

DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS DO MODELO CINÉTICO DE FILTRO BIOLÓGICO PARA EFLUENTE DE LATICÍNIOS

DETERMINATION OF KINETIC PARAMETERS OF THE MODEL OF A BIOLOGICAL FILTER FOR EFFLUENT FROM DAIRY

Cleomar Reginatto¹, Tiago Tondello² & Vandr  B. Bri o³ Marcelo Hemkemeier⁴

¹Acad mico do curso de Engenharia Ambiental e Bolsista Bic/Fapergs; Laboratório de Geotecnia e Saneamento Ambiental; Universidade de Passo Fundo – UPF. E-mail: cleomarreginato@hotmail.com

²Acad mico do curso de engenharia ambiental e bolsista Pibic/UPF , Universidade de Passo Fundo – UPF. E-mail: tiagoton@gmail.com.br

³Engenheiro de Alimentos, Dr. e Professor do Curso de Engenharia Ambiental da UPF; Universidade de Passo Fundo – UPF. E-mail: vandre@upf.br

⁴Engenheiro Químico, Dr e professor do curso de Engenharia Ambiental da UPF, Universidade de Passo Fundo – UPF. E-mail: marceloh@upf.br

RESUMO

O problema das indústrias de laticínios é atender aos parâmetros físico-químicos estabelecidos pelos órgãos ambientais. Isso tem levado à procura de soluções técnicas adequadas com baixo custo. Vários processos têm sido utilizados para o tratamento deste tipo de efluente; para pequenas indústrias, o tratamento ideal seria aquele que utilizasse pouco espaço físico, fácil operação e baixo custo. Nesse contexto, o filtro biológico entra como uma boa opção para o tratamento dos efluentes. O objetivo foi calcular os parâmetros do modelo cinético para o projeto de filtro biológico para efluentes de laticínios e analisar a eficiência do tratamento. O modelo utilizado foi o descrito por Ramalho (1993), para filtro biológico sem reciclo. Utilizou-se um reator em escala de bancada. O efluente foi preparado de forma sint tica. Os parâmetros calculados para o modelo cinético foram 0,6405 para ‘n’ e -0,6686 para ‘k’. Esses parâmetros servirão para o projeto de filtros biológicos em escala industrial. O tratamento biológico, com apenas uma passagem do efluente pela biomassa, apresentou uma boa eficiência, principalmente para a matéria orgânica, chegando a 56 % de remoção para a menor taxa de aplicação hidráulica. Para o nitrogênio obteve-se uma eficiência média de 36,5 % e de 36,46 % para o fósforo.

Palavras-chave: Contaminação ambiental. Cinética. Processo biológico. Leite.

ABSTRACT

The problem of the dairy industry and to meet the physical and chemical parameters established by environmental agencies. Several methods have been used to treat this type of effluent, to small industries the ideal treatment would be one that uses little space, easy operation and low cost. In this context the biological filter comes as a good option for the treatment of effluents. The objective was to calculate the kinetic parameters of the model for the design of a biological filter for dairy effluent and analyze the efficiency of treatment. The model used was described by Ramalho (1993), for biological filter without recycle. We used a reactor at bench scale. The effluent was prepared in summary form. The calculated parameters for the kinetic model were 0.6405 for 'n' and -0.6686 for 'k'. These parameters will be used for the design of biological filters in an industrial scale. Biological treatment, with just a passing the effluent from the biomass, showed a good efficiency, especially for organic matter, reaching 56% removal for the lower rate of hydraulic application. For nitrogen we obtained an average efficiency of 36.5 % and 36.46 % for the match.

Keywords: Environmental contamination. Kinetics. Biological process. Milk.

1 INTRODUÇÃO

A problemática dos efluentes gerados pelas indústrias tem sido alvo de questionamentos, no que diz respeito à poluição e aos impactos ambientais causados pelo incorreto tratamento e disposição final.

As agroindústrias no Rio Grande do Sul representam uma grande fonte de poluição ambiental. Segundo dados da Fundação Estadual de Proteção Ambiental (Fepam), 42% da demanda bioquímica de oxigênio (DBO) lançada nos corpos receptores deve-se aos efluentes do setor agroindustrial. Ainda segundo os mesmos dados, a indústria alimentícia apresenta a maior carga bruta de DBO₅ e maior carga lançada.

A preocupação com as pequenas indústrias é devida a grandes dificuldades técnicas e econômicas que essas apresentam para atender a todos os padrões físico-químicos no lançamento dos efluentes estabelecidos pela legislação federal (resolução 357/05 Conama) e estadual (resolução 128/07 Consema).

Nesse contexto, pequenas indústrias de laticínios, em razão das características da matéria-prima, originam grandes volumes de efluentes em relação ao volume de leite processado, em virtude da rigorosa necessidade de higiene e assepsia de instalações e equipamentos. Assim, unindo o alto teor de matéria orgânica com o grande volume de efluente, trata-se de uma atividade com elevado potencial poluidor. Aliado a isso, observa-se uma enorme difusão dessas indústrias tanto no meio urbano como no rural, dificultando a fiscalização por parte dos órgãos ambientais e a correta informação sobre o tratamento e destinação final dos efluentes. (COLERAUS; BRIÃO, 2003).

Vários sistemas de tratamento usualmente utilizados, como as lagoas de estabilização e o lodo ativado, não se adaptam às necessidades das pequenas indústrias, o que se deve ao espaço físico necessário para construção das lagoas e ao grande custo operacional dos lodos ativados.

Filtros biológicos se apresentam como uma boa alternativa para o tratamento de efluentes de laticínios em pequenas agroindústrias, pois apresentam um baixo custo operacional; necessitam de um pequeno espaço físico, baixo custo com energia elétrica, demonstrando um bom grau de eficiência na remoção do contaminante, como citado por Braile e Cavalcanti (1995). Poester e Leitão (1989) relatam que os filtros biológicos possuem uma remoção de DBO ao redor de 55 a 85%. Possuem ainda bom grau de nitrificação se utilizadas baixas taxas de aplicação, podendo, assim, apresentar bons resultados em efluentes com contaminação de origem orgânica. (GOLZ, 1998).

Cada efluente industrial, entretanto, possui características específicas, existindo a necessidade de se estudarem os parâmetros do modelo cinético para se projetar corretamente o equipamento para um determinado efluente. O objetivo do trabalho foi determinar os parâmetros do modelo cinético de um filtro biológico para efluentes de laticínios.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Filtro biológico

O reator biológico possuía um suporte de ferro, sendo constituído de cinco seções de tubos de pvc 20 cm de diâmetro e 30 cm de altura, tendo recheio de pedra britada número 3. A Figura 1 demonstra o esquema de funcionamento do filtro biológico em escala de bancada utilizado, e a Figura 2, uma imagem do equipamento.

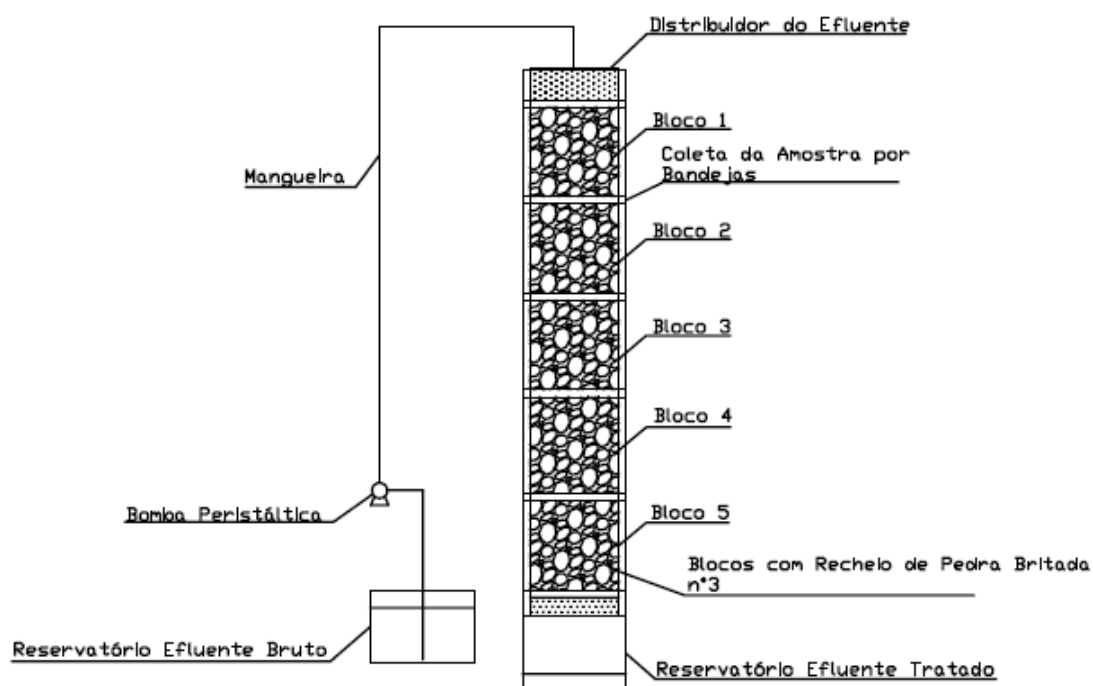


Figura 1. Diagrama esquemático do filtro biológico



Figura 2. Filtro biológico em escala de bancada

A água residual foi alimentada no reservatório na parte inferior do filtro, sendo impulsionada por uma bomba peristáltica, distribuindo o fluxo de alimentação por um tubo flexível na parte superior do filtro, conforme demonstrado na Figura 1.

O *start up* do filtro foi realizado de modo a aclimatar a biomassa ao efluente. Deixou-se recircular o efluente por 24 h através do filtro, durante trinta dias, adicionando-se o efluente sintético diariamente, verificando-se a concentração de DQO ao longo do reator, até atingir o estado estacionário.

2.2. Efluente

O efluente foi preparado em laboratório de forma sintética, diluindo-se diferentes concentrações de leite fluido pasteurizado em água, com concentração inicial de 0,5 % (50 mL de leite em 10L de água potável). Cada concentração de leite apresentava diferentes cargas orgânicas alimentadas ao reator.

2.3. Análises físico-químicas

Em cada módulo individual do filtro foi coletada uma alíquota e analisada a demanda química de oxigênio (DQO) pelo método colorimétrico da APHA (2000), para determinação dos parâmetros do modelo cinético. Foram analisados também os parâmetros de nitrogênio Kjeldahl e fósforo total, operando-se o filtro sem reciclo. Fósforo total foi analisado pelo método colorimétrico do ácido ascórbico e nitrogênio, pelo método da digestão seguida de destilação, sendo a quantificação do conteúdo de nitrogênio por titulometria, ambos seguindo procedimentos propostos pela APHA (2000).

2.4. Obtenção dos parâmetros “n” e “k” do modelo cinético

A determinação dos parâmetros do modelo cinético foi baseada no procedimento apresentado por Ramalho (1993), para filtro biológico sem recirculação. Considerou-se um filtro biológico tubular, onde a redução de DQO segue uma cinética de primeira ordem. A partir disso chegou-se à Equação 1, que relaciona concentração de DQO inicial e final (S_e e S_o), profundidade do filtro (D), taxa hidráulica aplicada (L) e os parâmetros ‘k’ e ‘n’.

$$\frac{S_e}{S_o} = e^{-kD/L^n} \quad (1)$$

Selecionaram-se quatro taxas hidráulicas (50 mL/min, 80 mL/min, 160 mL/min e 240 mL/min), e para cada uma eram retiradas amostras do efluente bruto e do tratado nas cinco seções do reator (0,3 m; 0,6 m; 0,9 m; 1,2 m e 1,5 m).

Com esses dados a Equação 1 foi linearizada, construindo-se o gráfico da percentagem de DQO remanescente $[(S_e/S_o) \times 100]$ versus profundidade do reator D para cada valor de taxa hidráulica L, obtendo assim a Equação 2.

$$\ln\left(\frac{S_e}{S_o}\right) = \frac{-K \cdot D}{L^n} = -\left(\frac{K}{L^n}\right) \cdot D \quad (2)$$

A partir disso, uma sequência de equações lineares foi obtida. Os valores absolutos das inclinações correspondem a K/L^n .

Para cada taxa hidráulica L foi construído o gráfico dos valores absolutos das inclinações obtidos no primeiro passo versus L.

$$|\text{inclinação}| = \frac{K}{L^n} \quad (3)$$

A Equação 3 foi novamente linearizada, chegando-se à Equação 4:

$$\log|\text{inclinação}| = \log K - n \cdot \log L \quad (4)$$

Na Equação 4 se obtém uma linha reta, cujo coeficiente angular é “n” e o coeficiente linear é “k”.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Tabela 1 demonstra a DQO remanescente em relação às quatro cargas hidráulicas (80 mL/min L= 1, 160 mL/min L= 2, 240 mL/min L= 3 e 320 mL/min L= 4) e à profundidade.

Tabela 1. Percentagem de DQO remanescente em função das diferentes cargas hidráulicas aplicadas e em função da altura de recheio.

Prof. D (m)	(S _e /S ₀) %			
	0,0955m³/m².s	0,0025m³/m².s	0,0051m³/m².s	0,0076m³/m².s
0	100,00	100,00	100,00	100,00
0,3	89,78	88,39	91,97	97,39
0,6	64,37	82,47	88,22	91,66
0,9	60,26	73,33	82,60	90,61
1,2	54,87	71,77	75,37	86,26
1,5	43,95	63,61	74,84	77,06

Com relação à tabela acima, quanto maior a carga hidráulica aplicada, maior a DQO remanescente, pelo fato do menor contato entre o efluente e a biomassa.

A partir da Tabela 1 foi construído o gráfico de DQO remanescente em função da profundidade. A Figura 3 apresenta a DQO remanescente com a profundidade do reator para cada taxa hidráulica utilizada, mostrando as respectivas equações da reta para cada uma dessas condições.

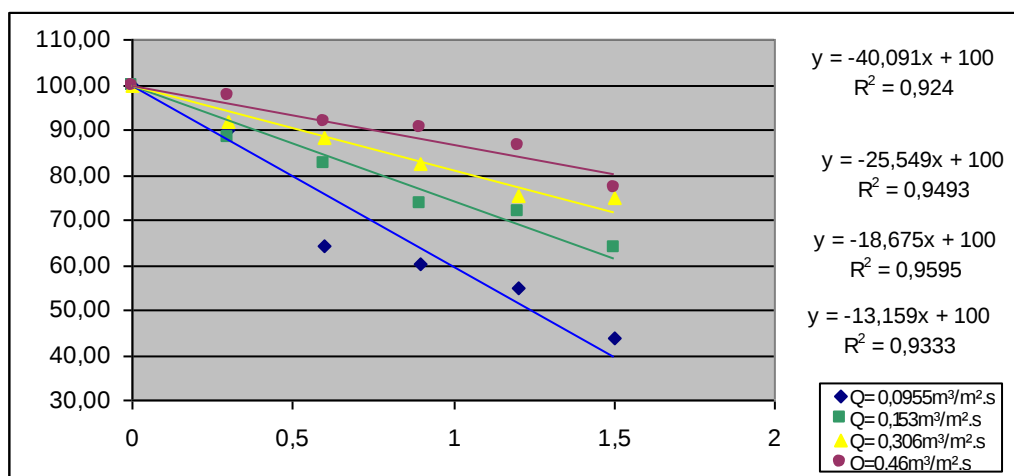


Figura 3. Linearização dos dados DQO/D

O comportamento observado na Figura 3 indica que a aplicação de maiores cargas hidráulicas levou a maiores inclinações das retas obtidas, resultado direto das menores eficiências. A tendência de redução da eficiência de remoção de DQO com o aumento da carga hidráulica aplicada deve-se ao menor tempo de contato entre o efluente e a biomassa, aderida no recheio do filtro. Por outro lado, a utilização de maiores taxas hidráulicas leva a biomassa a permanecer úmida, mantendo os microrganismos ativos e com tendência à remoção da matéria orgânica. Contudo, somente em processos com recirculação obtém-se essa condição.

A Tabela 2 apresenta o logaritmo dos dados usados para regressão linear da Equação 4. Nota-se na tabela que, com a aplicação de maiores cargas hidráulicas, tem-se a diminuição nos coeficientes lineares, mostrando menor inclinação das retas.

Tabela 2. Valores logaritmos da taxa de aplicação hidráulica (L) e do coeficiente linear (a), em função da vazão utilizada.

$Q (m^3/min)$	$L (m^3/m^2.min)$	A	$\log L$	$\log a$
0,00005	0,00159	40,202	-2,7980	1,6042
0,00008	0,00255	25,261	-2,5938	1,4025
0,00016	0,00510	18,675	-2,2928	1,2713
0,00024	0,00764	13,861	-2,1167	1,1418

A partir da Tabela 2 fez-se a segunda regressão, entre a taxa de aplicação hidráulica e o coeficiente angular das retas (Figura 3), obtendo-se os parâmetros “n” e “k”, conforme demonstra a Figura 4. O coeficiente angular da reta é “n” e o coeficiente linear é “k”.

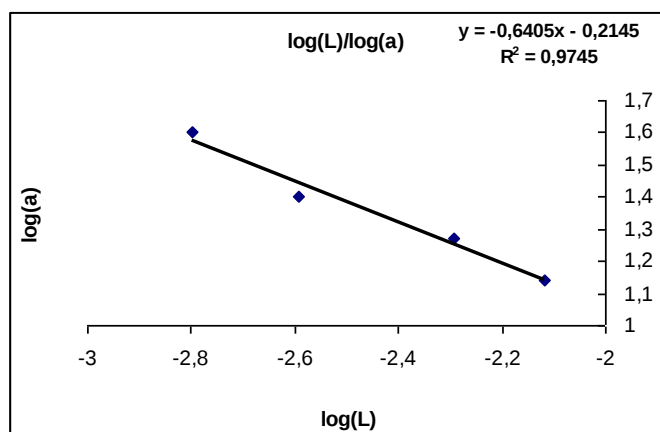


Figura 4. Regressão linear “Log (L) versus Log (a)” para a obtenção dos parâmetros cinéticos do filtro “n” e “k”

Da Figura 4 tem-se que a equação da reta, apresentada na Equação 5:

$$y = -0,6405 * x - 0,2145 \quad (5)$$

Igualando as equações 5 e 4:

$$-0,6405 = -n \rightarrow n = 0,6405 \quad (6)$$

$$-0,2145 = \log(-k) \rightarrow k = -0,6686 \quad (7)$$

Os parâmetros obtidos para o modelo cinético foram 0,6405 para 'n' e -0,6686 para 'k'. Esses parâmetros servirão para o projeto de filtros biológicos em escala industrial.

O modelo matemático para previsão da remoção de DQO no filtro biológico com recheio de brita para efluente de laticínios ficaria conforme a Equação 6:

$$\frac{S_e}{S_o} = e^{\frac{-0,6686 \times D}{L^{0,6405}}} \quad (8)$$

As eficiências de remoção da matéria orgânica, nitrogênio Kjeldahl e fósforo em função de cada uma das taxas hidráulicas utilizadas estão apresentadas nas Tabelas 3, 4 e 5, respectivamente.

Tabela 3. Eficiência do filtro biológico em termos da DQO para cada taxa hidráulica aplicada.

T.H (m³/m².h)	DQOi (mg/L)	DQOf (mg/L)	Eficiência(%)
0,10	1.471,3	646,6	56,1
0,16	1.485,2	944,8	36,4
0,31	856,2	660,5	25,2
0,46	893,5	688,5	22,9

Tabela 4. Eficiência do filtro biológico na remoção de nitrogênio.

T.H (m³/m².h)	N i (mg/l)	N f (mg/l)	Eficiência (%)
0,10	16,8	12,3	26,7
0,15	16,8	8,4	50,0
0,31	13,4	9,0	33,3
0,46	12,1	7,7	36,1

Tabela 5: Eficiência do filtro biológico na remoção de fósforo.

T.H (m³/m².s)	P i (mg/l)	P f (mg/l)	Eficiência (%)
0,10	12,4	8,1	34,3
0,15	12,4	7,6	38,7
0,31	14,4	8,1	43,7
0,46	17,5	12,4	29,3

A eficiência de remoção de N oscilou em uma faixa de 26% a 50%, enquanto a remoção de P oscilou entre 29% e 43%, não havendo uma tendência relacionando a taxa hidráulica com estas remoções. Esses valores são baixos para os processos biológicos, o que justifica os filtros biológicos com recirculação, aumentando o número de passagens do efluente através do equipamento e, com isso, obtendo-se eficiências acima de 90% para DQO. Segundo Metcalf e Eddy (2003), a massa celular pode ser representada pela fórmula química $C_{60}H_{87}O_{23}N_{12}P_1$, indicando uma maior necessidade do consumo de carbono (representado pela DQO) do que dos nutrientes nitrogênio e fósforo.

A legislação federal (resolução 357/05 – Conama) não estabelece limites de controle para o lançamento de efluentes no que tange aos parâmetros nitrogênio Kjeldahl e fósforo. Contudo, no Estado do Rio Grande do Sul a resolução 128/06 do Conselho Estadual do Meio Ambiente estabelece que a concentração de nitrogênio Kjeldahl não deve ser superior a 20 mg.L^{-1} (ou eficiência de remoção de 75%) e a de fósforo, não superior a 4 mg.L^{-1} , para vazões menores que $100 \text{ m}^3.\text{d}^{-1}$. Da Tabela 5 todas as concentrações de fósforo no efluente tratado foram superiores à legislação. Contudo, utilizou-se um filtro biológico sem recirculação, mostrando que a manutenção do efluente em contato com a biomassa poderia levar a melhores resultados, conforme Coleraus (2004), que utilizou um filtro biológico de bancada com altura de 2 m e recheio de esferas de isopor, em que o efluente permanecia por circulação por período de 24 h, sendo depois analisado. Esse obteve eficiência média de remoção para o nitrogênio de 78% e 58% para o fósforo.

4 CONCLUSÃO

Os parâmetros calculados para o modelo cinético foram 0,6405 para 'n' e -0,6686 para 'k'. Esses parâmetros servirão para o projeto de filtros biológicos em escala industrial.

O tratamento biológico com apenas uma passagem do efluente pela biomassa apresentou uma boa eficiência, principalmente para a matéria orgânica, chegando a 56 % de remoção para a menor vazão. Para o nitrogênio, obteve-se uma eficiência média de 36,5% e de 36,4% para o fósforo.

REFERÊNCIAS

- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 20. ed. Washington: APHA, 2000.
- BRAILE, P.M.; CAVALCANTI, J.E.W.A. *Manual de tratamento de águas residuárias*. São Paulo: CETESB, 1993.
- COLERAUS, D.; BRIÃO, V. B. Filtro biológico para tratamento de efluentes de laticínio. *Vetor - Revista de Ciências Exatas e Engenharia*, v. 14, p. 109-124, 2004.
- FEPAM. Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luís Roessler. *Diagnóstico da poluição hídrica industrial na região hidrográfica do Guaíba*. Disponível em: <<http://www.fepam.rs.gov.br/biblioteca/diagruaiba.asp>> . Acesso em: 25 mar. 2008.
- GOLZ, J.W. *Biological treatment in recirculating aquaculture systems*. Disponível em: http://mysite.verizon.net/res6m3ph/sitebuildercontent/sitebuilderfiles/wjg_tchr.pdf . Acesso em: 26 mar.2008.
- LEKANG, O.; KLEPPE, H. Efficiency of nitrification in trickling filters using different filter media. *Aquacultural Engineering*, Amsterdam, v. 21, 181 - 199, 2000.
- METCALF; EDDY. *Wastewater engineering treatment, disposal and reuse*. 4th ed. Boston: McGraw-Hill, 1819 p. (McGraw-Hill series in civil and environmental engineering). c2003.
- TCHOBANOGLIOUS, G. et al. (Rev.) *Wastewater engineering: treatment and reuse*. 4th ed. Boston: McGraw-Hill, 2003. 1819 p.
- POESTER, J.L.; LEITÃO, M.R. *Apostila de tratamento de efluentes agroindustriais*. Porto Alegre: Senai, 1989. v. 1
- RAMALHO, R. S. *Tratamiento de aguas residuales*. Barcelona: Reverté, 1993. 705 p.

WARBURTON, D.J. et al. An anaerobic/aerobic treatment system for dairy shed wastewater. I. Design and overall system performance. *Journal of Agricultural Engineering Research*, Amsterdam, v. 26, n. 6, 517 -527, 1981.

RAJ, S.A.; MURTHY, D.V.S. Synthetic dairy wastewater treatment using cross flow medium trickling filter. *Journal of Environmental Science and Health*, Amsterdam, v. 34, n. 2, 357 - 369, 1999.