

Influência geológica em assinaturas químicas das águas e solos do Parque Estadual do Itacolomi, Minas Gerais

(Influence of the geology in the chemical signature of water and soils from the Itacolomi State Park, Minas Gerais)

Larice Nogueira de Andrade

Mestranda do Departamento de Geologia da Escola de Minas - UFOP. E-mail: larice@degeo.ufop.br

Mariangela Garcia Praça Leite

Dra., Professora do Departamento de Geologia da Escola de Minas - UFOP. E-mail: garcia@degeo.ufop.br

Luís de Almeida Prado Bacellar

Dr., Professor do Departamento de Geologia da Escola de Minas - UFOP. E-mail: bacellar@degeo.ufop.br

Resumo

Esse trabalho apresenta uma avaliação geoquímica das águas superficiais do Parque Estadual do Itacolomi, relacionando-a com os cenários geológicos e com a geoquímica dos solos. Foram coletadas 36 amostras de solo de diferentes profundidades em pontos localizados em áreas representativas das diversas unidades litológicas. Também foram selecionados 18 pontos de amostragem de água em trechos com diferentes padrões de drenagem. Os elementos maiores e traços foram determinados por ICP-OES. Nas amostras de água, foram, também, determinados os parâmetros físico-químicos. Os resultados demonstram que a geologia exerce grande influência nas características químicas do solo e das águas superficiais da região. A comparação com valores-padrões definidos pelas normas CETESB 195/05 e CONAMA 357/05 indica concentrações anômalas de diversos elementos, possibilitando a comprovação da influência geológica e pedológica na qualidade das águas, já que a área de estudo é uma unidade de conservação livre de interferências antrópicas. Além disso, também foi possível observar a inadequação dessas normas em relação aos parâmetros de qualidade, que não consideram os fatores geológicos.

Palavras-chave: Geoquímica, interação água-rocha, Parque Estadual do Itacolomi, background geoquímico, caracterização ambiental.

Abstract

This paper presents an analysis of the geochemistry of superficial waters in the Itacolomi State Park and their relationship to the geological scenario and soil geochemistry. Thirty six soil samples were collected at points located in representative areas from the different lithologies. In each region, the soil samples were collected at diverse depths. In addition, eighteen water sampling points were also selected in areas with different drainage patterns. In the ground and water samples, the concentrations of major and trace elements were determined by ICP-OES. Also, physical-chemical parameters were determined for the water samples. The results reveal that geology plays an essential role in the chemical signature of the soils and superficial waters. Comparison with standard values defined by the rules CETESB 195/05 and CONAMA 357/05 proved the influence of pedological and geological characteristics on the water quality. Anomalous concentrations of several elements were found in the water and ground samples. In addition, it was also possible to observe that the regulations for water quality of this area are inadequate since they do not take the geological factors into consideration.

Keywords: Geochemistry, water-rock interactions, Itacolomi State Park, geochemical background, environmental characterization.

1. Introdução

Essa pesquisa foi desenvolvida no Parque Estadual do Itacolomi (PEI), responsável por parte do abastecimento de água para o distrito de Passagem de Mariana e para a cidade de Ouro Preto. Dentro de seus limites, o parque abrange diversas áreas de nascentes que formam os ribeirões do Carmo e Gualaxo do Sul, ambos componentes do chamado Alto Rio Doce (Vasconcelos et alii, 1993).

Esse trabalho, como vários outros encontrados na literatura (Négre, 2006; Tempel et alii, 2000; Beaucaire & Michard, 1982; e Lasaga, 1984), aborda a influência dos fatores geológicos nas características geoquímicas dos solos e dos fluxos hídricos superficiais. É consenso, na literatura, o fato de que os teores dos elementos químicos nos solos refletem os teores da rocha de origem, com exceção dos casos com influência antrópica (Mitchell, 1964; Krauskopf, 1983; Pettry & Switzer, 1993). Além da interação rocha-solo, também se verifica a relação água-rocha-solo. No contexto geoquímico, a água é considerada um importante agente transportador, pois, à medida que circula na paisagem, reage com as superfícies com as quais entra em contato, sendo essa interação responsável pelas alterações de sua composição química. O entendimento de diferentes interações que ocorrem no ambiente, assim como da natureza, da concentração dos diferentes elementos químicos e do fluxo e da migração desses elementos, é de fundamental importância dentro do cenário ambiental. Os fluxos hídricos superficiais exercem importante papel no transporte dos elementos químicos. A concentração dos elementos químicos nas águas é determinada pelo grau de intemperismo e pela litologia original. Os fluxos hídricos que correm sobre diversas rochas, comumente, desenvolvem diferentes compartimentos hidrogeológicos (Négre, 2006; Krauskopf, 1983).

O PEI está situado entre os meridianos $43^{\circ}32'30''$ e $43^{\circ}22'30''$ de longitude oeste e os paralelos $20^{\circ}22'30''$ e $20^{\circ}30'00''$ de latitude sul, nos municípios de Ouro Preto e Mariana, no Estado de Minas

Gerais (Figura 1). Com uma área de aproximadamente 7000 ha, abrange toda a serra do Itacolomi, uma das componentes da serra do Espinhaço.

Geologicamente, a área de estudo está inserida na porção sudeste do Quadrilátero Ferrífero (QF), uma das áreas clássicas do Pré-Cambriano, situado no extremo sul do Cráton de São Francisco. A estratigrafia na região do parque (Figura 2) é representada por rochas do Supergrupo Rio das Velhas, do Supergrupo Minas (Grupos Piracicaba e Sabará) e pelas rochas metassedimentares clásticas do Grupo Itacolomi (Glöckner, 1981). Os quartzitos do Grupo Itacolomi foram divididos por Ferreira e Lazarin (1993) em dois subgrupos: inferior e superior, que representam, respectivamente, os quartzitos Morro do Cachorro (QMC) e os quartzitos Pico do Itacolomi (QPI), separados por xistos do Grupo Sabará. Encontram-se, também, na área, rochas intrusivas básicas e depósitos recentes de laterita (Glöckner, 1981).

O Supergrupo Rio das Velhas, na área do parque, se divide nos Grupos Maquiné e Nova Lima e apresenta se-

quências vulcano-sedimentares arqueanas do tipo *greenstone belt*. O Grupo Sabará, pertencente ao SG Minas, é constituído, basicamente, por xistos, sendo que ao topo dessa formação é comum encontrar afloramentos de filito e quartzito ferruginoso. O Grupo Piracicaba é composto principalmente por filito grafitoso. Os quartzitos inferiores (QMC) do Grupo Itacolomi apresentam litofácies como metaconglomerados, metarenitos e quartzitos ferruginosos. Os quartzitos superiores (QPI) ocorrem em contato tectônico (falhas de empurrão) com xistos do Grupo Sabará no topo da seqüência Itacolomi e apresentam um conteúdo sericitico. Os depósitos recentes, presentes na área do parque, são representados por coluviões, aluviões e níveis lateríticos superficiais de canga (Ferreira & Lazarin, 1993).

Na área do PEI, segundo Ferreira e Lazarin (1993), ocorrem dois tipos básicos de solo: os litossolos e os latossolos, que refletem as características do material de origem (litologia) e relevo (geoforma). No Grupo Itacolomi, predominam os litossolos, que apresentam tex-

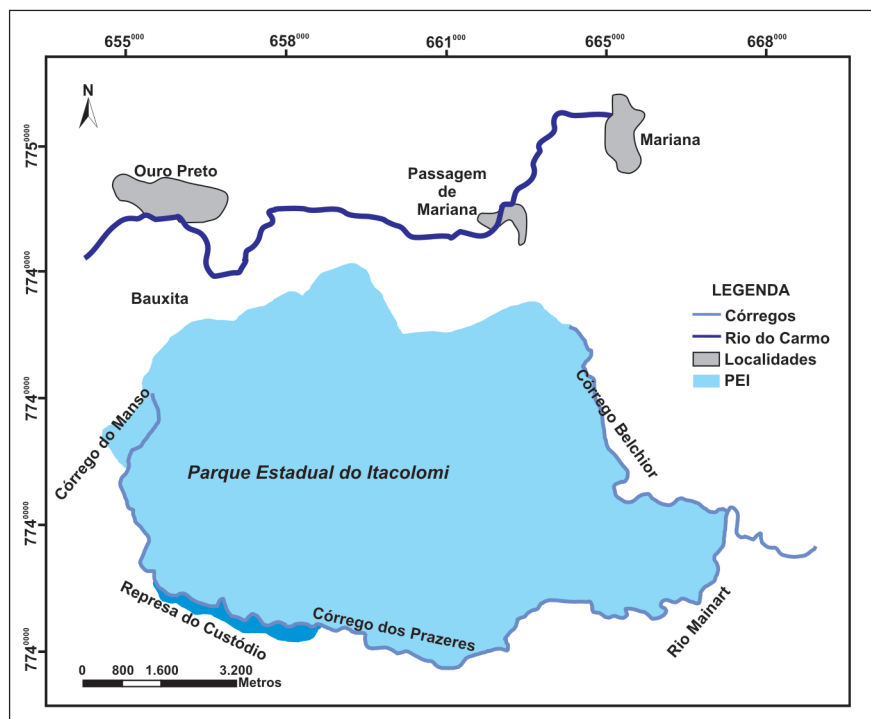


Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo.

tura arenosa e são essencialmente rasos e bastante limitados em termos de fertilidade. Já os latossolos são encontrados no Supergrupo Minas e apresentam solos bem desenvolvidos e de textura argilosa.

A sub-bacia do córrego do Manso apresenta uma mata bem preservada, com predomínio da Floresta Estacional Semidecidual. Na sub-bacia do Calais, onde se localiza o pico do Itacolomi, com afloramentos rochosos de quartzito, se concentram estruturas geológicas como falhas e fraturas e predominam os campos rupestres. Nessa região, o processo erosivo, nos quartzitos e nos metaconglomerados, favorece a ocorrência de colapsos de blocos, ocasionando a formação de sumidouros e dolinamentos. A sub-bacia do Benedito é uma região que

apresenta cursos d'água encachoeirados e afloramentos rochosos de quartzito, onde, também, ocorrem campos rupestres. Além disso, é interessante destacar que o PEI é uma unidade de conservação, livre de contaminação antrópica.

2. Materiais e métodos

Foram coletadas 54 amostras, sendo 36 de solo e 18 de água, todas distribuídas em áreas representativas dos diferentes materiais litológicos. As áreas de coleta de água correspondem às regiões denominadas de Manso (Man), Calais (Cal) e Benedito (Ben). As coletas de amostras de solos também foram realizadas nas regiões do Belchior (Br), Custódio (Cd) e Mainard (Md) (Figura 2).

Para as análises geoquímicas e de turbidez, foram realizadas duas campanhas de amostragem de água, sendo a primeira durante a estação seca (agosto de 2006) e a segunda no período chuvoso (janeiro de 2007). A coleta e a preservação das amostras seguiram a metodologia proposta por Agudo (1987) e Derisio (1992). Já, para a estimativa da condutividade elétrica (CE), pH e sólidos totais dissolvidos (TDS), foram realizadas medições quinzenais no período de julho a setembro de 2006 e junho de 2007, e mensais no período de outubro a dezembro de 2006 e de janeiro a maio de 2007. Tais parâmetros foram determinados in situ, utilizando-se um equipamento multiparâmetro portátil (Ultrameter - Myrn L Company). A turbidez foi medida em laboratório com turbidímetro Micronal modelo B250 (APHA, 2005).

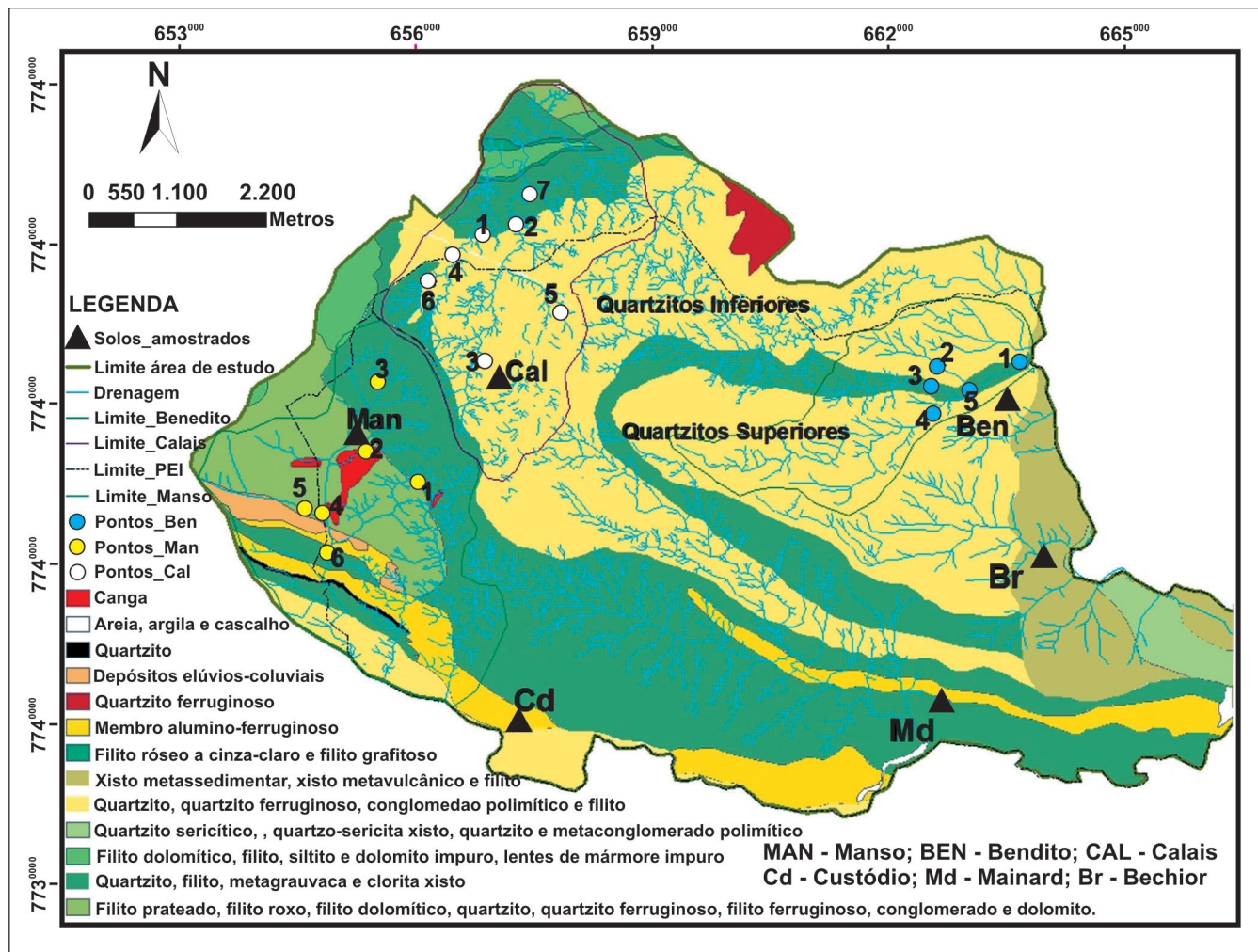


Figura 2 - Mapa geológico (Lobato et alii, 2004) com a localização dos pontos amostrados do Parque Estadual do Itacolomi.

Os solos foram coletados nas profundidades de 0-10cm, 10-20cm, 20-30cm, 30-40cm, 40-50cm e 50-60cm, por meio de furos de trado. Para a determinação dos elementos maiores (Na, K, Ca e Mg) e traços (Al, As, Fe, Mn, Cr, Co, Ni, Li, Pb, Zn, Cu, Cd, Ba e V), nas amostras de água e solo, foi utilizada a técnica de Espectrometria de Emissão Atômica com fonte Plasma Indutivamente Acoplado (ICP-OES) (APHA, 2005), no Laboratório de Geoquímica Ambiental (LGqa) do Departamento de Geologia da Universidade Federal de Ouro Preto (DEGEO/UFOP). As amostras de água foram filtradas com membranas de 0,45µm adaptadas em seringas de 50 ml, acidificadas com ácido nítrico concentrado e preservadas a 4°C. Já as amostras de solos foram desagregadas usando o gral de porcelana e peneiradas no Laboratório de Sedimentologia do DEGEO. Para a abertura das amostras, foi utilizado o método de digestão total, que consiste no ataque ácido com HF, HNO₃ e HCl (Moutte, 1990). Para tal, foram utilizados 0,250g de cada amostra de solo na fração de 2,0 mm.

Os resultados obtidos foram comparados com os valores-padrões de solos e águas definidos pelas normas CETESB 195/05 e CONAMA 357/05, respectivamente.

3. Resultados

Quando comparados os resultados obtidos nas amostras de solo com a De-

cisão de Diretoria CETESB 195/05, pode-se observar que a maior parte dos solos apresenta valores superiores ao padrão estabelecido (Tabela 2). Nas Tabelas 1, 2, 4 e 5, são apresentados apenas os pontos e elementos que apresentaram anomalias (valores acima do limite estabelecido pelas resoluções). Nos solos da sub-bacia do Manso, foram verificadas anomalias dos elementos As, Ba, Cd, Co, Cr, Pb e Zn. Também, foram encontradas elevadas concentrações dos elementos Fe, Mn e Al, refletindo a geologia local composta por quartzitos ferruginosos, faixas de canga, xistos e filitos. No trabalho de Fujaco (2007), também foram encontradas elevadas concentrações desses elementos e foi verificada evidências da relação entre a composição química das unidades geológicas e a elevada concentração desses elementos.

Na sub-bacia do Benedito, foram encontradas anomalias dos elementos Ba, Cd, Co, Cr, e Zn. A sub-bacia do Calais apresentou valores anômalos de Ba, Co e Zn. Anomalias dos elementos Ba, Cd, Co, Cr, e Zn foram encontradas na região do Mainard. As regiões do Belchior e Custódio apresentaram valores anômalos de Ba, Cd, Co, Cr, Pb e Zn.

Em relação às águas, os valores de TDS (Sólidos Totais Dissolvidos) e turbidez encontrados em todos os pontos amostrados são considerados baixos, sendo bem inferiores ao limite de 40 FTU para turbidez e 500 mg/l para TDS estabelecido pela Resolução nº357/05 do CONAMA para águas da Classe 1. Os

valores de turbidez oscilaram entre 0,5 e 7,7 FTU, de TDS entre 1,68 e 34,92 mg/l e de CE entre 2,6 e 53,8 µS/cm. Em relação ao pH, as amostras coletadas apresentaram, em sua maioria, valores dentro da faixa estabelecida pela Resolução CONAMA 357/05 (entre 6 e 9), com exceção da sub-bacia do Benedito, onde grande parte das amostras apresentou valores entre 4 e 5. Os menores valores de pH foram encontrados nas sub-bacias do Benedito e Calais e os maiores, no Manso. O Manso apresentou uma tendência de queda dos valores de pH ao longo do ano e o Calais, uma tendência de elevação (Tabela 3).

Em termos geoquímicos, os resultados obtidos, quando comparados com os valores estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/05, indicam anomalias de Mn, Fe e Al nas águas da sub-bacia do Manso (Tabela 5). Concentrações anômalas de Fe foram observadas nos pontos Man-3 e Man-4, no período de seca, e em todos os pontos, no período de chuva. O elemento Mn apresentou valores anômalos nos pontos Man-2, Man-4 e Man-5 (período chuvoso) e nos pontos Man-3, Man-4 e Man-5 (período seco). Anomalia de Al foi verificada nos pontos Man-2 e Man-3 (período de chuva). Como verificado nos solos do Manso, estes também apresentaram elevadas concentrações de Fe e Mn, demonstrando o fato de os solos tenderem a refletir a composição química no material original (xistos, filitos e canga) com reflexos na composição da água. No trabalho desenvolvido por IEF (2006), também foram observadas elevadas concentrações

Tabela 1 - Litologia dos pontos amostrados para análise de solos.

Pontos	Litologia
Man (10 a 60)	Canga
Ben (10 a 60)	Quartzito, quartzito ferruginoso e metaconglomerado polimítico
Cal (10 a 60)	Quartzito, quartzito ferruginoso e metaconglomerado polimítico
Cd (10 a 60)	Quartzito ferruginoso
Br (10 a 60)	Clorita xisto e clorita filito
Md (10 a 60)	Quartzito, filito, metagrauvaca e clorita xisto

de Fe e Mn nas águas do Manso e tais concentrações foram relacionadas com as características geológicas da área, composta de xistos e filitos do Grupo Piracicaba e quartzitos ferruginosos do Grupo Sabará, e, especialmente, com a presença de canga, que contribui de forma mais efetiva para esses elevados valores. Oliveira (1999) também verificou grandes concentrações de Fe nas águas dessa região, fato que ele atribuiu às características geológicas da sub-bacia do Manso, somadas ao forte intemperismo químico que se processa sobre as litologias presentes na área.

Na sub-bacia do Benedito, foram verificadas anomalias de Al nos pontos

Ben-2 e Ben-4 (período de chuva). Tais anomalias, provavelmente, são devidas à presença dos quartzitos sericíticos da região e ao pH ácido apresentado nessas águas, o que facilita a mobilidade desse metal. O mesmo foi verificado no ponto man-2, no Manso, que apresentou baixos valores de pH e elevada concentração de Al.

Na sub-bacia do Calais, foram determinados teores anômalos de Fe nos pontos Cal-3 e Cal-7 (período chuvoso) e de Mn e Fe nos pontos Cal-2 e Cal-7 (período de seca). No ponto Cal-3, as anomalias apresentadas, provavelmente, são influências da geologia, já que

este é um dos pontos localizados no interior do parque e, sendo assim, pode ser considerado livre de ações antrópicas. Esse ponto recebe contribuições de canais que drenam o quartzito ferruginoso (do Grupo Sabará), o que, provavelmente, contribui para os elevados valores de Fe e Mn.

Em relação às anomalias encontradas nos pontos Cal-2 e Cal-7, não se pode dizer que sejam resultantes de uma contaminação natural, já que tais pontos são os únicos situados fora da área do parque e, possivelmente, sofrem influência antrópica.

Tabela 2 - Teor de elementos selecionados em amostras de solo das sub-bacias estudadas, nas profundidades de 10 a 60 cm.

Amostra	As	Ba	Cd	Co	Cr	Pb	Zn	Amostra	Ba	Cd	Co	Cr	Pb	Zn
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg		mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
CETESB*	3,5	75	0,5	13	40	17	60		75	0,5	13	40	17	60
Cal-10	<LQ	697	<LQ	25,05	<LQ	<LQ	<LQ	Cd-10	331	11,4	27,09	279,9	46	<LQ
Cal-20	<LQ	699	<LQ	29,49	<LQ	<LQ	<LQ	Cd-20	333	11,02	27,33	300,6	42	93,9
Cal-30	<LQ	726	<LQ	26,61	<LQ	<LQ	<LQ	Cd-30	319	13,14	31,78	283,4	49	<LQ
Cal-40	<LQ	879	<LQ	24,21	<LQ	<LQ	82	Cd-40	315	13,14	34,10	287,6	58	75,1
Cal-50	<LQ	932	<LQ	21,94	<LQ	<LQ	<LQ	Cd-50	347	11,08	34,60	294,2	39	79,6
Cal-60	<LQ	989	<LQ	21,34	<LQ	<LQ	571	Cd-60	361	9,50	32,96	309,8	29	<LQ
Ben-10	<LQ	295	4,72	27,94	96,4	<LQ	438	Br-10	1140	4,40	22,29	193,6	<LQ	<LQ
Ben-20	<LQ	356	5,39	38,84	113,1	<LQ	<LQ	Br-20	1300	6,57	16,18	220,8	57	239,2
Ben-30	<LQ	349	5,37	33,14	103,5	<LQ	<LQ	Br-30	2791	13,9	68,90	465,9	26	29,1
Ben-40	<LQ	362	4,94	39,20	107,4	<LQ	<LQ	Br-40	1089	5,26	23,17	201,3	<LQ	<LQ
Ben-50	<LQ	354	3,95	24,57	96,0	<LQ	<LQ	Br-50	1042	5,15	26,21	188,0	<LQ	<LQ
Ben-60	<LQ	489	3,30	24,15	120,3	<LQ	<LQ	Br-60	1090	5,08	25,45	198,0	<LQ	<LQ
Man-10	184,1	385	43,35	42,18	380,0	53	352,6	Md-10	563	7,99	29,26	102,4	<LQ	94,6
Man-20	238,7	403	48,20	49,48	409,0	94	339,7	Md-20	541	8,49	26,69	104,5	<LQ	74,8
Man-30	200,6	421	37,57	46,06	388,6	103	384,4	Md-30	535	9,54	29,08	122,3	<LQ	4125
Man-40	146,4	453	31,86	34,04	363,1	48	291,8	Md-40	388	4,81	28,50	80,8	<LQ	130,5
Man-50	78,5	391	18,82	32,60	331,6	46	47214	Md-50	350	3,61	29,75	71,7	<LQ	133,5
Man-60	46,5	514	9,56	18,11	322,2	<LQ	88,3	Md-60	413	4,16	25,83	76,4	<LQ	61,7
LQ	85,0	4,0	8,0	15	10	24,6	5,0	LQ	4,0	8,0	15	10	24,6	5,0

LQ - Limite de quantificação.

CETESB* - Valores da Norma CETESB 195/05 (CETESB, 2005).

Os números 10, 20, 30, 40, 50 e 60 correspondem, respectivamente, às profundidades 0-10cm, 10-20cm, 20-30cm, 30-40cm, 40-50cm e 50-60cm.

Tabela 3 - Parâmetros físico-químicos dos pontos amostrados de água das diferentes sub-bacias.

MANSO																
Pontos	Mês	pH	Cond	TDS	Mês	pH	Cond	TDS	Mês	pH	Cond	TDS	Mês	pH	Cond	TDS
Man-1	jul	6,7	22,1	14,6	ago	6,8	27,4	18,2	dez	5,6	16,6	9,6	abr	6,2	20,1	11,9
Man-2		6,6	6,3	4,1		6,7	14,5	7,5		5,9	7,8	4,3		6,0	12,7	6,5
Man-3		6,9	9,9	6,5		7,2	10,1	6,4		7,5	8,7	5,3		6,6	11,5	6,5
Man-4		7,0	8,6	5,7		7,0	15,4	8,6		6,2	9,3	6,4		6,1	12,5	6,6
Man-5		6,8	5,4	3,5		7,1	9,8	6,5		6,4	6,9	4,3		6,0	8,2	5,4
Man-6		6,9	18,7	12,4		6,7	23,5	13,9		6,2	11,6	6,5		6,8	16,5	9,8
Man-1		6,4	26,0	17,6	set	7,2	27,6	18,5	jan	6,7	17,7	9,7	mai	6,3	27,0	17,3
Man-2		6,4	7,2	4,7		6,8	16,3	9,6		6,0	11,2	6,5		5,7	13,8	7,5
Man-3		6,9	9,9	6,7		7,1	10,9	6,5		6,8	9,4	5,4		6,8	11,7	6,5
Man-4		6,5	10,4	6,8		6,6	15,8	9,6		6,7	13,4	7,5		5,8	13,5	7,6
Man-5		6,6	6,3	4,1		6,1	10,2	5,0		6,9	8,2	5,3		5,9	47,5	29,7
Man-6		6,8	19,0	12,3		6,8	24,8	10,9		6,8	13,2	6,6		6,7	16,8	9,8
Man-1	ago	6,0	26,6	17,8		6,9	27,0	11,9	fev	6,7	20,4	12,8	jun	6,4	24,3	15,2
Man-2		6,1	14,2	7,5		6,7	9,2	5,4		6,0	12,5	6,5		5,8	20,3	6,3
Man-3		7,0	10,0	6,4		7,3	10,6	6,4		6,9	10,7	6,4		5,5	13,4	8,4
Man-4		6,0	13,8	7,6		7,2	10,2	6,4		6,8	13,3	7,6		5,9	15,6	7,3
Man-5		6,5	9,3	5,5		6,9	8,5	5,3		6,9	8,7	5,4		4,2	7,2	4,5
Man-6		6,3	23,4	11,9		6,9	22,1	13,9		6,9	15,3	8,6		5,5	42,8	23,3
Man-1					out	6,6	25,5	10,9	mar	6,3	19,0	9,9		6,3	25,2	17,3
Man-2						6,3	9,4	5,4		6,0	11,6	6,5		5,7	23,5	17,3
Man-3						7,0	10,2	6,4		6,7	11,3	6,5		6,2	12,5	8,3
Man-4						6,5	10,5	6,4		6,0	12,3	6,6		5,8	16,4	8,3
Man-5						6,7	7,8	5,3		6,0	8,0	5,4		5,1	8,5	5,2
Man-6						6,8	20,5	12,8		6,5	16,2	9,8		6,1	43,8	24,6
BENEDITO																
Ben-1	jul	4,5	4,1	2,74	ago	4,5	4,9	3,9	nov	4,2	10,9	7,4	mar	5,2	3,8	2,5
Ben-2		4,3	3,5	2,30		4,1	8,5	5,4		4,2	9,3	6,4		6,6	3,4	2,1
Ben-3		4,7	4,2	2,77		4,7	32,5	19,5		4,6	6,7	4,3		5,9	3,4	2,2
Ben-4		4,1	4,4	2,80		4,1	13,5	7,8		4,0	13,8	8,6		4,9	7,4	5,3
Ben-5		4,2	4,1	2,63		4,0	4,7	3,5		4,5	10,7	6,4		5,4	4,0	2,2
Ben-1		4,2	4,5	2,93	set	4,0	6,3	4,3	dez	4,6	7,7	5,3	mai	5,6	4,8	3,1
Ben-2		4,5	4,0	2,60		4,4	4,2	2,5		4,6	7,5	5,3		4,2	16,5	10,4
Ben-3		4,6	4,9	2,96		4,1	33,5	19,6		4,7	4,5	3,2		6,2	28,7	18,3
Ben-4		4,2	4,6	2,95		4,0	14,2	8,0		4,3	10,9	6,4		5,5	10,5	6,6
Ben-5		4,4	4,1	2,65		4,0	4,5	3,2		4,3	8,5	5,3		6,1	4,7	3,0
Ben-1	ago	4,6	4,7	3,50		4,0	23,6	10,0	jan	4,5	8,1	5,3	jun	5,6	5,1	3,2
Ben-2		4,3	7,8	5,30		4,5	10,1	6,4		4,7	5,9	4,2		5,4	7,2	4,5
Ben-3		4,7	25,2	17,20		4,8	12,6	7,5		4,8	4,9	3,2		5,9	5,2	3,2
Ben-4		4,3	12,3	7,00		4,2	36,1	15,9		4,6	10,3	6,4		5,0	5,9	3,6
Ben-5		4,4	4,9	3,23		4,0	30,1	12,9		4,4	8,5	5,3		5,7	5,1	3,1
CALAIS																
Cal-1	jul	6,0	60,3	39,4		6,0	53,0	21,9	dez	5,6	38,7	16,9	mai	5,6	52,1	21,8
Cal-2		6,3	19,0	12,3		6,6	28,5	11,9		5,5	13,5	7,5		5,4	15,8	9,6
Cal-3		7,0	28,2	17,5		7,2	29,8	12,9		6,8	13,5	7,5		6,9	29,9	19,3
Cal-4		6,0	48,8	31,9		6,9	54,2	22,9		5,4	15,2	9,6		5,7	53,5	22,9
Cal-5		5,0	3,9	2,6		5,4	6,5	3,4		4,7	7,4	5,3		5,2	4,8	3,2
Cal-6		6,0	2,6	1,6		5,5	3,2	1,5		6,2	17,7	4,4		5,0	20,1	13,8
Cal-7		5,4	22,1	14,5		5,2	25,4	16,6		5,3	21,0	12,9		5,0	20,1	13,8
Cal-1		6,0	32,9	21,3	set	5,2	30,1	12,9	fev	7,3	37,8	16,9	jun	5,3	39,9	25,3
Cal-2		6,3	20,0	13,1		5,1	28,1	11,9		7,1	2,1	1,5		5,9	38,1	24,1
Cal-3		7,0	29,0	18,7		5,3	32,3	13,8		7,4	29,2	12,9		6,1	28,7	18
Cal-4		6,0	49,4	32,3		5,6	53,8	22,9		7,0	29,8	12,9		6,0	51,4	32,2
Cal-5		5,0	4,5	2,9		4,9	4,6	2,6		5,6	4,8	3,2		5,3	5,2	3,5
Cal-6		6,0	2,7	1,7		5,0	3,3	1,8		5,9	3,2	1,8		4,8	7,2	4,5
Cal-7		5,4	24,9	16,5		4,8	39,7	16,9		5,3	22,4	9,9		5,6	20,5	8,3
Cal-1	ago	6,0	48,8	20,9	out	5,9	48,6	29,8	mar	5,8	38,0	16,9		5,7	42,3	26,4
Cal-2		6,6	27,2	10,8		5,8	26,3	19,7		6,0	12,5	7,5		6,2	39,7	26,3
Cal-3		7,2	31,0	12,8		7,3	30,1	12,8		6,9	25,2	12,9		6,5	29,9	19,6
Cal-4		6,9	39,8	18,9		6,8	53,3	22,7		5,7	36,5	16,8		5,8	52,3	34,7
Cal-5		5,4	5,8	3,5		5,1	6,5	4,3		5,3	4,0	2,5		5,6	6,4	3,9
Cal-6		5,5	3,1	1,8		5,7	3,6	1,8		6,0	2,6	1,8		5,2	8,7	5,1
Cal-7		5,2	26,2	16,5		5,5	32,5	12,8		5,3	17,2	9,7		5,7	21,3	9,5
Cal-1		6,0	52,5	21,9	nov	5,8	47,0	29,7	abr	6,0	38,2	16,8				
Cal-2		6,3	27,0	10,8		5,9	16,4	9,6		6,6	12,8	7,5				
Cal-3		7,0	34,2	13,7						7,2	24,8	12,7				
Cal-4		6,0	37,5	18,9						6,9	40,0	18,9				
Cal-5		5,0	6,2	4,4						5,4	4,2	2,7				
Cal-6		6,0	3,2	1,9						5,5	2,6	1,7				
Cal-7		5,4	28,5	16,4		5,4	21,9	15,2		5,2	17,8	11,7				

Cond (µs/cm) - Condutividade; TDS (mg/L) - Sólidos Totais Dissolvidos.

Tabela 4 - Litologias aflorantes na área da bacia situada a montante dos pontos amostrados para análise de água.

Pontos	Litologia
Ben-2	Quartzito, quartzito ferruginoso, metaconglomerado polimítico e filito.
Ben-4	Quartzito ferruginoso, sericítico e com grãos de quartzo mais grossos.
Man-1	Quartzito, filito, metagrauvaca e clorita xisto.
Man-2	Canga, filito prateado, filito dolomítico, quartzito, quartzito ferruginoso, metaconglomerado, dolomito, filito, metagrauvaca e clorita xisto.
Man-3	Quartzito, filito, metagrauvaca e clorita xisto.
Man-4	Canga, filito prateado, filito dolomítico, quartzito, quartzito ferruginoso, metaconglomerado, dolomito, filito, metagrauvaca e clorita xisto.
Man-5	Canga, filito prateado, filito dolomítico, quartzito, quartzito ferruginoso, metaconglomerado, dolomito
Man-6	Canga, membro alumino-ferruginoso, filito prateado, filito dolomítico, quartzito, quartzito ferruginoso, metaconglomerado, dolomito, filito, metagrauvaca e clorita xisto.
Cal-2	Quartzito, filito, metagrauvaca e clorita xisto, quartzito ferruginoso, metaconglomerado polimítico e filito.
Cal-3	Quartzito, filito, metagrauvaca e clorita xisto, quartzito ferruginoso, metaconglomerado polimítico e filito.
Cal-7	Quartzito, filito, metagrauvaca e clorita xisto, quartzito ferruginoso, metaconglomerado polimítico e filito.

Tabela 5 - Concentração de elementos em amostras de água das sub-bacias estudadas, mostrando os pontos cujos valores foram superiores aos estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/05 (CONAMA, 2005).

Amostras	Al	Fe	Mn	Amostras	Fe	Mn	Amostras	Fe	Mn
Chuva	µg/l	µg/l	µg/l	Chuva	µg/l	µg/l	seca	µg/l	µg/l
CONAMA*	100	300	100	CONAMA	300	100	CONAMA	300	100
Ben-2	166,6	< LQ	< LQ	Man-4	1289	235,7	Man-3	1091	121
Ben-4	111,4	< LQ	< LQ	Man-5	657	210,2	Man-4	454	173
Man-1	< LQ	478,4	< LQ	Man-6	551	< LQ	Man-5	< LQ	194
Man-2	714	4834	118,9	Cal-3	573	< LQ	Cal-2	2326	239
Man-3	109,5	1090	< LQ	Cal-7	394,8	< LQ	Cal-7	382	6190
LQ	7,5	6,0	2,0	LQ	6,0	2,0	LQ	6,0	6,0

LQ - Limite de quantificação.

CONAMA* - Valores da Resolução CONAMA 357/05 (CONAMA, 2005).

4. Conclusões

Em todos os cenários geológicos, as reações rocha solo-água afetam a composição química das águas. Dessa forma, rochas e solos de natureza distinta regulam os parâmetros físico-químicos, bem como a concentração dos diversos elementos químicos dos cursos de água localizados em diferentes litologias.

A composição química das águas do Parque Estadual Itacolomi está de fato fortemente relacionada com o meio litológico no qual elas circulam. Os dados analíticos apresentam uma correlação entre as composições químicas dos solos, das águas e das características geológicas dos pontos de amostragem. As principais fontes de Fe e Mn, em águas das sub-bacias do Manso e Calais, são os quartzitos ferruginosos (do Grupo Sabará), os xistos e filitos do Grupo Piracicaba e, também, a presença de canga, no caso da sub-bacia do Manso. O mesmo se aplica à presença de elevadas concentrações dos elementos Fe, Mn, As e Al, nos solos do Manso. As concentrações anômalas de Al, verificadas na sub-bacia do Benedito, são consequência dos tipos de rochas na região, sobretudo dos quartzitos sericiticos.

Os resultados encontrados, nesse estudo, de acordo com as normas CETESB 195/05 (CETESB, 2005) e CONAMA 357/05 (CONAMA, 2005), permitiram identificar, nos solos e nas águas, valores acima do esperado para as condições naturais encontradas em uma área de preservação permanente, sem atividade antrópica, como é o caso do PEI. Sem dúvida, tais anomalias são decorrentes da litologia formadora da região. Como o Brasil apresenta os mais diversos cenários geológicos, fica clara a não adequação de resoluções nacionais, com padrões fixos para avaliação da qualidade de solos e águas. Sendo assim, sugere-se que os parâmetros de qualidade adotados nessas resoluções sejam adaptados às realidades locais, considerando os fatores geológicos na definição de seus valores. Para tanto, é necessária a identificação de regiões não

impactadas ou sob influência antrópica mínima, de modo a serem utilizadas como modelos para a análise do estado de sistemas a elas semelhantes geologicamente. Desta forma, os valores dos parâmetros e os padrões de qualidade a serem adotados respeitarão as peculiaridades naturais de cada região.

5. Referências bibliográficas

- AGUDO, E.G. *Guia de coleta e preservação de amostras de água*. São Paulo: CETESB, 1987. 150p.
- APHA. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. Washington: AWWA, 2005. 1600p.
- BEAUCAIRE, C., MICHARD, G. Origin of dissolved minor elements (Li, Rb, Sr, Ba) in superficial waters in a granitic area. *Geochemical Journal*, v. 16, n. 5, p.247-258, 1982.
- CETESB. Decisão de diretoria Nº 195-2005 da Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental de São Paulo. 2005. 4p.
- CONAMA. Resolução nº 357 do Conselho Nacional do Meio Ambiente, de 17 de março de 2005 - Classificação dos corpos de água. *Ministério do Meio Ambiente. Brasil*. 2005. 23 p.
- DERISIO, J.C. *Introdução ao controle de poluição ambiental*. São Paulo: CETESB, 1992. 201 p.
- FERREIRA, A. F., LAZARIN, H. A. *Caracterização litoestrutural e geomorfológica da região do Pico do Itacolomi, Ouro Preto*. Ouro Preto: Universidade Federal de Ouro Preto, UFOP, 1993. 54p. (Monografia).
- FUJACO, M.A.G. *Influência dos diferentes tipos de substrato e geomorfologia na distribuição espacial e estrutura arquitetônica do gênero *eremanthus* sp., no Parque Estadual do Itacolomi, Ouro Preto/MG*. Ouro Preto: Departamento de Geologia, Universidade Federal de Ouro Preto, UFOP, 2007. 140p. (Dissertação de Mestrado).
- GIÖCKNER, K. J. *Lithostratigraphie, sedimentologie, tektonik und metamorphose der proterozoischen Itacolomi serie bei Ouro Preto, Minas Gerais*. Alemanha: Clausthal-Zellerfeld, 1981. 221p. (Tese de Doutorado).
- IEF. *Plano de manejo do Parque Estadual do Itacolomi, Ouro Preto, MG - Relatório parcial do meio físico*. Ouro Preto, 2006. 29p.
- KRAUSKOPF, B. K. *Introduction to geochemistry*. New York: McGraw- Hill, 1983. 617p.
- LASAGA, A.C. Chemical kinetics of water-rock interaction. *Journal of Geophysical Research*, v. 89, n. B6, p. 4009-4025, 1984.
- LOBATO, L. M. et alii. *Projeto geologia do Quadrilátero Ferrífero: integração e correção cartográfica em SIG com nota explicativa*. Belo Horizonte: CODEMIG, 2005. CD-ROM.
- MITCHELL, R.L. Trace elements in soils. In: BEAR, F.E. (Ed). *Chemistry of the soil*. New York: Reinhold, 1964. v. 1., p.320-368. 520p.
- MOUTTE, J. Procedure for multiacid digestion of rocks and minerals Géochimie. *École des Mines de Saint Etienne, France*, 1990. Disponível em: <<http://www.emse.fr/moutte>>. Acesso em: 12/jun/2007.
- NÉGREL, P. Water granite interaction: clues from strontium, neodymium and rare earth elements in soil and waters. *Applied Geochemistry*, v. 21, n. 8, p. 1432-1454, 2006.
- OLIVEIRA, R.M. *Investigação da contaminação por metais pesados no sedimento de corrente e água do Parque Estadual do Itacolomi, Minas Gerais, e arredores*. Ouro Preto: Departamento de Geologia, Universidade Federal de Ouro Preto, UFOP, 1999. 174p. (Dissertação de Mestrado).
- PETTRY, D.E., SWITZER, R.E. *Heavy metal concentration in selected soils and parent materials in Mississippi*. Meridian: MSU, 1993. 33p. (Bulletin 998).
- TEMPEL, R. N. et alii. Geochemical modeling approach to predicting arsenic concentrations in a mine pit lake. *Applied Geochemistry*, v. 15, n. 4, p. 475-492, 2000.
- VASCONCELOS, M.F. et alii. *Anteprojeto do plano de implantação e manejo do Parque Estadual do Itacolomi, municípios de Mariana e Ouro Preto*. Belo Horizonte: Instituto Estadual de Florestas - IEF, 1993. 23p.

Artigo recebido em 19/09/2008 e aprovado em 18/03/2009.