

Influência antrópica na qualidade da água da bacia hidrográfica do rio São Miguel, carste do alto São Francisco, Minas Gerais

Eduardo Abjaud Haddad*
Antônio Pereira Magalhães Júnior**

Resumo

A qualidade da água é um dos elementos potencialmente indicadores das atividades humanas em uma bacia hidrográfica. Este trabalho foi baseado em análises de qualidade da água da bacia do rio São Miguel, localizada na área cárstica do alto São Francisco. Mensalmente, durante um ano, foram monitorados 13 parâmetros de qualidade de água em 5 locais no rio São Miguel. Aqueles que apresentaram influências de atividades antrópicas foram analisados espacial e temporalmente. O fator de poluição mais evidente é o lançamento de esgotos da ocupação urbana, responsável pela contaminação microbiológica, e ocorrência de esquistossomose no trecho do médio curso do rio. Os efeitos de atividades agropecuárias se evidenciaram no período das chuvas em função da erosão do solo nos trechos do alto e baixo curso do rio. O impacto da principal atividade econômica regional, a mineração de calcário, não se refletiu com clareza na qualidade da água.

Palavras-chave: Qualidade da água; Poluição hídrica; Carste.

* Mestre em Geografia – Instituto de Geociências (IGC/UFMG) (haddadedu@yahoo.com.br).

** Prof. Departamento de Geografia Instituto de Geociências (IGC/UFMG) (magalhãesufmg@yahoo.com.br).

Abstract

The water quality is one of the elements that can potentially indicate human activities in watersheds. This study was based in water analysis conducted at São Miguel river basin, located in karstic terrain in Upper São Francisco basin. Monthly, during a year, samples were collected at 5 gauge stations in São Miguel river to monitoring 13 water quality variables. Those, which had demonstrated human influences, were studied spatially and temporally. Sewage discharge from urban area, although its relatively small size, was the main factor of water pollution in the river, being responsible for microbiological contamination, resulting in waterborne disease cases – schistosomosis was reported at the middle sector of the river. The effects of rural activities in water quality decay were evidenced at rainy season due soil erosion at, both in the up and low river course. The variables analyzed did not indicate clearly effects of limestone mining in the water quality, nonetheless it represents the major economic activity at the region.

Key words: Water quality; Water pollution; Karst.

Introdução

O estudo da influência de atividades humanas na qualidade da água demanda a consideração que corpos hídricos têm capacidade de refletir alterações de seu estado devido ao desenvolvimento de atividades antrópicas. A água é um fator na produção do espaço geográfico que condiciona a localização e a dinâmica de atividades humanas (MAGALHÃES Jr, 2003), e como efeito, estas podem implicar na sua degradação qualitativa e redução da disponibilidade hídrica, resultando no comprometimento do seu uso para finalidades diversas (LAMB, 1985). Deve-se considerar ainda que influências

HADDAD, E.A. e MAGALHÃES JR., A.P. Influência antrópica na qualidade...

antrópicas sobre a qualidade da água estão fortemente associadas ao crescimento da urbanização, da expansão das atividades agropecuárias e industriais, que engendram alterações deletérias crescentes sobre a qualidade das águas (WORLD HEALTH ORGANIZATION - WHO, 1993; MEYBECK & HELMER, 1996). O conhecimento do estado das águas permite auxiliar na definição de usos pretendidos, avaliar sua qualidade e indicar quais atividades humanas causam ou podem causar sua degradação. A pesquisa sobre qualidade das águas exige a definição de sua dimensão espacial. Uma delas pode ser dada pela delimitação de uma bacia hidrográfica, unidade espacial facilitadora do estudo de relações ambientais de causa-efeito (BOURLON & BERTHON, 1998; BOTELHO & SILVA, 2004), e preconizada como unidade territorial preferencial de gestão dos recursos hídricos pela atual Lei das Águas, nº 9.433/97 (BRASIL, 1997).

A bacia hidrográfica do rio São Miguel apresenta-se como um “cenário” potencialmente rico para o estudo dos impactos humanos sobre o ambiente. O rio situa-se na margem direita da bacia do Alto São Francisco, no sudoeste de Minas Gerais, e sua bacia hidrográfica insere-se numa região cárstica, onde os usos do solo abrangem campos de pastagens para pecuária, agricultura, ocupação urbana, mineração e beneficiamento de rochas carbonáticas. Estas atividades antrópicas implicam em fortes pressões sobre o frágil quadro natural da área, inclusive as águas. O objetivo geral da pesquisa é investigar os reflexos destas atividades antrópicas sobre a qualidade das águas superficiais da bacia hidrográfica do rio São Miguel.

Metodologia

O levantamento de informações preliminares envolveu os dados de pluviometria da estação Arcos de código 02045010, adquiridos junto à COMPANHIA DE PESQUISAS E RECURSOS MINERAIS – CPRM¹ e os dados de qualidade da água da estação

¹ No prelo.

Calciolândia de código SF-002-A, localizada no rio São Miguel (INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS – IGAM, 2005). Foi utilizado o mapa de uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica do rio São Miguel elaborado por CHEREM (2006).

O monitoramento das águas superficiais foi realizado em 5 pontos de coleta ao longo do curso principal do rio São Miguel, coletor principal da bacia (FIGURA 1). Os parâmetros analisados foram 13 no total, sendo o oxigênio dissolvido - OD, pH, temperatura da água, turbidez e condutividade elétrica 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 cálculo das seções do canal. Os mesmos parâmetros foram analisados de amostras coletadas em duas campanhas de campo em três nascentes, resultados que serviram como referência à condição de qualidade “natural” das águas na bacia (background).

Os resultados foram avaliados com a utilização de estatística de medida central (média aritmética, geométrica e mediana) dos parâmetros que sofreram influências antrópicas.

Área de estudo

A bacia do rio São Miguel situa-se a sudoeste de Minas Gerais, na região do Alto São Francisco (FIGURA 1). A área de drenagem perfaz aproximadamente 525km² e abrange, na sua maioria, parte dos municípios de Pains e Arcos. Apesar de situado em área cárstica, o rio São Miguel tem a maior parte de seu curso em superfície, e possui cerca de 40km de extensão.

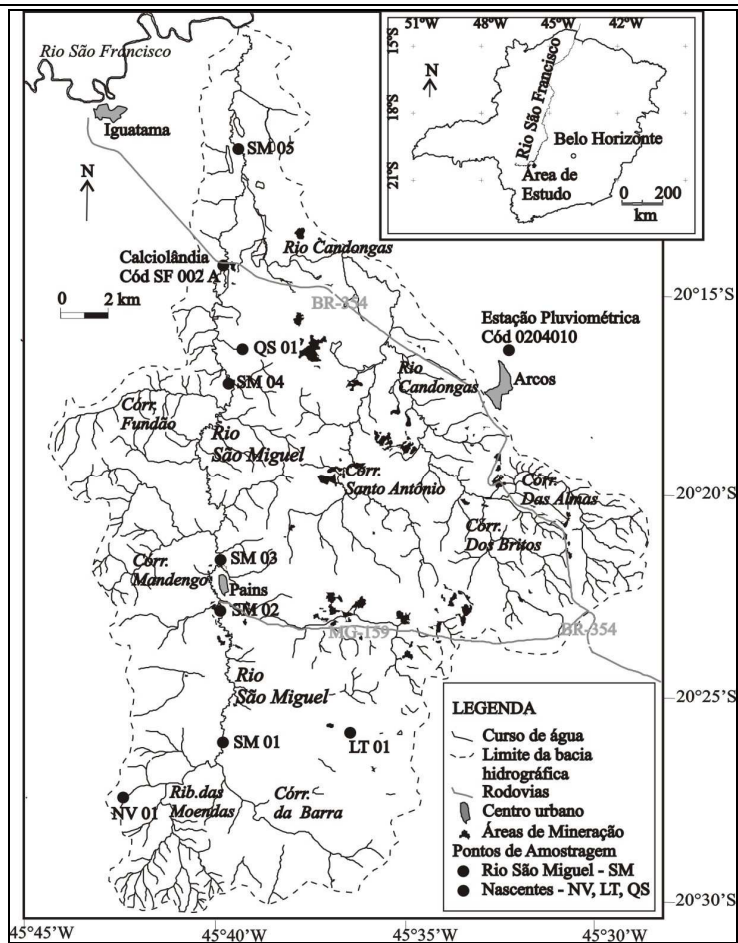


FIGURA 1: Localização da área de estudo, dos pontos de monitoramento e das estações hidrometeorológicas

Base Cartográfica: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (1970)²

² Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. Diretoria de Geodésia e Cartografia. **Arcos**. 1ª Ed., 1970. Folha SF 23-C-I-4, Carta do Brasil, Escala 1: 50.000.

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 & 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. O clima é caracterizado pelas seguintes temperaturas médias mensais: mínima de 16,4°C em julho e máxima de 22,6°C em fevereiro. A média pluviométrica anual é de 1.325mm (MENEGASSE *et al.*, 2002).

Conforme a TABELA 1, o uso do solo na bacia se caracteriza pela predominância dos campos utilizados para pastagens, a ocupação urbana apresenta baixa proporção, são 2,7km² que representam 0,5% da área total. As áreas de mineração, atividade econômica expressiva na região, também ocupam pequena extensão areal (1,5%), e envolvem os processos da extração das rochas, britagem, moagem, calcinação (queima) que resultam na emissão de poeiras e particulados na atmosfera.

TABELA 1: Classes de usos do solo, área e percentual na bacia hidrográfica do rio São Miguel

Classe de uso de solo	Área	
	Km ²	%
Pasto	214,0	40,8
Vegetação (Mata)	143,4	27,3
Agricultura	63,5	12,1
Afloramentos rochosos	60,7	11,6
Mineração	7,8	1,5
Solo exposto	6,2	1,2
Plantação de eucalipto	4,7	0,9
Área urbana	2,6	0,5
Outros	21,4	4,1
Total	524,6	100,0

Fonte: Cherem, 2006

Uma mancha urbana se localiza a NE da bacia e corresponde a uma parte do centro urbano de Arcos (a área muito distante do ponto de monitoramento de qualidade da água). A outra parte corresponde ao centro urbano de Pains, localizado no trecho médio curso do rio São Miguel, 1,5km do ponto de monitoramento SM03 (FIGURA 1). A população urbana deste município em 2000 era de 5.629 habitantes (IBGE, 2005), sendo 77% abastecida pela rede geral de fornecimento de água, 21% por poços artesianos e menos de 2% por outras formas de abastecimento. 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 (SERVIÇO AUTÔNOMO DE ÁGUA E ESGOTO - SAAE, 2004).

Resultados

Os resultados de todos os parâmetros utilizados no monitoramento no rio se encontram no APÊNDICE A, os resultados das nascentes, da Estação Calciolândia e de pluviometria e vazão no período se apresentam no APÊNDICE B. Serão discutidos adiante aqueles que tiveram alterações relacionadas às atividades antrópicas: Coliformes Termotolerantes (CT), Oxigênio Dissolvido (OD), Fósforo Total (PT), e Turbidez.

Coliformes termotolerantes

Os resultados das concentrações de CT registrados nos pontos de monitoramento atingiram valores superiores aos das nascentes e denota alterações na qualidade da água natural (TABELA 2). Os valores mais elevados ocorreram em dezembro e março quando houve precipitação no dia e momento da coleta e aumento da vazão no rio. Esta relação direta foi apontada no trabalho de Dussart-Baptista *et al.* (2003) e Little *et al.* (2003) que observaram picos nas concentrações de CT durante eventos chuvosos. As fontes não pontuais de poluição do meio rural se devem à presença nos solos de material fecal animal relacionado à

HADDAD, E.A. e MAGALHÃES JR., A.P. Influência antrópica na qualidade...

pecuária bovina, elas se localizam nas áreas dos pontos SM 01, 02 e 05, distantes do centro urbano de Pains (FIG.1). O incremento na água se relaciona ao armazenamento de CT nos solos associada à capacidade de movimentação destes organismos por mecanismos de transporte hidrológico (HUNTER *et al.*, 1999). No ponto SM 03 em setembro, as concentrações atingiram o valor da máxima registrado no ponto e em todo rio, mesmo sem chuva na hora da coleta, fato que se deve às fontes pontuais de lançamento de efluentes do centro urbano de Pains, independente das chuvas.

TABELA 2: Coliformes termotolerantes (NMP/100ml) e estatística descritiva

	SM 01	SM 02	SM 03	SM 04	SM 05
19/abr/2005	130	130	5000	2200	110
15/mai/2005	800	500	16000	110	230
19/jun/2005	280	70	170	1100	350
18/jul/2005	1700	1100	21	19	140
15/ago/2005	140	350	11	170	110
19/set/2005	230	220	90000	1300	80
18/out/2005	220	170	17000	50	500
20/nov/2005	11	170	1600	110	220
11/dez/2005	1600	1600	1600	1600	1600
23/jan/2006	230	170	13000	130	700
15/fev/2006	500	230	90000	280	220
20/mar/2006	30000	500	50000	3000	1100
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
Mínima	11	70	11	19	80
Máxima	30000	1600	90000	3000	1600

Os valores estatísticos mais elevados se encontram no ponto SM 03, superiores à máxima da Estação Calciolândia, 30.000 NMP/100ml, registrada em abril de 2002 (IGAM, 2005). O

lançamento de esgotos sanitários e dejetos urbanos de Pains representam a mais significativa fonte de poluição pontual e se relaciona aos elevados valores de CT no ponto SM 03, situado a 1,5km de distância a jusante do centro urbano. Ressalta-se que o Programa de Controle da Esquistossomose da Secretaria Municipal de Saúde de Pains³ contabilizou 315 casos da doença no ano de 2006 no município; deste total, 204 casos ocorreram na zona urbana, portanto, nas proximidades do trecho SM 03.

Fósforo total

Os resultados das concentrações do Fósforo Total (PT) nos 5 pontos no rio foram superiores aos obtidos nas nascentes, exceto em maio e abril, e mostram alteração nos níveis de PT das águas naturais (TAB. 3). Segundo Von Sperling (2005), a lixiviação de minerais primários, dissolução de compostos do solo e a decomposição de matéria orgânica podem ser relacionados como causas naturais da origem da presença de elemento nas amostras de águas naturais.

Os valores máximos de PT em todos os 5 pontos ocorreram em junho devido ao fato de grande proporção do transporte de PT no solo ocorrer durante algumas precipitações (ELLISON & BRETT, 2006). Processo similar foi verificado por Little *et al.* (2003) que relacionaram as maiores elevações de PT nos rios em áreas agrícolas no Canadá ao escoamento superficial provocado pelos primeiros eventos de chuvas após época seca. No rio São Miguel, a última chuva ocorrera dia 27 de maio, seguida de outra somente após um intervalo de 23 dias, quando choveu 13,3mm no dia 19 de junho (dia da coleta). Esta precipitação desencadeou a lixiviação e remoção do elemento do solo e o transporte por escoamento superficial, processo principal da entrada de P dissolvido na água (NASH & HALLIWELL, 2000). A proveniência do elemento na água está nas fontes não pontuais da

³ No prelo.

HADDAD, E.A. e MAGALHÃES JR., A.P. Influência antrópica na qualidade...

agricultura, devido ao uso de fertilizantes, inseticidas, pesticidas e a presença de excremento de animais nos campos de pecuária (LITTLE *et al.*, 2003). De junho a março, da estação seca para a chuvosa, houve diminuição nos valores, diretamente relacionado à precipitação acumulada, que implicou na diluição do elemento nas águas com o aumento da vazão (janeiro, fevereiro e março).

TABELA 3: Fósforo Total (mg/L) e estatística descritiva

	SM 01	SM 02	SM 03	SM 04	SM 05
19/abr/2005	0,01	0,02	0,14	0,04	0,02
15/mai/2005	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
19/jun/2005	0,32	0,34	0,46	0,44	0,39
18/jul/2005	0,13	0,15	0,09	0,18	0,14
15/ago/2005	0,23	0,18	0,25	0,16	0,18
19/set/2005	0,08	0,08	0,15	0,08	0,08
18/out/2005	0,09	0,06	0,14	0,10	0,06
20/nov/2005	0,15	0,13	0,10	0,12	0,11
11/dez/2005	0,10	0,09	0,14	0,15	0,14
23/jan/2006	0,11	0,05	0,04	0,07	0,03
15/fev/2006	0,10	0,10	0,11	0,08	0,05
20/mar/2006	0,08	0,08	0,06	0,10	0,10
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
Mínima	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Máxima	0,32	0,34	0,46	0,44	0,39

Especialmente, a distribuição dos valores de medida de tendência central dos pontos (médias e medianas) tende a decrescer de montante para jusante, exceto entre os pontos SM 02 e SM 03 (TAB.3), onde há ocupação urbana entre eles. Owens & Walling (2002) verificaram o mesmo padrão em bacia hidrográfica com ocupação urbana. O lançamento de esgotos domésticos, detergentes centro urbano de Pains contribui de forma mais

constante e regular em relação aos outros pontos durante todo o ano para entrada de PT no rio. Porém, os valores absolutos observados em junho em todos os pontos do escoamento superficial de fontes difusas da agricultura, representaram as fontes mais significativas para a poluição do curso d'água por este parâmetro.

Oxigênio dissolvido

Os valores de Oxigênio Dissolvido – OD - dos meses de maio, junho e das nascentes não foram computados devido a erros de leituras do equipamento em campo. O valor máximo obtido em campo foi de 8,8mg/L no ponto SM 01 em novembro, e foi usado como referência para o valor de OD de águas naturais na bacia do rio São Miguel. Os valores na TABELA 4 mostram que há um decréscimo do valor de 8,8mg/L em todos os pontos, indicando mudanças nas condições do parâmetro OD nas águas do rio.

O decréscimo da vazão no final da estação seca (de julho a outubro) foi acompanhado pelo decaimento de OD (setembro e outubro foram os meses críticos). A partir de novembro, com o início das chuvas e aumento das vazões, os valores de OD se elevaram, com exceção do mês de fevereiro, associado aos elevados valores de CT no ponto SM 03 neste dia (TAB.2).

O padrão de distribuição espacial de OD mostra decréscimo em todos os valores estatísticos (médias, mediana, mínima e máxima) do ponto SM 01 para o ponto SM 03, este com os valores mais críticos dentre os pontos (TAB.4). A jusante do ponto SM 03 o acréscimo dos valores denotam que o rio melhora suas condições sem, no entanto, atingir as condições de montante. Nos pontos SM 04 e SM 05 este aumento está relacionado às contribuições dos córregos do Mandengo e do Fundão, assim como do rio Candongas (FIG.1).

O rebaixamento na concentração de OD no ponto SM 03 se deve à poluição orgânica nesta parte do rio, 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 & NICOLELLA, 2002). O ponto SM 03 foi o único que apresentou correlação negativa entre CT e OD (-0,23). Pontualmente, a relação indireta entre os parâmetros se deu em novembro nos pontos SM 01 e 02, e em janeiro neste último, revelando que a relação entre estes parâmetros se evidenciou somente com elevadas contagens de CT, pois os picos de CT de 90.000 NMP/100mg/L (TAB.2) se associaram aos 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 registrada na estação Calciolândia (5,5mg/L em outubro de 2003).

TABELA 4 - Oxigênio dissolvido (mg/L) e estatística descritiva

	SM01	SM02	SM03	SM04	SM05
19/abr/2005	4,4	4,2	5,0	5,4	4,0
18/jul/2005	8,4	7,5	6,2	5,8	5,5
15/ago/2005	6,8	6,4	3,7	5,7	6,2
19/set/2005	5,6	5,5	3,0	5,6	5,1
18/out/2005	5,5	4,9	3,9	4,9	4,8
20/nov/2005	8,8	7,5	6,0	4,6	6,5
11/dez/2005	6,2	6,3	6,2	7,3	7,6
23/jan/2006	8,2	8,1	7,1	6,9	6,1
15/fev/2006	5,6	5,2	3,4	5,5	5,5
20/mar/2006	7,8	7,7	5,5	6,4	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
Mínima	4,4	4,2	3,0	4,6	4,0
Máxima	8,8	8,1	7,1	7,3	7,6

Turbidez

Os valores de turbidez nas águas estão na faixa entre 1,1 a 2,15 UNT obtidas nas nascentes, e os valores das máximas nos pontos indicam fortes alterações na qualidade da água natural provenientes de atividades antrópicas (TABELA 5)⁴.

TABELA 5 - Turbidez (UNT) e estatística descritiva

	SM 01	SM 02	SM 03	SM 04	SM 05
18/jul/2005	5,29	3,89	1,96	...	4,57
15/ago/2005	2,98	4,66	1,83	3,25	5,11
19/set/2005	8,49	2,66	2,41	2,71	10,65
18/out/2005	3,4	2,04	3,30	1,39	5,10
20/nov/2005	5,92	4,92	4,36	3,06	22,90
11/dez/2005	42,53	23,06	36,58	44,57	63,06
23/jan/2006	7,46	5,7	5,38	4,92	9,24
15/fev/2006	7,39	7	2,79	3,93	8,46
20/mar/2006	350	28,68	9,30	8,00	56,31
Estatística descritiva					
n	9	9	9	9	9
Média Aritmética	48,2	9,2	7,5	9,0	20,6
Média Geométrica	10,92	6,16	4,41	4,75	12,61
Mediana	7,39	4,92	3,3	3,59	9,24
Mínima	2,98	2,04	1,83	1,39	4,57
Máxima	350	28,68	36,58	44,57	63,06

As variações temporais mais significativas durante o ano do monitoramento se deveram às precipitações no momento das coletas em dezembro e março, ocasionando elevação conjunta da

⁴ Os dados abrangem o período de julho a março, devido ao atraso na entrega do turbidímetro pelo fornecedor responsável. A amostra de julho do ponto SM 04 foi extraviada, o recipiente furou e não suportou o conteúdo da amostra até a sua devida leitura.

turbidez nos 5 pontos (TAB.5). O aumento da turbidez em eventos chuvosos se deve ao impacto e remoção de partículas de solos expostos pela ausência de cobertura vegetal, e o posterior transporte por escoamento superficial para os corpos d'água (DUSSART-BAPTISTA *et al.*, 2003; SILVA *et al.*, 2003; VALDES *et al.*, 2005).

Espacialmente, a distribuição da turbidez observada de montante para a jusante nos pontos é diferente da distribuição verificada para CT, PT. O padrão espacial mostra que as áreas críticas segundo valores estatísticos estão nos pontos SM 01 e SM 05, (TAB.5). A presença de vegetação ripária junto aos pontos SM 02, 03 e 04 contribui para os valores de turbidez relativamente inferiores aos dos pontos SM 01 e 05.

O ponto SM 01 apresentou a maior média aritmética, e a maior máxima, registrada durante a precipitação em março (350 UTN). A desproporção elevada atesta a presença de um ou mais focos de erosão acelerada (voçorocamento), cuja origem se relaciona ao manejo inadequado do solo para a atividade agropecuária, aliado à ausência de vegetação nas margens do curso d'água.

O ponto mais a jusante, SM 05, apresentou os mais elevados valores de mínima, média geométrica e mediana (TAB.5), relacionados a erosão laminar acelerada mais intensa e à maior vazão deste trecho no rio. As causas deste comportamento estão na concentração de amplas áreas agrícolas e agropecuárias a montante do ponto, localizadas no baixo curso do rio Candongas e São Miguel (CHEREM, 2006). Estas áreas submetidas à aragem periódica e ao uso e manejo inadequados do solo, bem como de pastagens mal conservadas, que resultam em áreas de solo exposto, e representam zonas potenciais de elevada erosão laminar. São áreas fornecedoras de matérias em solução e suspensão e definem a deteriorização da qualidade da água no ponto SM 05. Outro problema observado foi uma relação direta do aumento da turbidez e do número de CT. Este fato indica a influência direta do escoamento superficial, laminar e concentrado na remoção de

partículas do solo e de fezes de animais no meio rural, principalmente nos períodos de chuvas. Nos pontos SM 01 e SM 05, nos dias das chuvas de dezembro e março, os picos de turbidez coincidiram com os maiores valores de concentrações de CT registrados em cada ponto (TAB.2). Segundo Dussart-Baptista *et al.* (2003), apesar de baixos valores de turbidez não significar ausência de contaminação por bactérias, valores elevados de turbidez potencializam a possível presença de organismos patogênicos nas águas (SILVA *et al.*, 2003).

Conclusões

A pesquisa possibilitou, como foco principal dos estudos, identificar e avaliar relações existentes entre a qualidade das águas superficiais e as atividades humanas desenvolvidas na bacia hidrográfica do rio São Miguel, denotando influências antrópicas no estado de suas águas.

A ocupação urbana se dá em pequena extensão areal da bacia e representa um baixo percentual do uso do solo, mas é responsável pelo principal foco de poluição pontual. A forma direta e *in natura* pela qual os esgotos do centro urbano de Pains são lançados nas águas, constituem o principal problema de poluição delas. No trecho imediatamente a jusante da cidade, foram registradas as alterações quantitativas mais elevadas no número de coliformes termotolerantes, a maior elevação nos teores de fósforo total e rebaixamento mais significativo nos níveis de oxigênio dissolvido na água do rio São Miguel.

Estas considerações indicam a necessidade de se avaliar medidas para reduzir a carga de lançamentos de esgotos não tratados no rio, e controlar fontes de poluição pontual, apontando a necessidade de construção de Estação de Tratamento de Esgoto à jusante do centro urbano de Pains. A contaminação microbiológica implica no comprometimento do uso da água, restringindo, segundo padrões legais nacionais, ao uso para navegação e harmonia paisagística (que não constituem usos relevantes neste

caso). Porém, o contato primário de pessoas com a água contaminada foi revelado pelas ocorrências de casos de esquistossomose, registrado na zona urbana de Pains.

Outro efeito da relação entre uso solo e qualidade da água na bacia hidrográfica se deve a fontes não pontuais de poluição. Os campos utilizados para agricultura e pecuária compõem a paisagem rural predominante na área na bacia. A substituição da vegetação natural por estes campos provocou a devastação de parte da vegetação de topos, de encostas e ribeirinha, facilitando a erosão do solo e o aporte de carga sedimentar ao canal fluvial. Os efeitos deletérios na água se fizeram notar durante eventos chuvosos com elevação da turbidez nos trechos do alto e do baixo curso do rio. Neste último, há um claro predomínio do uso do solo para a agricultura. Nos eventos de precipitação, o aumento da turbidez, acompanhada pelo incremento do número de coliformes termotolerantes na água caracteriza uma situação de maior susceptibilidade das águas a poluição hídrica na época das chuvas, com tendências de piora na sua qualidade. Deve-se observar mais detalhadamente o cuidado com a manutenção e recuperação vegetal nas zonas ripárias, o que exige o mapeamento em detalhe das áreas onde esta vegetação foi retirada.

Apesar da qualidade das águas superficiais refletir os usos urbanos e agrícolas na bacia, não se mostra um indicador eficiente da principal atividade econômica regional: a mineração do calcário. A mineração é também uma das principais atividades impactantes sobre o patrimônio cárstico da bacia. Porém, não foi verificado nenhum comprometimento da qualidade da água pela mineração, pelo menos a partir do conjunto dos indicadores analisados.

Agradecimentos

Os autores agradecem à 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.

Referências bibliográficas

BOURLON, N; BERTHON, D. 1998. Desenvolvimento sustentável e gerenciamento das bacias hidrográficas na América Latina. In: **Água em Revista**. CPRM, Ano VI, n.10, pp. 16-22, jun 1998.

BOTELHO, R.G.M. & SILVA, A.S. Bacia hidrográfica e qualidade ambiental. In: VITTE, A.C. e GUERRA, A.J.T. (Org.) **Reflexões sobre a Geografia Física no Brasil**. Bertrand Brasil: Rio de Janeiro, 2004. pp.153 –192.

BRASIL. **Lei 9.433**, de 08 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, 1997.

CHEREM, L.F. **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. 2006. 85f. Monografia (Graduação em Geografia) - Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006.

DUSSART-BAPTISTA, L.; MASSEIA, N.; DUPONTA, J.-P.; JOUENNE, T. Transfer of bacteria-contaminated particles in a karst aquifer: evolution of contaminated materials from a sinkhole to a spring. In: **Journal of Hydrology**. v. 284, pp.285–295, 2003.

ELLISON, M.E. & BRETT, M.T. Particulate phosphorus bioavailability as a function of stream flow and land cover. In: **Water Research**. n.40, pp.1258-1268, 2006.

FÉLIX, A.A. & FREITAS JÚNIOR, R.L. **Mapeamento geológico e hidrogeológico da bacia hidrográfica do rio São Miguel – Alto São Francisco, Estado de Minas Gerais**. 2000. 105f. (Trabalho

HADDAD, E.A. e MAGALHÃES JR., A.P. Influência antrópica na qualidade... Geológico de Graduação) Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2000.

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

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **IBGE Cidades 2005**. Rio de Janeiro: IBGE, 2005. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 11 abr. 2006.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS - IGAM. **Relatório de monitoramento das águas superficiais na Bacia do Rio São Francisco em 2004**: Bacia do Rio São Francisco - Sul. Belo Horizonte: IGAM, 2005.180p.

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

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

MAGALHÃES Jr., A. **Os indicadores como instrumentos de apoio à consolidação da gestão participativa da água no Brasil**: realidades e perspectivas no contexto dos Comitês de Bacia Hidrográfica. 2003. Tese (Doutorado no Centro de Desenvolvimento Sustentável) Universidade Nacional de Brasília, Brasília, 2003.

MENEGASSE, L.N.; GONÇALVES, J.M.; FANTINEL, L.M. Disponibilidades hídricas na Província Cárstica de Arcos Pains e Doresópolis – Alto São Francisco, Minas Gerais, Brasil. In: **Revista Águas Subterrâneas**. n.16, maio/2002, pp.1-19.

HADDAD, E.A. e MAGALHÃES JR., A.P. Influência antrópica na qualidade...

MEYBECK, M. & HELMER, R. An introduction to water quality. In: CHAPMAN, D. (Org.). **Water Quality Assessments - A Guide to Use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring**, 2nd Ed. Cambridge: Chapman & Hall, 1996. (Edited by Deborah Chapman 1992, 1996 UNESCO/WHO/UNEP)

NASH, D.M.; HALLIWELL, D.J. Tracing phosphorous transferred from grazing land to water. In: **Water Research**. v.34, n.7, pp. 1975-1985, 2000.

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

TOLEDO, L.G.; NICOLELLA, G. Índice de qualidade de água em microbacia sob uso agrícola e urbano. In: **Scientia Agricola**. v.59, n.1, pp.181-186, jan/mar 2002.

SERVIÇO AUTÔNOMO DE ÁGUA E ESGOTO - SAAE. **Relatório Anual de Atividades** – Pains, 2004.

SILVA, A.M., SCHULZ, H.E. e CAMARGO, P.B. **Erosão e Hidrossedimentologia em Bacias Hidrográficas**. São Carlos: RiMa, 2003. pp.11-45; 83-91.

VALDES, D.; DUPONT, J.P.; MASSEI, N.; LAIGNEL, B; RODET, J. Analysis of karst hydrodynamics through comparison of dissolved and suspended solids' transport. In: **Compter Rendus Geoscience**. v.337. pp.1365–1374, 2005.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. v.1. 3ed. Belo Horizonte: UFMG, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2005.

WORLD HEALTH ORGANIZATION - WHO. **Guidelines for drinking-water quality**. 2nd Ed. Geneve: WHO, 1993. v.1 – Recommendations. pp.1–15; 39–57.

APÊNDICE A
Resultados dos parâmetros monitorados no rio São Miguel -
abril/2005 a março/2006

		SM 01											
Data	Horas	19/abr	15/mai	19/jun	18/jul	15/ago	19/set	18/out	20/nov	11/dez	23/jan	15/fev	20/mar
		...	16:15	15:00	16:30	09:30	09:45	09:40	08:30	10:00	08:50	11:24	07:00
Vazão m ³ /s		0,37	0,50	0,47	0,34	0,25	0,23	0,13	0,22	0,90	0,59	0,47	1,00
T (°C)		21,2	22,7	20,7	18,8	18,8	21,5	22,6	22	21,7	21,2	23,2	21,7
pH		8	8	8,6	8,8	8,9	8,8	8,1	8,2	8,3	8,2	7,9	7,7
OD (mg/L)		4,4	16,5	21	8,4	6,8	5,6	5,5	8,8	6,2	8,2	5,6	7,8
CE (mS)		0,37	0,335	0,321	0,304	0,329	0,331	0,328	0,342	0,345	0,366	0,349	0,204
Turbidez (NTU)		5,29	2,98	8,49	3,4	5,92	42,53	7,46	7,39	350
Cd Total (mg/L)		<0,0005	<0,0005	<0,0005	0,001	<0,0005	0,0006	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005
Pb Total (mg/l)		<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	0,023
Coliformes (100mg)		130	800	280	1700	140	230	220	11	>1600	230	500	30000
DBO (mg/L)		2	<2	<2	2	2	3	<2	<2	<2	<2	<2	3
DQO (mg/L)		8	9	7	21	7	26	<5	<5	<5	<5	<5	28
P Total (mg/L P)		0,01	<0,01	0,32	0,13	0,23	0,08	0,09	0,15	0,1	0,11	0,1	0,08
Nitrato (mg N/L)		0,45	0,33	0,17	0,08	0,16	0,08	0,19	0,17	0,06	0,3	0,27	0,38
Zn Total (mg/L)		1,18	1,02	0,06	0,07	0,12	0,12	0,08	0,11	0,08	0,06	0,21	0,09

		SM 02											
Data	Horas	19/abr	15/mai	19/jun	18/jul	15/ago	19/set	18/out	20/nov	11/dez	23/jan	15/fev	20/mar
		...	17:20	16:50	17:50	11:00	11:00	11:05	10:05	11:15	10:00	13:00	08:20
Vazão m ³ /s		0,77	1,87	1,45	1,9	0,81	0,57	0,52	0,6	1,92	1,1	1,01	3,29
T (°C)		24,2	21,1	20	18,9	19,5	22,2	23,1	22,8	22,3	22,4	24	22
pH		7,8	7,2	8,3	8,3	8,7	8,6	7,9	8,2	8,2	8,5	7,8	7,9
OD (mg/L)		4,2	12,1	10,9	7,5	6,4	5,5	4,9	7,5	6,3	8,1	5,2	7,7
CE (mS)		0,348	0,334	0,313	0,305	0,324	0,303	0,333	0,342	0,348	0,341	0,345	0,346
Turbidez (NTU)		3,89	4,66	2,66	2,04	4,92	23,06	5,7	7	28,68
Cd Total (mg/L)		<0,0005	<0,0005	<0,0082	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005
Pb Total (mg/l)		<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	0,009	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	0,008
Coliformes (100mg)		130	500	70	1100	350	220	170	170	>1600	170	230	500
DBO (mg/L)		<2	<2	<2	3	2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2
DQO (mg/L)		17	<5	11	<5	7	16	7	7	8	<5	8	5
P Total (mg/L P)		0,02	<0,01	0,34	0,15	0,18	0,08	0,06	0,13	0,09	0,05	0,1	0,08
Nitrato (mg N/L)		4,5	0,35	0,17	0,07	0,19	<0,01	0,17	0,12	0,11	0,06	0,4	0,44
Zn Total (mg/L)		1,36	1,13	0,06	0,12	0,092	0,14	0,08	0,1	0,03	0,06	0,19	0,07

HADDAD, E.A. e MAGALHÃES JR., A.P. Influência antrópica na qualidade...

SM 03												
Data	18/abr	15/mai	19/jun	18/jul	15/ago	19/set	18/out	20/nov	11/dez	23/jan	15-fev	20/mar
Horas	15:00	13:30	13:30	12:00	12:00	13:00	13:00	11:00	12:40	11:15	14:20	10:00
Vazão m³/s	1,34	1,68	1,52	1,13	1,02	0,98	0,64	0,97	4,6	1,49	1,39	4,11
T (°C)	22,9	22,4	21,5	20,9	20,1	22,5	23,5	23,2	22,8	22,3	24,3	22,4
pH	7,7	7,3	8,1	8,1	8,4	8,4	7,6	7,5	7,6	7,9	7,4	7,7
OD (mg/L)	5	12,6	21,9	6,2	3,7	3	3,9	6	6,2	7,1	3,4	5,5
CE (mS)	0,406	0,365	0,354	0,349	0,352	0,366	0,383	0,398	0,389	0,418	0,403	0,435
Turbidez (NTU)	...	...	...	1,96	1,83	2,41	3,3	4,36	36,58	5,38	2,79	9,3
Cd Total (mg/L)	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005
Pb Total (mg/l)	<0,008	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	0,006	<0,005	<0,005	0,014
Coliformes (100mg)	5000	>16000	170	21	11	90000	17000	1600	>1600	13000	90000	50000
DBO (mg/L)	2	<2	3	3	<2	2	2	2	<2	2	2	<2
DQO (mg/L)	15	10	11	<5	<5	9	9	36	10	5	5	7
P Total (mg/L P)	0,14	<0,01	0,46	0,09	0,25	0,15	0,14	0,1	0,14	0,04	0,11	0,06
Nitrato (mg N/L)	8,87	0,57	0,22	0,36	0,56	0,03	0,27	0,34	0,12	0,11	0,99	0,71
Zn Total (mg/L)	1,06	1,11	0,08	0,12	0,228	0,15	0,1	0,21	0,05	0,05	0,15	0,08

SM 04												
Data	18/abr	15/mai	19/jun	18/jul	15/ago	19/set	18/out	20/nov	11/dez	23/jan	15/fev	20/mar
Horas	...	13:45	12:30	12:10	13:30	13:20	14:00	13:00	13:45	12:10	15:20	11:30
Vazão (m³/s)	1,96	2,73	1,99	1,44	1,03	1,02	0,73	1,14	7,43	2,34	2,34	3,33
T (°C)	23,2	22	21,4	18,9	19,7	22,6	24,2	24,7	23,2	23,2	24,9	23
pH	3	7,3	8,1	8,5	8,7	8,6	7,9	7,8	7,8	7,7	7,7	7,8
OD (mg/L)	5,4	15	32,2	5,8	5,7	5,6	4,9	4,6	7,3	6,9	5,5	6,4
CE (mS)	1,992	0,369	0,373	0,353	0,382	0,378	0,377	0,398	0,382	0,411	0,409	0,428
Turbidez (NTU)	...	...	...	...	3,25	2,71	1,39	3,06	44,57	4,92	3,93	8
Cd Total (mg/L)	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005
Pb Total (mg/l)	<0,005	<0,005	<0,005	0,007	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	0,01
Coliformes (100mg)	2200	110	1100	19	170	1300	50	110	>1600	130	280	3000
DBO (mg/L)	4	<2	2	2	2	2	<2	<2	<2	<2	<2	<2
DQO (mg/L)	16	5	9	10	7	9	7	<5	<5	10	8	10
P Total (mg/L P)	0,04	<0,01	0,44	0,18	0,16	0,08	0,1	0,12	0,15	0,07	0,08	0,1
Nitrato (mg N/L)	17,79	0,58	0,31	0,24	0,51	<0,01	0,79	0,34	0,12	0,12	0,53	2,14
Zn Total (mg/L)	0,97	1,29	0,13	0,17	0,89	0,09	0,09	0,15	0,04	0,06	0,1	0,15

HADDAD, E.A. e MAGALHÃES JR., A.P. Influência antrópica na qualidade...

		SM 05											
Data	18/abr	15/mai	19/jun	18/jul	15/ago	19/set	18/out	20/nov	11/dez	23/jan	15/fev	20/mar	
Horas	...	12:00	11:00	10:20	15:00	13:20	15:30	15:00	15:20	13:45	16:30	12:45	
Vazão (m³/s)	3,9	5,39	5,67	4,41	3,57	4,2	2,69	4,77	16,65	4,37	4,9	15,48	
T (°C)	26,7	22,5	23,2	19,5	20,4	23,5	25,2	25,4	23,3	24,7	25,9	23,6	
pH	7,1	7,5	7,3	8,5	8,7	8,6	7,9	7,8	7,8	7,7	7,5	7,7	
OD (mg/L)	4	16,6	27	5,5	6,2	5,1	4,8	6,5	7,6	6,1	5,5	6,9	
CE (mS)	0,34	0,304	0,286	0,265	0,288	0,287	0,312	0,321	0,261	0,346	0,326	0,345	
Turbidez (NTU)	...	...	...	4,57	5,11	10,65	5,1	22,9	63,06	9,24	8,46	56,31
Cd Total (mg/L)	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	
Pb Total (mg/l)	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	0,027	
Coliformes (100mg)	110	230	350	140	110	80	500	220	>1600	700	220	1100	
DBO (mg/L)	2	<2	2	2	<2	<2	<2	<2	2	2	<2	<2	
DQO (mg/L)	<5	<5	9	7	9	12	<5	5	19	23	9	8	
P Total (mg/L P)	0,02	<0,01	0,39	0,14	0,18	0,08	0,06	0,11	0,14	0,03	0,05	0,1	
Nitrato (mg N/L)	1,86	0,34	0,19	0,1	0,26	0,03	0,3	0,19	0,05	0,12	0,3	1,23	
Zn Total (mg/L)	0,92	1,11	0,09	0,13	0,073	0,12	0,09	0,14	0,12	0,06	0,09	0,19	

APÊNDICE B

Resultado das análises nas nascentes

Parâmetro	NV		LT		QS	
	abril	setembro	abril	setembro	abril	setembro
CE (mS)	3,2 µS	2,8 µS	6,1 µS	6,8 µS	0,338mS	0,353mS
Turbidez (NTU)	1,96	1,1	2,15	6,19	1,31	1,86
Cd Total (mg/L)	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005
Pb Total (mg/l)	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
CT (NMP/100ml)	<2	20	<2	<2	80	<2
DBO (mg/L)	<2	<2	<2	2	3	2
DQO (mg/L)	<5	<5	<5	18	<5	<5
P Total (mg/L P)	0,03	0,03	0,02	0,08	0,27	0,05
Nitrato (mg N/L)	0,03	0,13	0,04	0,02	0,3	0,02
Zn Total (mg/L)	0,03	0,02	0,16	0,02	0,09	0,05

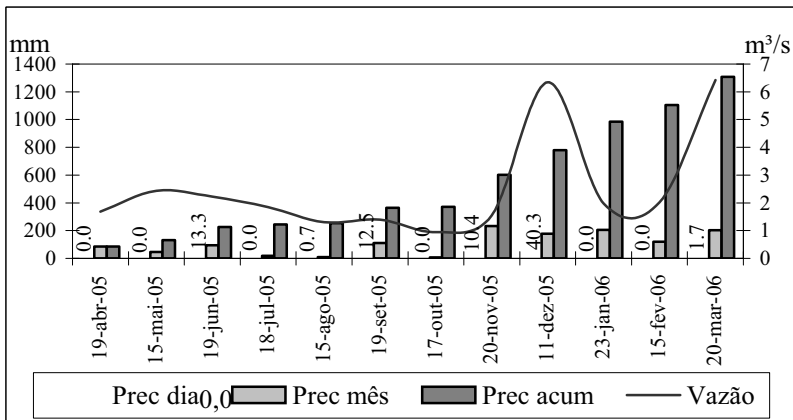
Estatística de parâmetros de qualidade de água na
Estação SF 002A – Calciolândia – 2000 a 2004

	OD	Turbidez	Colif Fecal*	P total	Zn Total
Unidade	mg/L	UNT	NMP/100ml	mg/L	mg/L
n	20	20	20	20	20
Média Aritmética	6,58	8,56	3753,0	0,05	0,06
Média Geométrica	6,55	5,71	1486,85	0,04	0,05
Mediana	6,5	5,8	1500,0	0,0	0,06
Mínima	5,5	1,2	30,0	0,0	0,02
Máxima	8,1	49,4	30.000,0	0,1	0,17
Desvio Padrão	0,63	10,64	6687,48	0,02	0,035
Coefficiente de Variação	0,10	1,24	1,781	0,41	0,590

* Coliformes Fecais (o mesmo que Coliformes Termotolerantes).

Fonte: IGAM (2005)

Pluviometria (estação Arcos - código 02045010) e média das vazões mensais no rio São Miguel



Prec dia – precipitação no dia; Prec mês – precipitação no mês; Prec acum – precipitação acumulada

Fonte: Companhia de Pesquisas e Recursos Minerais – CPRM (no prelo)

Recebido em junho de 2008

Aceito em outubro de 2009