

# Avaliação da eficiência de um reator de carvão ativado impregnado com prata no tratamento de águas residuárias geradas em laboratórios de análises clínicas

## RESUMO

A área de saúde aliada às engenharias vem ampliando constantemente seu campo de atuação, incluindo o desenvolvimento de materiais bactericidas para utilização no tratamento de águas residuárias. O presente trabalho investiga a eficiência de um reator utilizando carvão ativado impregnado com prata no tratamento de águas residuárias provenientes de laboratórios de análise clínicas visando a remoção da população microbiana. O carvão ativado utilizado foi impregnado com prata para atuar como agente bactericida. O reator foi submetido a testes de tratamento de águas residuárias oriundas de laboratórios de análises clínicas para avaliar a sua eficiência na diminuição da densidade de microrganismos, cujas análises foram realizadas em fluxo de bateladas. O reator apresentou considerável atividade bactericida, mostrando-se adequado para ser usado como alternativa de tratamento para águas residuárias de laboratórios de análises clínicas, pois a redução da densidade das bactérias atingiu um nível próximo à 95%. Foram observados significantes halos de inibição de bactéria, nos testes de difusão em Ágar, comprovando sua ação bactericida. Os testes de difusão em Ágar realizados com fragmentos da coluna do reator comprovaram a eficiência da prata como agente bactericida. A significativa redução da população bacteriana nas águas residuárias em comparação às águas não tratadas comprova a eficiência da coluna de carvão ativado impregnado com prata.

**PALAVRAS-CHAVE:** Carvão ativado; microrganismos; prata; efluentes; tratamento.

## ABSTRACT

The area of allied health to engineering is constantly expanding its purview, including the development of bactericidal materials for use in wastewater treatment. This study investigates the efficiency of a reactor using activated carbon impregnated with silver in the treatment of wastewater from clinical testing laboratories seeking removal of the microbial population. The activated carbon used was impregnated with silver to act as a bactericidal agent. The reactor was tested for treatment of wastewater coming from clinical laboratories to evaluate their efficacy in reducing the density of microorganisms, whose observations were performed in batch flow. The reactor showed considerable antibacterial activity, being suitable for use as an alternative treatment for wastewater analysis laboratories, for reducing the density of bacteria reached a level close to 95%. Halos were observed significant inhibition of bacteria in agar diffusion testing, proving its bactericidal action. The diffusion test Agar made with fragments of the column reactor proved the efficiency of silver as a bactericidal agent. The significant reduction of bacterial population in wastewater in comparison to untreated water proves the efficiency of the column of activated charcoal impregnated with silver.

**KEYWORDS:** Activated coal; microorganisms; silver; effluents; treatment.

## Rodrigo Navarro Xavier

Farmacêutico pela Universidade Estadual de Ponta Grossa e Mestrando em Gestão Ambiental pela Universidade Positivo.

## Dinis Gomes Traghetta

Físico pelo Instituto de Física de São Paulo (USP - São Carlos), Doutor em Física pelo Instituto de Física de São Paulo (USP - São Carlos) e professor titular do curso de graduação em Engenharia Civil e do Mestrado em Gestão Ambiental da Universidade Positivo.

## Cíntia Mara Ribas de Oliveira

Química pela Universidade Federal do Paraná, Doutora em Bioquímica pela UFPR e professora adjunta do curso de Mestrado em Gestão Ambiental da Universidade Positivo.

## INTRODUÇÃO

O crescimento da população mundial tem como conseqüência o aumento da poluição ambiental, em todos os níveis. A busca por técnicas que proporcionem a descontaminação dos recursos hídricos (água para abastecimento público) tem levado a descoberta de novos materiais ou de materiais já conhecidos, porém utilizados fora de seu contexto usual. Materiais tais como turfa e carvão ativado, entre outros, têm sido empregados na descontaminação de águas para consumo. Os produtos com propriedades bactericidas, como o filtro de carvão ativado impregnado com prata vêm encontrando um campo de aplicação cada vez mais amplo, fornecendo benefícios para a saúde, visto que, com o aumento crescente da poluição e inúmeras doenças veiculadas pela água, cada vez torna-se mais importante garantir a qualidade da água.

A contaminação da água ocorre hoje de tantas formas e por substâncias tão diferentes que é praticamente impossível torná-la potável sem o auxílio de purificadores residenciais de boa qualidade. No Brasil, 60% dos esgotos são ainda jogados sem tratamento nos cursos de água. Tais resíduos têm conseguido alcançar reservatórios de água potável utilizados no abastecimento de populações urbanas (SANZ, 2003).

O último levantamento estatístico da Sociedade Brasileira de Análises Clínicas (SBAC) em 2006 revelou a existência de dezessete mil laboratórios de Análises Clínicas no Território Nacional, sendo que 549 laboratórios estão no estado do Paraná, conforme consta nas fontes de cadastros do Conselho Regional de Farmácia do Paraná (CRF-PR), gerando aproximadamente 166 mil litros de resíduos líquidos por mês.

A composição dos resíduos de saúde é bastante diversificada, sendo classificada em vários grupos. Os resíduos líquidos gerados em laboratórios de análises clínicas, especificamente, contêm desde fluídos biológicos, reagentes, meios de cultura dissolvidos, fezes e uma infinidade de compostos químicos. Analisando a composição dos efluentes de laboratórios de análises clínicas, constata-se a presença de microrganismos patogênicos responsáveis

pela incidência de doenças relacionadas ao consumo de água (GARCIA, 2004).

Os órgãos fiscalizadores responsáveis (ANVISA e IAP) pelo controle e fiscalização de lançamento de águas residuárias de serviço de saúde no Brasil, apenas citam e recomendam formas de tratamento pouco específicas, no que diz respeito a efluentes de laboratórios de análises clínicas, medidas estas, paliativas e não cobradas como exigências por tais órgãos.

Rogalski e Chu (2001) citam que as remoções de microrganismos presentes em águas residuárias de serviços de saúde são geralmente realizadas através da cloração e da utilização do ozônio, técnicas muito utilizadas em hospitais e clínicas médicas possuidoras de pequenos centros cirúrgicos. Segundo Silveira et Al, os tratamentos utilizando o cloro e o ozônio têm sua eficiência questionada na inativação de microrganismos, pois podem causar toxicidade, gerando subprodutos A cloração de águas residuárias faz com que o cloro reaja rapidamente com uma grande variedade de orgânicos, formando subprodutos da desinfecção tais como trihalometanos (THMs) e ácidos haloacéticos (HAAs). Para esta forma de tratamento há a necessidade de aplicações com de elevadas dosagens para a desinfecção das águas residuárias provenientes de serviços de saúde.

Já conhecido há algum tempo, o "carvão ativado" refere-se a uma forma de carvão que foi especificamente tratado para aumentar em várias vezes o número de poros, resultando num produto de enorme área superficial interna que pode variar de 500 até 1500 m<sup>2</sup>/g de carvão. É uma substância quimicamente inerte e possui propriedades que dependem de vários fatores tais como matéria-prima, processo de ativação e tempo de ativação (TAKEDA, 2004).

Há muito tempo se constata o efeito bactericida que quantidades reduzidas de íons metálicos propiciam, pois civilizações antigas como a grega e a egípcia já armazenavam água em tambores de barro com prata para mantê-la potável por um longo tempo (ANGIOLETTO, 2003).

Como exemplo da utilização da combinação

de carvão ativado e da prata para obtenção de água com alto grau de potabilidade, ou seja, baixa densidade microbiana, indústrias de bebidas e fabricantes de filtros residenciais vêm utilizado o carvão ativado impregnado com íons de prata, resultando na adsorção do material orgânico pelo carvão ativado e na ação bactericida através dos íons de prata.

A prata e seus derivados vêm sendo amplamente utilizados não somente no tratamento de água, mas também em produtos tais como cremes para o tratamento preventivo de infecções e para tratamentos pós-operatórios. (ANGIOLETTO, 2003).

Considerando a realidade atual relativa ao manejo de águas residuárias provenientes de serviços de saúde, o presente trabalho teve por objetivo desenvolver um sistema de tratamento eficiente e economicamente acessível. Para isso foi construído um pequeno reator de carvão ativado impregnado com prata com a finalidade de reduzir a densidade de microrganismos nas águas residuárias geradas pelos laboratórios clínicos, fazendo com que o descarte seja mais seguro e não ofereça risco à população.

Para que se pudesse testar a eficiência do reator no tratamento de águas residuárias geradas em laboratórios de análises clínicas, quantificou-se a presença de microrganismos patogênicos em águas residuárias sem tratamento e após tratamento no reator.

## MATERIAL E MÉTODOS

O carvão ativado impregnado com prata tem sido bastante utilizado para o tratamento de águas residuárias com concentrações elevadas de microrganismos e pela indústria farmacêutica na confecção de curativos devido a sua ação adsorvente e bactericida.

Para avaliar a eficiência na diminuição da densidade de microrganismos de águas residuárias provenientes de laboratórios de análises clínicas através da filtração por carvão ativado impregnado com prata, foi utilizado o produto CarbonBlock®, produzido em forma de coluna oca pela empresa Brasilac®. Também

foi testada a eficiência do reator utilizando uma coluna de carvão ativado sem a prata, a fim de se testá-la como elemento bactericida. Os experimentos foram conduzidos em filtração por batelada, na área experimental de tratamento de águas residuárias do Laboratório de Análises Clínicas Bioclin em Guarapuava-Pr, para os quais foi montado um reator composto por

uma coluna de filtragem constituída de carvão ativado impregnado com prata.

O carvão ativo utilizado, cedido pela empresa Brasilac®, representado na figura 1, foi submetido a um tratamento térmico (pirólise), que resultou numa massa rígida de carbono de estrutura porosa com as características básicas do material controladas, tais como distribuição de poros,

área superficial específica, atividade química da superfície, resistência mecânica. Posteriormente submetido a tratamento térmico com nitrato de prata, para que o metal, em concentração de 0,8% em massa, pudesse fixar-se em sua superfície, através do processo de calcinação (temperatura próxima a 690° C).



Figura 1 - Coluna de carvão ativado impregnado com prata 0,8% (CARBONFLOCK®).

O reator, cujo esquema e fotos estão mostrados, respectivamente nas figuras 2, 3 e 4 foi montado em tubo de PVC de diâmetro de 100 mm e comprimento de 560 mm. Em uma das extremidades do tubo, colou-se um

tampão, onde foi feito um furo para adaptação na sua parte externa, de uma mangueira flexível de 10 mm de diâmetro e, na parte interna do orifício, uma tela (malha 1,0 mm) que foi colada para evitar o

transporte do material filtrante para fora da coluna. Para controlar o fluxo de saída do efluente da coluna, foi adaptada uma torneira.

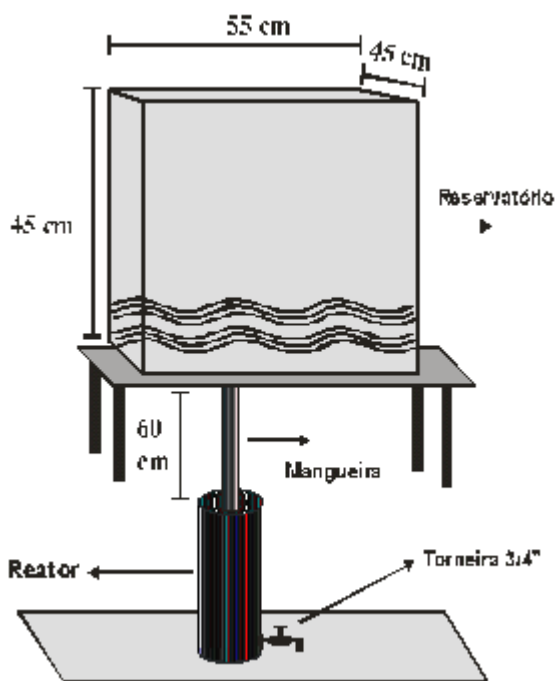


Figura 2 - Esquema do modelo desenvolvido para produção do reator contendo a coluna de carvão ativado impregnado com prata.

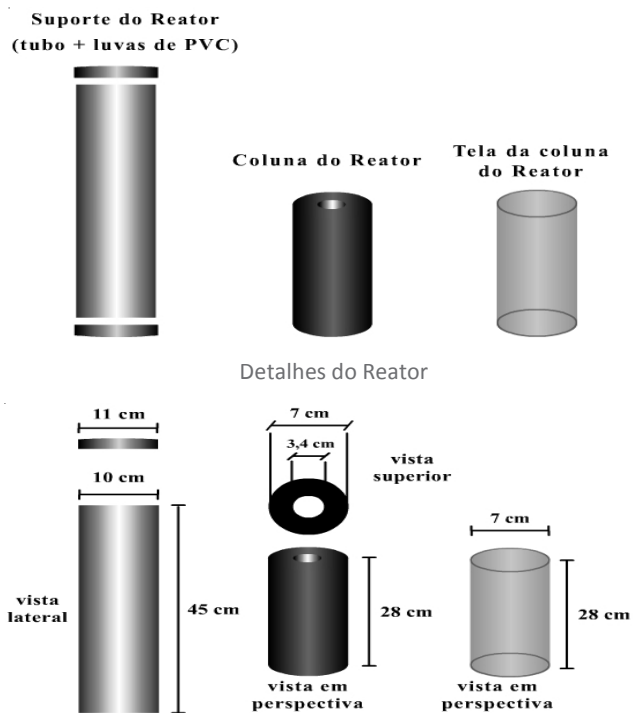


Figura 3 - Partes constituintes e desenho esquemático do Reator.



Figura 4 - O reator experimental para tratamento de água residuária.

O reator consiste de um reservatório para armazenamento da água residuária e uma mangueira que a conduz até o cartucho que contém a coluna de carvão ativo impregnado com prata. Na base do cartucho há uma torneira para controlar a vazão de saída da água tratada. O cartucho foi construído com tubos de PVC, de maneira tal que a coluna de carvão possa ser trocada quando necessário.

As amostras de águas residuárias contendo fluidos biológicos (plasma, fezes, urina) de humanos, foram coletadas em intervalos de sete dias em três laboratórios de análises clínicas com demanda de 500 exames/dia da região de Guarapuava: Bioclin laboratório de análises clínicas na cidade de Guarapuava, estado do Paraná, Brasil. Laboratório de Análises Clínicas da Santa Casa de Misericórdia de Prudentópolis, na cidade de Prudentópolis, estado do Paraná, Brasil, e no Laboratório Unilab, na cidade de Ponta Grossa, estado do Paraná, Brasil.

Foram coletadas 15 amostras em três laboratórios entre os meses de maio e agosto de 2007, nas quais foram realizadas as análises microbiológicas pré e pós o tratamento utilizando colunas de carvão ativado impregnado com prata.

Para armazenar a água residuária coletada, foi utilizado um galão de 12 L, ligado a uma

mangueira flexível, equipada com uma torneira, o que permitiu o controle do fluxo de entrada da água residuária na coluna de filtração.

As amostras coletadas em seus locais de origem, distante do local da análise, foram transportadas e armazenadas sob refrigeração ( $<10^{\circ}\text{C}$ ) e o intervalo entre a coleta e o início das análises não excedeu a 24 horas, garantindo que suas características biológicas não sofressem alterações.

Na coleta das amostras foram utilizados frascos estéreis com tampas à prova de vazamento. A alíquota de água residuária preencheu  $\frac{1}{3}$  da capacidade do frasco (500mL) para facilitar a tomada da unidade analítica da amostra.

Na análise quantitativa de microrganismos pela técnica dos tubos múltiplos para amostras com alta densidade microbiológica, fez-se necessário realizar a diluição das amostras devido a alta densidade de microrganismos presentes. De cada amostra foram coletados 500 mL, destes, 50mL foram transferidos para 450 mL de água de diluição e colocados em homogenizador. Esta diluição corresponde a uma proporção de 1:10, ou seja, 10 mL do homogeneizado contém 1 mL da amostra. A partir da diluição inicial, a diluição 1:100 é feita retirando-se 50 mL da diluição inicial para 450 mL do diluente (água

de diluição). A partir da diluição 1:100, a diluição 1:1000 é feita retirando-se 50 mL da diluição 1:1000 para 450 mL do diluente (água de diluição). Estas diluições, de ordens de grandeza 10<sup>-1</sup>, 10<sup>-2</sup>, 10<sup>-3</sup> foram utilizadas para posterior procedimento de análise microbiológica.

Simultaneamente, alíquotas das amostras coletadas foram submetidas a tratamento utilizando o método de filtração no reator e submetidas às mesmas análises realizadas nas amostras de águas residuárias contaminadas para a confirmação da efetividade do tratamento.

As análises nas amostras de águas residuárias foram realizadas no Bioclin Laboratório Clínico, no período de 29 de maio a 18 de julho de 2007, provenientes de três distintos laboratórios de análises clínicas.

Para a detecção e quantificação dos microrganismos foi construído um organograma, conforme demonstrado na figura 5, para as análises de Coliformes totais, Coliformes termotolerantes, Escherichia Coli, Pseudomonas Auriginosa e Enterobactérias (*Srteptococcus fecais*) que são os microrganismos de maior interesse sanitário, obedecendo aos procedimentos prescritos no Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. (APHA, 2001).

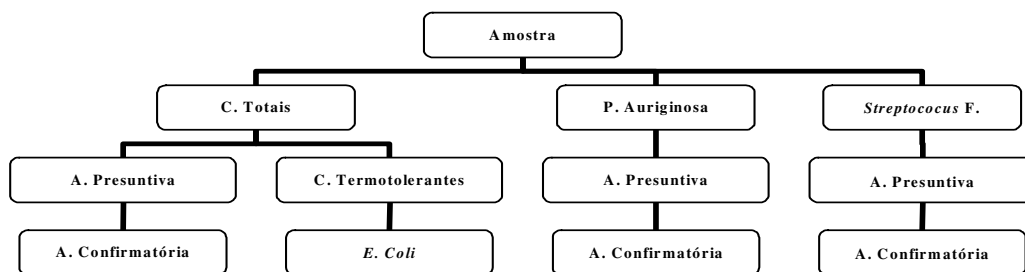


Figura 5 - Organograma demonstrativo da metodologia empregada na detecção e quantificação dos microorganismos contidos nos efluentes laboratoriais.

### Teste de eficiência da prata como elemento bactericida em agar padrão

Este teste foi realizado para confirmação do poder bactericida da prata impregnada na superfície do carvão ativado.

A metodologia usada neste teste foi desenvolvida por ANGIOLLETO, 2003, e consiste em cultivar bactérias (neste caso foram usadas as bactérias *Escherichia coli*) em um substrato (Ágar para contagem do número total de bactérias) distribuído em placa de Petri. Após a preparação da placa, que consiste na solidificação do meio, bactérias foram semeadas sobre o mesmo com o auxílio de um swab (cotonete). Os grânulos de carvão ativado impregnados com prata foram previamente lavados com água deionizada (para garantir que nenhum resíduo estivesse aderido às suas superfícies), e foram colocados sobre o meio pressionando-os levemente para maior adesão. Esta compressão sobre o meio de cultura é importante para que haja uma área de contato considerável entre os pedaços de carvão ativado impregnado com prata e o meio de cultura, visto que quanto maior tal área, maior será a difusão do substrato para o carvão. Em seguida este material foi incubado em estufa à temperatura de 31°C por um período de 24 horas.

### Espectroscopia de EPR para identificação das formas paramagnéticas da prata

A espectroscopia de Ressonância Paramagnética Eletrônica (EPR) é uma técnica espectroscópica utilizada para investigação de átomos paramagnéticos, ou seja, átomos que contenham ao menos um elétron desemparelhado. Ela fundamenta-se na interação entre o spin eletrônico do

elétron desemparelhado e a microonda incidente sobre a amostra em estudo. As informações obtidas sobre a amostra com a técnica são muitas, iniciando pela confirmação da presença ou ausência de determinada espécie paramagnética, passando pela quantificação de determinadas espécies, tal como radicais livres, à elucidação de estruturas químicas resultantes da complexação da espécie paramagnética com o seu entorno (Guimarães, E., 2001).

A prata metálica Ag<sup>0</sup> (5s<sup>1</sup>) e o íon de prata Ag<sup>++</sup> (4d<sup>9</sup>) são elementos paramagnéticos, há muito estudados em materiais que se apresentam na forma de pó ou cristalina, ou seja, suas presenças podem ser detectadas pela técnica de EPR, mesmo em baixíssimas concentrações, devido à alta sensibilidade da técnica (Wang, Y., 1991; Swarnabala, 1996; Salkar, et al, 1999; Costagliola, et al, 2003; Wei Hong, et al, 2003). Por outro lado, o íon de prata na forma Ag<sup>+</sup> (4d<sup>10</sup>) é diamagnético, não podendo, portanto ser detectado por espectroscopia de EPR (Popjtuschka, 1979). Uma pequena quantidade de carvão ativado impregnado com prata foi preparada como amostra para a análise por EPR. Os experimentos de EPR foram realizados em banda X e à temperatura ambiente (300K) e os espectros, registrados em campo central de 3000 G e varredura de campo de 5000 G.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Eficiência Bactericida do reator com coluna de carvão ativado impregnado com prata

As análises, como já citado no capítulo "Materiais e Métodos", foram realizados com amostras não tratadas e

amostras tratadas no reator para verificar a variação da densidade de microrganismos. Na primeira etapa, as amostras não tratadas foram submetidas a análises para identificação e quantificação de microrganismos logo após a sua coleta. Já, as amostras de águas residuárias foram submetidas a um tratamento realizado, passando pela coluna de carvão ativado impregnado com prata.

A eficiência bactericida das colunas de carvão ativado impregnado com prata em águas residuárias laboratoriais pôde ser observada comparando-se os resultados na redução do número de bactérias do tipo Coliformes totais, Coliformes termotolerantes, *E.coli*, *Pseudomonas* e *Enterobactérias* ao passar pelo reator para redução de densidade de microrganismos. Os dados obtidos foram relacionados por meio do parâmetro "Número Mais Provável" (NMP), considerando uma comparação entre os dois resultados das amostras.

A tabela 1 refere-se aos resultados obtidos na verificação da densidade microbiológica dos grupos de bactérias de interesse sanitário (Coliformes totais, Coliformes termotolerantes, *E. coli*, *Pseudomonas auriginosa* e *Streptococcus fecalis*) nas amostras de águas residuárias antes de sua passagem pelo reator.

Na tabela 1, encontram-se os resultados referentes à ocorrência de Coliformes totais, Coliformes termotolerantes, *E. coli*, *P. auriginosa* e *S. fecalis* nas amostras de águas residuárias provenientes de laboratórios de análises clínicas antes do tratamento através do reator utilizando a técnica dos tubos múltiplos.

Tabela 1 - Ocorrência de Coliformes totais, Coliformes termotolerantes, E. coli, P. auruginosa e S. fecalis em amostras de efluentes laboratoriais (NMP).

<b>Amostra</b>	<b><i>Coliformes Totais</i></b>	<b><i>Coliformes Termotolerantes</i></b>	<b><i>E. coli</i></b>	<b><i>P. auruginosa</i></b>	<b><i>S. fecalis</i></b>
1	220	90	14	9	17
2	81	80	11	18	14
3	80	80	17	11	21
4	80	70	11	14	17
5	60	50	8	4	11
6	110	22	14	14	22
7	170	90	17	21	21
8	140	80	22	17	27
9	170	60	17	27	11
10	80	50	11	21	17
11	240	80	14	14	30
12	140	70	27	9	34
13	300	110	33	26	50
14	90	50	11	17	14
15	300	50	14	8	27

Pode-se observar uma alta densidade de microrganismos nas amostras de águas residuárias devido a sua natureza ser bastante heterogênea, apresentando entre seus componentes, patógenos como bactérias Coliformes totais, Coliformes termotolerantes, E. coli, Pseudomonas auruginosa e Streptococos fecais, que podem ocasionar muitas doenças com implicações na saúde pública.

A tabela 2 refere-se aos resultados obtidos na verificação da densidade microbiológica do grupo de bactérias de interesse sanitário (Coliformes totais, Coliformes termotolerantes, E. coli, Pseudomonas auruginosa e Streptococos fecais) nas amostras de águas residuárias submetidas ao tratamento no reator com coluna de carvão ativado impregnado com

prata.

Com relação à densidade de Coliformes totais, Coliformes termotolerantes, E. coli, Pseudomonas auruginosa e Streptococcus fecalis nas amostras de águas residuárias submetidas à passagem pelo reator, constatou-se que todos os valores ficaram abaixo dos valores encontrados antes do tratamento.

Tabela 2 - Ocorrência de Coliformes totais, Coliformes termotolerantes, E. coli, P. auruginosa e S. fecalis em amostras de efluentes laboratoriais (NMP).

<b>Amostra</b>	<b>Coliformes Totais</b>	<b>Coliformes Termotolerantes</b>	<b>E. coli</b>	<b>P. auruginosa</b>	<b>S. fecalis</b>
1	2	2	-	4	4
2	7	2	2	4	4
3	7	4	2	-	4
4	2	2	-	-	2
5	7	4	-	2	2
6	2	2	-	-	2
7	4	2	2	2	-
8	4	4	-	2	4
9	-	-	-	-	-
10	7	4	2	-	-
11	6	4	4	2	4
12	4	-	-	-	-
13	7	4	4	-	2
14	7	2	-	-	-
15	11	4	4	4	2

A remoção de microorganismos presentes nas amostras de águas residuárias provenientes de laboratórios de análises clínicas foi superior a 90% para todas as classes de microorganismos. A quantificação

das águas residuárias para descarte, revelou que o número de microorganismos em cada 100 mL ficou entre 0 e 12.

A tabela 3 sumariza os resultados da redução da densidade de microorganismos

de interesse sanitário em águas residuárias laboratoriais após o tratamento utilizando o reator.

Tabela 3 -Comparação da ocorrência de microorganismos em amostras de águas residuárias laboratoriais antes e após o tratamento no reator. Porcentagem de Redução.

<b>Análise</b>	<b>Sem Tratamento</b>	<b>Com tratamento</b>	<b>% de Redução</b>
Coliformes totais	135,40	5,13	96,21%
C. Termotolerantes	68,80	2,66	96,13%
E. Coli	16,06	1,33	91,72%
P. Auriginosa	15,33	1,33	91,32%
E. Fecais	22,20	2,00	91,00%

A eficiência bactericida do reator em efluentes laboratoriais pode ser observada (Tabela 3), comparando-se os resultados da redução no número de bactérias do tipo Coliformes totais, Coliformes termotolerantes, Escherichia coli, Pseudomonas auriginosa e Streptococcus fecalis, ao passar por este, comparadas às amostras que não foram submetidas ao

tratamento. Pode-se perceber que tal redução no número de bactérias (em NMP), manteve-se praticamente constante para todos os tipos.

#### Eficiência do reator com coluna de carvão ativado sem prata impregnada

Para se avaliar a relação do efeito

bactericida da prata contida na coluna de carvão ativo do reator na redução da densidade de microrganismos em águas residuárias provenientes de laboratórios de análises clínicas, foram realizados cinco testes em bateladas utilizando um reator com coluna de carvão ativo sem prata impregnada em sua superfície.

Tabela 4 - Ocorrência de Coliformes totais em amostras de águas residuárias laboratoriais tratadas em reator sem prata impregnada (NMP).

Amostra	CT Presuntivo	CT Confirmatório
1	280	130
2	290	140
3	300	140
4	300	170
5	220	110

Na tabela 5 encontram-se os resultados referentes à ocorrência de

Coliformes totais nas amostras de águas residuárias provenientes de laboratórios de

análises clínicas após tratamento através do reator.

Tabela 5 - Ocorrência de Coliformes totais em amostras de águas residuárias laboratoriais tratadas em reator sem prata impregnada (NMP).

Amostra	CT Presuntivo	CT Confirmatório
1	33	27
2	34	26
3	50	17
4	34	27
5	33	26

Após a passagem da amostra de água residuária pelo reator com carvão ativado sem prata impregnada, detectou-se uma redução de 82,17% na densidade de microrganismos Coliformes totais, resultado 14,04% menor se comparado com as amostras de águas residuárias tratadas com o reator com coluna de carvão ativado impregnado com prata.

A diferença de 14,04% na

densidade de microrganismos comparando-se a utilização do reator com coluna de carvão impregnado com prata e o sem prata mostrou-se significativa, a qual pode se comprovar utilizando a distribuição de erros t de Student com intervalo de confiança a nível de 95% de probabilidade.

$$P\% = \pm t s / (N)^{1/2}$$

Onde:

t = Valor tabelado de intervalo de confiança

a nível de 95%.

s = Desvio Padrão

N = Amostras Extraídas

$$P\% = [\pm 2,145 \cdot 4,48 / \sqrt{15}]$$

$$P\% = [\pm 2,48]$$

$$[\pm 2,48] \approx 14,04$$

A diferença obtida utilizando a distribuição de erros t de Student com



intervalo de confiança com nível de 95% de probabilidade foi menor que 14,04% indicando a significância na diferença do reator com coluna de carvão impregnado com prata em relação ao sem prata

Os resultados obtidos na redução da densidade de microrganismos, utilizando o reator com coluna de carvão sem prata impregnada em sua superfície, se deram devido à capacidade de adsorção do carvão ativo. Por outro lado, pode-se observar que,

quando comparamos os resultados entre a utilização das duas colunas, a diferença de 14,04% reflete a atividade bactericida proporcionada pela prata impregnada na superfície do carvão.

#### pH de águas residuárias submetidas ao tratamento

No controle de pH realizado na operação do sistema, objetivou-se

principalmente, a eliminação do risco da inibição das bactérias produtoras de metano, que têm o crescimento ótimo na faixa de pH entre 6,8 e 7,4 (CHERNICHARO, 1997). Valores de pH abaixo de 6 e acima de 8,3 devem ser evitados, uma vez que estes podem inibir por completo a bactérias produtoras de metano. As amostras de águas residuárias foram submetidas à aferição de seu pH antes e depois de sua passagem pelo reator.

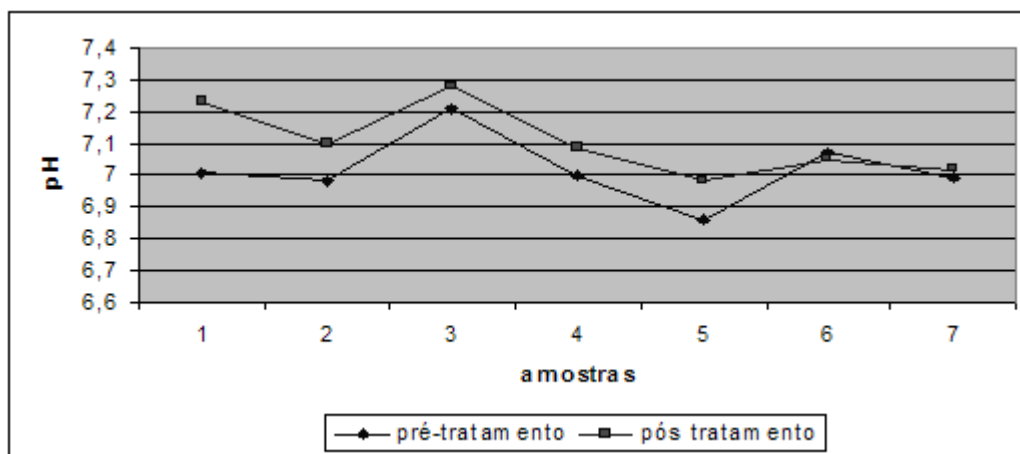


Figura 6 - Comparação do pH das amostras antes e após o tratamento no reator composto por coluna de carvão ativado impregnado com prata.

#### Resultado dos Ensaio de Difusão do Material Bactericida do Carvão Ativado Impregnado com Prata em Ágar Padrão

Os grânulos de carvão apresentaram significantes halos de inibição (superfície da placa de cultura onde não houve desenvolvimento de bactérias) nos testes de difusão feitos com a bactéria E. coli.

Isto significa que o meio (ágar e microrganismos) difundiu-se através dos poros do carvão ativado, resultando na inibição do crescimento e lise (morte) das bactérias pelo efeito bactericida dos íons de prata.

Neste caso foi usado o meio de cultura "Ágar para Contagem Total de Bactérias", no qual foi semeada a bactéria

Escherichia coli.

A figura 8 mostra o resultado dos testes com grânulos de carvão, os quais apresentaram uma satisfatória ação bactericida como pode ser observado pela formação de halos (área de inibição de bactérias formada).

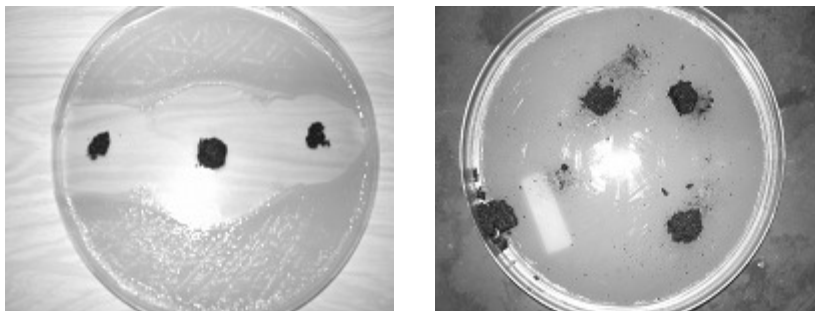


Figura 7 - Teste de difusão em Ágar com pedaços de carvão ativado impregnado com prata e sem prata impregnada. O meio de cultura utilizado foi o Ágar para Contagem Total de Bactérias", no qual foi semeada a bactéria Escherichia coli.

A média dos diâmetros dos halos encontrados na primeira e segunda incubação foram respectivamente 156mm e 192mm, confirmando a inibição das bactérias próximas ao carvão bactericida inoculados em placas.

### Resultado da análise de EPR para identificação das formas paramagnéticas da prata

Em nenhum dos espectros (não mostrados aqui) foi possível observar o sinal de ressonância das formas paramagnéticas da prata, mesmo com variações de ganho, de potência e de varredura de campo. Este resultado nos leva a inferir que a prata impregnada no carvão seja da forma Ag<sup>+</sup>, se não como único estado iônico do átomo de prata, pelo menos em quantidade muito superior às formas metálica e iônica bivalente.

### CONCLUSÕES

Dos resultados obtidos, pode-se concluir que o protótipo de reator com coluna de carvão ativado impregnado com prata, mostrou-se um eficiente sistema bactericida para a redução da densidade de microrganismos de águas residuárias provenientes de laboratórios de análises clínicas, em regime de trabalho de fluxo por gravidade. O protótipo de reator mostrou vantagens em relação aos métodos convencionais já existentes, pois, utiliza em sua composição materiais de baixo custo, não produz toxicidade como nos métodos de cloração e ozonização, além de ocupar um espaço físico bastante reduzido, se comparado aos reatores que utilizam variada granulometria de areia para filtração lenta.

O processo industrial que resultou na coluna de Carvão Ativado impregnado com prata mostrou-se adequado para o tipo de aplicação no reator proposto, quanto à sua resistência mecânica ao contato com o

efluente, não havendo perda de matéria da coluna.

Pode-se observar que o percentual de redução no número de bactérias (em NMP) presentes nos efluentes laboratoriais após o tratamento no reator, foi bastante satisfatório, independente das classes de bactérias testadas neste trabalho. A utilização de carvão ativado impregnado com prata como elemento bactericida no reator, requer um estudo mais aprofundado, a fim de maximizar sua eficiência, no que diz respeito à concentração de prata e a sua capacidade de adsorção (porosidade), com o objetivo de garantir a eliminação completa da carga microbiana.

A prata impregnada no carvão é da forma iônica, monovalente, o que confirma sua ação bactericida no sistema de tratamento de águas residuárias.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANGIOLLETO, E. Desenvolvimento de processo para a fabricação de cerâmicas com propriedades antimicrobianas. Florianópolis, S. C., nov 2003. Tese de Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais. Universidade Federal de Santa Catarina. 2003.104p.

CERNICHARO, C.A.L. Reatores anaeróbios. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG. 246 p. 1997.

GARCIA, Leila Posenato; ZANETTI-RAMOS, Betina Giehl. Gerenciamento dos resíduos de serviços de saúde: uma questão de biossegurança. Cad. Saúde Pública, maio/jun. 2004, v. 20, n. 3, p. 744-752.

GUIMARÃES, E. MANGRICH. A. S.; MACHADO V.G.; TRAGHETTA D.G.; LOBO M. A. Criterious Preparation characterization of earthworm-compost in view of animal waste recycling. Part II. A Synergistic Utilization of EPR and <sup>1</sup>H NMR Spectroscopies on the

characterization of humic Acids from Vermicomposts. J. Braz. Chem. Soc., Vol 12 No . 6, 734-741p, 2001.

POPJTUSCHKA, W. M., PICCINI, A. Atomic center interactions in BaO; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> glasses containing silver. Revista Brasileira de Física, v. 9, n. 1, p. 93-107, 1979.

ROGALSKI, R.; CHU, A. Predicting optimum chlorine dose using Effluent Quality Manager program. IWA 2nd World Water Congress, Berlin, Oct. 15-19, 2001.

SANZ, L. Filtros purificadores. Disponível em <http://www.abrafipa.com.br>. Acesso em: outubro 2003.

SILVEIRA, I.S.T.; MONTEGGIA, L.O. DESINFECÇÃO E AVALIAÇÃO DA TOXICIDADE DE EFLUENTE DE ORIGEM DOMÉSTICA E HOSPITALAR COM HIPOCLORITO DE SÓDIO E OZÔNIO . In: 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. 2005

TAKEDA Chemical Industries, Ltd. Water-purifying material, a process for manufacturing the same and a process for purifying water. ADACHI, Kiyoshi, UDA, Yasuaki, SUZUKI, Masayuki; United States Patent 5,342,528. 30/08/1994.

WANG, Y., AND YEH, C.. Electron paramagnetic resonance study of the interactions of oxygen with silver/titania. Chem. Soc., Faraday Trans., v. 87, p. 345-348, 1991.

WEI HONG, D PERLOV AND L E HALLIBURTON; Electron paramagnetic resonance study of Ag<sup>0</sup> atoms and Ag<sup>2+</sup> ions in β-BaB<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nonlinear optical crystals. J. Phys. D: Appl. Phys. 36 2605-2611.