendida entre 200 e 2000 $\text{mg O}_2\text{ L}^{-1}$. Para amostras com DQO superior a 2000 $\text{mg O}_2\text{ L}^{-1}$ foram utilizadas alíquotas diluídas.

A demanda biológica de oxigênio (DBO) foi avaliada pelo método 5210 B da NBR 12614.¹¹ A DBO é medida pela quantidade de oxigênio consumido na degradação biológica da matéria orgânica. O método consiste em determinar o consumo de oxigênio dissolvido quando a amostra é inoculada com um consórcio de microorganismos (semente) e mantida em estufa por 5 dias a $20\text{ }^{\circ}\text{C}$.¹²

Determinação de espécies elementares

Espécies elementares foram determinadas por espectrometria de emissão óptica com fonte de plasma indutivamente acoplado (ICP OES), utilizando-se equipamento Thermo Scientific, modelo ICAP 6500.

A digestão das amostras foi realizada por dois processos distintos, um efetuado por tratamento ácido em ambiente aberto (método USEPA, 200.7)^{13,14} e outro assistido por micro-ondas (método USEPA SW 846 3051).^{15,16}

A digestão em ambiente aberto foi realizada utilizando-se um béquer de 250 mL, e uma fração de 100 mL da amostra, 2 mL de ácido nítrico (1:1 v/v) e 1 mL de ácido clorídrico (1:1 v/v). O béquer foi tampado com vidro de relógio e aquecido em chapa de aquecimento à temperatura de aproximadamente $85\text{ }^{\circ}\text{C}$, até redução do volume inicial para aproximadamente 20 mL. Após resfriamento, a solução

foi transferida para balão volumétrico de 50 mL e aferido com água deionizada.

A digestão assistida por micro-ondas foi realizada em tubos de teflon, utilizando-se 20 mL de amostra, 1,8 mL de ácido nítrico e 0,5 mL de ácido clorídrico concentrados. Em seguida, os frascos de teflon foram transferidos para o forno, sendo iniciado o programa de aquecimento ($170\text{ }^{\circ}\text{C}$, em potência de 1000 W por 20 min). Posteriormente, o extrato foi transferido para um frasco previamente pesado, determinando-se novamente a massa em balança analítica da marca Acculab modelo ALC-210.4.¹⁶

A calibração foi realizada com padrões aquosos contendo as espécies de interesse (As, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Mo, Ni, Pb, Se, Zn, Ag, Sb e V) na faixa de concentração compreendida entre 0,01 e 10 mg L^{-1} .

Outras determinações

A determinação de espécies fenólicas foi realizada segundo método padrão do Standard Methods (1995). O método fundamenta-se na reação de óxido-redução entre espécies de caráter fenólico e o reagente de Folin (ácidos tungstosfórico e molibidofosfórico), em tampão carbonato-tartarato, com formação de um complexo com absorção máxima em 700 nm. Ácido gálico foi utilizado como padrão de calibração de fenóis, obtendo-se curvas lineares na faixa compreendida entre 2 e 50 mg L^{-1} .^{9,17}

O teste de toxicidade da água residual hospitalar foi realizado utilizando-se como bioindicador exemplares da espécie *Artemia salina* e procedimentos fundamentados na metodologia padrão US EPA-821-R-02-012.⁷

Tratamento de uma das linhas de resíduo

A amostra de esgoto hospitalar escolhida para a realização dos testes de tratamento foi a amostra coletada no ponto dos equipamentos da Unidade de Apoio ao Diagnóstico do HC/UFPR. Essa escolha se deve ao fato que nesse ponto ocorre o despejo direto de produtos químicos utilizados nos laboratórios, o que leva à geração de um resíduo de elevada carga orgânica e forte coloração.

Um dos corantes presentes na rotina dos laboratórios é o conhecido na área médica com “MAY GRÜNWARD – GIEMSA”. Esse corante é utilizado com a finalidade de corar células de sangue periférico, medula óssea ou para estudo citológico de elementos celulares. Na composição desse corante utilizado no setor de Hematologia do HC/UFPR está presente o azul de metileno. No espectro de absorção no UV-VIS do azul de metileno é possível visualizar 2 bandas: a primeira, em aproximadamente 670 nm, correspondente à forma monomérica do corante, e um ombro nas imediações de 610 nm, que se refere a uma transição com acoplamento vibracional, característico do corante.¹⁸

Outro corante muito empregado no setor de Bacteriologia do HC/UFPR é a fucsina. Esse corante é um pigmento utilizado para corar bactérias do tipo Gram positivo e negativo, além de outros microrganismos. A banda de absorção na região do visível pode ser verificada em torno de 545 nm .¹⁹

Os tratamentos realizados na amostra modelo para a redução da cor e DQO foram: adsorção em carvão ativado, processo Fenton e processo foto-Fenton.

Tratamento de uma das linhas de resíduo: adsorção em carvão ativado preparado no laboratório

Para a produção da amostra de carvão ativado foi utilizada como matéria prima o bagaço de cana de açúcar e o processo de ativação química. Foram misturados manualmente 20 g de bagaço de cana de

açúcar seco, com 40 g do reagente químico ativante, $ZnCl_2$ dissolvido em água (proporção 1:2). Essa mistura foi deixada em estufa (Gehaka) a 90–115 °C por 13 h para a impregnação do reagente. Após esse período, a amostra foi carbonizada em forno cilíndrico (EDG, FT-40). A carbonização consistiu em um patamar de 30 minutos na temperatura de 250 °C (taxa de aquecimento de 3 °C min^{-1}) e 1 hora na temperatura de 600 °C (taxa de aquecimento de 5 °C min^{-1}). Em seguida foram feitas lavagens com HCl 10% (V/V) e água destilada, finalizando com filtração a vácuo. O sólido filtrado foi seco em estufa a 105–110 °C por 1 hora e caracterizado pelo método BET quanto à área superficial específica (1279 $m^2 g^{-1}$).²⁰

Para a realização do tratamento, 2,5 g da amostra de carvão ativado foi colocada em seringa de plástico de 50 mL com fibra de vidro na extremidade para impedir a passagem do carvão. Foram filtradas 5 porções de 100 mL do efluente, sendo os eluídos coletados em frascos âmbar.²⁰

Tratamento de uma das linhas de resíduo: técnica do processo fenton e foto-Fenton

O tratamento Fenton foi executado transferindo-se 200 mL da amostra em um Becker e ajustando o pH em 3 com solução de H_2SO_4 . O recipiente foi condicionado em um agitador magnético e envolvido em papel alumínio para a proteção da luz, sendo adicionados a ele, posteriormente, sulfato ferroso e peróxido de hidrogênio, em concentrações previamente otimizadas por sistemas de planejamento fatorial de experimentos.

O tratamento foto-Fenton foi realizado em idêntica condição. Porém, para a produção da radiação foi usada uma lâmpada a vapor de mercúrio de 125 W, a qual foi mergulhada na solução com auxílio de um bulbo de vidro Pyrex (radiação UVA).²¹

Durante os dois processos utilizados foram coletadas alíquotas de 10 mL, em intervalos periódicos, em que metade foi filtrada em membrana de acetato de celulose (0,45 mm) e submetidas à verificação pelo espectrofotômetro UV-VIS, e a outra metade seguiu para a caracterização da DQO.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Coleta das amostras

A definição dos pontos de coleta foi estabelecida mediante uma análise detalhada das possíveis contaminações por setor no HC/UFPR. Com base nas informações preliminares foi organizada uma lista de compostos que poderiam ser encontrados no esgoto do HC/UFPR, grande parte dos quais estão associados ao preparo e à administração de medicamentos nos pacientes, à limpeza de materiais e/ou equipamentos e a derramamentos em saídas para o esgoto. Alguns compostos são descartados separadamente no setor de resíduos químicos, e assim, em princípio, não devem estar presentes no esgoto.

De acordo com as informações coletadas, os setores que possuem potencial de contaminação do efluente hospitalar são: a farmácia de manipulação, a radiologia médica, a área de quimioterapia, a manutenção, a anatomia patológica e os laboratórios. Após o rastreamento feito através do corante azul, foram identificadas as quatro saídas de interesse, as quais estão listadas na Tabela 1.

Caracterização físico-química

Na Tabela 2 são apresentados os resultados das caracterizações físico-químicas dos resíduos amostrados, nos quatro pontos do efluente do HC/UFPR.

A temperatura da amostra coletada no Prédio Central foi mais

Tabela 1. Setores de interesse, localização e saídas de esgoto

Setor	Localização no Hospital	Saída de esgoto (Nome da Amostra)
Farmácia de manipulação	2º andar prédio central	Em frente ao prédio central (Prédio Central)
Radiologia médica	Anexo B - 4º andar	Subsolo do prédio novo (Prédio Novo)
Área de quimioterapia	Anexo D - 1º andar	
Manutenção	Anexo D - 2º andar	
Anatomia patológica	Setor de ciências da saúde	Tanques de limpeza: em frente ao estacionamento do laboratório (Laboratório) Equipamentos: saída lateral do laboratório (Laboratório equipamentos)

Tabela 2. Resultado das determinações de temperatura, pH e condutividade

Amostra	Data	Temp. (°C)	pH	Condutividade ($\mu S/cm$)
Laboratório equipamentos	06/08	33	7,9	488
	16/10	32	8,0	498
Laboratório	06/08	29	7,6	313
	16/10	25	7,3	227
Predio Novo	06/08	30	7,5	117
	16/10	28	7,6	187
Predio Central	06/08	37	8,3	364
	16/10	36	8,5	338

elevada que as demais, em razão da presença do esgoto da área da lavanderia. Por outro lado, no mês de agosto o efluente líquido apresentou temperatura mais elevada nas quatro amostras monitoradas, provavelmente em decorrência do maior consumo de água quente. Também analisando efluente hospitalar, Sarafraz, Khani e Yaghmaei²² encontraram valores de temperatura análogos aos desse trabalho. De qualquer forma, todos os resultados foram inferiores ao limite máximo estabelecido pela lei vigente (CONAMA 430/2011),²³ a qual define o valor máximo da temperatura da amostra em 40 °C.

O pH registrado nas amostras, entre 7,3–8,5, foram semelhantes aos encontrados por Aziz *et al.*,²⁴ 7,3–8,0, e Kumarathilaka *et al.*,²⁵ 6–8,5, e encontra-se dentro dos limites estabelecidos pela legislação (5–9). Os maiores valores observados na amostra do prédio central provavelmente estão associados ao setor da lavanderia, que utiliza agentes branqueadores e detergentes que elevam o pH.

A condutividade não é um parâmetro legislado, mas fornece informações sobre a concentração de espécies iônicas. Neste caso, o maior valor de condutividade foi observado nos resíduos coletados no laboratório de equipamentos, em razão desse ponto de efluente não ser diluído. Os produtos químicos são descartados de forma direta, sem misturar com outras saídas de efluentes menos concentrados.

Determinação de espécies elementares

Das espécies inorgânicas monitoradas por espectrometria de emissão ótica com fonte de plasma indutivamente acoplado (ICP OES), a maioria ficou abaixo do limite de quantificação. Apenas o zinco alcançou concentrações próximas ao limite máximo permitido para descarte (5,0 $mg L^{-1}$), principalmente nas amostras coletadas nos

setores de laboratório (3,94 mg L⁻¹). Este fato é influência da rotina do setor da parasitologia, que utiliza sulfato de zinco para realizar a técnica de centrífugo/flutuação para o diagnóstico de helmintos (Método de Faust).

A comparação entre a utilização da digestão ácida por chapa de aquecimento e a digestão por micro-ondas mostra que as duas técnicas trazem resultados similares.

Outras determinações

Existem estudos na literatura que classificam os esgotos em forte, médio e fraco, em função dos teores de DBO e DQO.²⁶ Assim, esgoto forte corresponde a uma DBO de até 400 mg L⁻¹ e DQO de até 1000 mg L⁻¹, esgoto médio diz respeito a DBO de até 220 mg L⁻¹ e DQO de até 500 mg L⁻¹, enquanto que esgoto fraco envolve DBO de até 110 mg L⁻¹ e DQO de até 250 mg L⁻¹. Desta forma, as amostras coletadas no prédio central apresentam uma carga orgânica característica de esgoto médio, enquanto que as amostras dos três setores restantes ultrapassam largamente o valor de DQO considerado limite para esgotos fortes (Tabela 3).

Particularmente elevado foi o valor de DQO medido nas amostras coletadas no prédio novo. Nessa ala do HC/UFPR estão localizados os setores de quimioterapia, manutenção e anatomia patológica. O fato de este resíduo apresentar valor de DQO cinco vezes superior ao de um esgoto doméstico reforça a necessidade de sistemas de tratamento especificamente orientados a este tipo de efluente.²⁷

Os resultados da análise de DBO (Tabela 3) permitem o cálculo da razão DBO/DQO, que é uma medida da fração da matéria orgânica susceptível a biodegradação, sendo relevante para a determinação do melhor método para o tratamento dos resíduos.

Dos resíduos monitorados, somente o do Prédio Novo se mostrou altamente biodegradável, podendo ser convenientemente tratado por processos biológicos convencionais. Para os outros, a razão de biodegradabilidade é praticamente nula, o que implica elevada recalcitrância e necessidade de sistemas de tratamento diferenciados. Isso se deve, provavelmente, ao fato do ponto do Prédio Novo possuir os setores de Quimioterapia e UTI. Nessas alas existe uma maior demanda de pacientes internados e, portanto, uma maior concentração de excretas em sua água residual.

Tabela 3. Resultados da determinação de DQO e DBO das águas residuais do HC/UFPR

AMOSTRA	DQO (mg L ⁻¹)	DBO (mg L ⁻¹)	DBO/DQO
Prédio Central	476	43	0,1
Prédio Novo	2756	2225	0,8
Laboratório	1298	195	0,1
Equipamentos	1234	<4*	-

* Sem consumo de O₂, em razão de efeito inibitório das amostras.

Embora a determinação de fenóis totais sofra interferência de espécies químicas capazes de reagir com a mistura de ácidos tungstosfórico e molibidofosfórico, o que pode resultar em falsos positivos, as concentrações medidas se mostram bastante superiores (Tabela 4) ao limite máximo permitido pela legislação para lançamento de resíduos (0,5 mg L⁻¹).

Destaque deve ser dado ao elevado teor observado nas amostras coletadas na saída do Prédio Novo, provavelmente em decorrência do uso elevado de medicamentos com o grupamento fenol, como o paracetamol (acetaminofeno), o qual mesmo depois de metabolizado permanece com o grupo fenol em sua estrutura.¹⁹

A amostra coletada no ponto do laboratório central também

apresentou nível elevado de fenol, provavelmente não apenas em decorrência da presença de medicamentos, mas também de reagentes contendo fenol. No setor de bioquímica dos laboratórios de análise clínica, por exemplo, utiliza-se um reativo para a determinação de colesterol, o qual contém elevadas concentrações de compostos fenólicos.¹⁴

Tabela 4. Resultados da determinação de fenóis totais nas águas residuais do HC/UFPR

Amostra	Fenóis totais (mg L ⁻¹)	Desvio Padrão
Prédio Central	10,3	1,7
Prédio Novo	77,8	4,7
Laboratório	44,1	3,0
Equipamentos	21,4	1,8

Os resultados da análise toxicológica, apresentados como o número de organismos mortos (*Artemia salina*), ou inativos, em função da diluição do resíduo (Figura 1), permitem estimar o valor da DL₅₀, que representa a diluição necessária para provocar a morte de 50% da população de indivíduos em avaliação quando expostos ao agente estressante por 24 h.

Estes resultados indicam que a maior toxicidade está associada ao resíduo coletado no setor do Laboratório de Equipamentos, o que era esperado, em razão do uso de produtos químicos na realização das análises clínicas, como por exemplo: ácido clorídrico, tetracloreto de carbono e metanol, utilizados nas reações de eletroforese, além da lavagem dos equipamentos também ser efetuada com a utilização de grandes quantidades de metanol (para a remoção dos corantes) e agentes antimicrobianos, para a desinfecção dos mesmos. Essa carga de compostos torna a amostra do Laboratório de Equipamentos altamente tóxica, causando a morte rápida do bioindicador.

Esta toxicidade particularmente alta também explica as dificuldades observadas na determinação de DBO, provavelmente decorrentes de inativação do inoculo utilizado nesta determinação.

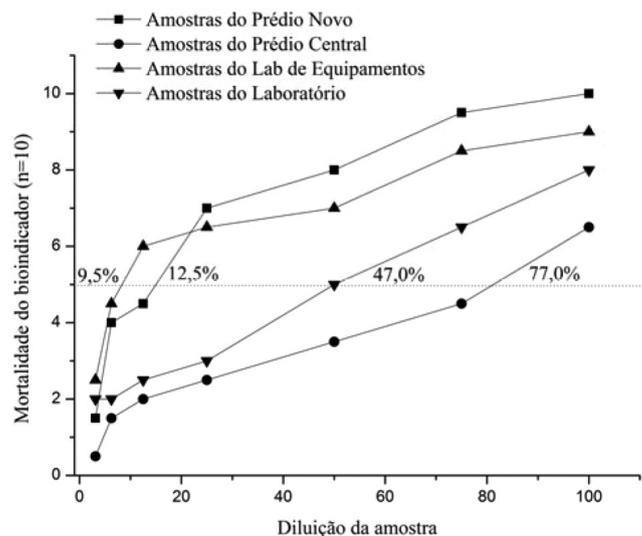


Figura 1. Evolução da mortalidade de *Artemia salina* em função da diluição dos resíduos em avaliação e valores calculados de DL₅₀

Tratamentos realizados com uma das amostras

Para verificar a tratabilidade deste tipo de resíduo foram utilizados um tratamento físico fundamentado em adsorção em carvão ativado

e um tratamento químico fundamentado em processos Fenton. Os estudos foram realizados com uma amostra coletada na unidade de apoio ao diagnóstico do HC/UFPR, a qual apresenta elevada carga orgânica e forte coloração, esta última em razão da presença de corantes.

No processo de adsorção, 5 amostras foram passadas sequencialmente pela coluna, o que envolveu tempos de retenção crescentes (21 a 133 min), em função da compactação progressiva do adsorvente. Utilizando-se espectroscopia UV-Vis como técnica de controle (Figura 2), foi possível verificar a remoção praticamente completa dos sinais que caracterizam o resíduo bruto, o que implica em eficiente adsorção das espécies coloridas. Por sua vez, a avaliação da DQO demonstra eficiente adsorção da matéria orgânica, com remoções da ordem de 95% na primeira etapa de extração. A partir da segunda etapa de tratamento a remoção de espécies coloridas e de carga orgânica (DQO) se mostra menos eficiente, provavelmente em decorrência de saturação de sítios de adsorção e/ou entupimento de poros em razão da presença de material particulado.

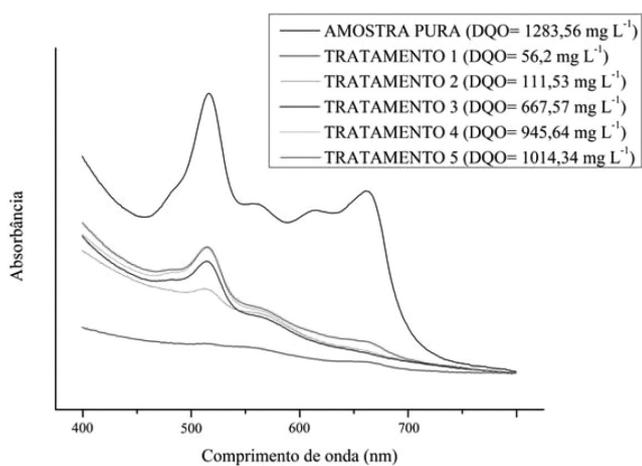


Figura 2. Evolução dos espectros UV-Vis durante tratamento do resíduo por adsorção em carvão ativado

No monitoramento espectroscópico foi possível verificar eficiente degradação dos grupos cromóforos presentes no resíduo pelo processo Fenton (Figura 3A), o que permitiu remoção praticamente completa da cor em tratamentos de 30 min. Maiores tempos de tratamento não provocaram melhora significativa no processo de degradação, provavelmente pelo rápido consumo de íons ferrosos. Resultados similares foram observados na presença de radiação (Figura 3B).

O monitoramento da DQO permitiu verificar degradação progressiva da carga orgânica, com remoção máxima da ordem de 70% nos processos Fenton e de 90% nos processos foto-Fenton.

CONCLUSÕES

O Hospital de Clínicas da UFPR possui um plano de gerenciamento de resíduos de serviços de saúde (PGRSS), o qual está centrado na questão dos resíduos sólidos. Desta forma, não existem políticas, procedimentos e fiscalização específica para o gerenciamento de águas residuais, o que faz com que os referidos resíduos sejam diretamente descartados na rede de esgoto da cidade de Curitiba.

O Hospital de Clínicas da UFPR não possuía uma descrição das saídas de esgoto, para facilitar o rastreamento e tratamento específico da água residual de cada setor.

Em função dos parâmetros físico-químicos monitorados neste trabalho, percebe-se que as características do esgoto hospitalar são diferentes das do esgoto doméstico, o que, em princípio, sugere a necessidade de tratamentos especiais.

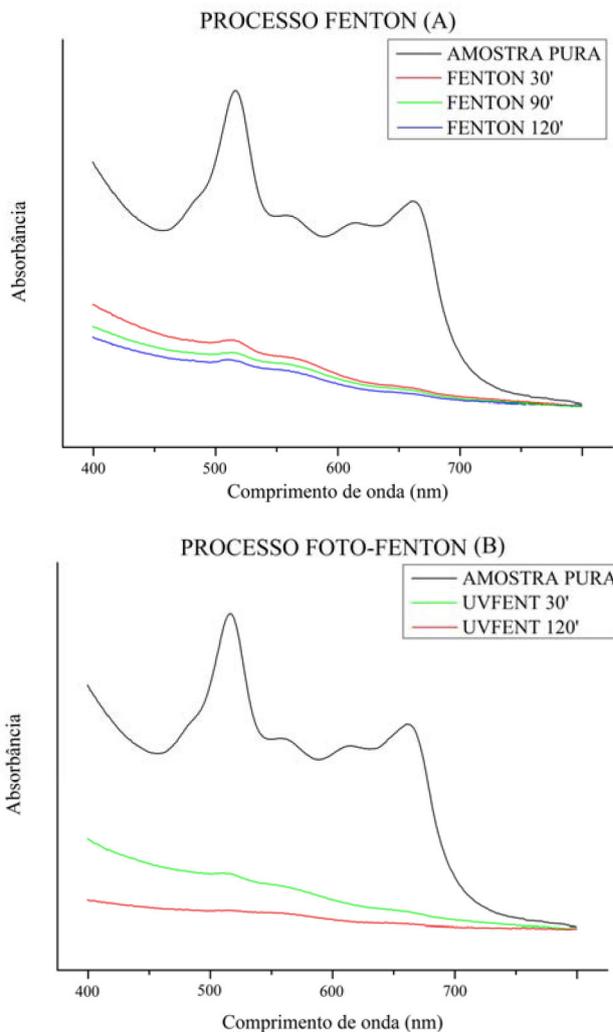


Figura 3. Evolução dos espectros UV-Vis durante tratamento do resíduo por processos Fenton e foto-Fenton

As análises de espécies elementares realizadas por ICP OES mostraram resultados dentro da conformidade, o que sugere que a toxicidade da água residuária hospitalar está relacionada principalmente à presença de fármacos e fenóis.

Ensaio preliminares permitiram verificar uma elevada eficiência dos processos de adsorção e Fenton na remediação de um resíduo modelo contendo elevada carga orgânica e forte coloração. Maior destaque deve ser dado ao processo Fenton tradicional, que proporcionou eficiente descoloração e significativa remoção da carga orgânica, por meio de um sistema operacional extremamente simples e econômico. Pode-se projetar também a passagem do esgoto líquido do HC/UFPR, ou de sistemas de saúde similares, por coluna de carvão ativado, preparado segundo o que foi feito neste trabalho, que se mostrou eficiente e de baixo custo quando comparado a outros tratamentos.

REFERÊNCIAS

- Ghinea, C.; Drăgoi, E. N.; Comăniță, E. D.; Gavrilăscu, M.; Cămpean, T.; Curteanu, S.; Gavrilăscu, M.; *J. Environ. Manage.* **2016**, *182*, 80.
- Coelho, L. M. G.; Lange, L. C.; *Resour. Conserv. Recycl.* (2016), doi:10.1016/j.resconrec.2016.09.026.
- Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA); *Regulamento Técnico para o gerenciamento de resíduos de serviços de saúde*. Resolução RDC nº 306/04, MS: Brasília, 2004.

4. Vecchia, A. D.; Thewes, M. R.; Harb, N.; R.; Spilki, F. R.; *Revista Saúde e Ambiente* **2009**, *10*, 65.
5. Mendoza, A.; Aceña, J.; Pérez, S.; López de Alda, M.; Barceló, D.; Gil, A.; Valcárcel, Y.; *Environ. Res.* **2015**, *140*, 225.
6. Boger, B.; Tonin, F. S.; Peralta-Zamora, P. G.; Wagner, R.; Gomes, E. C.; *Ciência e Natura* **2015**, *37*, 725.
7. USEPA; *Methods for measuring the acute toxicity of effluents and receiving waters to freshwater and marine organisms*, EPA-821-R-02-012, 2002.
8. Bouldin, J. L.; Ingle, T. M.; Sengupta, A.; Alexander, R.; Hannigan, R. E.; Buchanan, R. A.; *Environ. Toxicol. Chem.* **2008**, *27*, 1958.
9. APHA *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 19th ed., American Public Health Association: New York, 1995.
10. Aquino, S. F.; Silva, S. Q.; Chernicharo, C. A. L.; *Eng. Sanit. Ambient.* **2006**, *11*, 295.
11. ABNT - NBR 12614: *Determinação da demanda bioquímica de oxigênio (DBO)*, 1992.
12. Silvão, N. A.; Santana, R. O.; Trindade, L. R. S. L. C.; Bento, N. L.; Barros, F. M.; *Resumos do XIII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste*, Aracaju, Brasil, 2016.
13. USEPA; *Determination of Metal and Trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry*, Method 200.7, 1994.
14. Yayintas, O. T.; Yilmaz, S.; Turkoglu, M.; Dilgin, Y.; *Environ. Monit. Assess.* **2007**, *127*, 389.
15. USEPA; *Microwave assisted aid digestion of sediments sludge, soils, and oils*, EPA SW 846 3051, 2007.
16. Narváez, J.; Richter, P.; Toral, M. I.; *J. Chil. Chem. Soc.* **2007**, *52*, 1261.
17. Barreto-Rodrigues, M.; Teixeira, F. S.; Paiva, T. C. B.; *Quim. Nova* **2007**, *30*, 1623.
18. Neumann, M. G.; Gessner, F.; Cione, A. P. P.; Sartori, R. A.; Cavalheiro, C. C. S.; *Quim. Nova* **2000**, *23*, 818.
19. Junior, H. S.; de Freitas, G. R. S.; Néri, D. R. F.; Pereira, F. R. S.; de Farias, R. F.; Pereira, F. C.; *Ecl. Quím.* **2010**, *35*, 147.
20. Schultz, J.; *Dissertação de Mestrado*, Universidade Estadual de Ponta Grossa, Brasil, 2012.
21. Marinho, B. A.; Liz, M. V.; Tiburtius, E. R. L.; Nagata, N.; Zamora, P. P.; *Photochem. Photobiol. Sci.* **2013**, *12*, 678.
22. Sarafraz, S.; Khani, M. R.; Yaghmaeian, K.; *Iran. J. Environ. Health. Sci. Eng.* **2007**, *4*, 43.
23. CONAMA/MMA. *Padrões de lançamento de efluentes*. Resolução nº 430/11. Brasília, 13 de maio de 2011.
24. Aziz, R. J.; Al-Zubaidy, F. S.; Al-Mathkhury, H. J.; Musenga, J.; *Iraqi J. Sci.* **2014**, *55*, 84.
25. Kumarathilaka, P.; Jayawardhana, Y.; Dissanayaka, W.; Herath, I.; Weerasundara, L.; Vithanage, M.; *Resumos do 6th International Conference on Structural Engineering and Construction Management*, Kandy, Sri Lanka, 2015.
26. Tchobanoglous, G.; Burton, F. L.; Stensel, H. D.; *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*, 4th ed., McGraw-Hill: New York, 2003.
27. Al-Ajlouni, K.; Shakhathreh, S.; AL-Ibraheem, N.; Jawarneh, M.; *Int. J. Basic Appl. Sci.* **2013**, *13*, 44.
28. Hogestatt, E. D.; Jonsson, B. A. G.; Ermund, A.; Andersson, D. A.; Bjork, H.; Alexander, J. P.; Cravatt, B. F.; Basbaum, A. I.; Zygmunt, P. M.; *J. Biol. Chem.* **2005**, *280*, 31405.
29. Almeida, M. C. A.; Morégula, A. A.; Marrocos, P.C.L.; Souza, S. M. M.; Farias, M. T.; *J. Bras. Patol. Med. Lab.* **2011**, *47*, 431.