

## II-067 - INTRODUÇÃO DE CARVÃO ATIVADO EM PÓ NO TRATAMENTO BIOLÓGICO DE LIXIVIADO DE ATERRO SANITÁRIO

### **Letícia Sobral Maia**

Bióloga ambiental pelo Centro Universitário da Cidade – UniverCidade. Mestre em Ciências pelo programa Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos da Escola de Química – EQ/UFRJ. Doutoranda em Ciências na Escola de Química – EQ/UFRJ.

### **Angelo Siguemura Souza**

Aluno de Química Industrial da Escola de Química - UFRJ

### **Luiz Henrique Costa Nogueira**

Aluno de Química Industrial da Escola de Química - UFRJ

### **Juacyara Carbonelli Campos**

Engenheira Química pela Escola de Química/UFRJ. Doutora em Engenharia Química/ Tecnologia Ambiental pela COPPE/UFRJ. Professora Adjunta do Departamento de Processos Inorgânicos da Escola de Química-UFRJ

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Departamento de Processos Inorgânicos. Escola de Química - UFRJ. Centro de Tecnologia - Bloco E - sala E 206 Ilha do Fundão - CEP 21949-900. Tel. (21) 2562-7640. Fax. (21) 2562-7640 - e-mail. [juacyara@eq.ufrj.br](mailto:juacyara@eq.ufrj.br).

## **RESUMO**

Esse trabalho teve por objetivo avaliar a introdução de carvão ativado em pó no processo de lodos ativados no tratamento de lixiviado de aterro de resíduos, oriundo do aterro de Gericinó (Rio de Janeiro, RJ). O trabalho foi constituído de duas etapas, a saber: escolha do carvão ativado em pó (CAP) mais adequado por meio de ensaio de isotermas de adsorção e ensaios de biotratabilidade em reatores de batelada sequencial. Nesta última etapa foram realizados quatro ensaios de biotratabilidade, com e sem reposição do carvão, onde foram testadas diferentes condições operacionais para avaliar o tempo de retenção hidráulica (TRH), reposição diária de carvão ( $X_{ci}$ ), idade do lodo (IL) e concentrações do carvão escolhido ( $X_{ca}$ ). Dentre os três carvões testados, foram escolhidos dois diferentes carvões (marcas Carboneira e Norit) de diferentes materiais precursores, que apresentaram maior remoção de compostos recalcitrantes durante os ensaios de isotermas de adsorção. Esses dois carvões foram utilizados nos ensaios em batelada, nas concentrações de 3 e 5 g/L, que mostraram que o CAP da marca Norit apresentou maiores remoções de matéria orgânica. Dentre os quatro ensaios de biotratabilidade realizados, as condições que apresentaram melhores resultados foram TRH=24h,  $X_{ci}=167\text{mgCAP/L}_{\text{lixiviado}}$ , IL=30dias,  $X_{ca}=5\text{g CAP/L}_{\text{reator}}$ , utilizando lodo ativado combinado com CAP Norit, resultando nas eficiências de remoção de 74% de COT, 66% de DQO e 71% da Absorvância a 254 nm.

**PALAVRAS-CHAVE:** Carvão ativado, adsorção, lixiviado, lodos ativados.

## **INTRODUÇÃO**

O crescimento industrial e as mudanças nos processos de produção tem sido responsáveis por um aumento no volume e complexidade de descargas no ambiente.

A possibilidade de contaminação ambiental, associada à necessidade de grandes áreas para a disposição e tratamento, tornou a solução para o problema dos resíduos sólidos urbanos, um dos mais sérios desafios para as administrações públicas municipais (SOUZA et. al., 2002).

Sabe-se que o uso de aterros sanitários para a disposição final de resíduos sólidos, eliminação de resíduos de incineração e reciclagem de processos industriais ou urbanos é o meio mais barato e comum pelo fato da sua simplicidade de aplicação e baixo custo envolvido (FOO & HAMEED, 2009). Contudo, esta técnica gera subprodutos, tais como o lixiviado e o biogás, os quais necessitam ser drenados, coletados, conduzidos e tratados de forma adequada, para que não sejam dispostos no meio ambiente trazendo prejuízos ao ar, solo, águas subterrâneas e superficiais.

O lixiviado oriundo da disposição desses resíduos sólidos urbanos (RSU) é um líquido altamente poluente e seu tratamento tem sido um desafio na Engenharia Ambiental em todo o mundo, devido a sua composição química muito variável. Por esse motivo, não há uma simples e universal solução que, atuando isoladamente, consiga tratar de maneira eficiente os efluentes com compostos tão recalcitrantes e com elevada concentração de matéria orgânica como no lixiviado.

Existem diferentes argumentos sobre o mecanismo do CAP (Carvão Ativado em Pó) intensificar o processo de Lodos Ativados. A adição de carvão ao sistema de lodos ativados pode aumentar a eficiência de remoção de compostos (não-biodegradáveis, tóxicos, inibidores orgânicos, metais). Por outro lado, pesquisas, como em Maia (2012) e Machado (2010), defendem que o incremento na eficiência resulta basicamente da degradação biológica causada pelo lodo ativado e à adsorção física pelo carvão ativado. Ao sinergismo existente entre lodos ativados e carvão ativado em pó dá-se o nome de processo PACT (*Powdered Activated Carbon Treatment* – patenteado pela DuPont em 1970).

Diante disso, o presente trabalho tem como objetivo avaliar a eficiência dos sistemas de Lodos Ativados e Carvão Ativado, quando usados em combinado, no tratamento de lixiviado de aterros de resíduos, tendo como meta a remoção de matéria orgânica.

## MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho foi realizado com amostras de lixiviado provenientes do aterro de Gericinó, situado no bairro de Bangu, Rio de Janeiro (RJ). Para a caracterização do lixiviado foram escolhidos quatro parâmetros, sendo estes: Absorvância em 254nm; Carbono Orgânico Total (COT); Demanda Química de Oxigênio (DQO) e pH. A Tabela 1 ilustra a caracterização do lixiviado bruto de Gericinó, onde os valores altos de COT e DQO indicam que a quantidade de matéria orgânica presente neste lixiviado é bastante elevada.

**Tabela 1: Valores Médios de caracterização do lixiviado bruto de Gericinó**

Parâmetros	A. M. Gericinó
Absorvância em 254 nm	12,76
COT (mg C/L)	616,4
DQO (mg O <sub>2</sub> /L)	1863
pH	8,36

O lodo utilizado nas etapas de biotratabilidade passou por um período de aclimação com o lixiviado de Gericinó, com o pH controlado para a faixa de 6,5 a 7,0 em um volume total de 2 litros, aumentando sua proporção com o tempo.

Os carvões ativados em pó (CAP) utilizados na etapa de escolha preliminar foram de três marcas: Brasilac, Carbomafra e Norit. Após os ensaios preliminares apenas duas marcas foram escolhidas e utilizadas nas etapas de biotratabilidade. A Tabela 2 mostra o número de série do tipo, a origem e a nacionalidade das três marcas de carvões.

**Tabela 2: Origem e país de fabricação dos carvões utilizados**

CARVÃO	TIPO	ORIGEM	PAÍS DE FABRICAÇÃO
BRASILAC	Tipo Carbonado Kapa L	Vegetal (Nó de Pinho)	Brasil
CARBOMAFRA	Tipo: 118 CB AS nº170	Vegetal (Madeira)	Brasil
NORIT	Tipo Saesuper E114	Betuminoso	Holanda

## ETAPAS DO TRABALHO

O presente estudo foi dividido em duas etapas. Na primeira foi feita uma avaliação preliminar para selecionar o carvão ativado a ser utilizado como adsorvente nos ensaios em sistema de batelada. Foram realizados três experimentos para obtenção de isothermas de adsorção, com objetivo de avaliar a remoção das substâncias resistentes ao tratamento biológico em contato com o carvão ativado em pó. Foi utilizada a metodologia ASTM 3860-98, utilizando o Carvão Ativado em Pó (CAP) das marcas Carbomafra, Brasilac e Norit.

A segunda etapa consistiu-se de quatro ensaios de biotratabilidade onde quatro sistemas foram montados, em duplicata. Um contendo apenas o lixiviado, outro simulando o processo convencional (lixiviado + lodo ativado), e os dois últimos simulando o processo PACT em concentrações de 3,0 e 5,0 g/L respectivamente. Todos os experimentos foram aerados com compressores de aquário. O objetivo desta etapa foi avaliar as diferentes dosagens de carvão ativado em pó quando adicionado o lodo ativado e avaliar a eficiência do processo.

## PRIMEIRA ETAPA: ESCOLHA DO CARVÃO ATIVADO

O levantamento das isothermas se utilizou as recomendações da ASTM 3860. Na primeira etapa, foram realizados ensaios em que seis amostras de 100 mL de lixiviado contidas em erlenmeyers de 250 mL foram postas em contato com carvão ativado em pó, previamente seco por quatro horas em estufa, nas concentrações de: 0,1; 0,4; 0,7; 1,0; 3,0 e 5,0 g/L. Utilizou-se como controle 100 mL de lixiviado puro. Os ensaios foram realizados em incubadora com agitação (marca Nova Ética) Modelo 430-RDBP com velocidade de 170 rpm. Para cada tipo de carvão, foram realizados dois ensaios diferentes, sendo o primeiro com tempo de contato de 2h e, o segundo, de 24h, onde foram analisados DQO, COT e Absorvância em 254nm.

## SEGUNDA ETAPA: ENSAIOS DE BIOTRATABILIDADE

Após o levantamento das isothermas de adsorção, constatou-se que os carvões das marcas Norit e Carbomafra apresentaram as melhores remoções de substâncias recalcitrantes, o que justifica o uso destas marcas nos ensaios de biotratabilidade (EB) aeróbia em batelada.

As simulações foram divididas em duas etapas sendo estas, respectivamente, sem reposição e com reposição de carvão, totalizando quatro ensaios: dois para o carvão Carbomafra (com e sem reposição) e dois para o carvão Norit (com e sem reposição), como mostra a Tabela 3. Em todos eles o CAP foi seco por 4h, em estufa a 130°C, foram feitos ensaios controle (apenas com lixiviado bruto sob aeração), os testes foram realizados em duplicata e todas as amostras foram filtradas antes de analisadas, para remoção de interferentes. Foram utilizadas 3,0g/L e 5,0g/L de CAP, 20% de biomassa (lodo sedimentado) e um volume reacional de 300 mL, cujo pH foi monitorado e mantido entre 6,5 e 7,0.

**Tabela 3. Resumo das condições operacionais dos ensaios de Biotratabilidade**

ENSAIO	CAP	CONDIÇÕES	TEMPO DE OPERAÇÃO
EB1	Carbomafra	Tempo de batelada= 24h Sem Reposição de carvão $X_{ca} = 3$ e $5 \text{ g/L}^*$ $IL = \infty$ (sem purga de lodo)	5 dias
EB2	Norit	Vol. reacional= 300mL	
EB3	Carbomafra	Tempo de batelada= 24h Com Reposição de Carvão $X_{ci} = 100$ e $167 \text{ mg/L}^{**}$ $X_{ca} = 3$ e $5 \text{ g/L}^*$	
EB4	Norit	$IL = 30$ dias Vol. reacional= 300mL	

IL = Idade do Lodo

\*g de carvão por litro de volume útil do reator

\*\* mg de carvão por litro de efluente alimentado

A cada 24 horas, a aeração era cessada, o lodo sedimentado e era retirada uma alíquota da suspensão, que era filtrada e submetida às análises DQO, COT e Absorvância a 254nm. Todos os ensaios foram realizados em provetas com 500 mL de volume, sob aeração de compressores de aquário, em temperatura ambiente. A Figura 1 mostra os ensaios de biotratabilidade.



**Figura 1: Testes operando em sistema aeróbio de batelada**

Nos ensaios EB3 e EB4, com reposição de carvão, foram realizadas diariamente a purga do lodo para manter a idade do lodo em 30 dias. Os valores de 100 e 167 mg CAP/L ( $X_{ci}$ ) utilizados, respectivamente, na reposição dos ensaios com 3 e 5g/L ( $X_{ca}$ ) de carvão, foram obtidos segundo a equação 1:

$$X_{ca} = \frac{X_{ci} \times IL}{TRH} \quad (1)$$

Onde:  $X_{ca}$  = concentração de carvão no interior do reator;  $X_{ci}$  = reposição de carvão (por volume de efluente); IL= idade do lodo; TRH= tempo de retenção hidráulica.

## RESULTADOS

### PRIMEIRA ETAPA: ESCOLHA DO CARVÃO ATIVADO

Os ensaios de adsorção, para a obtenção de isotermas, foram realizados com três diferentes marcas de carvões ativados em pó - Carbomafra, Brasilac, Norit. Os resultados após 2 e 24 horas de ensaios estão apresentados nas Tabelas 4 a 6.

**Tabela 4: Ensaio de adsorção em CAP Brasilac e lixiviado do Aterro de Gericinó, após 2 e 24 horas de ensaio**

DOSAGEM BRASILAC (g/L)	2 HORAS			24 HORAS		
	ABSORVÂNCIA (254nm)	COT (mg/L)	DQO (mg/L)	ABSORVÂNCIA (254nm)	COT (mg/L)	DQO (mg/L)
CONTROLE	13,22	851,2	1841	12,48	724,8	1655
0,1	12,60	825,2	1726	12,03	724,4	1610
0,4	12,06	791,4	1530	11,46	675,8	1408
0,7	11,55	757,2	1451	11,03	614,6	1315
1,0	10,32	754,6	1310	9,53	629	1200
3,0	9,95	625,8	1298	8,12	458,2	1110
5,0	8,96	489,6	1295	7,59	355,2	1001

**Tabela 5: Ensaio de adsorção em CAP Carbomafra e lixiviado do Aterro de Gericinó, após 2 e 24 horas de ensaio**

DOSAGEM CARBOMAFRA (g/L)	2 HORAS			24 HORAS		
	ABSORVÂNCIA (254nm)	COT (mg/L)	DQO (mg/L)	ABSORVÂNCIA (254nm)	COT (mg/L)	DQO (mg/L)
CONTROLE	14,57	718	1558	12,83	459,8	1366
0,1	13,79	642,8	1525	11,46	448,8	1360
0,4	13,62	635,8	1491	10,73	414,4	1206
0,7	12,22	608,2	1430	9,82	413,2	1108
1,0	11,04	584,2	1291	8,05	374	903
3,0	8,24	559,6	1045	6,54	369	708
5,0	5,56	483,4	845	4,29	315	463

**Tabela 6: Ensaio de adsorção em CAP Norit e lixiviado do Aterro de Gericinó, após 2 e 24 horas de ensaio**

DOSAGEM NORIT (g/L)	2 HORAS			24 HORAS		
	ABSORVÂNCIA (254nm)	COT (mg/L)	DQO (mg/L)	ABSORVÂNCIA (254nm)	COT (mg/L)	DQO (mg/L)
CONTROLE	14,68	728	1465	12,76	683	1366
0,1	14,21	675	1295	11,37	611,1	1211
0,4	13,36	609	1210	9,80	563,2	1018
0,7	13,35	515,6	1168	8,30	477,4	906
1,0	12,70	489,7	1115	5,90	396,5	753
3,0	9,69	412,8	865	3,10	328,2	515
5,0	6,37	359,6	685	1,29	211	230

As remoções mais significativas ocorreram para as dosagens maiores que 3 g/L, diante disso, para melhor entendimento dos resultados obtidos, a Tabela 7 ilustra os resultados de eficiência de remoção para as dosagens de 3,0 e 5,0 g/L.

**Tabela 7: Eficiência de remoção dos ensaios de CAP em equilíbrio com lixiviado.**  
T = 25°C. Volume= 100 mL

ENSAIO		2 HORAS			24 HORAS		
		ABS. 254 nm	COT	DQO	ABS. 254 nm	COT	DQO
BRASILAC	3,0 g/L	25%	22%	30%	35%	20%	33%
	5,0 g/L	32%	33%	30%	39%	31%	39%
CARBOMAFRA	3,0 g/L	43%	26%	33%	49%	37%	48%
	5,0 g/L	62%	42%	46%	67%	51%	66%
NORIT	3,0 g/L	34%	43%	41%	76%	52%	62%
	5,0 g/L	57%	51%	53%	90%	69%	83%

A partir dos ensaios de adsorção, de 2 e 24 horas, obtiveram-se valores experimentais que foram ajustados ao modelo de Freundlich, modelo que se ajusta melhor aos processos de adsorção entre fases heterogêneas, e, posteriormente, linearizados para a obtenção dos parâmetros experimentais  $1/n$  e  $K_f$ .

A isoterma de Freundlich é expressa por:

$$\frac{x}{m} = K_f C_e^{1/n} \quad (2)$$

Onde:

$x/m$  = massa de adsorvato adsorvido por massa de adsorvente

$C_e$  = concentração de equilíbrio do adsorvato presente na solução.

$K_f$  e  $n$  são constantes que dependem da temperatura, do adsorvente e da substância a ser adsorvida. (ECKENFELDER, 2000).

O parâmetro  $K_f$  é o mais indicado para a comparação da capacidade adsorptiva entre os adsorventes experimentados (BRASIL, 2005). Segundo Müller et. al. (2009), no parâmetro  $1/n$ , o  $n$  representa a força de ligação entre os agentes da adsorção, ou seja, quanto maior o valor do parâmetro  $n$ , maior a irreversibilidade do processo de adsorção. Assim, valores de  $1/n$  menores do que um são desejáveis. A Tabela 8 mostra os parâmetros  $1/n$  e  $K_f$  obtidos na linearização dos resultados experimentais.

**Tabela 8: Valores de  $1/n$ ,  $K_f$  e o coeficiente de regressão ( $R^2$ ) para os ajustes à isoterma de Freundlich dos valores experimentais de adsorção de 2 e 24 horas para os três carvões avaliados para a análise de Absorvância em 254 nm.**

ENSAIO			$1/n$	$K_f$	$R^2$
2 HORAS	BRASILAC	ABS 254 nm	5,342	$5,902 \times 10^{-6}$	0,910
		COT	5,779	$1,2 \times 10^{-14}$	0,813
		DQO	6,819	$1,513 \times 10^{-19}$	0,922
	CARBOMAFRA	ABS 254 nm	1,365	0,1452	0,757
		COT	1,956	$3,25 \times 10^{-4}$	0,629
		DQO	2,515	$5,224 \times 10^{-6}$	0,819
	NORIT	ABS 254 nm	0,192	1,135	0,7
		COT	3,022	$1,45 \times 10^{-6}$	0,93
		DQO	2,183	$9,057 \times 10^{-5}$	0,868
24 HORAS	BRASILAC	ABS 254 nm	2,399	0,00895	0,729
		COT	4,05	$2,084 \times 10^{-9}$	0,663
		DQO	4,287	$1,905 \times 10^{-11}$	0,893
	CARBOMAFRA	ABS 254 nm	1,067	0,245	0,903
		COT	0,845	0,515	0,601
		DQO	1,175	0,1233	0,822
	NORIT	ABS 254 nm	0,761	0,588	0,898
		COT	1,692	0,00933	0,822
		DQO	1,801	0,00367	0,919

Da Tabela 8, observa-se que a grande maioria dos parâmetros  $1/n$  apresentaram valores maiores que 1, o que mostra que a maioria dos valores de  $n$  são menores que 1. Isso indica uma baixa afinidade do CAP com o lixiviado. Apenas é possível observar valores de  $1/n$  menores que 1 para absorvância do lixiviado tratado com CAP Norit nos ensaios de 2 e 24 horas e para COT no ensaio de 24 horas para o CAP Carbomafra.

Observa-se também que para o parâmetro absorvância a ordem crescente dos valores de  $1/n$  foi: Carvão Norit, Carvão Carbomafra e Carvão Brasilac. Isso demonstra uma maior força de interação entre o carvão Norit com a matéria orgânica aromática presente no lixiviado em relação às outras duas marcas e uma maior interação do carvão Carbomafra em relação ao Brasilac. Para o COT e a DQO os carvões Carbomafra e Norit respectivamente apresentaram melhores valores de  $1/n$  do que o carvão Brasilac.

O carvão Brasilac apresentou valores muito baixos para  $K_f$  para todas as análises (absorvância, COT e DQO) tanto nos ensaios de 2 e 24 horas, o que significa que este CAP possui a menor afinidade com o lixiviado e portanto apresentando baixa remoção de matéria orgânica entre as três marcas de CAP. Este fato pode ser comprovado visualmente após os ensaios de 2 e 24 horas em que o lixiviado tratado com carvão Brasilac apresentou a coloração mais escura em relação ao lixiviado tratado com carvão Carbomafra e Norit. O Carvão Norit nos ensaios de 2 e 24 horas para a análise de absorvância apresentou os maiores valores de  $K_f$  demonstrando que entre as três marcas de CAP estudadas o CAP Norit apresentou a melhor afinidade.

De posse dos resultados das etapas anteriores, os carvões da marca Carbomafra e Norit foram utilizados em ensaios de biotratabilidade aeróbia em batelada, com diferentes massas de carvão. Tais carvões foram escolhidos por apresentarem as melhores remoções de substâncias recalcitrantes no ensaio de adsorção realizado na etapa anterior.



## SEGUNDA ETAPA: ENSAIOS DE BIOTRATABILIDADE

### ENSAIO DE BIOTRATABILIDADE 1 (EB1)

As Figuras 2 e 3 apresentam os monitoramentos e as eficiências de redução para absorvância sem reposição de carvão nos sistemas controle, Lodo ativado, PACT 3,0 g/L e PACT 5,0 g/L para o CAP Carbomafra.

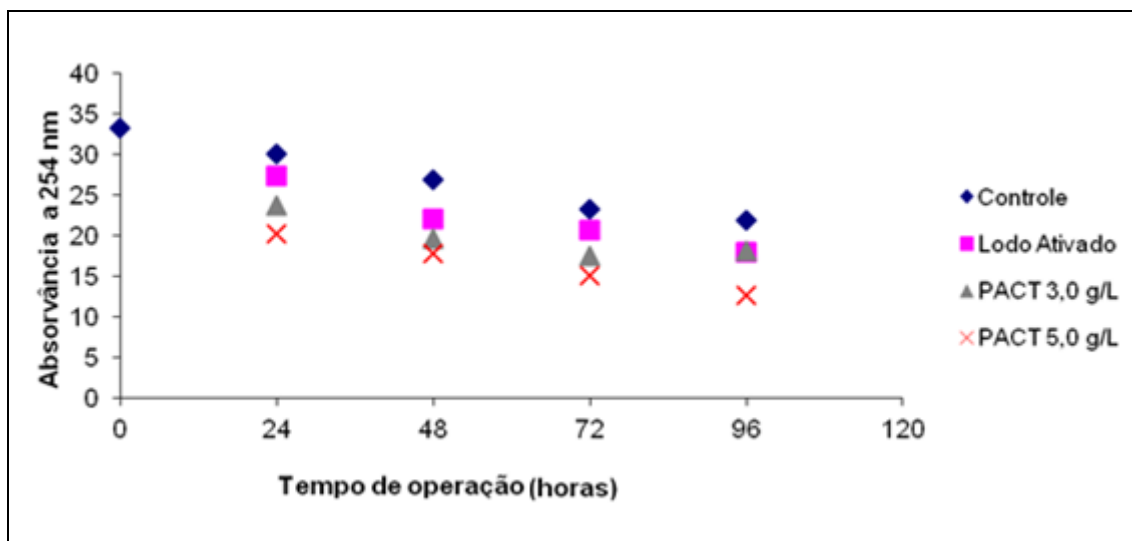


Figura 2. Monitoramento da Absorvância a 254nm do lixiviado de Gericinó. Carvão Carbomafra, sem reposição de carvão. Volume reacional = 300 mL.  $C_{\text{carvão}} = 3,0$  e  $5,0$  g/L.

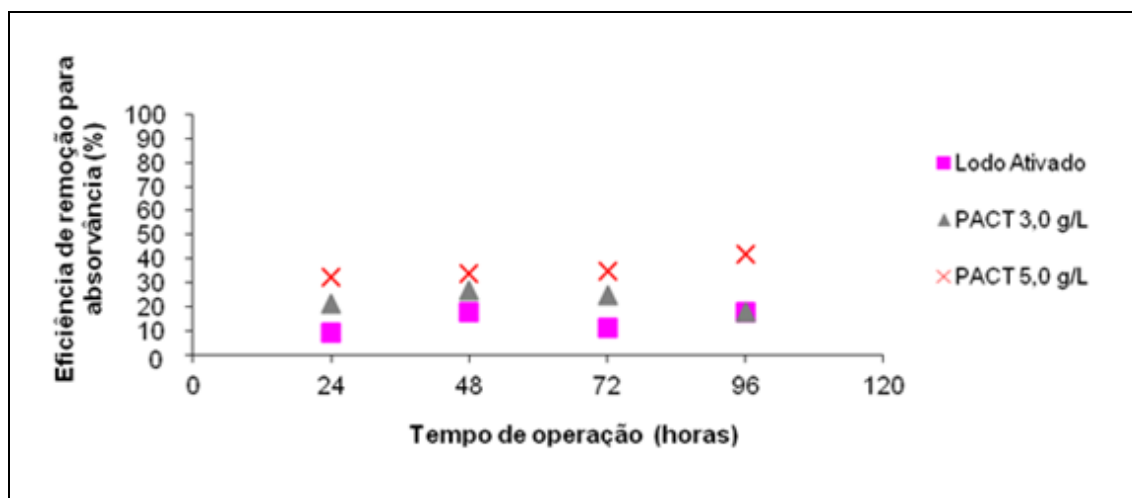


Figura 3. Eficiência de redução da Absorvância a 254nm do lixiviado de Gericinó. Carvão Carbomafra, sem reposição de carvão. Volume reacional = 300 mL.  $C_{\text{carvão}} = 3,0$  e  $5,0$  g/L

As Figuras 4 e 5 apresentam o monitoramento e as eficiências de remoção para o COT sem reposição de carvão nos sistemas controle, Lodo ativado, PACT 3,0 g/L e PACT 5,0 g/L para o CAP Carbomafra.



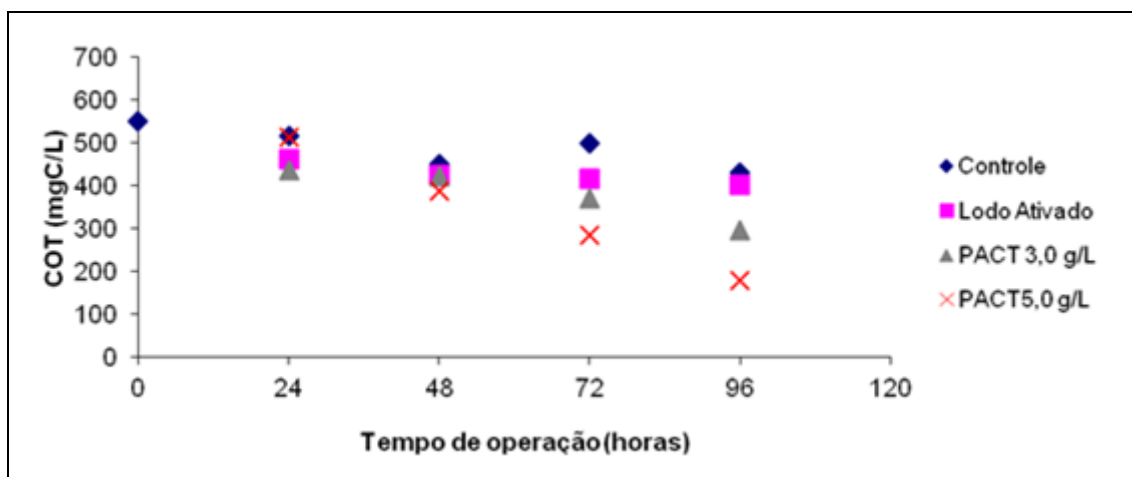


Figura 4. Monitoramento do COT do lixiviado de Gericinó. Carvão Carbomafra, sem reposição de carvão. Volume reacional = 300 mL.  $C_{\text{carvão}} = 3,0$  e  $5,0$  g/L.

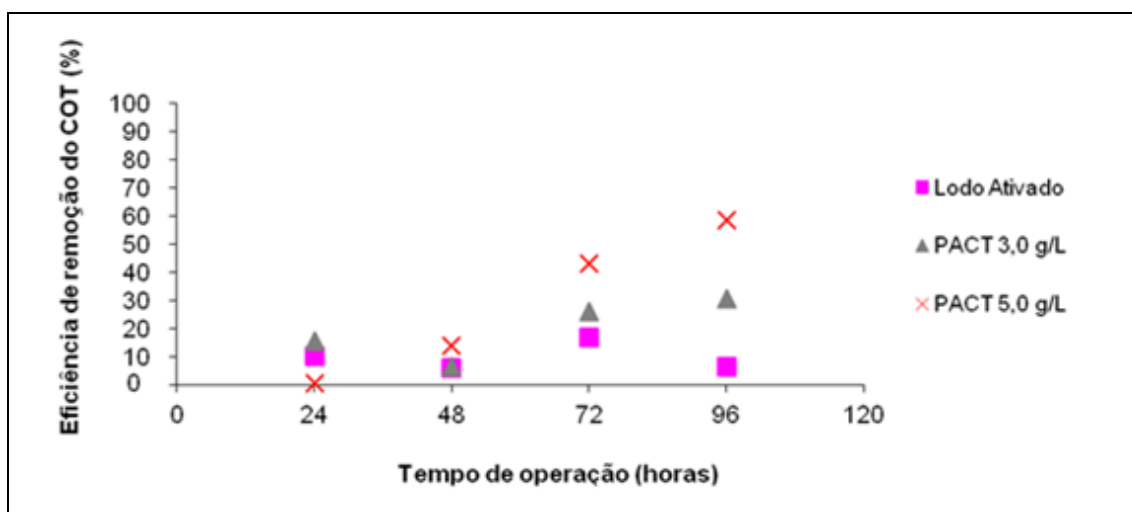
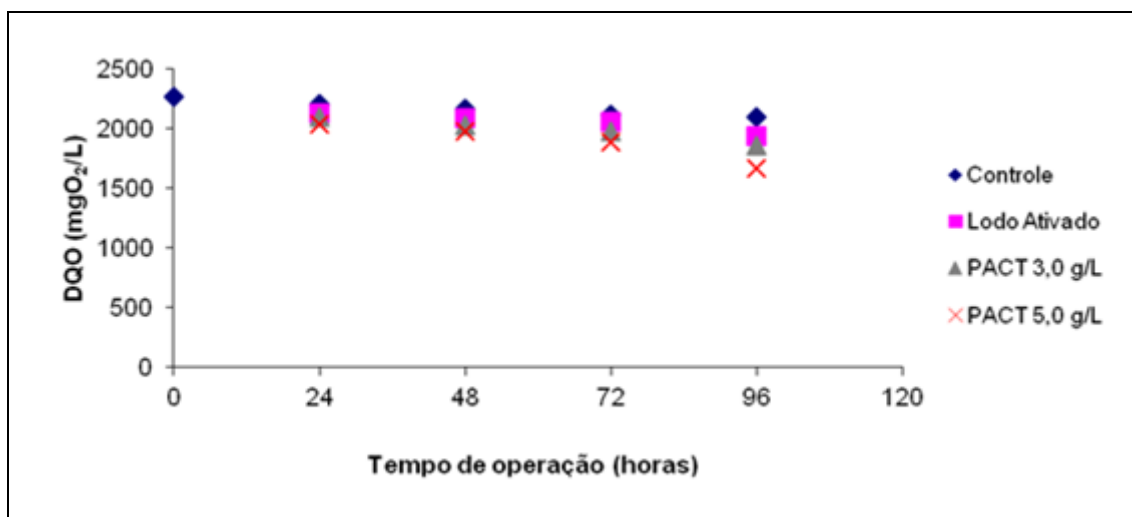
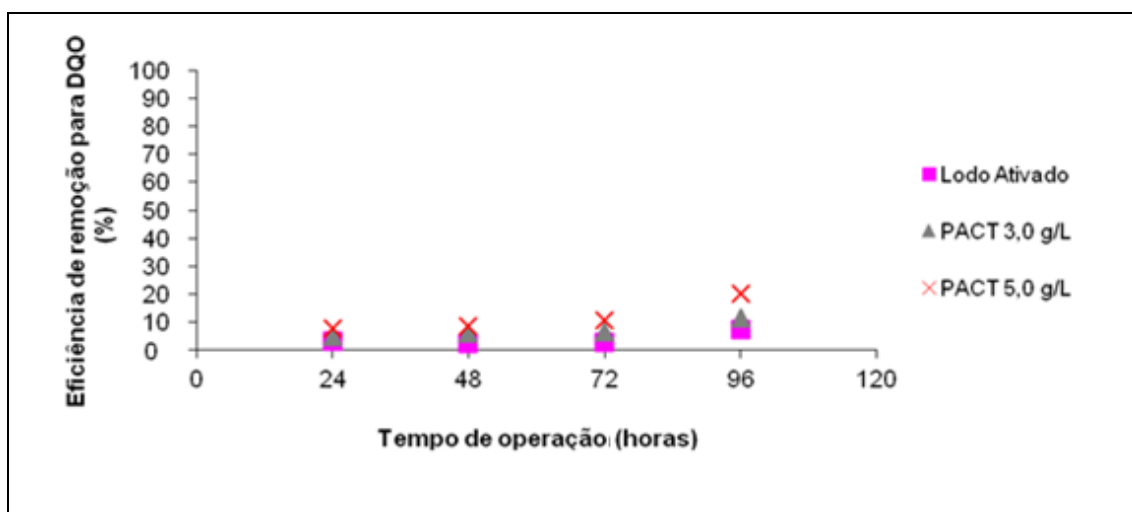


Figura 5. Eficiência de remoção do COT do lixiviado de Gericinó. Carvão Carbomafra, sem reposição de carvão. Volume reacional = 300 mL.  $C_{\text{carvão}} = 3,0$  e  $5,0$  g/L.

As Figuras 6 e 7 apresentam o monitoramento e as eficiências de remoção para a DQO sem reposição de carvão nos sistemas controle, Lodo ativado, PACT 3,0 g/L e PACT 5,0 g/L.



**Figura 6. Monitoramento da DQO do lixiviado de Gericinó. Carvão Carbomafra, sem reposição de carvão. Volume reacional = 300 mL.  $C_{\text{carvão}} = 3,0$  e  $5,0$  g/L.**



**Figura 7. Eficiência de remoção da DQO do lixiviado de Gericinó. Carvão Carbomafra, sem reposição de carvão. Volume reacional = 300 mL.  $C_{\text{carvão}} = 3,0$  e  $5,0$  g/L.**

Analisando as Figuras 2 e 3 do EB1, verifica-se que os processos PACT® apresentaram melhores resultados para redução da absorvância que aqueles obtidos nos processos convencionais de Lodos Ativos. Enquanto a redução promovida pelo sistema de Lodos Ativos promoveu uma redução de aproximadamente 18 %, o processo realizado com o PACT com 5 g/L promoveu remoção acima de 40 %. Percebe-se também que a eficiência de redução dos sistemas Lodos Ativos e PACT com 3g/L tiveram um comportamento oscilante. Em relação ao processo PACT com 5g/L, verifica-se este foi mais eficiente que o de 3,0 g/L e que essa eficiência tendia a aumentar de acordo com o tempo de operação. Esse resultado era esperado já que, possivelmente, a maior concentração de CAP faça com que adsorção de matéria orgânica aumente já que haverá um maior número de poros disponíveis.

Nos ensaios para COT e DQO, verifica-se que, assim como para a absorvância, os processos PACT são mais eficientes para remoção do que sistema de lodos ativados. A remoção máxima de COT observada para o sistema de lodos ativados foi de 6%, enquanto o PACT com 3g/L alcançou 31% e o PACT com 5g/L alcançou 59%. Em relação à DQO, o sistema de Lodos Ativos alcançou 7% de remoção e o valor máximo alcançado com o PACT com 5g/L foi de 20%. Percebe-se que a eficiência do processo com Lodos Ativos, além de discreta em relação aos com carvão, também apresentou uma distribuição irregular, com quedas e aumentos de acordo com o tempo de operação. O fato do lixiviado apresentar altos valores de COT e DQO indica que ele

tem uma grande quantidade de matéria orgânica que pode ser de origem predominantemente recalcitrante e que o lodo ativado não tem capacidade de degradar, o que explicaria os baixos valores de eficiência de remoção para o sistema convencional.

## ENSAIO DE BIOTRATABILIDADE 2 (EB2)

As Figuras 8 e 9 apresentam os monitoramentos e as eficiências de redução para a absorvância sem reposição de carvão nos sistemas controle, Lodo ativado, PACT 3,0 g/L e PACT 5,0 g/L para o CAP Norit.

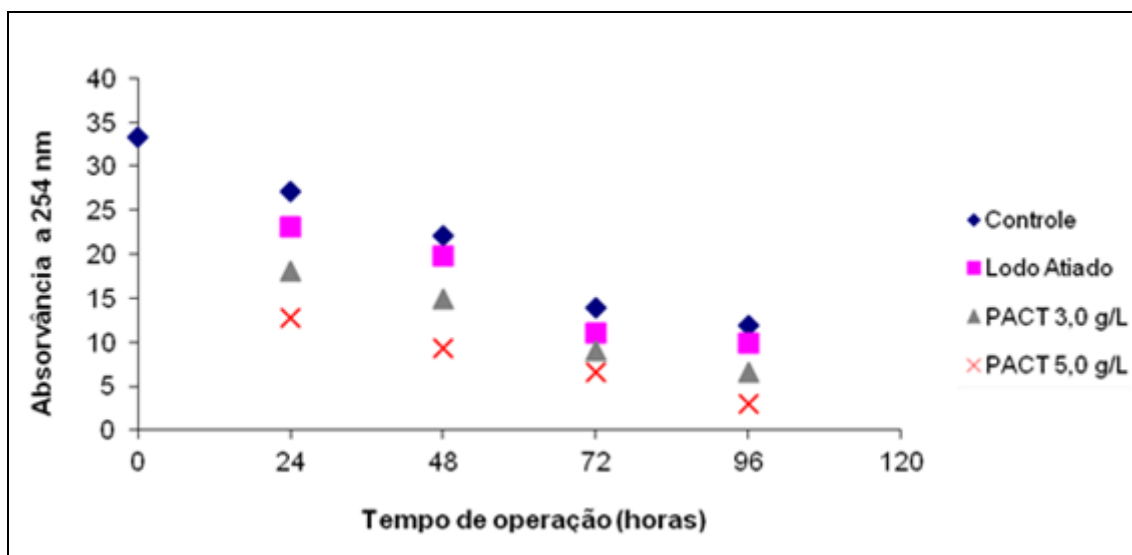


Figura 8. Monitoramento da Absorvância a 254nm do lixiviado de Gericinó. Carvão Norit, sem reposição de carvão. Volume do meio reacional = 300 mL.  $C_{\text{carvão}} = 3,0$  e  $5,0$  g/L.

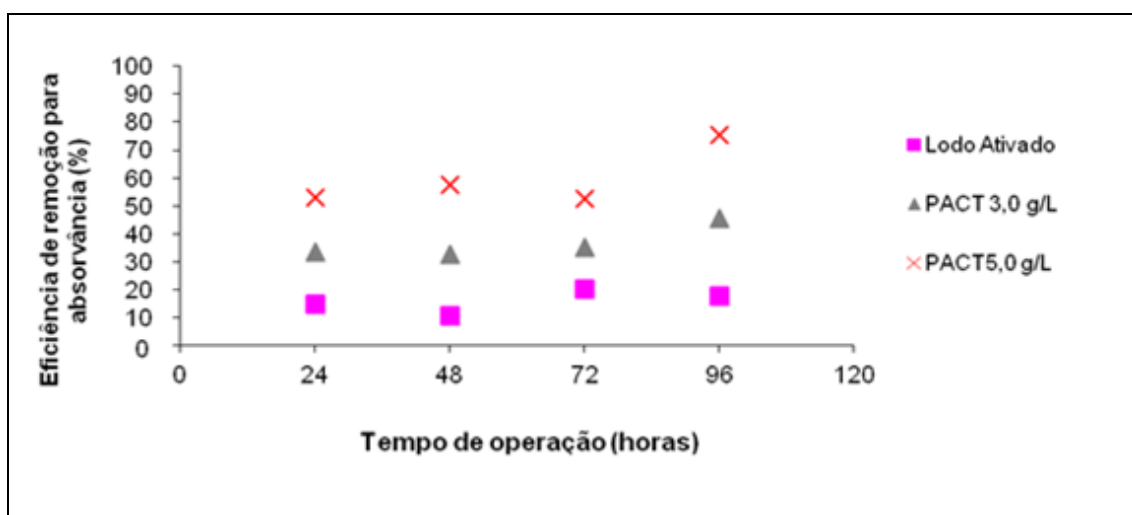


Figura 9. Eficiência de redução da Absorvância a 254nm do lixiviado de Gericinó. Carvão Norit, sem reposição de carvão. Volume reacional = 300 mL.  $C_{\text{carvão}} = 3,0$  e  $5,0$  g/L.

As Figuras 10 e 11 apresentam o monitoramento e as eficiências de remoção para o COT sem reposição de carvão nos sistemas controle, Lodo ativado, PACT 3,0 g/L e PACT 5,0 g/L, para o CAP Norit.

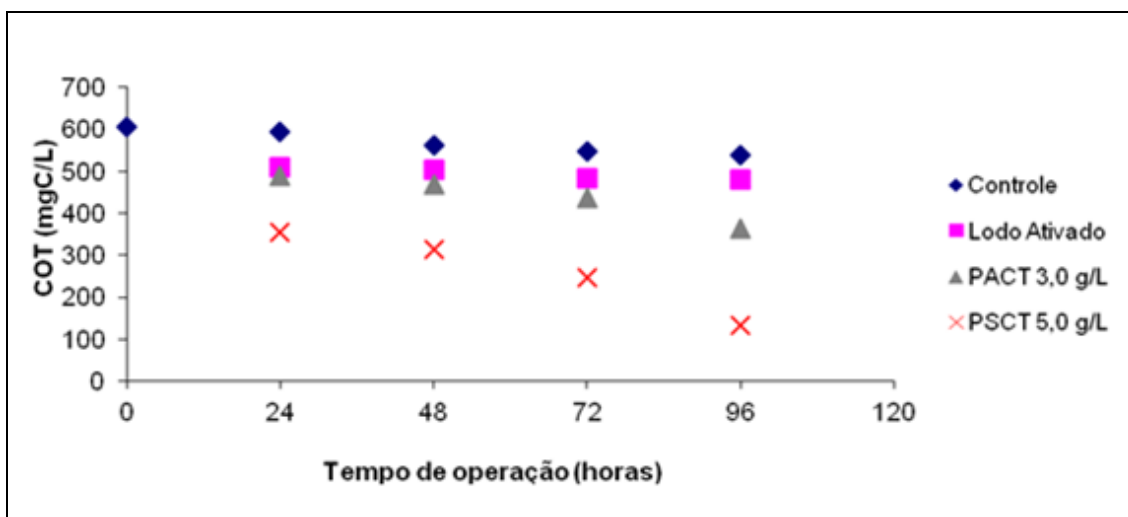


Figura 10. Monitoramento do COT do lixiviado de Gericinó. Carvão Norit, sem reposição de carvão. Volume reacional = 300 mL.  $C_{\text{carvão}} = 3,0$  e  $5,0$  g/L.

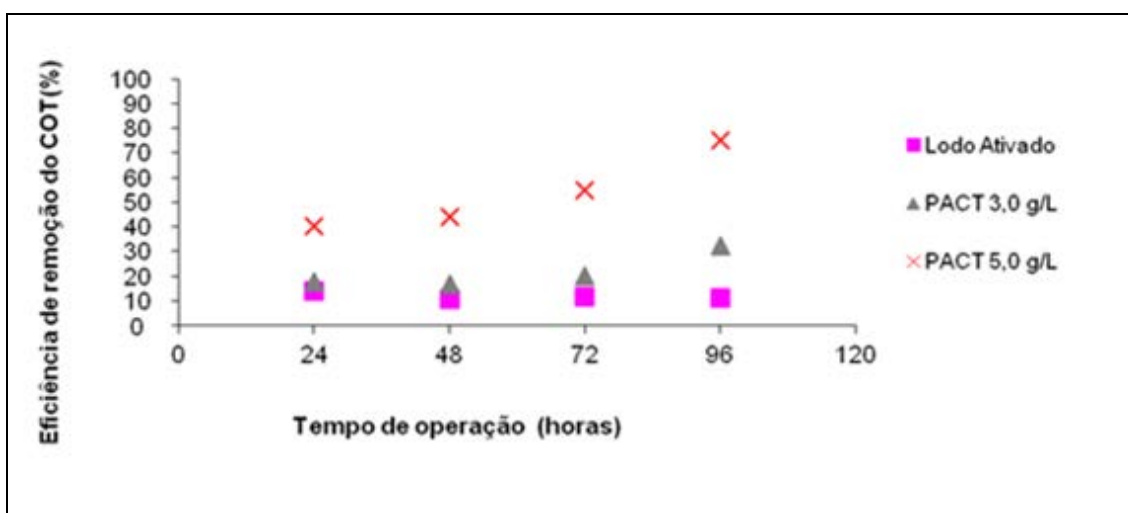
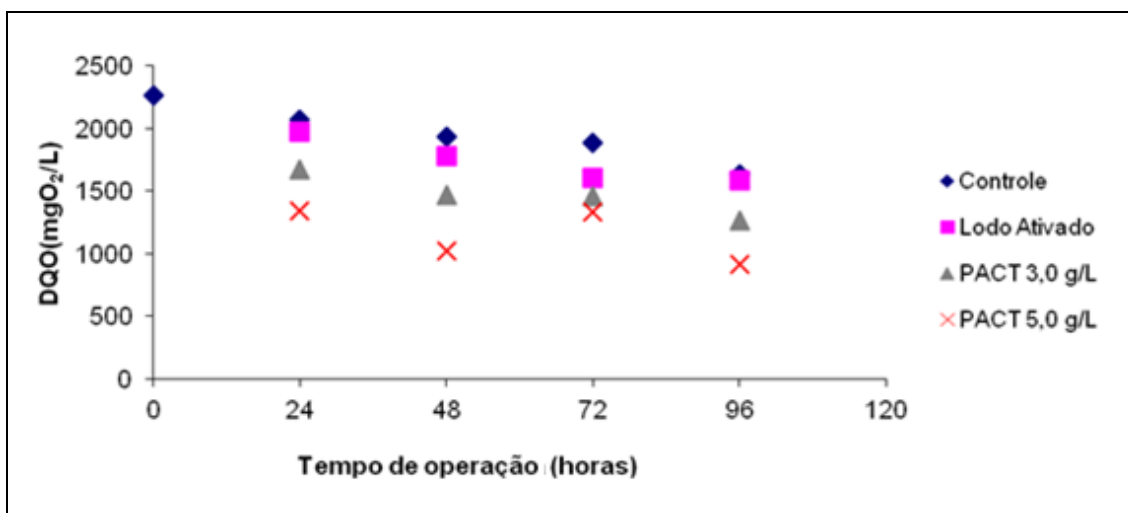
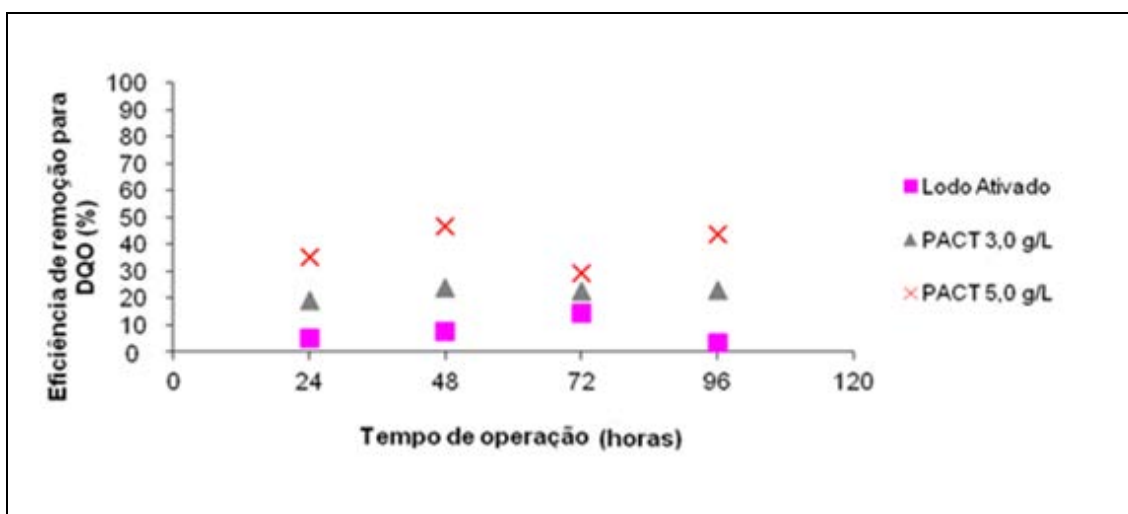


Figura 11. Eficiência de remoção do COT do lixiviado de Gericinó. Carvão Norit, sem reposição de carvão. Volume reacional = 300 mL.  $C_{\text{carvão}} = 3,0$  e  $5,0$  g/L.

As Figuras 12 e 13 apresentam o monitoramento e as eficiências de remoção para a DQO sem reposição de carvão nos sistemas controle, Lodo ativado, PACT 3,0 g/L e PACT 5,0 g/L.



**Figura 12. Monitoramento da DQO do lixiviado de Gericinó. Carvão Norit, sem reposição de carvão. Volume reacional = 300 mL.  $C_{\text{carvão}} = 3,0$  e  $5,0$  g/L.**



**Figura 13. Eficiência de remoção da DQO do lixiviado de Gericinó. Carvão Norit, sem reposição de carvão. Volume reacional = 300 mL.  $C_{\text{carvão}} = 3,0$  e  $5,0$  g/L.**

Analisando o EB2, verifica-se que os processos PACT, novamente foram mais eficientes que o processo de Lodos Ativados, como se pode observar pela Figura 9. A redução subiu de 17% do sistema de Lodos Ativados para 75 % do PACT com 5g/L. Nesse ensaio a redução em de um sistema para o outro foi mais acentuada do que aquele verificado no EB1. Como a única diferença entre os ensaios foi o tipo de CAP, isso pode indicar que o CAP Norit é mais eficiente na remoção da matéria orgânica e consequente na diminuição dos valores de absorvância.

Para o COT e DQO, os resultados dos processos PACT também foram mais satisfatórios que os processos de Lodos Ativados. No caso do COT, a eficiência verificada usando o PACT com 5g/L foi de 75 % enquanto à do sistema de Lodos Ativados foi de apenas 11%. A melhora na remoção foi mais acentuada do que àquela verificada no EB1. No caso da DQO, verifica-se que a remoção da matéria orgânica promovida pelo processo de Lodos Ativados ficou em torno de 15%, bastante inferior aos 25% promovidos pelo processo PACT com 3g/L e aos 47% pelo processo PACT com 5g/L, como podemos observar na figura 13. Isso sugere que a adição de CAP, especialmente de CAP Norit, ao Lodo é fundamental numa boa remoção de matéria orgânica.

### ENSAIO DE BIOTRATABILIDADE 3 (EB3)

As Figuras 14 e 15 apresentam os monitoramentos e as eficiências de redução para a absorvância com reposição de carvão nos sistemas controle, Lodo ativado, PACT 3,0 g/L e PACT 5,0 g/L.

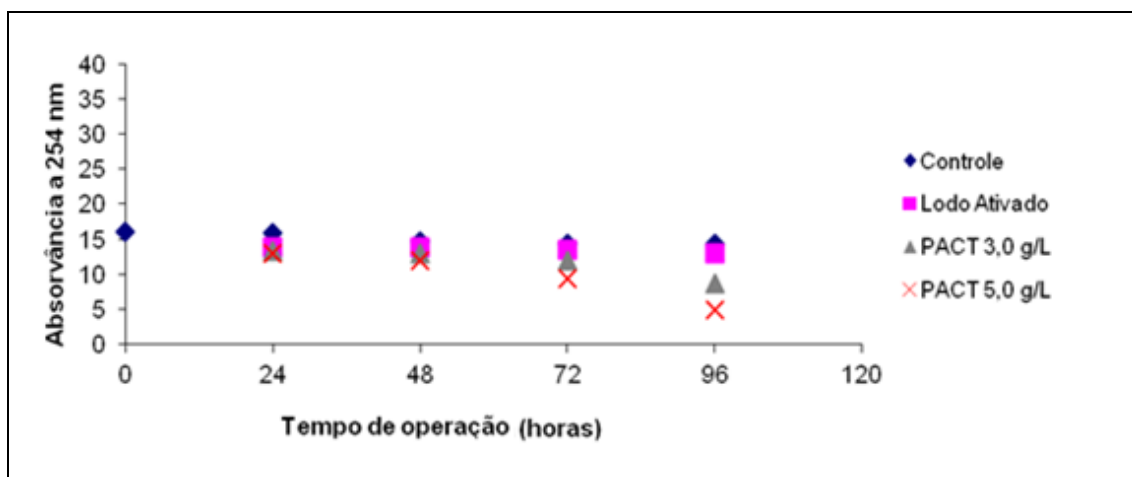


Figura 14. Monitoramento da Absorvância a 254nm do lixiviado de Gericinó. Carvão Carbomafra, com reposição de carvão. Volume do meio reacional = 300 mL.  $C_{\text{carvão}} = 3,0$  e  $5,0$  g/L.

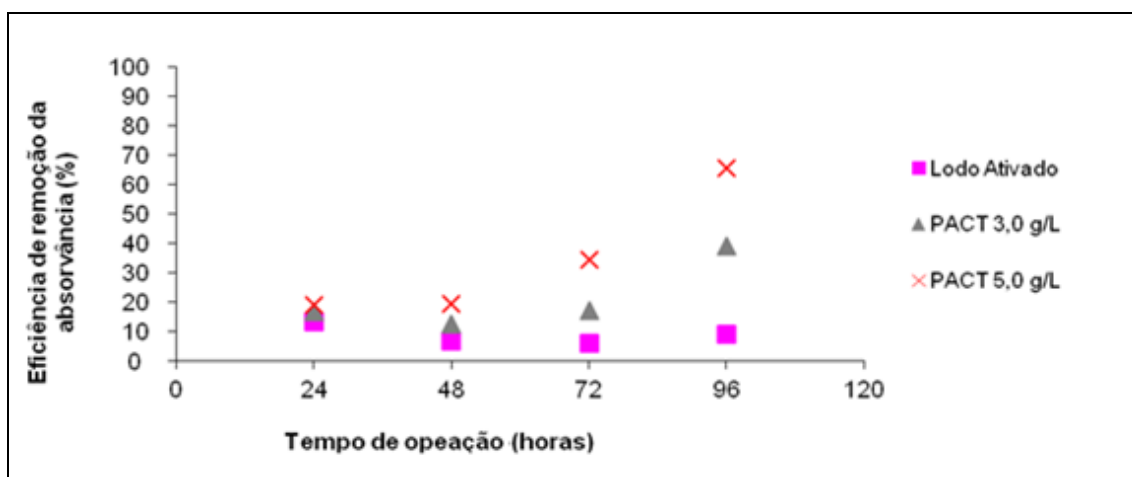


Figura 15. Eficiência de redução da Absorvância a 254nm do lixiviado de Gericinó. Carvão Carbomafra, com reposição de carvão. Volume reacional = 300 mL.  $C_{\text{carvão}} = 3,0$  e  $5,0$  g/L.

As Figuras 16 e 17 apresentam o monitoramento e as eficiências de remoção para o COT com reposição de carvão nos sistemas controle, Lodo ativado, PACT 3,0 g/L e PACT 5,0 g/L.

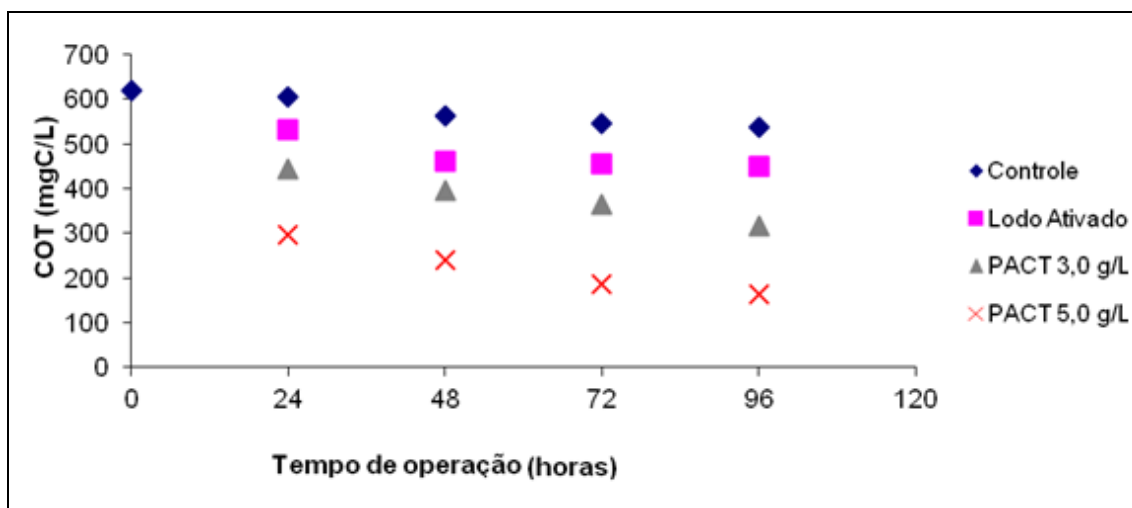


Figura 16. Monitoramento do COT do lixiviado de Gericinó. Carvão Carbomafra, com reposição de carvão e com reposição de lixiviado. Volume reacional = 300 mL.  $C_{\text{carvão}} = 3,0$  e  $5,0$  g/L.

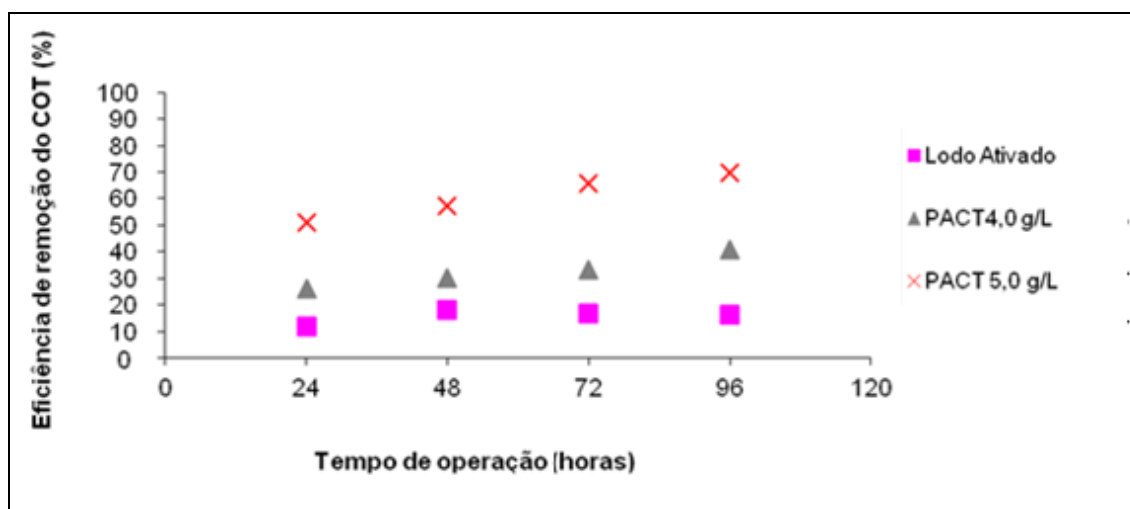
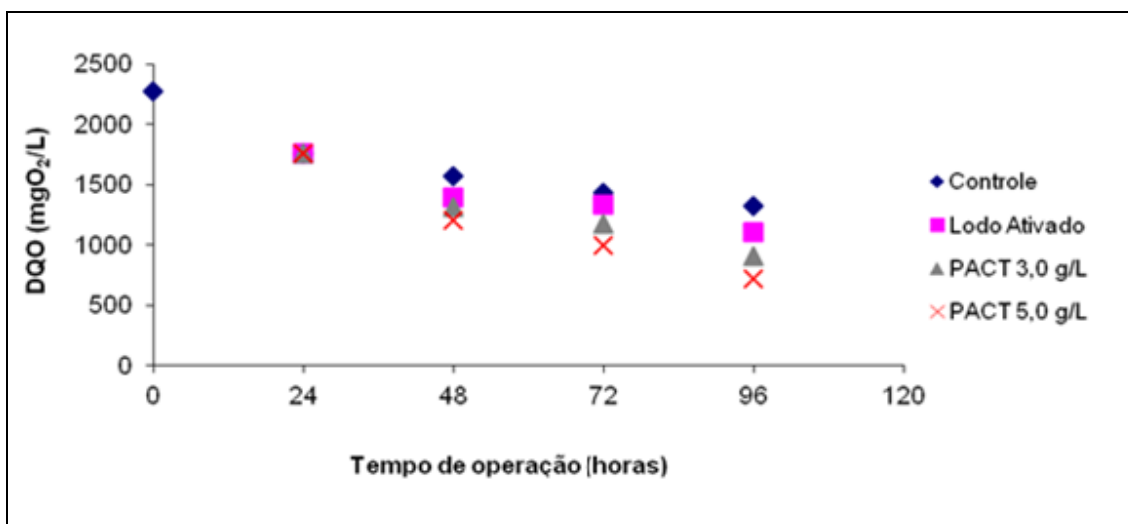


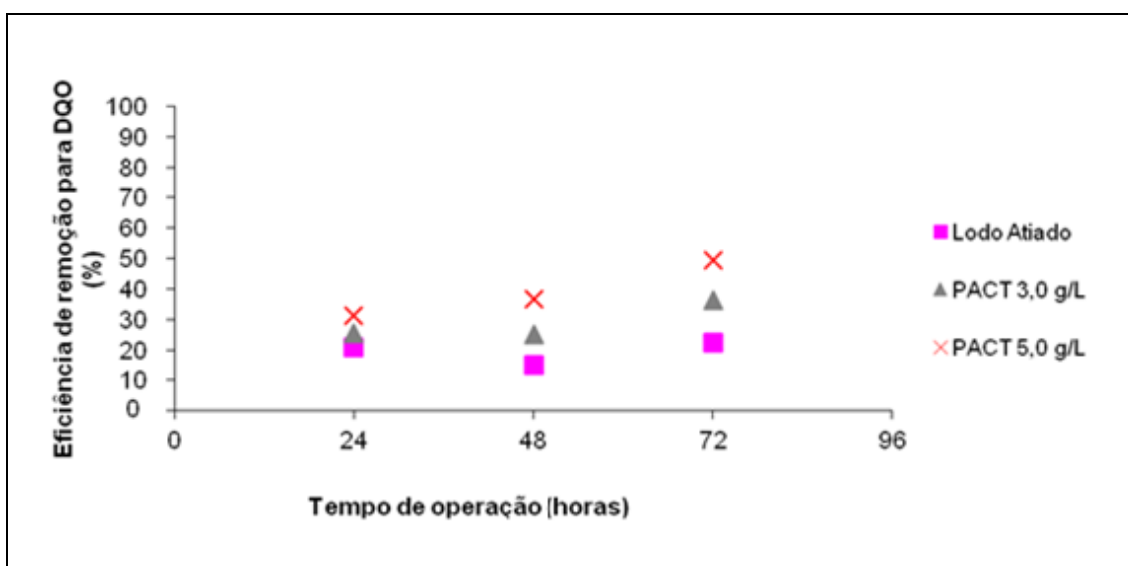
Figura 17. Eficiência de remoção do COT do lixiviado de Gericinó. Carvão Carbomafra, com reposição de carvão. Volume reacional = 300 mL.  $C_{\text{carvão}} = 3,0$  e  $5,0$  g/L.

As Figuras 18 e 19 apresentam o monitoramento e as eficiências de remoção para a DQO sem reposição de carvão nos sistemas controle, Lodo ativado, PACT 3,0 g/L e PACT 5,0 g/L.





**Figura 18. Monitoramento da DQO do lixiviado de Gericinó. Carvão Carbomafra, com reposição de carvão. Volume reacional = 300 mL.  $C_{\text{carvão}} = 3,0$  e  $5,0$  g/L.**



**Figura 19. Eficiência de remoção da DQO do lixiviado de Gericinó. Carvão Carbomafra, com reposição de carvão. Volume reacional = 300 mL.  $C_{\text{carvão}} = 3,0$  e  $5,0$  g/L.**

A reposição do CAP mostrou-se um fator importante na redução da absorvância. Como visto nas Figuras 2 e 14, a eficiência do PACT com 3g/L do CAP Carbomafra, aumentou de 18 para 39% do EB1 para o EB3 e em relação ao PACT com 5g/L o aumento foi 44 para 66%. Já para o CAP Norit, a diferença de um ensaio em relação ao outro foi de 45 para 71% (PACT com 3g/L) e de 75 para 85% (PACT com 5g/L). É também possível observar que o aumento da concentração no processo PACT com 3,0g/L para 5,0g/L aumentou a redução de absorvância.

#### ENSAIO DE BIOTRATABILIDADE 4 (EB4)

As Figuras 21 e 22 apresentam os monitoramentos e as eficiências de redução para a Absorvância com reposição de carvão nos sistemas controle, Lodo ativado, PACT 3,0 g/L e PACT 5,0 g/L.

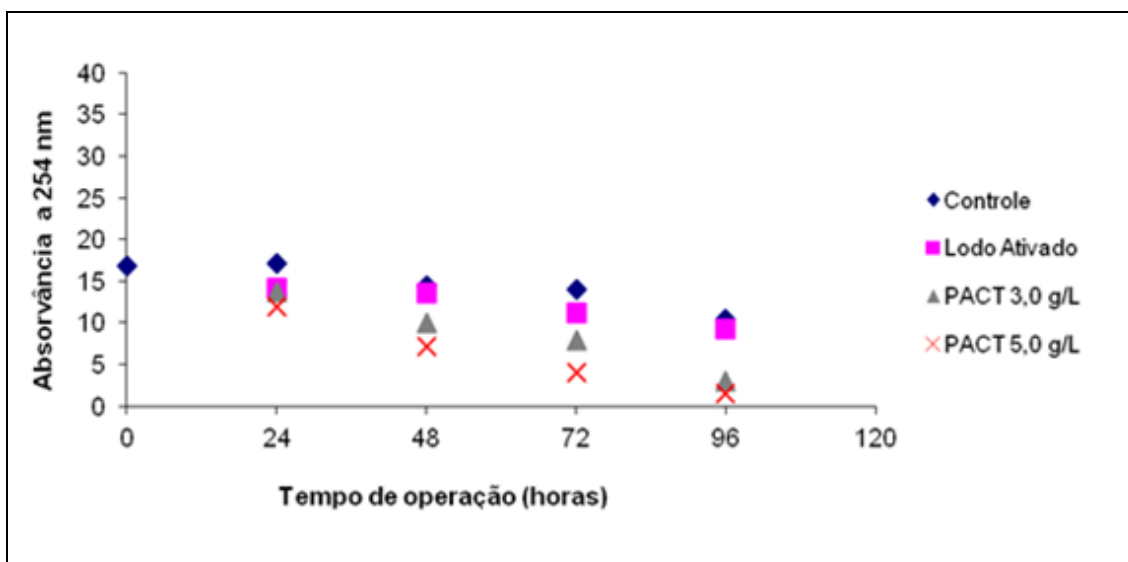


Figura 21. Monitoramento da Absorvância a 254nm do lixiviado de Gericinó. Carvão Norit, com reposição de carvão. Volume do meio reacional = 300 mL.  $C_{\text{carvão}} = 3,0$  e  $5,0\text{g/L}$ .

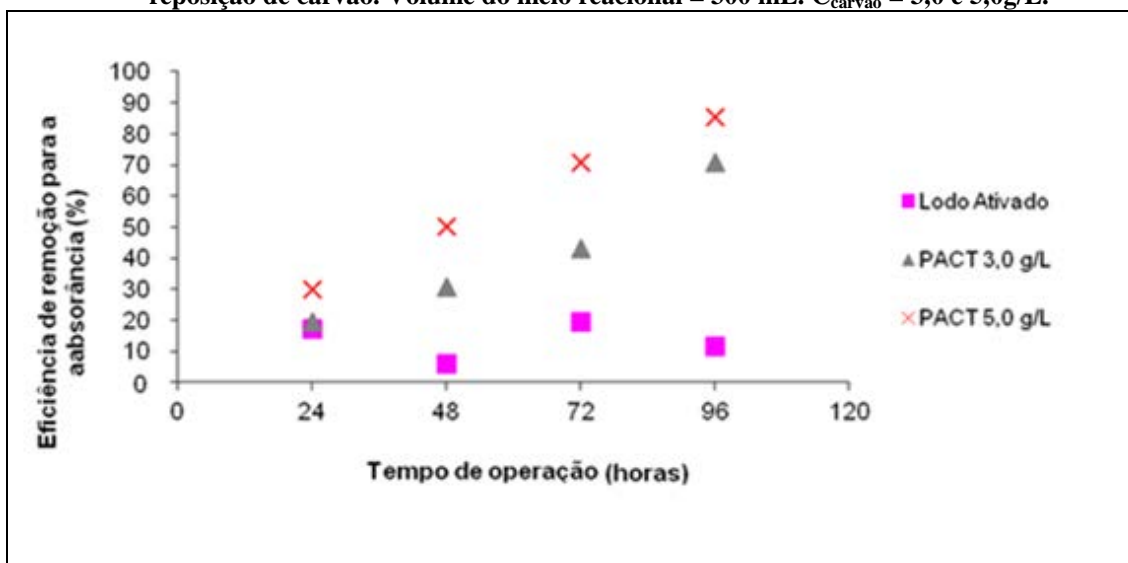


Figura 22. Eficiência de redução da Absorvância a 254nm do lixiviado de Gericinó. Carvão Norit, com reposição de carvão. Volume reacional = 300 mL.  $C_{\text{carvão}} = 3,0$  e  $5,0\text{g/L}$ .

As Figuras 23 e 24 apresentam o monitoramento e as eficiências de remoção para o COT com reposição de carvão nos sistemas controle, Lodo ativado, PACT 3,0 g/L e PACT 5,0 g/L.

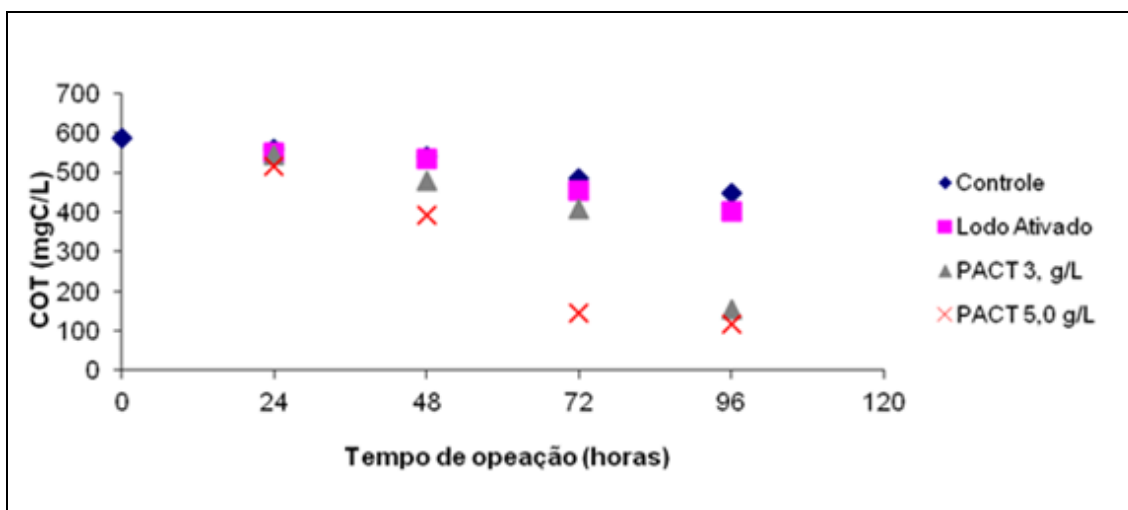


Figura 23. Monitoramento do COT do lixiviado de Gericinó. Carvão Norit, com reposição de carvão. Volume reacional = 300 mL.  $C_{\text{carvão}} = 3,0$  e  $5,0$  g/L.

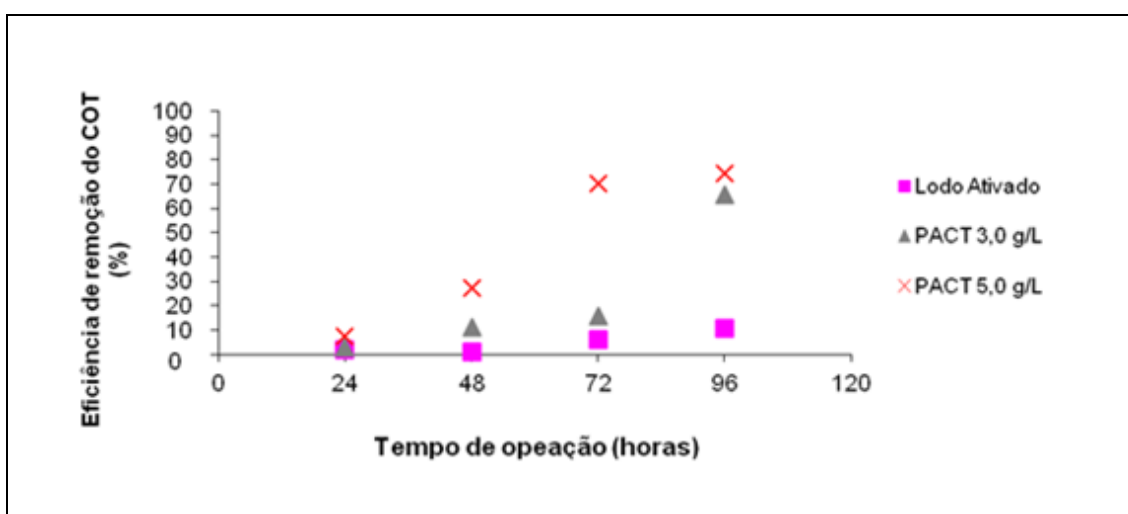
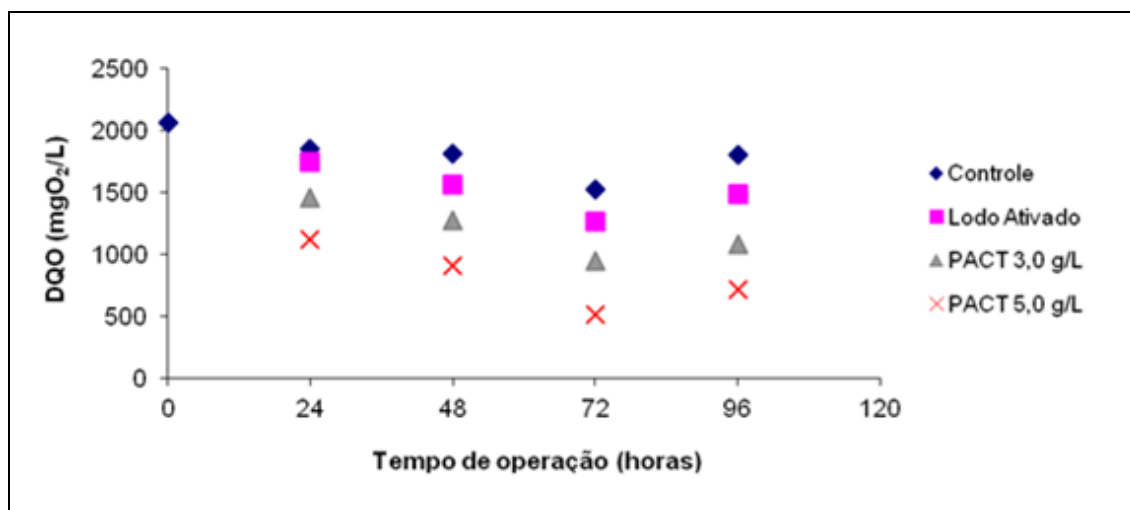
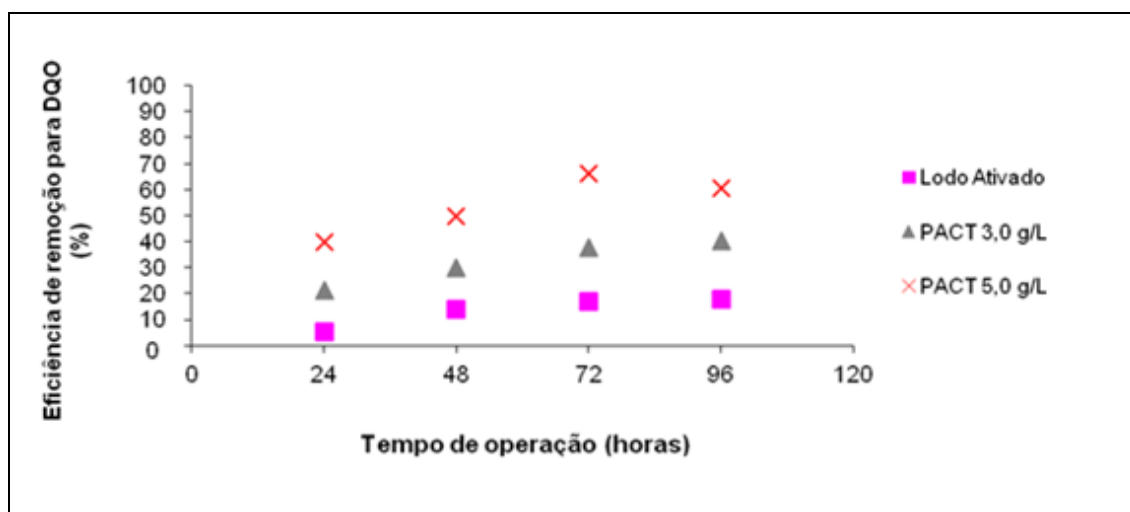


Figura 24. Eficiência de remoção para o COT do lixiviado de Gericinó. Carvão Norit, com reposição de carvão. Volume reacional = 300 mL.  $C_{\text{carvão}} = 3,0$  e  $5,0$  g/L.

As Figuras 25 e 30 apresentam o monitoramento e as eficiências de remoção para a DQO com reposição de carvão nos sistemas controle, Lodo ativado, PACT 3,0 g/L e PACT 5,0 g/L.



**Figura 25. Monitoramento da DQO do lixiviado de Gericinó. Carvão Norit, com reposição de carvão. Volume reacional = 300 mL.  $C_{\text{carvão}} = 3,0$  e  $5,0\text{g/L}$ .**



**Figura 26. Eficiência de redução da Absorvância a 254nm do lixiviado de Gericinó. Carvão Norit, com reposição de carvão. Volume reacional = 300 mL.  $C_{\text{carvão}} = 3,0$  e  $5,0\text{g/L}$ .**

A eficiência de redução promovida pelo CAP Norit, em geral, foi maior do que a do CAP Carbomafra. É notável que a redução da absorvância promovida pelos sistemas PACT de CAP Norit no EB2 (sem reposição) foram maiores que a promovida pelos PAC de CAP Carbomafra no EB3 (com reposição). Isso indica que, provavelmente, os processos PACT contendo CAP Norit são os mais indicados para remoção de compostos aromáticos ou de cadeias insaturadas.

Ainda em relação à reposição, percebe-se que o resultado para DQO está de acordo com o esperado, já que as eficiências observadas no EB3 e no EB4 foram superiores aos dos EB1 e EB2 e, o melhor resultado mais uma vez foi obtida pelo CAP Norit com 66% de remoção no EB4. Já para o COT, os PACT sem reposição apresentaram, nos dois primeiros dias de operação, resultados melhores que os com reposição, no caso do CAP Norit. O PACT com 3g/L do EB2 apresentou remoções de 18, 17 e 20 % nos tempos de bateladas de 24, 48 e 72h enquanto o PACT com 3g/L do EB4 apresentou, respectivamente, os valores de 3, 11 e 17%. Já para o PACT com 5g/L essas eficiências foram 40, 44 e 45% no EB2 e 8,27 e 74 no EB4. Observou-se, portanto, que o PACT dos ensaios com reposição foram tão ou mais eficientes que os sem reposição. No caso do DQO, os resultados foram mais coerentes apresentando melhores resultados para o PACT com 5g/L do CAP Norit.

Em se tratando de reposição de CAP, nota-se que os ensaios EB3 e EB4 apresentaram maiores eficiências de remoção para todos os parâmetros quando comparados aos ensaios onde não houve reposição de CAP (EB1 e EB2). Isso se deve ao fato de que a reposição de carvão nos ensaios em batelada aumenta a atividade biológica e, consequentemente, a capacidade de adsorção do sistema.

Existem diferentes argumentos sobre o mecanismo do Carvão Ativado em Pó (CAP) intensificar o processo de Lodos Ativados. O efeito sinérgico desse processo combinado estimula a atividade biológica e/ou a bioregeneração da capacidade de adsorção do carvão ativado.

## CONCLUSÕES

Dentre as três marcas de CAP utilizados na etapa preliminar de ensaios de isotermas de adsorção, o CAP Norit tipo Sae-super E114 de origem betuminosa apresentou melhor desempenho seguido pelo CAP Carbomafra tipo: 118 CB AS nº 170 de origem vegetal. Portanto conclui-se que o CAP Norit possui uma capacidade de remoção de matéria orgânica muito mais efetiva do que os CAP Brasilac e Carbomafra.

Quando introduzidos nos sistemas de lodos ativados para simular o processo PACT, os CAP Norit e Carbomafra mostraram uma eficiência maior de remoção da matéria orgânica. Estes resultados puderam ser observados através das análises de absorvância em 254nm, COT e DQO. A eficiência obtida pela adição de CAP não se deve somente a remoção de matéria orgânica por adsorção, mas também através da estabilidade que o CAP proporciona ao sistema em condições adversas (Variação da vazão de alimentação, lixiviado com altas cargas de fenóis e compostos recalcitrantes, etc.)

Entre os processos PACT, observa-se que o de maior concentração (5,0 g/L) teve eficiências de remoção maiores do que o PACT 3,0 g/L. Isso indica que o aumento da concentração de CAP no sistema de Lodos Ativados promove maior estabilidade ao processo, porque promove uma remoção maior da matéria orgânica recalcitrante responsável por aumentar a toxicidade do lixiviado.

## AGRADECIMENTOS

À Companhia Municipal de Limpeza Urbana do Município do Rio de Janeiro (COMLURB) pelo envio das amostras, ao CNPq pela Bolsa de Mestrado e à FAPERJ pelo auxílio financeiro.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BRASIL, C.P. BRANDÃO, CCS. Avaliação da remoção de microcistina em águas de abastecimento público por diferentes carvões ativados em pó produzidos no Brasil. Im: 23º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, Anais. Campo Grande; ABES-2005.
2. ECKENFELDER, W. W. J. Industrial Water Pollution Control, Third Edition, *The McGraw-Hill Series in Water Resources and Environmental Engineering*, 2000.
3. FOO, K.Y.; HAMEED, B.H. An overview of landfill leachate treatment via activated carbon adsorption process. *The Journal of Hazardous Materials*. J Hazard Mater. 2009 Nov 15;171(1-3):54-60
4. MÜLLER, C.C., RAYA-RODRIGUEZ, M.T., CYBIS, L.F. “Adsorção em carvão ativado em pó para remoção de microcistina de água de abastecimento público”. *Eng. Sanitária e Ambiental*, v. 14 n.1/ jan/março 2009,29-38.
5. SOUSA, H. A.; ROESER, H. M. P.; MATOS, A. T. Métodos e técnicas aplicados na avaliação ambiental do aterro da BR-040 da Prefeitura Municipal de Belo Horizonte – MG. *Rem: Rev. Esc. Minas* vol.55 no.4 Ouro Preto Oct./Dic. 2002.