

MELHORAMENTO DE EFLUENTES DA INDÚSTRIA DE
CELULOSE E PAPEL POR CARVÃO ATIVADO BIOLÓGICO

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS

MELHORAMENTO DE EFLUENTES DA INDÚSTRIA DE
CELULOSE E PAPEL POR CARVÃO ATIVADO BIOLÓGICO

Autor : SILVIANI FROEHLICH

Orientador : SÉRGIO JOÃO DE LUCA

Co-Orientador : LUIS OLINTO MONTEGGIA

PORTO ALEGRE, RS, MAIO/1987.

MELHORAMENTO DE EFLUENTES DA INDÚSTRIA DE
CELULOSE E PAPEL POR CARVÃO ATIVADO BIOLÓGICO

Trabalho apresentado como requisito
para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Civil - Recursos Hídricos
e Saneamento.

AGRADECIMENTOS

- A Rio Grande Companhia de Celulose do Sul S.A. pela oportunidade de realização do trabalho e pelo apoio de infraestrutura.

- Aos laboratoristas do Departamento de Controle Ambiental da RIOCELL pela participação na realização do trabalho, viabilizando a execução do mesmo.

- Ao professor orientador Sérgio João de Luca e ao co-orientador professor Luis Olinto Monteggia.

- Ao Laboratório de Saneamento e Biblioteca do Instituto de Pesquisas Hidráulicas-UFRGS no auxílio a pesquisa.

- A todas as pessoas que estiveram direta ou indiretamente envolvidas na realização deste trabalho.

RESUMO

O tratamento de efluentes da indústria de celulose e papel pelo processo de lodos ativados é altamente influenciado pelas características físico-químicas dos dejetos e pelas cargas tóxicas que podem promover o desequilíbrio do processo biológico.

Recentemente o carvão ativado tem sido utilizado em estações de tratamento de efluentes através de diversos processos, quando há a necessidade de uma remoção mais efetiva de compostos refratários, que não são removidos através de tratamentos convencionais.

A adição de carvão ativado ao sistema biológico confere uma série de vantagens ao processo. Através do fenômeno de adsorção, compostos são concentrados na superfície do carvão melhorando a atividade biológica e removendo compostos refratários e tóxicos ao processo, promovendo uma maior estabilização do efluente tratado e uma mais alta eficiência de remoção.

Realizou-se um estudo de adição de carvão ativado diretamente ao reator biológico, numa estação experimental, utilizando efluente de uma indústria de celulose e papel. Análises de Demanda Bioquímica de Oxigênio, Demanda Química de Oxigênio, Cor, Sólidos Suspensos, Metais, Alquil Benzeno Sulfonato e da microbiologia do lodo foram realizadas para acompanhamento do desempenho da unidade.

Os resultados obtidos demonstram a melhoria na eficiência do processo, para todos os parâmetros testados, bem como uma maior estabilização na qualidade do efluente tratado.

O custo de implantação do processo combinado lodo ativado-carvão ativado é bastante reduzido para indústrias que tratam o efluente através do processo de lodos ativados, já que não existe a necessidade de instalações adicionais, e, o carvão ativado pode ser regenerado e reutilizado no processo.

ABSTRACT

The treatment of paper pulp industry effluents using activated sludge is strongly influenced by the physical and chemical characteristics of the wastes and by the toxic loads which may upset the balance of the biological process.

Lately, activated carbon has been used in wastewater treatment plants, utilizing different processes when it is necessary to achieve a more effective removal of refractory compounds which are not removable through conventional processes.

Adding activated carbon to the biological systems presents various advantages for the process. Through the adsorption phenomenon, compounds are concentrated on the surface of the carbon, improving biological activity and removing refractory and toxic compounds, and further stabilizing the treated effluent, besides providing more effective removal.

A study was performed adding activated carbon directly to the biological reactor in an experimental plant, using effluent from a paper pulp factory. Analysis of the BOD, COD, color, suspended solids, metals, alkyl-benzene-sulphonate and sludge microbiology were carried out to observe the unit performance.

The results obtained demonstrate improved efficiency

of the process for all parameters tested, as well as greater stability of the quality of treated effluent.

The cost of implementing the combined activated sludge-activated carbon process is rather low for industries which treat effluent with the activated sludge process, since it is unnecessary to build additional facilities and the activated carbon utilized can be regenerated and reused.

SUMÁRIO

RESUMO	v
ABSTRACT	vii
RELAÇÃO DE FIGURAS	xii
RELAÇÃO DE QUADROS	xiv
RELAÇÃO DE ABREVIATURAS	xv
1 - INTRODUÇÃO	1
2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
2.1. Considerações Gerais	6
2.2. Descrição do Processo	6
2.3. Comparação de Sistemas de Tratamento	9
2.4. Aplicação Industrial	15
2.4.1. Performance da Estação de Tratamento	15
2.5. Mecanismos de Remoção de Poluentes	18
2.5.1. Introdução	18
2.5.2. Adsorção no Carvão Ativado	18
2.5.3. Degradação Biológica	21
2.5.3.1. Introdução	21
2.5.3.2. Remoção do substrato	22
2.5.3.3. Flocculação	22
2.5.3.4. Características de sedimentação ...	23
2.5.4. Carvão e Biomassa	25
2.6. Variáveis do Processo	27
2.6.1. Considerações Gerais	27
2.6.2. Efluente Bruto	27
2.6.3. Carvão Ativado	28

2.6.3.1.	Porosidade e adsorção	28
2.6.3.2.	Fatores influentes da adsorção	30
2.6.3.3.	Efeitos do tipo e dosagem de carvão.	31
2.6.4.	Toxidez	35
2.6.5.	pH	36
2.6.6.	Oxigênio Dissolvido	36
2.6.7.	Idade do Lodo	37
2.7.	Características dos Parâmetros de Controle..	39
2.7.1.	Sedimentação de Sólidos	39
2.7.2.	Manuseio do Lodo	40
2.7.3.	Remoção de Cor	42
2.7.4.	Remoção de Orgânicos	44
2.7.5.	Remoção de Metais Traços	45
2.7.5.1.	Considerações gerais	45
2.7.5.2.	Metais pesados no processo de lodos ativados	45
2.7.5.3.	Adsorção no carvão ativado	46
2.7.5.4.	Efeito de metais no sistema combina- do lodo ativado-carvão ativado	48
2.7.6.	Remoção de Poluentes Orgânicos	50
2.7.6.1.	Adsorção de poluentes orgânicos.....	50
2.8.	Fabricação de Carvão Ativado em Indústria de Celulose	52
3 -	MATERIAIS E MÉTODOS	54
3.1.	Desenvolvimento do Trabalho	55
3.2.	Características da Estação de Tratamento da Indústria de Celulose	56
3.3.	Localização	57
3.4.	Descrição do Material	57
3.4.1.	Características do Carvão Ativado	57
3.4.2.	Efluente	58
3.5.	Estação Experimental	60
3.5.1.	Descrição da Estação Experimental	60
3.5.2.	Operação da Estação Experimental	61
3.5.3.	Semeadura	66
3.5.4.	Ensaio de Sedimentação	66

3.5.5. Idade do Lodo	67
3.6. Parâmetros Analisados	68
3.7. Isotermas de Adsorção	71
3.8. Adição de Polieletrólito	73
4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO	75
4.1. Isotermas de Adsorção	76
4.2. Condições de Operação	81
4.3. Padrões Exigidos para o Efluente Tratado	83
4.4. Microbiologia do Lodo Ativado	84
4.5. Demanda Bioquímica de Oxigênio	92
4.6. Demanda Química de Oxigênio	94
4.7. Cor	103
4.8. Sólidos em Suspensão	112
4.9. Redução de Espuma	113
4.10. Remoção de Metais	118
5 - CONCLUSÕES	120
6 - RECOMENDAÇÕES	125
7 - BIBLIOGRAFIA	127
<u>ANEXO 1</u>	
Dados obtidos durante a operação da unidade	136
<u>ANEXO 2</u>	
Ensaio de sedimentação e análises microbiológicas ...	140
<u>ANEXO 3</u>	
Análise de variabilidade dos parâmetros de controle da estação piloto	166

RELAÇÃO DE FIGURAS

2.1.	Ilustração geral do processo combinado lodo ativado-carvão ativado	7
2.2.	Remoção diária de DBO_5 solúvel	17
2.3.	Remoção diária de cor	17
2.4.	Efeito do tipo e dosagem de carvão no efluente DBO_5 solúvel	33
2.5.	Efeito do tipo e dosagem de carvão no efluente cor solúvel	34
2.6.	Efeito do tipo e dosagem de carvão no efluente COT solúvel	34
2.7.	Efeito da dosagem de carvão na remoção de cor	43
2.8.	Efeito da dosagem de carvão na remoção de chumbo, zinco, cobre e cromo	49
3.1.	Esquema geral da estação experimental	62
4.1.	Isoterma de adsorção-carvão ativado CARBOMAFRA	77
4.2.	Isoterma de adsorção-carvão ativado ATICATA TV 190G.	78
4.3.	Isoterma de adsorção-carvão ativado MERCK	79
4.4.	Isoterma de adsorção-fenol	80
4.5.	Isoterma de adsorção-metanol	80
4.6.	Isoterma de adsorção-mistura fenol/metanol.....	80
4.7.	Remoção diária de DQO - sem carvão ativado	95
4.8.	Remoção diária de DQO - dosagem de carvão = 150 mg/l	96
4.9.	Remoção diária de DQO - dosagem de carvão = 250 mg/l	97
4.10	Porcentagem de remoção diária de DQO	101

4.11.	Variação na remoção de cor - sem adição de carvão ativado	105
4.12.	Variação na remoção de cor - dosagem de carvão = 150 mg/1	107
4.13.	Variação na remoção de cor - dosagem de carvão = 250 mg/1	109
4.14.	Porcentagem de remoção diária de cor	111
4.15.	Remoção diária de sólidos suspensos - sem carvão ativado	113
4.16.	Remoção diária de sólidos suspensos - dosagem de carvão = 150 mg/1	114
4.17.	Remoção diária de sólidos suspensos - dosagem de carvão = 250 mg/1	116

RELAÇÃO DE FOTOMICROFOTOGRAFIAS

4.1.	Aspectos do lodo ativado	86
4.2.	Desenvolvimento de um biofilme na superfície de carvão ativado	89
4.3.	Partícula de carvão envolta por um biofilme	90
4.4.	Flocos formados com a adição de carvão ativado no processo de lodos ativados	91

RELAÇÃO DE QUADROS

2.1.	Comparação qualitativa de sistemas de tratamento biológico e de adsorção	11
2.2.	Desempenho médio das unidades biológicas e de carvão ativado associadas	12
2.3.	Comparação de processos: lodo ativado mais coluna de carvão ativado granular vs carvão ativado-lodo ativado combinado	14
2.4.	Estação de tratamento de efluentes em escala industrial	16
2.5.	Efeito do tipo e da dosagem de carvão ativado na qualidade do efluente de uma refinaria de petróleo	32
2.6.	Efeito da adição de metais na remoção de DBO	49
2.7.	Carvões ativados a partir de resíduos de celulose...	52
3.1.	Propriedades físicas dos carvões ativados utilizados	58
3.2.	Composição do esgoto sintético	59
4.1.	Padrões de emissão do efluente industrial tratado...	83
4.2.	Remoção de DBO na estação experimental	92
4.3.	Remoção de metais	118

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

ABS	Alquil Benzeno Sulfonato
APHA	American Public Health Association
C	Concentração residual de DQO e cor
C_e	Concentração de equilíbrio do carvão no licor de mistura
C_i	Concentração de carvão
C_o	Concentração inicial de DQO e cor
COT	Carbono orgânico total
COTS	Carbono orgânico total solúvel
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DMA	Departamento de Meio Ambiente
DQO	Demanda Química de Oxigênio
DQOS	Demanda Química de Oxigênio solúvel
F/M	Taxa alimento-microrganismo
L _{Tm}	Limite de tolerância média
M	Peso de carvão na amostra
MLSS	Licor de mistura do reator
ND	Não detectado
nm	Nanometros
ppm	Parte por milhão
rpm	Rotações por minuto
SS	Sólidos suspensos
X	Quantidade adsorvida no carvão
θ_c	Idade do lodo
θ_h	Tempo de retenção hidráulica no tanque de aeração
\bar{x}	Média
σ	Desvio padrão
C.V.	Coefficiente de variação

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

Os padrões de qualidade de efluentes industriais estão se tornando mais rigorosos, e isto tem provocado o interesse por novos processos e tecnologias de tratamento de águas residuárias.

A adição direta de carvão em pó a um sistema de tratamento biológico é um conceito bastante recente. Vem sendo desenvolvido para melhorar a qualidade do processo biológico, sendo possível obter-se uma maior remoção de poluentes a um custo bem inferior ao tratamento terciário (ROBERTACCIO, 1974; DE JOHN & ADAMS, 1975; HUTTON, 1980).

O carvão ativado é um material carbonáceo que possui uma estrutura altamente porosa e uma grande área superficial associada, que lhe confere uma elevada eficiência na adsorção de determinados compostos (COOKSON, 1980; RAMALHO, 1977; PERRICH, 1981; HASSLER, 1974).

No sistema combinado lodo ativado-carvão ativado, durante a aeração, poluentes são simultaneamente adsorvidos e biologicamente degradados (ARBUCKLE & GRIGGS, 1983; DE JOHN & BLACK, 1978). Através da adsorção, muitos poluentes que não são degradados em sistemas convencionais de tratamento de efluentes poderiam ser degradados se estivessem em um contato mais longo com a biomassa. O tempo de contato no sistema combinado lodo ativado-carvão ativado é estendido de horas para dias, quando os poluentes são adsorvidos no carvão e sedimentam com o lodo para reciclar ao reator biológico (ADAMS, 1973; SCHULTZ & KEINATH, 1984; DE WALLE & SMALL, 1977).

Compostos biorefratários não são removidos do efluente através de processos biológicos. Entre estes compostos estão incluídos materiais tóxicos ou inibidores da atividade bacteriana, cargas de choque, materiais que causam espuma ou subida de lodo "sludge bulking". A presença de carvão ativado no reator biológico geralmente controla estes problemas no processo, bem como aqueles normalmente associados com o efluente biologicamente tratado (ROBERTACCIO, 1978; DE JOHN & ADAMS, 1975).

A sedimentação dos sólidos no decantador secundário é melhorada através das bactérias que tendem a crescer em torno das partículas de carvão de tal maneira a reduzir a dispersão dos flocos biológicos formando um lodo mais denso que sedimenta mais facilmente (GRULICH et alii, 1973). O lodo formado é mais facilmente desaguado e pode ser regenerado para reutilização no processo (FLYNN & BARRY, 1976).

A adição de carvão ativado ao reator biológico tem resultado em qualidade de efluente similar ao tratamento terciário com uma dosagem de 50 a 100 ppm. (GRULICH et alii, 1973; FLYNN, 1975).

As principais variáveis que afetam a qualidade do efluente tratado são a idade do lodo e a dosagem de carvão ativado utilizada (ROBERTACCIO, 1974).

Quanto à adição de carvão ativado ao efluente de indústria de celulose e papel, no reator biológico não foi encontrada nenhuma referência de estudos realizados.

Os objetivos deste estudo foram:

- avaliar os efeitos produzidos pela adição de carvão ativado em pó a um sistema biológico operado com efluente industrial;

- testar a eficiência de remoção de poluentes do efluente e a sedimentação dos sólidos no decantador secundário através de análises realizadas na alimentação e efluente do sistema, verificando a qualidade do efluente tratado;

- acompanhar as características da microbiologia do lodo ativado para verificação da influência do carvão no lodo formado;

- testar o efeito de diferentes dosagens de carvão na qualidade do efluente tratado.

CAPÍTULO 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS

O uso de carvão ativado como um auxiliar no tratamento de efluentes não é uma idéia nova. Em 1935 foram feitos experimentos para determinar o efeito de carvão ativado em floculação, digestão e drenabilidade do lodo (SCARAMELLI & DI GIANO, 1973).

O tratamento de efluentes por lodos ativados é um dos processos mais difíceis de controle e operação. Variações de cargas orgânicas e das características da alimentação, deterioram a qualidade do efluente tratado. A adição de carvão ativado ao processo biológico contribui com vários benefícios ao sistema, melhorando a qualidade e estabilidade do efluente tratado.

A adição direta de carvão em pó a um reator biológico é um conceito relativamente novo. Foi desenvolvido pela Du Pont a partir de 1971 e aplicado a uma estação de tratamento de efluentes em 1976.

2.2. DESCRIÇÃO DO PROCESSO

O processo combinado lodo ativado-carvão ativado consiste em uma estação de tratamento de lodos ativados convencional, onde o carvão é alimentado continuamente ao reator aeróbico biológico. Às partículas de carvão se agregam microrganismos e resíduos, e estes resíduos são adsorvidos no carvão e biologicamente degradados.

A associação do carvão e bactérias formam um lodo escuro e bem flocculado, com boa sedimentação (FLYNN et alii, 1977; SCHULTZ & KEINATH, 1984).

O licor de mistura do reator vai para um decantador, onde o carvão e a biomassa sedimentam para recirculação do lodo no reator. O tempo de detenção do carvão é portanto igual a idade do lodo. O efluente líquido resultante tem qualidade de efluente terciário e o lodo produzido pode ser manejado por meio convencional ou pode ser regenerado para reuso do carvão ativado no processo (ARBUCKLE & GRIGGS, 1982; DEWALLE et alii, 1977; FLYNN, 1977; FLYNN & STADNIK, 1979).

O processo é ilustrado de maneira geral na figura 2.1.

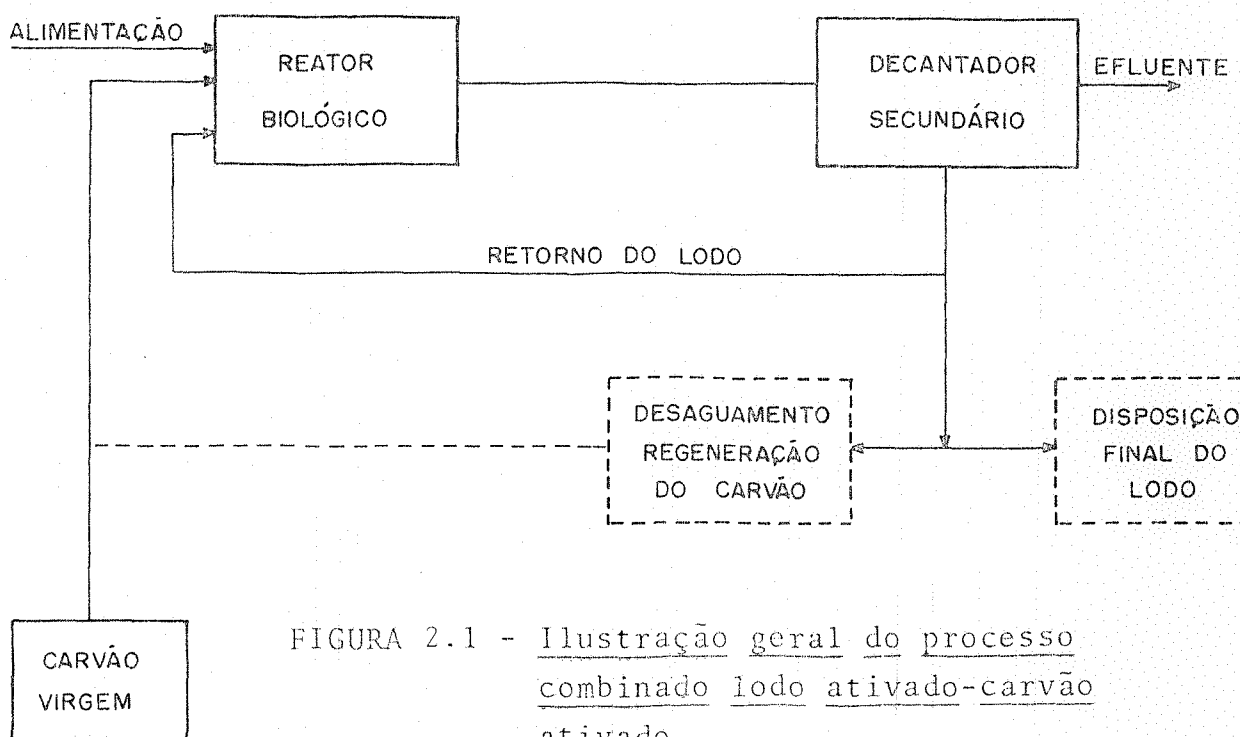


FIGURA 2.1 - Ilustração geral do processo combinado lodo ativado-carvão ativado

A adição de carvão ativado em pó a um sistema biológico resulta em vários benefícios em termos de aumento da eficiência na remoção de poluentes e estabilização do processo e é particularmente bem adaptado a efluentes contendo poluentes tóxicos, adsorvíveis ou orgânicos pobremente biodegradáveis (FERGUSON et alii, 1979).

O processo pretende as seguintes vantagens (FLYNN et alii, 1977; HUTTON, 1980; ROBERTACCIO, 1973 ADAMS, 1973):

- melhorar a qualidade do efluente além da capacidade do tratamento biológico convencional;

- aumentar a tratabilidade de águas residuárias que inibem ou toxificam o sistema de tratamento biológico;

- expansão da capacidade hidráulica de estações de tratamento existentes sem expansão da unidade de processo;

- prover a estação de uma operação uniforme especialmente durante períodos de diferentes cargas orgânicas;

- minimizar problemas operacionais inerentes ao tratamento biológico tais como: formação de espuma, subida de lodo "sludge bulking", dificuldade no manejo e disposição final de sólidos;

- eliminar a disposição final de sólidos secundários no processo de recuperação e regeneração do carvão para reuso;

- melhorar a sedimentação de sólidos, diminuindo os sólidos no efluente e produzindo lodos espessados.

Além disto, um benefício adicional significativo resultante da aplicação de carvão no sistema de lodos ativados

relaciona-se com a remoção de traços de compostos orgânicos e inorgânicos (WEBER et alii, 1983).

O processo é compatível com a operação de qualquer estação de tratamento existente e, no caso de cargas de choque, a dosagem de carvão pode ser selecionada (e prontamente mudada) para atender a qualidade de efluente desejada com a variação contínua na alimentação (FLYNN, 1977).

2.3. COMPARAÇÃO DE SISTEMAS DE TRATAMENTO

Estudos anteriores foram realizados testando a adição de carvão ativado ao sistema biológico e comparado com diferentes processos de tratamento.

ROBERTACCIO, 1973, desenvolveu trabalhos em planta piloto utilizando o sistema combinado lodo ativado-carvão ativado e comparou com sistemas sequenciais de tratamento, onde utilizou colunas de adsorção. Colunas de carvão ativado granular foram colocadas antes do tratamento biológico, e em outro teste, estas colunas foram colocadas após o tratamento biológico. Testes utilizando somente o processo de lodos ativados convencional foram também realizados para o mesmo efluente.

Os sistemas que utilizaram a associação carvão ativado e tratamento biológico, isto é, o sistema combinado lodo ativado-carvão ativado e os sistemas sequenciais (coluna de carvão ativado + tratamento biológico e tratamento biológico + coluna de carvão ativado), obtiveram qualidade de efluente desejada durante os períodos de teste, enquanto que os outros dois sistemas, tratamento biológico e colunas de carvão ativado sozinhos, foram inadequados aos padrões de qualidade exigidos.

O sistema combinado lodo ativado-carvão ativado foi de

terminado como o processo de mais baixo custo e que atingiu os critérios de efluente desejados.

O quadro 2.1 compara os diferentes sistemas considerados para tratamento do efluente estudado. O efluente provinha de um complexo industrial, onde a maioria dos processos são em batelada e, portanto, o efluente periodicamente recebia descargas de poluentes, proporcionando altas cargas orgânicas variáveis, contendo materiais biodegradáveis e não-biodegradáveis.

No quadro 2.2. é feita a comparação do desempenho médio dos sistemas incluindo dados obtidos do estágio biológico seguido por coluna de carvão, coluna de carvão seguido por tratamento biológico e coluna de carvão somente. A qualidade do efluente desejada é mostrada na última coluna, a qual representa o padrão de qualidade exigido pelas autoridades sanitárias. As colunas de carvão foram substituídas após três dias sucessivos de ser constatado o padrão cor acima de 100 APHA. O sistema biológico foi operado sem limitação de oxigênio e nutrientes. O sistema combinado foi operado com uma dosagem de carvão entre 60 a 320 mg/l e, para evitar excessiva perda de sólidos suspensos no efluente, foi adicionado um polieletrólido catiônico ao decantador.

QUADRO 2.1 - Comparação qualitativa de sistemas de tratamento biológico e de adsorção (54)

Item	Colunas de carvão granular	Colunas de carvão + Tratamento biológ.	Adição de carvão ativado em pó ao reator biológico	Tratamento biológ. + coluna de carvão	Tratamento biológico
<u>Qualidade do efluente</u> <u>Remoção de orgânicos biodegradáveis e não-biodegradáveis</u>	Bom-Depende do grau de exaustão da coluna e da adsorbabilidade do efluente	Bom-Depende do grau de exaustão da coluna	Bom-Depende da dosagem de carvão	Bom-Depende do grau de exaustão da coluna	Bom-Para biodegradável Ruim-Para não-biodegradável
<u>Estabilidade</u> <u>Suscetibilidade do reator biológico à alimentação tóxica</u>	Nenhuma	Sistema biológico protegido, a não ser que componentes tóxicos penetrem antes de ocorrer o ponto de corte da coluna	Tamponado pelo carvão no reator	Extremamente suscetível	Extremamente suscetível
<u>Custo</u>	Caro. (normalmente unidade de operação mais cara pelo trabalho total)	Caro. (normalmente operação mais cara para volume de trabalho. Necessário equipamentos de processo adicionais)	Pouco custo adicional sobre o biológico. (custo do carvão em pó inferior ao granular. Pouco equipamento adicional)	Caro. (necessário equipamentos adicionais de processo)	Menos caro

QUADRO 2.2 - Desempenho médio das unidades biológicas e de carvão ativado associadas (54)

Parâmetros	Alimentação*	Sistema combinado lodo ativado-carvão ativado**	Tratamento biológico + coluna de carvão	Coluna de carvão + Trat. biológ.	Coluna de carvão	Tratamento biológico	Critério de qualidade assumido
DBO ₅ Total, mg/1	171	15	10	13	99	17	-
DBO ₅ Solúvel, mg/1	154	10	8	8	88	11	30
DQO Total, mg/1	389	89	65	120	191	206	-
DQO Solúvel, mg/1	324	74	49	57	190	116	200
COT Solúvel, mg/1	93	30	24	25	55	43	45
COR, APHA	970	390	97	160	130	910	-

* Após tratamento primário

** Dosagem de carvão variando entre 60 a 320 mg/1

Observando o quadro 2.2. podemos verificar que a utilização de carvão ativado associado ao tratamento biológico melhora significativamente a qualidade do efluente.

A unidade operada como sistema combinado lodo ativado-carvão ativado obteve uma melhora na eficiência de tratamento comparando-se com o tratamento biológico convencional, utilizando baixas dosagens de carvão. E estas dosagens de carvão foram suficientes para obter uma redução dos parâmetros testados à nível dos sistemas sequenciais, coluna de carvão ativado mais tratamento biológico e tratamento biológico mais coluna de carvão ativado. Diferenças observadas, entre parâmetros nos diferentes sistemas que utilizaram carvão ativado e tratamento biológico são devidas principalmente a operação das unidades, como esgotamento e regeneração das colunas e também das características da alimentação.

Em outro estudo, HUTTON (1980) compara a eficiência de tratamento de um sistema combinado lodo ativado-carvão ativado e um sistema de tratamento por lodos ativados seguido por tratamento de coluna de carvão ativado granular. As unidades foram operadas em paralelo e, portanto, as características da alimentação eram idênticas. As dosagens de carvão utilizadas para os dois testes foram equivalentes.

O quadro 2.3. relaciona os dados obtidos nos testes desenvolvidos. Observando estes dados podemos verificar a maior eficiência na remoção de poluentes do sistema combinado lodo ativado-carvão ativado do que o tratamento biológico seguido de tratamento terciário em colunas de adsorção. Portanto, as condições de operação, alimentação e dosagem de carvão têm grande influência na qualidade do efluente tratado, e para cada tipo de água residuária deve ser realizado um estudo detalhado.

Comparando-se o tratamento combinado lodo ativado-car-

vão ativado com o processo de lodos ativados convencional, verificamos que há uma redução acentuada em torno de 50% da carga de poluentes no despejo do sistema combinado, em função da melhora de remoção do processo.

O custo do sistema combinado é inferior ao tratamento terciário em colunas de adsorção, para as condições americanas testadas, visto que o carvão ativado em pó é de mais baixo custo do que o granular. Além disto, a necessidade de equipamentos adicionais é reduzida, enquanto que o tratamento terciário exige investimentos muito superiores.

QUADRO 2.3 - Comparação de processos: Lodo ativado mais coluna de carvão ativado granular vs carvão ativado-lodo ativado combinado (38)

Método	Lodo ativado	Lodo ativado + coluna de carvão ativado	Lodo ativado-carvão ativado combinado
Tempo de reação horas	24	5,0	2,2
Carvão, ppm de ali- mentação	-	205	222
DBO ₅ na alimenta- ção, mg/l	167	167	169
DBO ₅ no efluente mg/l	28	-	15
DQO na alimenta- ção, mg/l	247	247	247
DQO no efluente mg/l	61	43	31
COT na alimenta- ção, mg/l	93	93	93
COT no efluente mg/l	19	12	10
% DBO ₅ removida	82	-	91
% DQO removido	75	83	88
% COT removido	79	86	89
ppm Carvão/ppm DBO ₅ na alimenta- ção	-	1,56	1,97

2.4. APLICAÇÃO INDUSTRIAL

Uma utilização em escala industrial do processo combinado lodo ativado-carvão ativado foi realizado em um complexo de indústrias químico-orgânicas da Du Pont Chambers Works, em Deepwater, New Jersey (HUTTON, 1980; FLYNN & STADNIK, 1979; PACT Wastewater Treatment Service, 1981).

Este complexo industrial produz cerca de 1000 produtos finais, geralmente produtos químico-orgânicos; freon, orgânicos intermediários (principalmente compostos substitutos aromáticos), aditivos de petróleo, isocianatos, elastômeros, ácido sulfúrico, estão entre muitos dos produtos fabricados.

O efluente produzido é colorido e muito ácido, contendo metais pesados e compostos orgânicos específicos. Muitos dos processos são em batelada, ocorrendo periodicamente descarga de poluentes no efluente.

O tempo de residência hidráulica do efluente no reator é de 7,8 horas. A idade do lodo é de 36 dias, e o licor de mistura, incluindo bactéria e carvão, varia entre 20000 e 30000 mg/l. Os sólidos depois de concentrados vão para um forno de múltipla regeneração onde o carvão é regenerado e reutilizado no processo.

2.4.1 - Performance da estação de tratamento

O quadro 2.4. relaciona as condições de operação da estação de tratamento e os resultados obtidos na estação anteriormente referida.

Com uma baixa dosagem de carvão, nesta dosagem está incluído carvão regenerado e virgem, a estação obteve eficiência e remoção elevada para os parâmetros DBO_5 , COT e cor. O proces

so de lodos ativados normalmente obtêm uma eficiência de 80% a 85% na remoção de DBO_5 , enquanto que nesta estação de tratamento, utilizando carvão ativado no processo de lodo ativado, a eficiência obtida foi de 96% de remoção.

QUADRO 2.4 - Estação de tratamento de efluentes em escala industrial (47)

Condições de operação	Processo combinado lodo ativado-carvão ativado		
Vazão, m^3/s	1,66		
Tempo de aeração, horas	7,8		
Idade do lodo, dias	36		
MLSS, mg/l	23 800		
Dosagem de carvão, ppm	116		
Temperatura, $^{\circ}\text{C}$	14-38		
Resultados	Processo combinado lodo ativado-carvão ativado		
	Conc. alimentação	Conc. efluente	Remoção (%)
DBO_5 , mg/l	169	7	96
COI Solúvel, mg/l	169	32	81
Cor, APHA	1510	480	67

A figura 2.2 representa a remoção diária de DBO_5 solúvel para a estação de tratamento. A alimentação do sistema sofreu variação diária, com elevação brusca de carga orgânica. O efluente produzido caracterizou-se por baixas concentrações de matéria orgânica, demonstrando a eficiência do processo.

A adsorbabilidade de cor varia amplamente de acordo com as características de compostos presentes no efluente. Com uma alimentação muito variável dia a dia nesta estação de

tratamento, o efluente também teve uma variação na qualidade, conforme pode ser observado na figura 2.3. A adsorção no carvão ativado é o fator responsável pela remoção de cor no sistema.

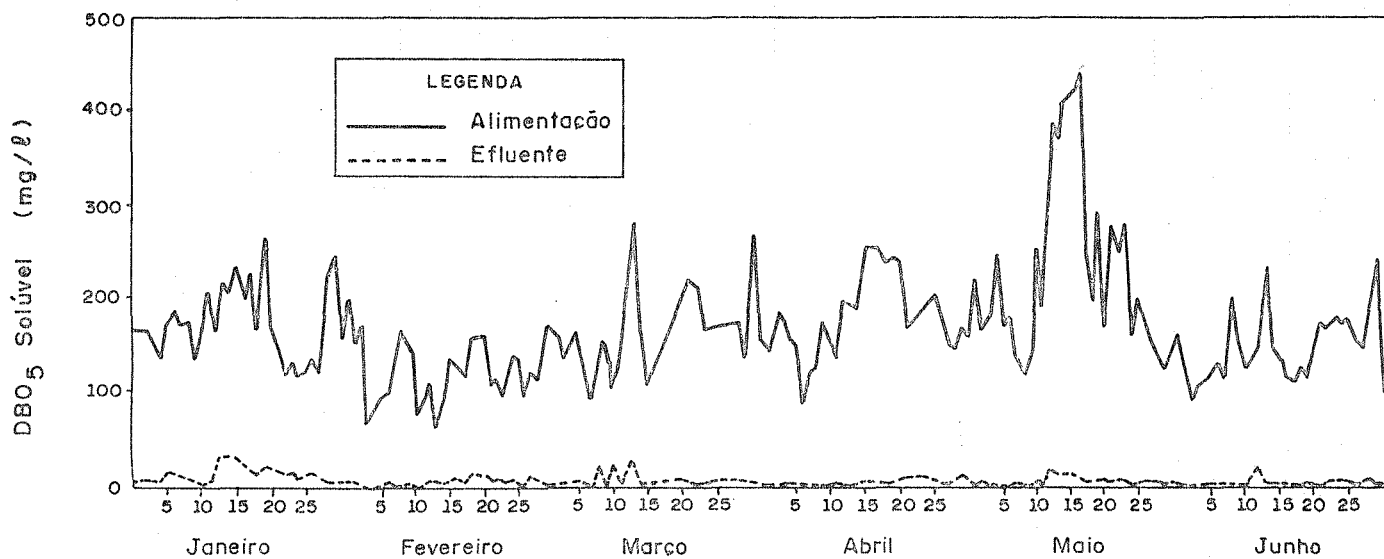


FIGURA 2.2. - Remoção diária de DBO_5 Solúvel (47)

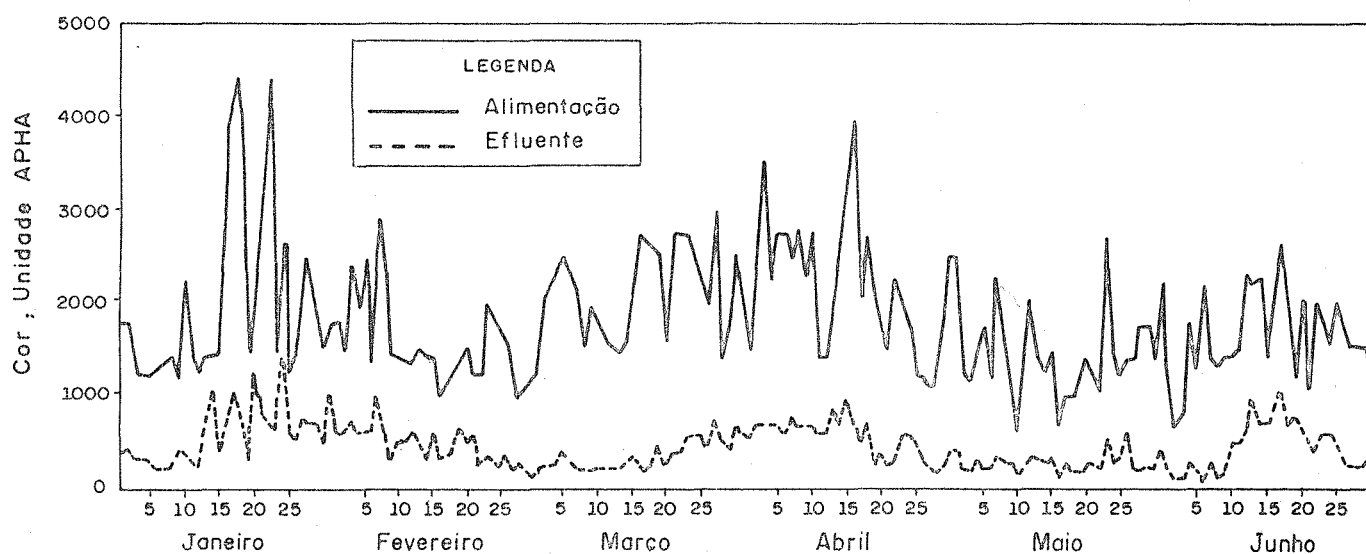


FIGURA 2.3 - Remoção diária de Cor (47)

2.5. MECANISMOS DE REMOÇÃO DE POLUENTES

2.5.1. Introdução

Os mecanismos de remoção de poluentes no sistema combinado lodo ativado-carvão ativado não são exatamente conhecidos, porém sabe-se que existe uma sequência de adsorção, desorção, biosorção e assimilação dos poluentes (ROBERTACCIO, 1974).

ADAMS (1973) descreve os mecanismos de remoção de poluentes e considera que são os fatores responsáveis pela melhoria da performance da estação de tratamento. Primeiro, os poluentes são removidos do efluente por adsorção nos poros do carvão. Visto que a biooxidação é uma concentração dependente do processo, a adsorção serve para dirigir a reação para sua finalização. Segundo, por sedimentação na fase de lodo, o carvão retém uma quantidade menor de moléculas já degradadas em contato com os microrganismos por um tempo igual a idade do lodo ou maior do que o período de detenção hidráulico. Isto prolonga o tempo de residência para poluentes refratários permitindo uma maior oportunidade para degradação biológica. Terceiro, a regeneração biológica remove os poluentes adsorvidos e em consequência disto libera a superfície do carvão para nova adsorção. Finalmente, carvão com alta densidade, atua como um agente de peso e como uma semente para floculação da biomassa.

2.5.2. Adsorção no Carvão Ativado

Carvão ativado é um termo genérico para uma larga faixa de materiais amorfos, tais como madeira, lignito, carvão betuminoso, turfa, preparados por uma ativação térmica, produzindo uma estrutura com alto grau de porosidade e uma grande área superficial associada (RAMALHO, 1977; AMARAL, 1984; WARTCHOW, 1982; CORSEUIL, 1984).

Adsorção ocorre quando a energia associada com a superfície do sólido atrai espécies moleculares ou iônicas do efluente para o sólido (PERRICH, 1981).

Existem múltiplas forças atuando na interface sólido - líquido cuja origem está na interação eletromagnética dos núcleos e elétrons. Considerando-se a afinidade da superfície com a molécula exterior, distinguem-se duas forças de ligação: física e química.

Os dois tipos de ligação têm lugar quando as moléculas na fase líquida tornam-se ligadas à superfície do sólido como um resultado de forças atrativas na superfície do sólido (adsorvente), vencendo a energia cinética das moléculas do líquido contaminante (adsorbato).

Uma terceira força de ligação, a atração eletrostática é encontrada na interação entre íons e cargas dos grupos funcionais nas superfícies sólidas, análogas às manifestadas nas operações de troca iônica (WARTCHOW, 1982).

Fisiosorção ocorre quando, como um resultado de diferenças de energia e/ou forças elétricas atrativas (forças de Van der Waals), as moléculas do adsorbato tornam-se fisicamente seguras pelas moléculas do adsorvente. Este tipo de adsorção é em multicamadas; cada camada molecular forma acima da camada prévia com um número de camadas sendo proporcional a concentração do contaminante. Mais camadas moleculares formam com mais alta concentração de contaminante na solução.

A adsorção proveniente da ação das forças de Van der Waals tem sido usada para representar casos nos quais a molécula adsorvida não é fixada a um lado específico, mas pelo contrário, é livre para efetuar movimentos transacionais dentro da interface (WARTCHOW, 1982).

Quando um composto químico é produzido por reação entre as moléculas adsorvidas e o adsorvente ocorre a quimisorção. Diferente da fisiosorção, este processo é uma molécula espessa e irreversível, porque a energia é requerida para formar um novo composto químico na superfície do adsorvente, e energia seria necessária para inverter o processo. A reversibilidade da fisiosorção é dependente da intensidade das forças atrativas entre adsorbato e adsorvente. Se estas forças são fracas a desorção é prontamente efetuada (CHEREMISINOFF & MORRESI, 1980).

A taxa na qual substâncias são removidas da fase líquida (adsorbato) para a fase sólida (adsorvente) é de elevada importância quando avaliada a eficácia do carvão ativado como um processo de tratamento de efluente. Infelizmente, a tarefa de quantificar as muitas forças atuantes na interface sólido-líquido é muito complexa. Desenvolvimento de expressões matemáticas que descrevem a dinâmica do fenômeno são muito difíceis em função das muitas variáveis influentes.

A taxa de adsorção global representa os efeitos combinados de difusão através de uma camada laminar do fluido circundando o constituinte, superfície de difusão e adsorção nas superfícies dos poros internos. Muitas soluções matemáticas para equações que descrevem concentração/tempo são limitadas para o caso especial no qual somente um destes fenômenos controla a taxa global de adsorção.

Os fatores que afetam a adsorção incluem (CHEREMINOSOFF & MORRESI, 1980):

1. As características físicas e químicas do adsorvente, isto é, área superficial, tamanho dos poros, composição química, etc.

2. Características físicas e químicas do adsorbato, is

to é, tamanho molecular, polaridade molecular, composição química, etc.

3. A concentração do adsorbato na fase líquida (solução).

4. As características da fase líquida, isto é, pH, temperatura.

5. Tempo de residência no sistema.

Certos compostos orgânicos no efluente são resistentes a degradação biológica e muitos outros são tóxicos mesmo a baixas concentrações. Não existem métodos de tratamento convencionais para remoção destes compostos. O carvão ativado tem uma afinidade por orgânicos e é usado para remoção de contaminantes orgânicos dissolvidos nas águas residuárias através de diferentes processos entre eles, o sistema combinado lodo ativado-carvão ativado.

2.5.3. Degradação biológica

2.5.3.1. Introdução

Os reatores biológicos no tratamento por lodos ativado, contêm um líquido marrom acinzentado, formado 99% de lodos ativados, onde estes lodos formam um conjunto de ecossistema aquático muito específico. São polulados por seres vivos de pequeno tamanho, inferior a 1 mm, microflora de bactérias e microfauna de protozoários e metazoários. Estes seres estão em concentrações muito grandes, na ordem de 10^{11} a 10^{12} por litro para as bactérias e de 10^7 a 10^8 por litro para microfauna. Embora esta grande concentração, nunca se encontram muitas espécies diferentes, apenas uma dezena de espécies bacterianas e uma dúzia de animais, dos quais 3 ou 4 são dominantes (DRAKIDES, 1978).

A distribuição relativa do número e das espécies desses organismos oferece um quadro das condições de equilíbrio do sistema e de sua capacidade de reduzir o substrato. No que concerne a remoção de substrato, as bactérias são as mais importantes nos processos de tratamento (FONTES).

2.5.3.2. Remoção do substrato

O tratamento biológico consiste na estabilização da matéria orgânica, finamente dividida e dissolvida no efluente, por meio da oxidação bioquímica promovida através do metabolismo de certos microrganismos.

O substrato do meio é absorvido por osmose através da membrana celular ou pela abertura bucal de certos organismos, que pela metabolização de compostos dissolvidos no meio promovem a degradação destes compostos. O substrato introduzido na célula é a fonte de energia para a mesma. Parte do substrato é utilizado para formação do material celular por meio de uma série de reações bioquímicas extremamente complexas e parte utilizado para a produção de energia (DARIN, 1980).

As bactérias são produtores primários que fixam o substrato trazido pelas águas residuárias sob forma de matéria orgânica. A microfauna existente no reator se alimenta das bactérias e às vezes de outras espécies da microfauna. Este esquema é conhecido há muito tempo, mas as relações entre os diversos grupos são muito complexas, devido a intervenção de numerosos termos de especificidade das relações de predação, concorrência direta pela mesma presa ou indireta, por fatores físico-químicos (DRAKIDES, 1978).

2.5.3.3. Floculação

As bactérias no lodo ativado usualmen-

te aglomeram-se umas com as outras e com sólidos suspensos inertes dentro de uma massa uniforme.

O processo de aglomeração das bactérias é chamada "floculação" e grupos individuais são chamados flocos. O fenômeno da formação do floco pode ser devido as bactérias, as quais normalmente crescem como células encaixadas numa matriz gelatinosa (BUTTERFIELD, 1935), bactérias que normalmente crescem como células isoladas mas floculam dentro de algumas condições (Mc KINNEY & WEICHLEIN, 1953), bactérias aderentes a material extracelular produzido por fungos (LACEY, 1949), bactéria sendo floculada por protozoários (CURDS, 1963) ou, possivelmente, todos estes mais alguns outros mecanismos (PIPES).

A adição de carvão ativado ao reator biológico possibilita o crescimento bacteriano em torno das partículas de carvão promovendo a formação de flocos mais densos. WEBER, (1978), através de microscopia eletrônica, determinou que o biofilme desenvolvido na superfície do carvão é constituído de um ecossistema incluindo bactéria e protozoários bacterívoros.

2.5.3.4. Características de sedimentação

A eficiência do processo biológico é limitado pela sedimentação e concentração do lodo ativado. Os flocos formados no reator biológico são responsáveis pela sedimentação no decantador secundário. Portanto, se não houver condições adequadas para agregação, os flocos do lodo ativado não podem ser formados e os microrganismos que se desenvolvem formarão um lodo pouco floculado, de difícil sedimentação e com pouca compactação (PIPES).

A formação de um floco de lodo ativado com uma macroestrutura bem desenvolvida pode ocorrer somente quando con

dições são favoráveis para adequada formação da microestrutura. Microrganismos filamentosos e zooglêia são ambos essenciais para a formação da macroestrutura do floco do lodo ativado. Filamentosos formam uma coluna rígida para o floco no qual microrganismos floculentos se prendem. Se não houver filamentosos suficientes o floco será fraco e sujeito a dispersão. Estas condições normalmente são definidas como "pin-point floc". O lodo neste caso se caracteriza por uma alta velocidade de sedimentação, porém, pequenas partículas permanecem em suspensão no sobrenadante após o lodo sedimentar.

Quando existem muitos microrganismos filamentosos e eles crescem para fora dos limites do floco, há uma interferência na aproximação dos flocos produzindo uma lenta sedimentação e difícil compactação. O sobrenadante acima da interface do lodo em sedimentação é bastante claro porque este tipo de floco não é muito suscetível a quebra pela agitação no reator e, além disto, a rede formada pelos filamentos carrega qualquer partícula pequena na sedimentação (JENKINS & PARKER, 1978).

Nos casos de floculação pobre, o material no sobrenadante acima do lodo tem muito pouca tendência a sedimentar e permanece suspenso. Existem condições onde o lodo ativado possui uma densidade menor do que da água e flutuam em vez de sedimentar.

O lodo flutua quando ocorre nitrificação no tanque de aeração e denitrificação no decantador. O gás nitrogênio produzido por denitrificação acumula-se em pequenas bolhas no lodo provocando uma densidade menor do que da água em uma massa de lodo que estava compactada.

Ciliados pedunculados mortos flutuam e carregam partículas de lodo no efluente; com rotíferos e nematódios mor-

tos por fungos predatórios também ocorre o mesmo fenômeno, levando partículas de lodo aderidas ao micélio dos fungos (PIPES).

Com a adição de carvão ativado no processo biológico a sedimentação do lodo é facilitada no decantador secundário, porque as bactérias tendem a se desenvolver nas partículas do carvão de tal forma a reduzir a dispersão dos flocos biológicos, formando um lodo mais denso e mais facilmente desaguado (GRULICH et alii, 1972; DE JOHN & ADAMS, 1975).

A densidade do carvão influencia na sedimentação do lodo, e carvões em pó com alta densidade são preferidos para minimizar problemas de perda de carvão pelo decantador secundário (DE JOHN & ADAMS, 1975).

A idade do lodo e a dosagem de carvão utilizadas no processo também influenciam na sedimentação do lodo.

2.5.4. Carvão e biomassa

SCHULTZ & KEINATH (1984) sugerem que a melhora da remoção de orgânicos não é explicada somente pela adsorção, mas a interação entre o carvão e a biomassa desempenha um papel importante na remoção de orgânicos. As interações podem ser grupadas dentro de três diferentes fenômenos: melhora na bioatividade, bioregeneração do carvão e adsorção de produtos metabólicos.

A melhora na bioatividade é a habilidade do carvão aumentar a assimilação biológica de orgânicos. Este fenômeno pode ser causado por um número de mecanismos separados: aumento no tempo de contato entre a biomassa e compostos orgânicos adsorvidos; aumento da concentração de oxigênio na superfície do carvão; adsorção de substâncias que são tóxi

cas ou inibidoras à biomassa (ROBERTACCIO, 1978; FLYNN et alii, 1976) e alterações da população por adsorção de bactérias não flocculadoras (SCHULTZ & KEINATH, 1984).

Bioregeneração é o processo pelo qual os microrganismos degradam orgânicos adsorvidos, resultando na renovação da capacidade adsorptiva do carvão ativado. Dois mecanismos em potencial: aumento da concentração e lenta degradação de contato, são altamente dependentes neste processo, porque se pressupõe que as bactérias utilizam substrato adsorvido na superfície do carvão. Orgânicos adsorvidos podem ser removidos por desorção, por assimilação direta das bactérias ou por ataque enzimático. Os microrganismos não podem efetivamente utilizar todos os materiais orgânicos adsorvidos na superfície do carvão, ou, a superfície do carvão não pode ser biologicamente regenerada indiferentemente ao tipo de orgânico adsorvido. Portanto, a renovação da capacidade adsorptiva do carvão em um sistema biológico é limitada. Sítios de adsorção ocupados por materiais rapidamente biodegradáveis podem se tornar disponíveis para materiais menos biodegradáveis. O processo é provavelmente controlado pela reversibilidade da adsorção. A reversibilidade é provavelmente induzida por um abaixamento da concentração da solução. A última saturação da superfície do adsorvente é feita por material orgânico não biodegradável ou por aqueles que biodegradam lentamente, requerendo uma forma de regeneração mais efetiva (SCHULTZ & KEINATH, 1984; FLYNN et alii, 1976).

Segundo SCHULTZ & KEINATH (1984) a maioria dos compostos orgânicos residuais no efluente do sistema de lodos ativados não é o substrato original, mas são produtos metabólicos finais sintetizados pela biomassa. Entretanto, uma fração significativa de produtos metabólicos são adsorvíveis no carvão ativado. Portanto, a adsorção destes produtos pode ser responsável pelo aumento da remoção de poluentes no processo combinado lodo ativado-carvão ativado. Além disto, em

bora os produtos metabólicos geralmente sejam considerados não-biodegradáveis, a adsorção pode concentrar estes produtos na superfície do carvão ativado e torná-los biologicamente assimiláveis.

2.6. VARIÁVEIS DO PROCESSO

2.6.1. Considerações gerais

Uma série de variáveis de processo influenciam no processo combinado lodo ativado-carvão ativado. Estão incluídas todas aquelas normalmente associadas com o processo biológico mais aquelas associadas com a adição de carvão em pó (HUTTON, 1980).

Segundo ROBERTACCIO (1974) as principais variáveis que afetam a qualidade do efluente do sistema combinado são a dosagem de carvão, a idade do lodo e a temperatura.

2.6.2. Efluente bruto

A composição da alimentação da estação de tratamento é talvez a consideração mais importante em qualquer processo de tratamento biológico aeróbio, incluindo o processo combinado lodo ativado-carvão ativado. As considerações utilizadas para o processo de lodo ativado são também apropriadas a este método. Neste caso, porém, alguns efeitos são minorados, como baixas concentrações de matéria orgânica alimentada, visto que as bactérias podem crescer no carvão e utilizar como substrato compostos adsorvidos no carvão. Outros efeitos inibidores também podem ser adsorvidos no carvão facilitando a operação do sistema (PACT Wastewater Treatment Service, 1981).

2.6.3. Carvão ativado

A variável mais significativa introduzida no processo é a dosagem e o tipo de carvão ativado utilizado.

Os carvões ativados variam em função do tipo de material utilizado e da ativação. Geralmente a área superficial total de carvões ativados está situada entre 400 a 1800 m²/g, com volumes de poros de 0,7 a 1,8 ml/g. Contudo, somente a porção daquela área e o volume de poro interno de tamanho adequado para adsorção serão disponíveis. Um carvão ativado com uma alta área superficial pode adsorver muito rapidamente, mas a capacidade adsortiva pode ser baixa porque falta volume de poro para reter o material adsorvido. Por exemplo, carvão que adsorve gás tem alta área superficial (1000 m²/g), mas pequeno volume de poro (0,6 ml/g) e são ineficientes na remoção de muitas impurezas de efluentes hídricos.

Um carvão ativado com alta concentração de pequenos poros tende a adsorver um grande número de pequenas moléculas enquanto que um carvão com alta concentração de largos poros tende a adsorver grandes moléculas (PERRICH, 1981).

2.6.3.1. Porosidade e adsorção

COOKSON (1980) apresenta uma classificação dos poros do carvão, dividindo-os em três classes:

- Macroporos
- Poros de Transição
- Microporos

Os macroporos no carvão ativado possuem um raio efetivo na faixa de 5000 a 20000 Å⁰. O volume destes poros está

entre 0,2 e 0,8 ml/g e a área superficial correspondente é de 0,5 a 2 m²/g.

Os poros de transição têm um raio efetivo de 40 a 200 Å⁰, com o volume variando entre 0,02 a 0,10 ml/g e com uma área superficial correspondente entre 20 a 70 m²/g. Para alguns carvões ativados, entretanto, o volume de poros de transição pode atingir 0,7 ml/g e a área superficial pode chegar a valores de 200 a 450 m²/g.

O raio efetivo dos microporos são menos de 18 a 20 Å⁰, o volume de poro é aproximadamente de 0,15 a 0,50 ml/g e representam normalmente pelo menos 95% da área superficial do carvão.

Normalmente a estrutura dos carvões ativados contém estes três tipos de poros e são distribuídos de forma que os macroporos tem acesso direto à superfície externa da partícula. Os poros de transição são ramificações dos macroporos e os microporos são ramificações dos poros de transição.

Os macroporos não desempenham um papel apreciável na adsorção exceto para adsorbatos constituídos de moléculas muito grandes. Entretanto, eles são artérias de transporte tornando as partes internas acessíveis ao soluto.

Os microporos, devido a sua elevada área superficial, são os mais importantes na adsorção.

A taxa de adsorção é influenciada pelo tamanho da partícula de carvão (CHEREMISINOFF & MORRESSI, 1980). Carvão ativado em pó possui pequenas partículas, reduzindo a dependência de adsorção no transporte intrapartícula, resultando em taxas de adsorção muito maiores do que aqueles do carvão granular (SCARAMELLI & DIGIANO, 1973).

Segundo PERRICH (1981) e COOKSON (1980) algumas propriedades adsorptivas podem ser explicadas pelas diferenças na distribuição do tamanho do poro, entretanto, diferenças na natureza química dos grupos funcionais na superfície do carvão também são muito importantes e dependem dos processos de ativação empregados na sua fabricação ou regeneração.

2.6.3.2. Fatores influentes da adsorção

A adsorção de orgânicos geralmente aumenta com o aumento do peso molecular (tamanho) até que partículas tornam-se também grandes para penetrar dentro dos poros do carvão. A adsorção aumenta com o decréscimo da solubilidade. Moléculas com mais de três átomos de carbono são geralmente adsorvidas, a menos que elas sejam extremamente solúveis. Os orgânicos não polares são mais facilmente adsorvidos da água residuária (a qual é polar) do que orgânicos polares.

Geralmente, adsorção aumenta com o decréscimo de pH; e decresce com o aumento de temperatura. Entretanto, diminuindo a viscosidade e aumentando o movimento molecular a altas temperaturas, aparentemente permite os orgânicos entrarem nos poros do carvão mais facilmente, geralmente causando um aumento na adsorção com o aumento da temperatura.

Materiais inorgânicos não são muito adsorvíveis, mas existem exceções, como molibdatos, iodo, sais de prata e ouro (PERRICH, 1981).

Segundo DE JOHN & ADAMS (1975) a escolha do tipo de carvão é baseado nas características físicas com respeito ao tamanho granular, área superficial e tamanho de poro. Outro fator que afeta o desempenho é a densidade do carvão e a capacidade de regeneração. No processo combinado lodo ativado-carvão ativado, carvões em pó de alta densidade são pre

feridos para minimizar a perda de sólidos pelo decantador secundário e para aumentar a compactação do lodo.

2.6.3.3. Efeitos do tipo e dosagem de carvão

GRIEVES et alii (1978) estudaram o efeito do tipo de carvão utilizado no processo combinado lodo ativado-carvão ativado em efluente de refinaria de petróleo.

O estudo foi desenvolvido em planta piloto e utilizaram quatro tipos distintos de carvão ativado. O carvão denominado como "A" possuía alta área superficial e foi o mais eficiente na remoção de poluentes. O carvão "B" possuía uma área superficial um pouco maior do que o carvão "C" e produziu um efluente levemente melhor do que o carvão "C". O carvão "D", que era derivado de carvão vegetal e tinha um volume de poro mais baixo do que os outros, teve uma baixa eficiência no processo.

O carvão "A" a uma dosagem de 100 mg/l foi tão efetivo quanto o carvão "B" a 200 mg/l.

O quadro 2.5 relaciona os dados obtidos neste estudo.

QUADRO 2.5 - Efeito do tipo e da dosagem de carvão ativado na qualidade do efluente de uma refinaria de petróleo (34)

Idade do lodo: 20 dias (Dados com 50% de probabilidade durante 30 dias em operação em equilíbrio)

Dosagem de carvão = 100 mg/l

Licor de amostra do reator: Temp. 31°C

Conc. de carvão: 3200 mg/l

Componente	Afluente Filtrado	Efluente da planta piloto				
		S/carvão	Carvão A	Carvão B	Carvão C	Carvão D
COTS	72,0	22,0	12,5	17,5	18,5	23,0
DQOS	230	73	28,5	48	44	65
NH ₃ -N	25,8	0,5	0,2	0,5	0,5	0,5
Fenólicos	4,35	0,018	0,008	0,010	0,010	0,017

Dosagem de carvão = 200 mg/l

Licor de amostra do reator: Temp. 31°C

Conc. de carvão: 6400 mg/l

Componente	Afluente Filtrado	Efluente da planta piloto				
		S/carvão	Carvão A	Carvão B	Carvão C	Carvão D
COTS	70,0	26,5	9	13,5	15,5	-
DQOS	230	58	17	24	28	-
NH ₃ -N	25,4	0,2	0,2	0,2	0,1	-
Fenólicos	4,06	0,020	0,001	0,001	0,003	-

Concentrações em mg/l

Limites permitidos no efluente em mg/l:

Carbono Orgânico Total Solúvel (COTS): 15

Demanda Química de Oxigênio Solúvel (DQOS): 24

Nitrogênio Amoniacal (NH₃-N): 6,3

Fenólicos: 0,02

O efeito da dosagem e tipo de carvão foi realizado pelo PACT Wastewater Treatment Service (1981) utilizando o efluente de um complexo industrial químico-orgânico. O tipo de carvão foi diferenciado pela área superficial correspondente. O carvão A possuía alta área superficial; o carvão B baixa área superficial e o carvão C área superficial intermediária.

Os resultados obtidos na remoção de DBO, cor e COT são mostrados respectivamente nas figuras 2.4, 2.5 e 2.6.

O efluente resultante da adição do carvão B no processo foi de inferior qualidade aos outros dois tipos de carvões testados. O carvão A obteve uma maior eficiência na remoção de COT solúvel e cor, enquanto que o carvão C foi mais eficiente na remoção de DBO solúvel.

O aumento da dosagem de carvão promoveu um aumento na qualidade de efluente tratado para todos os tipos de carvão até que o incremento de dosagem não refletiu no aumento de qualidade, atingindo uma assíntota.

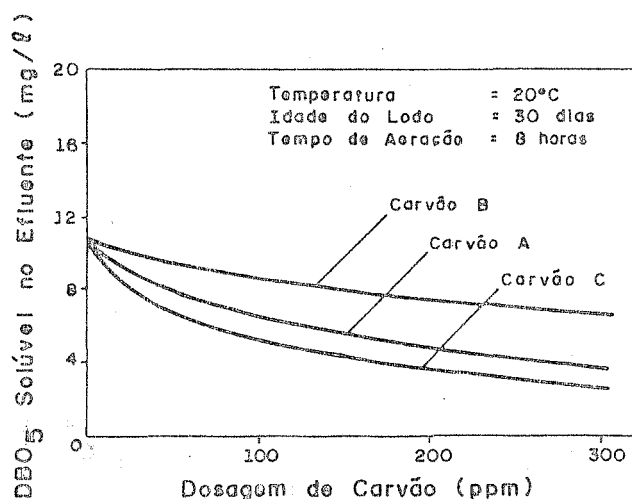


FIGURA 2.4 - Efeito do tipo e dosagem de carvão no efluente DBO₅ solúvel (47)

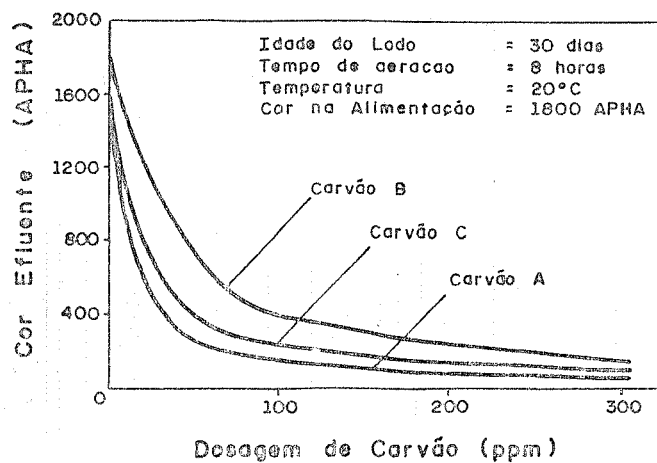


FIGURA 2.5 - Efeito do tipo e dosagem de carvão no efluente Cor solúvel (47)

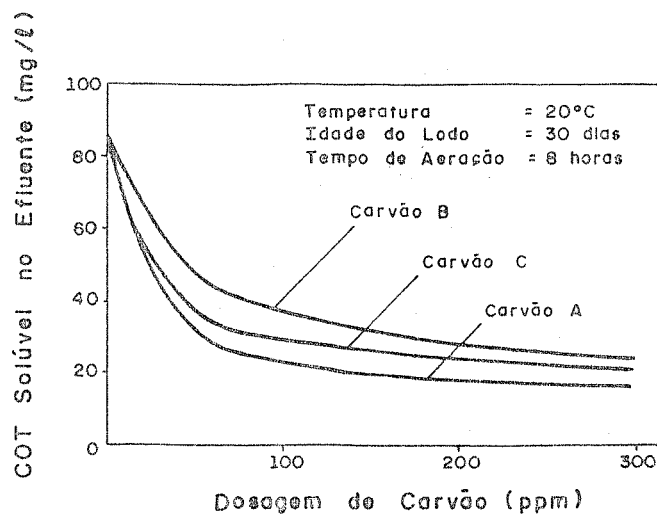


FIGURA 2.6 - Efeito do tipo e dosagem de carvão no efluente COT solúvel

2.6.4. - Toxidez

Materiais tóxicos causam problemas no processo de lodos ativados, mas é difícil determinar quais os tipos de materiais tóxicos são as prováveis causas de tais problemas. Os materiais tóxicos podem estar presentes continuamente em baixas concentrações ou podem ser recebidos na estação de tratamento de efluentes em batelada ou cargas de choque. O efeito no processo depende da forma que são recebidos na estação, e da adaptação de microrganismos no lodo (PIPES).

Com a adição de carvão ativado ao processo biológico muitas substâncias orgânicas tóxicas são adsorvidas melhorando a tolerância do sistema a cargas tóxicas (FLYNN et alii, 1976; WEBER et alii, 1983; FERGUSON et alii, 1979; ROBERTACCIO, 1978).

As normas para a toxidez de substâncias para a vida aquática são normalmente expressas como o limite de tolerância média (LTm), ou seja, a concentração em que 50% dos peixes, exatamente, são capazes de sobreviver a um período específico da experiência. Para determinação de sobrevivência, os peixes são colocados em várias concentrações do efluente (utilizando como diluente uma água não tóxica) e interpolando para calcular a concentração na qual exatamente metade dos peixes sobreviveriam (GRULICH et alii, 1973; BRANCO, 1978).

GRULICH et alii (1973) testaram a toxidez de efluente industrial em peixes com um LTm em 96 horas, sendo esta a exigência das autoridades sanitárias para o despejo testado.

Os testes de mortalidade de peixes, ou bioensaios, foram realizados paralelamente em dois sistemas. Uma unidade foi operada como tratamento biológico convencional e a ou-

tra operada pelo processo combinado lodo ativado-carvão ativado. O tempo de aeração foi distinto para os dois sistemas. Para o processo biológico foi utilizado 8 horas de aeração, enquanto que para o processo combinado foi de 4,3 horas.

Os resultados obtidos foram de 35% de limite de tolerância médio para o processo de lodos ativados, enquanto que para o sistema combinado lodo ativado-carvão ativado a mortalidade de peixes foi zero, em efluente não diluído. A dosagem de carvão ativado foi de 50 ppm. A melhora da qualidade do efluente tratado pelo processo combinado foi significativa para o efluente testado com uma baixa dosagem de carvão e um tempo de detenção hidráulico bem inferior ao processo de lodos ativados convencional.

2.6.5. pH

O pH em reatores biológicos pode ter uma profunda influência nos tipos de organismos que podem se desenvolver no lodo. O processo pode ser operado entre os limites de pH = 6 a pH = 9 (PIPES).

A adição de carvão ao sistema não provoca uma acentuada modificação do pH no licor de mistura do reator. O tipo de ativação do carvão pode lhe conferir determinadas características ácidas ou básicas dando com isto uma pequena variação de pH no licor de mistura (PACT Wastewater Treatment Service, 1981). Carvões ativados por processos físicos (por exemplo, vapor d'água) tem pH em torno de 9.0.

2.6.6. Oxigênio dissolvido

Segundo PACT Wastewater Treatment Service (1981) a presença de carvão melhora a taxa de transferência de massa de oxigênio dentro do líquido. O carvão presente no licor de mistura pode adsorver oxigênio e fazê-lo dis

ponível para o interior da biomassa que circunda as partículas de carvão. Um ou ambos mecanismos podem contribuir para melhorar a eficiência de oxidação. Os níveis de oxigênio dissolvido, entretanto, são geralmente os mesmos de outros processos de culturas aeróbicas submersas.

DE JOHN & ADAMS (1975) sugerem que a redução da espuma pela adsorção de detergentes melhora a transferência de oxigênio no reator.

2.6.7. Idade do lodo

Vários autores correlacionam as características de sedimentação do lodo com um parâmetro denominado taxa alimento-microrganismo (F/M). Esta taxa é utilizada para projeto e operação de estações de tratamento por lodos ativados.

Para estações que utilizam o processo combinado lodo ativado-carvão ativado é utilizado a idade do lodo como parâmetro de controle.

Idade do lodo é definida como o tempo de residência celular ou tempo de retenção de sólidos no reator (RAMALHO, 1977).

A utilização da taxa F/M requer o conhecimento da concentração de biomassa no sistema, que é considerada a concentração de sólidos suspensos voláteis. Entretanto, com a adição de carvão há uma interferência do carvão na análise de sólidos suspensos voláteis dificultando a utilização deste parâmetro comum em processo de lodos ativados. Porém, a idade do lodo permite a mesma avaliação das características do lodo, apenas não sendo tão comumente utilizado como a taxa alimento-microrganismo para o processo biológico.

A concentração de carvão ativado em pó no licor de mistura do reator é um parâmetro importante no processo lodo ativado-carvão ativado e a idade de lodo tem influência direta nesta concentração (ARBUCKLE & GRIGGS, 1982).

A concentração de carvão no reator para operação em equilíbrio pode ser expressa pelo seguinte balanço de massa:

$$C_e = \frac{C_i \cdot \theta_c}{\theta_h}$$

onde

C_e = concentração de equilíbrio do carvão no licor de mistura (mg/l)

C_i = concentração de carvão na alimentação (mg/l)

θ_c = idade do lodo (dias)

θ_h = tempo de retenção hidráulica no tanque de aeração (dias)

Esta equação mostra que a concentração de equilíbrio do licor de mistura é proporcional ao produto da concentração na alimentação de carvão (dosagem de carvão) e da idade do lodo. Pequenos tempos de detenção hidráulica favorecem a obtenção de mais altas concentrações de carvão e esta concentração pode ser aumentada pelo aumento da dosagem de carvão ou idade do lodo, ou ambos (ARBUCKLE & GRIGGS, 1982; GRIEVES et alii, 1978).

Portanto, para minimizar custos é desejável operar a estação de tratamento na mais alta idade de lodo possível e um tempo de retenção hidráulico não muito excessivo.

Entretanto, uma desvantagem para operação em alta idade de lodo é o aumento do risco de inibidores ou materiais tóxicos no tanque de aeração. Uma elevada idade de lodo pode deteriorar as características de sedimentação do licor

de mistura dos sólidos em suspensão, ou também causar uma sobrecarga no decantador provocando uma perda de sólidos no decantador (GRIEVES et alii, 1978).

Segundo ARBUCKLE & GRIGGS (1982) o sistema lodo ativado-carvão ativado é normalmente operado com uma idade de lodo de aproximadamente oito dias. Entretanto, GRIEVES et alii (1978) estudando efluente de refinaria de petróleo variaram a idade de lodo de 20 dias a 60 dias. Obtiveram um efluente final de qualidade superior para o sistema operado com 60 dias de idade de lodo, sem deterioração das características de sedimentação.

FLYNN et alii (1977) estudaram o efeito da dosagem de carvão e a idade de lodo concomitantemente. Determinaram que a qualidade do efluente melhora com o aumento da idade do lodo e/ou aumento da dosagem de carvão, e com uma alta idade do lodo e baixa dosagem de carvão pode ser obtido um efluente com qualidade similar a unidade operada a baixa idade de lodo e a uma alta dosagem de carvão. Além disto, observaram que o efeito do aumento da idade do lodo na qualidade do efluente parece mais significativo para uma unidade operada pelo processo combinado em uma dosagem constante de carvão do que para uma unidade de lodo ativado sem a adição de carvão.

2.7. CARACTERÍSTICAS DOS PARÂMETROS DE CONTROLE

2.7.1. Sedimentação de sólidos

Segundo QUON & CHANG (1979) a sedimentabilidade do lodo no decantador secundário do processo combinado lodo ativado-carvão ativado é dependente da dosagem de carvão e da idade do lodo. Em estudo desenvolvido em laboratório, dosagens de carvão acima de 700 mg/l resultaram na deterioração da sedimentação do lodo, e dosagens abaixo de

700 mg/l melhoraram a sedimentabilidade do lodo até um máximo de 16%. Entretanto, dosagens de carvão de 1500 mg/l não resultaram na deterioração da sedimentabilidade do lodo para uma relação F/M < 0,33 mg de DQO/mg de MLSS.

DE JOHN & ADAMS (1975) sugerem que o tipo de carvão tem influência na sedimentação de sólidos no decantador secundário. Segundo estes pesquisadores, carvão em pó com alta densidade melhora a sedimentação produzindo efluentes com baixo nível de sólidos em suspensão e produzem lodos espessos e mais facilmente desaguados.

Variações de carga orgânica da alimentação ao sistema biológico influenciam na perda de sólidos pelo decantador. Com o carvão ativado presente no reator, dentro de condições de alta carga orgânica, que normalmente conduziriam a subida de lodo "lodo bulking", o carvão atua como um agente de peso, retendo o lodo no sistema. E, quando bioflocos dispersados resultam devido a baixas cargas orgânicas, o carvão serve como uma semente para a formação do floco, prevenindo a perda de sólidos (ROBERTACCIO, 1978; DE JOHN & BLACK, 1978; DE JOHN & ADAMS, 1975).

A aplicação de polieletrólito no efluente ao tanque de aeração foi utilizado em alguns sistemas testados auxiliando a coagulação de finos e evitando a excessiva perda de sólidos suspensos no efluente final, quando carvão de mais baixa densidade foi empregado (HUBINGER & HUTTON, 1981; ROBERTACCIO, 1974).

2.7.2. Manuseio do lodo

ADAMS (1973) cita que um dos problemas de difícil solução em tratamento de efluentes é a disposição final do lodo, e que a adição de carvão ativado ao processo biológico facilita o manuseio do lodo. O carvão au-

menta a sedimentação e compactação dos sólidos, e portanto o volume de lodo a ser manuseado é reduzido.

Segundo SCARAMELLI & DIGIANO (1973) a presença de carvão no sistema biológico pode melhorar a desaguabilidade por aumento da percentagem de sólidos contidos no lodo. O carvão pode também auxiliar na digestão anaeróbica por fornecer local de crescimento para as bactérias heterotróficas presentes no digestor.

Uma grande vantagem do processo combinado lodo ativado-carvão ativado é a regeneração de carvão do lodo descartado. O carvão ativado é reutilizado no sistema e é eliminado o custo de disposição final de sólidos (ROBERTACCIO, 1978; ADAMS, 1973; HUTTON, 1980; FLYNN & BARRY, 1976).

FLYNN et alii (1976) compararam em laboratório o desempenho de duas unidades idênticas, uma sendo alimentada com carvão virgem e outra com carvão regenerado, sendo as perdas suprimidas com carvão virgem (em torno de 15%). Os resultados obtidos sugerem que não há uma significativa queda no desempenho da unidade operada com carvão reciclado.

As propriedades do carvão regenerado foram também determinadas durante este teste. O índice de descoloração e o número de iodo foram medidos após cada regeneração e lavagem ácida.

O número de iodo indica a habilidade de um carvão ativado adsorver substâncias de baixo peso molecular, medindo indiretamente os microporos com raio efetivo menor do que 20 \AA . O índice de descoloração mede a capacidade do carvão ativado em remover substâncias com diâmetro maior que 15 \AA , medindo poros de transição (AMARAL, 1984).

FLYNN et alii (1976) determinaram que o processo de regeneração térmica pode ampliar os pequenos poros, algumas vezes resultando em um aumento do índice de descoloração e um decréscimo do número de iodo (área de pequenos poros). Embora as propriedades do carvão sofreram modificação na regeneração, o desempenho dos carvões testados nas unidades operadas pelo sistema combinado lodo ativado-carvão ativado não foi alterada para o efluente testado.

2.7.3. Remoção de cor

Um tratamento biológico convencional normalmente não tem habilidade para remover cor solúvel, não biodegradável do efluente. Quando a redução na cor é necessária, a adsorção no carvão ativado é normalmente empregada (GRULICH et alii, 1973; HUTTON, 1980; FLYNN & BARRY, 1976).

A adsorção em colunas de carvão granular resulta num efluente com alta remoção de cor, porém o custo de instalação e operação deste sistema é bastante elevado. O processo combinado lodo ativado-carvão ativado obtém uma boa remoção de cor, sem custo adicional de equipamentos (ROBERTACCIO, 1974; GRULICH et alii, 1973; FLYNN & BARRY, 1976).

O grau de remoção depende da adsorbabilidade das partículas de cor, e também da presença de outros adsorbatos incolores competindo pelos locais disponíveis de adsorção no carvão. Nas ocasiões em que há uma combinação desfavorável de condições, isto é, partículas de cor pouco adsorvíveis e competição de adsorbatos incolores, uma dosagem adicional de carvão se faz necessária (GRULICH et alii, 1973).

No sistema combinado lodo ativado-carvão ativado, o carvão permanece no sistema em período idêntico ao tempo de detenção celular, portanto as moléculas estão em contato com a biomassa por um período bastante longo, facilitando assim

a degradação biológica de substâncias pouco degradáveis. As propriedades de adsorção do carvão ativado permite a remoção de cor onde pouco ou nenhuma remoção seria esperada em um processo de aeração convencional (ADAMS, 1973).

GRULICH et alii (1973) fizeram estudo da remoção de cor em efluente industrial para determinação do efeito da dosagem de carvão na remoção de cor, operando em paralelo três unidades pelo processo combinado lodo ativado-carvão ativado, com uma dosagem de 50, 100 e 250 ppm. Os resultados são mostrados na figura 2.7 e pode ser observado que a remoção de cor foi significativamente dependente da dosagem de carvão. Durante o período de operação a média obtida para cor foi de 1300 APHA na alimentação e o efluente de 210, 490 e 560 APHA para as dosagens de 250, 100 e 50 ppm respectivamente. Observaram também que em algumas ocasiões as unidades operadas com 250 ppm e 50 ppm obtiveram a mesma remoção, concluindo com isto que a dosagem de carvão pode variar de acordo com as características do efluente.

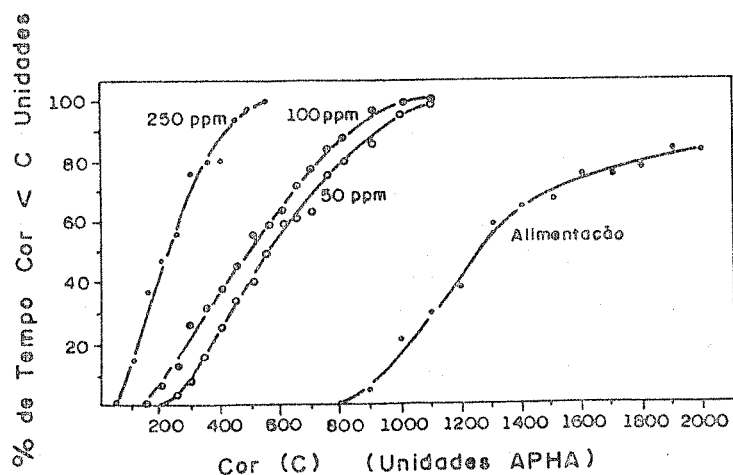


FIGURA 2.7 - Efeito da dosagem de carvão na remoção de Cor (33)

2.7.4. Remoção de orgânicos

A adição de carvão ativado em pó a um sistema biológico tem como uma grande vantagem a remoção de materiais adsorvíveis no carvão. A adsorção é um fenômeno de equilíbrio. Em geral, o carvão adsorve preferencialmente compostos com alto peso molecular, por exemplo compostos aromáticos; compostos de baixo peso molecular, como metanol e ácido acético são fracamente adsorvidos no carvão. Porém, compostos que são pouco adsorvidos no carvão são normalmente compostos biodegradáveis e muitos dos compostos adsorvíveis são não-biodegradáveis (HUTTON, 1980; DE JOHN & BLACK, 1978).

O carvão adsorve poluentes e oxigênio localizando-os ao ataque bacteriano. A ação aeróbica é dependente da concentração dos poluentes, e o efeito desta localização no carvão serve para dirigir a reação para sua finalização, resultando na melhora da remoção de DBO (DE JOHN & BLACK, 1978; KALINSKE, 1972).

A adsorção no carvão propicia um tempo maior de contato com a biomassa, pois poluentes que são adsorvidos sedimentam com o lodo e são recirculados ao sistema fazendo com que o tempo de contato destes poluentes seja estendido de horas para dias. E muitos poluentes que não são biologicamente degradados pelo sistema de lodos ativados convencional podem ser degradados em função do longo período de contato com a biomassa, resultando na redução de DQO e COT no efluente tratado. Carvões com alta densidade melhoram a sedimentação de sólidos no decantador secundário resultando em mais baixa concentração de sólidos suspensos no efluente tratado, e com isto, uma alta redução de DBO (DE JOHN & BLACK, 1978; DE JOHN & ADAMS, 1975).

2.7.5. Remoção de metais traços

2.7.5.1. Considerações gerais

Metais pesados compreendem uma categoria de constituintes em efluentes tratados que são preocupações do ponto de vista de saúde pública. Vários destes elementos são de particular interesse em suprimento de água, porque os efeitos tóxicos que tem sido observados são acumulativos no organismo humano. Os elementos que são destacados sob o ponto de vista de toxidez são: cádmio, cromo, cobre, chumbo, selênio, mercúrio e zinco (LINSTEDT et alii, 1971).

Além disto, os metais pesados são tóxicos a todos os seres vivos e como estas substâncias são acumulativas ao longo da cadeia alimentar, o homem é atingido também como consumidor de ordem elevada (AMARAL, 1984).

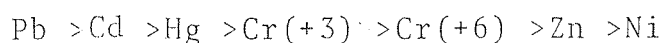
AMARAL (1984) e BRAILE & CAVALCANTI (1979) reúnem dados bibliográficos relacionando o efeito de metais pesados nos seres vivos, sua toxicidade e os níveis máximos permitíveis em água potável.

2.7.5.2. Metais pesados no processo de lodos ativados

Segundo POON & BHAYANI (1971) a toxidez de metais no processo de lodos ativados não é um assunto extensamente estudado. Em uma cultura heterogênea como no lodo ativado, a determinação da toxidez para espécies individuais de organismos não é conhecida. Os efeitos dos metais em diferentes espécies, as relações existentes entre o aparecimento de determinados indivíduos e o desaparecimento de outros é também desconhecido. A extinção de certas espécies pode dirigir ao crescimento excessivo de outras, indesejáveis ao processo. O mesmo metal em certas concentrações po-

de ser tóxico para algumas espécies, mas pode servir como estimulante para o crescimento de outras. A composição de uma alimentação a uma estação de lodos ativados é extremamente variável e é portanto difícil determinar os efeitos tóxicos de certos metais pesados. Além disto, o efluente pode conter compostos químicos que precipitam como compostos organometálicos reduzindo os efeitos da toxidez.

Segundo NEUFELD et alii (1977) os microrganismos do lodo ativado possuem uma extraordinária afinidade por traços de metais pesados presentes no efluente. Os organismos são capazes de concentrar mercúrio, cádmio e zinco no interior da biomassa, concentrando metais na fase sólida. Porém, existe um limite de quantidade de metal que pode ser assimilado pela biomassa. Estudos adicionando diferentes dosagens de metais pesados à biomassa foram realizados. A partir disto, foi determinado a seguinte ordem decrescente de afinidade global por metais pesados:



2.7.5.3. Adsorção no carvão ativado

As propriedades adsorptivas do carvão ativado são extensivamente estudados na remoção de compostos orgânicos, porém o potencial para adsorção de compostos inorgânicos é pouco conhecido, existindo apenas alguns estudos nesta área.

Segundo AMARAL (1984) a capacidade do carvão ativado em adsorver substâncias inorgânicas é determinada pela natureza destas substâncias e pelas propriedades físico-químicas do carvão ativado.

A aplicabilidade de carvão ativado na remoção de diferentes espécies químicas é ampla. Vários autores relacio-

nam a utilização de carvão ativado para remoção de elementos inorgânicos como urânio, césio, bário, zinco, cádmio, chumbo, níquel, cobalto, cromo e zircônio. Entretanto, não sugeremos mecanismos observados para remoção destes compostos (LINS-TEAD et alii, 1971).

SIGWORTH & SMITH (1972) sugerem a existência de vários mecanismos envolvidos na remoção de metais. Os mecanismos que são referidos por estes investigadores são:

- Adsorção física nos poros do carvão de compostos moleculares, tais como ácidos, íons complexos, polímeros de alto peso molecular ou outras espécies não polares.

- Pequeno número de complexos de oxigênio e outros grupos funcionais fixados na superfície do carvão pode ocasionar uma limitada ação de troca iônica. Assim, os íons mais pesados e de mais alta valência podem deslocar H^+ , Na^+ , Ca^{++} e outros íons para fixar certos metais.

- O carvão pode reduzir a precipitação de uma solução supersaturada por nucleação e pode reduzir a solubilidade de um sal metálico. Suspensões coloidais podem também ser quebradas por desagregação da estrutura da superfície carregada protegendo as partículas coloidais.

- Carvões ativados contêm traços de formas reduzidas de ferro e outros metais que podem entrar em reações de transposição metatéticas com íons metálicos mais baixos em séries eletromotivas ocasionando a deposição do metal pesado na superfície.

LINSTEAD et alii (1974) sugerem que o mecanismo para a remoção de inorgânicos poderia ser uma iteração química direta entre substâncias orgânicas e traços inorgânicos, seguidos por adsorção de orgânicos dentro do carvão. Entretanto, citam que esta é apenas uma teoria necessitando uma pesquisa suplementar.

A adsorção de metais no carvão é dependente do pH, dosagem de carvões e do tipo de carvão utilizado. Também um fator importante é a concentração do material a ser adsorvido na solução, onde é mais difícil a adsorção a baixas concentrações.

AMARAL (1984) e CORSEUIL (1984) citam uma vasta bibliografia a respeito de testes realizados no estudo da remoção de metais por adsorção em carvão ativado.

SIGWORTH & SMITH (1972) realizaram levantamento bibliográfico relacionando o potencial de adsorção de metais pesados no carvão ativado.

2.7.5.4. Efeito de metais no sistema combinado lodo ativado-carvão ativado

GRULICH et alii (1972) compararam o efeito de íons metálicos tóxicos, trabalhando em laboratório em uma unidade operada através do processo combinado lodo ativado-carvão ativado e a outra unidade de controle operada como o processo de lodos ativados convencional. Adicionaram doses de cromo, cobalto e zinco aos reatores e acompanharam as unidades através da Demanda Bioquímica de Oxigênio. Os resultados obtidos estão relacionados no quadro 2.6. Ambos os sistemas tiveram sua eficiência reduzida com a adição dos metais ao processo, entretanto o sistema combinado sofreu uma redução bem menor na eficiência de remoção de DBO do que o processo de lodo ativado convencional. Portanto, o carvão ativado melhorou a remoção de metais pesados do sistema.

QUADRO 2.6 - Efeito da adição de metais na remoção de DBO (33)

Metal Adicionado (dosagem)	% Remoção de DBO	
	Sistema combinado Lodo ativado-Carvão Ativado	Lodo Ativado Convencional
Nenhum	86	77
Cr ⁺⁶ (2 ppm)	79	68
Co (1,5 ppm)	83	67
Zn (5,0 ppm)	84	-

FERGUSON et alii (1979) estudaram o efeito de cargas de choque de metais pesados ao sistema combinado lodo ativado-carvão ativado. Os resultados são mostrados na figura 2.8 e indicam que foi obtido cerca de 50% de remoção de chumbo, zinco, cobre e cromo em dosagens acima de 75 mg/l de carvão e cerca de 20 a 30% de remoção para a unidade de controle biológico.

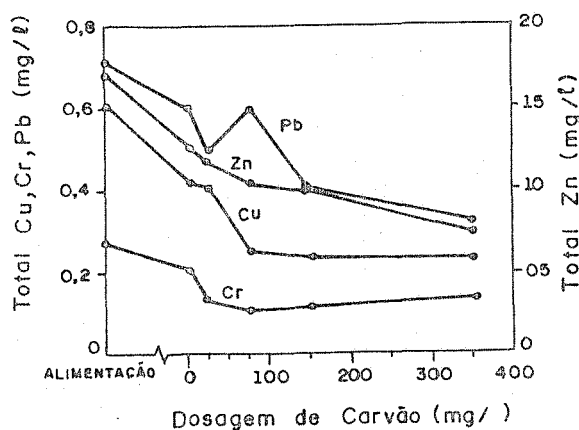


FIGURA 2.8 - Efeito da dosagem de carvão na remoção de Chumbo, Zinco, Cobre e Cromo

2.7.6. Remoção de poluentes orgânicos traços

2.7.6.1. Adsorção de poluentes orgânicos

Segundo WEBER (1981) poucos processos industriais produzem efluentes não tratados que são completamente isentos de um ou mais compostos considerados poluentes orgânicos. A U.S. Environmental Protection Agency (EPA), órgão de controle ambiental norte-americano, identifica 114 compostos orgânicos como poluentes orgânicos traços. Tratamentos de efluentes tradicionais não removem todos estes compostos, e o tratamento de efluente industrial utilizando carvão ativado é uma técnica para uma remoção efetiva de muitos destes compostos (WEBER et alii, 1983).

Vários autores citam a adsorção de diferentes compostos orgânicos por diferentes carvões ativados, e sugerem que:

- o carvão ativado é um adsorvente efetivo para a maioria dos 114 poluentes orgânicos;

- a capacidade e a taxa de adsorção para um específico poluente varia significativamente de acordo com um tipo de carvão;

- a capacidade e taxa de adsorção para um carvão específico varia amplamente entre os diferentes poluentes prioritários;

- a capacidade e taxa de adsorção para muitos poluentes prioritários são afetadas significativamente - e algumas vezes não previsto - pela presença de outras substâncias e pelas condições de solução, tais como temperatura e pH;

- cada efluente requer uma determinação de tratabilidade e análise de parâmetros específicos para projeto.

2.7.6.2. Remoção de poluentes orgânicos pelo sistema combinado lodo ativado-carvão ativado

WEBER et alii (1983) sugerem que benefícios adicionais do sistema combinado lodo ativado-carvão ativado relacionam-se com a remoção de compostos orgânicos traços. Foram feitos estudos, em laboratório, de vários poluentes prioritários, representando diferentes classes de substâncias químicas de diferentes volatilidade, solubilidade e biodegradabilidade. E foram apresentados resultados obtidos com o composto biologicamente mais resistente, lindane. Lindane é um pesticida, o isômero gama de 1,2,3,4,5,6-hexacloro-ciclohexano e estava sendo identificado em várias estações de tratamento de efluentes. Estudos de biodegradabilidade por lodo ativado não demonstrou degradação do lindane, e volatilização não é considerado um significativo mecanismo para a remoção deste composto de efluentes. Portanto, a adsorção no carvão ativado foi o mecanismo responsável pela remoção de lindane do sistema.

A determinação da concentração de lindane foi realizada por extração líquido-líquido e cromatografia gasosa.

Foram testados três tipos distintos de carvão ativado e a remoção obtida de lindane foi maior ou igual a 96% para dosagens de 30 mg/l de carvão ativado e uma concentração na alimentação de lindane acima de 100 mg/l.

FERGUSON et alii (1979) estudaram a adição de 2,4,5, triclorofenol a um sistema combinado lodo ativado-carvão ativado. Este composto foi adicionado em cargas de choque e foi obtida boa remoção com uma dosagem de 50 ppm de carvão e a remoção completa de 2,4,5 triclorofenol com uma dosagem de 150 ppm de carvão ativado.

2.8. FABRICAÇÃO DE CARVÃO ATIVADO EM INDÚSTRIA DE CELULOSE

Segundo COOKSON (1980) e HASSLER (1974) o carvão a tivado Nuchar é produzido a partir de resíduos de indústria de celulose, pela indústria de celulose West Virginia Pulp and Paper Company.

CHERIMISINOFF & MORRESI (1980) relacionam a área superficial de carvões ativados comercialmente disponíveis nos Estados Unidos da América. O quadro 2.7 relaciona os carvões ativados produzidos a partir de resíduos de indústria de celulose e sua área superficial associada.

QUADRO 2.7 - Carvões ativados a partir
de resíduo de celulose (13)

NOME COMERCIAL	ÁREA SUPERFICIAL (m ² /g)
Nuchar Aqua	550-650
Nuchar C	1050-1100
Nuchar (vários)	500-1400

Segundo COOKSON (1980) o carvão ativado Nuchar C é pro duzido da fração de lignina da madeira. Os sais de lignina são inicialmente carbonizados e totalmente lavados, e então sofrem uma série de tratamentos de ativação. O tratamento fi nal de ativação é com oxigênio a aproximadamente 490-540 °C.

JORDÃO (1977) cita o aumento da utilização em indústri as de celulose e papel de carvão ativado para remoção de muitos poluentes refratários à tratamentos convencionais, en tre eles cor e fenol.

Portanto, a indústria de celulose tem a possibilidade de produção de carvão ativado a partir de resíduos do processo, eliminando o custo de aquisição do carvão ativado para a adição ao reator biológico, e melhorando a eficiência do tratamento secundário através do sistema combinado lodo ativado carvão ativado.

.....

CAPÍTULO 3

MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

O trabalho foi realizado em uma estação piloto utilizando efluentes de uma indústria de celulose e papel. A estação constituiu-se de um sistema secundário de tratamento simulando o processo de lodos ativados.

Inicialmente foi necessário um período de adaptação do sistema para atingir as condições de equilíbrio. Dados referentes ao processo de lodos ativados convencional foram coletados na estação piloto, após o período de adaptação. As eficiências de remoção são associadas, entre outros fatores, às características físicas da estação operada, e por isto a necessidade da coleta destes dados para comparação posterior com o sistema integrado lodo ativado-carvão ativado.

O carvão ativado foi adicionado à estação piloto, e houve a necessidade de um período de estudo do carvão adicionado, dosagens, granulometria e efeitos produzidos no sistema. Após esta etapa, foram coletados dados referentes a duas dosagens distintas de carvão no sistema, 150 mg/l e 250 mg/l.

A avaliação da eficiência de remoção foi realizada através de análises de DBO, DQO, SS, cor, metais e ABS.

A utilização de efluente industrial no estudo teve por objetivo analisar a aplicabilidade deste processo em sistemas reais existentes de tratamento secundário por lodo ativado.

3.2. CARACTERÍSTICAS DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DA INDÚSTRIA DE CELULOSE

O trabalho foi realizado em uma indústria de celulose, Rio Grande Companhia de Celulose do Sul, RIOCELL, localizada no município de Guaíba, Rio Grande do Sul.

A indústria tem como linha de produção celulose branqueada e não branqueada, através do processo Kraft, com uma produção diária de aproximadamente 900 ton/dia.

O tratamento de efluentes em operação consiste das seguintes unidades:

- Pré-tratamento;
- Tratamento primário;
- Tratamento secundário;
- Tratamento terciário.

Os efluentes de características alcalinas provenientes da fábrica passam pelo pré-tratamento, onde são removidas partículas grosseiras. Em uma câmara selada hidraulicamente, este efluente é misturado ao efluente ácido gerado na planta de branqueamento de celulose. Sob forte agitação e com adição de produtos químicos tais como: leite de cal ou ácido sulfúrico, os efluentes são levados a pH próximo ao neutro.

O efluente é enviado aos decantadores primários, havendo a possibilidade de serem desviados à lagoa de emergência antes de atingirem os decantadores.

Após os decantadores primários, o efluente passa por uma série de trocadores de calor condicionando a temperatura às necessidades do tratamento biológico. Após a redução de temperatura, o efluente segue à lagoa de homogeneização e

posterior alimentação ao tratamento biológico, onde é utilizado o processo de lodo ativado com sistema de oxigênio puro.

Seguindo o tratamento secundário, o licor de mistura do reator passa por dois decantadores. Parte do lodo adensa do retorna ao reator e parte é descartada do sistema para a linha de lodos. O efluente líquido sofre adição de sulfato de alumínio na saída dos decantadores secundários, ocorrendo uma clarifloculação do efluente nos decantadores terciários.

O efluente tratado vai para a lagoa de polimento, onde o tempo médio de permanência é de 12 horas, e é, então, lançado através de dispersores no rio Guaíba.

3.3. LOCALIZAÇÃO

O trabalho foi desenvolvido no Departamento de Controle Ambiental da indústria de celulose, no Laboratório de Biologia. As análises rotineiras para acompanhamento do desempenho da unidade foram realizadas no Laboratório Físico-Químico do Departamento anteriormente referido.

As análises de metais, ABS e isotermas de adsorção foram realizadas no Laboratório de Saneamento Ambiental do Instituto de Pesquisas Hidráulicas - UFRGS.

3.4. DESCRIÇÃO DO MATERIAL

3.4.1. Características do carvão ativado

Nos testes de isotermas foram utilizados três tipos de carvão ativado:

- CARBOMAFRA, fabricado pelas Indústrias Químicas Car-

bomafra S.A., Curitiba, PR.;

- ATICATA TV 190 G, fabricado pela Indústria Carbonífera Rio Deserto Ltda, Urussanga, SC.

O quadro 3.1. relaciona as propriedades físicas destes dois carvões ativados.

- MERCK, fabricado pela Calgon. Através de contato pessoal com o representante, tentou-se obter informações sobre as características deste carvão; entretanto, não foram obtidas estas informações.

Na estação experimental foram utilizados os carvões ativados CARBOMAFRA e ATICATA TV 190 G.

QUADRO 3.1 - Propriedades físicas dos carvões
ativados utilizados

PROPRIEDADES FÍSICAS	CARBOMAFRA	ATICATA TV 190 G
Área superficial (m ² /g)	1000	900
Densidade aparente (g/ml)	0,50	0,30
Tamanho efetivo (mm)	0,70	0,91
Coef. de uniformidade	1,46	1,53
Abrasão (%)	70,00	70,70
Cinzas (%)	10,1	6,0
pH	8,6	9,5

3.4.2. Efluente

O efluente era coletado diariamente na entrada do reator biológico da estação de tratamento da indústria de celulose, já com a adição dos nutrientes necessários ao processo biológico.

Durante o período de 11/03/86 a 26/03/86 houve uma parada programa para manutenção da fábrica, cessando a alimentação diária do efluente.

Foi necessário, então, para manter o processo biológico na estação experimental, a alimentação de esgoto sintético. Este esgoto foi alimentado conjuntamente com o efluente da fábrica, coletado antes da parada e estocado para alimentação associada com o efluente sintético durante a interrupção da alimentação do efluente real.

O esgoto sintético foi proporcionalmente aumentado em relação ao efluente real durante o período de parada da fábrica. No primeiro dia foi adicionado 15% de esgoto sintético, aumentando-se a alíquota nos dias seguintes para 25%, 30% e 40% sucessivamente. Foi mantida a alíquota de 40% durante o período de interrupção na alimentação até o retorno da operação da estação de tratamento da indústria, quando novamente foi realizada uma redução gradual do esgoto sintético na alimentação do reator. O quadro 3.2. indica a composição do esgoto utilizado.

QUADRO 3.2. - Composição do esgoto sintético

COMPONENTES	QUANTIDADE
Glicose	2,5 g/l
Leite desnatado	2,5 g/l
CaCl ₂	100 mg/l
Solução de Micronutrientes	0,57 ml/l

onde a solução de micronutrientes possuía a seguinte composição:

FeCl ₃	38,88 g
MnCl ₂ .4H ₂ O	9,48 g

ZnCl ₂	6,54 g
CuCl ₂ ·2H ₂ O	4,10 g
CoCl ₂ ·6H ₂ O	5,71 g
Na ₂ B ₄ O ₇ ·10H ₂ O	2,29 g
Na ₃ Citrate	353,0 g
(NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄ ·4H ₂ O	4,15 g

A adição gradual do esgoto sintético foi realizada para não haver uma modificação brusca nas características da alimentação do reator biológico. Uma alimentação completamente distinta à população de microrganismos poderia causar uma desestabilização no sistema biológico, o que era indesejável.

3.5. ESTAÇÃO EXPERIMENTAL

3.5.1. Descrição da estação experimental

O trabalho foi realizado em uma estação piloto onde o reator e decantador acoplado foi construído em acrílico. O reator biológico possuía uma capacidade de 14,3 litros e o decantador tinha um volume de 2,2 litros.

O reator biológico foi alimentado a partir de um reservatório de 160 litros. Uma bomba dosadora, marca Masterflex, levava o efluente ao reator, e após o processo o efluente passava por um recipiente de 12,8 litros, para reduzir os problemas de ineficiência do decantador. O efluente era então despejado no esgoto.

A aeração foi realizada a partir de uma torneira de ar disponível no laboratório. Uma mangueira de 0,635 cm de diâmetro foi conectada à torneira e esta tubulação à uma válvula reguladora de pressão. Após, na linha, um rotâmetro foi colocado para controle da vazão de ar. Depois do rotâmetro a tubulação seguia até o reator. No fundo do reator, na extre-

midade oposta ao decantador, foi colocado um dispersor de ar. Este dispersor foi construído a partir de uma mangueira de instrumentação com furos milimétricos em toda a sua extensão.

Para manter a cultura aeróbica em suspensão, além do dispersor de fundo, foi colocado um agitador marca Ética.

O esquema geral da estação está representado na figura 3.1.

3.5.2. Operação da estação experimental

A unidade em estudo era alimentada com efluente provindo da entrada do reator da indústria de celulose, já com a adição dos nutrientes necessários para o tratamento biológico, que são nitrogênio e fósforo. O nitrogênio é proveniente da amônia adicionada e o fósforo, a partir do ácido fosfórico. A relação de adição destes nutrientes é 100 DBO₅:5N:1P, coincidente com o recomendado pela bibliografia.

O efluente era trazido diariamente da estação de tratamento em recipientes de 50 litros e era colocado no reservatório de alimentação. Este reservatório era mantido com um volume superior ao consumo diário, com isto, havia uma mistura do efluente contido no reservatório com o efluente trazido diariamente, e as características da alimentação ao reator não sofriam alterações bruscas. Este efluente era alimentado continuamente ao reator biológico através da bomba dosadora.

Os microrganismos utilizados na semeadura inicial no reator do modelo estão descritos no ítem 3.5.3.

Para manter o mesmo tempo de detenção da estação exis

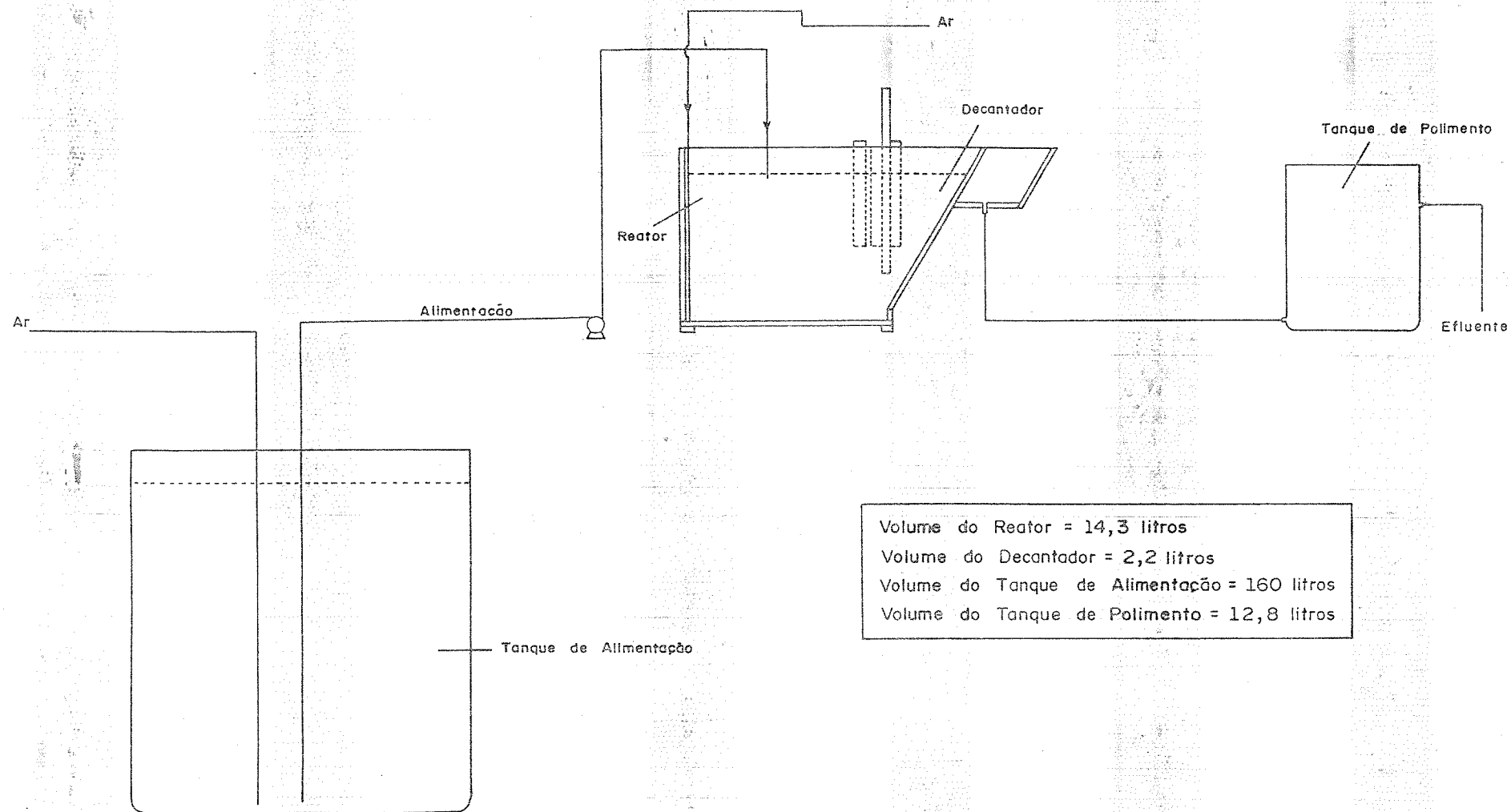


FIGURA 3.1 - Esquema geral da Estação Experimental

tente, o tempo médio de residência do efluente no reator foi de 6,6 horas. A vazão de alimentação do efluente ao reator era de 36 ml/min.

O controle da estação foi realizado pela idade do lodo, já que com a adição de carvão é difícil a diferenciação na análise de sólidos suspensos voláteis, a parte referente ao carvão e a dos sólidos biológicos, conforme descrito no item 2.6.7. da Revisão Bibliográfica. No item 3.5.4. é discutido a idade de lodo utilizada. A alíquota de retirada de lodo do reator era feita uma vez por dia através de sifonamento do licor de mistura do reator.

A unidade foi aerada com uma vazão de 4000 ml/min. Esta aeração além de prover o modelo com a oxigenação necessária ao processo biológico, também foi utilizada para auxiliar a mistura do licor e manter a cultura em suspensão. O agitador foi colocado para auxiliar a mistura no reator, a velocidade utilizada foi de 5 rpm.

O carvão ativado era adicionado em batelada, uma vez por dia, de acordo com a dosagem escolhida, após a retirada do lodo.

A limpeza na tubulação era realizada semanalmente para evitar obstrução por colmatação e conseqüente interrupção da alimentação ou na saída do efluente.

A semeadura dos microrganismos é descrita no item 3.5.3. Após a semeadura houve um período de adaptação do sistema às condições da estação experimental. Segundo RAMALHO (1977) o experimento necessita de 2 a 4 semanas para que as condições de estabilização sejam atingidas.

Quando as características do sistema demonstraram equilíbrio, foi realizada uma variação na idade do lodo descrita no item 3.5.5.

Após a definição da idade de lodo a ser operada, foram coletados dados referentes ao processo de lodos ativados convencional para caracterizar a estação piloto em operação e para comparação com o processo adicionando carvão ativado no sistema.

Foram realizadas, simultaneamente, coletas de dados na estação experimental e ensaios de isotermas no Instituto de Pesquisas Hidráulicas-UFRGS.

O carvão ativado em pó inicialmente utilizado foi CARBOMAFRA disponível no Instituto de Pesquisas Hidráulicas. A dosagem utilizada foi de 50 mg/l para verificação do efeito produzido nas características gerais do sistema.

Em função da densidade do carvão e do curto período de adaptação do sistema às novas condições, partículas de carvão eram perdidas pelo decantador secundário. Foi feita uma tentativa de aumentar a granulometria do carvão adicionado ao reator. A granulometria escolhida foi entre #200 e #325. Esta granulometria foi determinada através de peneiras da série padrão ASTM.

Porém, a eficiência de remoção sofreu um acréscimo muito inferior ao esperado. A dosagem de carvão foi elevada para 100 mg/l e o carvão foi testado através do teste de Número de Iodo.

O Número de Iodo obtido para o carvão CARBOMAFRA que estava sendo utilizado foi de 540 m²/g indicando uma área superficial inferior à caracterizada pelo fabricante, que é de 1000 m²/g. Portanto, houve contaminação do carvão na estocagem. Foi então substituído o carvão empregado na estação experimental para ATICATA TV 190 G, também disponível no IPH.

O Número de Iodo foi testado para este carvão e obteve-se uma área superficial de $940 \text{ m}^2/\text{g}$ indicando uma boa qualidade do carvão.

A granulometria do carvão utilizado permaneceu entre #200 e #325. Os dados obtidos com a mudança do carvão, após o período de adaptação do sistema a este novo tipo de carvão, ficaram ainda abaixo das expectativas das eficiências de remoções desejadas.

Conforme está referido no item 2.6.3.2. da Revisão Bibliográfica a taxa de adsorção é influenciada pelo tamanho das partículas do carvão e carvão em pó resulta em taxas de adsorção maiores. Com isto foi então alterada a granulometria do carvão ativado utilizado adicionando carvão em pó ao sistema. A granulometria deste carvão foi determinada em peneiras classificatórias e obteve-se as seguintes percentagens:

- retido na #100 = 0,20%
- entre #100 e #200 = 18,49%
- entre #200 e #325 = 19,59%
- passando na #325 = 61,72%

A dosagem de carvão foi elevada para 150 mg/l com relação ao fluxo de alimentação. Nesta dosagem e com esta granulometria foram obtidas melhores eficiências de remoção.

Após um período de estabilização do sistema foram coletados dados referentes a esta dosagem de carvão.

A dosagem de carvão foi aumentada para 250 mg/l e foram também realizadas coletas de dados descritos nos Resultados.

3.5.3. Semeadura

A semeadura realizada no reator biológico da estação experimental foi feita em 25/06/85. A semeadura dos microrganismos foi realizada a partir do lodo de retorno do decantador secundário ao reator biológico da estação de tratamento da indústria de celulose. A operação foi iniciada a partir destes microrganismos em função da adaptação dos mesmos às características do efluente.

A população inicial foi identificada por análise microbiológica do lodo da semeadura e os microrganismos presentes, possíveis de serem identificados com o poder de resolução do microscópio foram:

Vorticella convalaria

Aspidisca costata

Amoeba sp.

Flagelados

As condições de equilíbrio são atingidas com o decorrer do tempo e foi esperado 4 semanas para o estudo da idade do lodo. Porém, durante este período, análises microbiológicas foram realizadas e os microrganismos presentes no reator mantiveram-se idênticos, além do aparecimento de novas espécies de ciliados.

3.5.4. Ensaio de sedimentação

Foram realizados ensaios de sedimentação no licor de mistura do reator para acompanhamento do processo. Estes ensaios de sedimentação demonstram as características do lodo no reator e através desta análise podem ser verificados problemas na formação de flocos e conseqüente perda de sólidos pelo decantador secundário.

O ensaio de sedimentação foi realizado em uma

proveta de 1 litro. O licor de mistura foi colocado na proveta, homogeneizado e com o decorrer do tempo as partículas sedimentam, formando uma interface com a fase líquida. RAMALHO (1977) descreve as etapas de sedimentação que ocorrem no processo de lodos ativados.

Segundo PIPES, um lodo ativado em boas condições sedimenta rapidamente.

Os ensaios de sedimentação realizados no licor de mistura do reator auxiliaram na determinação da idade do lodo e na operação do reator.

3.5.5. Idade do lodo

Segundo DRAKIDES (1978), a idade do lodo está intimamente relacionada com o tamanho dos flocos formados e a diversidade de espécies presentes. Uma microfauna de abundância normal e bem diversificada, isto é, onde não há predomínio de um grupo em relação a outro, quase sempre corresponde a um floco bem formado e com bom rendimento.

Foram realizadas análises microbiológicas no licor de mistura do reator biológico da estação experimental e ensaios de sedimentação para determinação da idade do lodo a ser utilizada no trabalho.

A idade do lodo sofreu uma variação de 10 até 20 dias. O lodo ativado com um tempo médio de detenção celular em torno de 10 dias, foi obtida uma boa sedimentação em proveta, porém os flocos apresentaram-se dispersos e apareceram muitos microrganismos flagelados, o que a bibliografia cita como lodos jovens, em formação, ou um curto tempo de permanência, indicando uma depuração incompleta.

Com o aumento da idade do lodo, em torno de 15 dias, os

flocos formados tiveram um aspecto citado na bibliografia como um lodo estabilizado e com o aparecimento de diversas espécies de ciliados. Foi obtida uma boa sedimentação em proveta, com uma interface definida e um sobrenadante com poucos sólidos em suspensão.

O tempo de detenção celular em torno de 20 dias, mostrou uma difícil sedimentação em proveta e os flocos formados tornaram-se desagregados, com o desaparecimento de microorganismos ciliados.

O tempo de detenção celular escolhido para operação do reator foi de 15 dias por apresentar características que são descritas pela bibliografia como um lodo normal.

Após a estabilização do sistema biológico com carvão ativado e resolução dos problemas obtidos com o carvão, foi feita uma tentativa de aumento da idade do lodo de 15 dias para 20 dias. Entretanto, os flocos novamente tornaram-se desagregados, associado ao desaparecimento da maioria de microorganismos ciliados. Com isto, manteve-se a idade de lodo em 15 dias para todo o período de teste.

3.6. PARÂMETROS ANALISADOS

Para avaliar o processo combinado lodo ativado-carvão ativado foram realizadas análises na alimentação e efluente ao modelo em acrílico, e foram feitas observações microscópicas e ensaio de sedimentação do licor de mistura do reator para acompanhamento das características do lodo formado.

A vazão era determinada duas vezes ao dia, e quando necessária, era ajustada para manter a vazão desejada. A variação na vazão não era muito acentuada dia a dia e o decréscimo na quantidade dosada ao reator correspondia a colmata-

ção na tubulação.

A temperatura era determinada no reator biológico através de termômetro de mercúrio. A temperatura em média ficava em torno de 22°C.

O oxigênio dissolvido era determinado duas vezes ao dia no licor de mistura do reator e no efluente na saída do decantador. As medições foram feitas pelo método eletrométrico através de oxímetro de marca METROHM.

As seguintes análises foram feitas diariamente na alimentação e efluente a estação experimental:

a) pH

O pH das amostras foi determinado pelo método eletrométrico descrito no "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. O aparelho utilizado foi medidor de pH MICRONAL B 221 e B 374.

b) Demanda Química de Oxigênio

A demanda química de oxigênio foi realizada pelo método desenvolvido no Departamento de Controle Ambiental da RIOCELL. O método é denominado Método Reduzido para Análise de DQO e consiste na utilização de tubos de ensaio. Aos tubos de ensaio são colocados 4 ml da amostra, já realizadas diluições quando necessário, 3 gotas de HgSO_4 , 2 ml de $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ e 6 ml de H_2SO_4 . Os frascos são tampados, agitados e colocados em banho de areia a 150°C por duas horas. Após este período, os tubos são retirados, resfriados à temperatura ambiente e titulados com sulfato ferroso amoniacal utilizando ferroína como indicador.

c) Cor

A cor da amostra foi realizada por método espectrofotométrico, utilizando um comprimento de onda de 420 nm. A cur

va de calibração era realizada pelos laboratoristas do Departamento de Controle Ambiental da RIOCELL. A marca do aparelho utilizado é BAUSCH & LOMB.

d) Sólidos suspensos

A análise de sólidos suspensos foi realizada conforme descrito no "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater".

e) A análise de Demanda Bioquímica de Oxigênio era feita duas vezes por semana. Eram realizadas quatro diluições para cada amostra e a semente utilizada foi o sobrenadante do licor de mistura da estação de tratamento da indústria de celulose. O método empregado é o descrito no "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater".

f) Semanalmente eram realizadas análises de sólidos suspensos voláteis, sólidos totais e sólidos fixos conforme procedimento descrito no "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater".

g) As análises de ABS (Alquil Benzeno Sulfonato) foram realizadas no Instituto de Pesquisas Hidráulicas conforme descrito no "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater".

h) A determinação de metais foi feita utilizando o método de espectrofotometria de absorção atômica descrito no "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater". O aparelho utilizado foi um Espectrofotômetro de Absorção Atômica marca VARIAN, modelo 475, instalado no Instituto de Pesquisas Hidráulicas e um Espectrofotômetro de Absorção Atômica, marca PEKIN ELMER, modelo 403, instalado na Faculdade de Agronomia UFRGS.

Foi necessário a utilização do aparelho instalado na Fa

culdade de Agronomia, devido a problemas técnicos na análise de cromo, no aparelho instalado no Instituto de Pesquisas Hidráulicas.

i) O teste do Número de Iodo foi realizado no Instituto de Pesquisas Hidráulicas conforme procedimento padronizado pela AWWA (1974).

j) As análises microbiológicas foram realizadas no licor de mistura do reator. Em uma lâmina era colocada, com o auxílio de uma pipeta graduada, uma gota do licor de mistura e sobre esta uma lamínula. O microscópio utilizado para as observações foi um OLYMPUS BHB, instalado no Laboratório de Microbiologia da RIOCELL.

O carvão ativado que era adicionado permanecia na estufa a 105°C por 4 horas para secagem do mesmo.

As balanças utilizadas para pesagem eram marca METTLER e o modelo da balança de precisão era H 35 AR.

3.7. ISOTERMAS DE ADSORÇÃO

As isotermas de adsorção foram realizadas no Instituto de Pesquisas hidráulicas utilizando amostras da alimentação à estação piloto.

Para este teste foi utilizado um agitador marca KOTTERMAN, com capacidade para fixar oito erlenmayer de 250 ml.

Foram utilizadas 5 dosagens distintas de carvão para este teste. As dosagens de carvão foram de 0,10 g/l, 0,20 g/l, 0,40 g/l, 1,00 g/l e 5,00 g/l. O volume de amostra foi de 200 ml, sendo esta amostra perfeitamente homogeneizada. Em um frasco de controle foi colocada amostra sem adição de carvão e foi submetida ao mesmo procedimento de maneira a ob-

ter uma leitura em branco. Os frascos foram tampados com papel alumínio para não haver perda ou contaminação da amostra.

Os frascos foram colocados no agitador e agitados durante um período de 2 horas a uma intensidade de agitação constante de 7,5 na escala do aparelho, correspondendo em média a 160 oscilações por minuto. A temperatura utilizada para os testes foi de 20°C.

Segundo WARTCHOW (1982) o equilíbrio de adsorção é obtido normalmente em 60 minutos, sendo, portanto, 2 horas considerado tempo suficiente para que a concentração na superfície da partícula seja igual a concentração na solução.

Após o término do tempo de contato, o conteúdo dos frascos erlenmeyer foi filtrado inicialmente em funil de BUCHNER, com filtro 642 marca MN, inserido num frasco para filtração a vácuo tipo Kitasato. Como esta filtração foi insuficiente para remover o carvão da solução, foi utilizada filtração em membrana para completa remoção do carvão. Esta filtração foi realizada em um funil específico colocado em frasco para filtração a vácuo.

As análises realizadas nas amostras após filtração foram cor e DQO, utilizando os métodos descritos no item 3.6.

Para tabulação dos dados obtidos nos testes utilizou-se o procedimento descrito a seguir. A concentração residual de cor e DQO (C) foi obtida da análise das amostras filtradas. A quantidade adsorvida no carvão (X), foi obtida pela subtração do valor C de C_0 , onde C_0 é a concentração inicial da leitura do frasco branco. Dividindo-se X por M, onde M é o peso do carvão utilizado na amostra, obteve-se a quantidade adsorvida por unidade de carvão.

3.8. ADIÇÃO DE POLIELETRÓLITO

A presença de pequenas partículas de carvão foi detectada através de análise microscópica do efluente na saída do decantador.

HUBINGER & HUTTON (1981) e ROBERTACCIO (1974) citam a necessidade da utilização de um polieletrólito ao efluente do reator biológico para evitar a perda excessiva de sólidos suspensos através da coagulação de finos do carvão.

Foi então testada a adição de polieletrólito catiônico poliacrilamida, que é utilizado na estação real no tratamento terciário como auxiliar de coagulação. Entretanto, em função das características da estação piloto e pela pequena vazão tratada, ficou impossibilitada a adição contínua de polieletrólito pela pequena fração que deveria ser adicionada.

Uma adição descontínua e diária foi testada. Logo após a adição do polieletrólito ao decantador ocorria uma visível redução de cor no efluente de saída do decantador.

Uma amostra retirada da alimentação ao sistema possuía uma cor aparente de 5616 mg Pt Co/l e o efluente de 2800 mg Pt Co/l e após a adição de polieletrólito no decantador foi reduzida para 935 mg/l. Os demais parâmetros também sofreriam redução se a adição de polieletrólito fosse realizada, já que partículas de carvão carregam poluentes adsorvidos e o polieletrólito eliminaria estas partículas de carvão do efluente.

Entretanto, após um período de 5 horas, o efluente retornava as condições iniciais. O aumento da dosagem de polieletrólito tornava-se inviável pelo custo associado ao custo geral do processo, e, a adição em batelada, em pequenos intervalos de tempo também era inviável pelas condições ope

racionais.

Portanto, a utilização de polieletrólito para retirada dos finos de carvão teve que ser abandonada.

Porém, pode ser observado que não houve efeito tóxico da adição de polieletrólito aos microrganismos, já que o polieletrólito lançado em batelada no decantador atingia o reator biológico. E durante este período, análises microbiológicas do lodo foram intensificadas para verificação da população de microrganismos, porém, não houve nenhuma modificação capaz de ser detectada e, com isto, podemos verificar que o polieletrólito não proporcionou um efeito tóxico à biomassa.

O estudo da adição de polieletrólito deveria ser realizado para determinação da eficiência real obtida no processo combinado lodo ativado-carvão ativado. Para tanto, existe a necessidade do teste em escala piloto, com uma maior vazão tratada, onde a adição contínua de polieletrólito fosse possível de ser realizada.

.....

CAPÍTULO 4

RESULTADOS E DISCUSSÃO

.....

4.1. ISOTERMAS DE ADSORÇÃO

Os ensaios de isotermas foram realizados conforme está descrito no ítem 3.7. As isotermas de adsorção foram realizadas utilizando os carvões ativados CARBOMAFRA, ATICATA TV 190 G e MERCK. As figuras 4.1, 4.2 e 4.3 mostram os dados obtidos nos testes de isoterma.

As isotermas de adsorção informam a capacidade adsor_tiva de distintos tipos de carvão ativado em relação a um determinado efluente. Quando plotados os dados referentes as isotermas em papel Di-log, diferentes curvas podem ser obtidas, indicando as características adsor_tivas do carvão. Para sistemas com um componente simples o adsorbato geralmente produzirá uma linha reta, seguindo a equação de Freundlich, conforme demonstra a figura 4.4. Para componentes tais como metanol, que é não-adsorvível, a isoterma será praticamente perpendicular a abscissa, conforme demonstra a figura 4.5.

Efluentes que são caracterizados pela presença de multicomponentes, muitas vezes resultam isotermas de adsorção não-lineares. A mistura metanol-fenol está representada na figura 4.6 e a representação desta isoterma é uma curva até tornar-se vertical na concentração do componente não-adsorvível.

O efluente utilizado nas isotermas de adsorção para o estudo, foi a alimentação do reator biológico e caracteriza

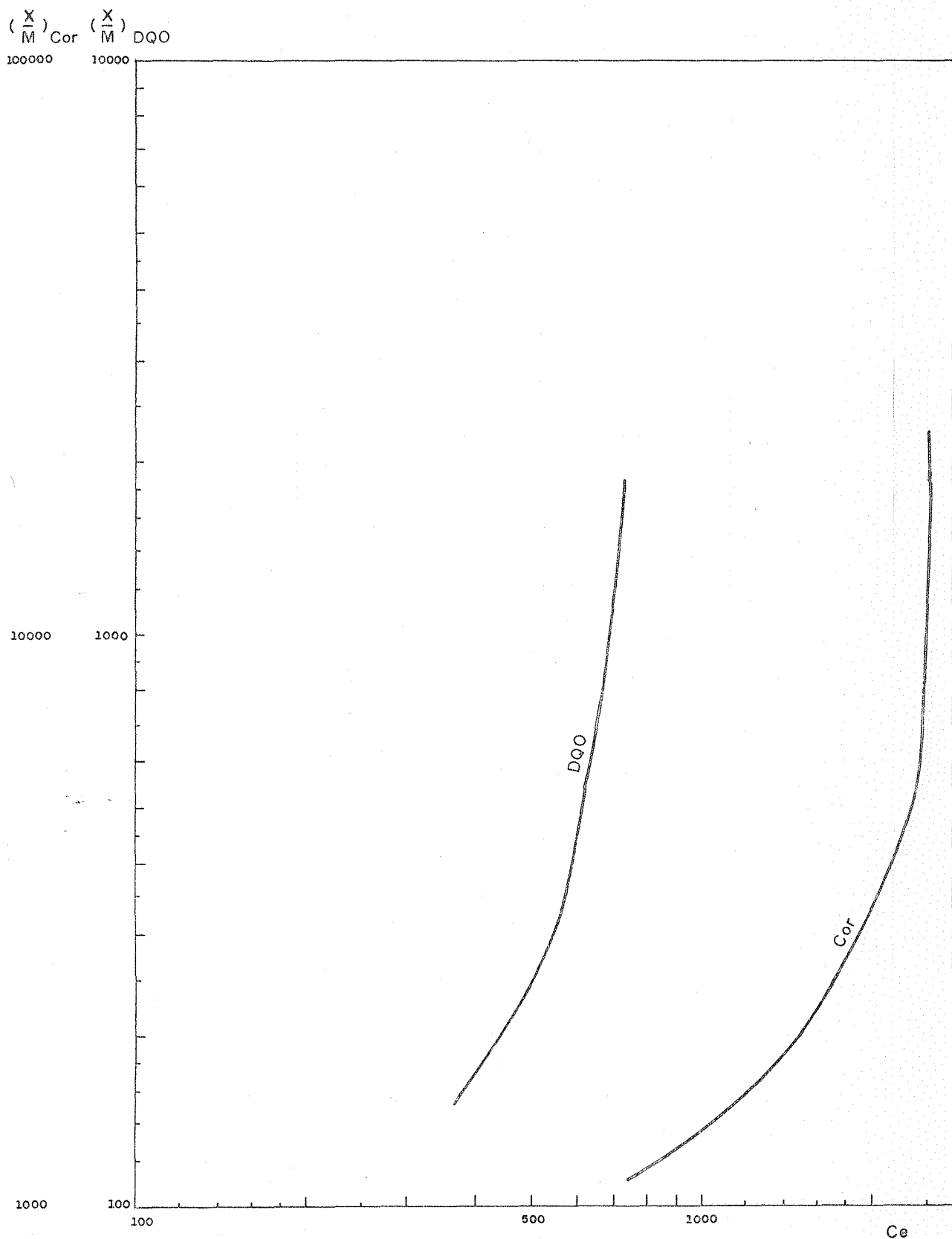


FIGURA 4.1 - Isoterma de adsorção
Carvão ativado CARBOMAFRA - Carvão "A"

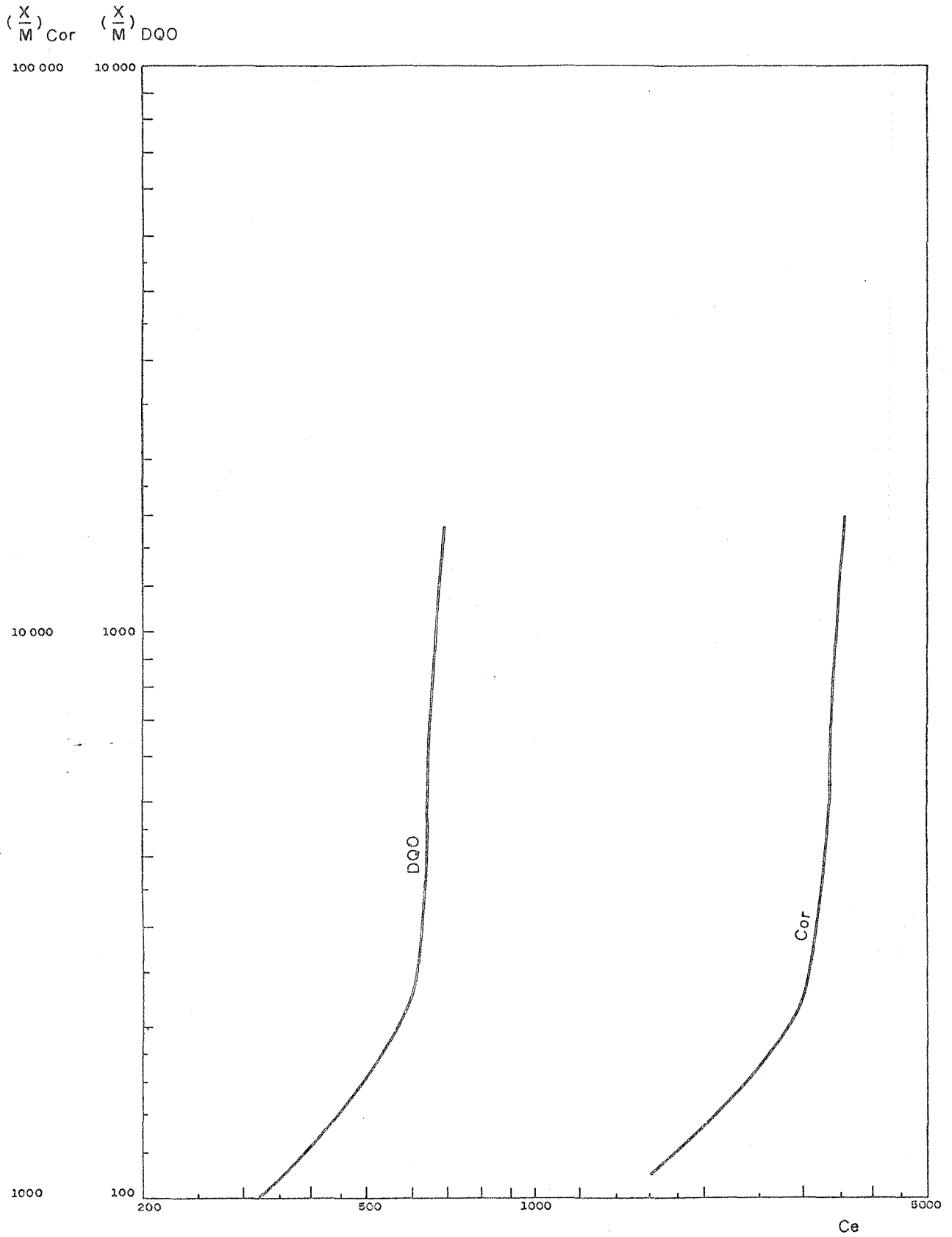


FIGURA 4.2 - Isoterma de adsorção
Carvão ativado ATICATA TV 190 G
Carvão "B"

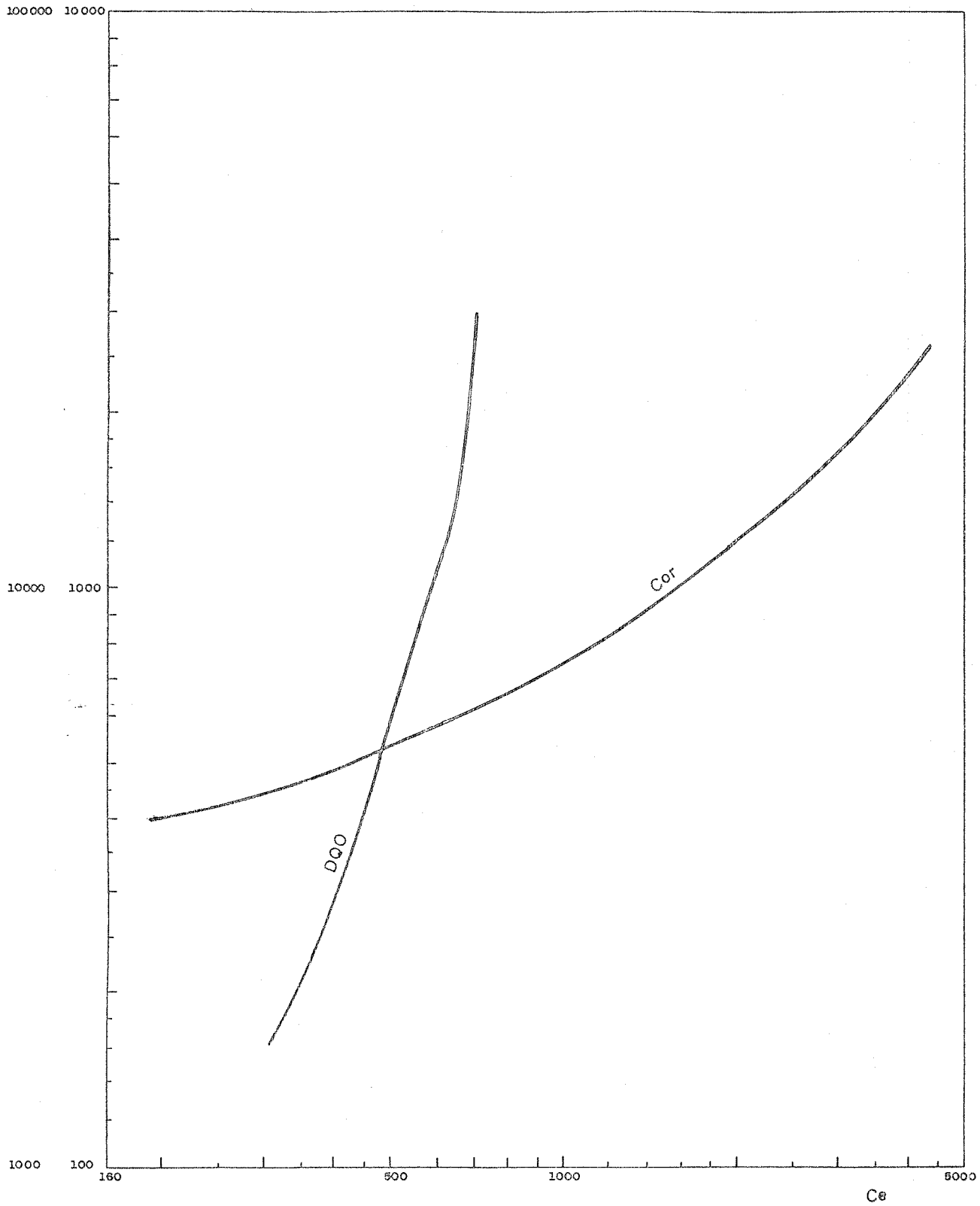
$$\left(\frac{X}{M}\right)_{\text{Cor}} \quad \left(\frac{X}{M}\right)_{\text{DQO}}$$


FIGURA 4.3 - Isoterma de adsorção
Carvão ativado MERCK - Carvão "C"

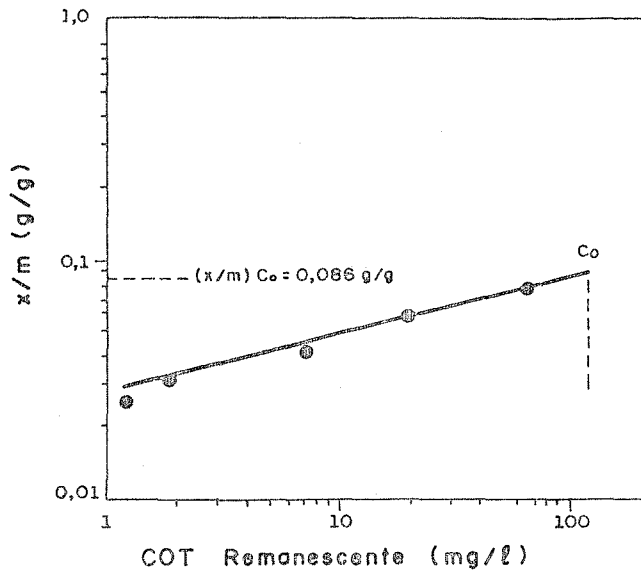


FIGURA 4.5 - Isoterma de adsorção - METANOL

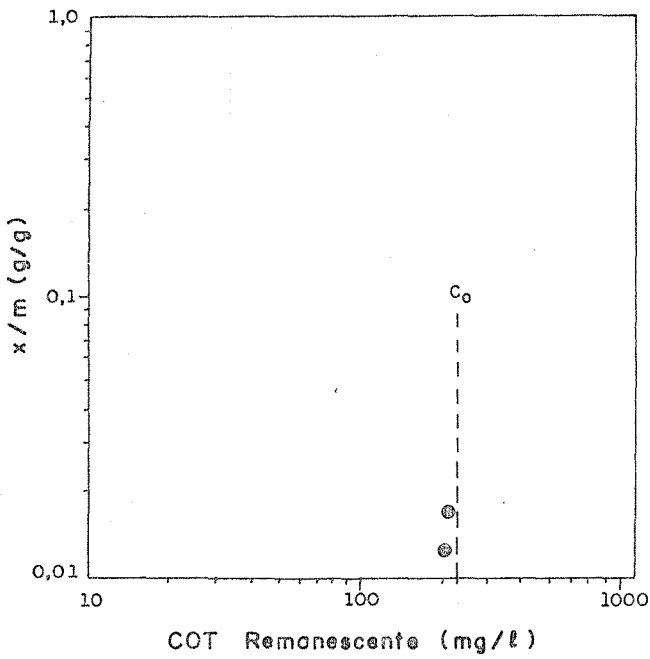
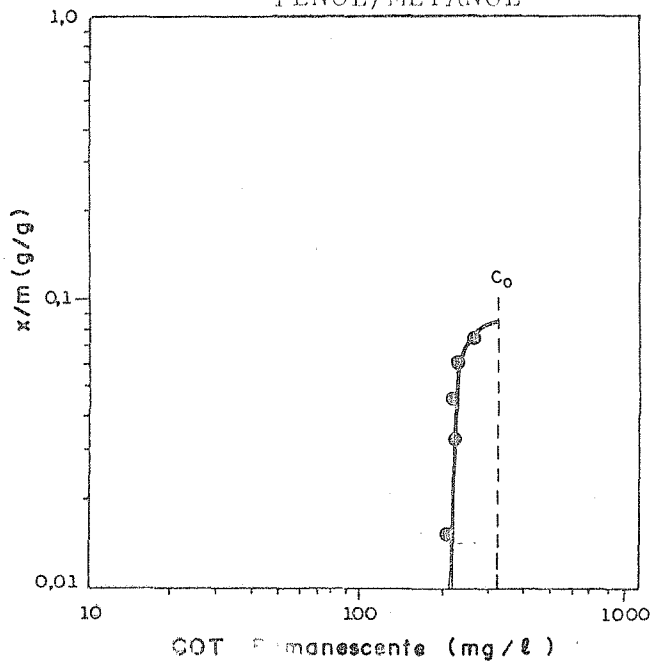


FIGURA 4.6 - Isoterma de adsorção - MISTURA
FENOL/METANOL



va-sé pela presença de multicomponentes não determinados.

Como pode ser observado pela comparação das isotermas de adsorção, o carvão ativado MERCK foi o que obteve uma maior adsorção dos componentes responsáveis pela cor e DQO no efluente. Para os carvões ativados CARBOMAFRA e ATICATA TV 190 G, as isotermas mostraram uma remoção similar, onde uma remoção mais elevada foi obtida com altas dosagens de carvão.

Teoricamente, o carvão ativado MERCK deveria ser utilizado na estação piloto, porém seu elevado custo não justificaria a operação em escala de uma estação de tratamento, além da dificuldade de obtenção do produto, mesmo para teste em laboratório.

Os outros dois carvões utilizados para os testes de isotermas são fabricados no País, tendo-se a possibilidade de aplicação dos mesmos em escala real.

As isotermas de adsorção são úteis para avaliar os diferentes tipos de carvão com relação somente à adsorção de compostos do efluente em estudo, porém não avaliam os benefícios adicionais que o sistema combinado lodo ativado-carvão ativado pode trazer ao processo, além da adsorção.

Portanto, para avaliação da melhoria da qualidade do efluente tratado pela adição de carvão ao processo biológico é necessário um teste em fluxo contínuo para definir a eficiência do sistema para o efluente em estudo.

4.2. CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO

A estação experimental foi operada com uma alimentação bastante variável diariamente quanto aos parâmetros de DBO, DQO, cor, sólidos suspensos e está caracteri-

zado em cada um dos parâmetros acompanhados. O pH na alimentação permaneceu sempre em torno de 7, pois era corrigido na estação de tratamento de efluentes para atingir as exigências do tratamento biológico. A adição de carvão ativado ao sistema não promoveu uma variação possível de ser detectada, permanecendo o pH efluente idêntico as condições de operação da unidade pelo processo biológico convencional.

O oxigênio dissolvido no reator biológico sofreu uma amplitude de variação maior, entretanto, em média obteve-se um oxigênio dissolvido de 7 mg/l no reator biológico e no efluente de saída do decantador a média ficou em torno de 5 mg/l.

As análises de sólidos suspensos voláteis foram realizadas durante as etapas de estudo conforme descrito no item 3.6.

Os resultados obtidos para sólidos suspensos voláteis durante o período operado como lodos ativados convencional, foi em média 4890 mg/l e os sólidos totais foram de 8386 mg/l.

Para a adição de 150 mg/l de carvão ativado ao reator, obteve-se em média 11330 mg/l para sólidos suspensos voláteis e 14695 mg/l para sólidos totais. Para a adição de 250 mg/l de carvão ao reator, os sólidos suspensos voláteis foram em média de 16295 mg/l e os sólidos totais de 18540 mg/l.

A adição de carvão ativado ao reator impossibilita a determinação da biomassa presente no sistema através da análise de sólidos suspensos voláteis, conforme descrito no item 2.6.7. Porém, esta análise foi realizada para se obter um controle de sólidos presentes, onde em uma mesma dosagem de carvão variações significativas poderiam indicar decréscimo de biomassa.

4.3. PADRÕES EXIGIDOS PARA O EFLUENTE TRATADO

O Departamento de Meio Ambiente da Secretaria da Saúde e Meio Ambiente do Rio Grande do Sul é o órgão responsável pelo controle de padrões de emissão de efluentes industriais. Estes padrões são determinados para cada tipo de processo industrial, de acordo com a localização da indústria e do corpo receptor.

O quadro 4.1 relaciona os padrões exigidos para o efluente em estudo.

QUADRO 4.1 - Padrões de emissão do efluente industrial tratado

Fonte: Departamento de Meio Ambiente

pH	6 - 8,5
Temperatura (°C)	<40
Cor aparente (mg Pt Co/l)	sem coloração acentuada
DBO ₅ (mg/l)	≤36
DQO (mg/l)	≤145
Sólidos suspensos (mg/l)	≤45
Sólidos sedimentáveis (ml/l) (teste de 1h em conc Imoff)	≤1,0
Fenóis (mg/l)	≤0,05
Fósforo total (mg/l)	≤0,9
Sulfetos (mg/l)	≤0,18
Cloretos (mg/l)	≤500
Nitrogênio total (mg/l)	≤9
Mercúrio (mg/l)	≤0,009
Organoclorados	sem traços

4.4. MICROBIOLOGIA DO LODO ATIVADO

Análises microbiológicas foram realizadas periodicamente no licor de mistura do reator para acompanhamento dos microrganismos presentes e verificação dos flocos formados. O interesse na identificação dos microrganismos está no relacionamento dos mesmos com as modificações aplicadas ao sistema biológico e com a operação da instalação.

Segundo DRAKIDES (1978) a observação microscópica dos lodos ativados é tão antiga quanto a sua aplicação, mas a correlação foi durante muito tempo difícil de ser realizada, embora de grande importância prática. A evolução dos sistemas vivos e suas relações com os fenômenos de depuração é de difícil compreensão. Apenas são relacionadas as características gerais do lodo e os grupos de microrganismos com principalmente a nutrição disponível. Alguns autores relacionam a presença ou abundância de certos elementos da microfauna com parâmetros de funcionamento das estações de tratamento, porém outros limitaram a extensão destas relações e outros ainda mostraram a influência sobre a composição específica dos lodos ativados por um grande número de fatores sazonais, técnicos, tipos de instalações, entre outros.

A dificuldade em analisar as variações destes sistemas vem do fato de que integram todos os fatores ambientais, e estes são pouco conhecidos. Apenas uma análise global da estrutura do ecossistema ou um valor indicativo determinado pelo conjunto de espécies presentes pode ser ligado ao conjunto dos parâmetros do tratamento (DRAKIDES, 1978).

As observações microscópicas realizadas foram com o intuito de verificar a reação promovida no ecossistema com a adição de carvão ao reator biológico, além de fornecer uma característica geral de operação do sistema. Os microrganismos são sensíveis às variações das condições do meio e deter

minadas espécies podem nos dar uma idéia do grau de adaptação do lodo ativado a natureza do substrato, a qualidade de oxigenação, a presença de substâncias tóxicas, etc.

O aspecto geral do lodo ativado formado durante a operação da estação experimental como sistema de lodos ativados convencional são mostrados na fotomicrofotografia 4.1. Segundo a bibliografia, o aspecto dos flocos formados são de um lodo ativado normal com boas características de depuração do efluente.

As espécies de microrganismos presentes no sistema variaram principalmente em função das características do efluente. A adição de carvão ao sistema não promoveu uma mudança dos microrganismos passíveis de identificação, entretanto, os flocos formados sofreram modificação nas suas características. Durante o período de alimentação do efluente associado ao esgoto sintético surgiu uma espécie diferente de rotífero, porém esta espécie não foi determinada e desapareceu após cessar a alimentação do esgoto sintético. As demais espécies de microrganismos foram as mesmas dos demais períodos.

Os microrganismos que se mantiveram presentes ao longo de todo o período do experimento foram:

Aelosoma

Rotífero

As espécies de Rotífero presentes durante o período de operação foram:

Cephalodella sp.; *Rotaria sp.*; *Phylodina sp.*

Frequentemente apareceram:

Vorticella sp.

Oxitricha sp.

Litonotus sp.

Aspidisca sp.

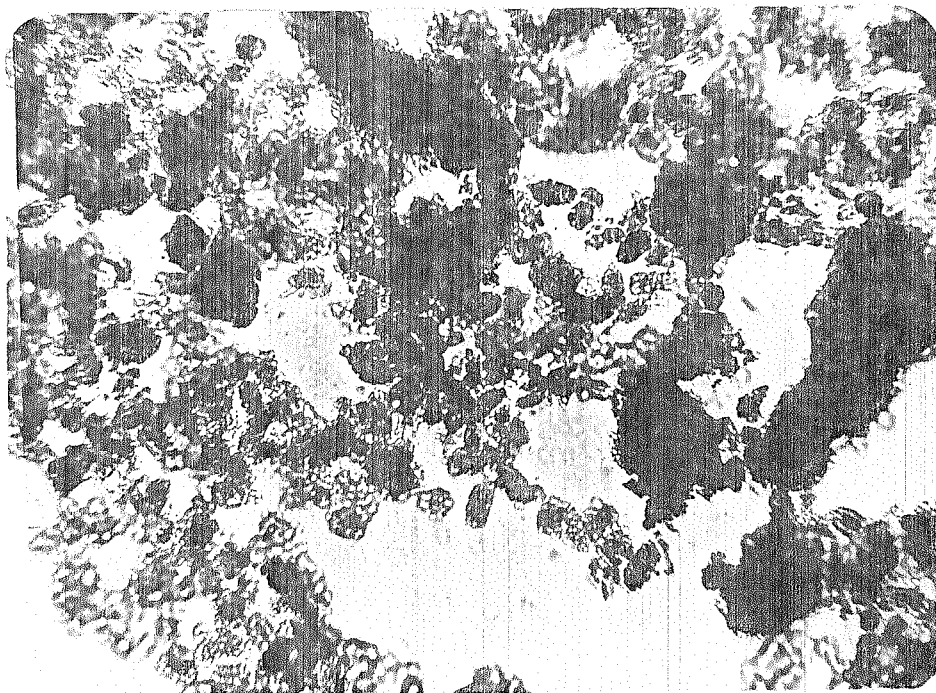
Suctórios

Amebas

Flagelados

Eventualmente apareceram:

Paramecium sp.



Fotomicrofotografia 4.1

Aspectos do Lodo Ativado

Fotomicrofotografia em campo claro

Câmara fotomicrográfrica Olympus PM-10-M

Microscópio Olympus BHB-Objetiva A10X. a.n. 0,25

Ocular fotomicrográfrica FK 5X

Filme: 35 mm ISO ASA 100/21^o

Aumento no filme: 100 x

Filtros: LDB, LDB, LB-45

Epistylis sp
Peranema sp
Colpidium sp

A adição de carvão ativado ao sistema biológico promove um significativo aumento na eficiência de remoção de poluentes do efluente.

Somente a adsorção no carvão ativado não é responsável por esta melhora da qualidade do efluente, mas, a interação entre o carvão e a biomassa promove a melhoria do processo.

BENEDEK & TAKÁCS (1985), desenvolvendo um estudo sobre o sistema combinado lodo ativado-carvão ativado verificaram que existia uma importante diferença na qualidade do efluente em que os organismos estavam adaptados ou não ao sistema. Segundo os pesquisadores, o benefício da adição de carvão ativado ao lodo ativado pode ser investigado somente após as bactérias terem atacado a superfície do carvão.

O carvão ativado fornece locais de adsorção para substâncias orgânicas solúveis, oxigênio e microrganismos, e através da concentração destes materiais, fornece um micro-meio-ambiente enriquecido para oxidação de substâncias orgânicas solúveis (QUON & CHANG, 1979; FLYNN et alii, 1976; DE JOHN & BLACK, 1978; ROBERTACCIO, 1978).

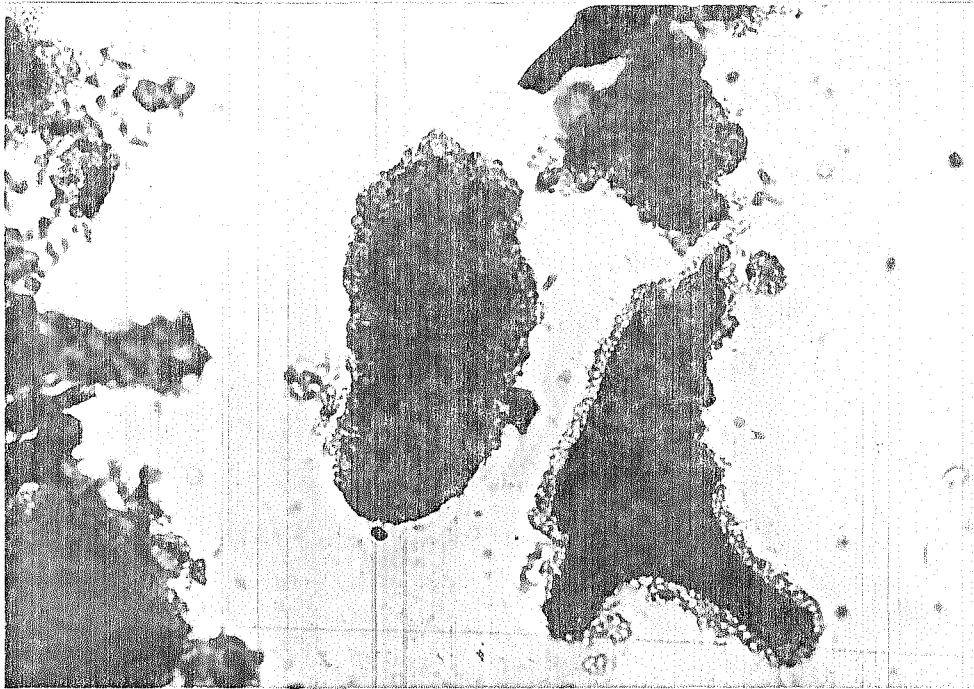
Muitos poluentes que não são biologicamente degradados em um sistema de lodos ativados convencional, seriam, se estivessem em contato com a biomassa por um longo tempo. No sistema combinado lodo ativado-carvão ativado as moléculas, quando adsorvidas pelo carvão, sedimentam junto com o lodo. O tempo de contato é, em consequência disto, estendido de horas para dias, melhorando a remoção de poluentes. Além disto, a adsorção no carvão ativado promove uma proteção ao sistema biológico de compostos tóxicos e cargas de choque.

O desenvolvimento de um biofilme na superfície do carvão sugere a adsorção do substrato no carvão e um micro-meio ambiente propício as necessidades dos microrganismos para depuração do efluente. O crescimento de um biofilme no carvão pode ser verificado nas fotomicrofotografias 4.2 e 4.3. Além disto, uma grande vantagem adicional do processo de adição de carvão ao sistema biológico são os flocos formados no licor de mistura do reator, que são responsáveis pela eficiência de sedimentação no decantador secundário. As bactérias envolvem as partículas de carvão formando flocos maiores, produzindo um lodo denso e de mais fácil sedimentação.

A fotomicrofotografia 4.4 mostra a agregação do carvão ativado e dos flocos biológicos, comprovando a formação de flocos maiores. Comparando-se os flocos formados com a adição de carvão ativado ao sistema biológico (fotomicrofotografia 4.4) com os flocos formados no processo de lodos ativados convencional (fotomicrofotografia 4.1) podemos verificar a grande redução da dispersão dos flocos formados no sistema combinado lodo ativado-carvão ativado.

A concentração de substrato presente no sistema é um fator limitante ao processo de lodos ativados convencional. A adição de carvão ativado ao sistema biológico reduz os efeitos durante períodos de carga orgânica desfavoráveis ao sistema conforme descrito no item 2.7.1.

O processo de tratamento por lodos ativados é um dos sistemas mais indicados para depuração de efluentes que contém apreciável quantidade de matéria orgânica dissolvida; entretanto, existe a necessidade de uma operação mais delicada e um controle laboratorial adequado. O sistema combinado lodo ativado-carvão ativado requer o mesmo acompanhamento na estação de tratamento, porém muitas vantagens são fornecidas pela presença de carvão no sistema. O sistema torna-se muito mais estável e os flocos formados melhoram a sedimenta-



Fotomicrofotografia 4.2

Desenvolvimento de um biofilme na superfície do carvão ativado

Fotomicrofotografia em campo claro

Câmera fotomicrográfrica Olympus PM-10-M

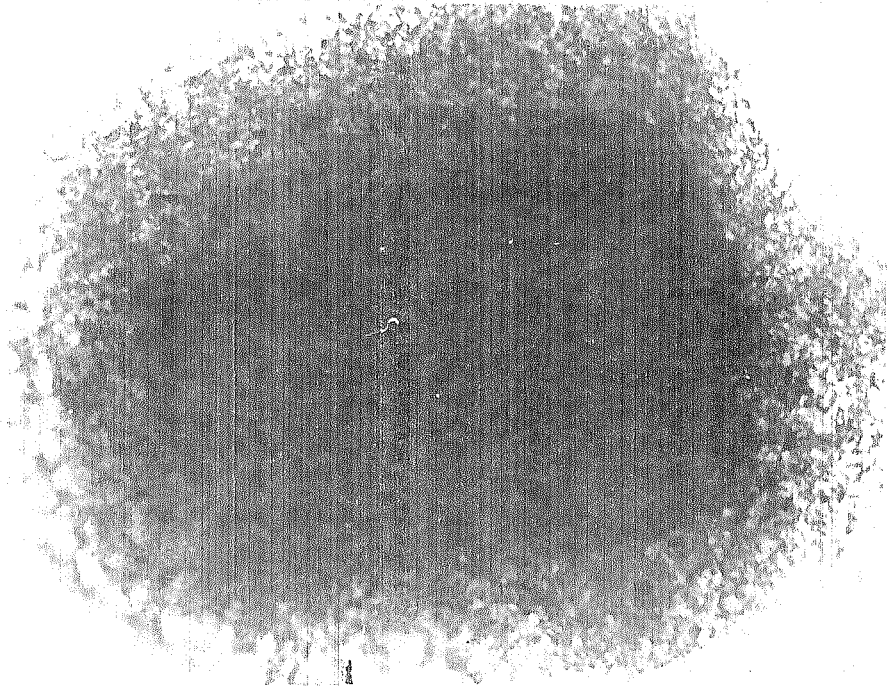
Microscópio Olympus BHB-Objetiva PLAN 20X.a.n.0,40

Ocular fotomicrográfrica FK 5X

Filme: 35 mm ISO ASA 100/21⁰

Aumento no filme: 200 X

Filtro: LDB



Fotomicrofotografia 4.3

Partícula de carvão envolta por um biofilme

Fotomicrofotografia em campo claro

Câmera fotomicrográfrica Olympus PM-10-M

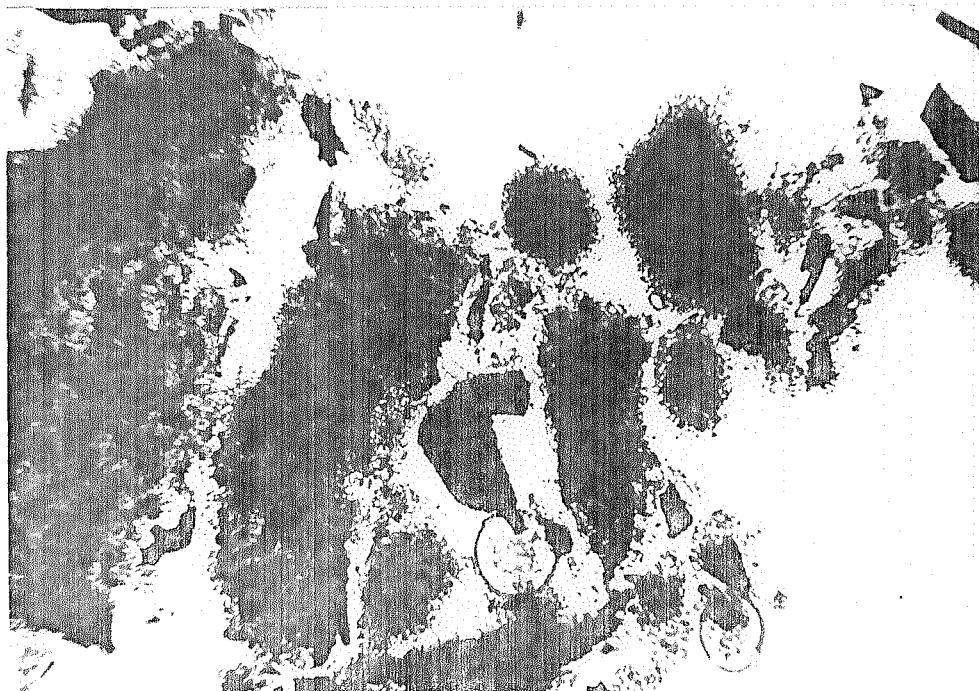
Microscópio Olympus BHB-Objetiva PLAN 40X.a.n.0,65

Ocular fotomicrográfrica FK 5X

Filme: 35 mm ISO ASA 100/21⁰

Aumento no filme: 400 X

Filtro: LDB



Fotomicrofotografia 4.4

Flocos formados com a adição de carvão ativado
no processo de lodos ativados

Fotomicrofotografia em campo claro

Câmera fotomicrográfrica Olympus PM-10-M

Microscópio Olympus BHB-Objetiva A 10X. a.n. 0,25

Ocular fotomicrográfrica FK 5X

Filme: 35 mm ISO ASA 100/21^o

Aumento no filme: 100 X

Filtros: LDB, LDB, LB-45

(Observação de microrganismo pedunculado fixo no
lodo *Vorticella* sp).

ção, reduzindo a maioria dos problemas característicos do processo convencional de lodos ativados.

4.5. DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGÊNIO

A Demanda Bioquímica de Oxigênio é utilizada como uma medida da quantidade de oxigênio requerida para oxidação da matéria orgânica presente no efluente por ação bioquímica, quando mantida a uma dada temperatura e um espaço de tempo convencional. No estudo utilizou-se uma temperatura de 20°C e um período de incubação de 5 dias.

A DBO é a representação do alimento disponível para os microrganismos que são responsáveis pela transformação química da matéria orgânica. Esta transformação pode ser realizada por intermédio de enzimas armazenadas sob forma de substância viva através da síntese ou reprodução dos organismos; oxidadas e queimadas, liberando energia; sendo necessário o consumo do oxigênio do meio para estas atividades.

O substrato disponível é um fator limitante do desenvolvimento dos microrganismos e tem importante influência na eficiência do processo.

O quadro 4.2 resume os dados obtidos para DBO durante a operação do sistema. Nesta tabela estão relacionados os dados referentes ao período inicial de operação como sistema de lodos ativados convencional e também no período em que foram realizadas as duas dosagens distintas de carvão ativado.

QUADRO 4.2 - Remoção de DBO na Estação Experimental

DOSAGEM DE CARVÃO	Alimentação mg /l	Efluente mg /l	% Média Removida
Sem carvão	290 - 110	30 - 14	86,9
150 mg/l	315 - 110	20 - 6	94,7
250 mg/l	300 - 170	12 - 6	96,5

Como pode ser observado no quadro 4.1 o efluente industrial utilizado caracterizava-se pela variação acentuada de DBO na alimentação a ser tratada. A amplitude de variação da DBO na alimentação da estação experimental foi de 110 mg/l a 315 mg/l.

Com esta variação na alimentação, o processo que resultou em um efluente com uma maior carga de DBO foi o sistema convencional de tratamento por lodos ativados.

A adição de carvão ativado ao sistema produziu um efluente tratado com uma menor concentração de matéria orgânica. O aumento da eficiência do processo combinado lodo ativado-carvão ativado pode ser verificado através das percentagens médias removidas. A dosagem de 250 mg/l de carvão produziu uma remoção de 96,5%; a adição de 150 mg/l de carvão ao sistema obteve uma remoção de 94,7% de DBO, enquanto que o processo de lodos ativados convencional obteve uma remoção de 86,9%, bastante inferior as resultantes na presença de carvão no reator. Considerando a carga lançada ao corpo receptor, o aumento da eficiência do processo utilizando 150 mg/l de carvão foi de, aproximadamente, 60% ao sistema convencional de lodo ativado.

O aumento da eficiência do processo torna-se mais difícil quando em presença de baixas concentrações. A elevação de 94,7% para 96,5% de remoção de DBO foi obtida com um acréscimo de 150 mg/l para 250 mg/l de carvão, implicando em um custo bastante superior para obtenção deste incremento de remoção. A concentração lançada no efluente com a dosagem de 250 mg/l de carvão variou entre 6 mg/l a 12 mg/l, inferior a dosagem de 150 mg/l e também inferior a menor carga orgânica lançada no efluente pelo sistema de lodos ativados convencional que foi de 14 mg/l.

A exigência do Departamento de Meio Ambiente, órgão responsável pelo controle dos parâmetros de emissão, é um lan-

çamento de DBO menor ou igual a 36 mg/l.

Portanto, durante o período de estudo, mesmo o tratamento por lodos ativados convencional ficaria dentro dos padrões exigidos.

4.6. DEMANDA QUÍMICA DE OXIGÊNIO

A Demanda Química de Oxigênio (DQO) corresponde à quantidade de oxigênio necessária para oxidar a fração orgânica de uma amostra que seja oxidável por um agente oxidante forte.

O teste de DQO é muito importante na medida da matéria orgânica em despejos que contenham substâncias tóxicas à vida. O teste de DQO engloba não somente a demanda de oxigênio satisfeita biologicamente, como a DBO, mas tudo o que é suscetível de demandas de oxigênio, em virtude da maior facilidade com que grande número de compostos pode ser oxidado por via química.

As análises de DQO foram realizadas conforme descrito no ítem 3.6.

As amostras utilizadas para avaliação do processo foram da alimentação e efluente a estação piloto. As análises foram realizadas para as três fases distintas do trabalho, isto é, para o processo de lodos ativados convencional e para as dosagens de carvão de 150 mg/l e 250 mg/l.

Os resultados obtidos nas amostras coletadas diariamente estão relacionadas nas figuras 4.7, 4.8 e 4.9.

O efluente à estação experimental é extremamente variável dia a dia durante todo o período do experimento.

A qualidade do efluente tratado pelo processo de lo-

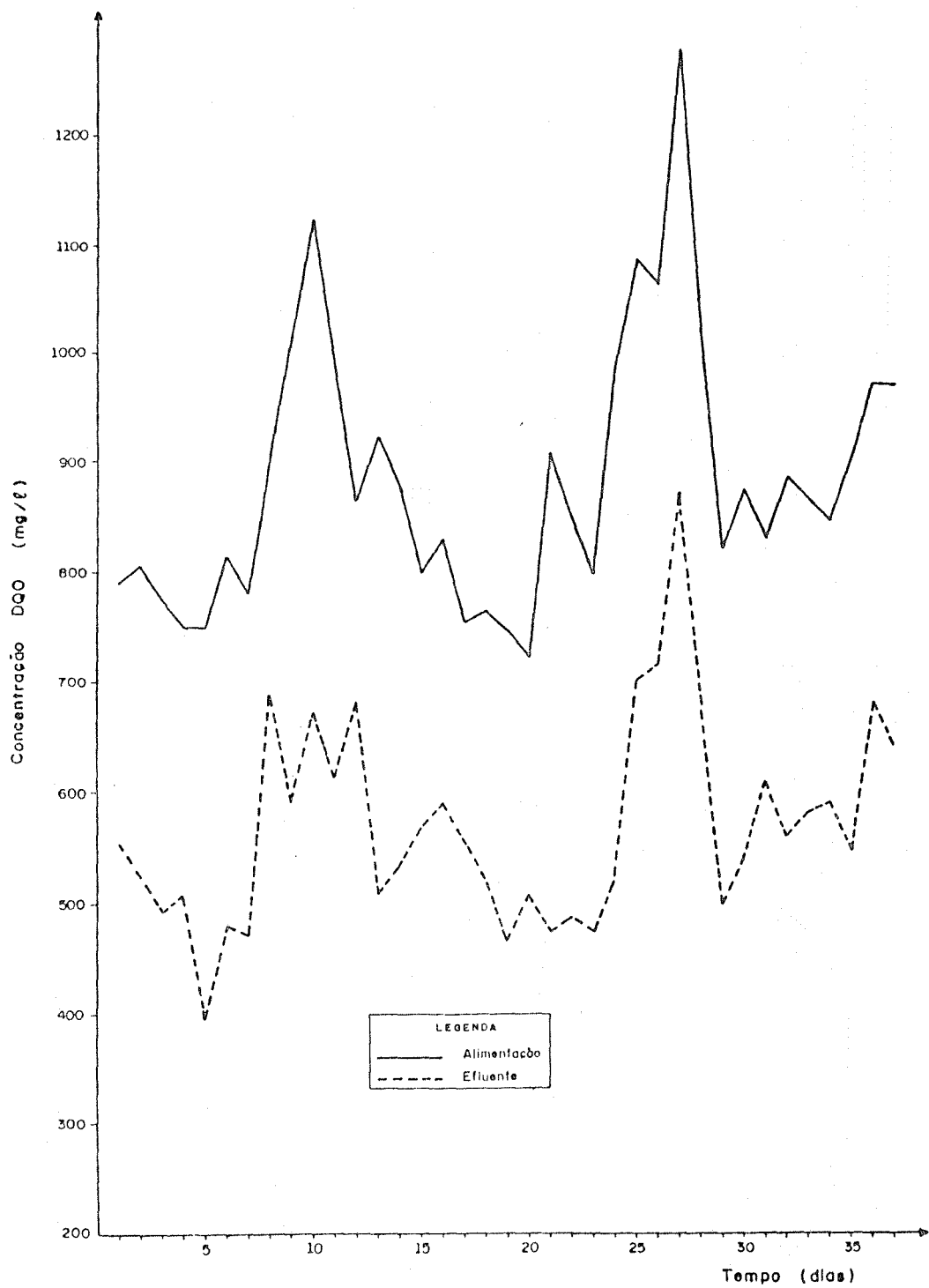


FIGURA 4.7 - Remoção diária de DQO
- - Sem carvão ativado

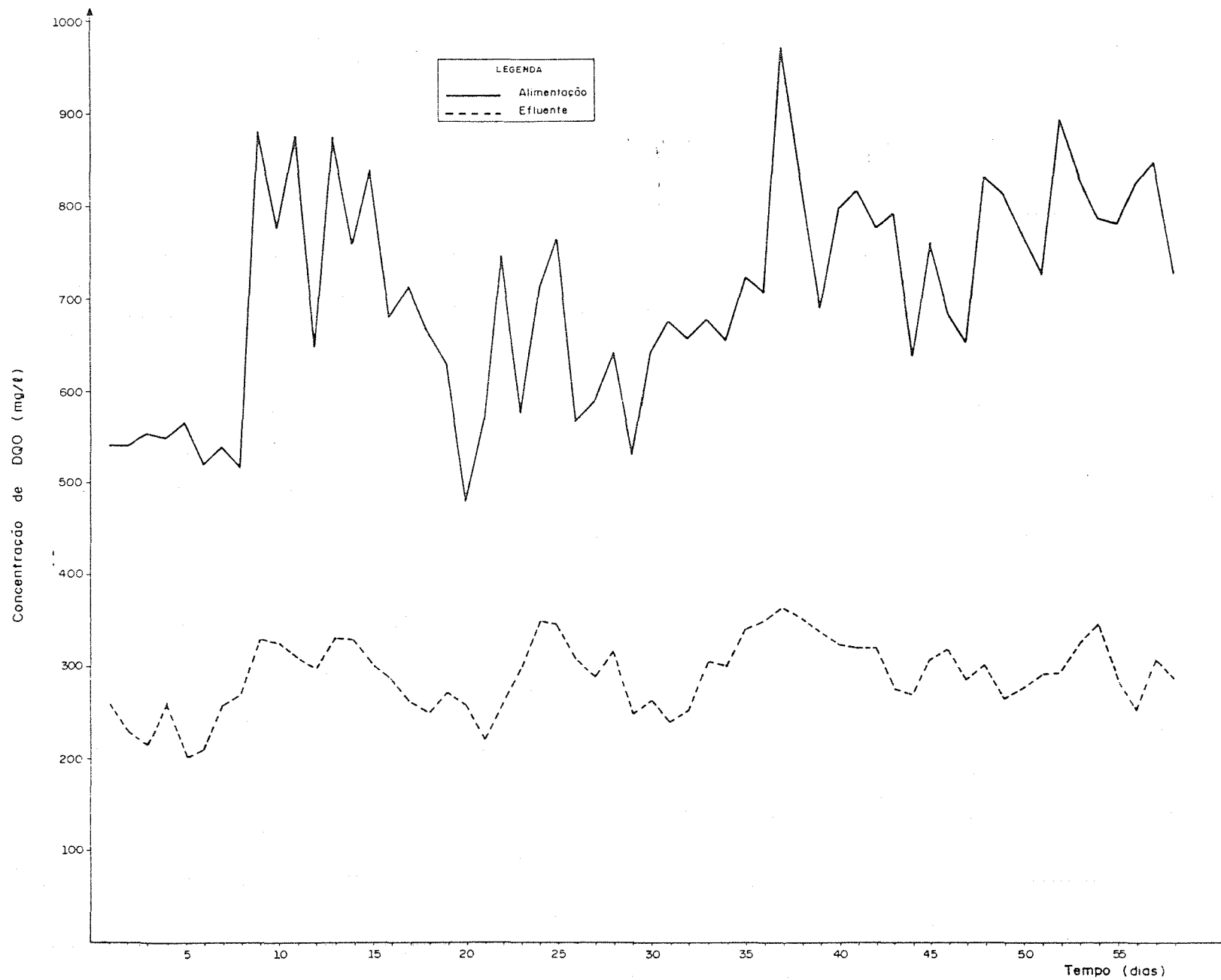


FIGURA 4.8 - Remoção diária de DQO
Dosagem de carvão = 150 mg/l

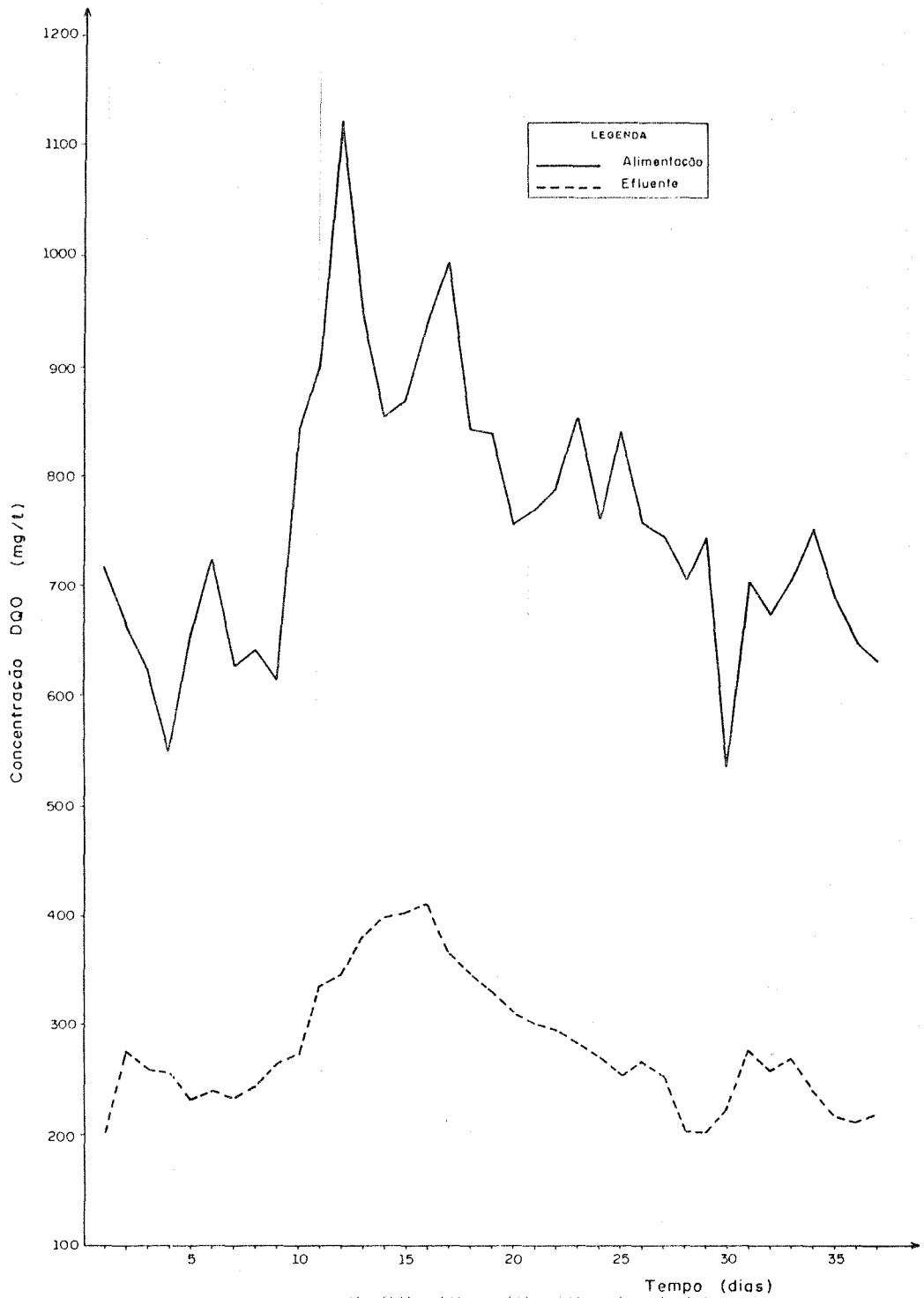


FIGURA 4.9 - Remoção diária de DQO
Dosagem de carvão = 250 mg/l

dos ativados foi bastante variável acompanhando os picos de cargas diárias. A alimentação da estação variou de 720 mg/l a 1280 mg/l, enquanto o efluente tratado ficou entre 400 mg/l a 875 mg/l. A eficiência média de remoção para este período de teste foi de 35,4%.

A adição de carvão ativado ao sistema biológico promoveu uma estabilização na concentração de matéria quimicamente oxidável presente no efluente tratado, como pode ser observado nas figuras 4.8 e 4.9.

Segundo DE JOHN & BLACK (1978) a adsorção é um fenômeno de equilíbrio e o carvão preferencialmente adsorve determinadas espécies de compostos.

Este fenômeno de equilíbrio na adsorção entre a concentração de determinados compostos presentes no licor de mistura do reator e os compostos adsorvidos no carvão, provavelmente, é o fator responsável pela estabilização na concentração de DQO efluente.

A redução de DQO efluente pode ser explicada através da adsorção no carvão e da biodegradação de compostos orgânicos adsorvidos no carvão, conforme descrito no item 2.5.4 da Revisão Bibliográfica.

A dosagem de 150 mg/l de carvão ativado, baseado no fluxo de alimentação, resultou em um efluente mais estável, onde o aumento de DQO na alimentação não causou uma significativa variação na concentração efluente. A variação observada, durante o período de coleta de dados com esta dosagem de carvão, foi para a alimentação de 480 mg/l a 980 mg/l, e para o efluente entre 200 mg/l a 360 mg/l. Estes dados demonstram a melhoria da eficiência no sistema combinado lodo ativado-carvão ativado para remoção de DQO. A amplitude de variação de DQO permaneceu dentro de uma faixa mui-

to mais restrita do que o processo de lodos ativados convencional. A concentração máxima presente no efluente tratado, com uma dosagem de 150 mg/l de carvão ativado, foi inferior a concentração mínima obtida pelo processo convencional. A eficiência média de remoção obtida nesta dosagem de carvão foi de 58,1%.

O aumento da dosagem de carvão para 250 mg/l promoveu uma maior eficiência de remoção de DQO e esta eficiência média obtida foi de 63%.

No período de 13º ao 17º dia de controle da unidade na dosagem de 250 mg/l de carvão houve uma elevação na concentração da matéria orgânica quimicamente oxidável do efluente tratado.

Os compostos orgânicos presentes no efluente podem ser classificados quanto a sua adsorbabilidade e quanto a biodegradabilidade em (FLYNN et alii, 1976):

- compostos não adsorvíveis, não-biodegradáveis: estes compostos normalmente não são removidos por sistemas usando para tratamento carvão ativado e microrganismos;

- compostos adsorvíveis, não-biodegradáveis: compostos são removidos somente por adsorção;

- compostos adsorvíveis, biodegradáveis: compostos são removidos por adsorção ou por microrganismos;

- compostos não-adsorvíveis, biodegradáveis: compostos são removidos somente por microrganismos.

Portanto, durante este período de elevação de DQO efluente, compostos pouco ou não-adsorvíveis e pouco ou não-biodegradáveis estiveram presentes na alimentação do reator, pro

movendo este período atípico no sistema combinado lodo ativado-carvão ativado onde o efluente atingiu um valor de 410 mg/l para DQO.

Como a adsorção no carvão ativado ocorre através de um equilíbrio estabelecido entre a concentração do contaminante que permanece em solução e a superfície do sólido através de um balanço dinâmico, não é possível a determinação do período de ocorrência destes compostos na alimentação.

A alimentação do sistema variou a DQO de 550 mg/l a 1120 mg/l, enquanto que a DQO efluente ficou entre 198 mg/l a 410 mg/l, porém, excluindo o período onde compostos de difícil degradação e adsorção estavam presentes o DQO efluente variou entre 198 mg/l a 345 mg/l.

No caso de estações de tratamento que estivessem operando através do sistema combinado lodo ativado-carvão ativado e se verificasse um período de cargas de choque ou compostos pouco adsorvíveis, a bibliografia recomenda uma elevação na dosagem de carvão ativado do sistema.

A figura 4.10 relaciona a percentagem removida de DQO diariamente para as três fases do estudo. Os dados plotados não correspondem diariamente a mesma característica de alimentação já que as etapas desenvolveram-se sequencialmente. Para ser feito um estudo com características da alimentação diária idênticas, seria necessário três unidades operando em paralelo. Entretanto, para o período considerado, a amplitude de variação de DQO na alimentação foi similar em todas as etapas.

A remoção de DQO obtida com a adição de carvão ativado ao tratamento biológico foi significativamente mais elevada do que o processo de lodos ativados convencional.

No processo de lodos ativados sem carvão, a remoção obtida variou entre 21% e 48%, enquanto que com a adição de 150 mg/l de carvão, a remoção observada foi de 46 a 69%; e, com a dosagem de 250 mg/l de carvão a remoção esteve entre 53% e 73%.

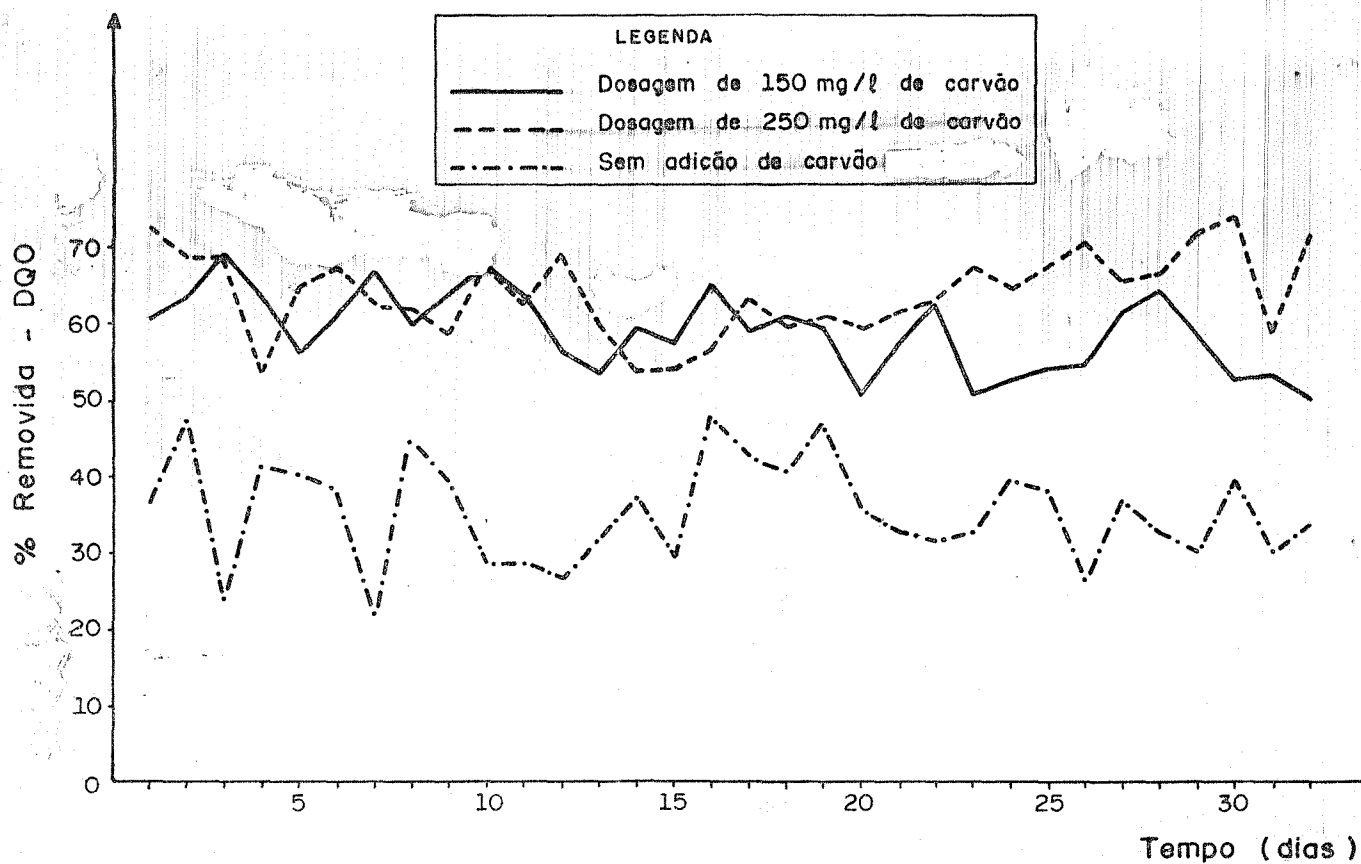


FIGURA 4.10 - Percentagem de remoção diária de DQO

A distribuição de frequência dos valores de percentagem de remoção de DQO durante o período de teste foi realizada para o processo de lodos ativados convencional, adição de 150 mg/l de carvão ativado e 250 mg/l de carvão.

Para o processo de lodos ativados convencional existe a probabilidade de ocorrência de 50% de tempo de uma remoção de DQO ser menor ou igual a 35%; para uma dosagem de 150 mg/l de carvão esta remoção de DQO elevou-se para 57,5%; e para 250 mg/l de carvão obteve-se 62% de remoção.

A probabilidade de ocorrência de remoção de DQO ser menor ou igual a 70% do tempo é de aproximadamente 38% para o lodo ativado convencional, 60,5% para uma dosagem de 150 mg/l de carvão e de 65% para uma dosagem de 250 mg/l. Por outro lado, remoções muito baixas, inferiores a 50%, têm uma probabilidade de ocorrência 97% do tempo para o processo de lodos ativados, 14% para o sistema operado com uma dosagem de 150 mg/l de carvão e uma probabilidade inferior a 2% de ocorrência de remoção de 50% de DQO para a adição de 250 mg/l de carvão.

A exigência do órgão responsável pelo controle dos despejos, DMA, é que o parâmetro DQO seja menor ou igual a 145 mg O₂/l. No modelo operado não foi alcançado este nível de remoção. Entretanto, em função da escala da unidade operada, não pode ser feito um estudo quantitativo exato do lançamento no corpo receptor. Conforme a bibliografia, quanto menor a unidade operada mais difícil torna-se a aproximação da unidade em escala real, pois em escala laboratorial como foi realizado o estudo as eficiências de remoção são inferiores.

Para se ter um estudo quantitativo mais aproximado, deve ser realizado em uma estação piloto, simulando as condições mais próximas possíveis ao que ocorre na estação de tratamento real.

No ítem 3.8 está descrita a presença de pequenas partículas de carvão no efluente e estas partículas levam consigo matérias quimicamente oxidáveis. A bibliografia cita

o uso do polieletrólito para remoção destes finos, entretanto, pela capacidade da unidade não foi possível a adição deste polieletrólito, o que certamente reduziria a DQO de saída do efluente.

A impossibilidade de um estudo quantitativo exato também reflete-se no estudo de viabilidade econômica da implantação do sistema. Em função do custo associado talvez fosse economicamente viável o tratamento terciário com a adição de sulfato de alumínio após o sistema combinado lodo ativado-carvão ativado, se uma redução acentuada de $Al_2(SO_4)_3$ fosse verificada. O tratamento terciário da estação de efluentes da indústria de celulose utiliza a precipitação química com sulfato de alumínio e portanto não haveria custo adicional de implantação da unidade; se fosse viável econômica e tecnicamente a utilização de tratamento químico após o sistema combinado lodo ativado-carvão ativado.

Qualitativamente podemos verificar a melhoria do processo biológico e a estabilização do efluente tratado, bem como o aumento da percentagem de remoção observada na unidade, comparativamente as fases operadas com carvão ativado e sem a adição de carvão ativado ao sistema biológico.

4.7. COR

A cor do efluente é devido a presença de substâncias pigmentadas em solução ou dispersão coloidal.

Um despejo colorido é causa de poluição ambiental, no sentido de determinar modificações da flora e fauna do meio ou por ser nocivo à saúde.

A presença de substâncias pigmentadas, causando um aumento de cor e de turbidez pode afetar a vida característica de um dado manancial de duas maneiras principais:

- dificultando a penetração da luz solar essencial às reações de fotossíntese;

- o material em suspensão (no caso da turbidez) sedimenta-se no fundo, ocasiona soterramentos de alguns organismos e arrasta para o fundo certos organismos que vivem em suspensão (BRANCO, 1978).

A cor é classificada de duas formas:

- cor verdadeira: é devida somente às substâncias dissolvidas, tendo sido separada a turbidez da amostra da á-gua em estudo;

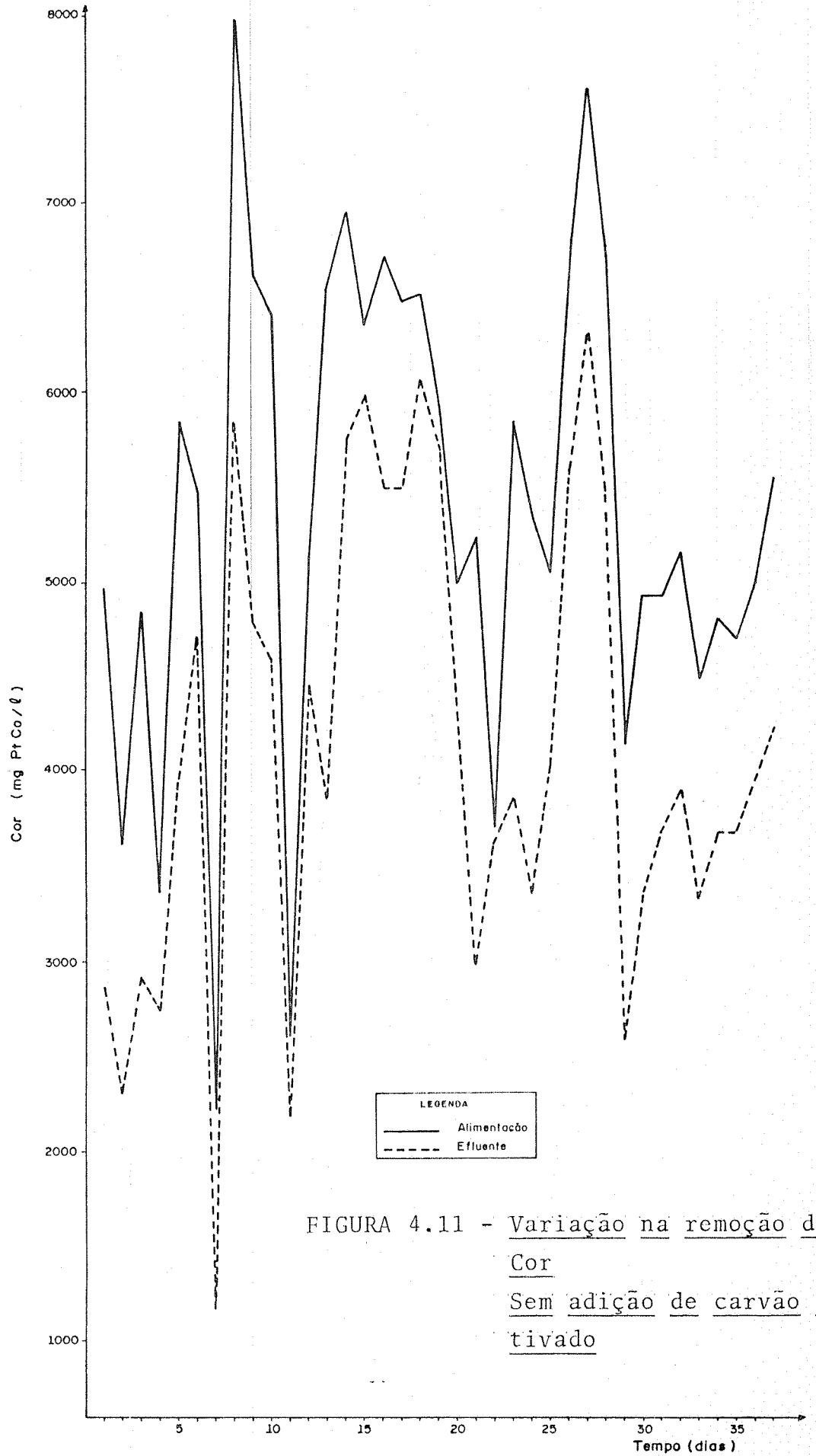
- cor aparente: é devida a cor e turbidez, determinada sem separação do material em suspensão.

- A técnica utilizada para determinação de cor está descrita no item 3.6.

As amostras não sofreram prévia centrifugação e, portanto, os dados obtidos referem-se a cor aparente do efluente. A carga lançada no corpo receptor é influenciada por ambos parâmetros, cor e turbidez, e promovem efeitos poluidores no lançamento do despejo e, portanto, no estudo, foi utilizada a cor aparente como parâmetro de controle. Além disso, o DMA tem como controle de lançamento de despejo a cor aparente.

O tratamento biológico convencional não possui capacidade para remover cor solúvel não-biodegradável do efluente (GRULICH et alii, 1973). A estrutura química de substâncias coloridas são normalmente resistentes à oxidação biológica (ADAMS, 1973).

A figura 4.11 mostra os resultados obtidos para o parâmetro cor no tratamento por lodos ativados convencional. Estão plotados dados diários de alimentação e efluente durante esta fase de estudo.

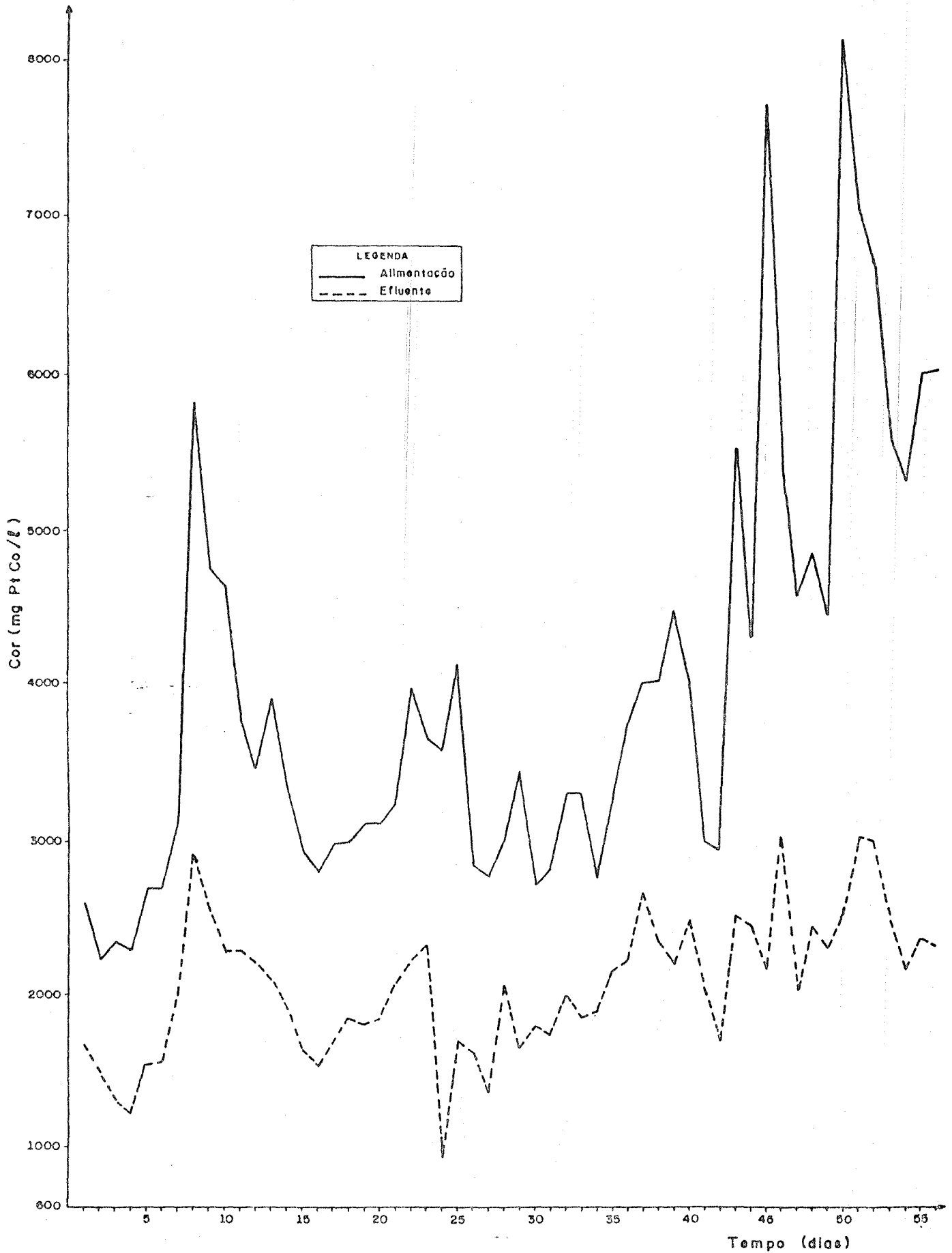


A variação diária da alimentação à estação piloto foi significativa. A amplitude de variação foi de 2200 mg Pt Co/l a 8000 mg Pt Co/l e do efluente de 1100 mg Pt Co/l a 6300 mg Pt Co/l. O efluente acompanhou as variações de entrada do sistema e, portanto, os picos observados na alimentação foram seguidos por picos no despejo. A remoção média diária observada foi de 24,2% para o tratamento por lodos ativados convencional.

A adição de carvão ativado ao sistema biológico promoveu uma remoção maior de cor do efluente. A adsorção no carvão ativado de partículas responsáveis pela cor do efluente é discutida no item 2.7.3. da Revisão Bibliográfica. O tempo de contato de moléculas que conferem cor ao efluente com a biomassa é aumentado através da adsorção no carvão, e moléculas de lenta degradação podem ser removidas por degradação biológica. E, também, moléculas adsorvidas no carvão são retiradas do sistema através do lodo descartado.

A figura 4.12 mostra os dados diários obtidos para a cor na alimentação e efluente da unidade experimental com uma adição de 150 mg/l de carvão ativado ao processo biológico. A alimentação da estação experimental manteve-se altamente variável dia a dia e variou entre 2200 mg Pt Co/l a 8150 mg Pt Co/l.

O efluente obtido com esta dosagem de carvão permaneceu entre 900 mg Pt Co/l a 3000 mg Pt Co/l, portanto bastante inferior ao obtido através do tratamento biológico convencional. A presença de carvão ativado no sistema equilibrou os picos da alimentação resultando em um efluente mais estável, onde o parâmetro cor tornou-se menos variável diariamente. A remoção média diária obtida foi de 45,7% bastante superior a obtida no processo de lodos ativados convencional.

FIGURA 4.12 - Variação na remoção de CorDosagem de carvão = 150 mg/l

O aumento da dosagem de carvão para 250 mg/l no reator promoveu uma remoção média diária de 50,8%, superior as outras obtidas anteriormente. Entretanto, durante este período como já foi discutido no ítem 4.6, esteve presente algum composto pouco adsorvível e pouco biodegradável o que promoveu uma elevação na cor do efluente. Durante este período a cor efluente atingiu um valor máximo de 4200 mg Pt Co/l com uma alimentação de 7800 mg Pt Co/l. A alimentação do sistema esteve com um valor inferior a outros picos observados durante a operação com carvão ativado e que promoveram efluentes com, no máximo, 3000 mg Pt Co/l. Portanto, podemos verificar que este foi um período atípico de composição da alimentação, onde esteve presente algum composto que normalmente não ocorria, promovendo esta elevação de cor no efluente tratado (figura 4.13).

Excluindo este período atípico, a variação na cor do efluente foi de 1600 mg Pt Co/l a 2600 mg Pt Co/l, inferior à dosagem de 150 mg/l de carvão ativado.

A figura 4.14 relaciona a remoção diária de cor para as três etapas de estudo. Também para este parâmetro o período de coleta de dados foi distinto para as variações consideradas e, portanto, a alimentação não é idêntica para os pontos plotados.

A remoção de cor obtida para o processo de lodos ativados foi inferior às obtidas com o sistema combinado lodo ativado-carvão ativado. Em alguns dias a remoção obtida foi bastante reduzida, sendo que a cor na entrada e saída do sistema permaneceu praticamente a mesma.

A adição de carvão ativado promoveu uma elevação na remoção de cor do sistema. A remoção mínima obtida para a dosagem de 150 mg/l de carvão foi de 30,8% atingindo uma remoção máxima de 74%.

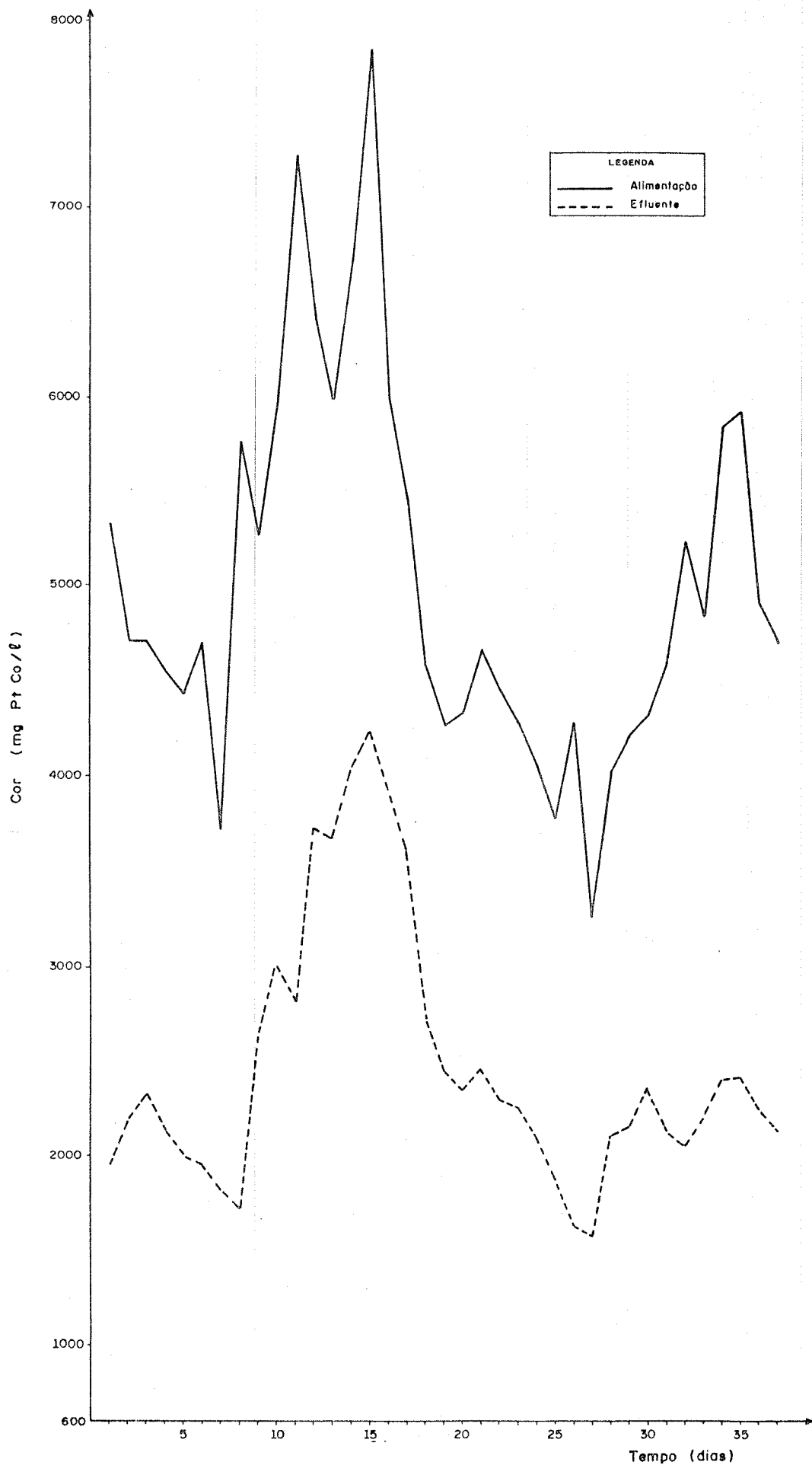


FIGURA 4.13 - Variação na remoção de Cor
Dosagem de carvão = 250 mg/l

O aumento da dosagem de carvão para 250 mg/l resultou em uma elevação na remoção de cor. A remoção mínima obtida foi de 34,6% e a máxima de 70,4%.

Através deste dados podemos verificar que a elevação da concentração presente no sistema implica em uma melhora na eficiência do processo. Entretanto, as características da composição da alimentação têm uma direta influência nas concentrações do despejo. Segundo a bibliografia, uma vantagem do processo combinado lodo ativado-carvão ativado é a possibilidade de aumento da dosagem de carvão quando as características de composição da alimentação forem de difícil tratabilidade, obtendo-se com isto os níveis desejáveis no despejo.

Também, segundo a bibliografia, dependendo dos compostos presentes na alimentação, dosagens distintas de carvão podem chegar ao mesmo nível de eficiência desejada e neste caso, a dosagem não deveria ser mantida idêntica indefinidamente. A dosagem deveria ser escolhida de acordo com as necessidades, conforme descrito no ítem 2.7.3. da Revisão Bibliográfica e, com isto, teríamos uma acentuada redução de custos na operação do sistema.

Para comprovação desta afirmação seria também necessária a operação de três unidades em paralelo.

A distribuição de frequência dos valores de percentagens de remoção foi realizada para as três etapas distintas do estudo.

Obteve-se 70% do tempo em uma remoção menor ou igual a 30,5% para o processo de lodos ativados convencional, enquanto que o sistema combinado lodo ativado-carvão ativado obteve uma remoção de 49% para a dosagem de 150 mg/l de carvão e 53% para a dosagem de 250 mg/l de carvão.

Remoções inferiores a 36% têm uma probabilidade de ocorrência de 81% do tempo para o sistema de lodos ativados, 21% para uma dosagem de 150 mg/l de carvão e 7% do tempo para uma dosagem de 250 mg/l de carvão.

O Departamento de Meio Ambiente tem como recomendação para este efluente de um padrão de cor aparente não muito intensa, sendo este um parâmetro muito subjetivo e, portanto, difícil de enquadrar o efluente tratado dentro dos padrões exigidos.

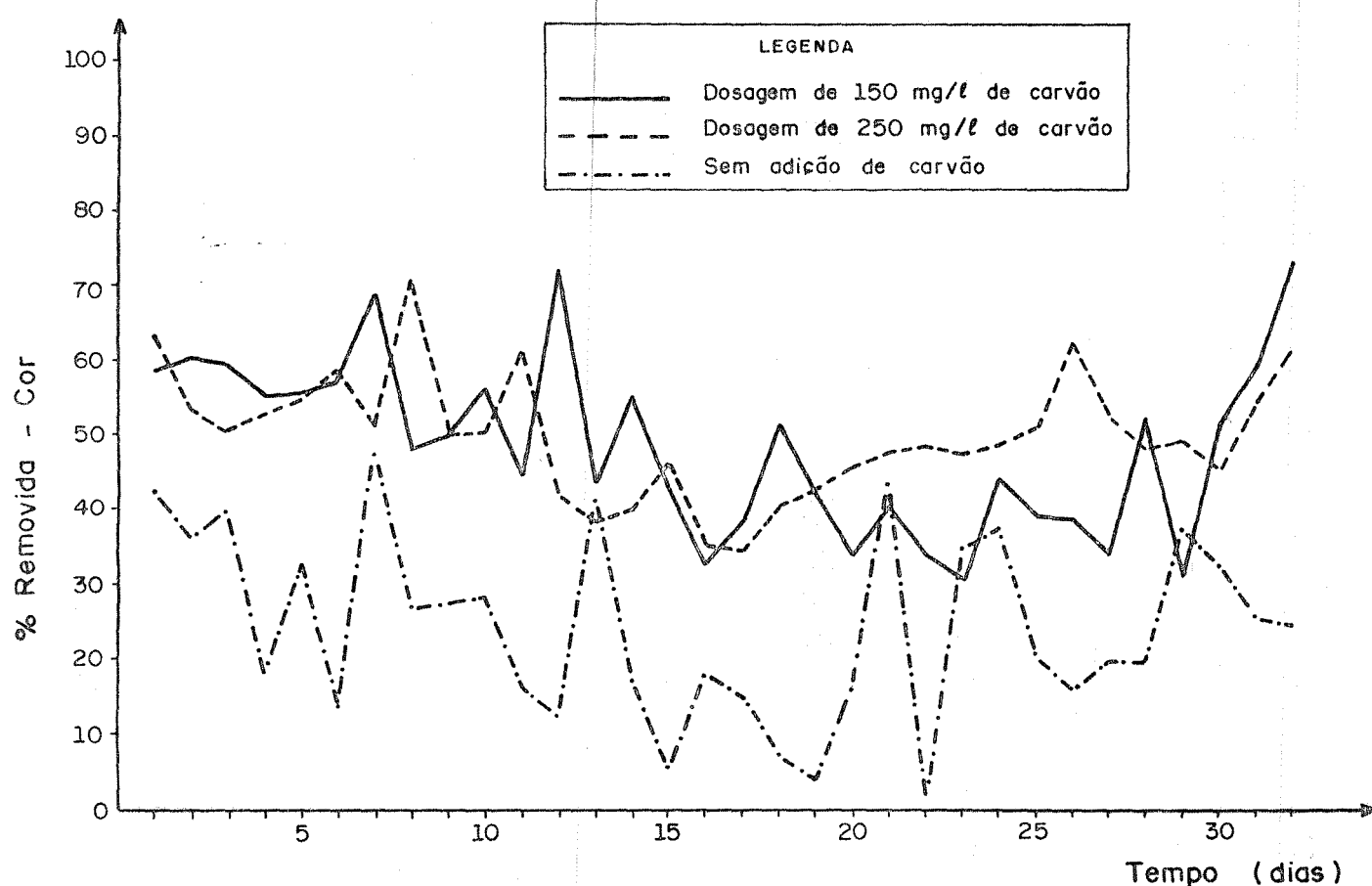


FIGURA 4.14 - Percentagem de remoção diária de Cor

A adição de polieletrólito ao sistema promove uma redução dos finos de carvão e o parâmetro cor sofre também uma acentuada redução. Entretanto, conforme descrito no item 3.8 não foi possível a adição contínua de polieletrólito, mas em uma estação piloto com maior capacidade poderia ser testada a atuação de polieletrólito para redução de cor.

4.8. SÓLIDOS EM SUSPENSÃO

Sólidos em suspensão são todos os sólidos presentes na água residuária, exceto os solúveis e sólidos em fino estado coloidal.

Análises de sólidos em suspensão foram realizadas conforme descrito no item 3.6 para as três etapas do estudo.

A figura 4.15 relaciona os dados obtidos para a remoção diária de sólidos para o processo de lodos ativados. A presença de sólidos em suspensão no efluente foi influenciada pelos sólidos presentes na entrada do sistema. O arraste de sólidos no efluente é indesejável, deteriorando a qualidade do efluente tratado.

A média de sólidos em suspensão presentes no efluente, durante o período de operação da estação piloto com o tratamento biológico convencional foi de 108 mg/l.

O carvão ativado no processo biológico melhora a sedimentação resultando em um efluente com níveis mais baixos de sólidos em suspensão. No item 4.4. são discutidos a agregação do carvão e os flocos biológicos.

A figura 4.16 mostra a concentração diária de sólidos na entrada e saída do efluente na estação piloto com uma dosagem de 150 mg/l de carvão. A redução da perda de sólidos do sistema é acentuada comparando-se ao sistema de lodos ativados. A concentração máxima de saída foi de 80 mg/l, en-

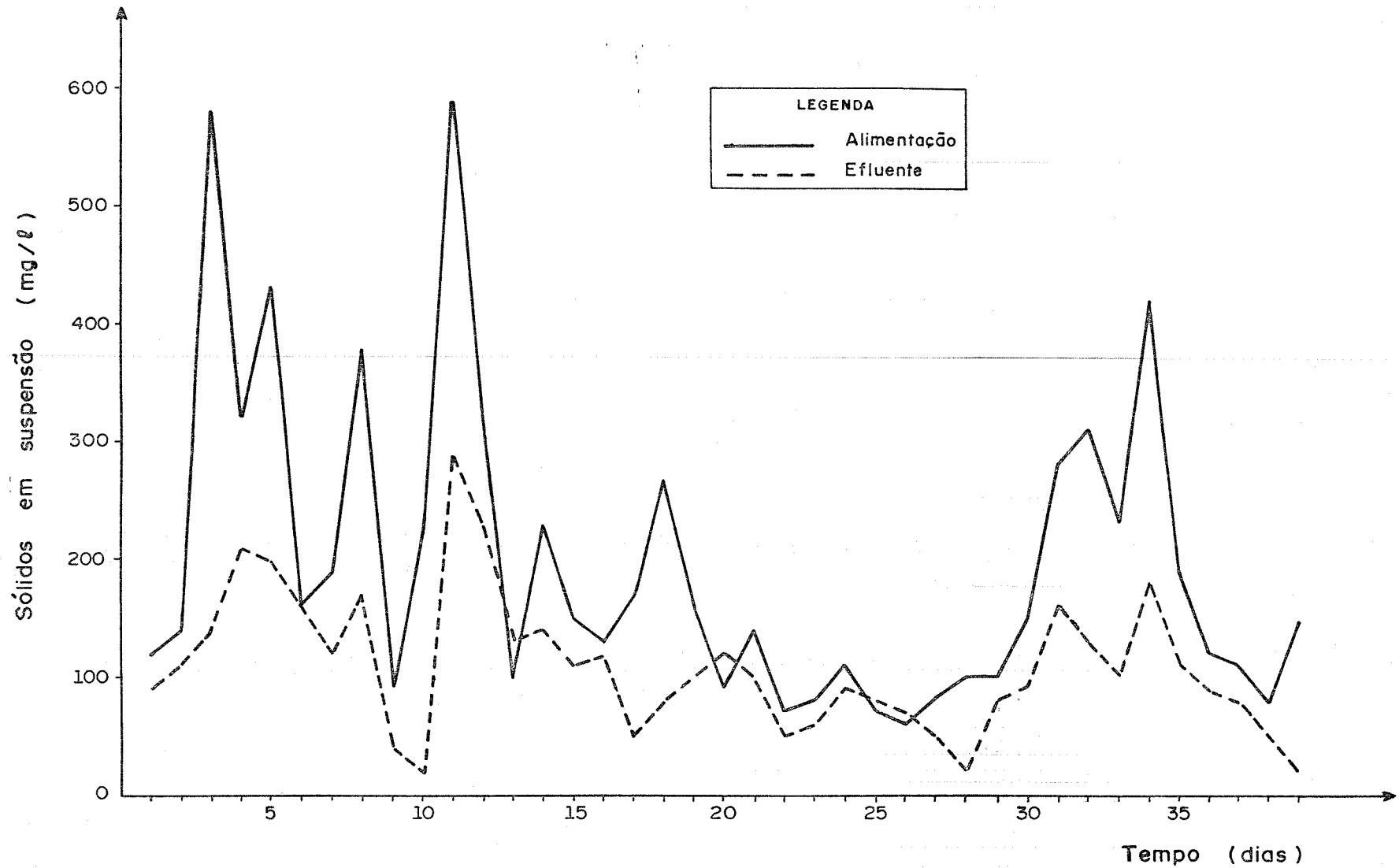


FIGURA 4.15 - Remoção diária de sólidos suspensos
Sem carvão ativado

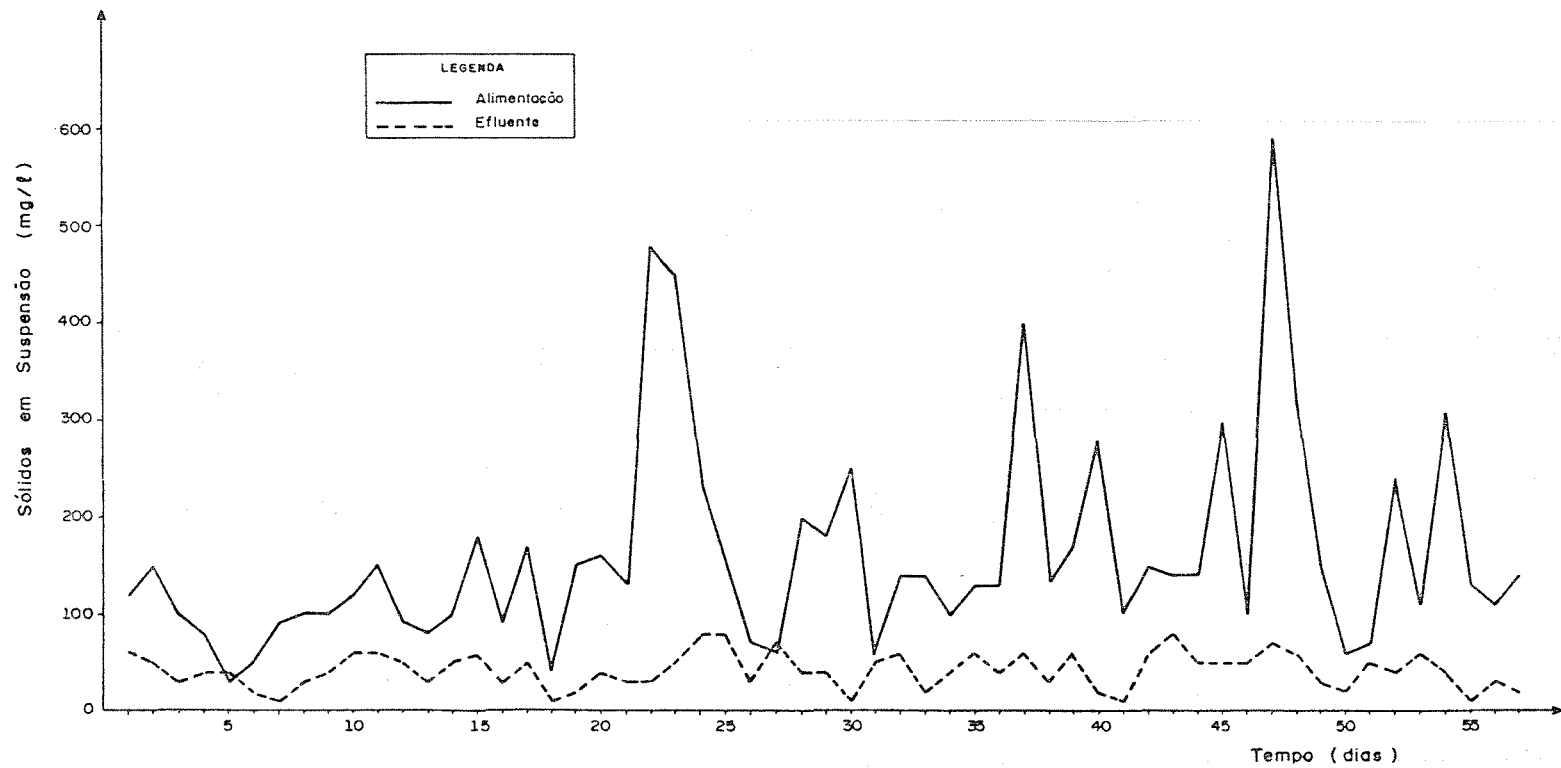


FIGURA 4.16 - Remoção diária de sólidos suspensos
Dosagem de carvão = 150 mg/l

quanto que a média de sólidos em suspensão no efluente foi de 42 mg/l.

O aumento da dosagem de carvão promoveu uma maior redução de sólidos em suspensão no efluente. A figura 4.17 mostra os sólidos suspensos presentes na alimentação e efluente da unidade experimental com uma dosagem de 250 mg/l de carvão. O efluente resultante nesta dosagem de carvão obteve uma redução maior de sólidos do que a dosagem de 150 mg/l de carvão. A concentração média de sólidos suspensos no efluente de saída foi de 36 mg/l.

As autoridades sanitárias exigem que a concentração de sólidos suspensos no efluente tratado seja inferior ou igual a 45 mg/l, conforme está demonstrado no quadro 4.1.

A adição de carvão ativado ao sistema reduziu a concentração de sólidos em suspensão no efluente tratado e em média foi obtida uma concentração inferior às necessidades do padrão para o despejo. Entretanto, em alguns dias, não foi atingido este limite permissível. Porém, certamente a adição de polieletrólito ao sistema faria com que fosse atingido este limite, através da remoção de finos de carvão do efluente tratado.

4.9. REDUÇÃO DE ESPUMA

A presença de detergentes sintéticos no efluente tratado lançado ao corpo receptor pode determinar a morte de microrganismos não apenas em virtude de efeitos tóxicos que produzem, como também de efeitos físicos, especialmente a diminuição da tensão superficial da água, que é essencial a certas atividades dos organismos aquáticos relacionadas com a respiração e com a natação (BRANCO, 1978).

Segundo BRAILE & CAVALCANTI (1979) a biodegradabilidade do ABS é difícil de ser conseguida pelo fato de que somen-

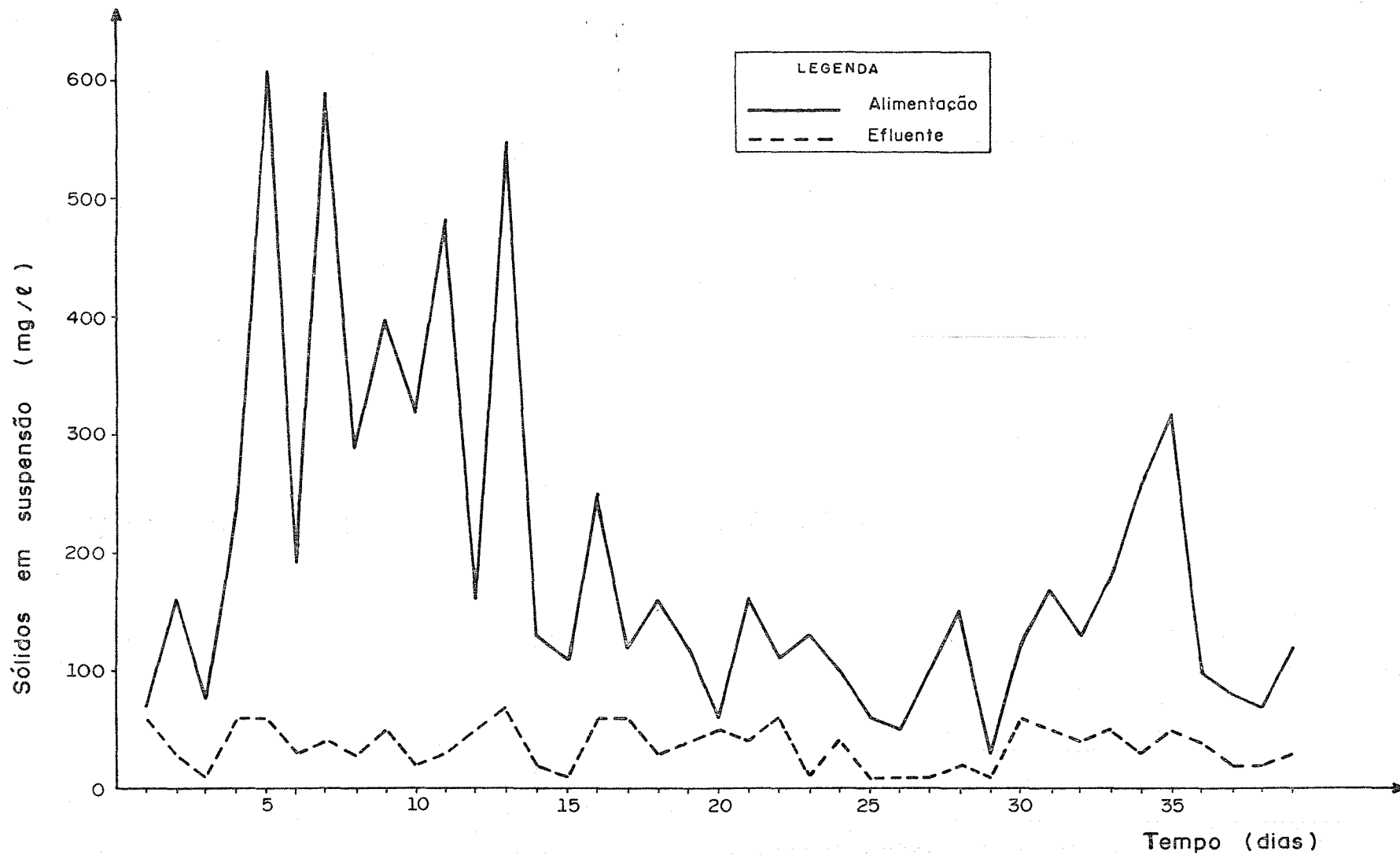


FIGURA 4.17 - Remoção diária de sólidos suspensos
Dosagem de carvão = 250 mg/l

te poucos microrganismos são capazes de romperem ligações de átomos de carbono quaternário. E, desta forma, a redução obtida por processo de tratamento biológico é baixa.

Normalmente, são utilizados anti-espumante para o controle da espuma em estações de tratamento de efluentes. Entretanto, anti-espumantes somente contêm a espuma no reator e não evitam o reaparecimento no efluente tratado (DE JOHN & ADAMS(1975)).

A adição de carvão ativado em pó ao reator remove os agentes espumantes por adsorção eliminando os problemas de espuma no efluente tratado.

DE JOHN & ADAMS (1975) estudaram os efeitos do carvão ativado em estação de lodo ativado de efluente petroquímico e citam que a adição de carvão eliminou a necessidade de anti-espumante no sistema. E somente a economia de anti-espumante já justifica o gasto em carvão ativado; reduzindo o custo total de tratamento, se consideradas as demais vantagens obtidas.

Foram realizadas análises de ABS na alimentação e efluente da estação experimental, conforme descrito no ítem 3.6.

A alimentação da estação teve um valor de ABS que variou entre 1,063 mg/l a 0,634 mg/l e o efluente sem a adição de carvão ativado ficou entre 0,738 mg/l a 0,15 mg/l.

O carvão ativado no sistema reduziu o ABS presente no efluente final. Com uma dosagem de 150 mg/l a variação observada foi de 0,338 mg/l a 0,017 mg/l e com uma dosagem de 250 mg/l ficou entre 0,017 a 0,061 mg/l.

Através destes dados verificamos uma redução acentua-

da de ABS com a adição de carvão ativado ao sistema, comparando-se ao processo sem adição de carvão, e o aumento da dosagem de carvão produziu uma redução significativamente superior no ABS do efluente mesmo quando comparado a adição de 150 mg/l de carvão.

4.10. REMOÇÃO DE METAIS

O item 2.7.5. da Revisão Bibliográfica apresenta os efeitos dos metais no meio ambiente e a capacidade adsor_{ti}va associada ao carvão ativado.

Análises de metais foram realizadas conforme descrito no item 3.6. para a alimentação e efluente do sistema operado sem a adição de carvão ativado e com o carvão ativado no reator biológico.

O quadro 4.3. relaciona os dados obtidos durante o período de testes.

No item 2.7.5.2. é referida a remoção de metais observada no processo de lodos ativados. Através dos dados obtidos verificamos a redução de metais do efluente não sendo possível, entretanto, a determinação dos mecanismos responsáveis por esta redução de metais no efluente tratado.

QUADRO 4.3. - Remoção de metais

METAIS	ALIMENTAÇÃO	EFLUENTE SEM CARVÃO ATIVADO	EFLUENTE COM CARVÃO ATIVADO
Ferro (mg/l)	7,766-3,429	2,840-0,299	2,523-0,134
Cádmio (mg/l)	0,09	ND	ND
Cobre (mg/l)	0,247-0,124	0,198-0,108	0,173-0,100
Chumbo (mg/l)	0,550-0,133	0,383-0,091	0,216-0,091
Cromo (mg/l)	ND	ND	ND

O efeito da adsorção no carvão ativado reduz a concentração de metais presentes no efluente. A remoção obtida para o sistema combinado lodo ativado-carvão ativado foi superior ao processo de lodos ativados e os mecanismos responsáveis por esta remoção são também, provavelmente, a adsorção no carvão e a interação entre o carvão e a biomassa.

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES

A adição de carvão ativado ao reator biológico utilizando o efluente de indústria de celulose e papel promoveu uma melhoria na qualidade do efluente. O efluente tratado através do sistema combinado lodo ativado-carvão ativado comparativamente ao processo de lodos ativados convencional obteve concentrações de saída bastante inferiores e uma estabilização na concentração do despejo.

Análises microbiológicas do licor de mistura do reator comprovam a formação de um biofilme na superfície do carvão ativado e uma agregação dos flocos formados. Isto comprova a formação de um lodo mais denso, de mais fácil sedimentação dos sólidos no decantador secundário e com conseqüente redução de bioflocos no efluente tratado, comparando-se ao tratamento biológico convencional.

A eficiência de redução de Demanda Bioquímica de Oxigênio foi aumentada com a adição de carvão ativado. O aumento da dosagem de carvão promoveu uma maior eficiência de remoção de matéria orgânica do efluente. A percentagem média de remoção para DBO foi de 86,9%, 94,7%, 96,5%, respectivamente para o sistema de lodos ativados convencional, sistema combinado lodo ativado-carvão ativado com uma dosagem de 150 mg/l de carvão e uma dosagem de 250 mg/l de carvão.

A Demanda Química de Oxigênio da alimentação ao sistema foi bastante variável diariamente e o carvão ativado presente no reator biológico promoveu um efluente com mais baixa concentração de matéria quimicamente oxidável e uma estabilização

zação na concentração do despejo de saída. Para o processo de lodos ativados convencional a remoção média obtida foi de 35,4% e a DQO de saída do efluente variou entre 400 mg/l a 875 mg/l. No sistema combinado lodo ativado-carvão ativado, com uma dosagem de 150 mg/l de carvão, a remoção obtida foi de 58,1% e a DQO de saída variou entre 200 mg/l a 360 mg/l. A remoção obtida com a presença de carvão ativado no reator foi significativamente superior ao processo de lodos ativados convencional e a concentração de saída bastante inferior, variando os resultados em uma faixa reduzida, demonstrando a maior estabilização do processo.

Com uma dosagem de 250 mg/l de carvão no reator a eficiência de remoção foi de 63%. Entretanto, compostos pouco adsorvíveis e pouco biodegradáveis estiveram presentes na alimentação do sistema, o que promoveu uma elevação na DQO de saída, se considerado o período total do teste com esta dosagem de carvão. A DQO efluente variou de 198 mg/l a 410 mg/l.

O parâmetro cor foi o que mostrou uma maior variação na alimentação do sistema. A adição de carvão ativado resultou em um efluente com uma cor aparente significativamente inferior ao processo biológico convencional. A cor resultante do processo de lodos ativados foi extremamente variável dia a dia com amplas variações na eficiência de remoção. A remoção média obtida nesta etapa do estudo foi de 24,2% com uma amplitude de variação de 1100 mg Pt Co/l a 6300 mg Pt Co/l.

A cor obtida no efluente para o processo combinado lodo ativado-carvão ativado para uma dosagem de 150 mg/l de carvão variou de 900 mg Pt Co/l a 3000 mg Pt Co/l obtendo uma remoção média de 45,7%.

A remoção obtida para o parâmetro cor com uma dosagem

de 250 mg/l de carvão foi de 50,8%; entretanto, durante o período de coleta de dados para esta dosagem de carvão, com postos pouco adsorvíveis e pouco biodegradáveis estiveram presentes na alimentação do reator e promoveram uma mais baixa remoção e conseqüentemente uma cor efluente mais elevada. O parâmetro cor variou de 1600 mg Pt Co/l a 4200 mg Pt Co/l, entretanto, desconsiderando o período atípico do sistema a concentração máxima de saída foi de 2600 mg Pt Co/l.

A concentração média de saída no efluente para os sólidos em suspensão foi de 108 mg/l para o sistema de lodos ativados convencional, 42 mg/l para a dosagem de 150 mg/l de carvão ativado e 36 mg/l para a dosagem de 250 mg/l de carvão ativado. A eficiência de remoção de sólidos suspensos foi, portanto, bastante superior para o sistema que utiliza o carvão associado ao reator.

O ABS e Metais sofreram redução com a presença de carvão ativado no sistema. O ABS na alimentação do reator foi de 1,063 mg/l a 0,634 mg/l e o efluente sem a adição de carvão ativado variou entre 0,738 mg/l a 0,15 mg/l enquanto que com o carvão ativado no sistema esta variação foi de 0,338 a 0,061 mg/l. A remoção de metais obtida foi superior com a adição de carvão ativado, entretanto, as percentagens removidas foram variáveis durante o período de análise.

As remoções obtidas são específicas para a estação experimental e não podem ser comparadas a estação real de tratamento que utiliza o mesmo efluente, pelas características e dimensões da unidade em estudo. Certamente, maiores eficiências de remoção seriam obtidas para uma estação piloto com maiores dimensões, mesmo porque menores eficiências foram obtidas na estação experimental para o processo de lodos ativados comparativamente à estação real.

Porém, verifica-se a melhoria da qualidade do efluente e as percentagens de remoção obtidas para a unidade experimental comparativamente ao processo de lodos ativados convencional e ao sistema combinado lodo ativado-carvão ativado.

Qualitativamente pode-se verificar a melhoria geral obtida no processo com a adição de carvão ativado e para uma análise quantitativa torna-se necessário o estudo em uma unidade de maior capacidade, sendo necessário também esta unidade para um estudo de custo do processo.

CAPÍTULO 6

RECOMENDAÇÕES

- Recomenda-se a continuidade do estudo em uma estação piloto com um fluxo de alimentação mais elevado, para determinação de eficiências mais próximas a estação de tratamento de efluentes existente na indústria de celulose.

- Recomenda-se o estudo de diferentes tipos e dosagens de carvão ativado na estação piloto, bem como a adição de um agente coagulante no decantador secundário.

- Recomenda-se um estudo de viabilidade econômica do processo combinado lodo ativado-carvão ativado.

- Recomenda-se o estudo dos efeitos da redução do tempo de detenção hidráulica no reator biológico e da concentração de equilíbrio do carvão ativado no reator.

- Recomenda-se um estudo mais aprofundado das características do biofilme formado e da bioregeneração da superfície do carvão.

CAPÍTULO 7

BIBLIOGRAFIA

1. ADAMS, A.D. 1973. Improving activated sludge treatment with powdered activated carbon. In: INDUSTRIAL WASTE CONFERENCE, 28., Purdue University, 1973. Proceedings. Ann Arbor, Ann Arbor Science. p.1-11.
2. ADAMS, C.; FORD, D.; ECKENFELDER, W. 1981. Development of design and operational criteria for wastewater treatment. Nashville, Enviro Press. 493p.
3. AMARAL, D. 1984. Remoção de metais pesados de efluentes industriais por adsorção em coque poroso. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Curso de Pós-Graduação em Ecologia. 300f. Diss.Mestr. Ecologia.
4. ARBUCKLE, W.B. & GRIGGS, A.A. 1982. Determination of biomass MLVSS in PACT sludges. Journal Water Pollution Control Federation, Washington, 54(12): 1553-7, Dec.
5. AWWA. 1974. AWWA Standard for granular activated carbon. Journal American Water Works Association, Washington, 66(11):672-81, Nov.
6. BENEDEK, P.; MAJOR, V.; TAKÁCS, I. 1985. Mathematical model suggested for a carbon-activated sludge system. Water Research, New York, 19(4):407-13.
7. BICK, Hartmut. 1972. Ciliated protozoa. Geneva, World Health Organization, n.p.
8. BOSCH, H.; KLEEREBEZEM, G.J.; MARS, P. 1976. Activated carbon from activated sludge. Journal Water Pollution Control Federation, Washington, 48(3):551-61, Mar.
9. BRAILE, P.M. & CAVALCANTI, J.E.W.A. 1979. Manual de tratamento de águas residuárias industriais. São Paulo, Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. 764p.

10. BRANCO, S.M. 1978. Hidrobiologia aplicada à engenharia sanitária. 2.ed. São Paulo, CETESB. 620p.
11. BUCK, Harald & BUCK, Sabile. 1984. Papel dos microrganismos na depuração das águas residuárias. Guaíba, RIOCELL, Departamento de Controle Ambiental. n.p.
12. CHEREMISINOFF, P.N. & MORRESI, A.C. 1980. Carbon adsorption applications. In: CHEREMISINOFF, P.N. & ELLERBUSCH, F. Carbon adsorption handbook. Ann Arbor, Ann Arbor Science. p.1-53.
13. COOKSON, J.T. 1980. Adsorption mechanisms: the chemistry of organic adsorption on activated carbon. In: CHEREMISINOFF, P.N. & ELLERBUSCH, F. Carbon adsorption handbook. Ann Arbor, Ann Arbor Science. p.241-79.
14. CORSEUIL, H.X. 1984. Carvão ativado; uma nova tecnologia no tratamento da drenagem ácida de minas de carvão. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Curso de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento. 189f. Diss.Mestr.Engenharia Civil.
15. CULP, R.L.; WESNER, G.M.; CULP, G.L. 1978. Handbook of advanced wastewater treatment. 2.ed. New York, Van Nostrand Reinhold. 632p.
16. CURDS, C.R. 1970. An illustrated key to the British freshwater ciliated protozoa commonly found in activated sludge. London, Her Majesty's Stationery Office. 90p.
17. CURDS, C.R. 1973. Theoretical study of factors influencing the microbial population dynamics of the activated sludge process. Water Research, New York, 7:1269-84.
18. DA-RIN, B.P. 1980. Processos econômicos de tratamento biológico, filtros biológicos, lagoas de estabilização e valos de oxidação. Porto Alegre, Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente. 421p.
19. DE JOHN, P.B. & ADAMS, A.D. 1975. Activated carbon improves wastewater treatment. Hydrocarbon Processing, Houston: 104-11, Oct.

20. DE JOHN, P.B. & BLACK, J.P. 1978. Treatment of oil refinery wastewaters with powdered activated carbon. In: OPEN FORUM ON MANAGEMENT OF PETROLEUM REFINERY WASTEWATER, 2., Tulsa, Univ., 1978. Proceedings. Ada, EPA. p.369-88.
21. DE WALLE, F.B.; CHIAN, E.S.K.; SMALL, E.M. 1977. Organic matter removal by powdered activated carbon added to activated sludge. Journal Water Pollution Control Federation, Washington, 49(4): 593-9, Apr.
22. DRAKIDES, C. 1980. La microfaune des boues activées étude d'une méthode d'observation et application au suivi d'un pilote en phase de démarrage. Water Research, New York, 14: 1199-207.
23. DRAKIDES, C. s.d. Étude d'une biocénose en conditions limitantes cas de l'adaptation d'une boue activée à un effluent industriel. La technique de l'eau et l'Assainissement, Bruxelles: 21-32.
24. EIKELBOOM, D.H. 1975. Filamentous organisms observed in activated sludge. Water Research, New York, 9: 365-88.
25. EISENACHER, K. & NEUMANN, U. 1982. Weitergehende reinerung von abwässern der chemischen industrie mit hilfe von aktivkohle. Chemic Ingenieur Technik, Weinheim, 5(54): 409-540, Mai.
26. ECKENFELDER, W.W. & FORD, D.L. 1970. Water pollution control. Austin, Jenkins. 269p.
27. FERGUSON, J.F.; KEAY, G.F.P.; MERRIL, M.S.; BENEDICT, A.H. 1979. Powdered activated carbon in contact stabilization activated sludge. Journal Water Pollution Control Federation, Washington, 51(9):2314-23, Sept.
28. FLYNN, B.P. 1977. A model for the powdered activated carbon-activated sludge treatment system. In: INDUSTRIAL WASTE CONFERENCE, 30, Purdue University, 1975. Proceedings. Ann Arbor, Ann Arbor Science. p.233-52.

29. FLYNN, B.P. & BARRY, L.T. 1977. Finding a home for the carbon: aerator (powdered) or colmn (granular). In : INDUSTRIAL WASTE CONFERENCE, 31, Purdue University, 1976. Proceedings. Ann Arbor, An Arbor Science. p. 649-60.
30. FLYNN, B.P.; ROBERTACCIO, F.L.; BARRY, L.T. 1977. Truth or consequences: biological fouling and other considerations in the powdered activated carbon-activated sludge system. In. INDUSTRIAL WASTE CONFERENCE, 31, Purdue University, 1976. Proceedings. Ann Arbor, Ann Arbor Science. p.855-62.
31. FLYNN, B.P. & STADNIK, J.G. 1979. Start-up of a powdered activated carbon-activated sludge treatment system. Journal Water Pollution Control Federation, Washington, 49(4): 593-9, Apr.
32. FONTES, L.F. de M. s.d. O processo de lodos ativados com aeração prolongada. s.l., s.ed. p.29-31.
33. GRULICH, G.; HUTTON, D.G.; ROBERTACCIO, F.L.; GLOTZER, H. L. 1973. Treatment of organic chemicals plant waste water with the Du Pont PACT process. AICHE Symposium Series, New York, 69(129): 127-34.
34. GRIEVES, C.G.; STENOTROM, M.K.; WALK, J.D.; GRUTSCH, J. F. 1978. Powdered activated carbon enhancement of activated sludge for BATEA refinery wastewater treatment. In: OPEN FORUM ON MANAGEMENT OF PETROLEUM REFINERY WASTEWATER, Z., Tulsa Univ., 1978. Proceedings. Ada, EPA. p.344-74.
35. HASSLER, J.W. 1974. Purification with activated carbon. New York, Chemical Publishing. 390p.
36. HERRERA, J.; RATNIEKS, E.; LIMA, N.; MENEGOTTO, V.R. 1984. Tratamento secundário de efluentes hídricos através do sistema de lodo ativado em reator fechado. Guaíba, RIOCELL. n.p. Trabalho apresentado no 17º Congresso Anual da ABCP-Semana do Papel, São Paulo, 19-23, nov.1984.

37. HUBINGER, D.C. & HUTTON, D.G. 1981. Du Pont's waste - water treatment approach. Industrial Wastes, Chicago, 27(5): 41-3, Sept./Oct.
38. HUTTON, D.G. 1980. Combined powdered activated carbon-biological treatment. In: CHEREMISINOFF, P.N. & ELLER BRUSCH, F. Carbon adsorption handbook. Ann Arbor, Ann Arbor Science. p.389-447.
39. JENKINS, D. et alii. 1980. Discussion of "Bulking, deflocculation and pinpoint floc". Journal Water Pollution Control Federation, Washington, 52(3): 622-4, Mar.
40. JORDÃO, M.C.S. 1977. Carvão ativo de serragem de Pinus eliottii. São Paulo, Escola Politécnica da USP. 146f. Diss.Mestr.Engenharia.
41. KALINSKE, A.A. 1972. Enhancement of biological oxidation of organic wastes using activated carbon in microbial suspensions. Water and Sewage Works, Chicago, 119(62): 62-4, June.
42. LEIPZIG, N.A. 1981. Effectiveness of the powdered activated carbon-activated sludge system in removing ammonia from an organic chemical production wastewater. In: INDUSTRIAL WASTE CONFERENCE, 35, Purdue University, 1980. Proceedings. Ann Arbor, Ann Arbor Science. p.889-97.
43. LI, A.T.L. & DI GIANO, F.A. 1983. Availability of sorbed substrate for microbial degradation on granular activated carbon. Journal Water Pollution Control Federation, Washington, 55(4): 392-9, Apr.
44. LINSTEDT, K.D.; HOUCK, C.P.; O'CONNOR, J.T. 1971. Trace element removals in advanced wastewater treatment process. Journal Water Pollution Control Federation, Washington, 43(7): 1507-13, July.
45. METCALF & EDDY. 1977. Tratamiento y depuración de las aguas residuales. Barcelona, Labor. 837p.

46. NEUTELD, R.D.; GUTIERREZ, J.; NOVAK, R.A. 1977. A kinetic model and equilibrium relationship for heavy metal accumulation. Journal Water Pollution Control Federation, Washington, 49(3): 489-98, Mar.
47. PACT wastewater treatment service. 1981. Wilmington, E.I. Du Pont de Nemours. n.p.
48. PERRICH, J. R., ed. 1981. Activated carbon adsorption for wastewater treatment. Boca Raton, CRC. 252p.
49. PERROTI, A.E. & RODMANN, C.A. 1973. Enhancement of biological waste treatment by activated carbon. Chemical Engineering Progress, New York, 69(11): 63-4, Nov.
50. PIPES, Wesley O. s.d. Bulking of activated sludge. s.l., ed. p.185-234.
51. POON, C.P.C. & BHAYANI, K.H. 1971. Metal toxicity to sewage organisms. Journal of the Sanitary Engineering Division, New York, 97(2): 161-9, Apr.
52. QUON, J.E. & CHANG, K. 1979. Effect of activated carbon on the settleability of activated sludge. Journal Water Pollution Control Federation, Washington, 51(9): 2324-6, Sept.
53. RAMALHO, R.S. 1977. Introduction to wastewater treatment processes. New York, Academic Press. 409p.
54. ROBERTACCIO, F.L. 1974. Powdered carbon addition to biological reactors. In: INDUSTRIAL WASTE TREATMENT CONFERENCE, 6., University of Delaware, 1973. Proceedings. s.l., s.ed. p-245-67.
55. ROBERTACCIO, F.L. 1978. Combined powdered activated carbon treatment biological treatment: theory and results. In: OPEN FORUM ON MANAGEMENT OF PETROLEUM REFINERY WASTEWATER, e., Tulsa Univ., 1978. Proceedings. Ada,EPA . p.325-43.
56. SCARAMELLI, A.B. & DI GIANO, F.A. 1973. Upgrading the activated sludge system by addition of powdered car-

- bon. Water and Sewage Works, Chicago, 120(9): 90-4, Sept.
57. SCHULTZ, J.R. & KEINATH, T.M. 1984. Powdered activated carbon treatment process mechanisms. Journal Water Pollution Control Federation, Washington, 56(2): 143-51, Feb.
58. SCHWARTZ, R.D. & McCOR, C.J. 1976. The use of fluid catalytic craking catalyst in activated sludge waste water treatment. Journal Water Pollution Control Federation, Washington, 48(2): 274-80, Feb.
59. SEZGIN, M.; JENKINS, D.; PARKER, D.S. 1978. A unified theory of filamentous activated sludge bulking. Journal Water Pollution Control Federation, Washington, 50(2): 362-81, Feb.
60. SIGWORTH, E.A. & SMITH, S.B. 1972. Adsorption of inorganic compounds by activated carbon. Journal of the American Water Works Association, Washington, 64:386-91, June.
61. SUNDSTOM, D.W. et alii. 1979. Response of biological reactors to the addition of powdered activated carbon. Water Research, New York, 13: 1225-31.
62. SYKES, R.M.; ROZICH, A.F.; TIEFERTH, T.A. 1979. Algal and bacterial filamentous bulking of activated sludge. Journal Water Pollution Control Federation, Washington, 15(12): 2829-40, Dec.
63. WALLACE, R.N. & BURNS, D.E. 1976. Factors affecting powdered activated carbon added to activated sludge. Journal Water Pollution Control Federation, Washington, 49(4): 593-9, Apr.
64. WARTCHOW, D. 1982. Avaliação de carvões ativados nacionais de origem vegetal no tratamento avançado de esgotos domésticos. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Curso de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento. 182f. Diss.Mestr.Eng.Civil.

65. WEBER, W.J. 1981. Application of adsorption to wastewater treatment. Industrial Water Engineering, Minneapolis, 18(4): 19-25, Jul./Aug.
66. WEBER, W.J.; CORFIS, N.H.; JONES, B.E. 1983. Removal of priority pollutants in integrated activated sludge activated carbon treatment systems. Journal Water Pollution Control Federation, Washington, 55(4):369-76, Apr.
67. WONG, A. et alii. 1977. Detoxification and decolorization of kraft pulp mill effluents using activated carbon. Pulp and Paper Canada, Westmount, 78(4):37-42, Apr.

ANEXO 1

DADOS OBTIDOS DURANTE
A OPERAÇÃO DA UNIDADE

DADOS OBTIDOS DURANTE A OPERAÇÃO DA UNIDADE COMO PROCESSO
DE LODOS ATIVADOS CONVENCIONAL

137.

A L I M E N T A Ç Ã O					REATOR	E F L U E N T E				
Temp. (°C)	pH	Cor (mg Pt Co/l)	DQO (mg/l)	SS (mg/l)	O ₂ diss. (mg/l)	O ₂ diss. (mg/l)	pH	Cor (mg Pt Co/l)	DQO (mg/l)	SS (mg/l)
21,0	6,9	4972	790	120	6,4	5,8	7,7	2863	554	80
22,0	7,2	3590	805	140	6,8	5,5	7,7	2297	523	110
22,0	7,3	4846	773	110	6,0	5,4	7,9	2925	492	90
19,5	7,2	3350	750	150	7,0	5,5	7,5	2737	508	100
19,0	7,6	5850	750	160	7,1	5,2	7,6	3866	395	110
18,0	7,6	5474	814	120	6,9	5,3	7,7	4720	481	80
18,5	7,3	2210	780	120	6,8	5,5	7,6	1160	473	90
20,0	7,1	7982	906	580	6,0	5,2	7,4	5850	688	140
21,0	7,5	6602	1014	320	6,1	5,0	7,3	4794	593	210
21,0	7,6	6403	1124	450	5,8	5,1	7,9	4594	673	200
21,0	7,1	2592	992	160	5,9	4,9	7,8	2172	613	160
22,0	7,5	5096	865	190	5,2	4,8	7,8	4470	682	120
22,0	7,2	6556	924	380	5,5	4,8	7,6	3846	509	170
22,0	6,6	6954	880	90	6,1	4,7	6,5	5746	534	40
21,0	7,2	6350	800	230	5,8	5,1	7,5	5986	569	20
22,0	7,4	6712	831	590	7,5	5,2	7,5	5504	591	290
23,0	7,4	6470	755	320	7,3	5,7	7,3	5504	554	230
23,5	6,8	6506	765	100	6,8	5,5	7,1	6042	523	130
24,5	6,9	5926	748	230	6,5	5,4	7,1	5692	466	140
22,0	6,7	4994	724	150	6,2	5,1	7,5	4182	509	110
21,0	6,4	5228	910	130	5,8	4,8	7,3	2963	475	120
20,5	6,6	3684	848	170	7,0	4,7	7,2	3620	488	50
20,0	6,7	5850	799	270	7,6	4,7	7,5	3842	475	80
20,5	6,8	5344	987	160	8,0	6,0	7,4	3340	524	200
21,5	6,8	5042	1088	90	7,8	5,7	7,6	4010	702	120
21,0	6,7	6683	1065	140	7,4	5,5	7,5	5616	716	100
20,5	6,9	7850	1280	70	7,1	5,6	7,7	6304	875	50
20,0	7,0	6683	1023	80	7,2	5,2	7,7	5386	688	60
18,0	7,2	4124	824	110	7,0	5,1	7,8	2578	499	90
18,5	6,9	4928	875	70	6,8	5,1	7,6	3324	541	80
18,0	6,9	4928	831	60	6,8	4,8	7,8	3666	612	70
18,5	6,8	5156	888	80	6,6	4,7	7,6	3896	561	50
19,0	7,3	4468	869	100	6,7	4,8	7,0	3322	584	20
19,5	6,8	4812	847	100	7,0	5,2	7,6	3666	593	80
19,0	6,8	4698	908	150	6,6	5,3	7,6	3666	548	90
20,0	6,7	5000	973	280	5,8	5,0	7,4	3960	685	160
20,0	6,7	5560	972	310	5,9	4,9	7,5	4230	645	130

DADOS OBTIDOS DURANTE OPERAÇÃO DA UNIDADE ATRAVÉS DO PROCESSO COMBINADO LODO
ATIVADO - CARVÃO ATIVADO

138.

Dosagem de carvão ativado = 150 mg/l

ALIMENTAÇÃO					REATOR	EFFLUENTE				
Temp. (°C)	pH	Cor (mg Pt Co/l)	DQO (mg/l)	SS (mg/l)	O ₂ diss. (mg/l)	O ₂ diss. (mg/l)	pH	Cor (mg Pt Co/l)	DQO (mg/l)	SS (mg/l)
22,0	7,6	2710	541	120	6,6	4,9	7,8	1620	261	60
22,0	7,5	2606	541	150	6,3	4,9	7,3	1676	230	50
21,0	7,1	2234	554	100	5,8	4,7	7,2	1489	216	30
21,0	7,3	2349	550	80	8,2	5,9	7,0	1317	261	40
19,5	7,0	2292	566	30	7,7	5,7	6,9	1202	201	40
19,5	6,5	2693	520	50	7,3	5,7	6,9	1528	210	20
19,5	6,9	2693	540	90	7,0	5,5	7,1	1547	257	10
20,5	6,8	3094	518	100	6,8	5,1	7,4	1986	269	30
20,5	7,0	5813	882	100	6,5	5,0	7,4	2922	330	40
20,5	7,3	4765	776	120	6,6	4,8	7,5	2551	326	60
21,0	7,3	4643	876	150	6,4	4,7	7,8	2292	310	60
21,0	7,2	3783	649	90	7,0	5,7	7,5	2292	299	50
21,5	8,0	3780	876	80	7,1	5,6	7,6	2250	332	30
22,5	7,5	3439	759	100	7,0	5,7	7,3	2216	330	50
22,0	7,1	3883	839	180	6,9	5,5	7,5	2101	303	60
22,0	7,2	3324	680	90	6,7	5,5	7,3	1910	287	30
21,0	6,7	2922	714	120	6,6	5,2	8,0	1633	262	50
20,0	6,8	2793	665	40	6,2	5,0	7,3	1518	250	10
20,0	7,1	2979	630	150	5,9	4,5	7,9	1681	273	20
22,0	7,2	2979	478	160	7,8	5,8	7,8	1833	257	40
23,0	7,5	3094	569	130	7,7	5,7	8,1	1795	220	30
22,5	7,5	3094	747	480	7,3	5,3	8,1	1833	259	30
22,0	7,4	3209	572	450	7,0	5,3	8,1	2063	299	50
21,0	7,1	3955	712	230	6,7	5,1	7,4	2216	350	80
21,5	6,7	3624	765	150	6,6	5,0	7,2	2322	345	80
22,0	7,3	3553	567	70	6,5	4,9	7,1	916	308	30
22,5	7,4	4127	588	60	6,0	4,8	7,2	1681	290	70
19,0	7,5	2827	643	200	5,9	4,6	7,4	1604	299	40
19,5	7,6	2750	530	180	5,9	4,7	7,5	1337	249	40
20,0	7,3	2979	641	250	5,7	4,4	7,7	2062	264	10
21,0	7,2	3428	675	60	5,5	4,2	7,8	1633	240	50
21,5	7,2	2693	656	140	7,1	5,8	7,7	1776	252	60
22,0	7,0	2808	677	140	7,1	5,9	7,6	1719	306	20
23,0	6,8	3276	654	100	6,9	5,8	7,8	1996	301	40
22,5	6,9	3276	723	130	6,5	5,5	7,1	1833	341	60
21,0	7,4	2736	706	130	6,5	5,3	7,1	1872	348	40
21,0	7,2	3237	973	400	6,2	5,0	7,0	2139	363	60
18,5	7,5	3706	828	130	6,0	4,5	7,2	2110	353	30
19,0	7,4	4000	689	170	5,7	4,1	7,4	2657	340	60
20,0	7,4	4012	797	280	7,9	5,9	7,8	2331	324	20
21,0	6,9	4471	818	100	8,0	5,8	8,0	2177	320	10
23,5	6,7	3992	776	150	7,7	5,5	7,4	2473	320	60
23,0	6,8	2979	794	140	7,5	5,3	7,5	2101	276	80
22,0	7,1	2922	637	140	7,1	5,3	7,3	1681	270	50
22,5	7,1	5571	762	300	7,1	5,0	7,4	2500	308	50
21,0	7,6	4286	685	100	7,0	4,9	7,5	2429	319	50
22,0	7,0	7714	653	590	6,9	4,8	7,5	2143	286	70
23,0	7,2	5428	835	320	6,7	4,8	7,8	3000	303	60
20,0	7,3	4572	816	150	6,5	4,5	7,6	2000	265	30
18,0	6,7	4858	767	60	6,5	4,5	8,0	2429	276	20
19,5	7,2	4429	726	70	6,2	4,3	7,9	2286	292	50
19,0	7,2	8143	896	240	6,0	4,2	8,0	2500	294	40
20,5	7,1	7051	833	110	8,1	5,7	7,6	2998	325	60
21,0	7,3	6683	788	310	7,5	5,8	7,6	2974	346	40
21,0	7,2	5571	782	130	7,2	5,6	7,6	2500	286	10
22,0	7,4	5280	826	110	7,3	5,5	7,7	2139	254	30
22,5	7,3	5994	850	130	7,0	5,1	7,7	2354	310	10
22,0	7,4	6015	726	140	6,8	5,0	7,8	2296	287	20

DADOS OBTIDOS DURANTE OPERAÇÃO DA UNIDADE ATRAVÉS DO PROCESSO COMBINADO
 LODO ATIVADO - CARVÃO ATIVADO

139

Dosagem de carvão ativado = 250 mg/l

ALIMENTAÇÃO					REATOR	EFLUENTE				
Temp. (°C)	pH	Cor (mg Pt Co/l)	DOO (mg/l)	SS (mg/l)	O ₂ diss. (mg/l)	O ₂ diss. (mg/l)	pH	Cor (mg Pt Co/l)	DOO (mg/l)	SS (mg/l)
21,0	7,2	5336	718	70	6,0	4,9	7,7	1940	198	60
21,0	7,6	4708	662	160	6,2	4,6	7,6	2189	274	30
21,5	7,6	4708	621	80	7,0	4,7	7,4	2332	259	10
20,5	7,7	4536	551	240	7,1	5,7	7,0	2136	255	60
20,0	7,1	4420	651	610	6,9	5,3	7,1	1998	230	60
18,5	7,2	4780	725	190	6,9	5,2	7,2	1950	238	30
20,0	6,9	3712	624	590	6,7	5,3	7,1	1807	232	40
22,0	7,4	5764	640	290	6,6	5,0	7,3	1709	244	30
21,0	7,0	5280	612	400	6,2	4,7	7,3	2640	255	50
21,0	7,1	5994	844	320	6,3	4,6	6,9	3012	272	20
21,5	7,0	7280	898	480	5,9	4,6	7,3	2812	355	30
22,0	6,9	6424	1123	160	5,5	4,3	7,1	3727	345	50
21,5	7,0	5986	945	550	6,6	4,7	7,6	3662	380	70
20,5	6,9	6724	855	130	6,3	4,6	7,4	4042	398	20
21,0	6,9	7852	870	110	6,2	4,6	7,3	4227	403	10
19,5	6,9	5998	940	250	7,0	5,6	7,4	3895	410	60
20,0	7,0	5468	995	120	7,2	5,7	7,5	3577	366	60
21,0	7,0	4574	844	160	7,1	5,5	7,6	2737	345	30
22,0	7,2	4248	840	120	6,8	5,2	7,4	2442	330	40
22,5	7,0	4322	756	60	7,7	5,5	7,6	2341	310	50
21,0	6,5	4676	769	160	7,5	5,6	7,6	2452	299	40
20,0	7,0	4440	789	110	7,2	5,3	7,7	2292	293	60
22,0	7,8	4270	854	130	7,2	5,2	7,6	2244	281	10
20,5	7,1	4057	763	100	7,3	5,1	7,0	2079	269	40
21,0	7,0	3763	842	60	8,1	5,7	7,1	1850	251	10
21,0	7,1	4270	757	50	8,0	5,7	7,3	1603	264	10
21,5	6,9	3256	745	100	7,7	5,4	7,6	1554	251	10
22,5	6,7	4017	705	150	7,5	5,3	7,4	2086	201	20
22,0	6,7	4201	746	30	7,4	5,3	7,6	2143	200	10
21,0	7,1	4582	534	120	7,4	5,0	7,4	2110	220	60
21,0	7,4	5240	705	170	7,1	5,0	7,5	2035	274	50
19,5	7,0	4812	672	130	7,1	4,8	7,0	2185	256	40
19,0	6,9	5850	707	180	6,7	4,8	7,1	2386	267	50
20,0	7,3	5928	686	260	6,8	4,9	7,4	2411	214	30
20,5	7,2	4896	645	320	6,7	4,7	7,5	2234	208	50
21,0	7,0	4674	628	100	6,6	4,6	7,5	2120	215	40

ANEXO 2

ENSAIOS DE SEDIMENTAÇÃO
E ANÁLISES MICROBIOLÓGICAS

Análises microbiológicas e ensaios de sedimentação referentes diariamente a mesma amostra, obtidos nos diferentes períodos dos testes

Adaptação do sistema

Ensaio de sedimentação

T (min)	H(ml)
0	1000
5	530
10	395
15	335
20	300
25	280
30	260
60	200

Microrganismos

Vorticella sp.
Aspidisca sp.
Chilodonella sp.
Amoeba sp.
 Flagelados

Ensaio de sedimentação

T (min)	H(ml)
0	1000
5	450
10	340
15	290
20	260
25	235
30	220
60	170

Microrganismos

Vorticella sp.
Aspidisca sp.
Amoeba sp.
 Flagelados

Ensaio de sedimentação

T (min)	H(ml)
0	1000
5	470
10	370
15	315
20	280
25	250
30	235
60	180

Microrganismos

Vorticella sp.
Aspidisca sp.
Amoeba sp.
 Flagelados

Ensaio de sedimentação

T (min)	H(ml)
0	1000
5	510
10	380
15	320
20	290
25	260
30	240
60	195

Microorganismos

Vorticella sp.
Aspidisca sp.
Amoeba sp.
 Flagelados

Ensaio de sedimentação

T (min)	H(ml)
0	1000
5	590
10	445
15	380
20	345
25	320
30	300
60	235

Microorganismos

Vorticella sp.
Aspidisca sp.
Chilodonella sp.
Amoeba sp.
 Flagelados
Oxytricha sp.

Ensaio de sedimentação

T (min)	H(ml)
0	1000
5	490
10	370
15	335
20	310
25	290
30	280
60	235

Microorganismos

Oxytricha sp
Litonotus sp.
Vorticella sp.
Amoeba sp.
Aspidisca sp.

Ensaio de sedimentação

T (min)	H(ml)
0	1000
5	500
10	405
15	365
20	345
25	325
30	310
60	250

Microrganismos

Vorticella sp.
Oxytricha sp.
Litonotus sp.
Aspidisca sp.
 Rotífero

Ensaio de sedimentação

T (min)	H(ml)
0	1000
5	530
10	420
15	370
20	345
25	330
30	310
60	260

Microrganismo

Oxytricha sp.
Litonotus sp.
 Rotífero
 Aelosoma
Vorticella sp.
Amoeba sp.
Paramecium sp.

Variação na idade do lodoIdade de lodo de 10 diasEnsaio de sedimentação

T (min)	H(ml)
0	1000
5	370
10	290
15	260
20	250
25	235
30	225
60	180

Microrganismos

Vorticella sp.
Aspidisca sp.
Amoeba sp.
Oxytricha sp.
 Flagelados

Ensaio de sedimentação

T (min)	H(ml)
0	1000
5	380
10	310
15	280
20	260
25	240
30	235
60	195

Microrganismos

Vorticella sp.
Aspidisca sp.
Amoeba sp.
 Flagelados

Ensaio de sedimentação

T (min)	H(ml)
0	1000
5	330
10	245
15	230
20	215
25	202
30	192
60	155

Microrganismos

Vorticella sp.
Aspidisca sp.
Amoeba sp.
 Flagelados

Ensaio de sedimentação

T (min)	H(ml)
0	1000
5	350
10	270
15	245
20	230
25	215
30	200
60	165

Microrganismos

Vorticella sp.
Amoeba sp.
 Flagelados

Idade do lodo de 15 diasEnsaio de sedimentação

T (min)	H(ml)
0	1000
5	440
10	360
15	315
20	295
25	273
30	255
60	200

Microrganismos

Aspidisca sp.
Vorticella sp.
 Rotífero
 Aelosoma
Litonotus sp.
Oxytricha sp.
 Flagelados

Ensaio de sedimentação

T (min)	H(ml)
0	1000
5	445
10	370
15	320
20	295
25	270
30	252
60	195

Microrganismos

Rotífero
Vorticella sp.
Aspidisca sp.
 Aelosoma
Litonotus sp.
Trachelophyllum sp.
 Suctorio

Ensaio de sedimentação

T (min)	H(ml)
0	1000
5	410
10	320
15	290
20	270
25	250
30	235
60	185

Microrganismos

Rotífero
Vorticella sp.
Colpidium sp.
Litonotus sp.
Aspidisca sp.
 Amoeba sp.
Trachelophyllum sp.

Ensaio de sedimentação

T (min)	H(ml)
0	1000
5	550
10	445
15	400
20	380
25	360
30	340
60	270

Microrganismos

Vorticella sp.
Paramecium sp.
 Rotífero
Oxytricha sp.
Litonotus sp.
Amoeba sp
 Suctorio

Idade do lodo de 20 diasEnsaio de sedimentação

T (min)	H(ml)
0	1000
5	760
10	545
15	450
20	410
25	380
30	360
60	300

Microrganismos

Vorticella sp.
 Rotífero
Aspidisca sp.
Litonotus sp.

Ensaio de sedimentação

T (min)	H(ml)
0	1000
5	920
10	780
15	670
20	600
25	555
30	515
60	405

Microrganismos

Vorticella sp.
 Rotífero
 Suctorio

Ensaio de sedimentação

T (min)	H(ml)
0	1000
5	940
10	825
15	690
20	610
25	555
30	520
60	410

Microrganismos

Vorticella sp.
Suctorio

Ensaio de sedimentação

T (min)	H(ml)
0	1000
5	925
10	830
15	740
20	670
25	610
30	560
60	440

Microrganismos

Flocos dispersos, ausência de microrganismos identificáveis através do poder de resolução do microscópio.

Processo de lodos ativados convencionalEnsaio de sedimentação

T (min)	H(ml)
0	1000
5	720
10	535
15	480
20	450
25	430
30	410
60	340

Microrganismos

Aspidisca sp.
Litonotus sp.
Rotífero
Amoeba sp.
Oxytricha sp.

Ensaio de sedimentação

T (min)	H(ml)
0	1000
5	670
10	500
15	450
20	425
25	405
30	390
60	330

Microrganismos

Rotífero
Aspidisca sp.
Oxytricha sp.
Colpidium sp.
Vorticella sp.

Ensaio de sedimentação

T (min)	H(ml)
0	1000
5	620
10	480
15	435
20	410
25	390
30	375
60	320

Microrganismos

Rotífero
Aspidisca sp.
Aelosoma
Litonotus sp.
Colpidium sp.

Ensaio de sedimentação

T (min)	H(ml)
0	1000
5	590
10	440
15	400
20	380
25	360
30	350
60	295

Microrganismos

Rotífero
Aspidisca sp.
Oxytricha sp.
Aelosoma
Colpidium sp.
Epistylis sp.
Litonotus sp.
Trachelophyllum sp.

Ensaio de sedimentação

T (min)	H(ml)
0	1000
5	530
10	420
15	390
20	370
25	340
30	330
60	280

Microrganismos

Rotífero
Aspidisca sp.
Oxytricha sp.
Aelosoma sp.
Amoeba sp.
Colpidium sp.
Trachelophyllum sp.
Litonotus sp.

Ensaio de sedimentação

T (min)	H(ml)
0	1000
5	455
10	350
15	310
20	290
25	270
30	255
60	210

Microrganismos

Oxytricha sp.
 Rotífero
Aspidisca sp.
Vorticella sp.
Trachelophyllum sp.
Litonotus sp.
Aelosoma
Amoeba sp.

Ensaio de sedimentação

T (min)	H(ml)
0	1000
5	420
10	330
15	300
20	280
25	260
30	250
60	200

Microrganismos

Rotífero
Aspidisca
Aelosoma
Oxytricha sp.
Vorticella sp.
Trachelophyllum sp.
Amoeba sp.

Ensaio de sedimentação

T (min)	H(ml)
0	1000
5	370
10	280
15	250
20	230
25	215
30	205
60	170

Microrganismos

Rotífero
Aspidisca sp.
Oxytricha sp.
Vorticella sp.
Aelosoma sp.
Colpidium sp.
Peranema sp.

Ensaio de sedimentação

T (min)	H(ml)
0	1000
5	540
10	420
15	380
20	360
25	350
30	335
60	290

Microrganismos

Rotífero
Aspidisca sp.
 Suctorio
Vorticella sp.
Aelosoma
Oxytricha sp.
Litonotus sp.
 Nematódio

Ensaio de sedimentação

T (min)	H(ml)
0	1000
5	690
10	505
15	455
20	430
25	412
30	400
60	340

Microrganismos

Rotífero
Aelosoma
Aspidisca sp.
 Suctorio
Vorticella sp.
Trachelophyllum sp.
 Flagelados

Ensaio de sedimentação

T (min)	H(ml)
0	1000
5	770
10	560
15	520
20	495
25	480
30	460
60	400

Microrganismos

Aelosoma
 Rotífero
Aspidisca sp.
 Suctorio
Vorticella sp.
Trachelophyllum sp.

Ensaio de sedimentação

T (min)	H(ml)
0	1000
5	740
10	540
15	500
20	475
25	455
30	440
60	370

Microrganismos

Rotífero
Aspidisca sp.
 Aelosoma
 Suctorio
Trachelophyllum sp.
Colpidium sp.
 Flagelados

Ensaio de sedimentação

T (min)	H(ml)
0	1000
5	650
10	580
15	500
20	470
25	460
30	440
60	350

Microrganismos

Aelosoma
 Rotífero
Aspidisca sp.
 Suctorio
Colpidium sp.
 Flagelados

Ensaio de sedimentação

T (min)	H(ml)
0	1000
5	850
10	690
15	630
20	595
25	570
30	550
60	460

Microrganismos

Aelosoma
 Rotífero
Aspidisca sp.
Colpidium sp.
Epistylis sp.
Trachelophyllum sp.

Ensaio de sedimentação

T (min)	H(ml)
0	1000
5	950
10	900
15	820
20	755
25	668
30	600
60	460

Microrganismos

Rotífero
Colpidium sp.
 Aelosoma
 Litonotus
Trachelophyllum sp.
Oxytricha sp.
 Nematódio
 Suctorio

Ensaio de sedimentação

T (min)	H(ml)
0	1000
5	975
10	950
15	910
20	870
25	835
30	790
60	590

Microrganismos

Rotífero
 Aelosoma
 Suctorio
Oxytricha sp.
Epistylis sp.
Litonotus sp.
Aspidisca sp.

Ensaio de sedimentação

T (min)	H(ml)
0	1000
5	945
10	895
15	865
20	815
25	775
30	720
60	550

Microrganismos

Rotífero
Suctorio
Aelosoma
Aspidisca sp.
Oxytricha sp.
Colpidium sp.
Litonotus sp.
Vorticella sp.

Ensaio de sedimentação

T (min)	H(ml)
0	1000
5	800
10	640
15	580
20	550
25	520
30	500
60	395

Microrganismos

Rotífero
Aelosoma
Suctorio
Litonotus sp.
Trachelophyllum sp.
Aspidisca sp.

Ensaio de sedimentação

T (min)	H(ml)
0	1000
5	740
10	590
15	530
20	500
25	472
30	450
60	365

Microrganismos

Aelosoma
Rotífero
Colpidium sp.
Aspidisca sp.
Suctorio
Litonotus sp.
Amoeba sp.

Ensaio de sedimentação

T (min)	H(ml)
0	1000
5	550
10	445
15	400
20	380
25	360
30	340
60	270

Microrganismos

Aelosoma
 Rotífero
Litonotus sp.
 Suctorio
Trachelophyllum sp.
Colpidium sp.
 Flagelados

Ensaio de sedimentação

T (min)	H(ml)
0	1000
5	530
10	380
15	350
20	330
25	310
30	290
60	230

Microrganismos

Rotífero
 Aelosoma
Litonotus sp.
Trachelophyllum sp.
 Suctorio
Colpidium sp.
Amoeba sp.
 Flagelados

Processo combinado lodo ativado-carvão ativadoEnsaio de sedimentação

T (min)	H(ml)
0	1000
5	460
10	350
15	320
20	298
25	280
30	268
60	210

Microrganismos

Rotífero
 Suctorio
Paramecium sp.
Oxytricha sp.
Litonotus sp.
Aspidisca sp.
 Aelosoma

Ensaio de sedimentação

T (min)	H(ml)
0	1000
5	390
10	350
15	335
20	320
25	310
30	305
60	250

Ensaio de sedimentação

T (min)	H(ml)
0	1000
5	470
10	410
15	365
20	325
25	290
30	270
60	240

Ensaio de sedimentação

T (min)	H(ml)
0	1000
5	470
10	365
15	315
20	288
25	268
30	250
60	205

Microrganismos

Rotífero
Oxytricha sp.
Litonotus sp.
Aspidisca sp.
Aelosoma
Nematódio

Microrganismos

Rotífero
Paramecium sp.
Aspidisca sp.
Oxytricha sp.
Litonotus sp.
Suctorio
Nematódio

Microrganismos

Rotífero
Vorticella sp.
Aelosoma
Aspidisca sp.
Litonotus sp.
Oxytricha sp.
Nematódio

Ensaio de sedimentação

T (min)	H(ml)
0	1000
5	380
10	349
15	308
20	270
25	245
30	224
60	195

Microrganismos

Rotífero
Vorticella sp.
Oxytricha sp.
Aelosoma
Suctorio
Aspidisca sp.
Litonotus sp.

Ensaio de sedimentação

T (min)	H(ml)
0	1000
5	420
10	335
15	298
20	265
25	245
30	228
60	180

Microrganismos

Aspidisca sp.
Aelosoma sp.
Rotífero
Litonotus sp.
Vorticella sp.
Suctorio

Ensaio de sedimentação

T (min)	H(ml)
0	1000
5	380
10	295
15	250
20	235
25	218
30	205
60	190

Microrganismos

Rotífero
Aelosoma
Litonotus sp.
Vorticella sp.
Aspidisca sp.
Suctorio
Amoeba sp.

Ensaio de sedimentação

T (min)	H(ml)
0	1000
5	380
10	295
15	250
20	235
25	218
30	205
60	180

Microrganismos

Rotífero
 Aelosoma
Litonotus sp.
Vorticella sp.
Aspidisca sp.
 Suctorio
Trachelophyllum sp.
Amoeba sp.

Ensaio de sedimentação

T (min)	H(ml)
0	1000
5	395
10	278
15	240
20	220
25	205
30	200
60	185

Microrganismo

Aelosoma
Vorticella sp.
 Rotífero
Litonotus sp.
Aspidisca sp.
Oxytricha sp.
 Suctorio

Ensaio de sedimentação

T (min)	H(ml)
0	1000
5	450
10	360
15	320
20	295
25	275
30	250
60	208

Microrganismos

Aelosoma
 Rotífero
Paramecium sp.
Aspidisca sp.
Oxytricha sp.
Litonotus sp.
 Suctorio

Ensaio de sedimentação

T (min)	H(ml)
0	1000
5	450
10	340
15	290
20	260
25	235
30	220
60	190

Microrganismos

Rorífero
Aspidisca sp.
Paramecium sp.
 Suctorio
Trachelophyl-um sp.
 Nematório
 Aelosoma

Ensaio de sedimentação

T (min)	H(ml)
0	1000
5	420
10	320
15	275
20	250
25	225
30	210
60	180

Microrganismos

Rotífero
 Aelosoma
Oxytricha sp.
Paramecium sp.
Trachelophyllum sp.
 Suctorio
 Nematódio

Ensaio de sedimentação

T (min)	H(ml)
0	1000
5	515
10	385
15	330
20	300
25	280
30	260
60	200

Microrganismos

Rotífero
Aspidisca sp.
Paramecium sp.
 Suctorio
Oxytricha sp.

Ensaio de sedimentação

T (min)	H(ml)
0	1000
5	370
10	280
15	250
20	235
25	220
30	215
60	180

Microrganismos

Rotífero
Aspidisca sp.
Paramecium sp.
 Aelosoma
 Suctorio
 Oxytricha

Ensaio de sedimentação

T (min)	H(ml)
0	1000
5	350
10	275
15	250
20	238
25	225
30	220
60	180

Microrganismos

Aspidisca sp.
 Rotífero
 Aelosoma
Oxytricha sp.
Vorticella sp.
 Suctorio

Ensaio de sedimentação

T (min)	H(ml)
0	1000
5	370
10	290
15	260
20	245
25	235
30	225
60	200

Microrganismo

Rotíferos
 Aelosoma
Vorticella sp.
Aspidisca sp.
Oxytricha sp.
epistylis sp.

Ensaio de sedimentação

T (min)	H(ml)
0	1000
5	420
10	350
15	305
20	280
25	260
30	250
60	210

Microrganismos

Rotífero
 Aelosoma
Aspidisca sp.
Oxytricha sp.
Vorticella sp.
epistylis sp.

Ensaio de sedimentação

T (min)	H(ml)
0	1000
5	360
10	305
15	280
20	260
25	250
30	240
60	200

Microrganismos

Rotífero
 Aelosoma
Aspidisca sp.
Vorticella sp.
Paranema sp.
Oxytricha sp.

Ensaio de sedimentação

T (min)	H(ml)
0	1000
5	310
10	275
15	250
20	235
25	225
30	220
60	195

Microrganismos

Paramecium sp.
Vorticella sp.
Aspidisca sp.
Oxytricha sp.
Litonotus sp.
 Rotífero
 Aelosoma

Ensaio de sedimentação

T (min)	H(ml)
0	1000
5	450
10	340
15	315
20	300
25	290
30	280
60	245

Microrganismos

Paramecium sp.
Rotífero
Aelosoma
Oxytricha sp.
Litonotus sp.
Suctorio

Ensaio de sedimentação

T (min)	H(ml)
0	1000
5	470
10	365
15	320
20	295
25	280
30	270
60	240

Microrganismos

Rotífero
Aelosoma
Oxytricha sp.
Litonotus sp.
Paramecium sp.
Suctorio

Ensaio de sedimentação

T (min)	H(ml)
0	1000
5	580
10	460
15	395
20	350
25	315
30	300
60	275

Microrganismos

Rotífero
Aelosoma
Vorticella sp.
Litonotus sp.
Trachelophyllum sp.
Suctorio

Ensaio de sedimentação

T (min)	H(ml)
0	1000
5	590
10	450
15	405
20	380
25	360
30	350
60	295

Microrganismos

Rotífero
 Aelosoma
Vorticella sp.
Litonotus sp.
Aspidisca sp.
 Suctorio

Ensaio de sedimentação

T (min)	H(ml)
0	1000
5	460
10	350
15	300
20	265
25	245
30	230
60	200

Microrganismos

Rotífero
 Aelosoma
Paramecium sp.
Aspidisca sp.
Oxytricha sp.
 Suctorio

Ensaio de sedimentação

T (min)	H(ml)
0	1000
5	378
10	295
15	250
20	235
25	220
30	210
60	195

Microrganismos

Rotífero
 Aelosoma
Paramecium sp.
Aspidisca sp.
Oxytricha sp.
Litonotus sp.

Ensaio de sedimentação

T (min)	H(ml)
0	1000
5	440
10	360
15	320
20	300
25	285
30	270
60	210

Microrganismo

Rotíferos
 Aelosoma
Paramecium sp.
Aspidisca sp.
Oxytricha sp.
Litonotus sp.
Vorticella sp.

Ensaio de sedimentação

T (min)	H(ml)
0	1000
5	550
10	430
15	385
20	340
25	315
30	305
60	260

Microrganismos

Vorticella sp.
Paramecium sp.
 Aelosoma
Aspidisca sp.
Epistylis sp.
Litonotus sp.
 Rotífero
 Suctório
Oxytricha sp.

Ensaio de sedimentação

T (min)	H(ml)
0	1000
5	590
10	475
15	410
20	380
25	355
30	345
60	290

Microrganismos

Aelosoma
Vorticella sp.
 Rotífero
Litonotus sp.
Aspidisca sp.
Epistylis sp.
Paranema sp.

Ensaio de sedimentação

T (min)	H(ml)
0	1000
5	580
10	450
15	420
20	405
25	390
30	380
60	300

Microorganismos

Aelosoma
Aspidisca sp.
 Rotífero
 Oxytricha
Paramecium sp.
Trachelophyllum sp
 Nematódio

Ensaio de sedimentação

T (min)	H(ml)
0	1000
5	480
10	420
15	380
20	360
25	345
30	340
60	270

Microorganismos

Aelosoma
Aspidisca sp.
Litonotus sp.
Colpidium sp.
Paramecium sp.
 Nematódio

ANEXO 3

ANÁLISE DE VARIABILIDADE DOS
PARÂMETROS DE CONTROLE DA ESTA
ÇÃO PILOTO.

Análise de variabilidade dos parâmetros
de controle da estação piloto.

Dosagem de carvão no sistema	\bar{x}	σ	C.V. (%)
Sem carvão ativado			
Cor na alimentação	5391	1303,0	24,2
Cor no efluente	4117	1252,5	30,4
DQO na alimentação	886	121,6	13,7
DQO no efluente	571	94,7	16,6
SS na alimentação	191	129,6	67,9
SS no efluente	110	56,7	51,5
150 mg/l de carvão ativado			
Cor na alimentação	3933	1373	34,9
Cor no efluente	2042	451,8	22,1
DQO na alimentação	704	117,1	16,6
DQO no efluente	290	38,9	13,4
SS na alimentação	139	111,2	79,7
SS no efluente	42	18,9	45,2
250 mg/l de carvão ativado			
Cor na alimentação	5029	1019	20,3
Cor no efluente	2471	705,1	28,5
DQO na alimentação	757	128,4	16,9
DQO no efluente	279	60,5	21,7
SS na alimentação	202	150,7	74,7
SS no efluente	37	18,3	49,3