

Atributos químicos e granulometria do substrato remanescente nas áreas de extração de argila em Campos dos Goytacazes - RJ¹

Romano Roberto Valicheski²
Cláudio Roberto Marciano²

RESUMO

Existem na Baixada Campista mais de 120 cerâmicas que geram 4.500 empregos diretos e movimentam anualmente aproximadamente 168 milhões de reais. Do ponto de vista ambiental, essa atividade ocasiona a degradação diária de uma área de 3.500 m², resultando em cavas de 1 a 4 m de profundidade. Na região de extração, como o lençol freático é de natureza salina, esta atividade pode deixar aflorando ou próximo da superfície do substrato remanescente horizontes problemáticos ao desenvolvimento vegetal, impedindo sua reutilização. Diante disso, este trabalho teve por objetivo avaliar atributos químicos e físicos do solo original e do substrato remanescente, bem como identificar possíveis impedimentos químicos existentes nos horizontes abaixo da profundidade de extração. Em 12 perfis, nos horizontes identificados, foram determinados os teores de S-solúvel, P, Na⁺, Ca⁺², Mg⁺², K⁺, Al⁺³ e C. A partir desses valores obteve-se V%, T, SB, m e PST. Além disso, determinaram-se a condutividade elétrica e a composição granulométrica. Verificou-se, em todos os perfis, que a extração de argila expõe horizontes com caráter solódico ou sódico, em oito horizontes com caráter salino ou sálico e em três horizontes S-solúvel superior a 500 mg kg⁻¹ (os quais podem vir a apresentar o caráter tiomórfico). Esses horizontes tornam-se limitantes ao crescimento vegetal, ocasionando assim sérias restrições à recuperação das áreas utilizadas na extração de argila. Em todas as áreas avaliadas, o horizonte superficial possui atributos químicos favoráveis ao desenvolvimento das plantas, sendo de crucial importância para o processo de revegetação sua reposição nas áreas já extraídas.

Palavras-chave: Extração de argila, áreas degradadas, salinidade, sodicidade, tiomorfismo.

ABSTRACT

Chemical attributes and granulometric composition of the remaining substratum from clay extraction areas in Campos dos Goytacazes-RJ.

There are more than 120 ceramic industries in Campos dos Goytacazes-RJ, generating 4,500 direct jobs and moving R\$ 168 million annually. This activity causes daily environmental degradation of a 3,500 m² area, resulting in 1 to 4 m deep mined areas. In the extraction area, this activity can leave at the substratum remaining surface some horizons inappropriate to plant development, since the water table is naturally saline. The objective of this work was to evaluate chemical attributes of the original soil and remaining substratum, as well as to identify possible chemical impediments in the horizons below the extraction depth. S-soluble, P, Na⁺, Ca⁺², Mg⁺², K⁺, Al⁺³ and C were determined in twelve soil profiles, in the identified horizons. These values were used to obtain V%, T, SB, m and PST. Besides, the electric conductivity and the soil texture were determined. It was found in all soil profiles, that clay extraction exposes horizons

Recebido para publicação em junho de 2006 e aprovado em novembro de 2008

¹ Parte da tese de mestrado do primeiro autor.

² Laboratório de Solos - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF). Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias. Av. Alberto Lamego, 2000 Parque Califórnia, 28013-602 - Campos dos Goytacazes-RJ, E-mail: valicheski@uenf.br; marciano@uenf.br

with a sodic or sodic character, in 8 horizons with saline or salic character, and in 3 horizons S-soluble above 500 mg kg⁻¹ (which can present the thiomorphic character). In all evaluated areas, clay extraction exposes horizons with medium to high amount of exchangeable sodium, soluble salts and, in some cases, sulfur. These factors are crucial for plant growth, causing serious restrictions for re-utilization of mined areas. Because the superficial horizon is rich in organic matter and has high fertility, its replacement in mined areas is essential for re-vegetation process.

Key words: Clay extraction, degraded areas, salinity, sodicity, thiomorphism.

INTRODUÇÃO

No Brasil, o surgimento de áreas degradadas provindas da construção de estradas e barragens, de áreas agrícolas mal manejadas e, principalmente, da mineração é crescente. Quando a mineração é realizada a céu aberto, é uma das atividades que causa os mais expressivos impactos ambientais, devido às alterações que ela provoca na superfície do solo e, conseqüentemente, no meio biótico das áreas sob sua influência (Griffith, 1980).

O subsolo brasileiro possui importantes depósitos minerais. Algumas dessas reservas são consideradas expressivas quando relacionadas mundialmente. Segundo Barreto (2001), o País produz cerca de 70 substâncias, sendo 21 do grupo de minerais metálicos, 45 dos não-metálicos e quatro dos energéticos. Dentre os não-metálicos, merece destaque a extração de argila para a confecção de cerâmicas, a qual, em termos econômicos, representa próximo de 1% do produto interno bruto (ABECERAM, 2004).

O município de Campos dos Goytacazes, com cerca de 410.000 habitantes e área de 4.469 km², está localizado no norte do Estado do Rio de Janeiro (IBGE, 2002). Geograficamente, mais da metade da área do município apresenta-se como uma planície com cerca de 75 km de comprimento e 40 km de largura, não ultrapassando 17 metros de altitude (Pinto, 1987). A planície campista é de origem deltaica aluvionar, constituída por sedimentos quaternários, com abundância de material argiloso. A cerca de 40 anos essa característica da região motivou o desenvolvimento de um pólo de cerâmica vermelha, que se expandiu com o declínio da atividade canavieira.

Atualmente mais de 120 cerâmicas e olarias produzem aproximadamente 5 milhões de peças por dia, gerando cerca de 4.500 empregos diretos e 15.000 indiretos, movimentando aproximadamente 168 milhões de reais por ano, constituindo-se, assim, numa das mais importantes atividades industriais do município (Ramos *et al.*, 2003). O pólo cerâmico de Campos dos Goytacazes é responsável por cerca de 40% da produção estadual (Vieira, 2001). Estima-se que essa atividade tem promovido uma retirada diária de aproximadamente 7.000 m³ de solo, ocasionando

a degradação de uma área em torno de 3.500 m² por dia (Costa Júnior, 1997).

O processo de extração é realizado de modo empírico, sem levar em consideração a qualidade do substrato remanescente, formando cavas que possuem de 1 a 4 m de profundidade. A retirada de argila ocorre até que se encontre um horizonte cujas características não sejam adequadas para a fabricação das peças cerâmicas ou uma camada de solo mais arenoso, de coloração escuro-acinzentada e saturado, devido à proximidade do lençol freático. Por apresentar grande quantidade de material vegetal (principalmente raízes) e elevado teor de matéria orgânica, a camada superficial do solo também não é utilizada como matéria prima pelas indústrias de cerâmica, pois essas características podem prejudicar a qualidade das peças produzidas. Essa camada de solo possui de 25 a 35 cm de espessura e geralmente é depositada de modo heterogêneo e em pequenos montes no fundo da cava após a extração de argila.

O lençol freático da área onde se localiza o pólo cerâmico apresenta natureza salina (PROJIR, 1984). Como a extração de argila é realizada até muito próximo dele, freqüentemente expõe horizontes, ou camadas problemáticos, para o desenvolvimento das espécies vegetais, os quais, geralmente, apresentam caráter salino, sálico, sódico, solódico e, nos casos mais extremos, caráter tiomórfico. A presença de horizontes com esses atributos dificulta ou mesmo impossibilita que as áreas onde foi realizada a extração de argila sejam recuperadas, como reza o Art. 3º do Decreto Federal nº 97.632/89 (<http://www.lei.adv.br/97632-89.htm>).

Diante desse quadro, este trabalho teve por objetivo avaliar as características químicas e a composição granulométrica do solo das áreas de extração de argila, incluindo os horizontes abaixo da camada usualmente extraída, buscando assim identificar os possíveis impedimentos edáficos dessas áreas para o processo de revegetação após a extração.

MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi desenvolvido em Campos dos Goytacazes/RJ, município em que a extração de argila é

realizada na Planície Quaternária do Baixo Paraíba do Sul, local em que os solos apresentam grandes reservas de argila. As áreas de extração localizam-se entre as coordenadas 21° 25' e 22° 15' de latitude Sul e 40° 55' e 41° 40' de longitude W. Segundo a classificação de Köppen, o clima é identificado como Aw, com verão chuvoso e inverno seco, com temperatura do mês mais frio em torno de 21°C e do mês mais quente por volta de 27 °C.

Foram caracterizados 12 perfis de solo no barranco de cavas resultantes da extração de argila, localizadas nas comunidades de Goytacazes, Saturnino Braga, Poço Gordo, Campo Limpo e Tocos, todas situadas no município de Campos dos Goytacazes/RJ. Para o aproveitamento dos barrancos neste estudo, tornou-se necessária a remoção de 30-50 cm para dentro da área não extraída, a fim de se avivarem as faces do perfil e remover o material que poderia estar contaminado pela deposição de poeira ou pelo escorrimento de material da superfície. Em cada um dos subhorizontes e camadas identificados durante a descrição morfológica do perfil foram coletadas amostras deformadas de solo para a realização das análises químicas e da análise granulométrica.

Dentre os atributos químicos, o carbono orgânico foi determinado pelo método descrito por Anderson & Ingran (1996) e o sulfato solúvel conforme metodologia de Vitti (1989). O pH em água, fósforo disponível, alumínio extraível, a acidez extraível ($H^+ + Al^{+3}$), o cálcio, magnésio, sódio e potássio (extraíveis) foram obtidos conforme métodos descritos no Manual de Análises de Solos (Embrapa, 1997). O cálcio, magnésio, sódio e potássio solúveis foram determinados no extrato de suspensão solo-água (1:1,5), utilizando-se os mesmos métodos adotados para dosagem destes elementos na forma extraível. A partir dos valores desses atributos, utilizando-se as equações também descritas em Embrapa (1997), foram obtidos o cálcio, magnésio, potássio e o sódio trocáveis, valor S, hidrogênio extraível, valor T (CTC), valor V (saturação por bases), saturação por Al (m%) e saturação por sódio (Na%). Devido às limitações para extração da suspensão na pasta saturada, a condutividade elétrica (CE) foi determinada em extrato de suspensão solo-água (1:1), sendo o valor encontrado calculado para a umidade obtida na pasta saturada. Para a análise granulométrica, a dispersão da amostra foi feita com solução de hexametáfosfato de sódio e agitação mecânica (com agitador "stirrer" de alta rotação, durante 15 minutos para cada amostra), a areia foi determinada por peneiramento, a argila pelo método da pipeta e o silte por diferença.

Embora os atributos do solo original tenham sido obtidos para cada subhorizonte identificado na descrição morfológica, neste trabalho são apresentados os valores representativos das camadas superficial e intermediária, que correspondem à média dos valores obtidos para os

subhorizontes que o compõem, ponderando-se pelas respectivas espessuras. Para as camadas profundas (abaixo da camada de extração), são apresentados os valores individuais obtidos para um, dois ou três subhorizontes, dependendo de suas espessuras e/ou da profundidade da caracterização morfológica do perfil.

Tal procedimento para apresentação dos resultados justifica-se, principalmente, em dois aspectos. O primeiro diz respeito à necessidade de sumarizar os dados, tendo em vista o elevado número de subhorizontes ou camadas que caracterizam os solos dessa região, o que foi constatado durante a descrição morfológica dos perfis. O segundo diz respeito ao modo como o processo de extração de argila é realizado, no qual verifica-se que, após a remoção dos horizontes intermediários, utilizados como matéria-prima pelas cerâmicas, a camada superficial do solo é reposta sobre as camadas profundas. Assim, com tal procedimento, os perfis representativos dos substratos remanescentes podem ser obtidos simplesmente pela supressão das camadas intermediárias extraídas e justaposição da camada superficial (que reflete uma mistura não homogênea de seus subhorizontes) sobre os horizontes abaixo da camada de extração, identificados no perfil original.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nos solos das áreas de extração de argila, observa-se, de modo geral, que a camada superficial apresenta atributos químicos favoráveis ao crescimento das plantas (Tabela 1). Dentre esses, pode-se citar bases trocáveis elevadas, com predomínio dos íons cálcio (apresentando teores entre 4,44 e 13,33 $cmol_c kg^{-1}$) e magnésio (teores entre 2,32 e 10,05 $cmol_c kg^{-1}$), baixo teor ou ausência de Al^{+3} e elevada capacidade de troca catiônica (valor T). Além disso, nesta camada a saturação por bases é superior a 50%, o que a caracteriza com o eutrófica (Tabela 2). A alta saturação por bases e o elevado teor de bases trocáveis dessa camada se devem, principalmente, à riqueza do material de origem em cálcio e magnésio e também ao ambiente de formação destes solos, cuja drenagem deficiente dificulta a perda desses elementos (Ramos & Cunha, 1985). Com relação aos valores de pH, exceção ao perfil 1, que apresenta reação alcalina, observa-se que a classe de reação varia de moderadamente ácida ($5,4 \leq pH \leq 6,5$) a praticamente neutra ($6,6 \leq pH \leq 7,3$) (Embrapa, 1999). Conforme (Almeida *et al.*, 1988), os teores de carbono orgânico e fósforo, apresentados na Tabela 1, são considerados elevados, variando de 18,91 a 41,91 $g kg^{-1}$ e de 19,8 a 57,5 $mg kg^{-1}$, respectivamente (as exceções são os perfis 6, 9 e 12, que apresentam baixos teores de P). Devido à sua composição granulométrica, essa camada possui textura argilosa, argilo-siltosa ou muito argilosa (Tabela 2).

Tabela 1. Atributos químicos da camada superficial (reposta na superfície do substrato remanescente), da camada intermediária (extraída pelos ceramistas) e das camadas profundas (abaixo da profundidade de extração) para 12 perfis de solo

P. ⁶	Cam ²	Prof. ¹	pH	S	P	Na ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Al ⁺³	T	SB	C
		— cm —											
1	rep. ³	00 - 30	7,9	26,4	54,6	1,83	9,01	7,20	0,45	0,00	19,3	18,5	31,83
	ext. ⁴	30-187	7,0	38,0	9,5	3,74	3,98	4,01	0,09	0,05	13,2	11,8	8,27
	ab. ⁵	187-208	7,3	75,9	6,8	4,75	2,66	2,62	0,08	0,00	10,7	10,1	2,87
	ab.	208-240	7,0	49,7	14,1	4,70	2,77	2,82	0,09	0,00	11,6	10,4	6,73
	ab.	240-255	7,5	10,8	12,6	1,83	0,74	0,77	0,07	0,00	4,0	3,4	2,40
2	rep. ³	00-30	5,4	40,0	41,8	0,38	4,95	2,32	0,46	0,35	13,6	8,1	29,79
	ext.	30-185	5,0	95,6	8,8	1,75	2,47	2,53	0,08	0,39	9,1	6,8	7,93
	ab.	185-215	5,1	727,1	8,1	1,90	2,90	3,13	0,06	0,20	10,7	8,0	10,66
	ab.	215-235	5,0	759,0	14,7	3,00	2,46	2,11	0,05	0,30	11,4	7,6	12,28
	ab.	235-300	4,4	898,5	14,6	2,50	2,47	2,49	0,06	1,00	18,9	7,5	43,40
3	rep.	00-25	6,7	83,1	22,5	1,42	7,25	2,85	0,37	0,00	14,8	11,9	24,48
	ext.	25-125	7,1	99,6	7,9	2,45	4,71	2,60	0,07	0,00	10,8	9,8	6,61
	ab.	125-160	4,9	318,0	9,3	2,35	4,67	2,87	0,07	0,60	17,2	10,0	16,91
	ab.	160-170	4,2	362,9	15,4	0,97	1,55	1,21	0,07	2,30	22,6	3,8	54,55
	ab.	170-220	4,0	42,3	9,6	0,09	0,08	0,04	0,04	0,30	1,0	0,3	1,07
4	rep. ³	00-30	6,9	33,6	42,3	1,60	8,15	4,35	0,56	0,00	15,5	14,7	26,38
	ext.	30-180	7,5	12,5	19,6	4,62	3,39	3,44	0,09	0,00	11,7	11,5	6,93
	ab.	180-205	7,4	10,1	47,6	6,26	4,19	4,74	0,05	0,00	15,3	15,2	14,58
	ab.	205-238	6,7	39,9	10,8	0,63	0,20	0,27	0,05	0,00	1,2	1,1	0,46
	ab.	238-260	4,8	615,8	11,3	5,01	3,52	2,06	0,15	0,40	24,0	10,7	44,41
5	rep.	00-10	5,4	22,9	40,3	0,49	6,59	4,92	1,10	0,40	22,0	13,1	41,91
	ext.	10-107	5,3	77,2	3,0	3,36	3,60	3,34	0,11	0,51	15,2	10,4	15,14
	ab.	107-116	5,2	1045	0,0	4,98	3,09	5,49	0,06	0,20	16,4	13,6	8,98
	ab.	116-140	3,8	1117	5,4	3,81	1,92	1,33	0,06	3,90	13,7	7,1	3,05
	ab.	140-152	3,6	2925	47,8	3,75	15,6	2,30	0,04	18,9	61,3	21,7	58,05
6	rep. ³	00-30	6,1	7,8	2,4	1,58	4,44	4,54	0,12	0,20	15,8	10,7	18,91
	ext.	30-350	5,8	48,0	13,9	5,06	2,56	3,10	0,08	0,20	14,4	10,8	9,85
	ab.	350-420	5,4	155,9	23,2	6,12	3,65	3,79	0,24	0,20	22,6	13,8	26,14
	lamelas		5,6	x	28,2	x	x	x	x	0,20	x	x	149,0
	rep.	00-30	6,2	6,5	19,9	7,13	11,4	8,36	0,31	0,00	28,7	27,2	35,40
7	ext.	30-110	6,8	6,6	1,3	8,01	6,66	6,97	0,06	0,00	23,1	21,7	9,98
	ab.	110-135	7,4	7,3	1,8	7,90	3,72	4,18	0,05	0,00	16,0	15,8	4,98
	ab.	135-164	7,5	8,3	18,8	9,29	3,63	4,49	0,11	0,00	17,5	17,5	4,34
	ab.	164-192	7,2	473,7	29,7	7,23	4,29	3,61	0,15	0,00	15,6	15,3	7,23
	rep.	00-28	6,6	34,5	57,5	5,48	13,3	10,0	0,10	0,00	32,4	29,0	35,85
8	ext.	28-150	7,0	65,0	10,1	7,41	4,12	4,61	0,07	0,00	17,2	16,2	8,06
	ab.	150-170	6,6	235,2	17,9	6,54	3,16	4,15	0,07	0,00	15,1	13,9	6,18
	rep.	00-30	5,6	3,2	0,8	0,24	10,2	4,12	0,09	0,10	21,1	14,7	24,35
9	ext.	30-390	6,3	11,7	7,6	3,15	3,14	3,67	0,04	0,16	13,0	10,0	7,01
	ab.	390-400	5,7	7,6	9,9	0,15	0,81	0,57	0,04	0,50	3,1	1,6	2,10
	rep.	00-35	5,7	20,6	19,8	0,46	12,5	5,15	1,19	0,07	25,4	19,3	28,69
	ext.	35-250	5,9	358,1	10,4	4,37	11,7	5,46	0,46	0,00	25,5	22,0	17,70
	ab.	250-262	5,3	340,5	4,7	6,23	14,3	6,02	0,24	0,00	33,8	26,7	49,26
10	ab.	262-275	4,6	247,6	10,2	0,31	8,37	3,28	0,38	0,40	19,1	12,3	21,58
	ab.	275-306	3,8	55,3	6,6	0,09	0,16	0,04	0,11	0,60	1,7	0,4	1,57
	rep.	00-30	6,1	18,0	28,0	0,97	8,55	7,18	0,22	0,00	21,5	16,9	27,44
	ext.	30-206	7,1	184,0	40,7	3,99	5,91	6,07	0,08	0,00	17,1	16,0	13,50
	ab.	206-243	7,0	246,1	54,4	4,02	8,71	8,75	0,23	0,00	22,5	21,7	5,79
11	ab.	243-287	6,7	153,3	28,8	1,45	2,89	2,02	0,12	0,00	7,3	6,5	3,61
	rep.	00-30	5,8	5,3	1,5	0,43	9,21	5,35	0,11	0,00	20,6	15,1	27,07
	ext.	30-221	6,9	11,0	4,7	2,09	6,20	4,23	0,05	0,03	14,2	12,6	4,16
	ab.	221-234	5,9	6,1	23,4	2,66	7,56	4,44	0,00	0,30	27,5	14,7	38,12
	ab.	234-250	5,9	10,9	6,7	1,79	4,89	4,09	0,03	0,40	15,3	10,8	7,88
12	ab.	250-266	5,3	7,6	17,6	2,11	6,06	3,45	0,01	0,70	27,1	11,6	40,94

¹: profundidade; ²: camada; ³: resposta; ⁴: extraída; ⁵: abaixo; ⁶: perfil; x: não determinado.

Tabela 2. Composição granulométrica, saturação por bases, (V%), saturação por Al (m%), saturação por sódio (PST%), condutividade elétrica (CE), classe textural e caráter apresentado pela camada superficial (reposta na superfície do substrato remanescente), intermediária (extraída pelos ceramistas) e profunda (abaixo da profundidade de extração) para 12 perfis de solo

P. ⁶	Cam ²	Prof. ¹	Arg ⁷	Silte	Ar. ⁸	V	m	PST	CE	Textura e caráter
		cm	g kg ⁻¹		%		dS m ⁻¹			
1	rep. ³	00 - 30	555	359	86	95,5	0,0	9,6	1,59	argila, eutrófico, solódico
	ext. ⁴	30-187	591	375	34	89,5	0,5	29,0	1,46	argila, eutrófico, sódico
	ab. ⁵	187-208	380	395	225	94,4	0,0	44,3	3,92	franco argilosa, eutrófico, sódico
	ab.	208-240	421	410	169	89,1	0,0	40,4	4,68	argila siltosa., eutrófico, sódico, salino
	ab.	240-255	54	77	869	85,0	0,0	45,4	2,40	areia franca, eutrófico, sódico
2	rep.	00-30	351	260	389	56,3	6,4	3,1	1,69	argila, eutrófico
	ext.	30-185	462	390	148	75,1	6,1	19,3	5,26	argila, eutrófico, sódico, salino
	ab.	185-215	621	358	21	74,4	2,4	17,7	5,87	m. argilosa, eutrófico, sódico, salino
	ab.	215-235	680	295	25	67,1	3,8	26,4	6,23	m. argilosa, eutrófico, sódico, salino
	ab.	235-300	671	281	48	39,9	11,7	13,3	4,32	m. argilosa, distrófico, solódico
3	rep.	00-25	736	249	15	82,6	0,0	11,6	1,74	m. argilosa, eutrófico, solodico
	ext.	25-125	538	348	114	90,8	0,0	23,0	2,78	argila, eutrófico, sódico
	ab.	125-160	458	453	89	58,0	5,7	13,7	4,23	argila siltosa, eutrófico, solódico, salino
	ab.	160-170	549	134	317	16,9	37,7	4,3	4,96	argila, distrófico, salino
	ab.	170-220	8	6	986	24,7	54,3	8,9	1,74	areia, distrófico, solódico
4	rep.	00-30	552	339	109	94,1	0,0	11,4	4,63	argila, eutrófico, solódico, salino
	ext.	30-180	565	384	51	98,7	0,0	40,1	5,75	argila, eutrófico, sódico, salino
	ab.	180-205	752	207	41	99,3	0,0	40,8	7,41	m. argilosa, eutrófico, sódico, salino
	ab.	205-238	17	4	979	91,2	0,0	50,1	2,87	areia, eutrófico, sódico
	ab.	238-260	133	140	727	44,6	3,6	20,8	15,6	fr. arenosa, distrófico, sódico, sálico
5	rep.	00 - 10	557	429	14	59,5	3,0	2,2	0,64	argila siltosa, eutrófico
	ext.	100-107	704	284	12	69,1	5,2	21,9	1,73	m. argilosa, eutrófico, sódico
	ab.	107-116	463	405	132	82,9	1,4	30,3	5,64	argila siltosa, eutrófico, sódico, salino
	ab.	116-140	55	50	895	51,9	35,4	27,7	12,3	areia, eutrófico, sódico, sálico
	ab.	140-152	173	324	503	35,4	46,6	6,1	6,79	franca, distrófico, solódico, salino
6	rep.	00-30	526	425	49	70,1	1,7	13,0	0,90	argila siltosa, eutrófico, solódico
	ext.	30-350	466	442	92	77,2	1,6	36,0	3,34	argila siltosa, eutrófico, sódico
	ab.	350-420	450	462	88	61,2	1,4	27,1	7,97	argila siltosa, eutrófico, sódico, sálico
		lamelas	616	295	90	x	x	x	4,00	salino
	rep.	00-30	675	290	35	94,6	0,0	25,3	2,32	m. argilosa, eutrófico, sódico
7	ext.	30-110	656	331	13	94,8	0,0	37,2	4,03	m. argilosa, eutrófico, sódico, salino
	ab.	110-135	560	422	18	99,0	0,0	49,3	4,69	argila siltosa, eutrófico, sódico, salino
	ab.	135-164	470	429	101	100	0,0	53,0	7,77	argila siltosa, eutrófico, sódico, sálico
	ab.	164-192	251	204	545	97,9	0,0	46,3	8,0	fr. argilo arenosa, eutrófico, sódico, sálico
	rep.	00-28	708	279	13	89,3	0,0	16,8	2,49	m. argilosa, eutrófico, sódico
8	ext.	28-150	554	332	114	94,4	0,0	43,7	5,31	argila, eutrófico, sódico, salino
	ab.	150-170	286	285	429	92,3	0,0	43,4	6,71	franco argilosa, eutrófico, sódico, salino
	rep.	00-30	418	441	141	69,5	0,7	1,2	0,41	argila siltosa, eutrófico
	ext.	30-390	501	376	123	76,5	1,8	22,7	0,19	argila, eutrófico, sódico
	ab.	390-400	62	25	913	51,4	24,2	4,8	0,16	areia, eutrófico
9	rep.	00-35	603	344	53	75,9	0,4	1,8	0,41	m. argilosa, eutrófico
	ext.	35-250	669	308	23	87,1	0,0	16,8	1,71	m. argilosa, eutrófico, sódico
	ab.	250-262	730	257	13	79,0	0,0	18,4	1,82	m. argilosa, eutrófico, sódico
	ab.	262-275	594	259	147	64,6	3,1	1,6	1,56	argila, eutrófico
	ab.	275-306	2	13	985	23,5	59,7	5,5	0,86	areia, distrófico
10	rep.	00-30	551	357	92	79,3	0,0	4,7	0,51	argila, eutrófico
	ext.	30-206	632	338	30	94,5	0,0	24,0	3,59	m. argilosa, eutrófico, sódico
	ab.	206-243	724	259	17	96,3	0,0	17,8	3,73	m. argilosa, eutrófico, sódico
	ab.	243-287	129	92	779	88,7	0,0	19,8	5,94	franco arenosa, eutrófico, sódico
	rep.	00-30	566	355	79	72,3	0,0	2,2	0,43	argila, eutrófico
11	ext.	30-221	400	405	195	88,6	0,2	15,0	0,23	argila siltosa, eutrófico, sódico
	ab.	221-234	715	261	24	53,3	2,0	9,7	0,29	m. argilosa, eutrófico, solódico
	ab.	234-250	794	183	23	70,8	3,6	11,8	0,26	m. argilosa, eutrófico, solódico
	ab.	250-266	905	83	12	42,9	5,7	7,8	0,34	m. argilosa, distrófico, solódico

¹: profundidade; ²: camada; ³: reposta; ⁴: extraída; ⁵: abaixo; ⁶: perfil; ⁷: argila; ⁸: areia.

Como atributos químicos desfavoráveis do ponto de vista edafológico, a camada superficial dos perfis 7 e 8 apresenta saturação por sódio trocável $\geq 15\%$ (Tabela 2), caracterizando-se como sódica. Os perfis 1, 3, 4 e 6 apresentam sua camada superficial com caráter solódico ($6 \leq \text{Na}\% < 15$), enquanto para o perfil 4, além de solódica, essa camada é também salina ($4 \leq \text{CE} < 7 \text{ dS m}^{-1}$). Nos demais perfis estudados, esta camada de solo apresenta valores de saturação por sódio trocável e de CE que a caracteriza como não afetada por excesso de sódio e sais, mesmo assim alguns valores podem influenciar no crescimento de plantas sensíveis.

Na camada intermediária do solo, atributos químicos favoráveis para o desenvolvimento das plantas também podem ser observados, dentre eles, teores de cálcio (2,47 a 11,74 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) e magnésio (2,53 a 6,97 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$), valor T (9,15 a 25,53 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) e praticamente ausência de Al^{+3} (exceto nos perfis 2 e 5, de reação ácida). Nessa camada do solo os teores de C e P sofrem expressivas reduções em relação à camada superficial, variando de 4,16 a 17,70 g kg^{-1} e de 1,3 a 13,9 mg kg^{-1} , respectivamente, exceção feita ao P nos perfis 4 e 11, cujos teores são elevados. A textura, tal qual a camada superficial, é argilosa, argilo-siltosa ou muito argilosa.

A soma de bases e o valor V%, embora apresentem valores expressivos, são reflexos dos elevados teores de Na^+ , os quais são similares ou superiores aos de Ca^{+2} . Em consequência, a camada intermediária de todos os perfis apresenta caráter sódico (o valor médio de Na é 27,39%). Esse caráter torna-se uma das principais limitações ao desenvolvimento vegetal, não só pelos impedimentos físicos e morfológicos (Ben-Hur et al., 1998; Oliveira et al., 2002), mas principalmente pelos níveis elevados de sódio trocável, tóxico à maioria das culturas. Quatro dessas camadas intermediárias apresentam, ainda, o caráter salino (perfis 2, 4, 7 e 8), enquanto dois possuem elevados teores de S solúvel (perfis 10 e 11).

A capacidade produtiva verificada no campo para esses solos certamente é consequência da elevada fertilidade da camada superficial e também das características favoráveis da própria camada intermediária, que exerce papel tamponante para os elevados teores de Na^+ e para a CE (devido à sua espessura e CTC), impedindo que grande quantidade de sais chegue até a camada superficial.

Para as camadas abaixo da profundidade de extração, grande variabilidade pode ser verificada, tanto em sua granulometria quanto em seus atributos químicos. Enquanto a camada 170-220 cm de profundidade do perfil 3 apresenta teor de areia de 986 g kg^{-1} , a camada 250-266 cm do perfil 12 apresenta teor de argila de 905 g kg^{-1} (Tabela 2). Na Tabela 1 podem ser observados valores mínimos e máximos de, respectivamente, 3,6 e 7,5 para pH; 0,46 e

58,05 g kg^{-1} para C; 0,0 e 54,4 mg kg^{-1} para P; 0,08 e 15,61 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ para Ca^{+2} ; 0,04 e 8,75 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ para Mg^{+2} ; 0,00 e 0,38 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ para K^+ ; 6,1 e 2.925,0 mg kg^{-1} para S-solúvel, 0,09 e 9,29 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ para o Na^+ , 0,0 e 18,9 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ para o Al^{+3} ; 1 e 61,3 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ para o valor T; e 0,3 e 26,7 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ para SB. Pela Tabela 2, verifica-se para essas camadas valores mínimos e máximos de 16 e 100 para o valor V%, 0 e 59,7 para o valor m%, 1,6 a 56 para a PST% e 0,16 a 15,60 dS m^{-1} para CE, respectivamente.

Com relação à saturação do complexo de troca do solo pelo íon Na^+ , das 29 camadas profundas apresentadas para os 12 perfis 18 apresentam-se sódicas, sete solódicas e apenas quatro não são afetadas por excesso de Na^+ . Quanto aos valores de condutividade elétrica no extrato de saturação do solo (CE), obtidos para as camadas abaixo da profundidade de extração, esse quadro é também bastante crítico, pois apenas os perfis 9, 10 e 12 não apresentam horizontes afetados por excesso de sais solúveis. Das 29 camadas profundas, seis têm caráter salino, 12 e 11 não são afetadas por sais. A presença do caráter salino (expresso por valores de CE do solo entre 4 a 7 dS m^{-1}) e do sódico ($\text{CE} > \text{que } 7 \text{ dS m}^{-1}$) é resultante do excesso de sais solúveis na solução do solo (Ayers & Westcot, 1991). Os efeitos negativos dos sais sobre as plantas podem ser causados pelas dificuldades de absorção de água pela planta, pela interferência dos sais nos processos fisiológicos ou mesmo por toxidez, similar àquela de adubação excessiva (Lima, 1997; Souza et al., 2003). Além disso, o excesso de sais (principalmente sódio) pode interferir nas propriedades físicas do solo, dificultando a movimentação de ar e água no perfil do solo, podendo, em muitos casos, resultar em camadas adensadas em subsuperfície.

Para algumas camadas profundas, como no caso dos perfis 3, 5 e 10, observam-se valores de pH inferiores a 4,3, o que os caracteriza como de reação extremamente ácida (Embrapa, 1999). Esses valores extremos de pH, possivelmente, são oriundos da elevada concentração de S-solúvel presente neles. Embora com pH fora da faixa que caracteriza como de reação extremamente ácida, diversas outras camadas apresentam teores de S-solúvel elevados. A condição morfológica do solo e o excesso de sódio no complexo de troca, responsáveis pelos perfis apresentarem baixa porosidade de aeração, bem como a proximidade do lençol freático, responsável por manter esses horizontes permanentemente com umidade próxima à saturação, são provavelmente os fatores que impedem que se observe valor de pH extremamente ácido em inúmeras outras camadas. Em 16 das 29 camadas profundas, os teores superam, por vezes em muito, o valor de 100 mg kg^{-1} de S-solúvel. Nessas camadas, o S-solúvel, quando exposto a condições aeróbicas, se oxida, formando ácido sulfúrico, o que deixa o solo extremamente ácido, poden-

do em alguns casos, como nos perfis 2, 4 e 5 (que possuem camadas com mais de 500 mg kg⁻¹ de S-solúvel), formar horizontes com caráter tiomórfico.

O caráter tiomórfico, dentre todos os anteriormente mencionados, certamente é o de maior impedimento ao desenvolvimento vegetal, pois os valores extremos de pH, além de alterar a disponibilidade dos nutrientes essenciais para o crescimento das plantas, fazem com que íons tóxicos se tornem mais solúveis, como é o caso do alumínio e do manganês (Hussan *et al.*, 2000; Castro *et al.*, 2006). Nestes extremos de pH e na presença de íons tóxicos somente algumas espécies de gramíneas conseguem se desenvolver.

Do ponto de vista da qualidade química das camadas profundas para o crescimento das plantas, ficam evidenciados atributos severamente restritivos. Conseqüências negativas desses atributos para a capacidade produtiva do solo, no entanto, não são facilmente observadas no campo, certamente em função de seu distanciamento da superfície do solo e do poder tamponante das camadas intermediárias e superficiais, as últimas concentrando a maior parte do sistema radicular das plantas.

Levando-se em conta o modo como o processo de extração de argila é realizado, que inclui a remoção dos horizontes intermediários e a reposição da camada superficial sobre a camada profunda, algumas conseqüências podem ser abordadas. A primeira delas é a importância da reposição da camada superficial para a qualidade do substrato remanescente, uma vez que esses atributos químicos tornam menos demorados e onerosos o processo de revegetação das áreas já exploradas. A não-reposição dessa camada de solo impossibilitaria a implantação da maioria das espécies vegetais nas áreas mineradas, agravando assim ainda mais o quadro ambiental resultante desta atividade, uma vez que a maioria das cavas atualmente encontra-se em total abandono.

A importância dos atributos químicos da camada superficial do solo se torna mais expressiva pelo fato de grande parte das áreas utilizadas como jazidas pertencerem a pequenos produtores rurais, os quais, encontrando-se geralmente descapitalizados, arrendam suas terras para as empresas ceramistas realizarem a extração de argila. Essas terras, antes de serem utilizadas no processo de mineração, encontravam-se ocupadas por culturas de subsistência, cana-de-açúcar ou pastagem, tendo exclusivamente como nutrientes os elementos presentes nessa camada, suficiente para se obter produtividade satisfatória, mantendo, desse modo, o homem no campo. Com a extração de argila, a reposição da camada superficial é um fator que poderá permitir a reincorporação das áreas mineradas ao processo produtivo agrícola, continuando a existir o caráter social da terra, que é o de empregar o proprietário rural.

A segunda conseqüência é que, após o processo de extração de argila, a fértil camada superficial do solo passa a ter íntimo contato com as problemáticas camadas profundas, deixando assim de existir a ação tamponante da camada intermediária, que atuava como barreira ao processo de salinização, impedindo que grande quantidade de sais do lençol freático atingisse os horizontes em superfície. Após a mineração, possivelmente a ascensão de sais seja facilitada, devido à proximidade do lençol freático, de natureza salina, com a superfície. Essas características, associadas à elevada evaporação da região, tendem a agravar ainda mais a situação do substrato, pois mesmo com a reposição da camada superficial do solo no fundo da cava, com o passar do tempo pode ocorrer a migração e acúmulo de sais do lençol freático para a superfície do substrato, podendo este vir a se tornar solódico, sódico, salino e/ou sálico.

Nos horizontes que apresentam caráter solódico, o sódio trocável promove dispersão dos colóides do solo, tornando-o física e morfológicamente pouco adequado à drenabilidade e ao desenvolvimento do sistema radicular da maioria das culturas. Ademais, nessas condições, dependendo da capacidade de retenção de cátions, o teor desse elemento químico pode alcançar nos solos níveis tóxicos e intoleráveis para as culturas, sendo esse efeito nocivo agravado de forma acentuada quando o solo apresenta o caráter sódico.

Essa elevada concentração de sódio trocável resulta em severas restrições ou mesmo impossibilita a reutilização dessas áreas para fins agrícolas após a extração da argila. Para Ramos & Manzatto (2003), embora economicamente pouco recomendada, a recuperação e o uso adequado dos solos com caráter solódico são possíveis de serem alcançadas. No entanto, devido à proximidade do lençol freático com a superfície do substrato nas áreas extraídas, associado ao relevo da região, essa prática torna-se impossível de ser realizada. Já para solos com caráter sódico, a recuperação é considerada economicamente inviável para o uso agrícola. Em relação à sodicidade, conforme essa afirmação, pode-se perceber o quadro altamente crítico do substrato remanescente nas cavas após processo de extração de argila, ficando disponível para o crescimento radicular apenas a camada superficial do solo que é reposta.

Embora limitante ao desenvolvimento dos vegetais, os efeitos nocivos do excesso de sais podem ser reduzidos com a aplicação de sais de cálcio e água de boa qualidade, promovendo o processo de lavagem (lixiviação) desses sais para maiores profundidades ou retirando-os do sistema via drenagem (Gheyi *et al.*, 1995; Santos & Hernandez, 1997). No entanto, segundo Ramos & Manzatto (2003), no caso das cavas resultantes do processo de extração de argila na região, essa prática torna-

se impossível de ser realizada, pois além da natureza salina do lençol freático e sua proximidade com a superfície do substrato, seu rebaixamento por drenagem é praticamente impedido pela influência das marés.

Em relação à composição granulométrica dos horizontes profundos, observa-se ampla variabilidade de classes texturais, que vão de muito argilosa a areia. Nos casos em que a profundidade de extração alcançou um horizonte arenoso e quimicamente pobre, o que possibilita a implantação de espécies vegetais na área extraída é a camada de solo reposta. Além disso, segundo Lima & Guilherme (2002), por possuírem textura mais grossa e poros de maior tamanho, os horizontes arenosos próximos ao lençol freático (freqüentemente saturados) possibilitam maior movimentação da água. Esse fato certamente propicia maior ascensão de sais para a camada de solo reposta, podendo torná-la afetada por excesso de sais em um curto período de tempo. Além da possibilidade de salinização da camada reposta, esse horizonte pode levar a déficits hídricos em períodos de estiagem, uma vez que, quando comparados com horizontes argilosos, esses possuem pequena capacidade de armazenar água.

Noutro extremo encontram-se as áreas em que o horizonte que limitou a profundidade de extração possui textura argilosa ou muito argilosa. Nessas cavas, na época de intensa precipitação pluviométrica freqüentemente observa-se acúmulo de água na superfície do substrato, ficando o mesmo inundado por vários dias, resultando na morte das plantas que ali vivem pela deficiente oxigenação do sistema radicular.

Por ser obrigatória a reintrodução das áreas mineradas ao processo agrícola, no momento de liberação e autorização de lavra deveriam ser levados em consideração o nível do lençol freático, de natureza salina, e os impedimentos químicos existentes em profundidade. Considerados esses fatores, certamente seriam minimizados potenciais impedimentos para o desenvolvimento do sistema radicular da maioria das espécies vegetais. O quadro atual das áreas utilizadas para a extração de argila demonstra a atuação pouco eficiente dos órgãos responsáveis pela liberação de licenças, bem como da fiscalização exercida, uma vez que grande parte das áreas utilizadas em extração encontra-se abandonada sem nenhuma reutilização para fins agrícolas.

Diante dos dados apresentados e discutidos, observa-se elevada dificuldade de recuperação ou mesmo reutilização das áreas usadas na extração de argila por culturas agrícolas. Essas dificuldades são maiores, principalmente, quando a profundidade de exploração chega próximo do lençol freático (deixando-o aflorar ou se aproximar muito da superfície do substrato), ou próximo de horizontes com caráter solódico, sódico, salino e com elevado teor de S-solúvel, os quais dificultam, ou mesmo

impossibilitam, o desenvolvimento radicular da maioria das espécies vegetais. Nesse sentido, torna-se necessária a continuidade dos estudos nos substratos das áreas já exploradas, a fim de avaliar se está ocorrendo ou não migração de sais do lençol freático e seu acúmulo na camada superficial, bem como acompanhar as modificações morfológicas, físicas e químicas que podem ocorrer ao longo do tempo. Conhecer melhor a evolução desses atributos é certamente essencial para que os órgãos responsáveis pela autorização de lavra possam medir os efeitos impactantes desta atividade ao meio ambiente e à sociedade como um todo.

CONCLUSÕES

Em muitos casos, a remoção da camada de solo de interesse cerâmico expõe à superfície horizontes com caráter solódico, sódico, salino, sálico, os quais representam uma barreira química para o desenvolvimento das plantas.

Por possuir características químicas e físicas promissoras ao desenvolvimento das plantas, a reposição da camada superficial do solo torna-se de fundamental importância para a reabilitação das áreas extraídas.

A aproximação do lençol freático em relação à superfície após a extração de argila conduz a um risco muito elevado de salinização da camada reposta, por ser esse de natureza salina, comprometendo a reintrodução dessas áreas para o uso agropecuário.

Após a extração da argila, devido aos impedimentos químicos existentes em profundidade, torna-se possível somente a implantação de espécies que apresentam tolerância à salinidade e sodicidade, ficando assim, restrito o uso da área após o processo de mineração.

REFERÊNCIAS

- ABECERAM. (2004) Associação Brasileira de Cerâmica. Disponível em: <http://www.abeceram.org.br/asp/abc_21.asp> Acesso em: 02 de mar. de 2004.
- Almeida DL; Santos AG; De-Polli H; Cunha LH; Freire LR; Amaral Sobrinho NMB; Pereira NNC; Fira PA; Bloise RM; Salek RC (1998) Manual de adubação para o estado do Rio de Janeiro. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro-UFRRJ, 179p.
- Anderson JD; Ingran JSI (1996) Tropical soil biology and fertility: A handbook of methods. 2.ed. Wallingford, UK CAB International, 171p.
- Ayers RS; Westcot DW (1991) A qualidade da água na agricultura. Trad. Gheyi HR; Medeiros de J F & Damasceno FVA, Campina Grande, UFPB, 218p.
- Barreto ML (2001) Mineração e desenvolvimento sustentável: desafios para o Brasil. Rio de Janeiro, CETEM/MCT, 215p.
- Ben-Hur M; Agrassi M; Keren R; Zhang J (1998) Compaction, aging and raindrop-impact effects on hydraulic properties of saline and sodic vertisols. Soil Science Society of America Journal, 62:1377-1383.

- Castro HE, Gómez MI, Munévar OE, Hernández DM (2006) Diagnóstico y control de la acidez en suelos sulfatados ácidos en el Distrito de riego del Alto Chicamocha (Boyacá) mediante pruebas de incubación. *Agronomía Colombiana*, 24:122-130.
- Costa Júnior P.F. (1997) Comportamento de leguminosas arbóreas inoculadas com fungos micorrízicos arbusculares e rizóbio em estéril de extração de argila. Tese de mestrado. Campos dos Goytacazes, Universidade Estadual do Norte Fluminense, 1997. 72p.
- EMBRAPA. (1997) Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). Manual de métodos de análises de solo. 2. ed. Rio de Janeiro, Embrapa-CNPS, 212 p.
- EMBRAPA. (1999) Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Brasília, Embrapa-CNPS, 412 p.
- Gheyi HR; Azevedo NC; Batista MAF; Santos JGR (1995) Comparação de métodos na recuperação de solo salino-sódico. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 19:173-178.
- Griffith, JJ (1980) Recuperação conservacionista da superfície de áreas mineradas: uma revisão de literatura. Viçosa, Sociedade de Investigações Florestais-UFV, 106p.
- <http://www.lei.adv.br/97632-89.htm>. (2005) Acesso em: 28 de out. de 2005
- Husson O; Phung MT, Mensvoort V (2000) Soil and water indicators for optimal practices when reclaiming acid sulphate soils in the Plain of Reeds, Viet Nam *Agricultural Water Management*, 45:127-143.
- IBGE. (2002) Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>> Acesso em: 14 de dez. de 2002.
- Lima JM; Guilherme LRG (2002) Recursos naturais renováveis e impacto ambiental: solo. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 40 p.
- Lima, LA (1997) Efeitos de sais no solo e na planta. In: 26º. Congresso Brasileiro De Engenharia Agrícola, Campina Grande, Anais, UFPB. p. 113-133.
- Oliveira LB; Ribeiro M.R; Ferreira MGX; Lima JFWF; Marques FA (2002) Inferências pedológicas aplicadas ao perímetro irrigado de Custódia, PE. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 37:1477-1486.
- Pinto JRP (1987) Um pedaço de terra chamado Campos. Campos dos Goytacazes-RJ, Fundação Cultural OsWaldo Lima, 2. ed. 212p.
- PROJIR (1984) Estudos e levantamentos pedológicos. Projeto de irrigação e drenagem de cana-de-açúcar na Região Norte Fluminense – RJ. Estudos e levantamentos pedológicos. Relatório técnico setorial. Tomos I e II e III, Rio de Janeiro.
- Ramos DP; Cunha LH (1985) Caracterização de solos afetados por sais em condições não-hidromórficas da região de Campos (RJ). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 9:155-159.
- Ramos DP; Manzatto CV (2003) Estudos de solos para ordenamento do uso cerâmico das argilas da Baixada Campista, estado do Rio de Janeiro. Embrapa-CNPS, Documento nº52. 19p.
- Santos RV; Hernandez FFF (1997) Recuperação de solos afetados por sais. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, Campina Grande, Anais, Universidade Federal da Paraíba. p. 319-356.
- Souza ER; Levien SLA; Medeiros JF; Porto Filho FQ; Gheyi HR; Sousa Neto ER; Silva Jr MJ (2003) Crescimento do melão irrigado com água de diferentes níveis de salinidade. *Caatinga*, 16:31-38.
- Vieira CMF (2001) Caracterização de argilas de Campos dos Goytacazes-RJ visando à fabricação de revestimento cerâmico semiporoso. Tese de doutorado. Campos dos Goytacazes, Universidade Estadual do Norte Fluminense-UENF. 126p.
- Vitti, GC (1989) Avaliação e interpretação do enxofre no solo e na planta. Jaboticabal, FCAV/UNESP, 37p.