

INFLUÊNCIA DA OCUPAÇÃO URBANA NA QUALIDADE DA ÁGUA DO RIO SÃO MIGUEL, CARSTE DO ALTO SÃO FRANCISCO, MINAS GERAIS

Eduardo A. Haddad¹; Antônio P. Magalhães Jr.²

RESUMO - A qualidade da água foi avaliada na bacia hidrográfica do rio São Miguel localizada em região cárstica na bacia do alto rio São Francisco. Foram identificadas as principais fontes de poluição hídrica visando evidenciar as relações entre as atividades humanas desenvolvidas na área e suas influências na qualidade das águas superficiais. Mensalmente durante um ano foram monitorados 13 parâmetros de qualidade de água em 5 pontos de coleta localizados no curso fluvial principal da bacia. Foram coletadas amostras em nascentes para estabelecer um nível de base da qualidade das águas naturais. Os coliformes termotolerantes, o fósforo total e o oxigênio dissolvido foram os principais parâmetros que se apresentaram em desconformidade com padrões de concentrações estabelecidos na legislação brasileira para usos diversos da água. Os resultados das análises mostram que a causa de poluição mais evidente na bacia, apesar da predominância das atividades agropecuárias, é o lançamento de esgotos da ocupação urbana, que representa pequena extensão areal na bacia e é responsável pela contaminação microbiológica ocasionando casos de esquistossomose, doença de veiculação hídrica concentrada no trecho médio do rio.

ABSTRACT - The water quality has been evaluated in São Miguel river basin, in a karstic area located at high São Francisco basin. The main sources of water pollution were identified to find relationships between human activities and their influences on surface water. Monthly in a year, samples has been collected in 5 sites located at mainstream, 13 parameters were analyzed. Water in springs was collected to establish natural concentrations levels, also government secondary data (precipitation, water quality) in area were basis to results interpretations. Parameters such thermotolerant coliform, total phosphorus, dissolved oxygen have been out of levels of concentrations allowed by legal standards for different water uses. Although rural landscape is commonest on the basin, the main cause of water pollution is due to sewage point sources from urban area, which is smallest land use on basin. Municipality relates waterborne disease schistosomosis by microbiological contamination near urban zone that is located in middle stream.

Palavras-chave: Qualidade da água, poluição hídrica, karst, alto São Francisco.

¹ Mestre em Geografia e Análise Ambiental – UFMG, Rua Gonçalves Dias, 1057/202, 30140-091. email: haddadedu@yahoo.com.br

² Professor Adjunto do Departamento de Geografia – UFMG, Av. Antônio Carlos, 6627, 31270-901. Belo Horizonte. magalhesufmg@yahoo.com.br

1 - INTRODUÇÃO

As superfícies urbanas podem concentrar poluentes e contaminantes em quantidade e qualidade mais nocivas aos meios hídricos do que ambientes rurais. Alguns trabalhos demonstram a predominância da influência de atividades urbanas em relação às atividades agrícolas na qualidade das águas em bacias hidrográficas de diversos países (Owens e Walling, 2002; Sliva e Williams, 2001; Tsegaye *et. al.*, 2006) e no Brasil (Carvalho *et. al.*, 2004; Figueiredo e Ovalle, 1998; Milesi *et. al.*, 2006; Toledo *et. al.*, 2003). Resíduos sólidos e efluentes líquidos derivados de usos domésticos, comerciais e industriais em áreas urbanas são fontes potencialmente degradadoras da qualidade das águas superficiais e subterrâneas, bem como de riscos para a saúde pública por facilitarem a reprodução e proliferação de agentes patogênicos.

O crescimento e agravamento dos problemas de qualidade da água emergiram com vigor na sociedade moderna a partir da segunda metade do século XIX. Normalmente, estiveram associados ao comum processo de lançamento de esgotos domésticos nas águas, levando à contaminação de rios de centros urbano-industriais na Europa e EUA e epidemias e graves problemas de saúde pública. Um rápido progresso no controle das epidemias foi alcançado com o desenvolvimento de tecnologias dos sistemas de tratamento de água, já no início do século XX. Nesta fase, a preocupação com a qualidade da água teve uma forte conotação com a saúde pública (American Water Works Association - AWWA, 1964; Lamb, 1985).

No caso de águas poluídas por esgotos urbanos, os principais indicadores e parâmetros de qualidade da água são aqueles que caracterizam a poluição microbiológica, como coliformes, a poluição orgânica, como o decréscimo de oxigênio dissolvido – OD, e o aumento da demanda bioquímica de oxigênio - DBO. Estudos e relatórios sobre alterações destes parâmetros em ambientes fluviais urbanos demonstram elevados valores de DBO (Arienzo *et. al.*, 2001; CETESB, 2006; IGAM, 2005).

O Brasil apresenta um problema histórico de falta de planejamento adequado para a ocupação e expansão urbana. O crescimento da população urbana aumenta a demanda por água e a quantidade de resíduos domésticos, tendendo também a influir sobre a qualidade de mananciais e de nascentes. Esta situação exige a procura de novos mananciais para abastecimento público ou a implantação de sistemas de tratamento de esgotos que geram custos para implementação (Tucci, 2002). No Brasil, muitas cidades não possuem coleta de esgotos domésticos, e somente uma proporção pequena possui sistemas de tratamento de esgotos, os quais são lançados *in natura* nos corpos d'água. Doenças transmitidas por meio de águas contaminadas se destacam como a principal causa de internações hospitalares em países

carentes de sistemas de saneamento básico como o Brasil (Hespanhol, 2002). Portanto, a piora na qualidade da água também está associada à falta de planejamento e ao adequado dimensionamento da rede de esgotos e da rede pluvial de escoamento nas áreas urbanas. Em sistemas de drenagem unitários (esgotos/pluvial), o subdimensionamento pode levar ao extravasamento dos efluentes nas redes coletoras, ou mesmo à destruição das mesmas, principalmente durante os períodos de chuva. A poluição das águas no meio urbano no Brasil vem sendo estudada em cidades de diferentes dimensões. Podem ser citados os trabalhos de Carvalho *et. al.* (2004), Milesi *et. al.* (2006) e Toledo *et. al.* (2003) em cidades pequenas, Dotto *et. al.* (2006) em cidades medias e Coelho *et. al.* (2006) e Lobo *et. al.* (2006), nos grandes centros urbanos.

O trabalho é parte de um projeto de pesquisa³ que teve como objetivo geral a investigação das relações entre atividades humanas desenvolvidas nos meios rural, urbano e industrial e a qualidade das águas superficiais na bacia hidrográfica do rio São Miguel. O objetivo geral demandou a identificação das principais fontes de poluição hídrica devido aos diversos usos do solo na bacia e seus reflexos nos parâmetros de qualidade das águas. Neste estudo objetivou-se enfocar as alterações de parâmetros que estiveram relacionados com a ocupação urbana na bacia.

2 - ÁREA DE ESTUDO

A bacia hidrográfica do rio São Miguel situa-se a sudoeste do Estado de Minas Gerais, na região do Alto São Francisco, entre os paralelos 20°10' e 20°29' de latitude sul e os meridianos de 45°30' e 45°45' de longitude oeste (Figura 1). A área de drenagem da bacia perfaz aproximadamente 525km² e abrange, na sua maioria, parte dos municípios de Pains e Arcos, mas também dos municípios de Iguatama, Formiga e Córrego Fundo. Apesar de situado em área cárstica o rio São Miguel drena em superfície na sua maior parte, possuindo cerca de 40km de extensão. As litologias presentes na bacia são as rochas do Complexo Granito-Gnáissico arqueano e do Grupo Bambuí neoproterozóico. Deste grupo, predominam calcários e dolomitos (Félix e Freitas Jr., 2000) que sustentam a paisagem cárstica marcada por feições morfológicas como paredões, torres, mesetas, verrugas, lapiás, dolinas, uvalas, *poliés*, vales cegos, sumidouros, ressurgências, abismos e cavernas (Saadi, 1991). O clima é

³ Fenômenos Espaciais, Processos Ambientais e Interações entre a Qualidade da Água e o Uso do Solo na “Província Cárstica de Arcos-Pains-Doresópolis-MG” - Estratégia de Fomento ao Desenvolvimento Sustentável Local, sob a coordenação do Prof. Dr. Antônio Pereira Magalhães Jr.

caracterizado por temperaturas mínimas medias mensais de 16,4°C em julho, e temperaturas máximas de 22,6°C. A média pluviométrica anual é de 1.325mm (Menegasse *et. al.*, 2002).

3. USO DO SOLO

O mapa de uso e ocupação do solo da bacia do rio São Miguel foi elaborado no trabalho realizado por Cherem (2006). A substituição da vegetação natural de campo cerrado se deu para atividades de pecuária e agricultura, e expressam a principal alteração antrópica da paisagem. Os campos utilizados para pastagens perfazem 40% da área, maior percentual de uso do solo na bacia, a agricultura ocupa 16% da área, ambos constituindo as principais fontes de poluição difusa das águas na bacia (Fig. 1). A mineração das rochas carbonáticas e a ocupação urbana têm baixos valores percentuais na área, menos de 2% em conjunto, e representam as principais fontes de poluição pontual devido aos lançamentos de esgotos e efluentes urbanos e industriais na região. A mineração também pode ser considerada como fonte não pontual por causa da exploração das rochas e da calcinação que provocam poluição atmosférica, podendo poluir posteriormente solos e corpos d'água. O percentual da área ocupada por maciços e vegetação em conjunto é de 38%, representados por áreas que não se caracterizam como fontes poluidoras. O plantio de eucalipto ocupa 2%, e corpos d'água, nuvens, sombras e polígonos não classificados foram agrupados na classe "outros" e somam 1% do total. A bacia possui uma baixa proporção de ocupação urbana; são 2,7km² que representam 0,5% da área total. Uma mancha urbana se localiza a NE da bacia na área corresponde a uma parte do centro urbano de Arcos (a área está muito distante do ponto de monitoramento de qualidade da água). A outra parte corresponde ao centro urbano de Pains, localizado no trecho médio do rio São Miguel (o ponto SM 03 dista 1,5km a jusante do centro urbano do município). Cerca de 70% dos domicílios possuíam rede geral de esgoto em 2000 (IBGE, 2005). Os efluentes são lançados diretamente nos corpos d'água e nos sumidouros, e não há estação de tratamento de esgoto (SAAE, 2004).

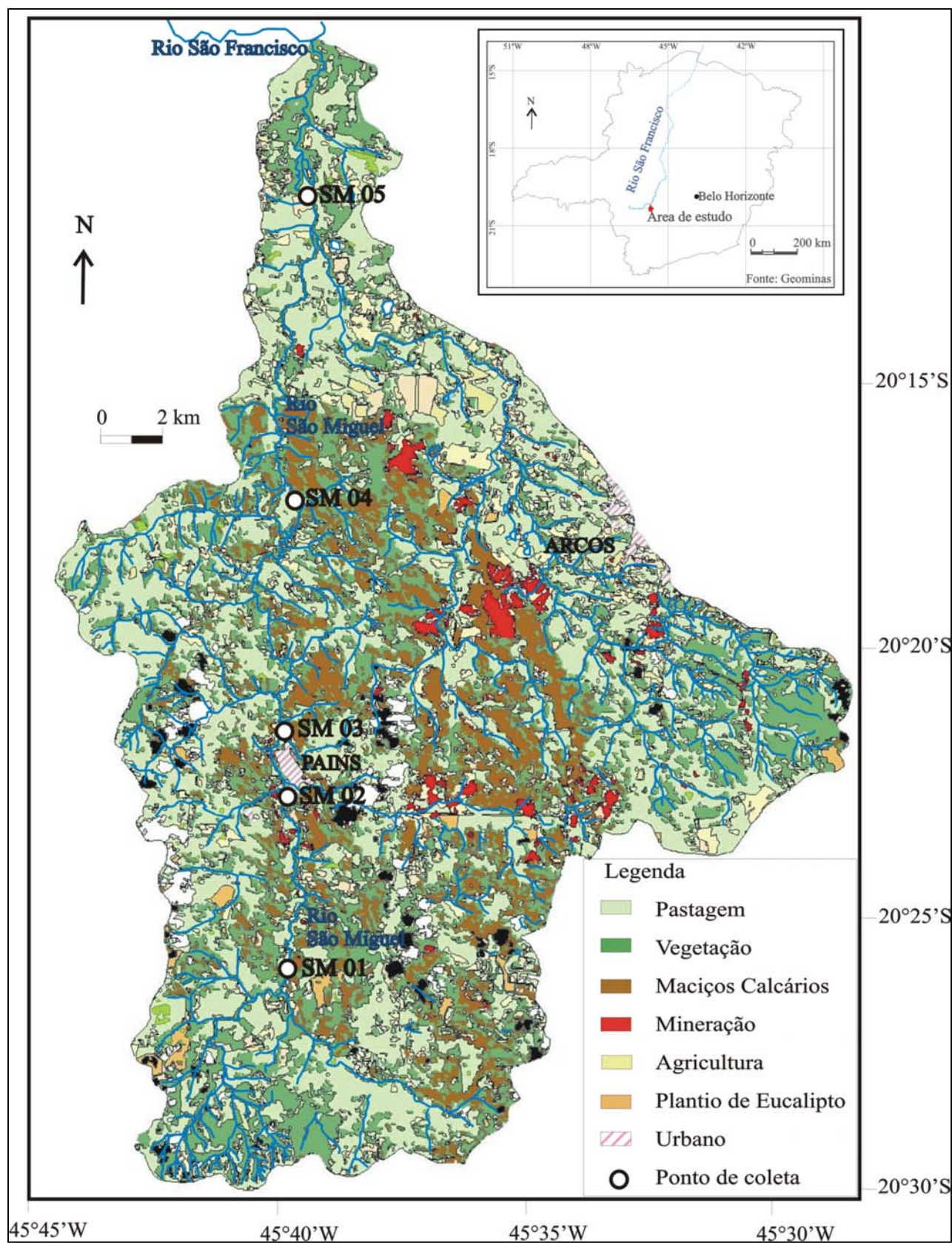


Figura 1: Mapa do uso do solo e localização dos pontos de coleta do monitoramento
 Fonte: Cherem (2006); IBGE (1969; 1970)

4 - METODOLOGIA

Foram levantados dados de pluviometria da estação de código 02045010 (estação Arcos) que foram adquiridos junto à Companhia de Pesquisas e Recursos Minerais – CPRM, e os dados de qualidade da água gerados na estação Calciolândia de código SF-002-A (de 2000 a 2004) localizada no rio São Miguel, que integra a rede de monitoramento das águas superficiais na Bacia do rio São Francisco Sul produzidos pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas –IGAM (IGAM, 2005).

O mapa do uso e ocupação do solo na bacia foi elaborado por Cherem (2006) por meio de processamento digital de imagem (PDI) realizado com o auxílio do software SPRING (INPE, 2005). Trabalhos de campo foram realizados em momentos distintos do projeto para levantamento e reconhecimento dos usos do solo, auxiliando os resultados de gabinete. A data de aquisição da imagem trabalhada, 12 de abril de 2006, foi próxima do período de monitoramento da qualidade da água.

O monitoramento das águas superficiais foi realizado em 5 pontos de coleta distribuídos ao longo do curso principal do rio São Miguel, coletor principal da bacia (Fig. 1). Este número foi definido a partir do levantamento de documentos cartográficos que possibilitaram o estudo prévio e detalhado da rede hidrográfica, dos usos do solo e da rede viária.

Os parâmetros analisados somaram 13 no total, sendo que o oxigênio dissolvido - OD, pH, temperatura da água, turbidez e condutividade foram medidos *in situ* com aparelhos portáteis. Os parâmetros coliformes termotolerantes – CT, demanda bioquímica de oxigênio - DBO, demanda química de oxigênio – DQO, nitrato - N, fósforo total - PT, cádmio – Cd, zinco – Zn e chumbo - Pb. foram analisados no laboratório do Centro Tecnológico de Minas Gerais – CETEC, em Belo Horizonte. A periodicidade das análises foi mensal e consecutiva, durante um ano hidrológico, com início em abril de 2005 e término em março de 2006. Foram calculadas as vazões fluviais por meio da medição de velocidades (via flutuadores) e calculo das seções do canal. Os mesmos parâmetros foram analisados de amostras coletadas em duas campanhas de campo em três nascentes localizadas em pontos e em condições litológicas distintas Os resultados das análises serviram como referência à condição de qualidade “natural” das águas na bacia (*background*). Foram escolhidos pontos em locais pouco impactados onde se verificou menor presença de atividades antrópicas, acesso restrito ou presença de cercas e vegetação no entorno da nascente.

Os parâmetros monitorados foram avaliados segundo os padrões de valores permitidos para cada classe de uso estipulado na Resolução 357/2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA (2005). As relações de causa e efeito entre as atividades humanas e a qualidade da água

foram caracterizadas pelo estado da qualidade da água demonstrado pela representação de estatística de medida central (média aritmética, geométrica e mediana), e gráficos do tipo Box e Whisker dos parâmetros que evidenciaram influências antrópicas devido a ocupação urbana na bacia. A espacialização dos principais resultados foi feita pela elaboração de mapa temático.

5 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

Dentre todos os parâmetros monitorados, aqueles que estiveram fora dos padrões estipulados para classes de usos da água da Resolução n. 357 do CONAMA foram: coliformes termotolerantes (CT), fósforo total (PT), oxigênio dissolvido (OD), zinco total (Zn) e turbidez. Os resultados das concentrações de CT, PT e OD foram os que demonstraram com maior evidência a influência da ocupação urbana representada pelo centro urbano de Pains na qualidade da água no curso médio do rio (área do ponto de coleta de monitoramento SM 03) e serão discutidos a seguir.

5.1 Coliformes termotolerantes

Os resultados das concentrações de CT registrados nos pontos de monitoramento do rio atingiram valores superiores aos das nascentes, onde as máximas dos números mais prováveis (NMP/100ml) variaram de 20 a 80NMP/100ml. No rio, as concentrações atingiram a ordem de magnitude de dezenas de milhares de NMP/100ml, o que denota alterações na qualidade da água natural. Os resultados de CT nos pontos e a estatística descritiva se encontram na Tabela 1. Considerando os valores dos 5 pontos, as médias geométricas mensais⁴ de CT mais elevadas ocorreram nos dias em que houve precipitação no momento da coleta, em março e dezembro. Esta relação direta também foi apontada nos trabalhos de Dussart-Baptista *et.al.* (2003) e Little *et. al.* (2003) que observaram picos nas concentrações de CT durante eventos chuvosos. Nos dias de junho, setembro e novembro que tiveram registro de chuvas, a precipitação não ocorreu no momento da coleta, não se verificando elevação de CT. A exceção se deu no ponto SM 03 em setembro quando as concentrações atingiram o valor da máxima registrado no ponto e em todo rio, mesmo sem chuva na hora da coleta.

⁴ A variação ampla dos valores de CT em diversas ordens de magnitude, por vezes, demanda a utilização da média geométrica que expressa melhor a medida de tendência central que pode ser distorcida na média aritmética pelo valor máximo. Neste caso, a média geométrica expressa a média nos 5 pontos no dia da coleta, para os outros parâmetros (adiante) nesta mesma coluna foi utilizada a média aritmética.

Tabela 1 – Coliformes termotolerantes (NMP/100ml) e estatística descritiva

	SM 01	SM 02	SM 03	SM 04	SM 05	Média ¹
19/abr	130	130	5000	2200	110	459
15/mai	800	500	16000	110	230	695
19/jun	280	70	170	1100	350	264
18/jul	1700	1100	21	19	140	160
15/ago	140	350	11	170	110	100
19/set	230	220	90000	1300	80	861
18/out	220	170	17000	50	500	437
20/nov	11	170	1600	110	220	149
11/dez	1600	1600	1600	1600	1600	1600
23/jan	230	170	13000	130	700	541
15/fev	500	230	90000	280	220	914
20/mar	30000	500	50000	3000	1100	4772
Estatística descritiva						
n	12	12	12	12	12	
Média Aritmética	3113	311	24089	547	266	
Média Geométrica	408	290	3077	318	288	
Mediana	230	195	5000	150	220	
Min.	11	70	11	19	80	
Máx.	30000	1600	90000	3000	1600	
Desv Pad	8930,08	292,84	36617,03	1018,38	314,19	
Coef. Var.	2,87	0,94	1,52	1,86	1,18	

Uma precipitação de baixa intensidade ocorrida em dezembro elevou a concentração de CT em todos os pontos. O incremento nas águas sugere a presença de coliformes nos solos, os quais são carregados pelo escoamento pluvial (Hunter *et. al.*, 1999). Apesar de não ter sido feita a contagem de *streptococcus* fecais, dificultando a separação da origem humana ou animal, é possível sugerir fontes não pontuais de poluição do meio rural ao longo dos trechos fluviais nos pontos SM 01, 02 e 05, uma vez que estes pontos estão distantes do centro urbano de Pains. As fontes de poluição parecem ser devidas à pecuária bovina e a conseqüente presença de fezes de animais nos solos. Reforça esta idéia o fato da maior freqüência de valores até 1000 NMP/100ml de CT ter ocorrido nos pontos SM 01 (75%), SM 02 (84%) e SM 05 (84%). Nestes pontos, nos dias sem precipitação no momento de coleta, os valores não ultrapassaram esta ordem de grandeza, com exceção em julho no SM 01 e 02.

A distribuição dos valores de CT nos pontos de montante para jusante do rio pode ser definida e representada no Gráfico 1⁵. Os valores estatísticos à montante e à jusante nos pontos são inferiores aos do ponto SM 03; somente a mínima é exceção. Os valores das medianas demonstram um pequeno decréscimo entre os pontos SM 01 e SM 02 e um pequeno acréscimo entre os pontos SM 04 e SM 05. Nestes 4 pontos, as médias geométricas de cada um deles não ultrapassam 500 NMP/100ml (Tab.1). As

⁵ Os valores de CT estão em escala log para permitir a visualização de forma adequada. A base e o topo das linhas verticais representam os valores mínimos e máximos, respectivamente. O ponto dentro do retângulo é o valor da mediana. A extremidade inferior e superior dos retângulos representam, respectivamente, o percentil de 25% e 75%, constituindo os valores mais próximos da mediana e indicando onde se situa a medida de tendência central do parâmetro.

diferenças abruptas estão no aumento da mediana entre os pontos SM 02 e SM 03 e no decréscimo também acentuado desta medida para o ponto SM 04.

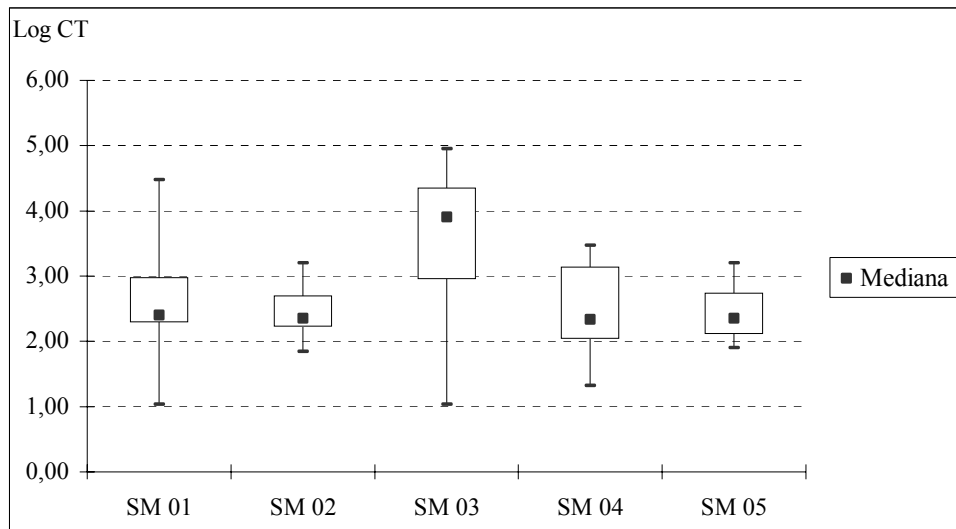


Gráfico 1: Distribuição dos valores de CT nos pontos

A representação do ponto SM 03 indica que há deterioração na qualidade da água no trecho, pois a faixa entre os percentis de 25% a 75% é mais larga e mais elevada que dos outros pontos (Graf.1). Cerca de 60% das amostras neste ponto tiveram contagens superiores a 2500 NMP/100ml. Em setembro e fevereiro as concentrações foram de 90.000 NMP/100ml e constituíram os valores máximos registrados (Tab.1). Em relação aos dados da rede estadual estes números foram superiores ao valor da máxima de 30.000 NMP/100ml no ponto SF – 002A (estação Calciolândia), registrada em abril de 2002 (IGAM, 2005). O ponto SM 04 é o segundo pior ponto considerando as medidas centrais, visualizado pela segunda maior faixa entre os mesmos de 25 % e 75% (Graf.1). Presume-se que ele ainda sofre influência da deterioração da qualidade da água pelos CT observada no ponto SM 03.

O lançamento de esgotos sanitários e dejetos urbanos de Pains representa a mais significativa fonte de poluição pontual localizada bem próximo ao rio São Miguel, e explica por que os valores de CT são elevados no ponto SM 03. Este padrão espacial de elevação de CT a jusante de centros urbanos é bastante comum no Brasil (Silva e Sacomani 2001; Carvalho *et. al.*, 2004).

O mapa da Figura 2 representa a influência da contaminação bacteriológica do centro urbano. As classes foram divididas pelas ordens de grandeza da média geométrica dos valores por pontos.

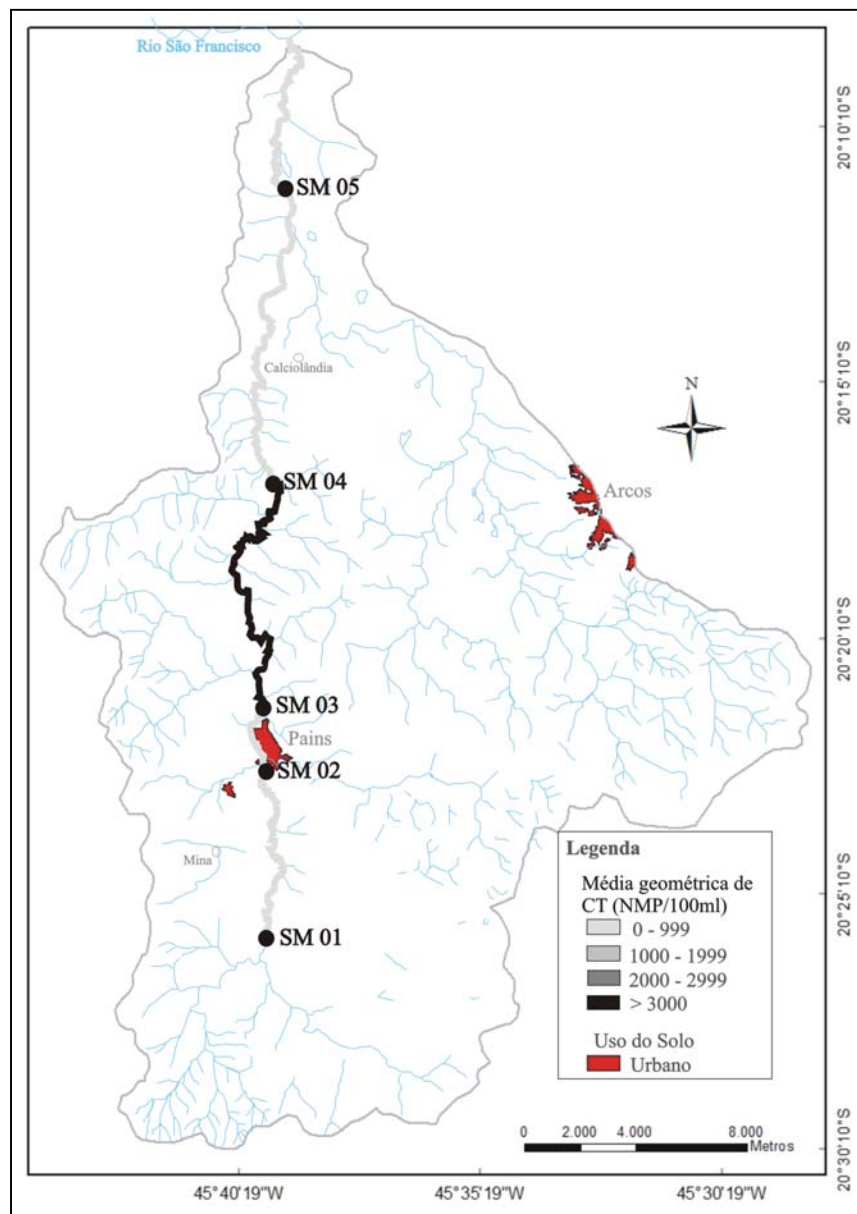


Figura 2: Distribuição das médias geométricas de CT nos pontos

No rio São Miguel os usos do solo próximos aos pontos monitorados e os valores de CT nas águas permitiram apenas indicar fontes difusas provenientes de pastagens e fonte pontual do centro urbano. As fontes de CT nos pontos SM 01, 02 e 05 podem ser relacionadas a atividade agropecuária à montante destes pontos. No ponto SM 03, o rio recebe os despejos de esgotos do centro urbano de Pains, e refletiu neste trecho de forma mais contínua com os maiores valores de CT.

O limite de 2500 NMP/100ml de CT referente à impropriedade das águas para recreação de contato primário⁶, foi violado por 7 vezes no trecho do ponto de coleta SM 03, conforme a Resolução CONAMA nº 274 (CONAMA, 2000). O maior problema relacionado ao estado freqüente do trecho SM 03 na classe 4, pior classe de qualidade para o uso da água segundo a Resolução 357/2005 do CONAMA, é o contato primário com a água nesta parte do rio São Miguel. Dados recentes do Programa de Controle da Esquistossomose, realizado pela Secretaria Municipal de Saúde de Pains, contabilizaram 315 casos da doença no ano de 2006 no município. Deste total, 204 casos ocorreram na zona urbana⁷, portanto, nas proximidades do trecho SM 03.

5.2 Fósforo Total

Os resultados das concentrações de PT nos pontos do monitoramento e a estatística descritiva dos mesmos se encontram na Tabela 2. Nas amostras das nascentes, o valor mínimo foi de 0,02mg/l P e o máximo foi 0,08mg/l P em setembro. A lixiviação de minerais primários, dissolução de compostos do solo e a decomposição de matéria orgânica podem ser a origem da presença do elemento nestas águas (Von Sperling, 2005). Estes resultados foram superiores aos dos pontos de monitoramento nos meses de maio e abril (exceto do ponto SM 03). Em relação às nascentes, os resultados nos 5 pontos no rio nos outros meses indicam alteração nos níveis de PT das águas naturais. Os valores máximos de PT em todos os 5 pontos ocorreram em junho e ocorrem entre 0,30 e 0,50 mg/L (Tab. 2). A explicação para este pico em conjunto pode estar no fato de que grande proporção do transporte de PT no solo ocorre durante algumas precipitações, conforme relataram Ellison e Brett (2006) em bacias hidrográficas nos EUA. Apesar de não ter chovido no momento da coleta das amostras no rio São Miguel, a situação se assemelha ao verificado por Little *et al.* (2003). Eles relacionaram as maiores elevações de PT em rios de áreas agrícolas no Canadá ao escoamento superficial devido a eventos pluviais após épocas secas. A variável PT foi relacionada às fontes não pontuais de agricultura, onde há uso de inseticidas, pesticidas e presença de excrementos de animais nos solos.

⁶ Segundo a Resolução Nº 274, o contato primário ou balneabilidade é “quando existir o contato direto do usuário com os corpos de água como, por exemplo, as atividades de natação, esqui aquático e mergulho” (CONAMA, 2000).

⁷ Dados da Secretaria Municipal de Saúde de Pains em fevereiro de 2007.

Tabela 2: Fósforo total em mg/L nos pontos e estatística descritiva

	SM 01	SM 02	SM 03	SM 04	SM 05	Média ⁸
19/abr	0,01	0,02	0,14	0,04	0,02	0,05
15/mai	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
19/jun	0,32	0,34	0,46	0,44	0,39	0,39
18/jul	0,13	0,15	0,09	0,18	0,14	0,14
15/ago	0,23	0,18	0,25	0,16	0,18	0,20
19/set	0,08	0,08	0,15	0,08	0,08	0,09
18/out	0,09	0,06	0,14	0,10	0,06	0,09
20/nov	0,15	0,13	0,10	0,12	0,11	0,12
11/dez	0,10	0,09	0,14	0,15	0,14	0,12
23/jan	0,11	0,05	0,04	0,07	0,03	0,06
15/fev	0,10	0,10	0,11	0,08	0,05	0,09
20/mar	0,08	0,08	0,06	0,10	0,10	0,08
Estatística Descritiva						
n	12	12	12	12	12	
Média Aritmética	0,12	0,11	0,15	0,13	0,11	
Média Geométrica	0,08	0,08	0,10	0,09	0,07	
Mediana	0,10	0,09	0,14	0,10	0,08	
Min.	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	
Máx.	0,32	0,34	0,46	0,44	0,39	
Desv Pad	0,09	0,09	0,12	0,11	0,10	
Coef. Var.	0,74	0,80	0,80	0,85	0,94	

A elevação conjunta, observada em junho nos 5 pontos no rio São Miguel se deu após período de estiagem de 23 dias, quando no dia 19 de junho (dia da coleta) choveu 13,3mm. Esta precipitação possivelmente desencadeou a remoção de P e seu transporte por escoamento superficial, processo principal da entrada de P dissolvido na água (Nash e Halliwell, 2000). O processo parece estar relacionado a fontes não pontuais da agricultura, possivelmente devido ao uso de inseticida, pesticida, e também excrementos de animais. O valor máximo registrado no dia (19 de junho) foi no ponto SM 03, sugerindo que além do escoamento difuso, fontes pontuais de lançamento de esgoto do centro urbano de Pains contribuíram com o valor superior ao dos outros pontos. De junho a março, da estação seca para a chuvosa, houve tendência de diminuição das concentrações médias de PT obtidas com os 5 valores de cada ponto nos dias de coleta no rio.

Dentre as variáveis hidrológicas observadas, o decréscimo da concentração média de PT na água se deu de forma direta com a precipitação acumulada, corroborando a idéia de que o incremento das concentrações de PT na água se deve a lixiviação nos meses iniciais do período chuvoso (outubro, novembro e dezembro), e depois decrescem por causa da diluição do elemento nas águas com o aumento da vazão (janeiro, fevereiro e março). Na época seca (de maio a setembro) ocorreram as maiores variações das concentrações médias por pontos nos dias de coleta. Este resultado é

⁸ Média aritmética.

concordante com os obtidos por Ellison e Brett (2006), que relataram enorme variação de concentrações de PT durante os fluxos de base e a diminuição das concentrações nas chuvas.

A distribuição de PT nos pontos de monitoramento no rio foi representada no Gráfico 2. Ele exibe um decréscimo do valor mediano do ponto SM 01 para o SM 02. Deste ponto para o SM 03 se verifica a única elevação em direção jusante, pois há um decréscimo nesta direção nos valores medianos até o SM 05. Este mesmo padrão é observado no percentil de 25% e nos valores máximos, sendo similar ao padrão espacial de CT.

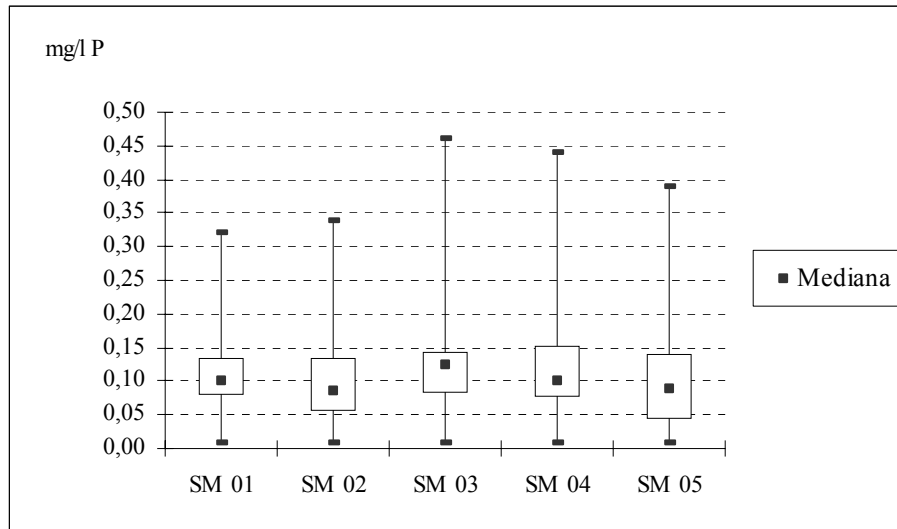


Gráfico 2: Distribuição das concentrações de PT nos pontos

Owens e Walling (2002) verificaram resultado semelhante de elevação significativa de PT a jusante de áreas urbanas assim como observado entre SM 02 e SM03. Os mesmos autores não constataram o mesmo padrão em bacia hidrográfica de área rural, onde as fontes de poluição difusas contribuem para o aumento de PT em teores de concentrações menores. O ponto SM 05 teve o maior coeficiente de variação (Tab. 2) e a faixa horizontal mais larga do retângulo percentil de 25% a 75%. Presume-se que a proveniência do PT na água neste ponto se relaciona a atividades agropecuárias (excrementos de animais). Além disto a maior quantidade das concentrações na faixa mediana, indica a possibilidade da influência do uso de fertilizantes nas áreas agrícolas de maiores extensões presentes à montante deste ponto. O lançamento de esgotos domésticos e detergentes do centro urbano de Pains contribui de forma mais constante e regular no ponto SM 03, durante todo o ano, para entrada de PT no rio, estabelecendo neste ponto os maiores valores de todas as medidas de tendência central (Tab.2). Não foi constatado no rio São Miguel a jusante do centro urbano de Pains evidências de riscos de eutrofização relacionados à presença de PT nas águas.

5.3 Oxigênio Dissolvido

Os resultados das medições de OD mensalmente em todos os pontos se encontram na Tabela 3. Os valores dos meses de maio e junho e das nascentes não foram computados devido a erros de leituras do equipamento em campo. Chapman e Kimstach (1996) relatam que em águas não poluídas as concentrações atingem próximo de 10mg/L de OD e Houslow (1995) atribui o valor de 9,1mg/L a concentração de OD em águas naturais a uma temperatura de 20°C.

Tabela 3: Oxigênio dissolvido em mg/L nos pontos e estatística descritiva

	SM01	SM02	SM03	SM04	SM05	Média
19/abr	4,4	4,2	5	5,4	4	4,6
18/jul	8,4	7,5	6,2	5,8	5,5	6,7
15/ago	6,8	6,4	3,7	5,7	6,2	5,8
19/set	5,6	5,5	3	5,6	5,1	5,0
18/out	5,5	4,9	3,9	4,9	4,8	4,8
20/nov	8,8	7,5	6	4,6	6,5	6,7
11/dez	6,2	6,3	6,2	7,3	7,6	6,7
23/jan	8,2	8,1	7,1	6,9	6,1	7,3
15/fev	5,6	5,2	3,4	5,5	5,5	5,0
20/mar	7,8	7,7	5,5	6,4	6,9	6,9
Estatística descritiva						
n	10	10	10	10	10	
Média Aritmética	6,7	6,2	4,9	5,7	5,7	
Média Geométrica	6,6	6,2	4,8	5,8	5,7	
Mediana	6,5	6,3	5,0	5,6	5,5	
Min.	4,4	4,2	3,0	4,6	4,0	
Máx.	8,8	8,1	7,1	7,3	7,6	
Desv Pad	1,497	1,346	1,414	0,841	1,059	
Coef. Var.	0,222	0,218	0,286	0,146	0,186	

O valor máximo obtido em trabalho de campo foi de 8,8mg/L no ponto SM 01 em novembro, à temperatura de 22°C. Os valores na Tabela 3 mostram que há um decréscimo deste valor em todos os pontos, indicando mudanças nas condições do parâmetro OD nas águas. A média de OD, somando os valores dos 5 pontos no dia da coleta, variou de acordo com a média das vazões dos pontos, sendo que a diminuição da vazão de julho a outubro no final da estação seca foi acompanhada pelo decréscimo da concentração de OD. Os meses críticos foram setembro e outubro. A partir de novembro, com o início das chuvas, os valores se elevaram, com exceção do mês de fevereiro por causa dos elevados valores de CT no ponto SM 03 no dia da análise.

O padrão de distribuição espacial dos valores de concentração de OD nos pontos pode ser visualizado no Gráfico 3. Os valores estatísticos decrescem do ponto SM 01 para o ponto SM 02, onde

a máxima e o percentil de 75% revelam este decaimento. Nestes 2 trechos, o OD apresenta os valores mais elevados caracterizando melhores condições de qualidade água por este parâmetro. A queda mais acentuada ocorre do ponto SM 02 para o ponto SM 03, que demonstra as piores condições de oxigenação da água no rio e constitui o trecho de pior qualidade da água. A jusante do ponto SM 03 os valores superiores às medianas dos pontos SM 04 e 05 mostram que não há uma melhora significativa na qualidade da água, pois nesta faixa de valores permanecem próximos aos verificados no ponto SM 03. No entanto, os valores inferiores às medianas nos pontos SM 04 e 05 denotam que o rio recupera as condições observadas para esta faixa de valores nos pontos SM 01 e 02.

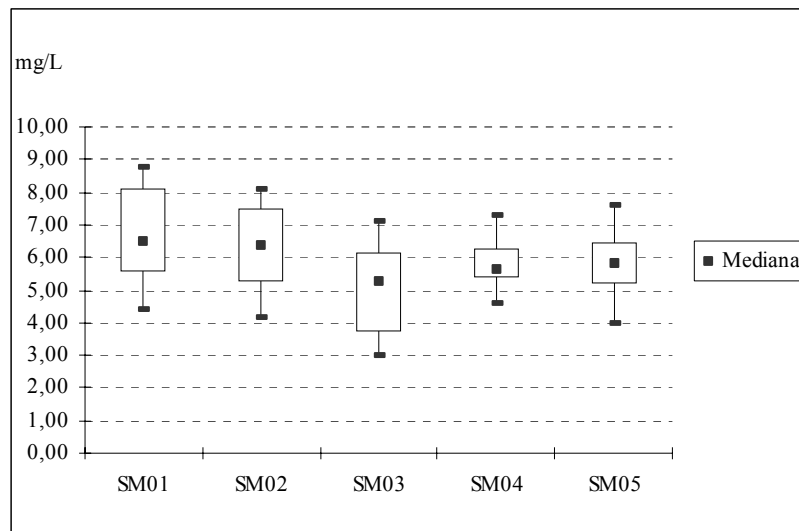


Gráfico 3: Distribuição das concentrações de OD nos pontos

O rebaixamento na concentração de OD no ponto SM 03 se deve à poluição orgânica que se relaciona às fontes pontuais de lançamentos de esgotos e efluentes domésticos urbanos de Pains. O excesso de cargas orgânicas se dá com elevadas contagens de CT bem como as maiores concentrações de PT que na sua forma orgânica resulta no decréscimo de OD (Toledo e Nicolella, 2002). O ponto SM 03 foi o único que apresentou correlação negativa entre CT e OD (-0,23). A relação indireta entre ambos parâmetros se evidenciou com elevadas contagens de CT (Gráfico 4 - CT em escala logarítmica).

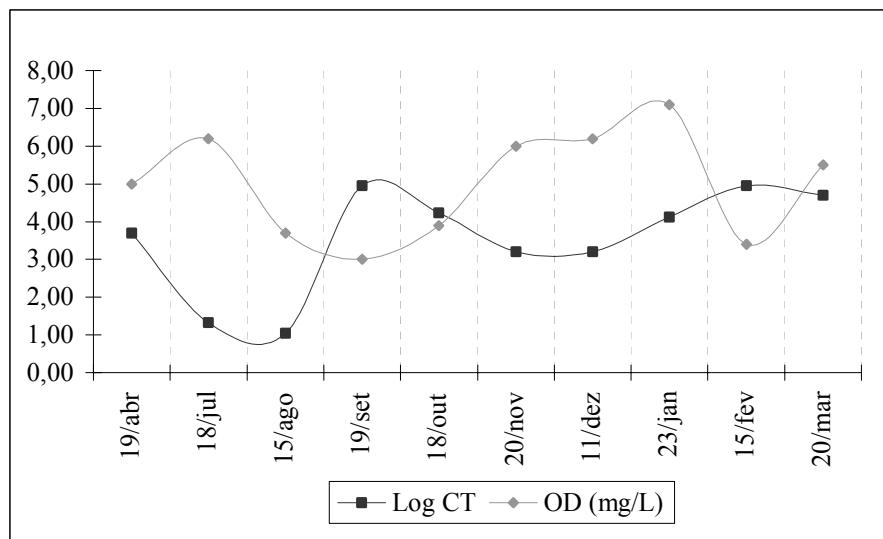


Gráfico 4: Picos de CT e decréscimo de OD no ponto SM 03

O gráfico 4 mostra que os picos de CT (correspondente a 90.000 NMP/100mg/L) resultaram nos menores valores de OD registrados em todo o monitoramento, em setembro (3,0mg/L) e em fevereiro (3,4mg/L). Eles são os menores valores dentre todos os pontos de monitoramento e inferiores à concentração mínima registrado na estação SF-002A Calciolândia⁹ (5,5mg/L em outubro de 2003). O maior coeficiente de variação de CT também se deu no ponto SM 03 (Tab. 3) sugerindo que alterações de decréscimo nos níveis de OD são indicativas de entradas de cargas de matéria orgânica de origem antrópica, provenientes do lançamento de esgotos e efluentes domésticos no curso d'água. O decréscimo de OD em águas pluviais de centros urbanos tem sido comumente verificado no Brasil e no exterior (Arienzo *et. al.*, 2001; Carvalho *et. al.*, 2004; Toledo *et. al.*, 2003).

Em nenhum momento, a água apresentou odor desagradável devido à depleção de OD. Nenhum valor foi inferior a 2,0mg/L, fato que ocasionaria a morte de peixes. Os valores das mínimas de cada ponto (Tab. 3) foram inferiores a 5mg/L, concentrações que podem alterar o funcionamento e a sobrevivência de comunidades aquáticas (Chapman e Kimstach, 1996). Este é o limite mínimo adotado no Canadá para a proteção da vida aquática no primeiro estágio. Eles ocorreram em outubro nos pontos, a exceção do ponto SM 01, sendo particularmente relevante ressaltar que no ponto SM 03 a frequência destes valores foi de 40%. Em setembro, outubro e fevereiro os valores em todos os pontos foram inferiores a 6mg/L, limite mínimo permitido ao desenvolvimento da vida aquática em estágios superiores ao primeiro no Canadá (Canadian Council of Resources and Environmental Ministers - CCCER, 1987 in: Nascimento, 1998).

⁹ Deve-se considerar métodos diferentes de medição de OD.

6 – CONCLUSÕES

A principal causa de poluição hídrica na bacia origina-se nas fontes pontuais de lançamento de esgotos domésticos da zona urbana do município de Pains, no trecho médio do rio São Miguel. A ocupação urbana se dá em pequena extensão areal da bacia, mas é responsável pelo principal foco de poluição pontual. A forma direta e *in natura* pela qual os esgotos são lançados nas águas, constituem o principal problema de poluição.

O reflexo da ocupação urbana na qualidade da água foi evidenciado no trecho imediatamente a jusante da cidade, onde a qualidade é pior quando comparada aos outros trechos do rio. As fontes pontuais de lançamento de esgotos provocam alterações quantitativas para mais no número de coliformes termotolerantes, elevação nos teores de fósforo total e rebaixamento significativo nos níveis de oxigênio dissolvido na água do rio São Miguel. Estes se caracterizaram como os principais parâmetros que influenciaram na piora da qualidade das águas no trecho médio do rio.

Estas considerações merecem atenção por apontar a necessidade de se avaliar medidas para reduzir a carga de lançamentos de esgotos não tratados no rio, admitido-se a hipótese de construção de Estação de Tratamento de Esgoto a jusante do centro urbano de Pains.

A contaminação microbiológica implica no comprometimento do uso da água, restringindo, segundo padrões legais nacionais, o uso para navegação e harmonia paisagística (que não constituem usos relevantes neste caso). Porém, o contato primário de pessoas com as águas contaminadas foi revelado nas ocorrências mais significativas de casos de esquistossomose, registradas na zona urbana de Pains. Este contato deveria ser evitado principalmente no trecho médio do curso do rio.

AGRADECIMENTOS

A Fundação de Amparo à pesquisa de Minas Gerais (FAPEMIG) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo suporte financeiro do projeto.

BIBLIOGRAFIA

AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION - AWWA. (1964) “*Água tratamento e qualidade*”. Trad. Missão norte americana de cooperação econômica e técnica no Brasil, Livro Técnico S.A., Rio de Janeiro (Original: *Water quality and treatment*, 2d. Ed., Lancaster Press Inc., 1951).

ARIENZO, M.; ADAMO, P.; BIANCO, M. R.; VIOLANTE, P. (2001). “*Impact of land use and urban runoff on the contamination of the Sarno river basin in Southwestern Italy*”. Water, Air, and Soil Pollution. 131. pp.349–366.

- CANADIAN COUNCIL OF RESOURCES AND ENVIRONMENTAL MINISTERS - CCREM. (1987). *Canadian water quality guidelines*. Ottawa.
- CARVALHO, C. F.; FERREIRA, A. L.; STAPELFELDT, F. (2004). “*Qualidade das águas do ribeirão Ubá- MG*”. Revista da Escola de Minas. 57 (3), pp.165-172.
- COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL – CETESB. (2006). “*Qualidade ambiental no Estado de São Paulo – 2005*” (Série Relatórios). São Paulo.
- CHAPMAN, D.; KIMSTACH, V. (1996). *Selection of water quality variables, in Water Quality Assessments - A Guide to Use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring*. Org. Chapman, D., Chapman & Hall, 2nd Ed., Cambridge.
- CHEREM, L. F. (2006). “*Atlas cartográfico para a gestão ambiental de médias bacias hidrográficas: proposição conceitual-metodológica e o estudo de caso da bacia do rio São Miguel – Alto São Francisco/MG*” Belo Horizonte: IGC/UFMG, 2006.
- COELHO, P. S.; NACIF, W. F.; VIOLA, Z. G. G.; COELHO, L. C.; ALMEIDA, M. C.; COUTINHO, W.; BARBOSA, B. M.(2006). “*O estabelecimento de um programa de monitoramento da qualidade das águas superficiais como ferramenta para a proposta de reenquadramento: o estudo da bacia da Pampulha/MG*”, in Anais do I Simpósio de Recursos Hídricos do Sul-Sudeste, Curitiba - PR, ago. 2006. CD –ROM (PAP 0095).
- CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE - CONAMA. (2000). *Resolução No 274, de 29 de novembro 2000. Dispõe sobre a balneabilidade*. Diário Oficial da República Federativa do Brasil.
- CONAMA. (2005). *Resolução No 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências*. Diário Oficial da República Federativa do Brasil.
- DOTTO, C. B. S.; PAIVA, E. M. C. D.; SILVA, L. F.; MARTINS, M. B. (2006). “*Caracterização dos sedimentos propagados na rede de drenagem em área urbana de Santa Maria – RS*” in Anais do I Simpósio de Recursos Hídricos do Sul-Sudeste, Curitiba -PR, ago. 2006. CD –ROM (PAP 0071).
- DUSSART-BAPTISTA, L.; MASSEIA; N. DUPONTA, J.-P. ;JOUENNE, T. (2003). “*Transfer of bacteria-contaminated particles in a karst aquifer: evolution of contaminated materials from a sinkhole to a spring*”. Journal of Hydrology 284, pp.285–295.
- ELLISON, M. E.; BRETT, M. T. (2006). “*Particulate phosphorus bioavailability as a function of stream flow and land cover*”. Water Research 40, pp.1258-1268
- FÉLIX, A. A.; FREITAS JR., R. L. (2000). “*Mapeamento Geológico e Hidrogeológico da Bacia Hidrográfica do Rio São Miguel – Alto São Francisco, Estado de Minas Gerais*”. Belo Horizonte: IGC/UFMG.
- FIGUEIREDO, R. O. AND OVALLE, A. R. C. (1998). “*Fluvial hydrogeochemistry in a subtropical coastal watershed in Brazil*”. Water, Air and Soil Pollution. 105, pp.399-407.

HESPANHOL, I. (2002). “Água e saneamento básico: uma visão realista”, in *Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação*. Org. por Rebouças, A.; Braga, B.; Tundisi, J.G., Escrituras Editora., 2ª Ed., São Paulo –SP, pp. 249-303

HOUNSLOW, A. (1995). *Water quality data: analysis and interpretation*. Lewis Publishers, Boca Raton, pp.1-16; 45-62.

HUNTER, C.; PERKINS, TRANTER, J; GUNN, J. (1999). “Agricultural land-use effects on the indicator bacterial quality of an upland stream in the Derbyshire Peak District in the U.K”. *Water Research* 33. (17), pp.3577-3586.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. (1969). “Lagoa da Prata - Folha SF 23-C-I-2”. Diretoria de Geodésia e Cartografia, Carta do Brasil, 1ª Ed., Escala 1: 50.000

IBGE. (1970). “Arcos - Folha SF 23-C-I-4”. Diretoria de Geodésia e Cartografia, Carta do Brasil, 1ª Ed., Escala 1: 50.000.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS - IGAM. (2005). “Relatório de monitoramento das águas superficiais na Bacia do Rio São Francisco em 2004: Bacia do Rio São Francisco – Sul”. IGAM, Belo Horizonte, 180p.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS –INPE. (2005). *Software Spring versão 4.1.1*. INPE, Brasília.

LAMB, J. C. (1985). *Water quality and its control.*: Wiley, New York, pp.1-32; 47-89; 106-127; 142-160; 199-216.

LITTLE, J. L.; SAFFRAN, K.A. AND FENT, L. (2003). “Land Use and Water Quality Relationships in the Lower Little Bow River Watershed, Alberta, Canada”. *Water Quality Research Journal of Canada* 38 (4), pp. 563-584.

LOBO, F.; WHATELY, M.; CUNHA, P. M. E DIAS, T. S. (2006). “Análise Integrada da evolução do uso do solo e da qualidade da água como ferramenta de monitoramento de mananciais, bacia do Guarapiranga/SP” in *Anais do I Simpósio de Recursos Hídricos do Sul-Sudeste, Curitiba -PR, ago. 2006*. CD –ROM (PAP 0090).

MENEGASSE, L. N.; GONÇALVES, J. M. E FANTINEL, L. M. (2002). “Disponibilidades hídricas na Província Cárstica de Arcos Pains e Doresópolis – Alto São Francisco, Minas Gerais, Brasil”. *Revista Águas Subterrâneas* 16, pp.1-19.

MILESI, S. V.; KÖNIG, R.; GALIANO, D.; SUZIN, C. R. H.; RESTELLO, R. M.; HEPP, L. U.. (2006). “Utilização de indicadores biológicos na avaliação do impacto urbano e industrial sobre a qualidade das águas”. in *Anais do I Simpósio de Recursos Hídricos do Sul-Sudeste, Curitiba -PR, ago. 2006*. CD –ROM (PAP 0053).

NASCIMENTO, L. V. (1998). “Análise dos padrões de efluentes das águas e de lançamento de efluentes líquidos estabelecidos pela resolução CONAMA N° 020/1986: uma abordagem para águas doces”. UFMG, Belo Horizonte (Dissertação de Mestrado em Engenharia)

NASH, D. M.; HALLIWELL, D. J. (2000). “*Tracing phosphorous transferred from grazing land to water*”. Water Research. 34 (7), pp. 1975-1985.

OWENS, P. N.; WALLING, D. E. (2002). “*The phosphorus content of fluvial sediment in rural and industrialized river basins*”. Water Research 36, pp.685–701.

SAADI, A. (1991). “*Ensaio sobre a morfotectônica de Minas Gerais: tensões intraplaca, descontinuidades crustais e morfogênese*”. IGC/UFMG, Belo Horizonte, pp.131-191. (Tese de Professor Titular).

SERVIÇO AUTÔNOMO DE ÁGUA E ESGOTO - SAAE . (2004). “*Relatório Anual de Atividades*”. Pains.

SILVA, A. M. M.; SACOMANI, L. B. (2001). “*Using chemical and physical parameters to define the quality of Pardo river water (Botucatu-SP-Brazil)*”. Water Research. 35 (6), pp.1609-1616.

SLIVA, L. AND WILLIAMS, D. D. (2001). “*Buffer zones versus whole catchment approaches to studying land use impact on river quality*”. Water Resources 35 (14), pp. 3462–3472.

TOLEDO, L. G. E NICOLELLA, G. (2002). “*Índice de qualidade de água em microbacia sob uso agrícola e urbano*”. Scientia Agrícola 59 (1), pp.181-186.

TOLEDO, A. M. A.; BALLESTER, M. V. R.; LISI, C. S.; CASAGRANDE, C. A.; MONTEBELO, L. A. (2003). “*Evolução do uso e cobertura do solo na microbacia do ribeirão dos Marins (SP) e a qualidade da água utilizada por hortifrutigranjeiros na produção de alimentos*” in *Anais do XI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*. Belo Horizonte –MG, 05 a 10 abr 2003. INPE, pp. 2625 - 2632.

TSEGAYE, T.; SHEPPARD; D., ISLAM, K. R.; JOHNSON; TADESSE, A. W.; ATALAY; A. AND MARZEN, L. (2006). “*Development of chemical index as a measure of in-stream water quality in response to land-use and land cover changes*”. Water, Air, and Soil Pollution 174, pp.161–179.

TUCCI, C. E. M. (2002). “*Água no meio urbano*”, in *Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação*. Org. por Rebouças, A.; Braga, B.; Tundisi, J.G., Escrituras Editora,. 2^a Ed., São Paulo – SP, pp. 473-506.

VON SPERLING, M. (2005). “*Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.*” v.1. 3ed., UFMG/Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Belo Horizonte – MG, 243p.