

A qualidade da água na microbacia hidrográfica do Ribeirão Canchim, São Carlos, SP, ocupada por atividade pecuária.

PRIMAVESI, O. , FREITAS, A.R., OLIVEIRA, H.T. & PRIMAVESI, A.C.P.A.

Centro de Pesquisa de Pecuária do Sudeste/EMBRAPA, Rod.Washington Luiz, km 234 - Caixa Postal 339 - São Carlos, SP CEP 13560-970, E-mail: odo@cppse.embrapa.br

RESUMO: A qualidade da água na microbacia hidrográfica do Ribeirão Canchim, São Carlos, SP, ocupada por atividade pecuária. Foi estudado o impacto de atividade pecuária extensiva e intensiva sobre a qualidade de água na microbacia hidrográfica do Ribeirão Canchim, São Carlos, SP. Por dois anos realizaram-se amostragens mensais de água em seis pontos: nascente em mata mesófila semidecídua e nascente em pastagem, vertedouros de dois açudes e trechos a montante e na foz do Ribeirão. Os resultados mostraram diferenças ($p < 0,01$) entre os pontos de coleta, sendo as variáveis que melhor diferenciaram os pontos e seus manejos, podendo ser utilizadas como indicadores de qualidade: cor verdadeira, dureza, turbidez, condutividade elétrica, alcalinidade, pH, demanda química de oxigênio e oxigênio consumido. As águas da microbacia hidrográfica do Ribeirão Canchim atenderam aos requisitos da legislação para a classe 2 para a maioria das variáveis, na maior parte do tempo. A água da nascente da mata foi a menos contaminada. A presença de coliformes fecais aumentou nos períodos chuvosos. Os teores de fósforo, exceto na nascente da mata (oligotrófico), apontaram para um grau de trofia na classe eutrófica, mesmo em áreas sujeitas a práticas conservacionistas consideradas adequadas. Não se observou correlação do teor de nitrato com áreas mais intensamente manejadas.

Palavras-chave: Microbacia hidrográfica, qualidade de água, atividade pecuária, pastagens, manejo intensivo.

ABSTRACT: Water quality of Canchim's creek watershed, São Carlos, SP, Brazil, occupied by beef and dairy cattle activity. The Canchim's creek watershed, São Carlos, SP, Brazil, was chosen to evaluate the water quality affected by pasture managed dairy and beef cattle production systems. During two years, water samples were collected monthly at the following sampling points: spring in a tropical forest, spring in an intensive dairy production system, two dam outlets, and stream water upward and before the delta. The results showed differences ($p < 0.01$) among the sampling points. True color, hardness, turbidity, electric conductivity, alkalinity, pH, chemical oxygen demand and consumed oxygen explained well the differences among the sampling points. The water attended the legislation standards for class 2 for most of the variables, in most of the time. The spring water in the forest was the less contaminated. The presence of fecal coliforms increased in the rainy season. The higher levels of total phosphorus, except in the forest spring, include this water system in an eutrophic class, also where the soil and water conservation practices were considered adequate. It could not be verified any correlation between intensively managed areas and the nitrate level in the water.

Key-words: Watershed, water quality, livestock, pasture, intensive management.

A região Sudeste, ocupando 924,9 mil km² (10,87% da área do Brasil), possui 43,8% da população humana do país. A agropecuária ocupa 58 milhões de hectares (580 mil km²), sendo 74% de pastagens e 26% destinados à atividade agrícola (IBGE, 1990). Devido ao elevado preço das terras e à competição por atividades mais lucrativas ocorre intensificação da produção por unidade de área e tempo, aumentando o risco de deterioração da qualidade ambiental da Região, a qual já possui 70% de sua área produtiva em processo de degradação.

O acompanhamento e a avaliação da qualidade da água de bacias e microbacias hidrográficas, procurando detectar o nível de impacto difuso das atividades agrícolas, as causas e as práticas para reduzir ou evitar tais impactos deletérios, foram intensamente implementados no exterior. No Brasil predominam trabalhos de caracterização limnológica, levando-se em consideração aspectos do uso e ocupação do solo nas bacias de drenagem dos cursos d'água estudados, apontando também para a estreita relação entre os recursos terra/solo e água (Maler et al., 1992; Sé, 1992; Rios, 1993; Santos 1993a,b; Teixeira, 1993; Pião, 1995; Rios & Callijuri, 1995; Salati, 1996)

Na Embrapa Pecuária Sudeste existe um sistema experimental intensivo de produção de bovinos de leite a pasto, que se caracteriza por utilizar elevada quantidade de insumos e alta taxa de lotação animal por unidade de área, que resulta em elevada deposição de fezes na pastagem, o que pode se constituir em fonte difusa de poluição de corpos de água. Este sistema está servindo como exemplo multiplicador para produtores de leite de vários estados do país, exigindo que o mesmo atenda a requisitos de sustentabilidade.

Os objetivos deste trabalho foram: quantificar o impacto que um sistema intensivo de produção de leite, localizado na cabeceira da microbacia hidrográfica (MBH) do Ribeirão Canchim, pode provocar sobre a qualidade da água, comparativamente a outras áreas de manejo; verificar a qualidade da água que sai da MBH; verificar a qualidade da água de nascente utilizada para consumo humano; encontrar as variáveis que melhor discriminam diferentes pontos de coleta. Para isso, foram determinadas 24 variáveis com o intuito de relacioná-las com o grau de impacto antrópico sobre a área de captação, bem como de avaliar a hipótese de contaminação por nitrato, na nascente localizada em pastagem intensamente adubada, e por fósforo, nos corpos de água superficiais, devido ao escoamento superficial e erosão nas áreas agrícolas com má conservação de solo. Foi avaliada, ainda, a utilidade da determinação do carbono orgânico total dissolvido para a discriminação de áreas submetidas a diferentes manejos.

Material e métodos

Descrição física da região, variáveis e periodicidade de coleta

A área de estudo foi a da microbacia hidrográfica (MBH) do Ribeirão Canchim, considerado como de 3º ordem, segundo critérios apresentados por Strahler, citado por Villela e Mattos (1977), com uma malha fluvial de 20.350 m. Está localizada na Fazenda Canchim, base física da Embrapa Pecuária Sudeste (CPPSE), a 15 km da sede do Município de São Carlos, SP, entre as cotas altimétricas de 680 e 911 m, as latitudes 21°54' e 22°00' S e longitudes 47°52' e 47°48' W, com área de 14,65 km². Limita-se a montante (SW) com o divisor de águas entre as bacias hidrográficas dos rios Pardo-Mogi e Tietê-Jacaré. O Ribeirão Canchim deságua no Ribeirão dos Negros e este na represa denominada "km 29", na bacia do rio Mogi-Guaçu. A MBH é ocupada por fragmentos de mata mesófila semidecídua, nas cotas mais elevadas, e

por vegetação de cerrado, cerradão e mata ciliar, nas cotas mais baixas. No restante da área há transição de ambas, entremeada por pastagens, cana-de-açúcar e milho, este último em produção intensiva para silagem, além de áreas com construções e vias de acesso.

O Ribeirão Canchim tem sua nascente (lado leste; ponto de coleta nº 1, ou nascente da mata; (Fig. 1) à beira da mata próximo ao divisor de águas. A nascente aflora no encontro de Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, textura argilosa (LVd) e Latossolo Vermelho-Escuro distrófico, textura argilosa (LEd), continuando o seu leito por Latossolo Roxo distrófico, textura argilosa (LRd) e Terra Roxa Estruturada eutrófica, textura argilosa (TRe). Neste percurso passa por açude que sofre intenso assoreamento e pelo ponto de coleta nº 4 (água corrente cavaliariça), sob ponte, a 2.000 m da nascente da mata. Este trecho tem como entorno áreas de lavoura e de pastagem e uma faixa ripária incipiente na margem direita, havendo caminhos pre-

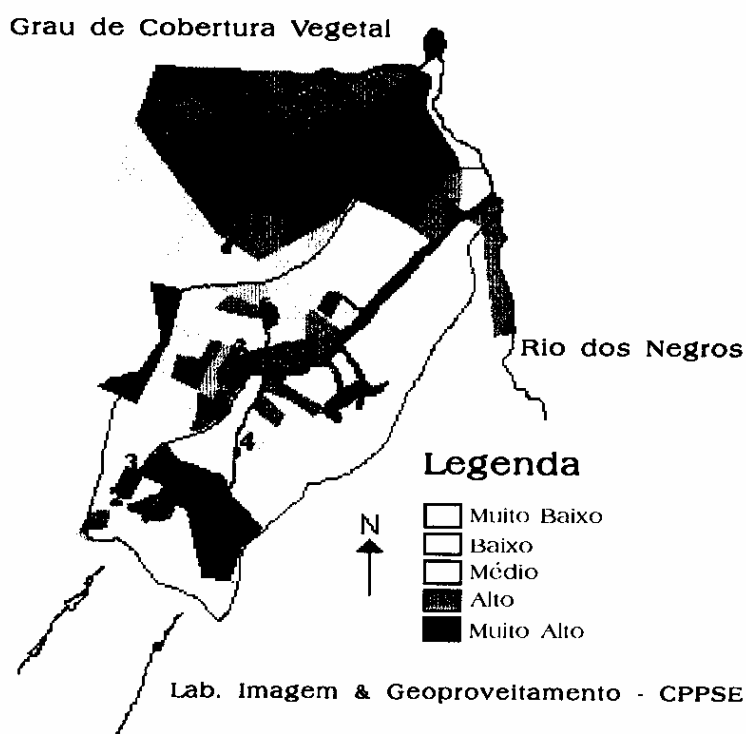


Figura 1: Inserção da microbacia do Ribeirão Canchim na fazenda Canchim, o grau de cobertura vegetal do solo, e os pontos de coleta de água.

ferenciais de escoamento superficial de água. Também possui estábulos de equinos na margem esquerda e descarga eventual de fossa séptica, bem como presença contínua de capivaras, a montante do ponto de coleta nº 4. Logo após este ponto, o Ribeirão Canchim despenca 20 m por rocha exposta de diabásio, recebendo o córrego do Sistema, e este o córrego do Pique (vindo de lagoa), em região de afloramento de rocha de diabásio, continuando por calha formada por Areia Quartzosa hidromórfica, onde recebe águas de três pequenos afluentes, e finalmente flui por solo orgânico (Calderano Filho et al., 1998). Nesta parte baixa, de relevo mais plano tem como entorno áreas de pastagens manejadas extensivamente, ocorrendo presença de mata ciliar, até a foz (ponto de coleta nº 6, ou água corrente na foz), sob ponte.

Seu afluente maior, o córrego do Sistema, nasce (lado oeste; ponto de coleta nº 2, ou nascente do sistema) no interior de um sistema intensivo de produção de leite do tipo B. Este sistema é circundado por área de pastagem, nas quais ocorre o uso intensivo de fertilizantes (nitrogenados, fosfatados e potássicos) e de calcário, bem como elevada lotação animal a pasto. A nascente aflora em Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, textura média (LVd), passa por açude, com presença de aguapés muito vigorosos, em cujo vertedouro estabeleceu-se o ponto de coleta nº 3 (açude do sistema). Este ponto situa-se a 500 m da nascente, tendo seu entorno isolado do acesso animal por faixa ripária de 50 m, não havendo presença de caminho ou trilha para o escoamento superficial preferencial de água. O córrego continua seu leito em Terra Roxa Estruturada eutrófica, textura argilosa (TRe), tendo como entorno áreas de pastagem, por vezes degradadas, e de atividades agrícolas, com proteção de vegetação ciliar incipiente do lado esquerdo, passando por açude, em cujo vertedouro estabeleceu-se o ponto de coleta nº 5 (açude da colônia). Este situa-se a 1.500 m da nascente e nele se verifica intenso processo de assoreamento. Entre os pontos 3 e 5 ocorre eventualmente acesso de animais e descarga de fossa séptica.

Na segunda terça-feira de cada mês, nos seis pontos selecionados, foram coletadas as amostras de água, no período da manhã (8,30 às 10,30 horas). Foram utilizados frascos esterilizados de 200 mL para as determinações de Col e Colf e frascos de plástico de dois litros para as análises das demais variáveis (Tab.I). Imediatamente após a coleta, as amostras foram enviadas para o laboratório. As metodologias utilizadas são descritas em APHA (1992).

Tabela I: Variáveis analisadas no período de 13.3.96 a 11.3.98.

Variável	Sigla utilizada	Observação
Coliformes totais	Col	
Coliformes fecais	Colf	
Demanda química de O ₂	DQO	digestão c/ solução conc. dicromato de K + H ₂ SO ₄
Demanda bioquímica de O ₂	DBO ₅	incubação por 5 dias
O ₂ consumido	Oxco*	digestão c/ permanganato K + H ₂ SO ₄
Carbono orgânico total	TOC	dissolvido na água
Temperatura da água	Temp	
Potencial hidrogeniônico	pH	
Alcalinidade	Alca	
Dureza	Dure	
Condutividade elétrica	Cond	
Cloro dissolvido	Cl	
Nitrato	NO ₃	
Fósforo total	PO ₄	digestão com persulfato de K
Ferro total	Fe	
Manganês total	Mn	
Cor aparente	Coa	
Cor verdadeira	Cov	= Coa menos as impurezas que causam turbidez
Turbidez	Turb	
Sólidos sedimentados	Ssed	
Sólidos suspensos fixos	Ssuf	= STS - Ssuf
Sólidos suspensos voláteis	Ssuv	= STF - Ssuf
Sólidos dissolvidos fixos	Sdf	= STV - Ssuf
Sólidos dissolvidos voláteis	Sdiv	= STV - Ssuv

Nota: Sólidos totais (ST) - sólidos totais calcinados a 600°C (= sólidos totais fixos; STF) = sólidos totais voláteis (STV); fração do ST retida por membrana de microfibras = sólidos totais suspensos (STS); fração de STS calcinada a 500°C = sólidos suspensos fixos (Ssuf). (*) O método do Oxco é mais sensível que o do DQO na determinação de material orgânico em águas limpas ou pré-tratadas, sendo o DQO e DBO adequados para águas poluídas, que recebem efluentes domésticos e/ou industriais.

A partir de dados meteorológicos coletados no CPPSE, foi calculado o balanço hídrico climático, considerando-se: o volume de água pluvial (Chuva), o grau de saturação do solo (Solo), sendo saturação máxima de 100 mm/m, e o excedente hídrico (Exc), relacionado com o escoamento superficial de água, existentes no 1º, 3º, 5º, 7º, 11º, 15º e 20º dias anteriores às datas de amostragem, para avaliar a provável origem da contaminação pela água, se escoada superficialmente ou se infiltrada no lençol freático. Os volumes de Chuva nos 20 dias anteriores às datas de coleta nos 24 meses foram: 1-192, 2-34, 3-11, 4-11, 5-16, 6-16, 7-94, 8-37, 9-119, 10-84, 11-91, 12-76, 13-23, 14-0, 15-175, 16-0, 17-0, 18-0, 19-75, 20-129, 21-97, 22-93, 23-225, 24-223 mm.

Estatística descritiva

Para a análise estatística, os dados determinados (y_i , $i=1,2,\dots,n$) foram inicialmente padronizados na escala $z_i = (y_i - \bar{y}_i)/s$, sendo " \bar{y}_i " a média e "s" o desvio padrão, para remover os efeitos de escala de medidas e possibilitar comparações das variáveis na mesma unidade.

Análise de componentes principais

Para investigar o parentesco entre as variáveis padronizadas " z_i " foi usada a técnica de componentes principais por meio do procedimento Princomp do SAS (SAS Institute, 1993).

Resultados

Na Tab. II apresentam-se as médias das variáveis analisadas durante os 24 meses, nos seis pontos de coleta. Apresentam-se, ainda, os valores médios, mínimos e máximos das variáveis agrupadas. Verificou-se que o ponto 1 apresentou as menores médias para a maioria das variáveis, enquanto que o ponto 4, as maiores. Esses resultados são confirmados também nas Fig. 2 a 5, a qual apresenta a distribuição temporal dos valores das variáveis na escala " z_i " (normalizada). A variável que mais sugeriu a ocorrência de variações espaciais entre os pontos de coleta foi a Cond seguida de Fe, Tur, Coa, pH, Alca, Dure e NO_3 .

Os resultados da análise de componentes principais (Tab. III e IV), considerando todas as variáveis, resumiram satisfatoriamente os dados, pois apenas três componentes explicaram 52% da variabilidade total entre os pontos de coleta. Os dois primeiros componentes responderam por 44% da variabilidade total existente. Somente onze variáveis apresentaram coeficiente maior que 0,20, na componente com maior autovalor (Tab. IV).

Na Fig. 6, envolvendo os dois primeiros componentes principais (Prin1 e Prin2), na qual aparecem as projeções temporais das características dos seis pontos de coleta, verificou-se clara discriminação entre os pontos de coleta 1, 2, 3 e 4. Os pontos 1 e 4 apresentaram as características extremas. A nascente da mata (ponto nº 1), protegida, apresentou os valores mais baixos para as variáveis, bem como a menor variabilidade dos valores ao longo dos meses, sendo que a nascente do sistema (ponto nº 2), ainda pouco protegida, apresentou grande variabilidade temporal. O ponto nº 3, açude do sistema, protegido por faixa de vegetação ripária, apresentou pequena variabilidade temporal dos valores, e o açude da colônia, ponto nº 5, com pouca proteção por faixa de vegetação ripária incipiente, apresentou grande variabilidade temporal. No ponto de coleta 4, em água corrente, ocorreu a maior flutuação mensal para as variáveis. Esse ponto sofreu impacto de atividade agrícola, estando com proteção semelhante ao do ponto 5, porém muito menor que do ponto nº 6 (fóz do Ribeirão), montante do qual a maior parte das margens estão cobertas por mata ripária. Surpreendeu a amplitude de variação da qualidade da água do ponto 2 e a maior estabilidade no ponto 3, visto que ambos são contornados por uma faixa

ripária de 50 m, que talvez seja insuficiente para proteger a nascente. Estas informações são corroboradas pela análise visual das médias das variáveis apresentadas inicialmente (Tab. II e Fig. 2 a 5).

Tabela II: Média dos valores determinados (y), dos seis pontos de coleta, e média, mínimo e máximo por variável.

Variáveis		1	2	3	4	5	6	geral		
								média	mínimo	máximo
Col	NMP/100 mL	2411	4478	8058	16175	14463	14463	12436	4	241920
Colf	NMP/100 mL	11	611	315	1295	653	653	759	0	8600
DQO	mg/L de O ₂	0,7	9,5	11,5	14,6	11,6	11,6	11,1	0,0	67,0
DBO	mg/L de O ₂	0,3	1,7	2,8	3,8	2,5	2,5	2,5	0,0	32,0
Oxco	mg/L de O ₂	0,2	2,1	2,6	2,5	2,2	2,2	2,0	0,0	10,0
TOC	mg/L de C	3,7	4,1	4,7	4,4	3,8	3,8	4,3	0,3	14,7
Temp	°C	21,9	21,0	22,2	21,3	20,8	20,8	21,5	15,5	27,0
pH		5,3	5,5	6,4	6,4	6,5	6,5	6,1	4,2	7,4
Alca	mg/L de CaCO ₃	4,0	4,0	10,6	13,0	13,1	13,1	9,5	0,0	17,0
Dure	mg/L de CaCO ₃	1,2	1,3	6,5	9,2	8,6	8,6	5,9	0,0	12,0
Cond	µS/cm	10,6	5,8	16,3	26,2	23,6	23,6	17,7	4,0	30,6
Cl ₂	mg/L de Cl	0,3	0,7	0,9	2,2	1,5	1,5	1,2	0,0	19,0
NO ₃	mg/L de N	0,17	0,24	0,24	0,73	0,55	0,60	0,42	0,0	5,10
	(mínimo)	0,00	0,00	0,03	0,30	0,16	0,20			
	(máximo)	0,64	1,46	0,55	1,33	1,10	5,10			
PO ₄	mg/L de PO ₄	0,02	0,05	0,14	0,11	0,10	0,07	0,08	0,0	0,80
	(mínimo)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
	(máximo)	0,11	0,30	0,80	0,80	0,33	0,18			
Fe	mg/L de Fe	0,0	0,4	0,1	1,3	0,9	0,9	0,6	0,0	2,3
Mn	mg/L de Mn	0,001	0,001	0,002	0,010	0,007	0,003	0,004	0,0	0,060
Coa	mg/L de Pt	3,5	31,2	44,1	95,3	65,8	65,8	52,4	2,5	202,0
Cov	mg/L de Pt	2,6	9,6	19,0	47,5	34,7	34,7	25,0	2,5	91,0
Tur	NTU	0,5	7,9	9,2	18,8	14,8	14,8	11,0	0,2	68,0
Ssed	mL/L	0,0	0,2	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	2,5
Ssuf	mg/L	1,7	6,8	6,0	7,1	7,9	7,9	5,8	1,0	37,0
Ssuv	mg/L	1,3	4,1	5,0	4,7	4,7	4,7	4,1	1,0	16,0
Sdif	mg/L	7,3	7,3	9,6	12,9	14,7	14,7	10,7	1,0	71,0
Sdiv	mg/L	12,9	14,5	25,7	24,0	21,6	21,6	19,3	1,0	90,0

Obs: NMP = número mais provável. PO₄ x 0,326 = P, mg/L; Alca: mg/L/50 = meq/L de CaCO₃; STD = Sdif+Sdiv; STS = Ssuf+Ssuv; ST = Ssuf+Ssuv+Sdif+Sdiv.

Tabela III: Autovalores da matriz de correlação dos componentes principais.

Componente	Autovalor	Diferença	Proporção	Acumulado
1°	6,27022	5,53533	0,33081	0,33081
2°	2,73488	0,72804	0,10940	0,44020
3°	2,00684	0,12264	0,08027	0,52048
4°	1,88420	0,48446	0,07537	0,59585
5°	1,39974	0,27645	0,05599	0,65184
6°	1,12329	0,16210	0,04493	0,69677
7°	0,96119	0,02854	0,03845	0,73521
8°	0,93265	0,06015	0,03731	0,77252

Analisando a Tab. II e as Fig. 2 a 5, verificou-se que o local de coleta com os valores mais elevados de Tur, Fe, NO₃, DBO e Colf foi o ponto 4, seguido dos pontos 5, 6 e 3, sendo os pontos 4 e 5 aqueles que receberam despejos de fossa. Com relação ao PO₄, o ponto 3 apresentou os maiores valores, seguido dos pontos 4, 5 e 6 (Tab. II). O ponto de coleta 3 apresentou seu maior pulso de PO₄ na décima época de coleta (Fig. 4), ficando os picos seguintes associados aos pontos de coleta

4 e 5, que receberam despejos pontuais. Ocorreu sobreposição da variação do PO_4 nos pontos 4 e 6, ambos de água corrente. O comportamento do ponto 3 pode ser devido à faixa de proteção de 50 m nas margens, com intenso crescimento de gramíneas e a recuperação da mata ciliar, que estaria atuando como filtro (veja estabilidade da Tur, Fe, Ssuf, Sdif, e mesmo NO_3 e Colf), embora não tão eficiente na retenção de PO_4 . Uma análise de correlação simples do PO_4 no ponto 3, indicou significância para com Coa ($r=0,71$, $p<0,01$), Oxco ($r=0,66$, $p<0,01$) e Fe ($r=0,47$, $p<0,05$). Estas relações sugerem a ocorrência de algum processo envolvendo materiais na forma reduzida e/ou atividade biológica e/ou liberação defasada de PO_4 previamente imobilizado com relação às outras variáveis consideradas. Sabe-se que ocorreu aumento na entrada de adubos fosfatados e calcários no sistema de produção de leite (área de drenagem para o ponto de coleta 3) que, saturando ou neutralizando os pontos de retenção no solo, poderia permitir a maior exportação de PO_4 das pastagens. Os valores iniciais de fósforo disponível na camada superficial (5 cm) dos solos de pastagem, de 2 mg/kg, passaram a ser de até 150 mg/kg após a adubação intensiva. Nesta área também ocorreu aumento na produção de biomassa vegetal, constituindo dreno de PO_4 , e a intensificação da lotação animal com aumento da produção de fezes, constituindo fonte. As fezes, porém, pareceram estar sendo retidas pela vegetação ciliar como indicam os valores de Colf. Isso sugeriu ter havido transporte intenso de PO_4 na forma dissolvida (Brunet & Astin, 1998), indicando, também, a necessidade de estudos mais específicos das interações que ocorrem no percurso entre a área de aplicação e o corpo d' água receptor. O uso intenso de detergentes para a limpeza de pátios e equipamentos de ordenha talvez possa ter contribuído de alguma forma com os resultados de PO_4 . Por sua vez, os pontos de coleta 4 e 5 estão mais expostos ao acesso de animais, à descarga pontual de fossas sépticas ou de fezes oriundas de áreas de maior confinamento animal e às descargas pontuais de escoamento superficial de águas pluviais por caminhos e trilhas. Além disso, estes dois pontos estão com seus entornos menos protegidos de descargas difusas pela faixa de vegetação ripária incipiente.

Tabela IV: Coeficientes das variáveis dos cinco primeiros componentes principais.

Variáveis	1°	2°	3°	4°	5°
Cov*	0,297928	-0,074832	0,151366	-0,088603	0,004831
Tur*	0,298040	0,188995	-0,055138	0,101773	0,068767
Coa*	0,293367	0,028561	0,160435	-0,168436	-0,104958
Dure*	0,289801	-0,238576	-0,032087	-0,023905	-0,056860
Cond*	0,288016	-0,254112	0,018465	-0,010262	0,019725
Alca*	0,268576	-0,251520	-0,040130	-0,064082	-0,075375
Fe*	0,264996	-0,075895	0,098098	-0,038544	0,231395
pH*	0,251237	-0,153455	0,001155	-0,057206	-0,180420
DQO*	0,224925	0,194128	-0,249905	-0,133141	0,055797
Oxco*	0,218016	0,219645	0,193100	-0,113237	-0,276559
Ssuv*	0,200959	0,312428	-0,172349	-0,052740	-0,146496
Colf	0,175127	0,225665	0,209005	0,327391	0,319893
DBO	0,173380	0,117559	-0,300000	-0,212830	0,056661
Col	0,162784	0,091439	0,330129	0,177370	0,327673
Ssuf*	0,160775	0,271947	-0,328920	0,077451	-0,148598
Clo*	0,156785	0,129046	-0,271509	0,331036	0,005971
PO_4	0,145536	0,166431	0,293856	-0,169672	-0,239086
NO_3	0,139936	-0,164729	0,089610	0,162291	-0,253970
Mn	0,103730	-0,213327	-0,013758	0,010144	0,474105
Sdif	0,072389	-0,133726	-0,142416	0,434398	-0,075772
Sdiv	0,060209	-0,162062	0,004980	0,360442	-0,139301
Temp	0,056223	0,144745	0,307431	-0,207314	0,204866
Ssed	0,048041	0,353937	-0,089838	0,205368	0,177593
TOC	0,027292	-0,036663	0,274419	0,381664	-0,276304

Os três primeiros componentes principais, considerando-se somente o conjunto das variáveis (*), explicam 77% da variação total.

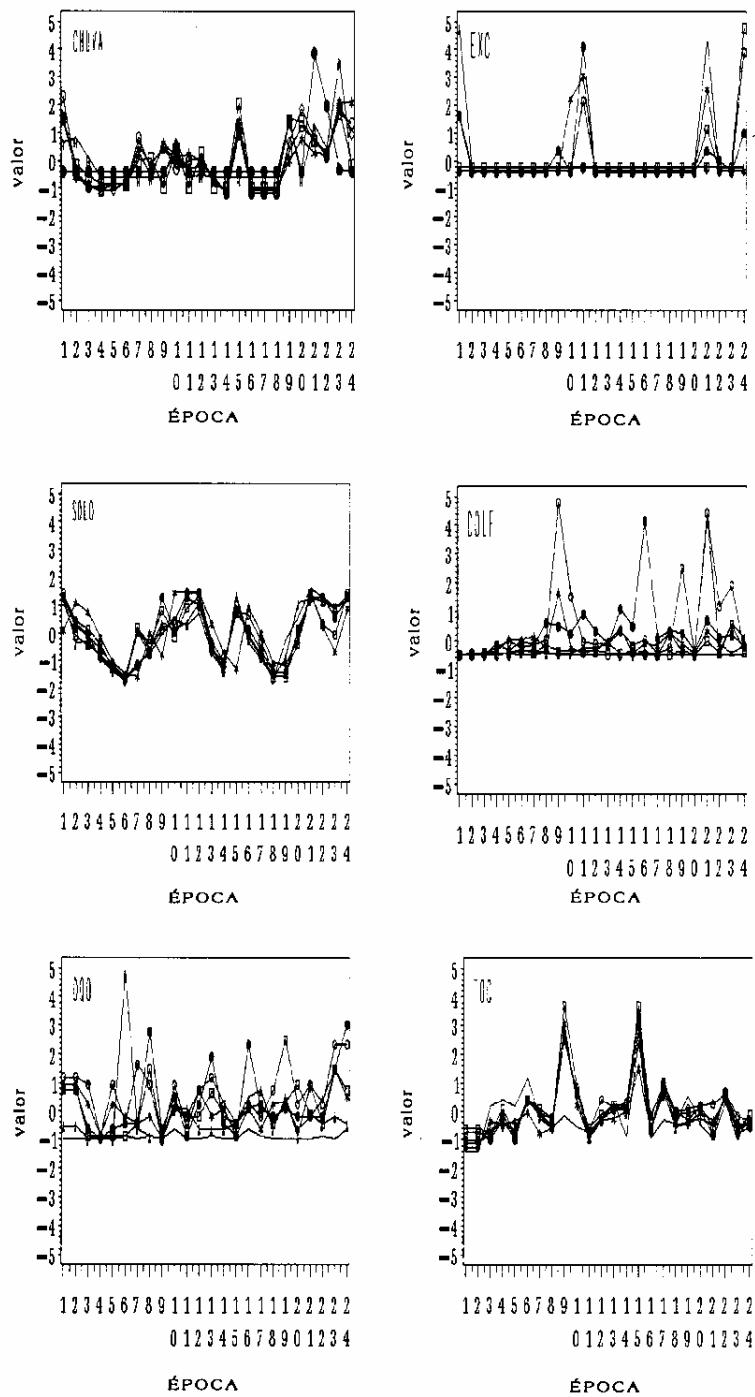
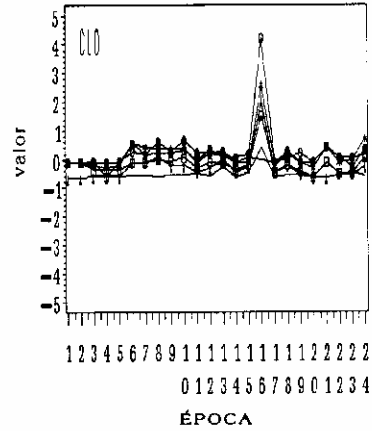
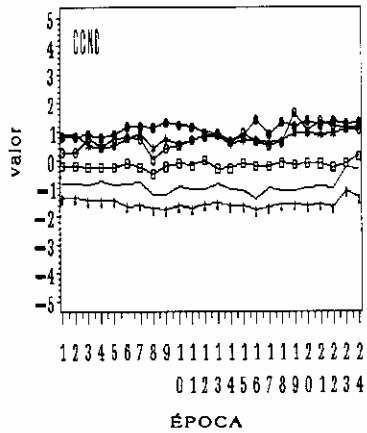
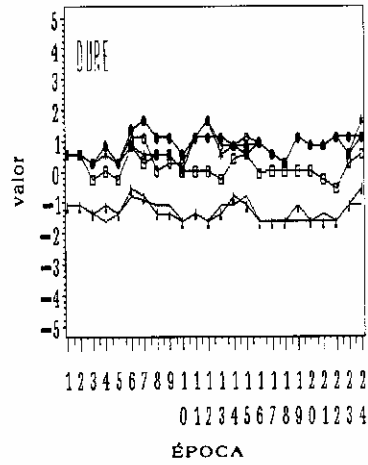
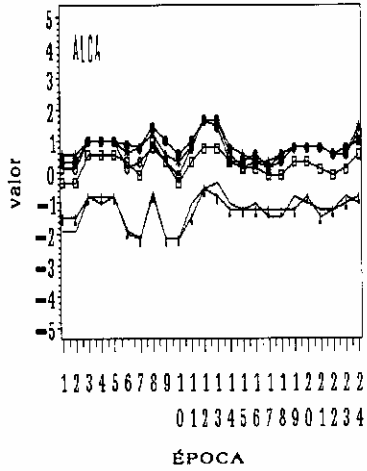
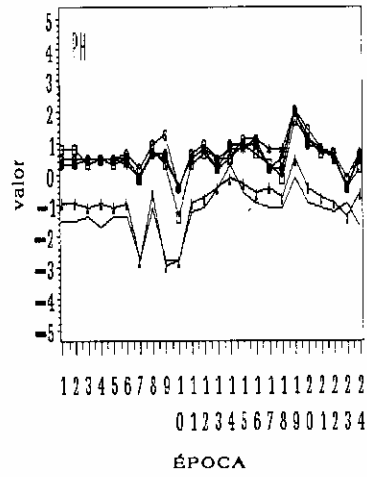
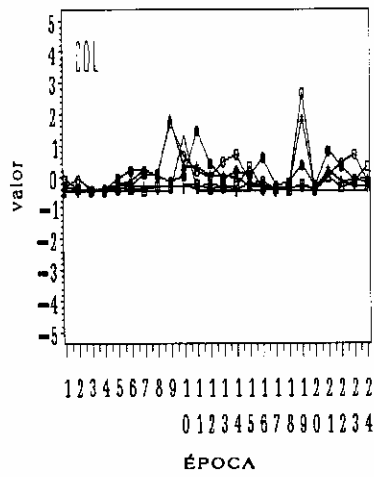


Figura 2: Distribuição temporal de variáveis. As escalas são apresentadas na forma padronizada 'zi', considerando 24 meses (03/96 a 03/98, exceto 01/97) numerados de 1 a 24, em 6 locais: 1. nascente da mata (—), 2. nascente do sistema (—|), 3. açude do sistema (— —), 4. água corrente cavalariça (—●—), 5. açude da colônia (—○—) e 6. água corrente na foz (—X—).



3: Distribuição temporal de variáveis. As escalas são apresentadas na forma padronizada 'Z', considerando 24 meses (03/96 a 03/98, exceto 01/97) numerados de 1 a 24, em 6 locais: 1. nascente da mata (—), 2. nascente do sistema (—|—), 3. açude do sistema (—), 4. água corrente cavalariça (—●—), 5. açude da colônia (—○—) e 6. água corrente na foz (—X—).

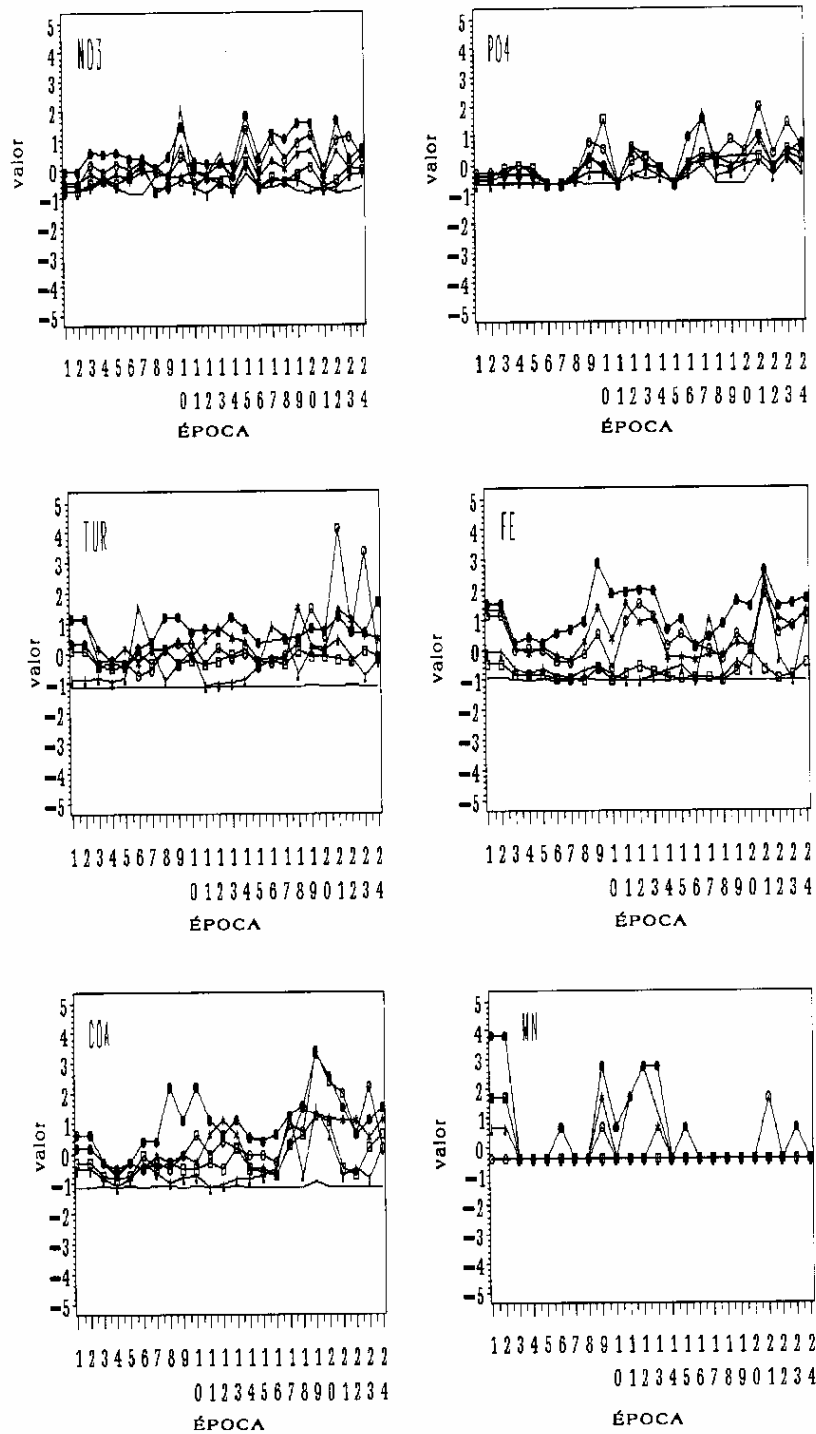


Figura 4: Distribuição temporal de variáveis. As escalas são apresentadas na forma padronizada 'z', considerando 24 meses (03/96 a 03/98, exceto 01/97) numerados de 1 a 24, em 6 locais: 1. nascente da mata (—), 2. nascente do sistema (—□—), 3. açude do sistema (—△—), 4. água corrente cavalariça (—●—), 5. açude da colônia (—◇—) e 6. água corrente na foz (—×—).

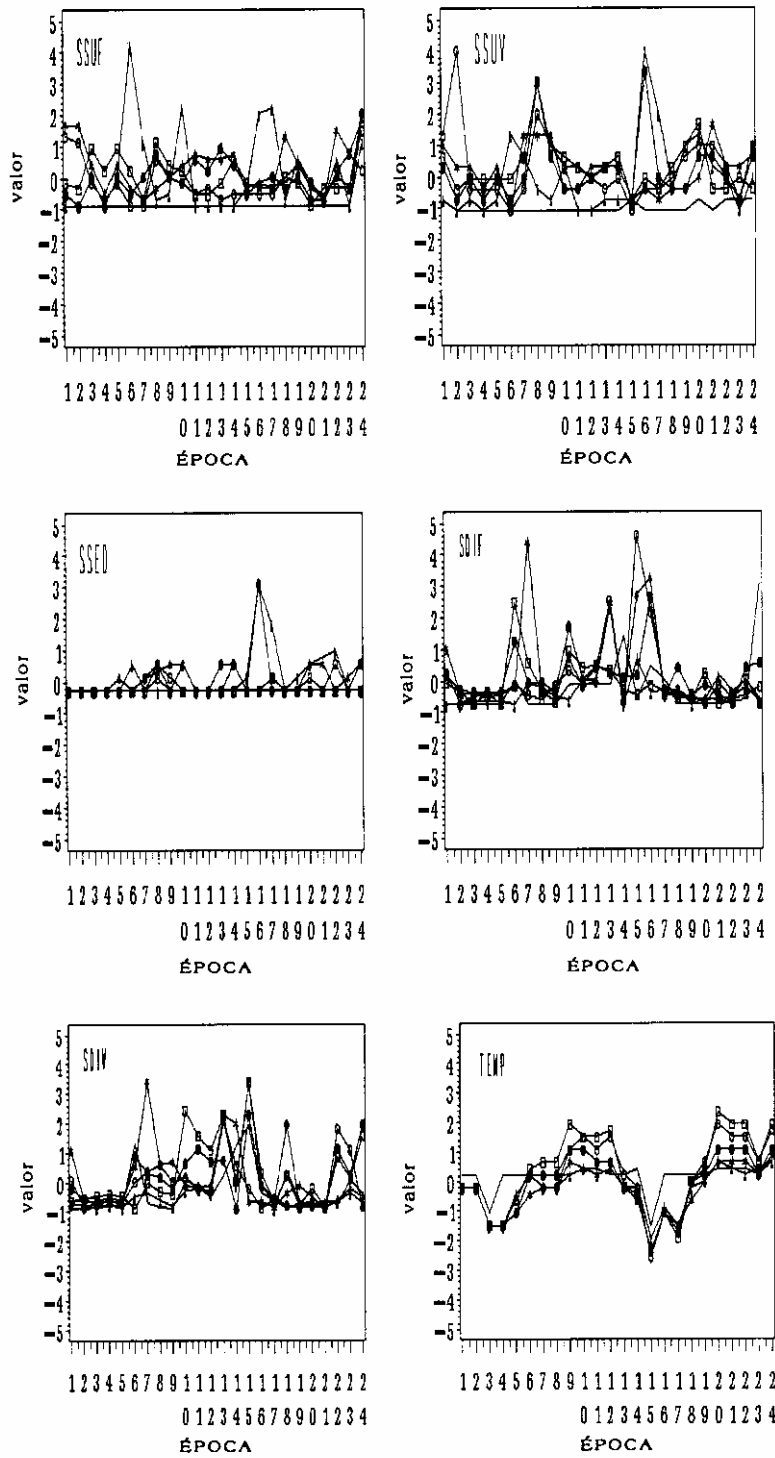


Figura 5: Distribuição temporal de variáveis. As escalas são apresentadas na forma padronizada 'z', considerando 24 meses (03/96 a 03/98, exceto 01/97) numerados de 1 a 24, em 6 locais: 1. nascente da mata (—), 2. nascente do sistema (—|—), 3. açude do sistema (—), 4. água corrente cavalariça (—●—), 5. açude da colônia (—○—) e 6. água corrente na foz (—✕—).

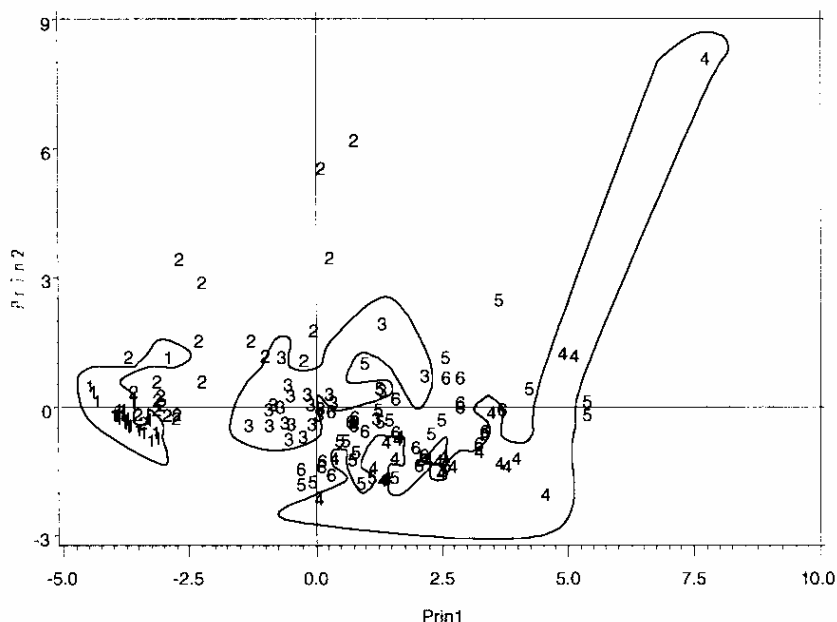


Figura 6: Cruzamento dos componentes principais 1 e 2, com distribuição espacial e temporal dos pontos de coleta.

Para o pH, alcalinidade e dureza ocorreu distinção nítida entre as águas de nascente e as armazenadas ou correntes (Fig. 3), sendo que a condutividade pareceu identificar melhor os diferentes pontos de coleta. Essa última variável talvez seja influenciada mais pelas características químicas do solo por onde a água flui, como sugerem os dados de Fe, cujo óxido é indicador fundamental para diferenciar os tipos de oxissolos (Calderano Filho et al., 1998), do que pelas condições climáticas.

A análise de correlação das variáveis analisadas nos seis locais com as variáveis climáticas, como precipitação pluvial (Chuva), água excedente (Exc), sujeita ao escoamento superficial, e água disponível no perfil do solo (Solo; Fig. 2), gerando encharcamento ou fendilhamento, quando seco, confirmou o transporte de "poluentes" pela água pluvial drenada superficialmente, em especial com os volumes precipitados até 7 dias antes da coleta. Os Col e Colf, o TOC, os Ssed e também o Fe correlacionaram-se com Chuva e Exc. Os valores de Oxco, DQO, PO_4 e Clo, bem como Tur, Coa e Cov correlacionaram-se com Chuva. A correlação da Temp da água com Chuva e Exc, parece óbvia, uma vez que o período de chuvas coincide com o período de dias mais quentes.

Discussão

As águas da MBH do Ribeirão Canchim são águas doces (Cond <750 μ S/cm, ou STD<500 mg/L) (CETESB, 1987), enquadradas como classe 2 (São Paulo, 1977). Comparou-se os resultados das variáveis com os padrões estabelecidos pela legislação ambiental (CETESB, 1987) (Tab. V), verificando-se que em diversos pontos de coleta e épocas do ano a qualidade foge do estabelecido por lei, em especial o ponto de coleta 4. A água exportada da MBH do Ribeirão Canchim pelo ponto 6, na média, atende aos requisitos para águas da classe 2, provavelmente devido ao efeito de autodepuração e de diluição que sofre à montante, a partir das quedas de água, logo após os pontos 4 e 5. A água da nascente, ponto 1, utilizada para consumo humano, necessita de tratamento para controlar as eventuais presenças de coliformes fecais.

Tabela V: Valores limites das variáveis para qualificar as águas doces.

Classe	Colf	DBO	Oxco	Tur	Coa	STD	Clo	Fe	Mn	N-NO ₃	P-PO ₄
	NMP	mg/L	mg/L	UNT	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
1 ⁽¹⁾	**	<3	-	<40	-	<200	<250	<0,3	<0,10	<10	<0,025
2 ⁽¹⁾	<1000	<5	-	<100	<75	<200	<250	<0,3	<0,10	<10	<0,025
3 ⁽¹⁾	<4000	<10	-	<100	<75	<500	<250	<5,0	<0,50	<10	<0,025
potável 1 ⁽²⁾	0	-	<10	<5	<20	<500	<250	<0,3	<0,50	<10	-
potável 2 ⁽²⁾	0	-	<2,0	<5	<5	<500	<100	<0,3	<0,05	<2	-
potável 3 ⁽²⁾	0	-	<3,5	<10	<30	<500	<250	<0,3	<0,05	<2	-

*para consumo = 0, ** para irrigação hortaliças < 200; STD = sólidos totais dissolvidos = Sdiv+Sdif.
 potável 1/2/3= abastecimento público/fonte/poço; P = PO₄ x 0,326. ⁽¹⁾ Resolução CONAMA n° 20 de 18/6/86; ⁽²⁾ Decreto 12.486 de 20/10/87. Fonte: CETESB, 1987

Ocorreram picos de Colf, DBO e Coa em diferentes pontos de coleta, bem como valores de Fe admitidos para a classe 3, além de teores médios de PO₄ acima do permitido na maioria dos pontos de coleta, exceto na nascente da mata (ponto 1).

Comparando os resultados deste trabalho com os citados na literatura para corpos de água da região, Teixeira (1993) informou sobre valores de DQO entre 0 e 174 mg/L no Ribeirão do Feijão, estando os valores deste trabalho situados na faixa inferior. Para Tur, Maier (1987) citou valores entre 4 e 91 NTU e Salati (1996) informou sobre valores máximos de 999 NTU no rio Corumbataí, muito acima dos encontrados aqui (Tab. II). Para a DBO, Maier et al. (1996) encontraram valores máximos de 20,2 mg/L de O₂ e uma mediana de 1,57 mg/L na época chuvosa e de 2,82 mg/L na época seca, no córrego Salto Grande, e que se assemelham aos valores encontrados no Ribeirão Canchim.

Nesta microbacia destacaram-se os valores baixos de pH da água das nascentes, decorrentes de valores baixos de Alca e Dure (Tab. II), o que resulta em água denominada "corrosiva". Esta água somente poderá circular em sistemas hidráulicos de abastecimento ou de refrigeração metálicos quando tratada quimicamente (Loewenthal & Marais, 1976), para torná-la "balanceada", a um pH em torno de 8,5-9,0. Na região, Teixeira (1993) encontrou valores variando entre 4,1 a 7,0 no Ribeirão do Feijão e Santos (1993a) encontrou valores de pH até 7,1, mas um mínimo de 4,2, nos córregos da Água Fria e da Água Quente, com a sugestão de ser este valor devido à intensa decomposição de serapilheira da mata galeria e outros materiais orgânicos. Com relação à Alca, que tem relação com o pH, os valores médios aqui encontrados variaram de 0,08 a 0,26 com máximo de 0,34 meq/L, sendo que Santos (1993b) citou valores entre 0,10 a 0,67 meq/L nos córregos da Água Fria e da Água Quente, Teixeira (1993) de 0 a 1,47 meq/L no Ribeirão do Feijão e Salati (1996) de 0,16 a 0,94 meq/L (=8 a 47 mg/L) com valores médios de 0,34 meq/L no rio Corumbataí.

Do ponto de vista de irrigação na agricultura, a fim de evitar salinização, os valores adequados de Cond devem ser inferiores a 750 µS/cm (Reichardt, 1978). Tal valor não foi ultrapassado em nenhum dos pontos, embora houvesse aumento no valor dessa variável nas águas que atravessaram áreas adubadas, quando comparado com a água das nascentes, especialmente da mata. No aspecto de dessedentação de bovinos o valor considerado nocivo é o de 16,4 µS/cm, eqüivalendo a 10 g/L de NaCl na água (NRC, 1976). No aspecto ambiental, os valores apresentaram-se baixos quando comparados com os resultados obtidos em outros corpos d'água da região: mínimo de 13 µS/cm e média de 86 µS/cm por Santos (1993b) nos córregos da Água Fria e da Água Quente, ou mínimo de 12 µS/cm e máximos entre 147 a 250 µS/cm por Teixeira (1993) no Ribeirão Feijão e Maier et al. (1986) que citaram valores extremos entre 2 e 300 µS/cm, e valores médios entre 12 e 75 µS/cm. O fato da Cond diferenciar bem os pontos de coleta, embora com valores relativamente baixos neste trabalho, também foi observado por Rios & Calijuri (1995) no Ribeirão do Feijão e por Branco & Necchi (1997) nas bacias dos rios Borá, Preto e São José dos Dourados.

Exceto para a nascente da mata, as concentrações de PO_4 foram mais elevadas que os estabelecidos como aceitáveis pela legislação para a classe 2 (CETESB, 1987), situando-se no início da faixa do índice de estado trófico (IET) considerado eutrófico (27 a 53 $\mu\text{g/L}$ de P) com pulsos chegando ao hipertrófico (>212 $\mu\text{g/L}$) (Toledo Jr. et al., 1983). Pela Fig.4, o teor de PO_4 (P total expresso em PO_4) apresentou leve tendência de aumento com o tempo, especialmente no segundo ano, em todos os locais, o que pode ser resultado da maior ocorrência de Chuva neste período, indicando falhas no sistema de conservação de água e solo. Em corpos de água da região, os valores encontrados de PO_4 -total foram um máximo de 420 $\mu\text{g/L}$ (Santos, 1993b) nos córregos da Água Fria e da Água Quente, 800 $\mu\text{g/L}$ (Santos 1993a) a 1137 $\mu\text{g/L}$ (Teixeira, 1993) contra um mínimo de 5 $\mu\text{g/L}$ (Teixeira, 1993) no Ribeirão do Feijão. Às vezes, os valores foram mais elevados no inverno (5 a 327 $\mu\text{g/L}$) que no verão (7-73 $\mu\text{g/L}$) (Salati, 1996), como no rio Corumbataí, ou o inverso, como no córrego Salto Grande (Maier et al., 1992). Neste estudo se deu o último caso, o que pode estar relacionado com a maior taxa de mineralização da serapilheira e liberação de fosfato (Afonso, 1993). A variabilidade do grau de trofia pareceu estar muito relacionada com a variação no manejo das áreas, o que dificultaria a proposta de ordenação definitiva da sub-bacia, como sugerido por Rios & Calijuri (1995). Neste contexto, são necessários trabalhos futuros que estudem os processos envolvidos na perda de fosfato, que parece ser o problema maior para a qualidade das águas e cujo controle ainda não está solucionado.

Embora na análise de componentes principais a variável NO_3 tenha mostrado um coeficiente de participação muito baixo, as curvas apresentadas na Fig. 4, indicam que os teores desse nutriente foram dependentes dos pontos de coleta, ou seja, do manejo da área de captação correspondente, e que houve perdas do mesmo para os corpos d'água. Assim, justificam-se estudos futuros para aprofundar o entendimento da dinâmica do nitrogênio aplicado em áreas agrícolas e os impactos decorrentes nos corpos d'água, por exemplo, analisando as diferentes formas de N. Neste estudo, os valores máximos ficaram bem abaixo do limite permitido pela legislação com enfoque para o abastecimento (CETESB, 1987); porém, do ponto de vista limnológico, as águas podem ser consideradas como meso-eutróficas, mesmo as da nascente na mata, drenada artificialmente para uma caixa de coleta azulejada, afetadas provavelmente pela mineralização da serapilheira, até hipertróficas. Embora não exista classificação quanto ao grau de trofia das águas com relação ao NO_3 , já que muitas vezes a análise isolada do elemento pode levar a interpretações errôneas, dados bibliográficos regionais (Odete Rocha, com. pess.) indicam que podem ser consideradas águas oligotróficas aquelas que apresentam aproximadamente de 0 a 50 $\mu\text{g/L}$, mesotróficas de 50 a 100 $\mu\text{g/L}$, eutróficas de 100 a 300 $\mu\text{g/L}$ e hipertróficas acima de 300 $\mu\text{g/L}$. Surpreenderam os valores mínimos mais elevados do ponto 4 (300 $\mu\text{g/L}$), talvez explicado pela combinação de degradação da serapilheira da mata, presença constante de capivaras, bem como despejo de fossa séptica, a montante. Santos (1993b) encontrou valor máximo de 3 $\mu\text{g/L}$ no Ribeirão Feijão, Santos (1993a) de 5,1 $\mu\text{g/L}$ (média de 0,4 $\mu\text{g/L}$) nos córregos da Água Fria e da Água Quente e Teixeira (1993) valores entre 19 e 375 $\mu\text{g/L}$ no Ribeirão Feijão. Salati (1996), no rio Corumbataí, encontrou valores mais elevados no inverno (44 a 674 $\mu\text{g/L}$) que no verão (182 a 393 $\mu\text{g/L}$), também verificado por Maier et al. (1992) no córrego Salto Grande e neste estudo, embora tenham ocorrido picos no período chuvoso (Fig. 2). Esta disponibilidade maior de nitrato no período mais seco provavelmente está relacionado com a menor atividade de reciclagem (imobilização) pela vegetação, e os picos no período chuvoso à liberação por pulsos no processo de mineralização de material orgânico, como sugerido por Afonso (1993) e Uieda & Kikuchi (1995), ou à descargas pontuais de resíduos orgânicos. Verificou-se a necessidade de realizar a compatibilização do nível máximo aceitável de NO_3 , tanto do

ponto de vista da conservação dos corpos d'água como do uso da água para abastecimento público, à semelhança do que ocorre com o PO_4 , com a finalidade de servir como referencial para os produtores rurais no manejo de seus sistemas de produção agrícola, integrados com sistemas naturais e urbanizados, que ocorrem na propriedade.

Com referência à variável TOC, verificou-se que na nascente da mata, embora a água fosse considerada sem impacto ou muito pouco impactada, as médias dos valores não diferiram das demais áreas (Tab. II), podendo chegar a níveis mais elevados que das outras áreas (Fig. 2; épocas 3 a 6), possivelmente, devido à contaminação da água com exsudados radiculares e moléculas orgânicas da serapilheira em decomposição, o que dificulta a previsão, a partir dessa determinação, da ocorrência de contaminantes orgânicos tóxicos eventualmente utilizados na agricultura. O segundo pico de TOC, também para a água da nascente (Fig. 2; época 15), poderia ser explicado pela contaminação do lençol freático, possivelmente facilitada por rachaduras que podem ocorrer no solo na época seca, como sugerido pelo parâmetro Solo, que na coleta anterior a este pico encontrava-se com conteúdo muito baixo de água. Porém, não ocorreu nenhuma indicação de aporte de material orgânico para os corpos de água, no final do período, como sugerem os valores de Colf e de Chuva (Fig. 2). Nos córregos da Água Fria e da Água Quente, Santos (1993b) encontrou valor de 16 $\mu\text{g/L}$, enquanto Teixeira (1993) encontrou 19 $\mu\text{g/L}$ no Ribeirão do Feijão e Salati (1996) encontrou valores entre 2 e 17 $\mu\text{g/L}$ no rio Corumbataí, ficando os valores encontrados neste trabalho bem acima desta faixa. Parece ser difícil a interpretação ou o estabelecimento de classes de tolerância para TOC. Em informação pessoal, Prof. Dr. James J. Alberts (1998, Univ.Georgia, GA, USA), presidente da Sociedade Internacional de Substâncias Húmicas (IHSS), esclarece que o teor de carbono orgânico total não constitui indicador individual, pois pode, por exemplo, estar sendo constituído por moléculas inócuas, como sacarose, ou por moléculas altamente tóxicas, das quais apenas alguns microgramas por litro podem ser prejudiciais. Estas devem ser detectadas por análises específicas. O TOC, porém, pode servir para verificar a dinâmica da matéria orgânica dissolvida nos ecossistemas. Neste estudo não serviu para diferenciar áreas com diferentes manejos.

Pode ser concluído que, nas condições ambientais do período estudado: 1) As águas da microbacia hidrográfica do Ribeirão Canchim são doces, atendendo aos requisitos da classe 2, segundo a Resolução CONAMA nº 20, no período estudado; 2) A água da nascente da mata, utilizada para consumo humano, deverá sofrer tratamento, pois ocorre presença eventual de coliformes fecais; 3) O teor de fosfato que ocorreu nas águas, as colocou como eutróficas, especialmente nos pontos de coleta com maior impacto antrópico; 4) Não foi possível encontrar com clareza uma relação do teor de nitrato com áreas mais intensamente manejadas; 5) O carbono orgânico total dissolvido não serviu para diferenciar áreas com diferentes manejos; 6) As variáveis que melhor diferenciaram os locais e seu grau de proteção foram: cor verdadeira, dureza, turbidez, condutividade elétrica, alcalinidade, pH e DQO; 7) Houve diferenciação entre pontos de coleta, de acordo com a intensidade de manejo e de conservação da área de drenagem e o grau de proteção dos corpos de água; 8) No sistema intensivo de produção de leite ocorreu alteração sensível na qualidade de água da nascente, para a qual a faixa de proteção ripária parece ter sido insuficiente; 9) O impacto da atividade agrícola intensiva a pasto pareceu ser menor que o do despejo de esgotos das áreas urbanizadas do estabelecimento rural; 10) Os valores das variáveis analisadas encontraram-se na faixa de variação verificada em outros corpos de água da região.

Referências citadas

Afonso, A.A.O. 1993. Aporte, retenção e decomposição da serapilheira de mata galeria e características físicas, químicas e hidrológicas em duas seções do Córrego

- Itaúna (Itatinga – SP), Bacia do Alto Paranapanema. São Carlos, EESC-USP, 162p. (Dissertação).
- APHA-American Public Health Association. 1992. Standard Methods: for the examination of water and waste water. 18ª ed. American Public Health Association/American Water Works Association/Water Environmental Federation, Washington, DC. 1354p.
- Branco, L.H.Z. & Necchi Jr., O. 1997. Variação longitudinal de parâmetros físicos e químicos em três rios pertencentes a diferentes bacias de drenagem na região noroeste do estado de São Paulo. *Acta Limnol.Bras.*,9:165-177.
- Brunet, R.C. & Astin, K.B. 1998. Variation in phosphorus flux during a hydrological season: the river Adour. *Water Res.*, 32:547-558.
- Calderano Filho, B., Santos, H.G., Fonseca, O.O.M., Santos, R.D., Primavesi, O. & Primavesi, A.C. 1998. Os solos da Fazenda Canchim, Centro de Pesquisa de Pecuária do Sudeste, São Carlos, SP: levantamento semidetalhado, propriedades e potenciais. EMBRAPA-CNPS/São Carlos, EMBRAPA-CPPSE, Rio de Janeiro. 95p.
- CETESB-Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, São Paulo. 1987. Guia de Coleta e Preservação de Amostras de Água. São Paulo. 150p.
- IBGE-Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 1990. Anuário Estatístico do Brasil. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Rio de Janeiro. 1960p.
- Loewenthal, R.E. & Marais, G.V.R. 1976. Carbonate chemistry of aquatic systems: theory and applications. *Ann. Arbor Science Pub.*, Michigan. 405p.
- Maier, M.H., Takino, M., Basille-Martins, M.A. & Cipolli, M.N. 1986. River typology of São Paulo State, Brazil. *Verh.Internat.Verein Limnol.*, 22:2161-2166.
- Maier, M.H. 1987. Ecologia da bacia do Rio Jacaré Pepira (47°55' - 48°55'W; 21°30' - 21°55'S - Brasil): qualidade da água do rio principal. *Ciênc.Cult.*, 39:164-185.
- Maier, M.H., Takino, M. & Manoel, A.M.S. 1992. Amônio, nitrito, nitrato e ortofosfato na Microbacia do Córrego Salto Grande: 22°09'S e 48°19'W, Dourado, SP, Brasil. *Bol.Inst.Pesca*, 19:23-38.
- Maier, M.H., Takino, M. & Borges, S. 1996. Oxigênio, DBO e oxidabilidade na Microbacia do Córrego Salto Grande: 22°09'S e 48°19'W, Dourado, SP, Brasil. *Bol. Inst. Pesca*, 23:149-170.
- National Research Council. 1976. Nutrient requirements of domestic animals: 4. nutrient requirements of beef cattle. 5. National Academy of Science, Washington. 56p.
- Piáo, A.C.S. 1995. Transporte de nitrogênio, fósforo e sedimentos pelo Ribeirão dos Carrapatos (Município de Itaí, SP). São Carlos, EESC-USP, 194p (Tese).
- Reichardt, K. 1978. A água na produção agrícola. McGraw-Hill, São Paulo. 119p.
- Rios, L. 1993. Estudo limnológico e fatores ecológicos em ribeirões e córregos da bacia hidrográfica do Ribeirão do Feijão (Estado de São Paulo). São Carlos, EESC/USP, 146p (Dissertação).
- Rios, L. & Calijuri, M.C. 1995. A bacia hidrográfica do Ribeirão do Feijão: uma proposta de ordenação das sub-bacias através de variáveis limnológicas. *Acta Limnol. Bras.*, 7:151-161.
- Salati, E. 1996. Diagnóstico ambiental sintético e qualidade da água como subsídio para o planejamento regional integrado da bacia hidrográfica do Rio Corumbataí (SP). São Carlos, CHREA/EESC/USP, 199p (Tese).
- Santos, M.F. 1993. Subsídios para o planejamento conservacionista da bacia hidrográfica do Ribeirão do Feijão (São Carlos, Itirapina e Analândia, SP). São Carlos, CRHEA/EESC/USP, 222p (Dissertação).
- Santos, M.J. 1993. Estudo limnológico dos córregos da Água Fria e da Água Quente. São Carlos, CHREA/EESC/USP, 291p (Dissertação)
- São Paulo. 1977. Decreto 10.755, 11/22/1977. Diário Oficial do Estado de São Paulo, São Paulo.
- SAS Institute. 1993. SAS/STAT User's guide: statistics. Versão 6.4. Sas Inst., Cary. 1686p.
- Sé, J.A.S. 1992. O Rio do Monjolinho e sua bacia hidrográfica como integrantes de sistemas ecológicos. São Carlos, CHREA/EESC/USP, 381p (Dissertação).

- Teixeira, D. 1993. Caracterização limnológica dos sistemas lóticos e variação temporal e espacial de invertebrados bênticos na baía do Ribeirão do Feijão (São Carlos, SP). São Carlos, CRHEA/EESC/USP, 193p (Dissertação).
- Toledo Jr., A.P., Chinez, S.J. & Agudo, E.G. 1983. A aplicação de modelos simplificados para a avaliação do processo de eutrofização em lagos e reservatórios tropicais. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 12., Balneário Camboriú, SC, 1983. CETESB, São Paulo. p.1-34. (Separata)
- Uieda, V.S. & Kikuchi, R.M. 1995. Entrada de material alóctone (detritos vegetais e invertebrados terrestres) num pequeno curso de água corrente na cuesta de Botucatu, São Paulo. Acta Limnol. Bras., 7:105-114.
- Villela, S.M. & Mattos, A. 1975. Hidrologia aplicada. McGraw-Hill, São Paulo. 245p.