

# ANÁLISE DE SÉRIES TEMPORAIS NA OPERAÇÃO DE SISTEMA DE TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS DE ABATEDOURO DE FRANGO

## TIME SERIES ANALYSIS ON THE OPERATION OF A POULTRY SLAUGHTERHOUSE WASTEWATER TREATMENT PLANT

*IVANA RIBEIRO DE NARDI*

Doutora em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.  
Pesquisadora no Centro Universitário Central Paulista

*ALMIR ROGÉRIO DE LIMA*

Graduando em Administração de Empresas do Centro Universitário Central Paulista

*ARIUSKA KARLA BARBOSA AMORIM*

Doutora em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.  
Pesquisadora no Centro Universitário Central Paulista

*VALÉRIA DEL NERY*

Doutora em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.  
Consultora na área de tratamento de águas residuárias

Recebido: 04/10/04 Aceito: 19/10/05

### RESUMO

Esse trabalho apresenta a avaliação de dados de operação de sistema de tratamento de águas residuárias de abatedouro de frango, através da análise de séries temporais. O objetivo principal foi a obtenção de modelo de previsão capaz de antecipar o controle da operação do sistema de tratamento de águas residuárias do abatedouro, constituindo subsídio para obtenção de estratégias de gestão do sistema de tratamento existente. Registros de 42 meses de parâmetros de monitoramento foram utilizados na modelagem de séries temporais. O modelo de ajuste exponencial para previsão dos valores de demanda química de oxigênio do efluente industrial e do afluente dos reatores biológicos apresentou bom ajuste (erro percentual absoluto da média aritmética menor que 20%) com diferenças na capacidade de previsão menores que 15%.

**PALAVRAS-CHAVE:** Abatedouro de frango, ajuste exponencial, análise de séries temporais, médias móveis, tratamento de águas residuárias.

### ABSTRACT

*This paper presents the evaluation of the operating data of the poultry slaughterhouse wastewater treatment plant, by means of time series analysis. It aimed at obtaining a forecasting model able to have the operation of the slaughterhouse wastewater treatment system under control, what leads to subsidy for acquiring the management strategies of the wastewater treatment system. Records of 42 months of the monitoring parameters were used in the time series modeling. The exponentially weighted moving average model for obtaining chemical oxygen demand values of the industrial effluent and the reactors influent stream showed proper adjustment (mean absolute percentage error values smaller than 20%), where the differences on the prediction feasibility were smaller than 15%.*

**KEYWORDS:** Poultry slaughterhouse, exponentially weighted moving average, time series analysis, moving average, wastewater treatment.

### INTRODUÇÃO

A disposição de águas residuárias industriais em redes de esgoto ou em corpos hídricos receptores deve atender aos padrões de lançamento estipulados por normas e regulamentações, os quais estão cada vez mais restritivos. O não atendimento à legislação ambiental pode acarretar em sanções legais como autuações e

interrupções do lançamento das águas residuárias.

Para o atendimento aos restritivos padrões de lançamento são recomendados procedimentos e tecnologias de controle efetivos para os efluentes industriais. Contudo, as diferentes composições físicas, químicas e biológicas; a potencialidade de toxicidade; as variações de qualidade e de volumes gerados nos pro-

cessos produtivos e os diversos pontos de geração de águas residuárias são indicadores preponderantes da necessidade de caracterizar, quantificar e tratar adequadamente os efluentes líquidos anteriormente à disposição final no meio ambiente.

As características físicas, químicas e biológicas das águas residuárias industriais são, predominantemente, depen-

dentes do tipo da indústria, do tamanho das unidades industriais, do uso da água e da reciclagem dos efluentes líquidos.

A caracterização qualitativa e quantitativa da água residuária é realizada para determinação da concentração e da carga de qualquer constituinte, variáveis interferentes no comportamento das unidades dos sistemas de tratamento de águas residuárias (STAR). A concentração é um dos indicadores do desempenho dos processos em relação à eficiência do tratamento.

O monitoramento é fundamental para a avaliação do desempenho das unidades e as estratégias adequadas de controle protagonizam o desempenho eficiente dos STAR, estando, indubitavelmente, associadas à qualidade do efluente final. O controle das operações e dos processos de tratamento visa manter os valores dos parâmetros de monitoramento dos STAR dentro dos padrões estipulados e reduzir sua variabilidade. Dessa forma, a qualidade do efluente é garantida, fazendo com que o sistema de tratamento se comporte de maneira específica.

A avaliação antecipada do comportamento do efluente industrial possibilita adotar medidas de controle que garantam desempenho adequado dos STAR. Esta pode ser uma estratégia utilizada para obtenção de parâmetros de monitoramento quando a determinação for demorada, evitando distúrbios que uma vez ocorridos não possam ser corrigidos rapidamente. O operador deve ser capaz de prever se um conjunto de condições de operação pode resultar em desestabilidade do processo (Berthouex & Box, 1996).

Uma série temporal é um conjunto de dados numéricos obtidos durante períodos regulares ao longo do tempo. A análise de séries temporais visa a formulação de modelos capazes de descrever a dependência do dado com relação ao tempo e prever valores futuros. Uma série temporal pode ser formada pelos componentes tendência, sazonal, cíclico e aleatório (Nascimento et al, 1996; Levine et al, 2000).

A análise de séries temporais utilizada na operação de STAR (Tabela 1) pode ser ferramenta útil no controle do sistema, possibilitando ao operador atuar preventivamente em possíveis desequilíbrios no processo, pois fornece uma estimativa numérica da qualidade da água residuária com um ou mais dias de antecedência, caso não seja possível à realização do controle laboratorial. No entanto, o modelo não é capaz de prever distúrbios causados por falhas nos equipamentos ou por introdução de compostos tóxicos. Os modelos podem ser facilmente atualizados à medida que os dados forem obtidos (Berthouex & Box, 1996).

## METODOLOGIA

### Sistema de tratamento de águas residuárias (STAR) da indústria de abate de frango

A Céu Azul Alimentos Ltda localiza-se na cidade de Sorocaba, SP e está inserida na Sub-bacia Sorocaba/Pirajibu da Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos – 10 do Sorocaba/Médio Tiête. O STAR é composto por pe-

neiras rotativas e estática, tanque de equalização, sistema de flotação por ar dissolvido e dois reatores anaeróbios de fluxo ascendente com manta de lodo (UASB). As peneiras rotativas removem sólidos maiores que 1000  $\mu\text{m}$  (penas e vísceras), enquanto que a peneira estática remove sólidos finos maiores que 750  $\mu\text{m}$ . O efluente da peneira estática e a fração líquida do sangue, após coagulação, são conduzidos ao tanque de equalização com volume de 142  $\text{m}^3$  antes de serem encaminhados ao sistema de flotação por ar dissolvido e aos reatores UASB com volume de 450  $\text{m}^3$  cada (Figura 1). Os reatores foram inoculados com lodo proveniente de digestor de lodo de estação de tratamento de esgotos domésticos de Barueri, SP (Del Nery et al, 2001a).

As amostras do efluente industrial (tanque de equalização) e do afluente e efluente dos reatores foram coletadas, mensalmente, ao longo de 42 meses após a partida do STAR. Alíquotas foram coletadas em intervalos de 30 minutos, durante 24 horas, preservadas em gelo, e em seguida compostas em relação à vazão de acordo com CETESB (1987 e 1991).

Os parâmetros de monitoramento demanda química de oxigênio (DQO), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), óleos e graxas, alcalinidade total, ácidos voláteis, pH, nitrogênio total, nitrogênio amoniacal, fosfato total e série sólidos foram analisados no Laboratório de Saneamento do Departamento de Hidráulica e Saneamento da Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo (Del Nery et al, 2004) de acordo com Standard Methods for the Examination

Tabela 1 - Aplicações da análise de séries temporais no tratamento de águas residuárias

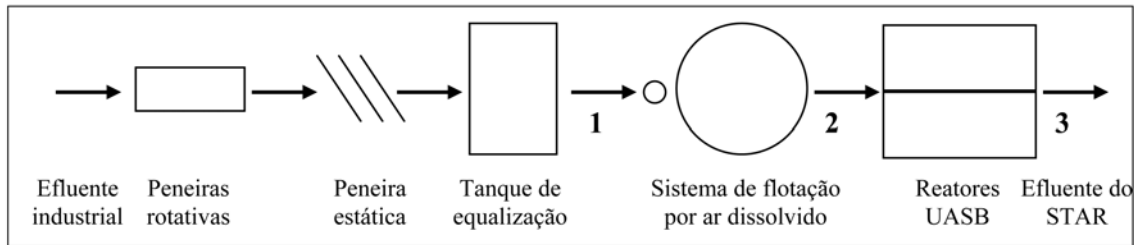
Referência	Modelo	Parâmetro	Tipo de água residuária	Sistema de tratamento da água residuária
Adeyemi et al (1979)	ARMAV <sup>a</sup>	Fósforo	Esgoto sanitário	Lodos ativados com remoção de fósforo
Berthouex et al (1976, 1978)	Autoregressivo	DBO, SSV, TDH	Esgoto sanitário	Lodos ativados
Berthouex & Box (1996)	Ajuste exponencial	DBO, SS	Esgoto sanitário	Lodos ativados
Debelak & Sims (1981)	ARIMA <sup>b</sup>	DQO	Esgoto sanitário	Lodos ativados
Ellis et al (1993)	ARMA <sup>c</sup>	DBO, nitrogênio amoniacal e orgânico	Esgoto sanitário	Lodos ativados
van Dongen & Geuens (1998)	ARMA <sup>c</sup>	DQO, SS, SSV	Cervejaria	Lodos ativados

<sup>a</sup> Modelo do vetor de médias móveis autoregressivo ARMAV (Autoregressive Moving Average Vector)

<sup>b</sup> Modelo de médias móveis integrado autoregressivo ARIMA (Autoregressive Integrated Moving Average)

<sup>c</sup> Modelo de médias móveis autoregressivo ARMA (Autoregressive Moving Average)

DBO: demanda bioquímica de oxigênio, DQO: demanda química de oxigênio, SS: sólidos suspensos, SSV: sólidos suspensos voláteis, TDH: tempo de detenção hidráulica



**Figura 1 - Fluxograma do sistema de tratamento de águas residuárias do abatedouro de frango. Pontos de amostragem: (1) Efluente industrial. (2) Afluente dos reatores. (3) Efluentes dos reatores**

of Water and Wastewater (1998). O parâmetro DQO foi utilizado, nesse estudo, por ser representativo e de análise simples e rápida.

### Análise de séries temporais

Foram ajustados os modelos de médias móveis e de ajuste exponencial aos dados operacionais de DQO.

#### Modelo das médias móveis

Para um conjunto de dados:

$$Y_1, Y_2, Y_3, \dots \quad (1)$$

define-se uma média móvel de ordem  $N$ , que é obtida pela seqüência das médias aritméticas:

$$\frac{Y_1 + Y_2 + \dots + Y_N}{N}, \frac{Y_2 + Y_3 + \dots + Y_{N+1}}{N}, \dots, \frac{Y_3 + Y_4 + \dots + Y_{N+2}}{N}, \dots \quad (2)$$

As somas dos numeradores de (2) são denominados totais móveis de ordem  $N$ .

Mediante o emprego das médias móveis de ordem apropriada, podem ser eliminadas as variações sazonais, cíclicas e irregulares (Moretton & Tolo, 1986; Spiegel, 1993).

#### Modelo do ajuste exponencial

O método do ajuste exponencial (equação 3) fornece média móvel exponencialmente ponderada ao longo de toda a série. Cada previsão ou cálculo de ajuste depende de todos os valores previamente observados. Com o ajuste exponencial, os pesos designados para os valores observados decrescem com o tempo, de modo que, quando se efetua o cálculo, o valor observado mais recentemente recebe o maior peso, o valor observado anterior-

mente recebe o segundo maior peso, e assim por diante.

$$E_i = WY_i + (1 - W)E_{i-1} \quad (3)$$

sendo:  $E_i$  o valor da série exponencialmente ajustada calculada no período de tempo  $i$ ,  $E_{i-1}$  o valor da série exponencialmente ajustada já calculada no período de tempo  $i-1$ ,  $Y_i$  o valor observado da série temporal no período  $i$  e  $W$  o coeficiente de ajuste ( $0 < W < 1$ ).

Uma série de médias móveis de ordem  $N$  está relacionada à série ajustada exponencialmente conforme equação (4):

$$W = \frac{2}{N + 1} \quad (4)$$

Para ajuste de série, eliminando variações cíclicas e irregulares indesejáveis, deve-se selecionar um valor baixo para o coeficiente de ajuste, próximo a zero, assim as tendências gerais de longo prazo da série ficarão aparentes. Para previsão, deve-se escolher um valor alto para o coeficiente de ajuste, próximo a um, em que os direcionamentos futuros de curto prazo podem ser previstos de maneira mais adequada.

Para utilizar a média móvel exponencialmente ponderada para fins de previsão, o valor ajustado no período de tempo atual, período  $i$ , é utilizado como estimativa projetada do valor observado da série temporal, no período de tempo seguinte,  $i+1$  (Levine et al, 2000):

$$\hat{Y}_{i+1} = E_i \quad (5)$$

$$\hat{Y}_{i+1} = WY_i + (1 - W)\hat{Y}_i \quad (6)$$

### Escolha do modelo de previsão apropriado

A escolha do modelo de previsão apropriado foi realizada baseada na análise de resíduos (Figura 2) e na medida do erro residual.

$$e_i = \left( Y_i - \hat{Y}_i \right) \quad (7)$$

As diferenças entre os dados observados e os dados ajustados são conhecidas como resíduos. Para o  $i$ -ésimo valor na série temporal de  $n$  observações, o resíduo é definido como:

sendo  $\hat{Y}_i$  o valor observado no período  $i$  e  $\hat{Y}_i$  o valor ajustado no período  $i$ .

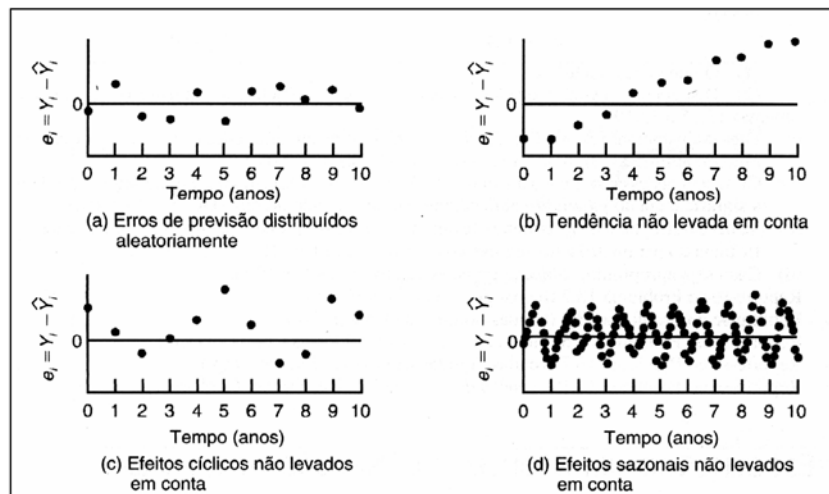
Caso o modelo em questão se ajuste adequadamente, os resíduos representam o componente irregular da série temporal, e devem, portanto ser distribuídos aleatoriamente ao longo da série (Figura 2a). Caso o modelo não se ajuste adequadamente, os resíduos podem demonstrar um padrão sistemático, deixando, por exemplo, de considerar uma tendência (Figura 2b), uma variação cíclica (Figura 2c) ou variações sazonais (Figura 2d) (Levine et al, 2000).

A magnitude do erro residual foi avaliada pelo erro percentual absoluto da média aritmética (EPAM) e pelo desvio absoluto da média aritmética (DAM).

O EPAM avalia a exatidão dos valores ajustados da série temporal, expresso em porcentagem.

$$EPAM = \frac{\sum \left| \left( Y_i - \hat{Y}_i \right) / Y_i \right|}{n} \times 100 \quad (Y_i \neq 0) \quad (8)$$

sendo:  $Y_i$  o valor real,  $\hat{Y}_i$  o valor ajustado e  $n$  o número de observações.



**Figura 2 - Análise de resíduos para avaliar padrões de erros (Levine et al, 2000)**

O ajuste do modelo pode ser classificado como excelente, bom, aceitável ou ruim para valores de EPAM <10%, 10% a 20%, 20% a 50% e >50%, respectivamente (Lin, 1998).

O DAM também avalia a exatidão dos valores ajustados da série temporal, porém o seu valor é expresso na mesma unidade dos dados. O modelo de previsão mais apropriado é o que apresenta o menor valor de DAM (Levine et al, 2000).

$$\text{DAM} = \frac{\sum_{i=1}^n |Y_i - \hat{Y}_i|}{n} \quad (9)$$

sendo:  $Y_i$  o valor real,  $\hat{Y}_i$  o valor ajustado e  $n$  o número de observações.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

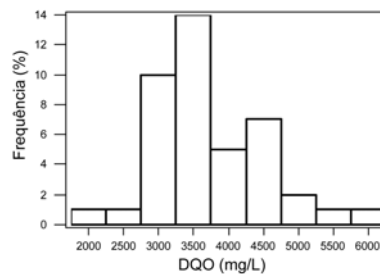
### Estatística descritiva

A Tabela 2 apresenta os valores médios de DQO do efluente industrial e do afluente dos reatores UASB com seus respectivos desvios-padrões, valores mínimos e máximos obtidos, mensalmente, ao longo de 42 meses de operação, após a partida do STAR. Os histogramas de DQO (Figura 3) mostram condição de simetria das distribuições de frequência, indicando distribuição normal.

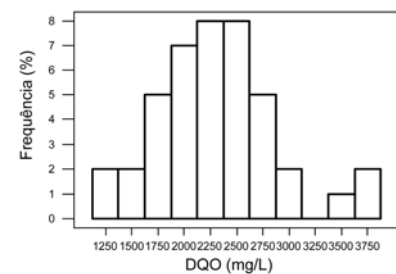
A Figura 4 mostra as representações gráficas das séries temporais dos dados de DQO. A análise das curvas sugere que não há efeito de tendência. Dessa forma, pode-se empregar o método das médias móveis ou o método de ajuste exponencial para ajustar a série.

Tabela 2 - Sumário dos dados de DQO do STAR

Ponto de Amostragem	N	Média	Mínimo	Máximo
Efluente industrial	42	3730 ± 809	2125	6085
Afluente dos reatores	42	2312 ± 588	1134	3870

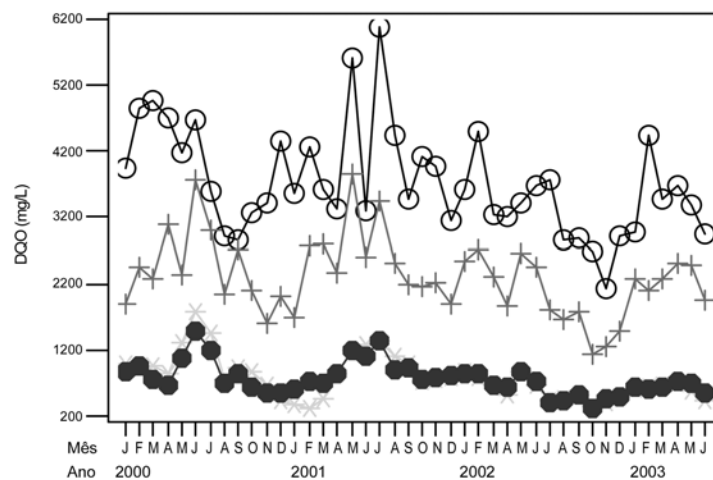


(a)



(b)

**Figura 3 - Histograma para DQO. (a) Efluente industrial. (b) Afluente dos reatores**



**Figura 4 - Gráfico de séries temporais para DQO. o Efluente industrial, + Afluente dos reatores, \* Efluente do Reator A, • Efluente do Reator B**

## Ajuste de modelos para o efluente industrial utilizando o parâmetro DQO

Os modelos de médias móveis de 3ª, 5ª e 7ª ordens e de ajuste exponencial, adotando-se valores para o coeficiente de ajuste de 0,27 e 0,5, foram ajustados aos dados (Tabela 3).

A partir da análise de resíduos (Figura 5b), dos valores de EPAM e de DAM foi escolhido o modelo de ajuste exponencial para  $W = 0,27$ , pois apresentou os resíduos aleatoriamente distribuídos ao longo da série e os menores valores de EPAM, 16%, e DAM, 579 mg/L. A Figura 5a apresenta a curva dos dados originais e do ajuste exponencial.

## Ajuste de modelos para o afluente dos reatores utilizando o parâmetro DQO

Os modelos de médias móveis de 3ª, 5ª e 7ª ordens e de ajuste exponencial, adotando-se valores para o coeficiente de ajuste de 0,27 e 0,46, foram ajustados aos dados (Tabela 4).

A partir da análise de resíduos e dos valores de EPAM e de DAM foi escolhido o modelo de ajuste exponencial para  $W = 0,46$ , pois apresentou os resíduos aleatoriamente distribuídos ao longo da série (Figura 6b) e os menores valores de EPAM, 20%, e DAM, 459 mg/L. A Figura 6a apresenta a curva dos dados originais e do ajuste exponencial.

## Estimativa de previsões

A partir da escolha do modelo que melhor se ajustou aos dados, foram feitas análises de previsão, com intervalo de confiança de 95%, para o valor seguinte e comparado com o valor obtido da análise em laboratório.

Pelo modelo de ajuste exponencial para  $W = 0,27$ , o valor de previsão da DQO do efluente industrial para o mês seguinte foi de 3304 mg/L, com limite inferior de 1885 mg/L e limite superior de 4722 mg/L. O valor medido no mês, que não entrou na análise de séries temporais, foi de 2830 mgDQO/L, representando uma diferença de 14% do valor previsto pelo modelo em relação ao valor medido.

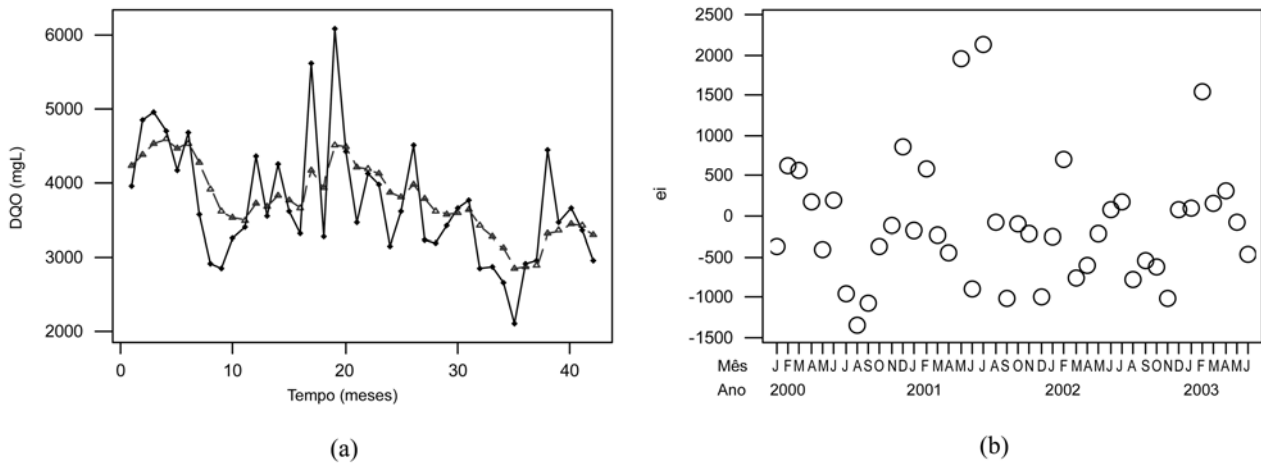
Pelo modelo de ajuste exponencial para  $W = 0,46$ , o valor de previsão da

Tabela 3 - Médias móveis e ajuste exponencial para DQO do efluente industrial do abatedouro

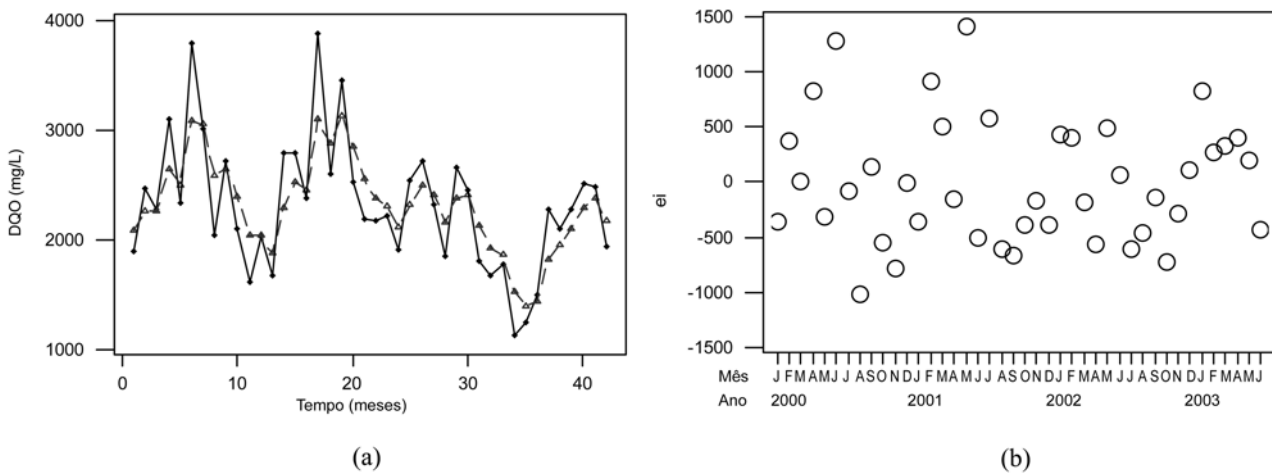
Mês	DQO (mg/L)	Médias móveis			Ajuste operacional	
		N=3	N=5	N=7	W=0,27	W=0,5
1	3960	*	*	*	4233	4260
2	4860	4593	*	*	4401	4560
3	4960	4847	4536	*	4551	4760
4	4720	4620	4680	4421	4596	4740
5	4180	4527	4425	4274	4485	4460
6	4680	4148	4019	3987	4537	4570
7	3585	3732	3646	3747	4282	4078
8	2930	3124	3465	3562	3920	3504
9	2856	3020	3214	3589	3635	3180
10	3275	3185	3371	3429	3538	3227
11	3425	3690	3497	3527	3508	3326
12	4370	3785	3780	3625	3739	3848
13	3560	4067	3849	3694	3691	3704
14	4270	3817	3832	4029	3846	3987
15	3620	3743	4082	4010	3786	3804
16	3340	4193	4028	4255	3666	3572
17	5620	4083	4391	4381	4190	4596
18	3290	4998	4555	4268	3949	3943
19	6085	4605	4583	4341	4521	5014
20	4440	4668	4285	4432	4499	4727
21	3480	4017	4423	4080	4226	4103
22	4130	3863	3837	4128	4200	4117
23	3980	3755	3674	3903	4141	4048
24	3155	3587	3880	3731	3877	3602
25	3625	3763	3702	3691	3810	3613
26	4510	3792	3546	3591	3997	4062
27	3240	3650	3601	3547	3794	3651
28	3200	3290	3610	3636	3635	3425
29	3430	3433	3463	3528	3580	3428
30	3670	3625	3389	3297	3604	3549
31	3776	3439	3328	3217	3650	3662
32	2870	3179	3178	3063	3441	3266
33	2892	2814	2869	2993	3294	3079
34	2680	2566	2700	2893	3129	2880
35	2125	2580	2721	2990	2860	2502
36	2935	2678	3033	3077	2880	2719
37	2975	3453	3193	3189	2906	2847
38	4450	3635	3504	3289	3320	3648
39	3480	3870	3593	3409	3363	3564
40	3680	3513	3590	*	3448	3622
41	3380	3340	*	*	3429	3501
42	2960	*	*	*	3304	3231
EPAM (%)		17	18	18	16	16
DAM (mg/L)		620	648	647	579	594

Tabela 4 - Médias móveis e ajuste exponencial para DQO afluente dos reatores

Mês	DQO (mg/L)	Médias móveis			Ajuste operacional	
		N=3	N=5	N=7	W=0,27	W=0,46
1	1890	*	*	*	2435	2083
2	2460	2207	*	*	2442	2255
3	2270	2607	2408	*	2396	2262
4	3090	2564	2786	2690	2583	2641
5	2332	3067	2896	2711	2515	2500
6	3780	3041	2850	2748	2857	3085
7	3010	2942	2776	2725	2898	3051
8	2036	2589	2730	2514	2665	2587
9	2720	2287	2297	2470	2680	2648
10	2104	2146	2101	2170	2525	2399
11	1615	1916	2029	2139	2279	2040
12	2028	1774	2043	2247	2211	2035
13	1680	2166	2182	2198	2068	1872
14	2790	2422	2334	2450	2263	2292
15	2795	2653	2702	2590	2406	2522
16	2375	3013	2885	2792	2398	2455
17	3870	2947	3015	2912	2795	3102
18	2595	3302	2960	2827	2741	2870
19	3442	2852	2923	2737	2931	3132
20	2520	2717	2582	2713	2820	2852
21	2190	2292	2505	2432	2650	2549
22	2165	2188	2198	2425	2519	2373
23	2210	2093	2203	2321	2435	2299
24	1904	2220	2307	2291	2292	2118
25	2546	2387	2337	2243	2361	2314
26	2710	2524	2266	2313	2455	2495
27	2315	2293	2415	2347	2417	2413
28	1854	2273	2395	2332	2265	2157
29	2650	2317	2214	2207	2369	2383
30	2448	2300	2085	2075	2390	2413
31	1801	1974	2071	1906	2231	2133
32	1672	1752	1767	1818	2080	1922
33	1782	1529	1526	1654	2000	1858
34	1134	1385	1466	1629	1766	1527
35	1240	1292	1587	1672	1624	1396
36	1502	1672	1650	1759	1591	1444
37	2275	1959	1879	1862	1776	1824
38	2100	2217	2132	2054	1863	1950
39	2277	2294	2327	2154	1975	2100
40	2505	2421	2261	*	2118	2285
41	2480	2309	*	*	2216	2374
42	1942	*	*	*	2142	2177
EPAM (%)		21	25	26	22	20
DAM (mg/L)		477	540	539	472	459



**Figura 5: (a) Gráfico da série exponencialmente ajustada ( $W = 0,27$ ) para DQO do efluente industrial. ◆ Dados originais, ▲ Ajuste exponencial. (b) Análise de resíduos.**



**Figura 6 - (a) Gráfico da série exponencialmente ajustada ( $W = 0,46$ ) para DQO do afluente dos reatores. ◆Dados originais, ▲ Ajuste exponencial. (b) Análise de resíduos**

DQO do afluente dos reatores para o mês seguinte foi de 2177 mg/L, com limite inferior de 1052 mg/L e limite superior de 3301 mg/L. O valor medido no mês, que não entrou na análise de séries temporais, foi de 1845 mgDQO/L, representando uma diferença de 15% do valor previsto pelo modelo em relação ao valor medido.

Os valores previstos estão de acordo com a variabilidade do efluente industrial e do afluente dos reatores. A variação da qualidade do efluente industrial está principalmente associada ao processo industrial: quantidade de aves abatidas, vazão de água utilizada, procedimentos operacionais e de higienização de equipamentos e instalações. Além desses fatores, a qualidade do afluente dos reatores está relacionada à eficiência do sistema de flotação por ar dissolvido.

É importante que essas projeções sejam examinadas tão logo um novo valor do parâmetro seja observado, sendo comparado com a sua projeção. Se a diferença for muito grande, o modelo de previsão deve ser revisado (Levine et al, 2000).

## CONCLUSÕES

O modelo de ajuste exponencial para previsão dos valores de DQO do efluente industrial e do afluente dos reatores foi o que apresentou melhor ajuste aos dados de monitoramento do STAR do abatedouro de frango (EPAM < 20%). A capacidade de previsão do modelo apresentou diferença em torno de 15% do valor previsto em relação ao valor real.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a FAPESP – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo pelo apoio financeiro e bolsas de pesquisa concedidos a este projeto (processo nº 2002/03997-1) e a Céu Azul Alimentos Ltda pelo apoio operacional.

## REFERÊNCIAS

- ADEYEMI, S. O.; WU, S. M.; BERTHOUEX, P. M. *Modeling and control of a phosphorus removal process by multivariate time series method*. Water Research, v.13, p.105-112. 1979.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA); AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (AWWA); WATER ENVIRONMENT FEDERATION (WEF). *Standard methods for the examination*

of water and wastewater. 20 ed. Washington DC. APHA-WEF, 1195p. 1998.

AMORIM, A.K.B.; DE NARDI, I.R.; DEL NERY, V. *Minimization of industrial effluents: case study of a poultry slaughterhouse*. In: SIMPOSIO INTERNAZIONALE DI INGEGNERIA SANITARIA AMBIENTALE, 7, Taormina. CD ROM. Taormina: Edizioni CSISA, 2004.

BERTHOUEX, P. M. et al. *The use of stochastic models in the interpretation of historical data from sewage treatment plants*. Water Research, v.10, p.689-698. 1976.

BERTHOUEX, P. M.; HUNTER, W. G.; PALLESEN L. *Dynamic behavior of an activated sludge plant*. Water Research, v.12, p.957-972. 1978.

BERTHOUEX, P. M.; BOX, G. E. *Time series models for forecasting wastewater treatment plant performance*. Water Research, v.30, n.8, p.1865-1875. 1996.

CETESB *Guia de coleta e preservação de amostras de água*. São Paulo. CETESB, 150p. 1987.

CETESB *Avaliação de desempenho de estações de tratamento de esgotos*. São Paulo. CETESB, 38p. 1991.

DEBELAK, K. A.; SIMS, C. A. *Stochastic modeling of an industrial activated sludge process*. Water Research, v.15, p.1173-1183. 1981.

DEL NERY, V.; DAMIANOVIC, M. H. R. Z.; BARROS, F. G. *The use of upflow anaerobic*

*sludge blanket reactors in the treatment of poultry slaughterhouse wastewater*. Water Science and Technology, v.44, p.83-88. 2001a.

DEL NERY, V. et al. *Upflow anaerobic sludge blanket reactors treating poultry slaughterhouse wastewater under different design and operational parameters*. In: WORLD CONGRESS ANAEROBIC DIGESTION, 9, Antuérpia. Anais. Antuérpia: Technological Institute, p.423-427. 2001b.

DEL NERY, V. et al. *Poultry slaughterhouse wastewater treatment plant performance over a long-term operation*. In: THE FIRST INTERNATIONAL MEETING ON ENVIRONMENTAL BIOTECHNOLOGY AND ENGINEERING, 1, Cidade do México. CD ROM. Cidade do México: CINVESTAV, 2004.

ELLIS, G. W.; GRASSO, D.; GE, X. *ARMA processes and reliability-based design of wastewater-treatment facilities*. Journal of Environmental Engineering, v.119, n.3, p.463-477. 1993.

LEVINE, D. M.; BERENSON, M. L.; STEPHAN, D. *Estatística: teoria e aplicações usando microsoft® excel em português*. Rio de Janeiro. Livros Técnicos e Científicos Editora, 811p. 2000.

LIN, J. G. *Feasibility study on prediction of properties of municipal solid waste with time series models*. Journal of Hazardous Materials, v., p.47-57. 1998.

MORETTIN, P. A.; TOLOI, C. M. C. *Séries temporais*. 2ed. São Paulo. Atual Editora. 136p. 1986.

NASCIMENTO, N. O. et al. *Investigação científica em engenharia sanitária e ambiental. Parte 3: Análise estatística de dados e de modelos*. Engenharia Sanitária e Ambiental, v.4, p.152-168, Out./Dez. 1996.

SPIEGEL, M. R. *Estatística: resumo da teoria, 383 problemas resolvidos, 416 problemas suplementares*. 3 ed. São Paulo. McGraw-Hill do Brasil. 643p. 1993.

VAN DONGEN, G.; GEUENS, L. *Multivariate time series analysis for design and operation of a biological wastewater treatment plant*. Water Research, v.32, n.3, p.691-700. 1998.

---



---

#### Endereço para correspondência:

**Ivana Ribeiro de Nardi**  
**Centro Universitário Central**  
**Paulista**  
**Rua Miguel Petroni, 5111**  
**13563-470 São Carlos - SP - Brasil**  
**Tel.: (16) 3307-2111**  
**E-mail: ivananardi@unicep.com.br**



Recebimento de resumos  
**06/01/06**

Comunicação aos autores  
**15/04/06**

Envio de trabalhos completos  
**30/05/06**