

Estudo de Tendência de Parâmetros de Qualidade de Água na Bacia do Rio Piracicaba

Juliano Daniel Groppo, Jorge Marcos de Moraes, Luiz Antonio Martinelli

Laboratório de Ecologia Isotópica CENA-USP

jgroppo@cena.usp.br, jmmoraes@cena.usp.br, zebu@cena.usp.br,

Abel Maia Genovez

Departamento de Recursos Hídricos - UNICAMP

genovez@fec.unicamp.br

Recebido: 29/09/05 revisado: 18/11/05 aceito: 23/01/06

RESUMO

O conhecimento das tendências temporais da qualidade das águas é importante no diagnóstico ambiental de bacias hidrográficas, permitindo avaliar como os corpos d'água vem respondendo ao longo dos anos, em termos qualitativos, à crescente intervenção antrópica. O objetivo deste trabalho é caracterizar a qualidade das águas dos rios da bacia do Piracicaba, utilizando postos monitorados pela CETESB (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental), no período entre 1979 e 2001. Os parâmetros biogeoquímicos avaliados quanto à sua tendência temporal e magnitude foram: oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), nitrogênio total, nitrato, fósforo total, cloreto, amônio e coliformes fecais. A análise de tendência temporal exige uma metodologia específica, uma vez que as séries temporais obtidas não seguem uma distribuição normal, as amostragens são realizadas irregularmente, os dados apresentam sazonalidade e são dependentes da vazão dos rios. Essa metodologia é dividida em análise gráfica e aplicação de testes de tendência, onde inicialmente realiza-se uma análise exploratória dos dados, seguida da confirmação através de testes estatísticos. Os resultados mostraram que de uma maneira geral existe uma degradação da qualidade das águas, representada pelas tendências positivas nos parâmetros (DBO, nitrogênio, nitrato, amônio, fósforo total, cloreto e coliformes fecais) e negativa no parâmetro (OD).

Palavras-chave: Análise de Tendências, Séries Temporais, Qualidade da Água

INTRODUÇÃO

A bacia do rio Piracicaba (12400 km²) apresentou nas últimas décadas um crescimento populacional e industrial acima da média nacional. Esse crescimento acelerado vem modificando a quantidade e a qualidade dos recursos hídricos através do aumento do consumo de água e das cargas de esgotos urbanos e agro-industriais, das mudanças do uso da terra e da transferência de água interbacias (Moraes et al., 1998, 1995; Martinelli et al. 1999; Krushe et al., 1997).

Uma das intervenções antrópicas mais marcantes no comportamento hidrológico dessa bacia foi a implantação do Sistema Cantareira (SABESP), responsável pela reversão interbacias de 31 m³/s para abastecimento da Região Metropolitana de São Paulo. Esse sistema compreende 4 reservatórios localizados nas cabeceiras dos formadores do rio

Piracicaba (Jaguari, Jacaré, Atibainha e Cachoeira) e um reservatório situado na cabeceira do rio Juqueri (fora da bacia do Piracicaba). Os reservatórios encontram-se interligados por túneis e canais até a Estação de Tratamento de Água do Guaraú, na cidade de São Paulo.

A composição das águas superficiais resulta das interações destas com fases sólidas, líquidas e gasosas do entorno (Stumm & Morgan, 1996) e de processos bióticos (Likens et al., 1977), que ocorrem durante o ciclo hidrológico. Entretanto, os rios que percorrem regiões onde há grande aporte de efluentes humanos e industriais, podem apresentar alterações drásticas que modificam completamente sua química (Krushe et al., 1997; Martinelli et al., 1999), seu metabolismo (Ballester et al., 1999) e a distribuição e sobrevivência de espécies aquáticas (Ometto et al., 2000; Goldstein, 1988). A presença desses efluentes representa, portanto, um risco a todos os seres vivos que utilizam essa água para so-

breviver e o seu monitoramento é de extrema importância na regulamentação do aporte e no acompanhamento das mudanças ocorridas nos corpos d'água.

A CETESB implantou no ano de 1978 um sistema de amostragem de água, que já em 1993 incluía 101 estações de monitoramento da qualidade da água em 29 bacias (São Paulo, 1993). O número de estações de monitoramento é atualmente de 135 (CETESB, 2002). Esse banco de dados, extremamente valioso, é base apenas para avaliações instantâneas da qualidade da água, ou ainda sanções aos poluidores, porém muito pouco explorado no exame das variações dos diversos parâmetros em relação ao tempo e na influência das mudanças regionais nas propriedades da água.

O estudo de tendências nos dados de qualidade de água é um importante diagnóstico ambiental de bacias hidrográficas, permitindo avaliar como os corpos d'água vêm respondendo ao longo dos anos, em termos qualitativos, à crescente intervenção antrópica ou a possíveis ações mitigadoras (Park & Park, 2000; Cun & Vilagiges, 1997; Maasdam & Classen, 1998; Comber & Gardner, 1999; Larsen *et al.*, 1999; Lundin *et al.*, 1999). Existe uma carência de tais estudos no Brasil, apesar de sua extrema importância na compreensão da estrutura e funcionamento de bacias hidrográficas (Krusche *et al.*, 1997). Esses últimos autores estudaram a tendência dos parâmetros oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), nitrato e coliforme fecal na bacia do rio Piracicaba, no período de 1978 a 1993.

O objetivo do presente estudo foi o de avaliar as tendências temporais nas concentrações de oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), nitrogênio total, nitrato, amônio, fósforo total, cloreto e coliformes fecais, na bacia do rio Piracicaba, entre 1979 a 2001. Portanto, além de atualizar o estudo de Krusche *et al.* (1997), incluiu-se a análise temporal de outros parâmetros com influência na qualidade de água, ou seja, nitrogênio, amônio, fósforo e cloreto.

METODOLOGIA

Metodologia de análise de tendência

O estudo de tendências dos dados de qualidade de água necessita de metodologia específica, uma vez que as séries temporais obtidas não seguem uma distribuição normal; as amostragens são reali-

zadas irregularmente; os dados apresentam sazonalidade e ainda são dependentes da vazão dos rios (McLeod *et al.* 1991). A metodologia adequada para checar a presença de tendências em séries temporais de qualidade de água deve, portanto, avaliar a influência das vazões dos rios e da sazonalidade sobre as medidas dos parâmetros de qualidade de água (McLeod *et al.*, 1991; Hipel & McLeod, 1994).

A análise de tendências a ser utilizada nesse estudo é descrita em detalhes nos trabalhos de Hirsch *et al.* (1991), McLeod *et al.* (1991) e Hipel & McLeod (1994). Em linhas gerais essa metodologia é dividida em duas principais categorias, inicialmente uma análise gráfica seguida da aplicação de testes de tendência, refletindo a idéia de uma análise exploratória seguida da confirmação através de testes estatísticos. Esse procedimento é sumarizado abaixo:

1. Visualização dos dados brutos: A série pode ser plotada em relação ao tempo em sua forma bruta ou transformada pela “transformação Box-Cox” (equação 1), numa tentativa de transformar a série temporal não normalmente distribuída em normalmente distribuída. A necessidade ou não dessa transformação será baseada em testes estatísticos que verificam a distribuição normal da série temporal (Hipel & McLeod, 1994).

$$x_t^{(\lambda)} = \begin{cases} \lambda^{-1} \left[(x_t + c)^\lambda - 1 \right] & \lambda \neq 0 \\ \log(x_t + c) & \lambda = 0 \end{cases} \quad (1)$$

Onde: λ = parâmetro de transformação (por exemplo: para $\lambda=0$ obtém-se o logaritmo da série e para $\lambda=0,5$ obtém-se a raiz quadrada da série); c = constante utilizada para deixar todos os valores da série positivos.

2. Remoção de tendência da vazão: Certos parâmetros de qualidade são diretamente dependentes da vazão. Conseqüentemente uma tendência na série de vazão pode acarretar uma falsa tendência no parâmetro. A tendência da série de vazão é eliminada traçando o hidrograma juntamente com uma curva de regressão RLWRS (“Robust Locally Weighted Regression Smooth”, Cleveland, 1979; Hipel & McLeod, 1994). A curva residual, que é a diferença entre os valores observados e a regressão, é a série temporal da vazão sem tendências (Hipel & McLeod, 1994) que será chamada aqui VST.

3. Obtenção da série do parâmetro ajustado à série da vazão sem a tendência (VST): Traçando-se a curva “VST x parâmetro” e a respectiva regressão RLWRS, pode se observar se existe dependência entre o parâmetro e a vazão. Essa dependência é eliminada pela obtenção do residual que é a série final do parâmetro (PAV, parâmetro ajustado à vazão), já sem os efeitos das tendências da vazão e da dependência parâmetro-vazão. A curva “PAV x tempo” mostra visualmente, novamente através do auxílio da regressão RLWRS, a existência de possíveis tendências.

4. Teste de sazonalidade: Os testes estatísticos a serem empregados dependem da existência ou não de sazonalidade na série final obtida (PAV). Com essa finalidade são empregadas duas técnicas: gráficos Box-Whisker (Tukey, 1997; Hipel & McLeod, 1994) e teste de Kruskal-Wallis (Kruskal & Wallis, 1952; Hipel & McLeod, 1994).

5. Série sem sazonalidade: O teste estatístico empregado para a verificação se a tendência é estatisticamente significativa ou não é o teste de Mann-Kendall (Hipel & McLeod, 1994). Este é um teste não paramétrico baseado num processo de hierarquização (“rank”) dos dados (Moraes et al., 1998).

6. Série com sazonalidade: Nesse caso é empregado o teste Sazonal de Mann-Kendall (Hirsch, 1991). Trata-se de um teste não paramétrico no qual os dados são agrupados dentro de blocos sazonais e então testados quanto a tendência dentro de cada bloco utilizando um procedimento de hierarquia (Evans & Jenkins, 2000).

As regressões RLWRS, a curva residual e os testes estatísticos são aplicados às séries utilizando as ferramentas do programa MHTS (“The McLeod-Hipel Time Series Package”, Hipel & McLeod, 1994).

Metodologia para determinação da magnitude

A magnitude das tendências foi obtida através do coeficiente de regressão “Sen’s slope” (Sen, 1968), utilizando-se valores médios anuais. Pois, como observado por Hirsch et al. (1982), o valor do coeficiente angular obtido pela regressão linear é muito mais sensível a valores extremos que o valor do estimador sazonal de inclinação de Kendall (“Seasonal Kendall Slope Estimator”). Esse estimador, desenvolvido por Hirsch et al. (1982), é utilizado para séries temporais com sazonalidade e vem

sendo utilizado na quantificação de tendências em diversos estudos (Burn, 1994; Osburn et al., 2002; Langrand et al., 1998).

Metodologia de análise estatística de mudança brusca em séries temporais

O teste de Pettitt (Pettitt, 1979), também não paramétrico, utiliza uma versão do teste de Mann-Whitney na qual se verifica se duas amostras $Y_1, \dots, Y_t$ e $Y_{t+1}, \dots, Y_T$ são da mesma população. A estatística $U_{t,T}$ faz uma contagem do número de vezes que um membro da primeira amostra é maior que um membro da segunda, e pode ser escrita:

$$U_{t,T} = U_{t-1,T} + \sum_{j=1}^T \text{sgn}(Y_t - Y_j) \quad (2)$$

para $t = 2, \dots, T$

onde : $\text{sgn}(x) = 1$ para $x > 0$;

$\text{sgn}(x) = 0$ para $x = 0$;

$\text{sgn}(x) = -1$ para $x < 0$.

A estatística $U_{t,T}$ é então calculada para os valores de $1 \leq t \leq T$ e a estatística $k(t)$ do teste de Pettitt é o máximo valor absoluto de $U_{t,T}$. Esta estatística localiza o ponto onde houve uma ruptura (“changing point”) de uma série temporal e a sua significância pode ser calculada aproximadamente pela equação :

$$p \approx 2 \exp \{-6k(t)^2 / (T^3 + T^2)\} \quad (3)$$

Preparação dos dados

O monitoramento até 1984 era realizado mensalmente, passando a ser bimestral a partir de 1985. Nesse estudo, optou-se pela utilização de séries bimestrais, ao invés de completar a série transformando-a em dados mensais através de interpolações. Essa opção pode ser explicada pela não introdução de novas incertezas na análise devido aos métodos de interpolação.

Nas séries temporais de qualidade de água podem ocorrer falhas ou valores discrepantes (outliers).

Estes dados discrepantes podem frequentemente indicar problemas específicos de medições, descargas pontuais de algum poluente ou ainda valores que representam a variabilidade devido a outras intervenções ocorridas na bacia. Portanto é

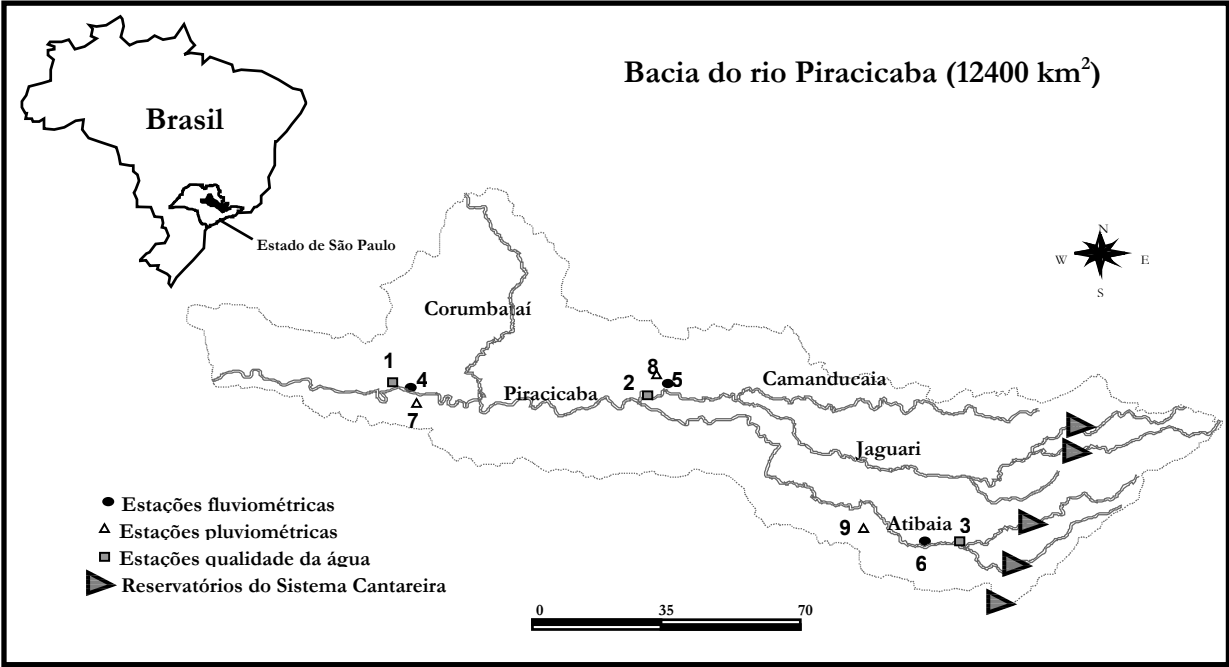


Figura 1 - Bacia do rio Piracicaba, localização, principais tributários, estações fluviométricas, pluviométricas, de qualidade da água e esquema de reservatórios do Sistema Cantareira.

necessário identificá-los, classificá-los e removê-los no caso de um valor anômalo esporádico.

Transformações Box-Cox foram utilizadas antes de avaliar esses dados discrepantes para que as séries de qualidade da água passassem a ter distribuição normal. Essas transformações são também necessárias em algumas análises estatísticas propostas por McLeod et al. (1991). Segundo McLeod (comunicação pessoal) a transformação dos dados faz com que eles sejam distribuídos mais simetricamente e tendo, portanto, duas vantagens: (a) alguns métodos não paramétricos, como a regressão RL-WRS, assumem que os dados são distribuídos simetricamente e (b) para dados simetricamente distribuídos é mais fácil localizar o centro da distribuição.

Mesmo depois das transformações Box-Cox, alguns valores discrepantes necessitaram ser removidos. Os critérios para identificação desses dados discrepantes em geral são subjetivos, porém no presente trabalho, foram adotado como sendo as observações abaixo ou acima de 3 desvios padrões da média ($\bar{X} \pm 3s$), similar ao adotado por Forester (2000). Entretanto, se o parâmetro fosse encontrado com valores anteriores e posteriores da mesma ordem de grandeza, indicando a persistência da anomalia, análises complementares para verificar a coe-

rência das medidas foram realizadas. No caso da anomalia confirmada, optou-se pela substituição do valor anômalo pelo valor médio da série uma vez que a presente análise necessita de séries contínuas.

Área de Estudo

Os postos de monitoramento de qualidade de água, vazão e precipitação são apresentados nas tabelas 1, 2 e 3, respectivamente.

Tabela 1 - Relação dos postos de qualidade de água.

Mapa	Postos	Latitude	Longitude	Rio
1	PI2800 (PI)	22°40'	47°46'	Piracicaba
2	JA2800 (JA)	22°39'	47°16'	Jaguari
3	AT2065 (AT)	22°54'	48°58'	Atibaia

Tabela 2 - Relação dos postos de vazão.

Mapa	Postos	Latitude	Longitude	Rio
4	4D-007	22°40'	47°46'	Piracicaba
5	4D-001	22°39'	47°12'	Jaguari
6	3D-006	22°58'	46°49'	Atibaia

Tabela 3 - Relação dos postos de precipitação.

Mapa	Postos	Latitude	Longitude	Município
7	D4-036	22°18'	47°45'	Itirapina
8	D4-043	22°13'	47°45'	Corumbataí
9	D4-059	22°29'	47°31'	Sta. Gertrudes

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para ilustrar a metodologia utilizada será demonstrado o caso do oxigênio dissolvido (OD).

Como descrito na metodologia, primeiramente foi testada a normalidade das séries. O teste de normalidade para o caso do OD é mostrado na Figura 2, onde a distribuição normal é verificada pela qualidade do ajuste dos dados observados com a linha reta do papel de probabilidade da Lei Normal. Esse teste ainda é completado pela realização de outros testes estatísticos que comprovam a normalidade da distribuição. Esses testes são: o teste de assimetria da distribuição (g1), o teste de aderência através da estatística de Michael (DSP), considerada por Hipel e McLeod (1994) como mais robusta que o teste de Kolmogoroff-Smirnoff e ainda o teste de Wilk-Shapiro (W) para a aderência à linha reta. Os testes mostram que os níveis de significância foram inferiores a 0,05, fornecendo evidências de que a série testada apresenta distribuição normal. Portanto, para o caso do OD na bacia do rio Piracicaba não foi necessária a transformação Box-Cox.

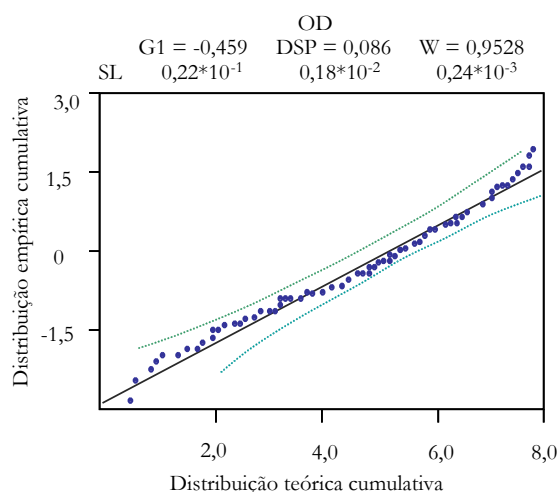


Figura 2 - Teste de normalidade para Oxigênio Dissolvido

A metodologia empregada necessita da entrada da vazão sem tendências. A regressão RLWRS, mostrada na Figura 3 que a vazão (Posto 4D-007, no período 1979 a 2001) apresentou uma tendência negativa. A remoção dessa tendência, como descrito anteriormente, é realizada obtendo-se o residual da vazão chamado de VST (vazão sem tendência).

Posteriormente essa vazão é associada ao parâmetro (VST x parâmetro) e a respectiva regressão RLWRS, como mostrado na Figura 4, para retirar o efeito da vazão no parâmetro, que é realizada obtendo-se o residual do parâmetro chamado de PAV (parâmetro ajustado à vazão).

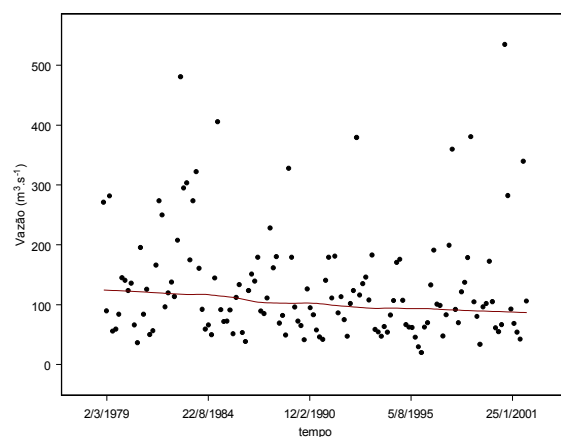


Figura 3 - Regressão RLWRS para o posto de vazão do rio Piracicaba 4D-007, (1979-2001).

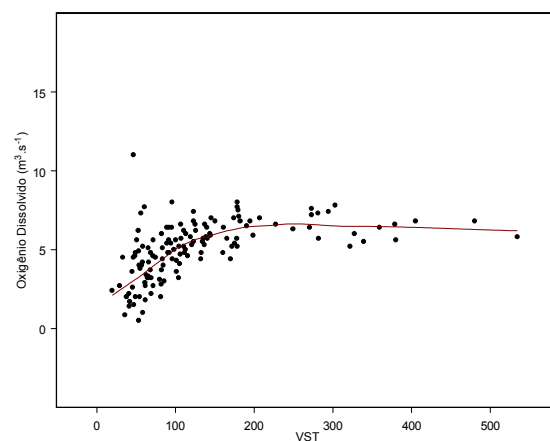


Figura 4 - Regressão RLWRS para OD, posto do rio Piracicaba (PI)

O passo seguinte é a verificação da sazonalidade, necessária para a aplicação adequada dos testes de tendência série PAV. Para tal finalidade foram traçados gráficos do tipo “Box-Plot”, que mos-

tram a variabilidade dos parâmetros ao longo do ano. Em adição foi utilizado o método estatístico de Kruskal-Wallis para testar a sazonalidade da série. Na Figura 5 pode-se observar para o OD, através do gráfico “Box-Plot”, que a série apresenta um comportamento sazonal, o que foi confirmado pelo teste de Kruskal-Wallis ($p < 0,05$).

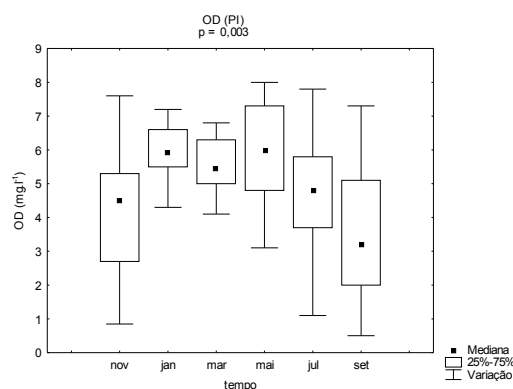


Figura 5 - Gráfico “Box-Plot”, com a finalidade de mostrar a variabilidade do OD ao longo do ano.

Finalmente a tendência temporal da série foi testada pelo método de Mann-Kendall, em suas versões sazonal ou não sazonal dependendo dos resultados dos testes de sazonalidade.

Os resultados da análise de tendência juntamente com a magnitude e a mudança brusca são apresentados na Tabela 4.

As análises estatísticas de tendências temporais no rio Piracicaba e nos seus formadores, Atibaia e Jaguari, mostram tendências positivas na maior parte dos parâmetros de qualidade de água estudados, com exceção do OD e coliformes fecais, cujas tendências são negativas. Desses resultados, a maior parte apresenta características negativas à qualidade de água, com exceção do resultado surpreendente de tendência negativa dos coliformes fecais (Tabela 4). Resultados similares são apresentados no trabalho de Krusche *et al.* (1997) para os parâmetros OD, DBO e nitrato, em estudo nos mesmos rios, no período 1978 a 1993. Por outro lado, o resultado obtido por esses autores, para coliformes fecais apresentou tendências positivas contrastando com os obtidos no presente trabalho.

A tendência negativa para esse parâmetro obtida no presente estudo poderia ser atribuído à porcentagem no volume de esgoto tratado na bacia que aumentou de 3% para aproximadamente 18% em 1989, considerando que um parâmetro biológico

pode responder mais rapidamente ao tratamento que os parâmetros químicos. Entretanto, esse resultado deve ser avaliado com cautela, já que existem incertezas que influenciam na determinação do mesmo, como por exemplo, a metodologia utilizada pode apresentar grande variabilidade, dia da semana em que as coletas foram realizadas e mudanças nos pontos de coleta.

Os resultados de vazão e precipitação não apresentaram tendências significativas, porém, cabe salientar que o período estudado se inicia próximo ao das operações do Sistema Cantareira (1975 no Atibaia e 1981 no Jaguari) e portanto, praticamente toda a série histórica das vazões está sob a influência do mesmo. Groppo (2001) mostrou, entretanto, que no período 1947 a 1997 as tendências foram significativas, sendo negativas para a vazão e positivas para precipitação.

Os resultados da magnitude da tendência apontam para variações mais acentuadas, representadas pelas grandezas de “Sen’s slope” (Sen’s) para o posto do rio Piracicaba. Observa-se que esse posto (PI), situado no trecho final do rio, antes do represamento das águas devido ao reservatório de Barra Bonita, já recebeu toda carga de efluentes da zona mais populosa e industrializada da bacia que são a região metropolitana de Campinas e os pólos de Americana, Limeira, Rio Claro e Piracicaba.

Em termos de degradação da qualidade da água, o segundo posto é o do rio Atibaia (AT), localizado no ponto nº 3 de captação de água para abastecimento de Campinas, que por esse motivo não recebe o esgoto dessa cidade, mas por sua vez recebe grande parte dos esgotos domésticos de Valinhos, Vinhedo, Itatiba e Atibaia. Já a qualidade da água do posto do rio Jaguari (JA) localizado próximo à sua foz, no ponto de captação da cidade de Limeira, apesar de assimilar o esgoto da cidade de Bragança Paulista, localizada no trecho inicial do rio, tem sua qualidade de água deteriorada após receber esgoto doméstico da cidade de Cosmópolis.

Em que pese o aumento do percentual de esgoto tratado na bacia a partir de 1989 (de 3% para 18% do total gerado), ocorreram mudanças bruscas de alguns parâmetros que ocasionaram deterioração da qualidade da água, a partir do final dos anos 80. Cabe ressaltar que o Sistema Cantareira começou a interferir no funcionamento desse rio a partir do início dos anos 80 (Moraes *et al.*, 1997) e que a retirada sistemática de 31 m³/s de água dos rios Jaguari e Atibaia para o abastecimento da grande São Paulo, ocasionou uma diminuição significativa na vazão desses rios (Pellegrino *et al.*, 1995, Moraes *et al.*,

Tabela 4 - Sumário dos resultados**.

		OD	DBO	N (t)	NO ₃	NH ₄	P	Cl	Colif.	Vazão	Precip.
PI	Tend	- s	+ s	ns	+ s	+ s	+ s	ns	- s	ns	ns
	Sen's	-0,095	0,152	0,010	0,013	0,028	0,009	0,493	-1386	-0,794	6,656
	Média	5,56	3,70	1,73	0,24	0,35	0,24	9,47	33801	125,40	1522
	MB	1988	1987	ns	1987	1991	ns	1988	ns	ns	ns
	%	-20	+57	ns	+83	+106	ns	+63	ns	ns	ns
JA	Tend	ns	ns	ns	+ s	+ s	+ s	+ s	- s	st	ns
	Sen's	-0,017	0,014	-0,013	0,035	0,003	0,002	0,141	-985,5	-1,118	6,656
	Média	7,27	1,67	1,03	0,29	0,11	0,12	4,67	15550	42,07	1522
	MB	ns	ns	1988	1991	1995	ns	ns	ns	ns	ns
	%	ns	ns	-29	+134	+136	ns	ns	ns	ns	ns
AT	Tend	ns	+ s	-	+ s	+ s	+ s	ns	ns	ns	ns
	Sen's	-0,033	0,073	-	0,007	0,023	0,004	0,032	-8708	0	6,656
	Média	6,97	3,17	-	0,28	0,26	0,161	5,83	129517	21,50	1522
	MB	ns	ns	-	ns	1989	ns	ns	ns	ns	ns
	%	ns	ns	-	ns	+142	ns	ns	ns	ns	ns

** Tend = análises de tendências; Sen's = magnitude; Média = valor médio da série temporal; MB = ano de ocorrência da mudança brusca na média ao nível de significância de 5%; % = valor percentual da série temporal antes e depois do ano de ocorrência da mudança; s = significativo; ns = não significativo; st = sem tendência.

1997 e Groppo et al., 2001). Essa diminuição de vazão foi acompanhada de expressivo crescimento populacional da bacia, que passou de aproximadamente 1,5 milhões de habitantes nos anos 70 para aproximadamente 2,5 milhões de habitantes nos anos 80, sendo portanto, essa a mais provável causa da deterioração dos rios dessa bacia. Os estudos mostram que essas mudanças bruscas foram detectadas principalmente no rio Jaguari, onde a vazão diminuiu em torno de 50%, e no rio Piracicaba, que além da diminuição de vazão, passou a receber uma carga muito maior de efluentes urbanos e industriais.

CONCLUSÕES

Os resultados da análise de tendência mostraram que, de uma maneira geral, existe uma degradação da qualidade da água, representada pelas tendências positivas nos parâmetros (DBO, nitrogênio, fósforo total e cloreto) e negativas no parâmetro (OD).

Em termos de magnitude o posto próximo a Piracicaba apresenta as variações mais acentuadas no período de estudo, uma vez que recebe efluentes da zona mais populosa e industrializada da bacia, seguido dos postos nos rios Atibaia e Jaguari, respectivamente.

Os resultados obtidos mostram um cenário preocupante, já que o alto crescimento populacional, aumento das atividades industriais e o uso intensivo do solo não vêm sendo acompanhados pelo tratamento adequado dos efluentes, necessários à preservação da qualidade da água.

AGRADECIMENTOS

Ao Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA/USP) e a Escola Superior de Agricultura (ESALQ/USP), por fornecer os meios necessários para a realização desse trabalho.

À Fundação de Amparo à Pesquisa no Estado de São Paulo - FAPESP, pela bolsa concedida.

REFERENCIAS

- BALLESTER, M. V. R.; MARTINELLI, L. A.; KRUSCHE, A. V.; VICTORIA, R. L.; BERNARDES, M. & CAMARGO, P. B. Effects of increasing organic matter loading on the dissolved O₂, free dissolved CO₂ and respiration rates in the Piracicaba river basin, southeast Brazil. *Water Research*, 33(9):2119-2129. 1999.
- BURN, D.H. Hydrologic effects of climatic change in west-central Canada. *Journal of Hydrology*, 160, pp. 53-70, 1994.

- CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, site, 2002.
- CLEVELAND, W. S. Robust locally weighted regression and smoothing scatterplots. *Journal of the American Statistical Association* 74 (368), 829-836.
- COMBER, S.; GARDNER, M. An assessment of trends in European environmental data for mercury and chlorinated organic compounds in water and biota. *The Science of the Total Environment*, vol. 243/244, pp. 193-201, 1999.
- CUN, C.; VILAGINES, R. Time series analysis on chlorides, nitrates, ammonium and dissolved oxygen concentrations in the Seine river near Paris *The Science of the Total Environment*, vol. 208, pp. 59-69, 1999.
- EVANS, C.; DUNN, A. Surface water acidification in the South Pennines II. Temporal trends. *Environment Pollution*, vol. 109, pp. 21-34, 2000.
- FORESTER, D.L. *Water Quality in the Credit River 1964-1998*, Institute for Environmental Studies, University of Toronto, 2000.
- GOLDSTEIN, E.G. Testes de Toxicidade de efluentes industriais. *Ambiente*, 2(1):33-38, 1988.
- GROPPO, J. D.; MILDE, L. C.; MORAES, J. M.; GUANDIQUE, E. M.; MARTINELLI, L. A. Análise da e da precipitação na bacia do rio Piracicaba: Detecção de sinais devido a intervenções antrópicas. *Revista de Ciência e Tecnologia*, 2001, vol. 9, nº 18.
- HIPEL, K. W.; MCLEOD, A. D. Times Series Modelling of Water Resources and Environmental Systems, *Developments in Water Science* 45, 1994.
- HIRSCH, R. M.; ALEXANDER, R. B.; SMITH, R. A. Selection of methods for the detection and estimation of trends in water quality. *Water Resources Research*, vol. 27, nº 5, pp. 803-813, 1991.
- HIRSCH, R. M.; SLACK, R. J.; SMITH, R. Techniques of Trend Analysis for Monthly Water Quality Data. *Water Resources Research*, vol. 18, nº 1, pp. 107-121, 1982.
- KRUSCHE, A. V.; CARVALHO, F. P.; MORAES, J. M.; BALLESTER, M. V. R.; HORNINK, S.; MARTINELLI, L. A.; VICTORIA, R. L. Spatial and temporal water quality variability in the Piracicaba river basin, Brazil. *Journal of the American Water Resources Association*, vol. 33, nº 5, October 1997.
- KRUSKAL, W. H.; WALLIS, W. A. Use of ranks on one-criterion variance analysis. *Journal of the American Statistical Association* 47, pp.583-621, 1952.
- LANGLAND, M.J.; EDWARDS, R.E.; DARRELL, L.C. Status Yields and Trends of Nutrients and Sediment and Methods of Analysis for the Nontidal Data-Collection Programs, Chesapeake Bay Basin, 1985-96. U.S. Geological Survey, Open-File Report 98-17, 1998.
- LARSEN, S. E.; KRONVANG, B.; WINDOLF, J.; SVENDSEN, L. M. Trends in diffuse nutrient concentrations and loading in denmark: Statistical trend analysis of stream monitoring data. *Water Science Tech...*, vol. 39, nº 12, pp. 197-205, 1999.
- LIKENS, G.E.; BORMANN, F. H.; PIERCE, R.S.; EATON, J.S. *Biogeochemistry of a Forested Ecosystem*. Springer-Verlag. 264 pages. 1977.
- LUNDIN, M.; MOLANDER, S.; MORRISON, G. M. A set of indicators for the assessment of temporal variations in the sustainability of sanitary systems. *Water Science Tech...*, vol. 39, nº 5, pp. 235-242, 1999.
- MAASDAM, R.; CLAASSEN, T. H. L. Trends in water quality and algal growth in shallow frisian lakes, the Netherlands. *Water Science Tech...*, vol. 37, nº 3, pp. 177-184, 1998.
- MARTINELLI, L. A.; KRUSCHE, A. V.; VICTORIA, R. L.; CAMARGO, P. B.; BERNARDES, M.; FERRAZ, E. S.; MORAES, J. M. & BALLESTER, M. V. Effects of sewage on the chemical composition of Piracicaba River, SouthEast Brazil. *Water, Air and Soil Pollution*, 110:67-69. 1999.
- MARTINELLI, L.A.; SILVA, A. M.; CAMARGO, P. B.; MORETTI, L. R.; TOMAZELLI, A. C.; SILVA, D. M. L.; FISCHER, E. G.; SONODA, K. C.; SALOMÃO, M. S. M. B. Levantamento das cargas orgânicas lançadas nos rios do Estado de São Paulo, *Biota Neotropica*, volume 2, 2002.
- MCLEOD, A. I.; HIPEL, K. W. *Reference Manual, The McLeod-Hipel Time Series Package*, 1994. 117 p.
- MCLEOD, A. I.; HIPEL, K. W.; BODO, B. A. Trend analysis methodology for water quality time series. *Environmentalmetrics*, vol. 2, nº 2, 1991.
- MORAES, J. M.; PELLEGRINO, G. Q.; BALLESTER, M. V.; MARTINELLI, L. A.; VICTORIA, R. L.; KRUSCHE, A. V. Estudo Preliminar da Evolução Temporal dos Componentes do Ciclo Hidrológico da Bacia do Rio Piracicaba". In: XI Simpósio de Recursos Hídricos e do II Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos países de Língua Oficial Portuguesa, Recife, PE, 1995. Anais-Porto Alegre: ABRH, 1995 pp.27-32.
- MORAES, J. M.; PELLEGRINO, G. Q.; BALLESTER, M. V.; MARTINELLI, L. A.; VICTORIA, R. L.; KRUSCHE, A. V., Trends in hydrological parameters of a southern Brazilian watershed and its relation to human induced changes, *Water Resources Management*, vol. 12, 295-311pp, 1998.
- OMETTO, J. P. H. B.; MARTINELLI, L. A.; BALLESTER, M. V. R.; GESSNER, A.; KRUSCHE, A. V.; VICTORIA, R. L. & WILLIAMS, M. Effects of land use on the water chemistry and macroinvertebrates in two streams of the Piracicaba river basin, south-east Brazil. *Freshwater Biology*, 44:327-337. 2000.
- OSBURN, W.; TOTH, D.; BONIOL, D. Springs of the St. Johns River water management district. *Water Management District St. Johns River Report SJ2002-5*, 2002.

- PARK, G. S.; PARK, S. Y. Long-term Trends and Temporal Heterogeneity of Water Quality in Tidally Mixed Estuarine Waters. *Marine Pollution Bulletin*, vol. 40, n° 12, pp. 1201-1209, 2000.
- PELLEGRINO, G. Q., Análise espaço temporal de dados hidrológicos da bacia do rio Piracicaba, Piracicaba, 1995.
- PETTITT, A. N. A non-parametric approach to the change-point problem. *Appl. Statist.* 28, 2, pp. 126-135, 1979.
- SÃO PAULO, 1993. Secretária do Meio Ambiente. Relatório de qualidades de águas interiores do Estado de São Paulo 1992, São Paulo, CETESB. 225pp.
- SEN, P. K., Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau, *J. Am. Statist. Assoc.*, 63, 1379-1389, 1968.
- STUMM, W. & MORGAN, J.J. *Aquatic Chemistry*. Wiley-Interscience, New York. 1022 pags. 1996.
- TUKEY, J. *Exploratory data analysis*. Addison-Wesley, Reading, Massachusetts, 1977.

that in general water quality degradation occurs in most of the basins, represented by the positive trends of parameters BOD, nitrogen, nitrate, ammonia, total phosphorus, chloride and fecal coliforms, and the negative trend of the dissolved oxygen parameter.

Key-words: Trend Series, Time series, water quality

Trend Analysis Of Water Quality Parameters In The Piracicaba River Basin

ABSTRACT

knowledge of time trends of water quality is important for the environmental diagnosis of hydrographic basins. This allows the evaluation of qualitative water body responses to increasing anthropogenic interventions over the years. This study aims to characterize the water quality of Piracicaba river basin, using stations monitored by CETESB (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental), in the period from 1979 to 2001. The biogeochemical parameters evaluated concerning the time trend and magnitude were: dissolved oxygen (DO), biochemical oxygen demand (BOD), total nitrogen, nitrate, ammonia, total phosphorus, chloride and fecal coliforms. Time trend analysis requires a specific methodology. since the time series obtained are not normally distributed, the sampling is performed irregularly. The data may present seasonal periodicities and dependence on the rivers discharges. This methodology is divided into graphical analysis and application of trend tests in which, initially, an exploratory analysis of data is performed, followed by confirmation through statistical tests. The results showed