



USO DO LODO QUÍMICO, RICO EM ALUMÍNIO, PRODUZIDO PELA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA RIO DESCOBERTO PARA A RECUPERAÇÃO DE UMA ÁREA DEGRADADA

R.C.A. Moreira^{1,2,*}, G.R. Boaventura³, C.T.C. Nascimento³, E.M. Guimarães³, R. P. Oliveira³

¹Cia de Saneamento Ambiental do DF – CAESB, SAIN s/n ETA R1 Laboratório B
CEP 72620-000, Brasília, DF

²Curso de Pós-Graduação em Processamento de Dados em Geologia e Análise Ambiental,
IG/ Universidade de Brasília (Doutorado)

³Instituto de Geociências, Campus Universitário Darcy Ribeiro, Universidade de Brasília,
CEP 70910900, Brasília, DF

*E-mail: rcam@unb.br

Recebido em janeiro de 2006, aprovado para publicação em novembro de 2006

ABSTRACT

The final disposal of the alum sludge of the water treatment plant impacts on a gravel site in Ceilândia was evaluated with electrical resistivity method and three soundings. The chemical and mineralogical analyses were made and they showed that elements distribution on the soil subsurface is strongly associated to the granulometry and the mineral composition on soil profile. The plume was mapped and could be confirmed by the gibbsite and Mn presence. These results suggested that the alum sludge could be used for degraded areas recovering because the nutrients seem to be transferred to lower soil horizons, allowing the vegetation establishment.

RESUMO

O impacto da disposição final do lodo químico proveniente dos processos de tratamento de água na cascalheira situada em Ceilândia foi avaliado pelo método de resistividade elétrica e por três sondagens mistas. As análises químicas e mineralógicas foram realizadas e os resultados mostram que a distribuição dos elementos em subsuperfície está fortemente associada à granulometria e a composição mineral nos perfis de solo. A pluma de contaminação foi mapeada e pôde ser confirmada pela presença de gibbsite e Mn. O lodo químico pode ser usado para a recuperação de áreas degradadas, já que os nutrientes estão sendo transferidos para os horizontes mais profundos do solo local, permitindo a fixação da vegetação.

INTRODUÇÃO

Nas estações de tratamento de água, ETA, a coagulação visa principalmente à retirada do material em suspensão. Este processo é habitualmente realizado por meio da adição de sais de ferro ou de alumínio, ou de polímeros sintéticos (Pavanelli, 2001).

O lodo químico produzido neste processo é um subproduto que não tem recebido, no Brasil, maiores cuidados com relação ao tratamento adequado para descarte (Bidone et al., 1997; Di Bernardo et al., 1999; Parsekian, 1998), sendo comum a sua disposição diretamente nos rios, lagos e reservatórios.

Bidone et al (1997) sugerem que o Al presente em altas concentrações no lodo químico pode ser imobilizado pela componente orgânica, que o adsorve formando complexos estáveis, pouco ou não solúveis.

Dentre os coagulantes utilizados no tratamento das águas dos mananciais do Distrito Federal destacam-se o hidroxicloreto de alumínio e o sulfato de alumínio.

Além do material coagulado, os filtros da ETA retêm também matéria orgânica. Esta, por sua vez, é constituída por plâncton, bem como por materiais particulados provenientes do solo carregado pela chuva como, por exemplo, excreta, restos vegetais e sementes.

Estudos anteriores do lodo da ETA-RD mostraram baixos valores de saturação de Al, que demonstram a não toxicidade deste elemento. O seu baixo valor nutricional inviabiliza o seu uso na agricultura. No entanto, a sua aplicação para a recuperação de áreas degradadas pode ser considerada viável (Moreira et al., 2003). Para a disposição do lodo, foi então escolhida uma área degradada pela extração da cobertura laterítica (cascalheira), onde o solo já não mais existia, impossibilitando a fixação de vegetação.

O presente trabalho avalia a extensão da influência do Al no decorrer do tempo. Para tanto, foram realizados estudos geofísicos, geoquímicos e mineralógicos para a comparação do local de disposição do lodo com uma área adjacente ainda preservada.

DESCRIÇÃO GERAL DA ÁREA

De acordo com o Mapa Hidrogeológico do Distrito Federal (Campos & Freitas-Silva, 1998), o local da cascalheira utilizada para a disposição do lodo situa-se sobre a unidade R4 do Grupo Paranoá, de idade Mesoproterozóica. A unidade R4 é um metarritmito homogêneo com intercalações centimétricas regulares de metassiltitos argilosos, metapelitos e quartzitos finos que apresentam coloração

cinza, amarelada, rosada ou avermelhada em função dos diferentes graus de intemperismo. Couraças lateríticas ferruginosas, como as existentes ou já extraídas na área de disposição do lodo, ocorrem nas bordas das chapadas (altitude 1050-1150m), sobre as rochas da unidade R4 do Grupo Paranoá. Os minerais predominantes, como hematita e caolinita, variam com o grau de intemperismo e, localmente com a tectônica (Martins, 2000).

O clima do Distrito Federal caracteriza-se por dois períodos distintos. O período seco estende-se de abril a setembro e caracteriza-se por baixas precipitações, alta taxa de evaporação e baixos valores de umidade relativa do ar, algumas vezes inferiores a 15%. O período chuvoso vai de outubro a março, com as maiores precipitações se concentrando entre os meses de novembro a janeiro. As temperaturas médias variam de um mínimo de 19°C nos meses de junho e julho até ápices de 22°C nos meses de março e setembro (Barbosa et al, 2003).

A área de estudo, situada na borda da chapada, tem declividade média de 3,5% em sua maior extensão. O tributário mais próximo é o Córrego do Meio, ou do Matadouro, situado à cerca de 500 metros no sentido sudeste, para o qual escoam toda a drenagem da cascalheira (Figura 1).

O perfil do solo original na cascalheira já não existe mais, devido à retirada da cobertura laterítica. O lodo é disposto diretamente sobre o regolito, definido como aquele material decomposto que repousa sobre a rocha-matriz, sem ter sofrido transporte.

Apesar de modificada em seu aspecto original, pode-se ainda identificar, feições de vegetação do tipo campo sujo e campo limpo, em áreas preservadas.

MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo compreende a comparação da superfície sobre a qual é disposto o lodo

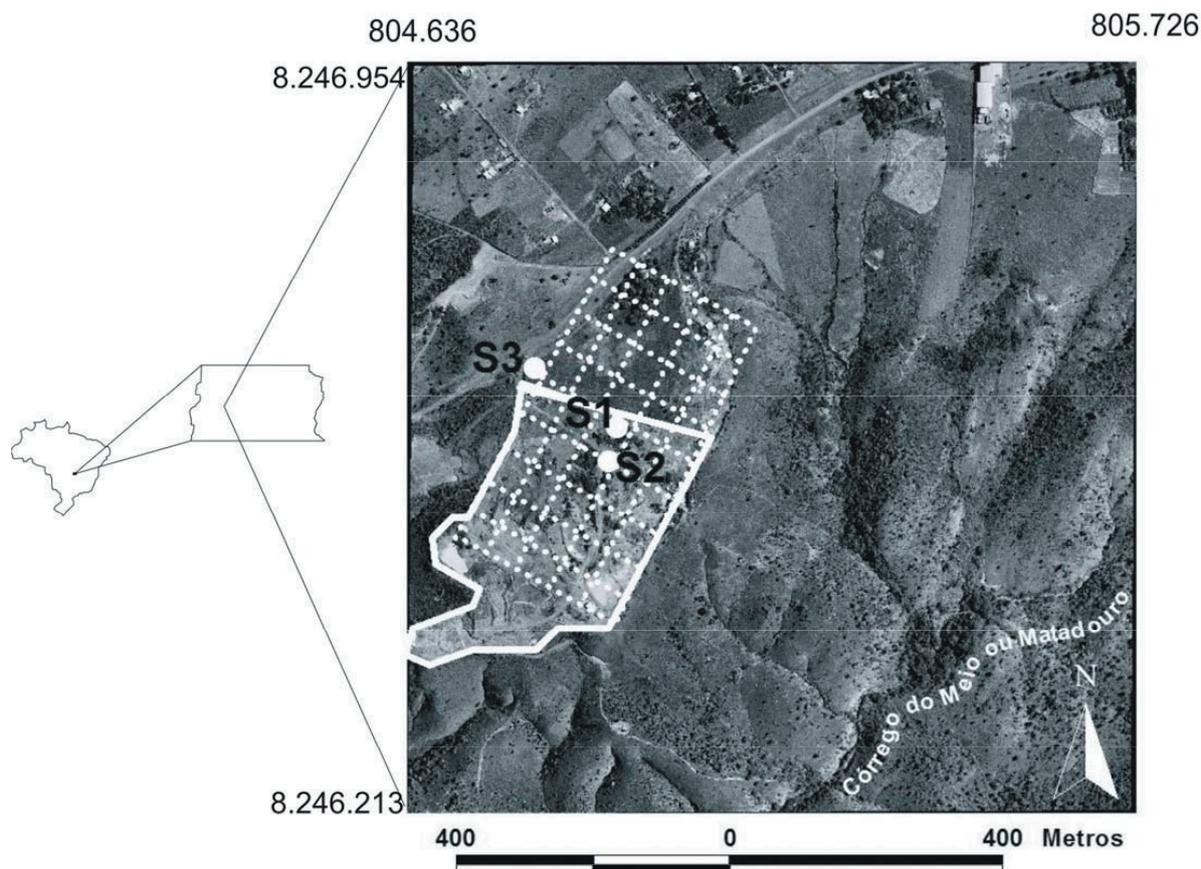


Figura 1: Localização da área de estudo. Em destaque a área da cascalheira (—), a malha de resistividade (...) e os pontos de sondagem (●). Coordenadas UTM (Universal Transversa de Mercator), datum Astro Chuá.

(cascalheira desativada) com outra adjacente preservada, através de levantamentos geofísicos, análises químicas e mineralógicas dos diversos materiais.

Na área de estudo foi realizado o levantamento geofísico para a investigação da área de influência do lodo químico. Para tanto, estabeleceu-se uma malha retangular com 6x10 pontos espaçados por 50 metros, onde foi empregado o método de resistividade elétrica, com arranjo de Wenner e espaçamento dos eletrodos de 1 metro.

As amostras de solo foram coletadas na cascalheira e na área de controle, por meio de três sondagens mistas (rotativa e percussão), de 10 metros cada, sendo duas delas na área de influência (S1 e S2) e uma à área de controle (S3). A extração das amostras, coletadas metro a metro, foi feita com cravação de um amostrador padronizado

de 34,9mm e 50,8mm de diâmetros, interno e externo, respectivamente (Topocard, 2004).

A caracterização mineralógica dos perfis de intemperismo e de acumulação de materiais foi realizada por análises por Difração de Raios-X. Estas análises foram realizadas no Laboratório de Raios X do Instituto de Geociências da UnB utilizando-se um aparelho Rigaku D-MAXB com radiação de CuK α , velocidade de varredura de 2°/min, intervalo de medida de 0,05°, sendo a varredura de 2 a 70° 2 θ . As interpretações dos difratogramas e identificações dos minerais ocorreram no mesmo Laboratório, utilizou-se o software JADE 3.0 para Windows, XRD Pattern Processing for the PC, 1991-1995 Materials Data, Inc.

As análises químicas dos materiais foram realizadas nas frações menores que 2 mm, nos laboratórios da Companhia de

Saneamento Ambiental do DF, CAESB, e do Instituto de Geociências, IG/UnB, compreendendo amostras de solo (30), do coagulante sulfato de alumínio (2) e do lodo químico (6) (Tabelas 1 e 2).

Para garantir a confiabilidade dos dados e avaliar as interferências causadas pelos elementos majoritários, a amostra de referência de solo SEM 2709, San Joaquin Soil do “National Institute of Standards and Technology – NIST” foi analisada nas mesmas baterias em que foram preparadas as amostras do estudo. Nenhum parâmetro analisado, que apresentasse concentrações abaixo do limite de quantificação para cada elemento ou erros maiores que 10% em relação ao padrão de referência, foi considerado neste trabalho.

Todas as análises foram realizadas com o uso de água ultrapura (resistividade de 18,2 MΩcm) e reagentes Merck ou similares. O ácido nítrico foi purificado pelo processo de sub-ebulição em equipamento apropriado.

As determinações de Si, Al, Fe, Mg, Ca, Ti, Sr, Cu, Zn, Y, Be, Ba, Mn, Ce, La, Nd, Cr e V foram feitas utilizando-se espectrômetro de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado (ICP-OES) da marca Spectroanalytical Instrumental GmbH, modelo Spectroflame FVM03, equipado com monocromador com rede holográfica de 2400 estrias/mm e policromadores no vácuo e no ar. Para tanto, as amostras foram preparadas por decomposição ácida HF/HNO₃/HClO₄/HCl ou fusão alcalina (Boaventura, 1991) ou por separação por troca iônica utilizando minicolunas (Oliveira & Boaventura, 1998), dependendo do analito. O carbono orgânico, CO, foi determinado pelo método Walkley & Black e a matéria orgânica, MO, estimada como sendo 1,724xCO (Embrapa, 1997). As análises por emissão atômica de Na e K foram processadas com espectrofotômetro de absorção atômica da marca GBC, modelo 932 AA. As concentrações de P foram determinadas pelo método do ácido ascórbico em aparelho do tipo espectrofotômetro UV/Vis Perkin-Elmer, modelo Lambda 25.

A classificação hierárquica foi utilizada para agrupar os dados obtidos nas amostras de solo, de acordo com o grau de “associação ou parentesco”. O método da Árvore Hierárquica, associado ao método de Ward, foi empregado adotando-se ainda a distância euclidiana e a normalização dos resultados por Z-Score.

Esse método permitiu analisar as amostras de forma genérica, avaliando-se todos os parâmetros ao mesmo tempo.

Outras ferramentas foram então utilizadas para possibilitar uma melhor avaliação da influência do lodo químico na área de estudo. O Índice de Alteração Química, IAQ (Choudhuri, 1997), foi obtido pela seguinte fórmula (Equação 1):

$$IAQ = \frac{[Al_2O]}{[Al_2O] + [CaO] + [Na_2O] + [K_2O]}$$

onde [MxOy] representam a concentração dos analitos.

RESULTADOS

Pelo levantamento geofísico obteve-se o mapeamento da pluma do lodo químico em subsuperfície, para uma profundidade teórica de 50 cm (Figura 2).

A maioria dos parâmetros analisados apresentou concentrações mais elevadas no topo e decréscimo ao longo do perfil, à exceção do Si (Tabelas 1 e 2).

Aplicando-se a classificação hierárquica pode-se observar em S1 a separação de dois níveis, sendo o primeiro correspondente aos 4 primeiros metros e o segundo aos outros seis metros. Ainda neste local pode-se considerar a amostra 5 como sendo de transição entre os dois níveis (Figura 3).

No segundo ponto de sondagem, S2, outros dois níveis foram separados (Figura 3). O primeiro, correspondente as duas primeiras profundidades, pode ser considerado bem diferente do outro nível, formado pelas amostras entre 3 e 10m.

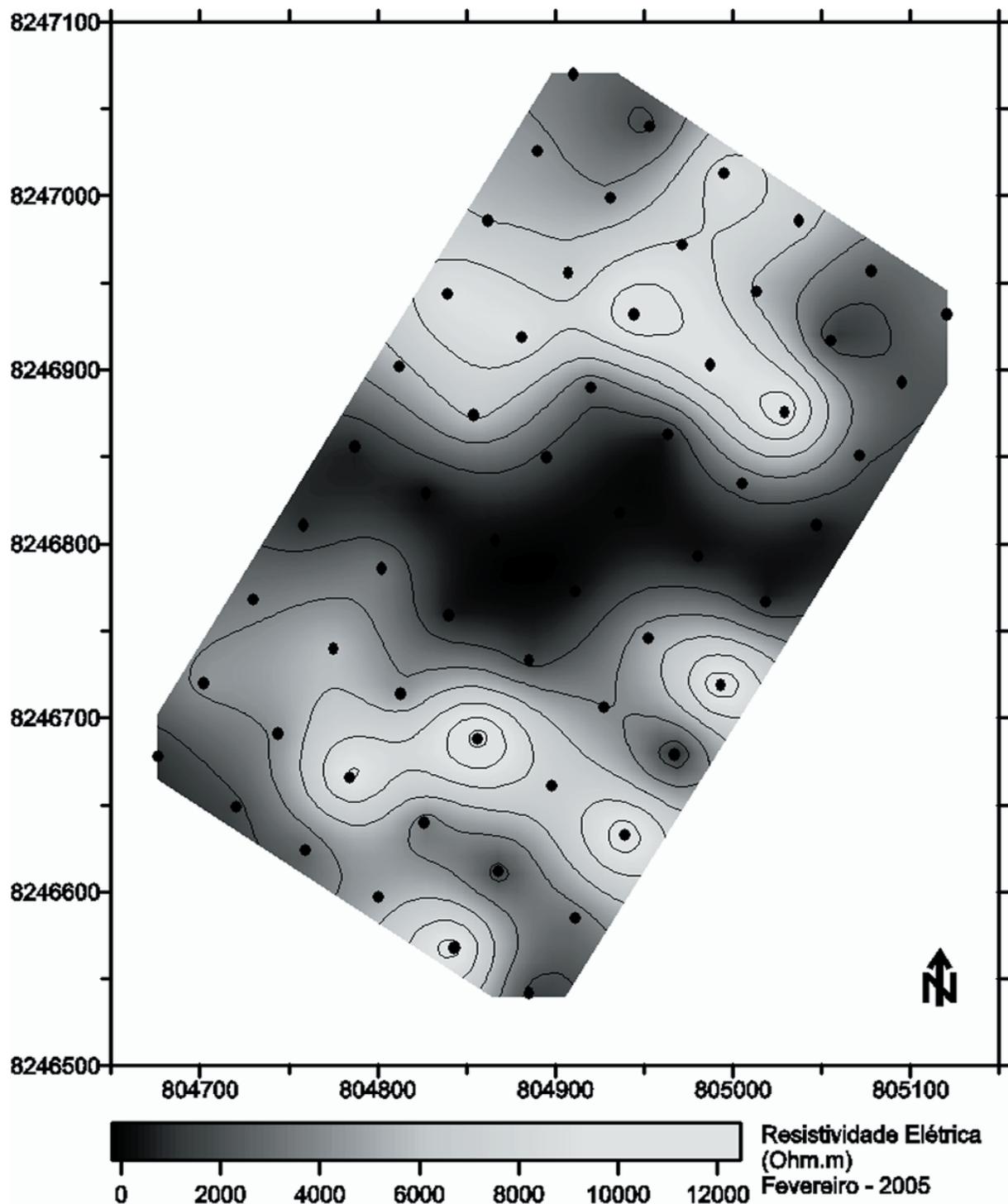


Figura 2: Levantamento Geofísico na cascalheira. A mancha escura central corresponde à pluma de lodo químico na área de estudo.

Para S3, o ponto de controle, novamente dois níveis foram determinados (Figura 3). A exemplo do que ocorreu em S1, o primeiro nível compreende as quatro primeiras profundidades e o segundo se inicia em 5m. Neste caso podem se considerar as amostras

coletadas à 5m e 6m, como sendo amostras de transição entre os níveis.

Os níveis e respectivas profundidades determinadas pelas classificações hierárquicas coincidem exatamente com os que foram

Tabela 1: Resultados das análises químicas nas amostras de solo e lodo químico, bem como do Índice de Alteração Química (IAQ). Pela Topocart (2004), C corresponde a silte p/ argiloso e S a silte p/ arenoso. Os resultados correspondem as massas secas das amostras.

Pontos	Laudo	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃			Fe ₂ O ₃			MgO	CaO	P			IAQ					Gt	Gb
				(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)			(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)		
S11		35,2	1,71	22,7	14,9	0,70	0,83	564,0	0,054	1,00	0,09	0,16	0,92	M	-	M	-	M	m	T	
S12	C	38,6	1,35	22,8	14,9	0,70	0,83	752,8	0,054	1,18	0,12	0,21	0,92	M	-	M	-	M	m	-	
S13	C	39,8	1,44	19,4	24,3	1,17	1,30	1152,0	0,056	1,59	0,05	0,08	0,87	M	T	M	-	M	m	-	
S14	C	36,5	1,16	17,5	30,0	1,11	1,33	1263,2	0,056	1,39	0,05	0,08	0,86	M	T	M	-	M	m	-	
S15	S	66,6	1,30	14,2	4,65	4,16	6,10	863,5	0,042	0,70	0,05	0,09	-	M	M	m	T	-	-		
S16	S	49,7	1,02	14,7	13,0	1,05	1,23	863,2	0,052	1,20	0,03	0,06	0,86	M	M	m	T	-	-		
S17	S	65,3	1,24	16,5	8,07	2,18	2,75	421,4	0,051	1,12	0,04	0,07	0,81	M	M	m	-	-	-		
S18	S	66,7	0,97	15,1	9,30	1,79	2,16	640,6	0,050	1,06	0,08	0,13	0,82	M	M	m	-	-	-		
S19	S	62,7	0,95	14,5	7,94	2,20	2,72	586,4	0,049	1,11	0,05	0,08	0,79	M	M	m	-	-	-		
S110	S	70,7	0,90	16,0	4,21	0,70	0,59	349,2	0,049	1,25	0,03	0,05	0,89	M	M	m	-	-	-		
S21		29,7	1,29	22,7	13,0	3,06	4,03	676,2	0,052	1,00	2,17	3,75	0,82	M	-	M	-	M	T	T	
S22	C	35,9	1,33	20,9	12,5	0,89	0,83	679,5	0,056	1,45	0,08	0,14	0,90	M	-	M	-	M	T	-	
S23	S	63,8	1,06	16,9	2,86	0,71	0,64	217,9	0,049	1,19	0,02	0,04	0,90	M	M	M	T	-	-		
S24	S	85,4	0,58	8,7	3,18	0,43	0,36	173,1	0,036	0,52	0,08	0,13	0,90	M	M	M	T	-	-		
S25	S	74,0	1,01	16,5	6,20	0,61	0,27	330,0	0,050	1,05	0,07	0,11	0,92	M	M	m	-	-	-		

C: caolinita; Q: quartzo; I: illita; Gt: goethita; Gb: gibbsita. Constituintes: M=maior; m=menor; T=traço.

Tabela 1: Continuação.

Pontos	Laudo	(%)										(ppm)		IAQ	C	Q	I	Gt	Gb
		SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	P	Na ₂ O	K ₂ O	CO	MO							
S26	S	71,3	0,98	17,2	6,14	0,61	0,56	310,9	0,046	1,02	0,07	0,12	0,91	M	M	m	-	-	
S27	S	74,1	0,74	15,8	1,19	0,35	0,16	107,7	0,045	0,75	0,06	0,11	0,94	M	M	m	-	-	
S28	S	77,8	0,77	12,6	3,25	0,42	0,22	176,7	0,046	0,97	0,07	0,12	0,91	M	M	m	-	-	
S29	S	80,5	0,70	12,8	2,67	0,33	0,42	192,3	0,042	0,66	0,00	0,00	0,92	M	M	m	-	-	
S210	S	80,7	0,83	15,2	3,82	0,59	0,51	166,4	0,048	1,03	0,11	0,18	0,91	M	M	m	-	-	
S31		39,4	1,51	25,2	16,1	2,99	3,87	709,1	0,062	1,82	0,06	0,11	0,81	M	-	M	T	-	
S32	C	45,8	1,62	23,1	13,4	1,09	0,81	519,4	0,063	1,99	0,04	0,08	0,89	M	-	M	m	-	
S33	C	45,0	1,39	20,3	19,7	0,85	0,53	475,2	0,056	1,40	0,01	0,02	0,91	M	T	M	m	-	
S34	C	52,2	1,50	23,6	10,3	0,92	0,44	560,5	0,059	1,75	0,02	0,03	0,91	M	T	M	T	-	
S35	S	52,7	1,29	23,3	6,57	0,82	0,43	264,8	0,062	1,75	0,01	0,01	0,91	M	T	M	T	-	
S36	S	57,2	1,26	20,1	7,27	0,95	0,72	310,0	0,057	1,49	0,00	0,00	0,90	M	T	M	-	-	
S37	S	58,1	0,77	11,0	3,48	1,75	2,33	240,5	0,048	1,09	0,00	0,00	0,76	M	M	m	-	-	
S38	S	62,1	0,94	14,5	6,19	1,14	1,03	210,4	0,056	1,41	0,03	0,06	0,85	M	M	m	-	-	
S39	S	65,8	0,81	13,3	3,37	1,64	1,94	142,7	0,050	1,18	0,01	0,01	0,81	M	M	m	-	-	
S310	S	63,6	0,82	14,4	2,53	0,97	1,08	102,2	0,051	1,06	0,08	0,13	0,87	M	M	m	-	-	
Lodo (n=6)		30,8	1,18	34,9	11,0	1,02	1,21	1226,2	0,066	0,540	3,6	6,2	0,96						

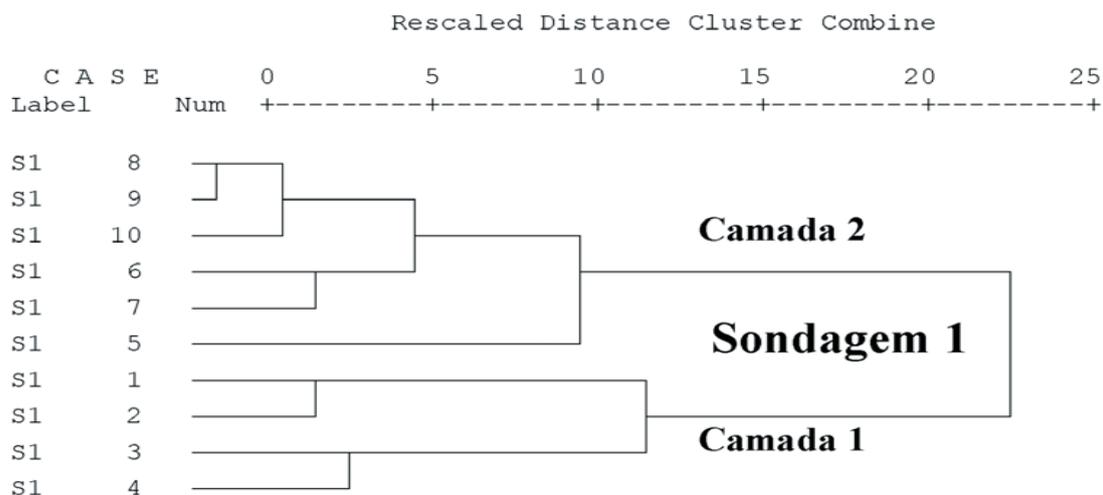
Tabela 2: Resultados das análises de elementos químicos nas amostras de solo, lodo químico e coagulante. Os resultados estão expressos em partes por milhão, ppm, para as massas secas das amostras.

Amostras	Sr	Cu	Zn	Y	Be	Ba	Mn	V	Cr	La	Nd	Ce
S1 1	97,6	23,3	36,6	32,4	1,65	237	131	348	201	101,98	25,33	141,41
S1 2	70,3	22,7	43,4	25,3	1,72	215	187	239	117	75,79	18,35	89,62
S1 3	71,1	37,7	70,5	29,4	2,50	245	340	289	161	23,97	7,29	32,77
S1 4	53,1	53,6	76,4	28,0	2,57	244	225	347	264	21,39	9,47	30,37
S1 5	69,2	20,0	5,83	35,2	1,04	120	030	133	55,8	52,96	21,24	71,92
S1 6	45,7	21,7	58,4	30,1	2,05	188	265	179	75,2	11,52	6,39	13,12
S1 7	49,4	17,7	31,0	37,2	1,88	176	107	175	65,8	20,74	11,08	20,44
S1 8	40,7	21,4	38,7	22,4	1,59	167	117	156	69,2	38,83	15,03	39,22
S1 9	54,8	25,4	35,0	26,4	1,74	203	169	155	58,4	43,04	13,69	42,39
S1 10	33,2	15,1	13,2	22,9	1,49	198	065	115	50,9	29,99	12,55	22,68
S2 1	92,0	27,7	48,1	30,7	1,76	244	176	393	224	41,76	9,93	91,74
S2 2	95,8	29,9	52,3	33,1	2,10	277	138	340	198	50,89	11,25	68,03
S2 3	66,1	11,5	14,4	29,9	1,47	195	050	158	116	53,96	10,95	63,66
S2 4	17,6	6,51	8,78	15,2	0,88	72,5	040	68,1	33,6	9,04	0,87	13,37

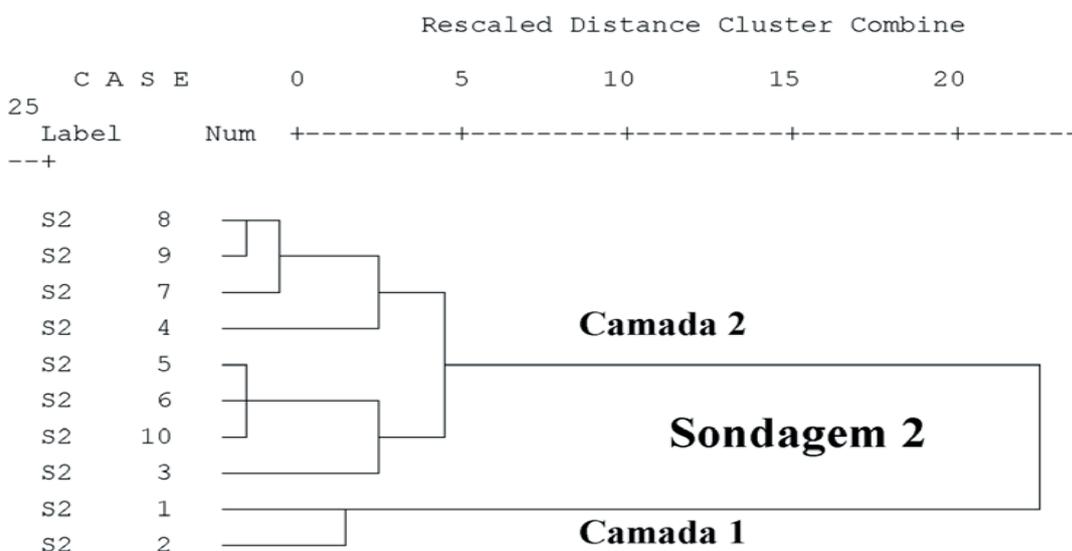
Tabela 2: Continuação.

Amostras	Sr	Cu	Zn	Y	Be	Ba	Mn	V	Cr	La	Nd	Ce
S2 5	44,8	13,1	22,9	21,4	1,19	161	085	130	52,0	18,53	4,65	23,24
S2 6	30,0	11,0	6,56	18,8	1,29	159	052	176	108	12,78	3,40	19,32
S2 7	41,0	4,83	0,68	16,8	0,81	158	016	73,2	51,8	55,47	17,66	56,00
S2 8	34,0	8,03	7,73	20,9	1,07	162	040	107	47,5	32,93	13,28	33,89
S2 9	29,6	9,44	7,46	21,5	0,91	115	057	87,9	40,8	29,92	12,29	28,34
S2 10	27,8	8,29	9,43	19,0	1,37	161	064	103	59,8	14,69	7,48	17,16
S3 1	88,4	24,3	43,9	36,2	2,32	296	059	371	209	125,33	21,56	143,23
S3 2	73,0	18,5	47,9	38,9	2,43	301	080	302	155	59,90	9,82	65,11
S3 3	73,6	31,0	109	33,8	2,47	240	139	250	120	100,79	20,88	108,17
S3 4	60,6	22,0	38,9	36,5	2,45	289	084	257	136	64,43	18,45	78,28
S3 5	57,5	8,74	18,8	31,5	2,15	284	051	186	85,6	87,24	17,32	109,12
S3 6	56,0	9,05	13,9	23,7	1,46	282	037	171	77,5	84,73	3,54	66,48
S3 7	8,70	4,99	9,63	26,1	1,14	224	038	125	43,2	32,53	8,41	58,67
S3 8	15,9	13,2	11,3	21,6	1,32	278	040	131	62,3	49,97	23,81	54,75
S3 9	6,38	5,49	3,50	21,5	1,11	187	046	106	39,9	38,56	19,78	45,29
S3 10	8,17	1,26	0,72	22,4	1,03	158	024	84,9	38,8	39,20	18,58	41,61
Lodo (n=6)	5,34	23,9	34,6	2,11	0,96	24,1	200	187	85,8	1,65	2,05	21,13
Al ₂ (SO ₄) ₃ (n=2)	4,14	0,28	19,6	1,33	0,44	0,61	700	97,6	1,1	0,60	0,75	108,7

Dendrogram using Ward Method



Dendrogram using Ward Method



Dendrogram using Ward Method

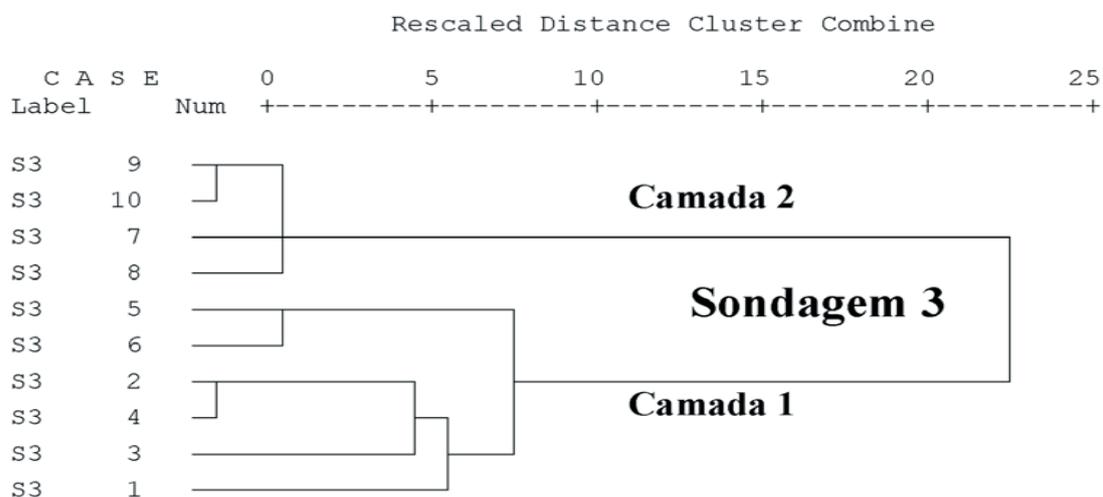


Figura 3: Dendrogramas correspondentes à classificação hierárquica dos pontos de sondagem S1, S2 e S3.

determinados pelo laudo da sondagem (Topocart, 2004), com base nas características granulométricas. Pelo laudo os primeiros níveis correspondem às amostras com granulação mais fina, silte argilosas ou silte para argilosa. Os níveis mais profundos foram classificados como silte para arenosas e silte arenosas. Sendo assim, a distribuição vertical dos elementos está mais associada à variação da granulação, consideradas as intercalações do Metarritimito R4, do que à influência do lodo químico em subsuperfície.

As análises por DRX de amostras extraídas através das perfurações mostram coerência entre as características mineralógicas, química e granulométrica (Tabela 1) dos três perfis estudados. Verifica-se que, nos três perfis de solo - S1, S2 e S3 (perfil de controle) - a caolinita é constituinte maior em todos os níveis, mas os demais minerais variam ao longo do perfil. Ao lado da caolinita, o quartzo é constituinte maior desde a base a 10 metros de profundidade, até 5, 4 e 7 metros, respectivamente, em S1, S2 e S3. A partir destas profundidades, a illita, torna-se constituinte maior, enquanto aparecem as reflexões da goethita, que aumentam em direção ao topo do perfil, sendo particularmente mais intensas no perfil S1.

A variação do conteúdo de quartzo e de illita ao longo do perfil do solo corresponde ao próprio litotipo da área - o metarritmito argiloso (R4) – no qual se intercalam níveis arenosos e pelíticos. Por outro lado, a goethita corresponde ao que restou do (já explorado) nível laterítico formado pelo enriquecimento supergênico em ferro.

É importante notar que a gibbsita ocorre somente no primeiro metro de profundidade dos furos S1 e S2 (Figuras 4a e b, respectivamente), ou seja, dentro da área de disposição, mas não aparece no furo de controle S3 (Figura 4c). A distribuição da gibbsita indica sua proveniência do próprio lodo já que está presente no material oriundo de ETA's (Figura 5), ou pode ser resultado de cristalização após a deposição.

O conteúdo elevado de matéria orgânica e P no lodo é decorrente, direta ou

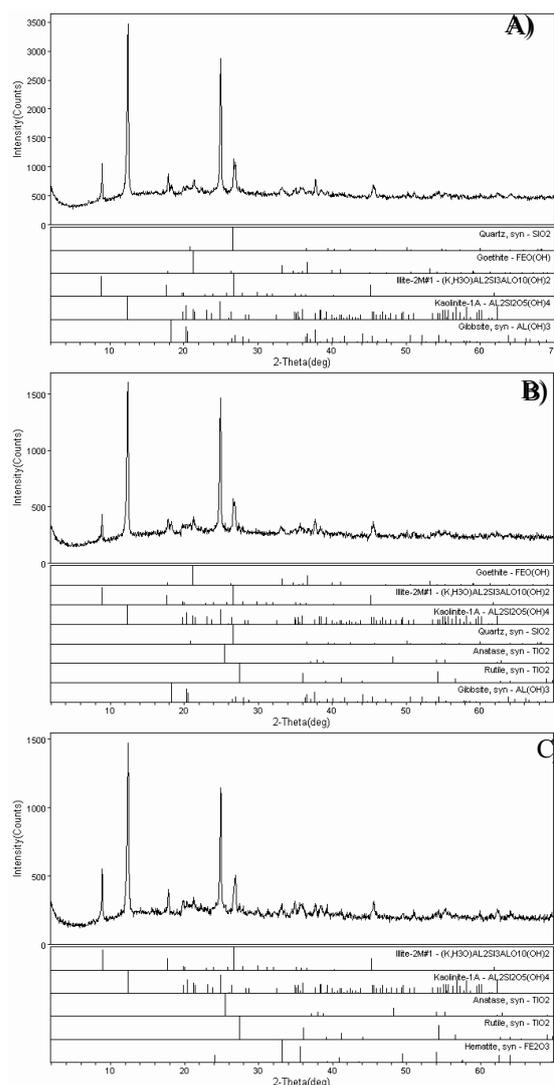


Figura 4: Difratoograma de Raios-X para amostras S1-1metro (a), S2-1metro (b) e S3-1metro (c) . Notar a presença de gibbsita nos casos a e b.

indiretamente, do carreamento de material proveniente da bacia do Lago Descoberto, sendo que, uma das fontes é a deposição de plâncton nos filtros da ETA-RD (Figura 6).

O lodo químico, contendo nutrientes, disposto acima da rocha alterada tem possibilitado o desenvolvimento de vegetação na área degradada (Figura 7).

Os índices de alteração química, IAQ, calculados para os materiais investigados mostram que a influência do lodo químico é mais fortemente sentida nos dois primeiros metros de S1, que em S2 e S3 (Tabela 1).

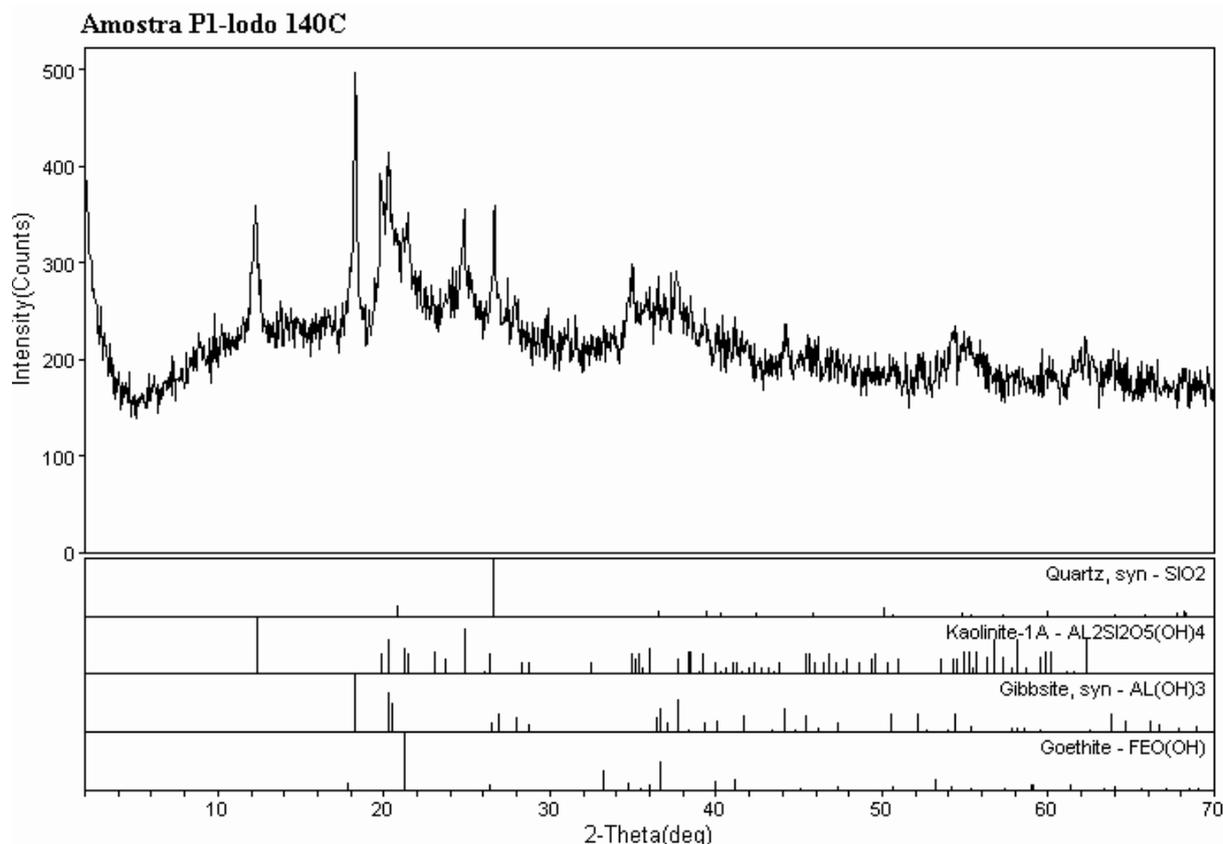


Figura 5: Difratoograma de Raios-X para amostra de lodo de ETA Rio Descoberto. Notar os picos representando a gibbsita.

Evidentemente isto se deve as diferenças entre as composições do lodo e do perfil de solo, assim como à localização de S1 exatamente num ponto de disposição do lodo químico. Isoladamente não seria possível estabelecer esta relação entre o lodo e os perfis se fossem analisadas apenas as concentrações de Al, uma vez que o solo é constituído predominantemente por argilominerais aluminosos.

O Mn apresentou teores apreciáveis no lodo químico, contrastando com os baixos teores observados em S3. Entretanto, nota-se que neste perfil, o maior valor de Mn está posicionado no mesmo nível de maior valor de Fe, indicando o processo pedogenético. Esta tendência de correlação Mn/Fe é também observada nos níveis mais superficiais dos perfis S1 (1 a 4 m) e S2 (1 e 2 m). Mas os valores significativamente altos de Mn, particularmente em S1 poderiam ser entendidos como evidências da dispersão geoquímica do material na área de estudo.

Por outro lado, a distribuição espacial do lodo químico na cascalheira pode ter provocado as anomalias não significativas negativas dos elementos Sr, Be, Y, Ba, La, Nd e Ce, em S1 e S2, pelo efeito de diluição. Esses elementos podem ser usados como normalizadores, principalmente porque os quatro últimos são associados geoquimicamente às lateritas (Licht, 1998).

CONCLUSÕES

A distribuição geoquímica dos elementos em subsuperfície está fortemente associada à variação da composição mineral e granulometria nos perfis de solo.

A influência da disposição do lodo químico rico em alumínio na área de empréstimo foi bem caracterizada pelo levantamento geofísico, utilizando-se o método da resistividade elétrica. Outros fatores como mineralogia, índice de alteração química, presença de matéria orgânica sobre o regolito e algumas análises químicas

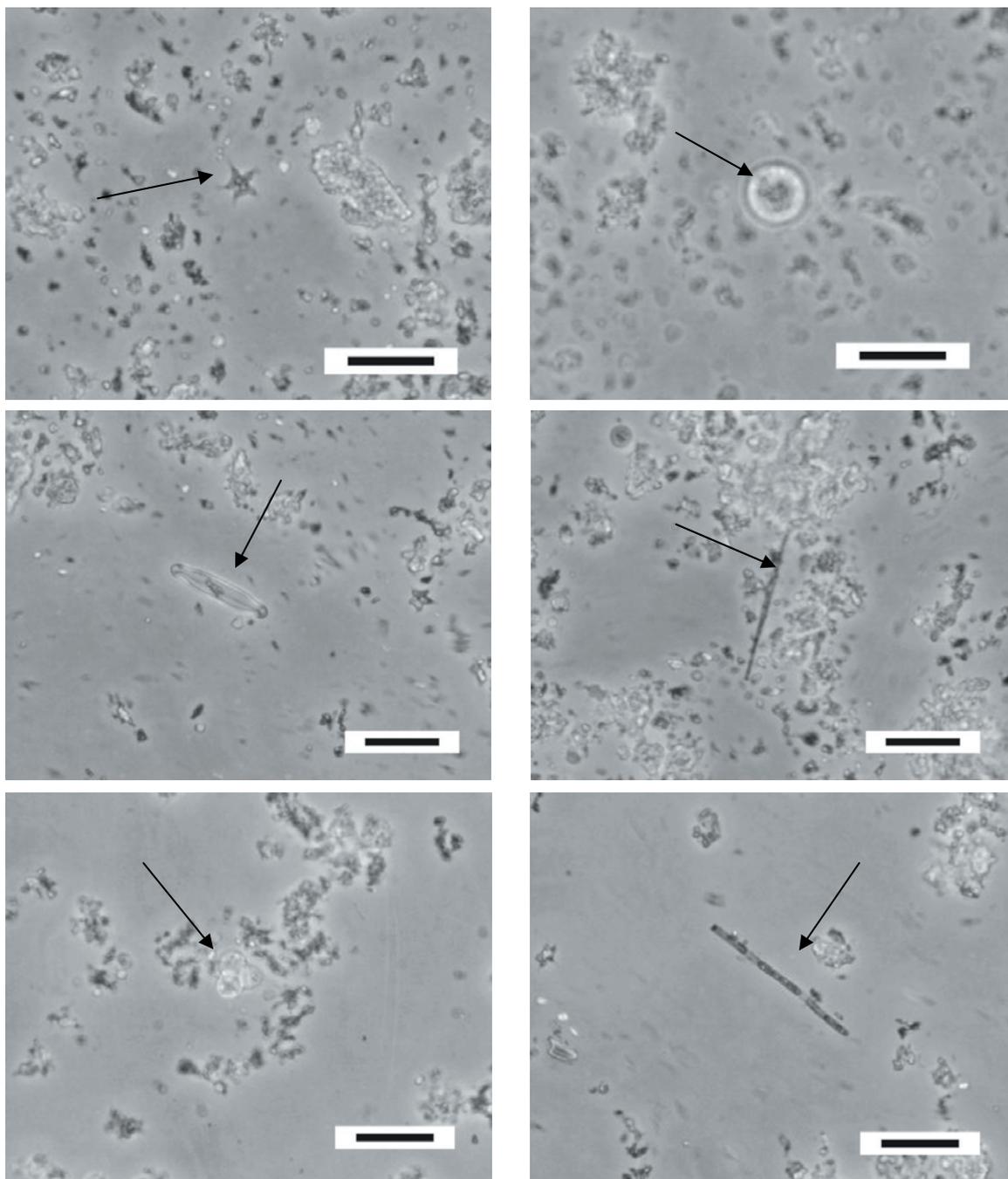


Figura 6: Fotos de carapaças de fitoplâncton presentes no lodo da ETA Rio Descoberto. (a) *Tetraedron sp.*; (b) *Cyclotella sp.*; (c) *Pinnularia sp.*; (d) *Synedra sp.*; (e) *Coelastrum sp.*, além de um exemplar ainda preservado de alga verde (f) *Glotila filamentosa*. Escala: barra igual a 25mm.

específicas, mostraram evidências da dispersão geoquímica do material na área de estudo. Do ponto de vista nutricional, o uso do lodo para a recuperação de áreas degradadas torna-se promissor ao se avaliar os teores de P e de matéria orgânica. Para estes parâmetros, os altos valores encontrados no lodo químico estão sendo transferidos para os horizontes mais profundos do solo, possibilitando o

desenvolvimento da vegetação no local. Além disso, a matéria orgânica contribui para a imobilização do Al e, conseqüentemente, reduz a sua toxicidade para as plantas.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao CNPq e a FINATEC pelo apoio em todas as etapas do estudo.

REFERÊNCIAS

- BARBOSA, A.B.D.; MORATO, M.A.; BORGES, M.N.; GARRIDO, M.A.; FERREIRA, M.F.; MOREIRA, R.C.A.; SANTOS, R. M. M. (2003) Plano de Monitoramento da Estação de Tratamento Rio Descoberto. Relatório Interno. CAESB, Brasília, 34p.
- BIDONE, F.R.A.; DE CASTRO, C.M.B. E ABOY, N. (1997) Monitoramento de Parâmetros Físico/Químicos de Lodos de ETAS durante a sua Desidratação em Leitos de Secagem com Diferentes Espessuras de Leito Drenante. In: Cong. Bras. de Engenharia Sanitária e Ambiental, Foz de Iguaçu, ABES, Anais em Cd-Rom (II-028), 1205-1215.
- BOAVENTURA, G. R. (1991) Performance do Espectrômetro de Emissão com Plasma (ICP), Spectroflame FVM03, para determinação de 20 elementos químicos nas amostras de referência geoquímica DNC-1, W-2, UNB-B1 e UNB-G2. In: III Congresso Bras. Geoq., São Paulo, SBGq., Resumos, 2: 423-426.
- CHOUDHURI, A. (1997) Geoquímica para graduação. Ed. da UNICAMP, Campinas, p. 76-77.
- DI BERNARDO, L.; SCALIZE, P.S.; FRAGIACOMO, P.; TROFINO, J.C.; VIUDES, M.A.P. (1999) Clarificação da água de lavagem de filtros de sistemas de filtração direta ascendente e desaguamento do lodo por centrifugação. In: 20º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro, ABES, Anais em Cd-Rom (II-084), p. 1555-1565.
- EMBRAPA (1997) Manual de Métodos de Análise de Solo. 2ª. ed., Ministério da Agricultura e do Abastecimento, Rio de Janeiro.
- CAMPOS, J.E.G. & FREITAS SILVA, F.H. (1998) Inventário Hidrogeológico e dos Recursos Hídricos Superficiais do Distrito Federal. Relatório Técnico Hidrogeologia do DF, 4 v., IEMA/SEMATEC/UnB, Brasília, p. 1-84.
- LICHT, O.A.B. (1998) Prospecção geoquímica: princípios, técnicas e métodos. CPRM, Rio de Janeiro, 216 p. il.
- MARTINS, E.S. (2000) Petrografia, Mineralogia e Geomorfologia de Regolitos Lateríticos no Distrito Federal. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências, UnB, Brasília, 196 p. il.
- MOREIRA, A.A.; SILVA, J.A.; CARDIM, A.C.S.; ARGOLO, J.L.; SCHIAVETTI, A.; MARTINS, E.S. (2003) Análise do material em suspensão da represa do Descoberto/DF e sua reutilização em áreas degradadas. In: IX Congr. Bras. Geoq., Belém, SBGq., Anais. 1: 76-78.
- OLIVEIRA, R. C. & BOAVENTURA, G. R. (1998) Determinação dos elementos terras raras em amostras geológicas por ICP/AES utilizando minicolunas. Revista Brasileira de Geociências, 28 (2): 169-172.
- PARSEKIAN, M.P.S. (1998) Análise e proposta de formas de gerenciamento de estações de tratamento de águas de abastecimento completo em cidades de porte médio do Estado de São Paulo. Dissertação de Mestrado. Escola de Eng. de São Carlos/USP, São Carlos, 182 p.
- PAVANELLI, G. (2001) Eficiência de Diferentes Tipos de Coagulantes na Coagulação, Floculação e Sedimentação de Água com Cor ou Elevada Turbidez. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos da USP, São Carlos, 216 p.
- TOPOCART (2004) Ceilândia: Cascalheira ETA RD, Sondagem Rotativa. Volume I. Relatório Interno, 10 p.

(Footnotes)

¹To whom the correspondence should be sent: rcam@unb.br