



Revista Brasileira de Ciência do Solo

ISSN: 0100-0683

revista@sbccs.org.br

Sociedade Brasileira de Ciência do Solo  
Brasil

MOTA, F. O. B.; OLIVEIRA, J. B.

MINERALOGIA DE SOLOS COM EXCESSO DE SÓDIO NO ESTADO DO CEARÁ

Revista Brasileira de Ciência do Solo, vol. 23, núm. 4, 1999, pp. 799-806

Sociedade Brasileira de Ciência do Solo

Viçosa, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=180218348007>

- ▶ Como citar este artigo
- ▶ Número completo
- ▶ Mais artigos
- ▶ Home da revista no Redalyc

redalyc.org

Sistema de Informação Científica

Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe, Espanha e Portugal  
Projeto acadêmico sem fins lucrativos desenvolvido no âmbito da iniciativa Acesso Aberto

# **MINERALOGIA DE SOLOS COM EXCESSO DE SÓDIO NO ESTADO DO CEARÁ<sup>(1)</sup>**

**F. O. B. MOTA<sup>(2)</sup> & J. B. OLIVEIRA<sup>(3)</sup>**

## **RESUMO**

Foram estudados dois perfis de solos com problemas de sodicidade (Planossolo Solódico e Solonetz-Solodizado), no estado do Ceará, com o objetivo de conhecer a mineralogia das frações areia, silte e argila e os processos de alterações que ocorrem nos respectivos minerais. A areia e o silte grosso foram avaliados por microscopia de polarização e contraste de fase, enquanto o silte fino e a argila foram analisados por difração de raios-X. Utilizou-se, ainda, a microscopia eletrônica de varredura para obtenção de informações complementares sobre as transformações mineralógicas ocorridas nos horizontes dos dois perfis. Verificou-se que o Planossolo Solódico apresenta na fração argila quantidades mais ou menos equivalentes de caulinita e montmorilonita no horizonte 2Btn, o mesmo acontecendo com as proporções de caulinita e vermiculita no horizonte A. Nas outras frações, foram encontrados teores variáveis de quartzo, plagioclásios, hornblenda e biotita. Por sua vez, o Solonetz-Solodizado mostrou uma fração argila essencialmente caulinitica ao longo de todo o perfil e com quantidades variáveis de quartzo, feldspato e biotita nas outras frações. Em ambos os perfis, o enriquecimento de argila no Bt resultou essencialmente das alterações *"in situ"* dos minerais primários intemperizáveis contidos na rocha subjacente. A hipótese de alternância de processos de oxiredução nos horizontes A e, ou, E, em razão da baixa permeabilidade do horizonte 2Btn, provocando um processo de ferrólise naqueles horizontes, é também uma alternativa de gênese que não pode ser descartada para explicar o alto contraste textural desses solos. O intemperismo da albita e de outros plagioclásios ricos em sódio, o clima semi-árido, e a drenagem impedida são os fatores condicionantes dos percentuais elevados de sódio, observados nos dois pedons. Também nos dois solos, os teores destoantes de quartzo, a geomorfologia da região e a presença de uma linha de pedras separando os horizontes A ou A + E do 2Btn revelam duplidade de materiais originários.

**Termos de indexação:** caracterização e transformação mineralógica, alcalinidade, região semi-árida.

<sup>(1)</sup> Parte da Tese de Doutorado do primeiro autor apresentada à Universidade de São Paulo, ESALQ/USP, para obtenção do grau de Doutor em Agronomia - Solos e Nutrição de Plantas. Apresentado no XIII Congresso Latino Americano de Ciência do Solo, Solo-Suelo em Águas de Lindóia (SP), 1996. Recebido para publicação em setembro de 1997 e aprovado em agosto de 1999.

<sup>(2)</sup> Professor do Departamento de Ciências do Solo, Universidade Federal do Ceará. CEP 60455-760 Fortaleza (CE).

<sup>(3)</sup> Professor visitante do Departamento de Água e Solo, Faculdade de Engenharia Agrícola, UNICAMP. CEP 13081-970, Campinas (SP). Bolsista do CNPq.

**SUMMARY: MINERALOGY OF SODIC SOILS IN CEARÁ**

*Sand, silt and clay fraction mineralogy as well as the weathering processes of two soils with excess of sodium (SPL and SS) were studied in the state of Ceará, Brazil. The sand coarse and silt were studied using polarized microscopy and phase contrast, while the fine silt and clay were analyzed by X-ray diffraction. Additional information on the mineralogical transformations that occurred in the horizons of both pedons was obtained using scanning electron microscopy. The Solodic Planosol showed in the clay fraction almost equivalent amounts of kaolinite and montmorillonite in the 2Bt horizon, the same occurring with the proportions of kaolinite and vermiculite in the A horizon. In the other fractions, variable contents of quartz, plagioclase, hornblende and biotite were found. On the other hand, the Solodized-Solonetz had essentially kaolinit clay fraction all over the profile, with variable contents of quartz, feldspar and biotite in the other fractions. In both profiles, the clay enrichment of the argillic horizon seemed to be a result of the weathering of the primary minerals from the underlying parent material. The assumption of alternate oxi-reduction processes in the A and, or, E horizons due to the low 2Bt horizon permeability, which induces a process of ferrolysis on those horizons, is also an alternative genesis which cannot be disregarded to explain the high textural contrast of these soils. The weathering of albite, as well as of the other plagioclases rich in sodium, associated with the semi-arid climate and impeded drainage, are the factors that cause the high sodium percentage observed on both pedons. Also on both soils, the contrasting quartz contents, the geomorphology of the region and the presence of a stone line separating the A or A + E horizons from the 2Bt one, reveal a duplicity of parent materials.*

*Index terms: mineralogical transformations, alkalinity, semi-arid region.*

**INTRODUÇÃO**

Solos com problemas de sodicidade, entre os quais estão incluídos os Solonetz-Solodizados (SS) e os Planossolos Solódicos (PLS), objeto do presente trabalho, ocorrem em várias partes do globo terrestre e sua utilização adquire maior relevância, considerando a necessidade do aumento da área cultivada destinada à produção agrícola (Coelho, 1985).

A região semi-árida do Nordeste Brasileiro, em virtude das características de clima, relevo, geologia e drenagem, entre outros fatores, apresenta condições favoráveis à ocorrência de solos afetados por excesso de sódio e, ou, sais.

No estado do Ceará, em aproximadamente 13.000 km<sup>2</sup>, ocorrem associações de solos, com predominância da classe Planossolo Solódico, e, em outros 8.900 km<sup>2</sup>, ocorrem associações onde predominam as classes dos Solonetz-Solodizados e Solonchak-Solonétzicos. Em conjunto, essas associações representam 14,8% da área do estado do Ceará e 9,4% da superfície de sete estados do Nordeste (Pereira, 1983).

No semi-árido cearense, os solos são originados, em sua maioria, de rochas cristalinas, com grande predominância de gnaisses e, normalmente, apresentam horizontes A e, ou, A + E de natureza pedimentar (Brasil, 1973). Mineralogicamente, são

solos pouco intemperizados com ocorrência de feldspatos potássicos, plagioclásios calco-sódicos e argilominerais montmorilonita e mica (Moreira, 1979). Batista (1988) encontrou em tais solos, no semi-árido do estado da Paraíba, também a presença de vermiculita e caulinata. Luz et al. (1992), estudando Planossolos Solódicos no semi-árido pernambucano, verificaram que transformações de biotitas em vermiculitas, e destas em esmectitas são processos comuns. Observaram, ainda, uma diminuição de esmectita e um aumento de caulinata na direção dos horizontes superficiais.

Em razão da carência de pesquisas mineralógicas em solos do estado e da região Nordeste do Brasil como um todo, o objetivo deste trabalho foi estudar a mineralogia e as transformações mineralógicas ocorridas nas diversas frações granulométricas de dois perfis de solos com problemas de excesso de sódio, visando contribuir para melhor conhecimento das potencialidades e limitações desses solos.

**MATERIAL E MÉTODOS**

Foram selecionados dois perfis de solos com problemas de excesso de sódio do estado do Ceará, correspondendo a um Planossolo Solódico (PLS) e um Solonetz-Solodizado (SS), localizados, respectivamente, na Zona Fisiográfica do Sertão do

Sudoeste, em clima semi-árido, e no litoral em clima subúmido transicional para semi-árido, ambos sob vegetação de caatinga hiperxerófila (Brasil, 1973), e ocorrentes em área de relevo plano/suave ondulado. Os perfis foram descritos de acordo com Lemos & Santos (1984), com a nomenclatura dos horizontes seguindo as normas da EMBRAPA (1988).

Litológicamente, os solos estão associados com gnaisse do Pré-Cambriano Indiviso e, geomorfologicamente, com a Superfície de Aplainamento Sertaneja, desenvolvida em decorrência de processos de pediplanação influenciados por clima seco (Souza, 1975).

As análises de alguns atributos físicos (análise granulométrica e argila dispersa em água) e químicos (pH em água, complexo sortivo, CTC, Ki) para caracterização e classificação dos solos, foram feitas no laboratório de solos da Universidade Federal do Ceará, segundo métodos da EMBRAPA (1979). Na análise granulométrica, a fração terra fina ( $< 2 \text{ mm}$ ) foi dispersada com  $\text{NaOH} 1 \text{ mol L}^{-1}$ . A areia total foi separada em areia grossa e fina por peneiramento, enquanto o fracionamento do silte e a separação deste da argila foi feita por sedimentação.

A identificação dos minerais presentes na areia e no silte grosso foi feita por microscopia ótica de polarização e contraste de fase, em preparados destas frações, segundo Troger (1969) e Gebhardt et al. (1967). A quantificação das fases minerais, neste caso, foi realizada por contagem de grãos, com a estimativa de cada espécie mineral feita em % de peso da terra fina. Para uma identificação mais precisa das espécies minerais, foram utilizados ainda difratogramas do pó das partículas. Para os feldspatos, usou-se também a técnica de coloração com hexacobaltoxitrito de sódio. As frações silte fino e argila foram analisadas por difratometria de raios-X, em amostras orientadas e na forma de pó, após eliminação da matéria orgânica e dos óxidos de ferro, segundo Jackson (1969), seguida da saturação com potássio e magnésio. Nos tratamentos com potássio, os difratogramas foram obtidos em amostras submetidas à temperatura ambiente e, após, aquecidas a 350 e 550°C por 2 h. Os tratamentos com magnésio foram analisados à temperatura ambiente e após adição de etileno glicol. Para tanto, utilizou-se um equipamento de raios-X Philips micro 1130, dotado de tubo de cobre e filtro de níquel.

Para obtenção de informações complementares das transformações mineralógicas ocorridas, frações granulométricas selecionadas dos dois perfis foram ainda examinadas por microscopia eletrônica de varredura, utilizando-se equipamento REM Zeiss 940.

A avaliação semiquantitativa dos minerais das frações mais finas foi obtida por meio do cálculo das áreas dos picos dos difratogramas: a montmorilonita, pela área do pico de 1,4 nm na amostra K 25°C, dividida por 2; a caulinita, pela área do pico de

0,35 nm na amostra K 350°C, e a vermiculita, pela área do pico de 1,4 nm na amostra Mg glicolada, menos a área do pico na amostra K 350°C, dividida por 2 (Johns et al., 1954). A identificação qualitativa foi feita segundo Brindley (1955); Jackson (1969) e Brown (1961).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Atributos físicos e químicos

Os quadros 1 e 2 mostram alguns dos principais atributos físicos e químicos dos solos pesquisados. Ambos os perfis apresentam textura arenosa/média, com alto incremento de argila dos horizontes A e, ou, E para o 2Btn, suficientes para caracterizar uma mudança textural abrupta. Os teores de areia são mais baixos e os de silte expressivamente mais altos no Solonetz-Solodizado, fator possivelmente responsável pelo menor grau de estruturação desse solo em relação ao Planossolo Solódico (PLS). As elevadas quantidades de argila dispersa em água, principalmente no horizonte 2Btn dos dois perfis, são decorrentes da elevada percentagem de sódio trocável no complexo de troca, acarretando baixo grau de flocação das argilas, e contribuem para a manutenção de condições físicas desfavoráveis desses solos, notadamente quanto à permeabilidade à água e ao desenvolvimento de raízes.

O conteúdo total de bases, em valores absolutos, é relativamente baixo nos horizontes superficiais desses solos, sendo maior no PLS. Enquanto neste as quantidades são suficientes para garantir alta saturação por bases, o SS é epidistrófico. No horizonte 2Btn dos dois solos, a soma de bases e a saturação por bases são mais altas. O incremento no valor desses parâmetros em profundidade acompanha, aproximadamente, o crescimento nos teores de argila dos perfis.

A reação do solo é ligeiramente alcalina e alcalina nos horizontes subsuperficiais do PLS e ligeiramente alcalina e praticamente neutra no SS. Nos horizontes superficiais dos dois solos, entretanto, a reação é ácida, com valores de pH acompanhando a variação na saturação por bases. No SS, os menores valores de soma de bases, saturação por bases e pH em relação ao PLS podem ser explicados pela maior taxa de lixiviação sofrida pelo primeiro, graças à sua ocorrência em ambiente mais úmido. A percentagem de saturação por sódio no horizonte 2Btn dos dois solos apresenta valores compatíveis com a definição do caráter solódico do Planossolo e com o conceito central da classe do Solonetz-Solodizado (Brasil, 1973). A relação molecular sílica/alumina, expressa pelo índice Ki, indica menor grau de evolução do PLS em relação ao SS, o que está de acordo com a mineralogia da fração mais fina, discutida a seguir, bem como com as diferenças nas condições ambientais onde ocorrem.

**Quadro 1. Atributos físicos dos perfis de Planossolo Solódico (PLS) e de Solonetz Solodizado (SS)**

Solo	Horizonte	Profundidade	Frações granulométricas da terra fina ( $\mu\text{m}$ )						G.F	Relação silte/argila	Classe textural
			Areia grossa e média (> 200)	Areia fina (200-53)	Silte grosso (53-20)	Silte fino (20-2)	Argila (< 2)	Argila natural			
PLS	A	0-25 cm	270	450	50	110	120	100	17	1,3	F. aren.
	2Btn	25-58	280	300	20	120	290	260	10	0,5	F.A.aren.
	2Cr	58+	450	350	10	90	100	80	20	1,0	Aren. F.
SS	A	0-15	120	540	210	50	80	40	50	3,3	F. aren.
	E	15-32	50	420	320	120	90	40	56	4,9	Franco
	2Btn	32-62	120	280	210	90	320	300	6	0,9	F. arg.
	2CB	62-80+	130	470	220	100	50	40	20	6,4	F. aren.

**Quadro 2. Atributos químicos dos perfis de Planossolo Solódico (PLS) e de Solonetz-Solodizado (SS)**

Perfil	Horizonte	pH (H <sub>2</sub> O)	Cátions trocáveis					V	Na	Ki
			Ca	Mg	K	Na	CTC pH 7,0			
$\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$										
PLS	A	5,9	3,4	1,6	0,3	0,3	7,0	80	4,3	2,61
	2Btn	7,7	12,0	4,3	0,2	1,8	20,0	92	9,0	3,29
	2Cr	8,7	-	-	-	-	-	-	-	4,42
SS	A	5,4	0,2	0,5	0,2	0,1	2,7	37	3	2,37
	E	5,2	0,3	0,5	0,1	0,1	2,8	36	3,6	2,64
	2Btn	7,9	2,0	2,3	0,1	2,4	7,6	89	31,6	2,03
	2CB	6,9	-	-	-	-	-	-	-	2,34

### Mineralogia e transformações mineralógicas

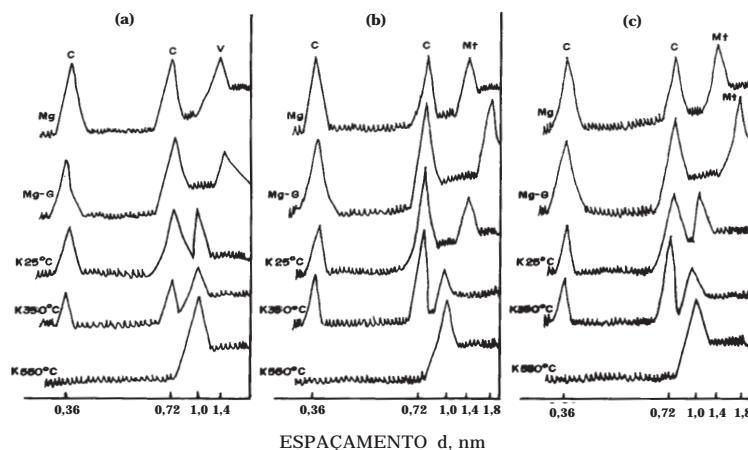
Os minerais presentes na fração argila dos dois solos são constituídos de vermiculita, caulinita e montmorilonita no PLS (Figura 1) e de caulinita, vermiculita quartzo e plagioclásios (predominantemente albita e andesinita) no SS (Figura 2 e Quadro 3). A proporção relativa entre esses minerais varia nos dois solos nos diferentes horizontes (Quadro 3).

O Planossolo Solódico apresentou na fração argila quantidades mais ou menos equivalentes de caulinita e montmorilonita nos horizontes 2Btn e 2Cr, o mesmo acontecendo com as quantidades de caulinita e vermiculita no A. Nas outras frações, foram encontrados conteúdos variáveis de quartzo, plagioclásios, hornblenda e biotita (Quadro 3). A formação de montmorilonita nos horizontes subsuperficiais do PLS pode estar associada à maior

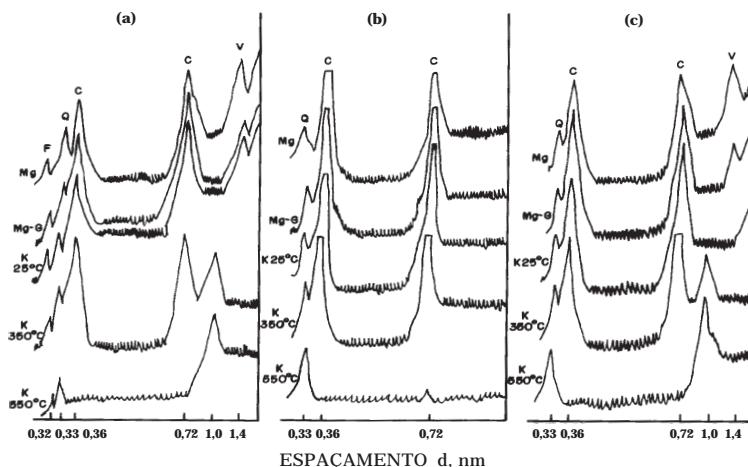
restrição de drenagem nesses horizontes e ao clima mais seco da região, garantindo, assim, maior atividade de silício e bases no sistema, oriundos da alteração dos plagioclásios e da hornblenda, que favorecem a formação e persistência de esmectitas (Borchardt, 1989).

O fato de a amostra do horizonte A desse solo não ter sofrido expansão no tratamento com etilenoglicol (Figura 1) parece indicar a presença de vermiculitas ou montmorilonitas com ligeira intercalação com polímeros de hidroxi-Al nas entrecamadas (Barnhisell & Bertsch, 1989), o que é possível, considerando a reação mais ácida e a condição mais lixiviante nesse horizonte.

O Solonetz Solodizado mostrou-se predominantemente caulinítico na fração argila ao longo de todo o perfil, apresentando quantidades menores de vermiculita nos horizontes A, E, e 2CB (Figura 3).



**Figura 1.** Difratogramas de raios-X da fração argila orientada dos tratamentos com K e aquecimento (K 25, 350 e 550°C), magnésio (Mg) e magnésio + etileno glicol (Mg + G) dos horizontes do perfil de Planossolo Solódico: (a) horizonte A; (b) horizonte 2Btn e (c) horizonte 2Cr. (C = caulinita; V = vermiculita e Mt = montmorillonita).



**Figura 2.** Difratogramas de raios-X da fração argila orientada dos tratamentos com K e aquecimento (K 25, 350 e 550°C), magnésio (Mg) e magnésio + etileno glicol (Mg + G) dos horizontes do perfil de Solonet Solodizado: (a) horizonte A; (b) horizonte 2Btn e (c) horizonte 2CB. (C = caulinita; V = vermiculita e Q = quartzo).

No 2Btn, não foi constatada a presença desse argilomineral, que parece ter-se alterado diretamente para caulinita. O clima mais úmido nessa região, condicionando maiores taxas de lixiviação e intemperismo, pode ter favorecido a formação e, ou, persistência de maiores quantidades de caulinita, a partir do intemperismo de plagioclásios e biotitas, ou mesmo da alteração de vermiculitas. A alteração desse argilomineral diretamente para caulinita também ficou evidenciada por meio de microscopia eletrônica de varredura (dados não mostrados). A vermiculita provavelmente formou-se da alteração das micas trioctaedrais biotita e, ou, flogopita, comuns ainda nas frações mais grosseiras desses solos (Quadro 3).

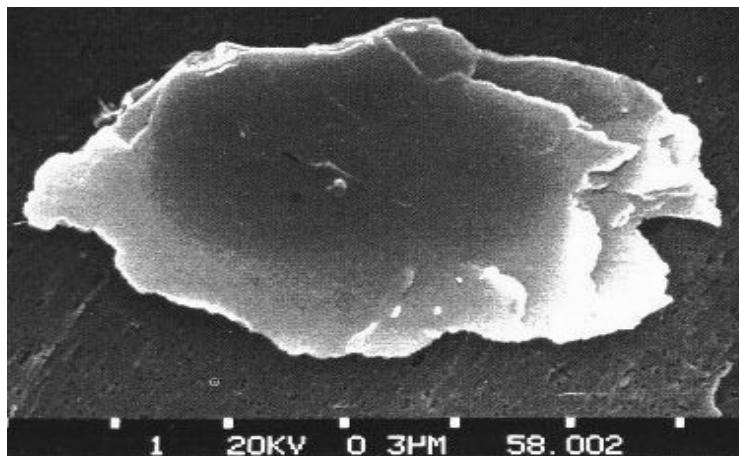
Segundo Douglas (1989), a vermiculita, com raríssimas exceções, forma-se quase sempre a partir do intemperismo das micas, em ambiente com baixo fluxo lixiviante e maior presença de magnésio no sistema. Nas demais frações desse solo, registraram-se quantidades variáveis de quartzo, plagioclásios e biotita.

Conforme ficou evidenciado, nos dois perfis, foram encontrados minerais facilmente intemperizáveis nas frações areia e silte, o que indica serem tais solos relativamente pouco intemperizados. A mineralogia da fração argila, por outro lado, é perfeitamente compatível com as diferenças químicas constatadas nos dois solos, ou seja, no PLS, a maior soma de bases

**Quadro 3. Componentes mineralógicos das frações granulométricas da terra fina dos perfis de Planossolo Solódico (PLS) e Solonetz-Solodizado (SS) identificados e quantificados por análises morfoscópicas e difratometria de raios-X**

Perfil	Horizonte	Profundidade	Tipo de mineral	Frações granulométricas da terra fina ( $\mu\text{m}$ )											
				> 200	200-53	53-20	20-2	< 2	$\Sigma$						
				cm						g $\text{kg}^{-1}$					
PLS	2Btn	25-58	Quartzo	190	370	21	34	-	615						
			Plagioclásio <sup>(1)</sup>	51	32	15	34	-	132						
			Hornblenda	14	41	5	5	-	65						
			Biotita <sup>(2)</sup>	-	-	4	-	-	4						
			Caulinita	-	-	3	12	55	70						
			Vermiculita	-	-	-	23	64	87						
			$\Sigma^{(3)}$	255	443	48	108	119	973						
2Cr	58+	58+	Quartzo	130	210	9	36	-	385						
			Plagioclásio	140	24	3	38	-	205						
			Hornblenda	3	18	2	32	-	55						
			Biotita	-	12	1	-	-	13						
			Caulinita	-	-	-	6	140	146						
			Montmorilonita	-	-	-	-	150	150						
			Vermiculita	-	-	-	9	-	8						
A	0-15	0-15	$\Sigma$	273	264	15	120	290	962						
			Quartzo	130	200	4	9	-	343						
			Plagioclásio	200	25	1	13	-	239						
			Hornblenda	25	54	2	18	-	99						
			Biotita	90	56	6	-	-	152						
			Caulinita	-	-	-	3	50	53						
			Montmorilonita	-	-	-	-	43	43						
SS	15-32	15-32	Vermiculita	-	-	-	43	7	50						
			$\Sigma$	445	335	13	86	100	979						
			Quartzo	98	353	109	40	4	604						
			Plagioclásio	12	135	59	11	4	221						
			Biotita	5	13	11	-	-	29						
			Caulinita <sup>(4)</sup>	-	-	4	6	56	66						
			Vermiculita	-	-	-	-	16	16						
2Btn	32-62	32-62	$\Sigma$	115	501	183	57	80	936						
			Quartzo	35	249	195	58	13	550						
			Plagioclásio	11	114	58	40	14	237						
			Biotita	-	10	5	6	-	21						
			Caulinita	-	-	14	15	45	74						
			Vermiculita	-	-	-	-	18	18						
			$\Sigma$	46	373	272	119	90	900						
2CB	62-80*	62-80*	Quartzo	81	201	67	35	5	384						
			Plagioclásio	7	20	32	22	-	81						
			Biotita	1	3	9	25	-	38						
			Caulinita	-	54	81	6	308	449						
			Vermiculita	-	-	-	-	-	-						
			$\Sigma$	89	278	189	88	313	952						
			Quartzo	83	215	65	40	2	405						
			Plagioclásio	16	127	40	25	-	208						
			Biotita	17	114	86	28	-	245						
			Caulinita	-	3	7	6	36	52						
			Vermiculita	-	-	-	-	11	11						
			$\Sigma$	116	459	198	99	49	921						

<sup>(1)</sup> Predomina albita, até andesinita. <sup>(2)</sup> Flogopita-biotita. <sup>(3)</sup> A diferença para 1.000 está associada a minerais pesados, partículas opacas e indeterminadas. <sup>(4)</sup> Pseudomorfose de biotita para caulinita com forte incrustação de óxido de ferro, nas frações silte e areia fina.



**Figura 3.** Fotografia obtida por microscopia eletrônica de varredura, mostrando o intemperismo da biotita na fração silte fino no horizonte 2Btn do PLS.

e a CTC estariam relacionadas com a maior quantidade de montmorilonita nesse solo, enquanto a maior pobreza em bases e a menor CTC no SS estariam relacionadas com a maior presença de caulinita.

O enriquecimento de argila no horizonte 2Btn do PLS pode ser explicado, sob o ponto de vista quantitativo, pela decomposição ou transformação de plagioclásios, hornblendas e biotitas, uma vez que, nas frações areia grossa ( $> 200$  mm) e areia fina (200-53 mm), os conteúdos desses minerais diminuem de  $253 \text{ g kg}^{-1}$  do horizonte 2Cr para o 2Btn, com um consequente aumento de caulinita e montmorilonita aproximadamente no mesmo valor ( $240 \text{ g kg}^{-1}$ ). Assim sendo, em um balanço geral, o enriquecimento de argila no 2Btn pode ser explicado pela decomposição ou transformação dos silicatos primários supracitados. Os teores de quartzo, relativamente uniformes em 2Cr e 2Btn e destoantes no A, sugerem, em conjunto com uma linha de pedras entre os horizontes A e 2Btn, verificada no campo, e a geomorfologia da região, a duplidade dos materiais originários.

A acumulação de argila no horizonte 2Btn do Solonetz Solodizado resulta também, praticamente, da transformação de plagioclásios e biotita. No horizonte 2CB, os totais de plagioclásios e biotita são, respectivamente,  $208$  e  $245 \text{ g kg}^{-1}$ . No 2Btn, esses números caem para  $81$  e  $38 \text{ g kg}^{-1}$ , resultando em uma diminuição de cerca de  $334 \text{ g kg}^{-1}$ , com um aumento de argila de  $261 \text{ g kg}^{-1}$  (Quadro 3). As pequenas quantidades de argila nos horizontes A e E parecem não ter origem pedogenética, sendo resultantes principalmente de processos de adição ou acumulação relativos à erosão externa. Por sua vez, os valores divergentes de quartzo e feldspato nesses horizontes revelam a presença de descontinuidade litológica no perfil, identificada pela

presença em campo de uma linha de calhaus e matações de quartzo predominantemente arredondados, tal como já referido em Brasil (1973).

Portanto, nos dois perfis investigados, a gênese do horizonte Bt, ou seja, o seu enriquecimento em argila, parece resultar essencialmente da alteração de minerais primários *"in situ"*, com o processo de iluviação parecendo ter pouca contribuição, fato esse corroborado pela ausência de cerosidade nos horizontes de máxima acumulação de argila. Resultados semelhantes em condições climáticas idênticas ou similares foram relatados por Alias & Albaladejo (1978); Isbell (1980), Koppi & Williams (1980) e Gebhardt (1989). O intemperismo da albita e de outros plagioclásios ricos em sódio, associado com o clima semi-árido, e a forte restrição de drenagem são os fatores condicionantes dos percentuais elevados de sódio observados nos dois pedons (Wilding et al., 1963).

A alternância de processos de oxirredução nos horizontes A e, ou, E, devida, provavelmente, à baixa permeabilidade do horizonte 2Btn, acarretando um processo de ferrólise naqueles horizontes (Brinkman, 1979), constitui uma alternativa de gênese que não pode ser descartada para explicar o alto contraste textural desses solos, bem como a ausência de vermiculita no horizonte 2Btn, que, por ser um mineral mais instável, seria destruído pelo processo de ferrólise.

A figura 3 mostra uma fotomicrografia da transformação mineralógica da biotita sob condições de drenagem deficiente. Observa-se que não há uma separação rápida dos óxidos de ferro e uma imediata caulinitização, mas, sim, o processo consiste no alargamento do espaçamento basal observado na difração de raios-X, e a formação de montmorilonita, conduzindo ao enriquecimento desse argilomineral no horizonte 2Btn do Planossolo Solódico (PLS).

## CONCLUSÕES

1. A mineralogia da fração argila é constituída predominantemente de caulinita e montmorilonita no Planossolo Solódico e essencialmente de caulinita no Solonetz-Solodizado, fato esse associado às diferenças de drenagem interna dos dois perfis e suas localizações em microregiões climáticas distintas.
2. A presença dos minerais (biotita, hornblendita, plagioclásios) considerados de fácil decomposição, nas frações areia e silte dos dois perfis, indica pequeno grau de intemperismo e, ou, maturidade dos solos estudados.
3. Nos dois perfis investigados, a gênese do horizonte Btn, ou seja, o seu enriquecimento em argila, resulta sugestivamente da alteração de minerais primários "*in situ*" (hornblenditas, plagioclásios e biotita).
4. A presença de linha de pedras separando o(s) horizonte(s) eluvial(ais) do B textural nos dois perfis, associada com a geomorfologia da região, revela uma duplidade de materiais originários na gênese desses solos.
5. O intemperismo da albita e de outros plagioclásios ricos em sódio, associado com o clima semi-árido, e a drenagem deficiente são os fatores condicionantes dos percentuais elevados de sódio observados no horizonte Btn dos dois perfis.

## LITERATURA CITADA

- ALIAS, L.J. & ALBALADEJO, J. Mineralogia y genesis de suelos con horizonte B textural sobre rocas calizas en el sureste de España. An. Edafol. Agrobiol., 37:647-663, 1978.
- BARNHISELL, R.I. & BERTSCH, P.M. Chlorites and hydroxyl-interlayered vermiculite and smectite. In: DIXON, J.B. & WEED, S.B., eds. Minerals in soil environments. Madison, Soil Science Society of America, 1989. p.729-788.
- BATISTA, R.B. Solos do semi-árido da Paraíba afetados por sódio: mineralogia e síntese de minerais. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1988. 129p. (Tese de Doutorado)
- BORCHARDT, G.A. Smectites. In: DIXON, J.B. & WEED, S.B., eds. Minerals in soil environments. Madison, Soil Science Society of America, 1989. p.675-727.
- BRASIL. Ministério da Agricultura. Divisão de Pesquisa Pedológica, DNPEA. Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do estado do Ceará. Recife, convênios MA/DNPEA-SUDENE/DRN, MA/CONTAP/USAID/ETA, 1973. 2v. 502p. (Boletim Técnico, 28)
- BRINDLEY, G.W. Identification of clay minerals by x-ray diffraction analysis. In: NATIONAL CONFERENCE ON CLAYS AND CLAY TECHNOLOGY, 1, San Francisco, 1955. Proceedings. San Francisco, Department of National Resources, 1955. p.119-129.
- BRINKMAN, R. Ferrolisis, a soil-forming process in hydromorphic conditions. Wageningen, Pudoc, 1979. 106p. (Agric. Res. Rep. 887)
- BROWN, G. The X-ray identification and crystal structures of clay minerals. London, Mineralogical Society, 1961. 544p.
- COELHO, M.A. Estudo sobre propriedades físicas de solos sódicos e salinos sódicos do estado do Ceará. Fortaleza, Universidade Federal do Ceará, 1985. 61p. (Tese de Prof. Titular)
- DOUGLAS, L.A. Vermiculites. In: DIXON, J.B. & WEED, S.B., eds. Mineral in soil environments. Madison, Soil Science Society of America, 1989. p.635-674.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento de Solos. Manual de métodos de análises de solos. Rio de Janeiro, 1979. não paginado.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Definição e notação de horizontes e camadas do solo. 2.ed. Rio de Janeiro, 1988. 54p.
- GEBHARDT, H. Mineralogy and genesis of soils in semi-arid regions of northeastern-Brazil - The amounts of clay formation and clay translocation in alfisols. Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft., 1:3-10, 1989.
- GEBHARDT, H.; MEYER, B. & SCHEFFER, F. Mineralogische schnelluntersuchung der grobton schluff und fein sandfraktionen von boden mit dem phasenkontrastmikroskop. Zeiss-mitteil, 4:309-322, 1967.
- ISBELL, R.F. The argillic horizon concepts and its application to the classification of tropical soils. In: CONFERENCE ON CLASSIFICATION OF TROPICAL SOILS. 1, Kuala Lumpur, 1980. Proceedings. Kuala Lumpur Malasyan Society of Soil Science, p.150-157, 1980.
- JACKSON, M.L. Soil chemical analysis: advanced course. Madison, University of Wisconsin, 1969. 895p.
- JOHNS, W.D.; GRIM, R.E. & BRADLEY, W.F. Quantitative estimations of clay minerals by diffraction methods. J. Sedim Petrol., 24:242-251, 1954.
- KOPPI, A.J. & WILLIAMS, D.J. Weathering and development of two contrasting soils formed from granodiorite in south-east Queensland. Aust. J. Soil Res., 18:257-271, 1980.
- LEMOS, R.C. & SANTOS, R.D. Manual de descrição e coleta do solo no campo. Campinas, SBCS/SNLCS, 1984. 46p.
- LUZ, L.R.Q.P.; SANTOS, M.C.D. & MERMIT, A.R. Pedogênese em uma toposequência do semi-árido de Pernambuco. R. Bras. Ci. Solo, 16:95-102, 1992.
- MOREIRA, E.G.S. Caracterização e gênese de três pedons de solonetz solodizado do sertão central e médio jaguaribe-estado do Ceará. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1979. 83p. (Tese de Doutorado)
- PEREIRA, J.R. Solos salinos e sódicos. In: RAIJ, B. van; BATAGLIA, O.C. & SILVA, N.N., coords. Acidez e calagem no Brasil. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1983. p.127-143.
- SOUZA, M.J.N. Geomorfologia do vale do Choró - CE. Universidade de São Paulo, 1975. 212p. (Tese de Doutorado)
- TROGER, W.E. Optische bestimmung der gesteinsbildenden minerale, teile 1 und 2. Stuttgart, Schweizerbartsche Verlagsbuchhandlung, 1969.
- WILDING, L.P.; ODELL, R.T.; FEHRENBACHER, J.B. & BEAVER, A.H. Source and distribution of sodium in solonetzic soils in Illinois. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 27:432-438, 1963.