

Composição mineralógica e geoquímica dos solos do parque estadual do Itacolomi - Ouro Preto/MG

Mineralogical composition and heavy metal contents of soils from the Itacolomi state park - Ouro Preto/MG

Larice Nogueira Andrade^{ac}, Mariangela Garcia Praça Leite^{bd}, Luís de Almeida Prado Bacellar^{be}

^aUniversidade Federal do Espírito Santo, ^bUniversidade Federal de Ouro Preto

^clariceandrade@gmail.com, ^dgarcia@degeo.ufop.br, ^ebacellar@degeo.ufop.br

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi estudar a mineralogia e geoquímica dos solos do Parque Estadual do Itacolomi, Ouro Preto (MG), e relacioná-las aos cenários geológicos da região. Foram selecionados seis locais, de onde se coletaram amostras em seis profundidades (0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50 e 50-60 cm), representando áreas das diferentes unidades litológicas da região. Os elementos químicos foram determinados por meio do ICP-OES, e a determinação mineralógica dos solos foi realizada por difração de raios-X. Os resultados das análises demonstraram que a geologia exerce grande influência nas características do solo. Os elementos químicos obtidos nos solos analisados foram comparados com valores-padrões definidos pela norma [CETESB \(2005\)](#), possibilitando a comprovação da influência geológica na qualidade dos solos, onde foram detectadas concentrações anômalas de diversos elementos. Pelo fato de a área de estudo ser uma Unidade de Conservação, com menor possibilidade de interferência antrópica, tais anomalias representam concentrações naturais, ou seja, são reflexo da litologia.

Palavras-chave: Contaminação do solo; Teores naturais; Metais em solos.

ABSTRACT

The purpose of this study was to investigate the mineralogy and geochemistry contents of soils from the Itacolomi State Park, in Ouro Preto (MG), and their relationship to the geological scenario. The samples were collected at six depths (0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50 e 50-60 cm) in representative areas from the different lithologies. The chemical elements were determined by ICP-OES and the soil mineralogy determination was performed by X-rays diffraction. The results of the analysis show the geology influence under the soil features. The chemical elements from the soils were compared with standard values defined by the rule [CETESB \(2005\)](#) proving the geological influences on the soil quality. Outliers for several elements were detected in soils. These outliers can be related the lithology indicating natural concentrations because the explored area is a preservation unit without anthropogenic interference.

Keywords: Soil contamination; Baselines levels; Metals in soil.

1. Introdução

O controle da poluição das águas, do ar e dos solos revela-se como um dos maiores desafios da sociedade moderna. A intensificação das atividades industriais, agrícolas e urbanas tem causado considerável impacto ambiental nesses recursos. Com o intuito de avaliar e controlar esses impactos surgem importantes instrumentos legais (como as Resoluções CONAMA).

Tais resoluções tratam, sobretudo, da qualidade do ar e da água. Apesar das resoluções existirem desde a década de 1980, até recentemente não existia uma específica para a qualidade do solo. Apenas o estado de São Paulo dispunha de uma normativa com parâmetros e valores indicadores para a qualidade do solo ([CETESB 2005](#)). Por isso, na tentativa de reverter esse fato, o Ministério do Meio Ambiente promulgou recentemente a Resolução 420/2009 ([CONAMA](#)

2009), que dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas.

Para a implantação da Resolução 420/2009, os órgãos ambientais competentes dos estados e do Distrito Federal deverão levantar os tipos de solo em seus territórios e definir os Valores de Referência de Qualidade (VRQ), que são essenciais para a definição de áreas contaminadas.

Os VRQ ou de *background* são as concentrações naturais de determinado elemento em solos sem influência antrópica (Gough *et al.* 1994). Os principais contaminantes, de natureza inorgânica, que ocorrem naturalmente nos solos são os metais pesados. Metais pesados são elementos químicos que possuem densidade maior que 6 g/cm³ (Alloway 1993). É uma denominação largamente aplicada para elementos frequentemente associados a problemas ambientais. Dessa forma, o termo metal pesado é também comumente aplicado para alguns elementos, que embora possuam densidades menores que 6g/cm³, apresentam efeitos tóxicos ao meio ambiente. Os principais elementos considerados tóxicos ao meio ambiente são o arsênio (As), cádmio (Cd), cromo (Cr), cobalto (Co), chumbo (Pb), cobre (Cu), mercúrio (Hg), níquel (Ni), zinco (Zn), ferro (Fe), manganês (Mn) e alumínio (Al).

A ocorrência natural de metais pesados em solos é fortemente influenciada pelo material de origem, ou seja, pela litologia da região (Oliveira 1996, Tiller 1989, Mitchell 1964). Além da natureza geológica, outras características do solo podem influenciar no conteúdo de metais pesados, tais como a composição mineralógica, os teores de matéria orgânica e as características físico-químicas dos solos (Klamt & Van Reeuwijk 2000, Souza *et al.* 1996, Barona & Romero 1996). Fadigas *et al.* (2006) propuseram o estabelecimento de valores de *Background* de Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb e Zn em um solo, a partir dos teores de silte, argila, manganês e ferro e da capacidade de troca catiônica (CTC).

De acordo com Paye (2008), o conhecimento das concentrações naturais de um determinado elemento é o mais simples e direto método para a definição de valores de referência. Burak (2008) destaca que a melhor forma de se identificar áreas poluídas ou contaminadas em um solo, por ação antrópica, é a sua comparação com um solo no mesmo contexto pedológico, porém sob condições naturais.

No Brasil, os valores médios de concentração de metais pesados são bastante heterogêneos, devido a sua grande variabilidade geológica e pedológica. Por isso, é importante que a adoção dos valores de referência de qualidade seja adequada às especificações locais. Hursthouse (2001) ressalta que o conhecimento dos valores de *background* local poderá evitar subestimar ou superestimar os níveis de contaminação.

2. Material e métodos

2.1. Descrição da área e dos procedimentos de coleta

O Parque Estadual do Itacolomi (PEI) localiza-se nos municípios de Ouro Preto e Mariana, na região do Quadrilátero Ferrífero do estado de Minas Gerais.

O relevo da área do PEI pode ser separado, pelo menos, em três unidades, que muitas vezes interagem entre si: vertente de topo convexo, regiões planas e relevo escarpado com cristas isoladas. Segundo Castañeda (1993), ocorrem dois tipos básicos de solo: os litossolos e os latossolos, que refletem as características do material de origem (litologia) e relevo (geofoma).

Tabela 1: Coordenadas geográficas dos pontos amostrados

Pontos amostrados	Coordenadas geográficas	
	Latitude (S)	Longitude (W)
Man	20 ^o 25' 98"	43 ^o 30' 59"
Cal	20 ^o 25' 61"	43 ^o 29' 86"
Ben	20 ^o 25' 39"	43 ^o 25' 26"
Cd	20 ^o 27' 24"	43 ^o 29' 08"
Md	20 ^o 27' 36"	43 ^o 26' 06"
Br	20 ^o 26' 41"	43 ^o 25' 13"

No compartimento de cristas isoladas e relevo escarpado, predominam os litossolos. Associados aos quartzitos, apresentam textura arenosa, são essencialmente rasos e bastante limitados em termos de fertilidade (Ferreira & Lazarin 1993). Os latossolos são encontrados na área de vertentes de topos convexos e em elevações mais aplainadas. Nestas áreas, os solos se apresentam bem desenvolvidos e de textura argilosa. As regiões planas apresentam grande parte de solos transportados (Castañeda 1993).

O mapa da figura 1 apresenta os pontos de amostragem dos solos selecionados de acordo com as litologias de cada região. As coletas de amostras de solos correspondem às regiões denominadas de Manso (Man), Calais (Cal), Benedito (Ben), Belchior (Br), Custódio (Cd) e Mainard (Md). A tabela 1 apresenta as coordenadas geográficas dos pontos amostrados. Em cada ponto foram coletadas amostras nas profundidades de 0-10 cm, 10-20 cm, 20-30 cm, 30-40 cm, 40-50 cm e 50-60 cm.

O material coletado foi acondicionado em sacos plásticos devidamente etiquetados. Até a realização das análises de laboratório, as amostras de solo foram armazenadas em uma câmara úmida a fim de se conservarem as suas características originais.

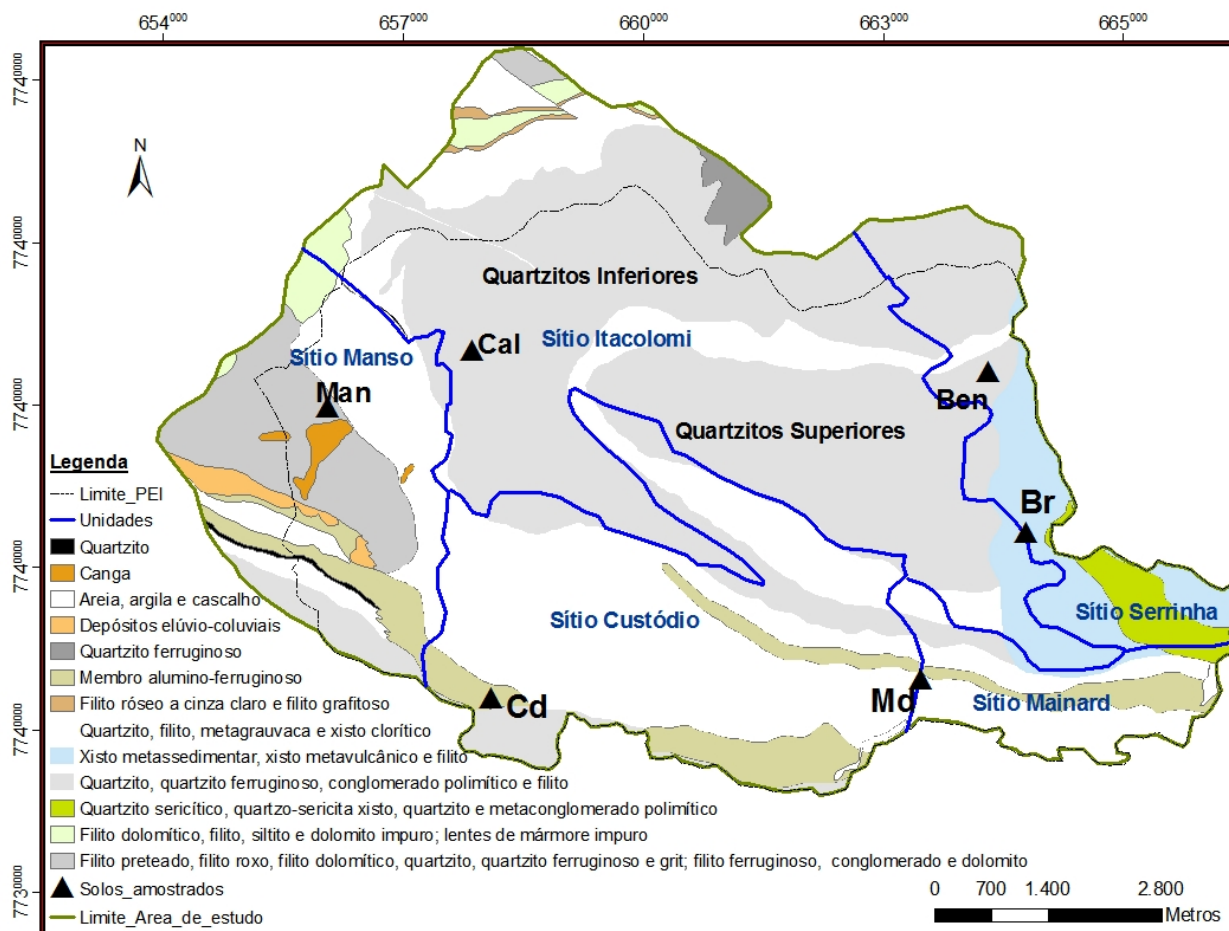


Figura 1: Localização dos solos amostrados (adaptado de Lobato *et al.* 2004)

Geologicamente, a área de estudo está inserida na porção sudeste do Quadrilátero Ferrífero (QF), uma das áreas clássicas do Pré-Cambriano, situada no extremo sul do Cráton de São Francisco.

A estratigrafia na região do parque é representada por rochas do Supergrupo Rio das Velhas, do Supergrupo Minas (Grupos Piracicaba e Sabará) e pelas rochas metassedimentares clásticas do Grupo Itacolomi (Glöeckner 1981). Os quartzitos do Grupo Itacolomi foram divididos por Ferreira & Lazzarin (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 (Glöeckner 1981). O Supergrupo Rio das Velhas, na área do parque, se divide nos Grupos Maquiné e Nova Lima e apresenta sequências 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, na

área, é composto principalmente por filito grafítico. 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 sequência Itacolomi e apresentam um conteúdo sericítico. Os depósitos recentes, presentes na área do parque, são representados por colúviões, aluviões e níveis lateríticos superficiais de canga (Ferreira & Lazzarin 1993).

2.2. Determinação da geoquímica dos solos

As concentrações dos elementos foram determinadas via Espectrometria de Emissão Atômica com fonte Plasma Indutivamente Acoplado (ICP-OES) (APHA 1992), no Laboratório de Geoquímica Ambiental (LGqa) do Departamento de Geologia da Universidade Federal de Ouro Preto (DEGEO/UFOP).

Para a análise das amostras de solos foi utilizado o método de digestão total (Moutte 1990). Num recipiente de savilex de 30 ml, foram adicionados 0,25g de solo pulverizado junto com 1 ml de HNO₃ (10

mol/L). Logo após, o savilex aberto foi aquecido a 110°C, em uma chapa, até secagem incipiente. Posteriormente, foram adicionados 3 ml de HF concentrado, e o savilex foi aquecido novamente até a secagem. Foram acrescentados mais 3 ml de HF concentrado e os savilex foram fechados e aquecidos a 140°C por 16 horas. Após este aquecimento, os recipientes foram resfriados e novamente aquecidos à temperatura de 140 °C até a secagem. Após o resfriamento foram adicionados 3 ml de HNO₃ (10mol/L), com posterior aquecimento a 110°C até a secagem. Foram acrescentados 3 ml de HCl (10 mol/L), com aquecimento a 110°C até a secagem. Finalmente, 25 ml de HCl (2 mol/L) foram adicionados, e os recipientes fechados para aquecimento a 110°C por duas horas, com o objetivo de redissolver os sais. Após o resfriamento, o material foi pesado (savilex + amostra) e a solução resultante analisada.

2.3. Análise mineralógica e granulométrica

A composição mineralógica dos solos foi determinada por meio de difração de raios-X (Brindley & Brown 1984) utilizando o aparelho Rigaku, modelo D/Max-2B, com radiação CuK, corrente de 15 mA e voltagem de 40 KV. A análise química total dos elementos maiores (óxidos) foi realizada por meio de fluorescência de raios-X, neste mesmo equipamento, no LGqa (DEGEO/UFOP).

Também foi realizada a caracterização granulométrica dos solos, determinada por peneiramento e sedimentação (NBR-7181/ABNT).

Uma quantidade representativa de material foi selecionada e sua umidade determinada. Posteriormente, este material foi passado na peneira #10 (2,0 mm) e separado em três quantidades: 50g para a determinação do peso específico real das partículas, 70g para a sedimentação e 50g para o peneiramento fino. Para o peneiramento grosso (material retido na peneira #10), o material foi lavado na peneira #10 (2,0 mm) e em seguida colocado na estufa. O material seco foi peneirado mecanicamente até a peneira #10, e a fração retida em cada peneira foi pesada. Para o peneiramento fino (material que passa na peneira #10), o material foi lavado na peneira #200 (0,075 mm) e colocado na estufa. O material seco foi passado nas peneiras de aberturas menores que a #10 e a fração retida em cada peneira foi pesada. Na sedimentação, o material foi colocado em “banho” (6 a 24 horas) sem defloculante.

A mistura foi agitada no dispersor elétrico por 15 minutos, sendo transferida posteriormente para a proveta graduada, sendo esta completada com água destilada até 1.000 ml. Por fim, foram realizadas leituras com densímetro nos tempos de 15 seg, 30 seg; 1 min, 2 min, 4 min, 8 min, 15 min, 30 min; 1h, 2h, 4h, 8h, 24h.

Também no Departamento de Geologia (DEGEO) foi determinada a concentração de matéria orgânica no solo por perda ao fogo (ou método de calcinação).

Cerca de 1g de cada amostra previamente seca foi levada a mufla e aquecida a 750°C. Feito isso, a amostra foi pesada e a diferença entre os pesos inicial e final correspondeu ao teor de matéria orgânica (Davies 1974).

3. Resultados e Discussão

Os resultados obtidos foram comparados com os valores-padrões de solos definidos pela norma CETESB 195/05. Tais valores representam a concentração de determinada substância no solo que o define como não contaminado.

De acordo com CETESB (2005), os valores de referência para As, Ba, Cd, Co, Cr, Ni, Pb e Zn são de 3,5 mg/kg, 75 mg/kg, 0,5 mg/kg, 13 mg/kg, 40 mg/kg, 13 mg/kg, 17 mg/kg e de 60 mg/kg, respectivamente. É interessante destacar que a CETESB (2005) não registra os valores de referência para todos os elementos analisados. Baseado nestes valores pode-se observar que a maior parte dos solos apresenta valores superiores à norma (tabela 2), e como a área de estudo é uma Unidade de Conservação, com menor possibilidade de interferência antrópica, pode-se dizer que a concentração elevada de tais elementos é uma resposta química natural das características geológicas de cada área.

Nos solos da sub-bacia do rio Manso foram encontradas elevadas concentrações dos elementos Fe, Mn, As e Al, refletindo a geologia local composta por quartzitos ferruginosos, faixas de canga, xistos e filitos. Também foram encontradas altas concentrações de Mn e Fe na sub-bacia do rio Calais, e de Al na sub-bacia do rio Benedito.

Estas elevadas concentrações têm como principais fontes o quartzito ferruginoso (no Grupo Sabará), os xistos e filitos do grupo Piracicaba. As concentrações anômalas de alumínio, verificadas na sub-bacia do rio Benedito, podem ser atribuídas aos quartzitos sericíticos.

Com base na resolução CETESB (2005), pode-se concluir que os solos do Manso apresentam valores anômalos de As, Pb, Zn, Cd e Cr. Anomalias de Ba e Co foram verificadas em todas as amostras de solo, e anomalias de Cr e Cd somente não foram encontrados nos solos do Calais. Os solos do Custódio e Belchior apresentaram concentrações anômalas de Pb e Zn. Nos solos do Benedito, Mainard e Calais foram verificadas concentrações anômalas de Zn.

Na tabela 3 é apresentada a composição mineralógica dos solos amostrados. A área é constituída principalmente por minerais de quartzo, muscovita, caulinita, goethita e gibsitita. Como se pode observar na tabela 2, os elementos químicos Fe e Al são os mais abundantes nas amostras analisadas, confirmando os resultados obtidos na difração de raios-X referente aos minerais quartzo, caulinita e gibsitita. Os óxidos de titânio, manganês, fósforo, magnésio e cálcio são encontrados em pequenas quantidades, geralmente não ultrapassando 1% na maioria das amostras (tabela 3).

Tabela 2: Teor de elementos selecionados em amostras de solo

Pontos amost.	Classif. solos	Prof. Coleta	Al mg/kg	Fé mg/kg	Mg mg/kg	Mn mg/kg	As mg/kg	Cr mg/kg	Cd mg/kg	Pb mg/kg	Zn mg/kg	Co mg/kg	Cu mg/kg	Ba mg/kg	Ca mg/kg	K mg/kg	Na mg/kg	Ni mg/kg	Sr mg/kg	Zr mg/kg
CETESB⁽¹⁾							3,5	40	0,5	17	60	13								
Cal	Neossolo Litólico	0-10	38308	6186	612	30,85	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	25,0	<LQ	697	<LQ	14575	<LQ	9,35	32,94	114,4
		10-20	40024	6775	624	18,66	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	29,4	<LQ	699	42,38	14683	<LQ	9,15	32,69	125,9
		20-30	39988	6542	652	12,51	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	26,6	<LQ	726	16,15	15691	<LQ	9,94	35,08	118,2
		30-40	52570	13991	734	17,63	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	82	24,2	<LQ	879	49,04	19207	<LQ	9,38	41,33	117,4
		40-50	55662	11871	790	16,10	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	21,9	<LQ	932	32,92	21002	<LQ	10,44	43,31	135,6
Ben	Neossolo Litólico	50-60	57306	9358	831	11,99	<LQ	<LQ	<LQ	571	21,3	<LQ	989	221,5	21803	<LQ	11,47	49,83	121,5	
		0-10	53827	44860	593	138,20	<LQ	96,4	4,7	<LQ	<LQ	27,9	10,7	295	<LQ	8586	1753	20,82	44,3	75,9
		10-20	67528	52361	694	158,90	<LQ	113,1	5,3	<LQ	<LQ	38,8	14,1	356	<LQ	10255	2120	24,49	53,5	89,3
		20-30	64872	52049	711	181,00	<LQ	103,5	5,3	<LQ	<LQ	33,1	16,2	349	<LQ	9709	2030	24,49	51,6	70,9
		30-40	65703	48109	788	142,10	<LQ	107,4	4,9	<LQ	<LQ	39,2	13,7	362	<LQ	10912	2121	23,59	51,1	89,8
Man	Latossolo	40-50	60807	42155	673	162,30	<LQ	96,0	3,9	<LQ	<LQ	24,5	11,2	354	<LQ	10021	2001	21,20	55,6	83,4
		50-60	77208	41079	793	117,60	<LQ	120,3	3,3	<LQ	<LQ	24,1	12,9	489	<LQ	15063	2712	25,18	68,9	82,2
		0-10	96704	241975	792	1378	184,1	380,0	43,3	53	352,6	42,1	12,9	385	194,0	9625	1460	94,50	24,9	200,1
		10-20	93082	263338	694	2234	238,7	409,0	48,2	94	339,7	49,4	7,8	403	175,8	8902	1284	120,5	26,2	184,9
		20-30	107870	216596	876	2337	200,6	388,6	37,5	103	384,4	46,0	27,0	421	194,7	11785	1516	106,9	31,5	212,0
Cd	Latossolo	30-40	121260	192081	1062	1260	146,4	363,1	31,8	48	291,8	34,0	9,0	453	150,9	15135	1910	96,90	34,1	213,9
		40-50	123795	114487	1080	582	78,5	331,6	18,8	46	472,1	32,6	39,0	391	873,0	13638	2257	150,1	40,8	201,9
		50-60	140064	86540	1383	349	46,5	322,1	9,5	<LQ	88,3	18,1	55,0	514	<LQ	19821	3658	84,80	48,3	202,7
		0-10	92407	88942	4411	396	<LQ	279,9	11,4	46	<LQ	27,0	22,2	331	<LQ	11364	810	57,80	19,9	196,1
		10-20	95173	87888	4461	342	<LQ	300,6	11,0	42	93,9	27,3	21,7	333	<LQ	11866	841	58,30	22,3	180,3
Br	Latossolo	20-30	104475	101243	4185	431	<LQ	283,4	13,1	49	<LQ	31,7	27,0	319	<LQ	12329	816	60,90	18,5	181,4
		30-40	99680	96205	4102	387	<LQ	287,6	13,1	58	75,1	34,1	23,0	315	<LQ	11922	813	57,70	18,9	181,2
		40-50	95290	87444	4656	340	<LQ	294,2	11,0	39	79,6	34,6	22,6	347	<LQ	12159	910	60,30	22,9	180,9
		50-60	90676	77210	4694	275	<LQ	309,8	9,5	29	<LQ	32,9	17,7	361	<LQ	12534	922	59,20	25,3	195,4
		0-10	141576	59883	1302	261	<LQ	193	4,4	<LQ	<LQ	22,2	33,5	1140	65,7	30266	6438	66,60	124,7	101,6
Md	Latossolo	10-20	161283	58836	1485	141	<LQ	220,8	6,5	57	239,2	16,1	<LQ	1300	492	34821	8590	53,10	163,7	118,4
		20-30	343221	159588	3501	1019	<LQ	465,9	13,9	26	29,1	68,9	<LQ	2791	85,5	73182	14590	173,5	299,3	269,3
		30-40	141346	65429	1387	322	<LQ	201,3	5,2	<LQ	<LQ	23,1	34,2	1089	16,3	28829	5570	70,40	117,5	128,4
		40-50	135505	60030	1424	492	<LQ	188,0	5,1	<LQ	<LQ	26,2	34,4	1042	<LQ	26983	4900	73,00	103,0	113,8
		50-60	135773	62284	1424	340	<LQ	198,0	5,0	<LQ	<LQ	25,4	34,0	1090	<LQ	28260	5022	72,50	114,7	126,1
LQ⁽¹⁾		0-10	67834	63270	2177	1201	<LQ	102,4	7,9	<LQ	94,6	29,2	14,7	563	529	18012	1457	46,41	45,1	127,8
		10-20	67461	66430	2270	1149	<LQ	104,5	8,4	<LQ	74,8	26,6	14,4	541	615	16889	1563	47,28	45,6	133,7
		20-30	65647	66630	2359	951	<LQ	122,3	9,5	<LQ	4125	29,0	<LQ	535	1363	15774	1696	52,70	48,0	153,3
		30-40	48269	43011	1987	692	<LQ	80,8	4,8	<LQ	130,5	28,5	13,3	388	734	10796	1406	39,08	36,3	95,1
		40-50	41340	35572	1987	532	<LQ	71,7	3,6	<LQ	133,5	29,7	12,3	350	787	9143	1400	33,46	33,7	112,3
50-60	48355	39158	2098	600	<LQ	76,4	4,1	<LQ	61,7	25,8	13,8	413	707	11314	1528	35,38	36,1	127,6		

(1) LQ - Limite de quantificação.

(2) Valores da Norma CETESB 195/05 (CETESB 2005).

Tabela 3: Composição mineralógica dos solos

Pontos amost./Comp. mineralógica	Prof. Coleta	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	MgO	CaO
		cm ----- % -----								
Cal	0-10	82,4	8,47	1,77	1,92	0,23	0,04	0,05	0,43	0,22
	10-20	82,1	8,29	1,87	1,98	0,25	0,04	0,06	0,37	0,21
Quartzo, Muscovita,	20-30	85,2	8,35	0,93	1,98	0,27	0,04	0,06	0,39	0,21
Caulinita,	30-40	81,5	9,89	2,00	2,43	0,31	0,04	0,05	0,38	0,22
Gibsita,	40-50	80,7	11,1	1,66	2,63	0,33	0,05	0,06	0,42	0,21
Goethita.	50-60	80,4	11,6	1,29	2,75	0,34	0,05	0,06	0,44	0,21
Ben	0-10	71,8	11,0	6,68	1,33	0,54	0,07	0,07	0,40	0,23
	10-20	68,2	13,4	7,79	1,14	0,52	0,07	0,07	0,42	0,22
Quartzo, Goethita,	20-30	64,7	12,7	7,73	1,28	0,51	0,07	0,07	0,42	0,23
Caulinita, Gibsita,	30-40	69,9	11,8	7,53	1,33	0,57	0,06	0,07	0,40	0,23
Muscovita e	40-50	62,8	10,3	5,37	1,85	0,56	0,06	0,07	0,36	0,25
Goethita.	50-60	68,5	14,5	6,25	1,28	0,54	0,06	0,07	0,44	0,22
Man	0-10	26,5	17,4	35,4	1,14	1,34	0,24	0,25	0,47	0,23
	10-20	28,1	17,6	38,6	1,12	1,40	0,28	0,32	0,44	0,24
Quartzo,	20-30	29,6	20,6	32,1	1,41	1,51	0,23	0,35	0,49	0,24
Muscovita, Goethita,	30-40	29,4	22,9	29,2	1,71	1,31	0,23	0,21	0,53	0,23
Caulinita e Gibsita.	40-50	37,5	16,9	16,9	1,68	1,65	0,12	0,11	0,57	0,22
	50-60	40,2	12,8	12,8	2,33	0,83	0,12	0,09	0,63	0,22
Cd	0-10	46,1	19,3	13,8	1,43	1,29	0,14	0,10	1,18	0,22
	10-20	49,0	18,6	12,8	1,43	1,24	0,12	0,09	1,13	0,22
Muscovita, Goethita,	20-30	44,1	20,4	15,1	1,56	1,44	0,15	0,10	1,10	0,21
Caulinita, Gibsita,	30-40	45,3	19,8	14,2	1,47	1,37	0,14	0,10	1,10	0,21
Talco e Caulinita.	40-50	49,8	17,9	12,4	1,44	1,20	0,11	0,09	1,12	0,22
	50-60	52,3	17,3	11,1	1,41	1,03	0,09	0,09	1,18	0,21
Br	0-10	41,8	25,8	8,42	3,63	0,83	0,14	0,08	0,55	0,24
	10-20	44,9	30,0	8,68	4,27	0,99	0,13	0,08	0,58	0,25
Quartzo, Muscovita,	20-30	47,8	25,5	8,79	3,62	0,87	0,15	0,10	0,56	0,23
Goethita, Caulinita e	30-40	45,6	26,1	9,55	3,44	0,85	0,16	0,09	0,57	0,23
Gibsita.	40-50	45,7	25,9	9,07	3,51	0,84	0,16	0,12	0,58	0,22
	50-60	44,8	26,8	9,01	3,52	0,84	0,17	0,10	0,57	0,22
Md	0-10	63,2	13,5	9,69	2,24	0,73	0,09	0,20	0,70	0,30
	10-20	63,8	13,6	9,92	2,25	0,76	0,09	0,19	0,71	0,29
Quartzo,	20-30	67,9	12,5	9,30	1,94	0,73	0,08	0,18	0,69	0,30
Muscovita, Goethita,	30-40	76,9	9,70	6,40	1,35	0,63	0,06	0,14	0,64	0,31
Caulinita e Gibsita.	40-50	80,4	8,76	5,42	1,22	0,60	0,05	0,12	0,64	0,32
	50-60	77,8	9,67	6,12	1,48	0,67	0,05	0,13	0,66	0,33

Vale ressaltar que o uso dos valores geoquímicos estabelecidos pela norma CETESB 195/05, como referência para as diversas regiões do Brasil, pode levar a avaliações inadequadas, já que a geoquímica dos solos é litodependente e as condições pedogeomorfológicas bem distintas em cada região.

Na tabela 4 é apresentada a composição granulométrica, a matéria orgânica e o pH dos solos amostrados. Na região do Manso foram encontrados solos siltosos mais desenvolvidos, profundos e mal selecionados. As maiores proporções de matéria orgânica foram encontradas neste solo, com concentrações entre 11,5% e 16%.

Os solos do Benedito apresentam certo equilíbrio entre as concentrações de pedregulho, silte, argila e areia fina, média e grossa, e teores de matéria orgânica entre 7,6 e 18,4%.

As frações de areias finas e médias predominaram nos solos da região do Calais. Além disso, são solos bem selecionados e com baixas concentrações de matéria orgânica. As classes texturais de areia fina e silte representam as maiores frações nas amostras do Mainard.

As camadas dos solos do Belchior apresentaram maiores concentrações de silte e areia fina. As concentrações de matéria orgânica ficaram entre 9,2 e 12%. Já os solos amostrados na região do Custódio apresentaram maiores concentrações de silte e areia fina. As concentrações de matéria orgânica ficaram entre 10,6 e 14,5%.

Os solos são extremamente ricos em matéria orgânica. A elevada altitude da área faz com que as temperaturas sejam muito baixas, e nestas condições, a decomposição bioquímica da matéria orgânica é retardada.

Os baixos teores de argila apresentados se devem ao experimento realizado sem o uso de defloculante. Ou seja, a argila fica agregada e é contabilizada nas frações silte e areia muito fina. Além disso, a própria pedogênese, temperatura e tectônica da área, com rochas quartzíticas, falhas e fraturas, propiciam a formação de solo arenoso.

O elevado teor de matéria orgânica modifica o sistema, que associado aos baixos valores de pH e provavelmente baixos valores de Eh, propicia a solução de diversos elementos, sobretudo de metais,

como Cr, Ni, Fe e Mn, que têm suas concentrações reduzidas.

Nos solos com valores de Eh mais elevados, em geral com menor porcentagem de matéria orgânica, o ambiente oxidante faz com que estes elementos fiquem no solo, sempre havendo entre eles uma correlação. Porém é importante ressaltar que esta correlação existe em função do ambiente, das características químicas e físicas do sistema, e não da presença de Fe ou Mn, que são elementos abundantes na região do Quadrilátero Ferrífero.

4. Conclusões

Os teores extraídos para os elementos Al, Fe, Mg, Mn, As, Cr, Pb, Zn e Co nos solos das regiões do Calais, Benedito, Manso, Custódio, Belchior e Mainard são relativamente altos e influenciados pela litologia local.

Pelo fato de a área de estudo ser de preservação permanente, com possibilidade de influência antrópica pouco significativa, e mesmo assim apresentar valores bem superiores aos estabelecidos

pela resolução CETESB (2005), verifica-se a necessidade de que os valores-padrões de qualidade do solo sejam estabelecidos com base nas características específicas de cada local.

Dessa forma, os resultados encontrados neste estudo podem ser utilizados para a avaliação preliminar de áreas com suspeita de contaminação, cujos solos possuam características geológicas semelhantes às das regiões estudadas. A distribuição dos elementos nos solos está intimamente associada ao material de origem e aos fatores pedogenéticos. Tal fato pode ser observado para os solos do Parque Estadual do Itacolomi, pois, em geral, os teores encontrados de Fe, Mn, As e Al expressam a condição de relativa riqueza desses elementos nos materiais parentais, constituídos sobretudo por quartzitos ferruginosos, cangas, xistos, filitos e quartzitos sericíticos.

Tabela 4: Composição granulométrica, matéria orgânica e pH dos solos

Pontos Amost.	Prof. Coleta	Argila	Silte	Areia fina	Areia Média	Areia Grossa	Pedregulho	Matéria Orgânica	pH
Cal	0-10	0	31,3	54,6	14	0,1	0	4,03	3,78
	10-20	1,2	34	48,3	14,9	1,6	0	3,56	3,79
	20-30	3,2	29,6	47,9	15,9	3,3	0,1	2,65	3,93
	30-40	0	36,8	43,4	15,6	4,2	0	3,00	4,17
	40-50	0	29,9	53,2	14,1	2,8	0	2,97	4,21
	50-60	0	34,8	50,1	13,1	2	0	2,55	4,26
Ben	0-10	0	20,9	33	22,4	11,6	12,1	8,29	3,91
	10-20	0	25,1	26,9	26,8	10,5	10,7	7,86	3,97
	20-30	0	28,6	27,4	28,2	10,3	5,5	7,48	4,15
	30-40	0	25,9	36,3	22,4	10,9	4,5	7,62	4,06
	40-50	4,6	18,6	25,9	22,9	11,5	16,5	18,4	4,10
	50-60	0	21	17,8	15,7	13,5	32	7,66	4,11
Man	0-10	0	15,2	13,5	13,9	21,9	35,5	15,20	4,11
	10-20	0	6,6	16	10	22,2	45,2	11,52	4,21
	20-30	0	34,4	17,9	11,2	19,5	17	13,80	4,19
	30-40	0	30	28,4	11,3	17,7	12,6	14,34	4,16
	40-50	0	30,8	15,4	14,2	10,6	29	15,45	4,20
	50-60	0	63,6	19,5	6,5	5,2	5,2	15,59	4,17
Cd	0-10	0	40,1	29,9	17,8	10,7	1,5	14,44	3,84
	10-20	0	44,2	26,8	13,5	7,5	8	13,79	3,87
	20-30	0	45,2	24,5	12,5	7,2	10,6	14,15	3,91
	30-40	5,6	40,6	28,9	12,5	7	5,4	13,60	3,97
	40-50	0	66	10	15,3	5,5	3,2	12,88	3,89
	50-60	0	53	25	15,1	4,2	2,7	10,65	3,85
Br	0-10	0	43,3	24,7	10,3	8,7	13	11,09	3,91
	10-20	0	67	17,9	3,9	4,2	7	9,29	3,97
	20-30	0	48,9	16,9	7,6	9,6	17	10,06	4,15
	30-40	1,3	44,4	22,3	9	9	14	11,94	4,06
	40-50	0	33,6	24,2	5,4	6,6	30,2	13,11	4,10
	50-60	0	26	30,7	5,5	8,2	29,6	10,69	4,11
Md	0-10	0	51,7	39,6	6,2	1,9	2,5	10,03	4,28
	10-20	0	49,7	41,6	6,5	2,2	0	7,86	4,14
	20-30	0	48	45	5,4	1,6	0	6,23	4,11
	30-40	0	32	63,7	3,6	0,7	0	4,08	4,29
	40-50	0	25,8	71,9	2,3	0	0	3,43	4,35
	50-60	0	22	76	2	0	0	3,59	4,36

Referências

- Alloway B. J. 1993. *Heavy Metals in Soils*. John Wiley & Sons Inc., New York. 553p.
- APHA. 1992. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 18th edition. American Public Health association (APHA). American Water Works Association (AWWA) and Water Pollution Control Federation (WPCF), Washington, DC.
- Barona A., Romero F. 1996. Distribution of metals in soils and relationships among fractions by principal component analysis. *Soil Technology*, 8: 303-319.
- Brindley G. W., Brown G. 1984. *Cristal structures of clays minerals and their x-Ray identification*. London. Ed. Mineralogical Society, 495p.
- Burak D. L. 2008. Geoquímica e distribuição de metais pesados em solos na região de Unaí, Paracatu e vazante, MG. Tese de Doutorado. Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, Departamento de Agronomia, Universidade Federal de Viçosa, 189p.
- Castañeda C. 1993. Caracterização Geológica e Geomorfológica do Parque Estadual de Itacolomi. Projeto Itacolomi. Convênio IEF/UFOP/BIRD, 36 p. (Relatório de Técnico).
- CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. 2005. Decisão de diretoria Nº 195-2005 da Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental de São Paulo. São Paulo. 4p.
- CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. 2009. Resolução nº 420 do Conselho Nacional do Meio Ambiente, de 28 de dezembro de 2009 - Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas. Ministério do Meio Ambiente. Brasil, 16 p.
- Davies B. E. 1990. Lead. In: Alloway B.J. (ed). *Heavy metals in soils*. New York, John Wiley, p.177-193.
- Davies B. E. 1974. Loss-on-ignition as an Estimate of Soil Organic Matter. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, **38**:347-353.
- Fadigas F., Sobrinho, N. M. B. A., Mazur, N., Anjos, L. H. C. A., Freixo, A.A. 2006. Proposição de valores de referência para a concentração natural de metais pesados em solos brasileiros. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, **10**: 699-705.
- Ferreira A. F., Lazarin, H. A. 1993. *Caracterização litoestrutural e geomorfológica da região do Pico do Itacolomi, Ouro Preto, MG*. Monografia de Graduação. Departamento de Geologia, Universidade Federal de Ouro Preto, 54p.
- Glöckner K. J. 1981. *Lithostratigraphic. Sedimentologie, Tektonik und Metamoephose der Proterozoischem Itacolomi Serie bei Ouro Preto, Minas Gerais*. Brasilien., Ph.D. Thesis, Univ. Clausthal, RFA, 221p.
- Gough L. P., Severson R. C., Jackson L. L. 1994. Baseline element concentrations in soils and plants, Bull Island, Cape Romain National Wildlife Refuge, South Carolina, USA. *Water Air Soil Poll.*, **74**:1-17.
- Hursthouse A. S. 2001. The relevance of speciation in the remediation of soils and sediments contaminated by metallic elements-an overview with specific examples from central Scotland. *Journal Environmental Monitoring*, **3**:49-60.
- Klamt E., Reeuwijk L. P. 2000. Evaluation of morphological, physical and chemical characteristics of Ferralsols and related soils. *R Bras. Ci. Solo*, **24**:573-587.
- Lobato L.M., Achstschin A.B., Timbó M.A., Baltazar O.F., Silva S. L., Reis L. B., Baars F. J. (2004). Geologia do Quadrilátero Ferrífero: integração e correção cartográfica em SIG. Codemig. Universidade Federal Minas Gerais, Belo Horizonte, CD-room.
- Mitchell R. L. 1964. Trace elements in soils. In: Bear F.E. (ed.) *Chemistry of the soil*. New York, Reinhold, p.320- 368.
- Moutte J. 1990. Procedure for multiacid digestion of rocks and minerals Géochimie. École des Mines de Saint Etienne, France. Disponível em: <<http://www.emse.fr/moutte/enplasma/prepar>> Acesso em 9 julho 2009.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. 1984. NBR 7181: Solo - Análise granulométrica. Rio de Janeiro, 13p.
- Oliveira T. S. 1996. *Metais pesados como indicadores de materiais de origem de solos*. Tese de Doutorado. Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, Departamento de Agronomia, Universidade Federal de Viçosa, 128p.
- Paye H.S. 2008. *Valores de referência de qualidade para metais pesados em solos no estado do Espírito Santo*. Dissertação de Mestrado. Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, Departamento de Agronomia, Universidade Federal de Viçosa, 64p.
- Souza M. L. P., Andreoli C. V., Amaral M. B. 1996. Levantamento preliminar dos teores de metais pesados em alguns solos do Paraná. *Revista Sanare*, **5**:68-75.
- Tiller K. G. 1989. Heavy metals in soil and their environmental significance. *Advances in Soil Science*, **9**:113-142. ¹

Recebido 14 de fevereiro de 2010

Aceito 28 de novembro de 2011