

SHS  
2000

# AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO E ESTABILIDADE DE UM REATOR ANAERÓBIO HORIZONTAL DE LEITO FIXO (RAHLF), SUBMETIDO AO AUMENTO PROGRESSIVO NA CONCENTRAÇÃO DE MATÉRIA ORGÂNICA AFLUENTE E A CARGAS DE CHOQUE ORGÂNICAS.

c 117a

Ariuska Karla Amorim Cabral, Marcelo Zaiat, Eugenio Foresti

Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, Departamento de Hidráulica e Saneamento. Av. Trabalhador São-carlense, 400, CEP 13566-590, São Carlos, SP.

**RESUMO** - O presente trabalho teve como objetivo a avaliação do desempenho e estabilidade de um reator anaeróbio, submetido à variações de concentração afluente e cargas de choque orgânicas. Foi utilizado um reator com 100 cm de comprimento, 5,00 cm de diâmetro e 1995 ml de volume útil, tendo sido o leito preenchido com lodo anaeróbio imobilizado em matrizes de espuma de poliuretano. O sistema foi alimentado com afluente sintético, tendo como principais fontes de carbono metanol e ácidos voláteis. Foi aplicado tempo de detenção hidráulica de 7 horas. O reator foi operado com cargas orgânicas crescentes de 6,8 a 18,8 kgDQO.m<sup>-3</sup>.d<sup>-1</sup>. Após ser atingido o estado estacionário, foram aplicadas cargas de choque orgânicas variando de 17 a 47 kgDQO.m<sup>-3</sup>.d<sup>-1</sup> durante período de 7 horas. Comparando-se as operações do sistema com diferentes cargas orgânicas, observou-se período de partida do reator de aproximadamente 15 dias, durante a operação inicial. Para as demais cargas aplicadas, os valores dos parâmetros de monitoramento apresentaram-se estáveis logo após as mudanças nas concentrações afluentes. Não tendo sido verificada, dessa forma, inibição do sistema. Após aplicação das cargas de choque orgânicas, o sistema foi inicialmente afetado, através da elevação nos valores de DQO efluente e ácidos voláteis bem como diminuição na porcentagem de metano no biogás. Para todos os experimentos realizados o sistema recuperou a estabilidade operacional aproximadamente 15 horas após a aplicação da carga de choque.

## INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de reatores anaeróbios com biomassa aderida propiciou avanço significativo no tratamento anaeróbio de águas residuárias. Tais bioreatores apresentam diversas vantagens quando comparados com reatores convencionais, sendo obtidas elevadas eficiências de remoção de matéria orgânica quando se trabalha com altas taxas de carregamento, maiores tempos de detenção celular e melhor aproveitamento do volume útil reacional. Reatores anaeróbios com microrganismos imobilizados apresentam, também, melhores respostas quando submetidos a cargas de choque ou substâncias tóxicas, ocorrendo, em muitos casos, recuperação total do sistema (Laquidara et. al., 1986; Caine et. al., 1991).

O projeto e mudança de escala de reatores anaeróbios requerem o conhecimento

das relações entre a eficiência do processo e os parâmetros físicos e bioquímicos. O estabelecimento da taxa de carregamento orgânica, bem como da tolerância do sistema a flutuações nas características da água residuária a ser tratada, são condições importantes para a operação e controle do processo.

A aplicação de reatores anaeróbios no tratamento de águas residuárias industriais requer, devido às variações temporais das características dessas águas, o conhecimento da estabilidade do sistema, quando submetido a cargas de choque, com o objetivo de se obterem unidades mais eficientes e operacionalmente seguras. Tem-se observado que muitos destes reatores não atingiram o limite de sua capacidade em relação às cargas orgânicas aplicadas, fato este que é de fundamental importância para sua otimização, bem como para a análise do desempenho e estabilidade dos reatores.

1137787

130401

SYSNO	1137787
PROD	0001147
ACERVO EESC	

Este trabalho teve como objetivo a avaliação de desempenho e estabilidade de um Reator Anaeróbio Horizontal de Leito Fixo (RAHLF) contendo matrizes porosas de espuma de poliuretano para imobilização do lodo anaeróbio, submetido a variações de concentrações afluentes e a cargas de choque orgânicas, operando com afluente sintético.

## MATERIAIS E MÉTODOS

O Reator Anaeróbio Horizontal de Leito Fixo (RAHLF) foi construído em vidro boro-silicato com 100 cm de comprimento e 5 cm de diâmetro, perfazendo uma relação comprimento diâmetro (L/D) de aproximadamente 20. Ao longo do comprimento e na parte superior do mesmo, foram instalados pontos para a coleta do gás gerado durante o processo. O esquema das instalações experimentais é apresentado na Figura 1. O reator possui volume útil ( $V_u$ ) de 1995 ml (volume realmente ocupado pelas biopartículas) e volume de escoamento ( $V_{es}$ ) de 798 ml.

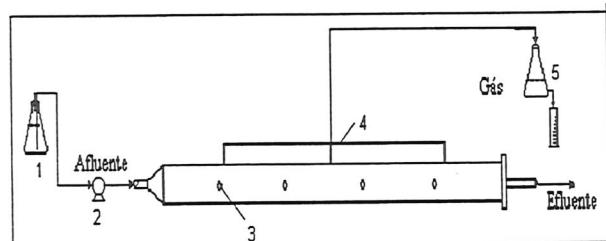


Figura 1: Esquema de Reator Anaeróbio Horizontal de Leito Fixo (RAHLF) em escala de bancada, com sistema de coleta de gás modificado. (1) Reservatório de substrato, (2) Bomba peristáltica, (3) Amostradores, (4) sistema de coleta de gás, (5) medidor de produção de gás.

Foi utilizado, como inóculo, lodo anaeróbio proveniente de reator de manta de lodo e escoamento ascendente (UASB) tratando efluente de indústria de papel reciclado, imobilizado em espumas de poliuretano.

O sistema foi alimentado com substrato sintético tendo, como principais fontes de carbono, metanol e ácidos voláteis (Del Nery, 1992).

Durante as operações em estado estacionário, foram realizadas análises de concentração de matéria orgânica (DQO) afluente e efluente (bruta e filtrada), ácidos voláteis totais, alcalinidade, pH e cromatografia gasosa, três vezes por semana. Foram, também, realizadas análises de Sólidos Totais (ST), Sólidos Voláteis (SV), Sólidos Suspensos Totais (SST) e Sólidos Suspensos Voláteis (SSV).

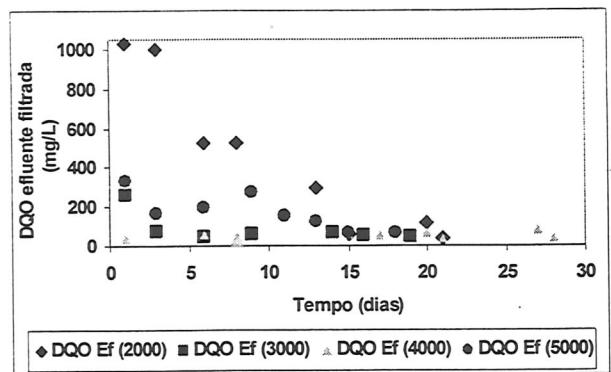
Após ter sido atingido estado estacionário, foram aplicadas cargas de choque orgânicas, através do aumento correspondente a três vezes o valor da DQO afluente, durante período de 7 horas.

Para os experimentos com aplicação de cargas de choque orgânicas, foram realizadas análises horárias de DQO efluente (bruta e filtrada), pH, alcalinidade, ácidos voláteis totais e composição do biogás (Borja et. al., 1995). Tais parâmetros foram monitorados durante período equivalente a três vezes o tempo de detenção hidráulica aplicado ao sistema, com o objetivo de obter-se toda a resposta do reator à perturbação, de acordo com estudos hidrodinâmicos com traçadores realizados previamente no reator (Cabral, 1995).

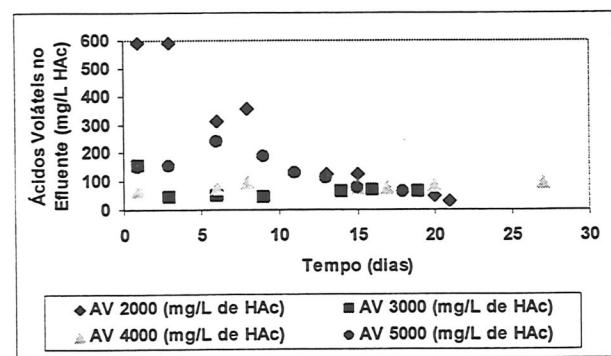
## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nos experimentos realizados utilizando-se substrato sintético tendo metanol e ácidos voláteis como principais fontes de carbono, foram testadas quatro concentrações diferentes de matéria orgânica afluente (2000, 3000, 4000 e 5000 mg.L<sup>-1</sup>), medidas como DQO, e as respectivas sobrecargas orgânicas.

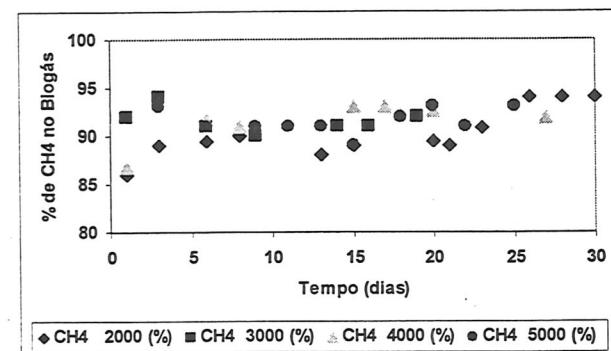
Na Figura 2, apresentam-se os valores obtidos, durante a operação do sistema anterior à aplicação das sobrecargas orgânicas, de DQO efluente filtrada, ácidos voláteis no efluente e porcentagem de CH<sub>4</sub> no biogás para as quatro concentrações aplicadas.



(a)



(b)



(c)

Figura 2: Gráfico comparativo dos valores obtidos de DQO efluente (a), ácidos voláteis no efluente (b) e porcentagem de CH<sub>4</sub> no biogás (c), durante operações com diferentes concentrações afluentes.

Os valores apresentados na legenda da Figura 2, são referentes às concentrações de DQO aplicadas ao reator.

Os valores de DQO efluente filtrada, ácidos voláteis no efluente e porcentagem de CH<sub>4</sub> no biogás indicam que, para a concentração afluente de aproximadamente

2000 mg.L<sup>-1</sup>, foi observado período de partida do reator até o 15º dia de operação.

Para as demais concentrações de matéria orgânica afluente aplicadas, não foram observados períodos de partida. Imediatamente após a mudança nos valores da concentração afluente, já eram observadas elevadas taxas de remoção de DQO e baixas concentrações de ácidos voláteis no efluente. Os parâmetros avaliados apresentaram, durante todo o período de monitoramento, estabilidade nos seus valores.

O conteúdo de CH<sub>4</sub> no biogás manteve-se na faixa entre 86 e 95%, indicando estabilidade operacional e da atividade metanogênica.

A operação com concentração afluente de 5000 mg.L<sup>-1</sup> apresentou resultados relativamente melhores do que os observados para as demais concentrações aplicadas. Os valores medidos de DQO filtrada e ácidos voláteis efluentes, após ser observado estado estacionário, estavam abaixo de 100 mg.L<sup>-1</sup>, indicando, provavelmente, que o lodo estava completamente adaptado às condições experimentais.

Para cada valor de DQO afluente utilizado, após ser verificado estado estacionário, caracterizado por estabilidade nos valores dos parâmetros medidos, foram aplicadas cargas de choque orgânicas, através do aumento na concentração de matéria orgânica afluente (DQO).

Na Tabela 1 estão listados os valores de carga orgânica inicial (CO<sub>i</sub>), anterior à aplicação da sobrecarga orgânica, e carga de choque orgânica (CO<sub>c</sub>), para os experimentos com substrato contendo ácidos voláteis e metanol.

Tabela 1- Valores das cargas orgânicas aplicadas ao sistema

So	Sc	CO <sub>i</sub> <sup>1</sup>	CO <sub>i</sub> <sup>2</sup>	CO <sub>c</sub> <sup>1</sup>	CO <sub>c</sub> <sup>2</sup>
2000	5244	2,61	6,52	6,83	17,10
3000	8447	3,91	9,40	11,0	27,52
4000	12400	5,21	13,00	16,16	40,40
5000	14450	6,52	16,30	18,83	47,10

<sup>1</sup> - Cálculos baseados no volume total de 1995 mL

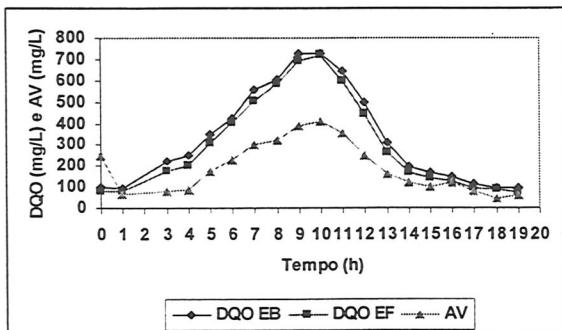
<sup>2</sup> - Cálculos baseados no volume de escoamento de 798 mL

Onde:

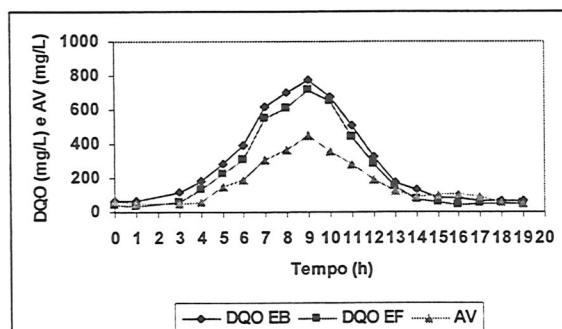
So - concentração de matéria orgânica inicial (mgDQO.L<sup>-1</sup>);  
Sc - sobrecarga orgânica (mgDQO.L<sup>-1</sup>);

$CO$  – carga orgânica volumétrica inicial, anterior à aplicação das cargas de choque ( $\text{KgDQO.m}^{-3}.\text{d}^{-1}$ );  
 $CO_c$  – carga de choque orgânica ( $\text{KgDQO.m}^{-3}.\text{d}^{-1}$ ).

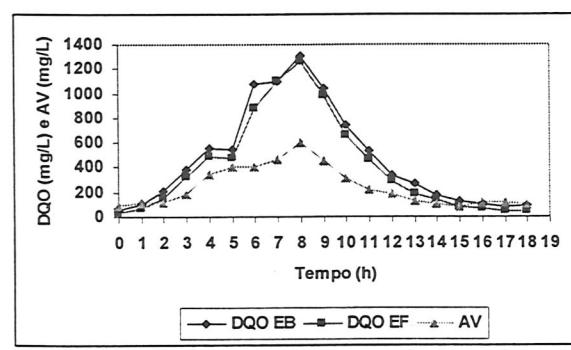
Os dados obtidos durante os experimentos com as cargas de choque são apresentados na Figura 3.



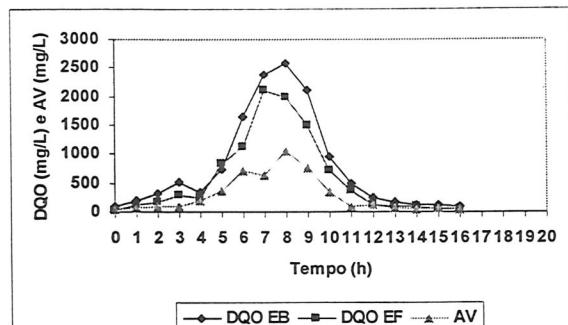
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 3: Resposta do sistema à aplicação da carga de choque. Valores obtidos de DQO (bruta e filtrada) e ácidos voláteis no efluente.

(a) DQO afluente igual a  $2000 \text{ mg.L}^{-1}$ , (b) DQO afluente igual a  $3000 \text{ mg.L}^{-1}$ , (c) DQO afluente igual a  $4000 \text{ mg.L}^{-1}$ , (d) DQO afluente igual a  $5000 \text{ mg.L}^{-1}$

A forma dos gráficos de DQO (bruta e filtrada) e de ácidos voláteis no efluente para todos os experimentos realizados foi bastante semelhante, indicando que o efeito da aplicação das cargas de choque foi o mesmo para todas as concentrações utilizadas. Pode-se verificar que, em todos os casos, ocorreu aumento rápido (após aproximadamente 3 h do início da sobrecarga) nos valores destes parâmetros até aproximadamente 10 h do início da carga de choque. Transcorrido esse tempo, verificou-se diminuição da concentração da DQO bruta e filtrada, bem como dos valores de ácidos voláteis no efluente. Para o experimento 1 (Figura 3a), os pontos obtidos após 14h do início do experimento com a carga de choque indicam que, apesar de o sistema ter sido inicialmente afetado por essa perturbação, houve completa recuperação do mesmo. Nos experimentos 2, 3 e 4 (Figura 3b, c e d), essa recuperação ocorreu após 17, 15 e 12 horas, respectivamente.

A forma das curvas obtidas nos gráficos de DQO e ácidos voláteis indica também, desvios da idealidade do escoamento da fase líquida no reator, pois após, em média, 3 horas do início da aplicação da carga de choque orgânica, já começou a ocorrer aumento na concentração de DQO efluente. Esse aumento era esperado ocorrer após 7

horas do início da aplicação da carga de choque, caso o reator não apresentasse desvios da idealidade. A carga de choque foi aplicada durante um período de 7 horas e, após 3 horas da suspensão da aplicação da carga (10 horas após o início do experimento), foi detectado o maior valor de DQO efluente, correspondente a, aproximadamente, 11% do valor da DQO afluente aplicada durante a carga de choque.

No caso de reatores com escoamento ideal, ou seja, se não houvesse desvio da idealidade, as dispersões observadas nos gráficos da Figura 3 seriam menos acentuadas. Nessas condições, a DQO efluente deveria ter permanecido estável até aproximadamente 7 horas do início do experimento, quando ocorreria aumento nesses valores, relativos ao efeito real da carga de choque orgânica. Os gráficos da Figura 3 indicam, ainda, que o reator recuperou-se rapidamente da aplicação da carga de choque e respondeu, de forma satisfatória, à utilização de substrato tendo metanol e ácidos voláteis como principais fontes de carbono.

A partir da integração das curvas de entrada e saída de DQO em função do tempo, durante os experimentos com aplicação de carga de choque, calcularam-se os valores das massas afluentes e efluentes no sistema. A massa removida foi calculada através da diferença entre estes dois valores (Tabela 2).

Tabela 2 – Valores calculados para as massas afluente, efluente e removida, durante os experimentos com sobrecarga.

Experimento	Sc	M <sub>A</sub>	M <sub>E</sub>	M <sub>R</sub>	W
1	5244	6,71	0,61	6,10	0,18
2	8447	8,41	0,46	7,95	0,31
3	12400	13,02	0,81	12,21	0,41
4	14450	15,51	1,05	14,46	0,48

Onde:

Sc – sobrecarga orgânica, medida como DQO ( $\text{mgDQO.L}^{-1}$ );

M<sub>A</sub> – massa afluente ao sistema (g);

M<sub>E</sub> – massa efluente ao sistema (g);

M<sub>R</sub> – massa removida do sistema (g);

W – massa removida do sistema por unidade de tempo por unidade de volume ( $\text{g.L}^{-1}.\text{h}^{-1}$ )

No gráfico da Figura 4 são apresentados os valores da massa removida

por unidade de tempo por unidade de volume (W) em função da sobrecarga (Sc).

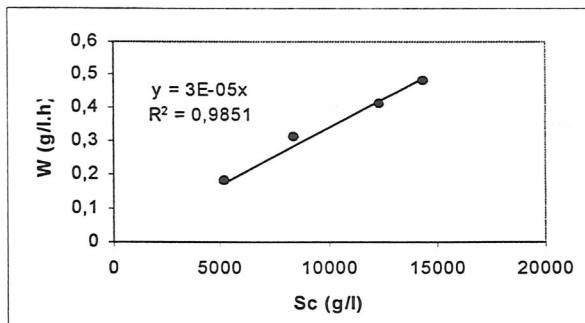


Figura 4 – Valores da massa removida por unidade de tempo por unidade de volume (W) em função da sobrecarga (Sc).

A adição da linha de tendência ao gráfico da Figura 4, resultou em relação linear entre os dados analisados na faixa de valores de sobrecarga estudadas. Dentro dessa faixa de valores, o aumento no valor da carga orgânica resultou em consequente elevação no valor da massa removida, indicando que o reator não alcançou sua capacidade máxima de remoção para o substrato utilizado. Caso esse fato tivesse ocorrido, provavelmente, o valor da massa removida se tornaria independente da sobrecarga aplicada.

As diferenças nos valores de W para os experimentos 1 e 2; 2 e 3, foram 0,13 e 0,10, respectivamente, praticamente constantes entre si. Entretanto, quando comparou-se os valores de W para os experimentos 3 e 4, obteve-se diferença de 0,07, menor do que os valores observados anteriormente. Essa diminuição na diferença entre os valores da massa removida (W) indica tendência a um valor limite superior de capacidade de assimilação do reator. Esperava-se que a tendência assintótica a um valor limite superior pudesse ser claramente estabelecida a partir dos resultados obtidos, tendo em vista a magnitude das cargas de choque aplicadas em valores absolutos. No entanto, a cada aumento da carga de choque, ocorreu aumento proporcional na capacidade de assimilação, ao contrário, do que se poderia esperar. Embora seja do maior interesse o estabelecimento da capacidade limite de assimilação de cargas de choque do reator, a extrapolação para valores acima dos

obtidos experimentalmente pode levar a erros graves, pois o reator não apresentou a resposta típica que se poderia esperar. É provável que a resposta obtida seja decorrente do método utilizado para aplicação da carga de choque que permitiu a adaptação prévia do reator a valores elevados de DQO.

## CONCLUSÕES

Os resultados obtidos em experimentos em reator anaeróbio de leito fixo submetido a aumento progressivo da carga orgânica e a cargas de choque permitiram concluir que:

- não ocorreu inibição do processo decorrente dos aumentos nas concentrações de matéria orgânica afluentes (DQO);
- foi observado curto período de partida do reator, 15 dias, fato esse que está de acordo com trabalhos anteriormente realizados com a mesma configuração de reator (Zaiat et al., 1997);
- o sistema, apesar de ter sido inicialmente afetado pelas cargas de choque aplicadas, recuperou a eficiência operacional após, em média, 15 horas. Tendo sido aplicada carga máxima equivalente a  $47 \text{ KgDQO.m}^{-3}.\text{d}^{-1}$ ;
- foi determinada relação proporcional entre as cargas de choque aplicadas e a capacidade de assimilação do reator.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- APHA; AWWA; WPCF (1985) *Standart Methodss for Examination of Water and Wastewater*. 16<sup>th</sup> edition. American Public Health Association, Washington.
- Borja, R.; Banks, C. J.; Martín, A. (1995) Influence of the Organic Volumetric Loading Rate on Soluble Chemical Oxygen Demand Removal in a Downflow Fixed-Bed Reactor Treating Abattoir Wastewater, *J. Chem. Tech. Biotechnol.*, 64: 361-366
- Cabral, A. K. Caracterização Hidrodinâmica de um Reator Anaeróbio Horizontal de Leito Fixo. São Carlos, SP. Dissertação – Escola de Engenharia de São Carlos (EESC) / Universidade de São Paulo (USP).

Caine, M. E. ; Anderson, G. K. and Donnelly, T. (1991), A study into the effect of a series of Shocks on a Pilot-scale Anaerobic Filter, in: *Proceedings of the 45th Industrial Waste Conference*. Purdue University, 451-461.

Del Nery, V. (1992), *Digestão Anaeróbia em Duas Fases com Culturas Mistas Acidogênicas e Metanogênicas Imobilizadas separadamente em Gel Ágar*. São Carlos, SP. Tese - Escola de Engenharia de São Carlos (EESC), Universidade de São Paulo (USP), São Carlos, SP.

Laquidara, M. J.; Blanc, F. C.; O'Shauchnessy, J. C. (1986) Development of Biofilm, operating Characteristics and Operational Control in the Anaerobic Rotating Biological Contactor Process, *Journal WPCF*, 58: 107-114.

Zaiat, M.; Vieira, L.G.T.; Cabral, A.K.A.; de Nardi, I.R.; Vela, F.J.; Foresti, E. (1997) Rational basis for designing horizontal-flow anaerobic immobilized sludge (HAIS) reactor for wastewater treatment. *Brazilian Journal of Chemical Engineering* , v.14 , n.1 , p.01 a 08.

## AGRADECIMENTOS

À FAPESP pela concessão da bolsa e suporte financeiro para realização deste trabalho.