

# **MINERALOGIA DE UM ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO EUTRÓFICO E DE UM PLANOSSOLO HÁPLICO EUTRÓFICO SOLÓDICO NUMA TOPOSSEQUÊNCIA DE GNAISSE NO SERTÃO CENTRAL DO CEARÁ<sup>(1)</sup>**

**F. O. B. MOTA<sup>(2)</sup>, J. B. OLIVEIRA<sup>(3)</sup> & H. GEBHARDT<sup>(4)</sup>**

## **RESUMO**

**Propriedades morfológicas, físicas e químicas, mineralogia e transformações mineralógicas foram investigadas num Argissolo Vermelho - Amarelo eutrófico (bem drenado) e num Planossolo Háptico eutrófico solódico (imperfeitamente drenado), originados de gnaiss, numa topossequência no Sertão Central do Ceará. O trabalho teve o propósito de avaliar a influência da posição dos solos na paisagem (drenagem interna) e na diversificação de suas propriedades, bem como estudar a ação de processos superficiais de transporte e deposição na homogeneidade do material originário. A areia e o silte grosso foram analisados por microscopia de polarização e contraste de fase, e o silte fino e a argila, por difração de raios-X. A microscopia eletrônica de varredura foi também utilizada com o objetivo de fornecer informações complementares sobre as alterações mineralógicas ocorridas. As frações areia e silte grosso apresentaram no Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico (PVAe) grande teor de biotita e no Planossolo Háptico Eutrófico solódico (SXen), biotita e hornblenda com considerável redução dos horizontes inferiores em direção à superfície. Quartzo e plagioclásios foram também encontrados nessas frações em ambos os solos. Na fração argila do PVAe, dominam caulinita e vermiculita, ocorrendo também quartzo, e no silte fino, a caulinita é dominante com ocorrência de teores variáveis de biotita, plagioclásios e quartzo. No SXen, a fração mais fina é dominada por**

---

<sup>(1)</sup> Parte da Tese de Doutorado do primeiro autor, apresentada à Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" – ESALQ/USP. Recebido para publicação em setembro de 1997 e aprovado em abril de 2002.

<sup>(2)</sup> Professor do Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal do Ceará – UFCe. Campus do Pici - Bloco 807, CEP 60455-760 Fortaleza (CE). E-mail: ocian@ufc.br

<sup>(3)</sup> Professor do Departamento de Água e Solo, Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade de Campinas – UNICAMP. Cidade Universitária Zeferino Vaz - Barão Geraldo, CEP 13083-970 Campinas (SP). Bolsista do CNPq. E-mail: bertoldo@barao.iac.br

<sup>(4)</sup> Professor Universität Oldenburg, Fachbereich 7, Biologie, Postfach 2503, 26111 Oldenburg – Deutschland.

caulinita e montmorilonita, ocorrendo ainda, em alguns horizontes, quartzo e um mineral interstratificado regular de 2,4 nm (vermiculita + mica). No silte fino, além da ocorrência dos minerais primários supracitados, verificou-se a presença de caulinita, illita, vermiculita, montmorilonita e do mineral interstratificado, com teores variáveis de horizonte para horizonte. A drenagem interna de cada solo propiciou condições diferentes para as transformações dos minerais biotita, hornblenda e plagioclásios, com os dois primeiros, inicialmente, se alterando em argilomineral 2:1, e o segundo diretamente em caulinita. Em ambos os perfis, o teor de argila no B textural resultou, essencialmente, do intemperismo dos minerais primários da rocha subjacente.

**Termos de indexação:** mineralogia, transformações mineralógicas, drenagem interna, região semi-árida, Brasil.

**SUMMARY:** *MINERALOGY OF A RED YELLOW ARGISOL AND A SOLODIC PLANOSOL IN A GNEISS TOPOSEQUENCE OF THE CENTRAL SEMIARID REGION OF CEARÁ STATE, BRAZIL*

*Morphological, physical, chemical and mineralogical properties, as well as the weathering processes were studied in a Red Yellow Argisol (Aridic Kandiuustalf) (well drained) and a Solodic Planosol (Aridic Haplustalf) (partially drained), developed from gnaisses, in a topossequence of the central semiarid region of Ceará State, Brazil. The study had the purpose of investigating the influence of soil locations in the landscape (internal drainage) and on the diversification of soil properties, as well as to study processes of surface transport and deposition on the homogenous parent material. Coarse sand and silt were studied using polarized microscopy and phase contrast, while fine silt and clay were analyzed by X-ray diffraction. Additional information on mineralogical alterations were obtained using a scanning electron microscope. Sand and coarse silt presented large contents of biotite in the Red Yellow Argisol (PVAe) and biotite plus hornblende in the Solodic Planosol (SXen), with a considerable decrease from lower horizons towards the surface. In both soils, quartz and plagioclases were also found within these fractions. Dominant clay minerals of the PVAe were kaolinite and vermiculite in the clay fraction with occurrence of quartz, and kaolinite in the fine silt with variable contents of biotite, plagioclases and quartz. On the other hand, kaolinite and montmorillonite are dominant in the SXen, but quartz and a regular interstratified mineral (vermiculite + mica) were also observed in some horizons. In the fine silt, together with the above-mentioned primary minerals, kaolinite, illite, vermiculite, montmorillonite and the regular interstratified mineral were observed in variable contents for every horizon. The internal drainage of both soils promoted different conditions for the transformations of biotite, hornblende and plagioclases: the first two initially form 2:1 clay minerals, while plagioclases change directly to kaolinite. Clay contents in the argillic horizon in both profiles were essentially a result of weathered primary minerals from the subjacent rock.*

*Index terms: mineralogy, mineralogical transformations, internal drainage, semiarid region, Brazil.*

## INTRODUÇÃO

Na região do Sertão Central do estado do Ceará, os Argissolos Vermelho-Amarelos eutróficos (PVAe) e os Planossolos Háplicos eutróficos solódicos (SXen) são de grande importância agrônômica para a região, seja pela expressão geográfica, seja pelo uso agrícola a que são submetidos.

Nas descrições gerais desses solos, na região fisiográfica supracitada, eles estão associados com

rochas cristalinas referidas ao Pré-Cambriano, principalmente a gnaisses e migmatitos, sendo, na maioria dos casos, autóctones ou pseudo-autóctones (Brasil, 1973).

A mineralogia, as transformações mineralógicas e a pedogênese no clima tropical semi-árido cearense carecem de muitos esclarecimentos, necessitando de pesquisas que possam elucidar tais processos. Por outro lado, informações mineralógicas sobre os solos da região fisiográfica ora estudada são bastante

escassas, restringindo-se praticamente àquelas contidas no Levantamento Exploratório-Reconhecimento de Solos do Estado do Ceará (Brasil, 1973) e poucos outros em áreas mais específicas (Moreira, 1979).

Associações de PVAe e SXen no Sertão Central do Ceará são típicas da região, com os Argissolos Vermelho-Amarelos ocupando posições de topo e encosta em ambiente de boa drenagem, e os Planossolos Hápticos eutróficos solódicos as partes mais baixas do relevo, em ambiente de drenagem deficiente (Figura 1).

A influência da drenagem interna do solo na mineralogia, gênese e transformações mineralógicas de seus minerais secundários e, ou, primários é amplamente relatada na literatura. Os fatores ambientais, tais como: o clima e seus componentes, a drenagem e os fatores bióticos, todos eles intimamente relacionados, têm influência decisiva na formação dos argilominerais do solo. Assim, não é muito freqüente encontrar caulinita em solos de regiões áridas muito quentes. A gênese de argilominerais a partir de hornblendas depende das condições de drenagem e precipitação. A tendência é a formação de montmorilonita ou clorita nas primeiras etapas (Besoain, 1985).

Cass & Johnston (1985), trabalhando com solos australianos, em região semi-árida, estabeleceram uma correlação entre a mineralogia da fração argila e problemas intrínsecos dos solos, tais como: drenagem interna, densidade e dispersão das argilas. Os solos pobremente drenados tinham tendência de ser dominados por minerais do grupo das esmectitas, enquanto solos dispersivos e compactados tinham uma composição mineralógica mista composta de

esmectita, mica e caulinita. Por sua vez, os solos de drenagem livre apresentaram-se essencialmente cauliniticos.

Demattê et al. (1991) observaram a influência da drenagem interna do solo nos ganhos e perdas de elementos no processo de intemperismo; de maneira geral, as perdas foram mais intensas nos locais mais bem drenados do solo. Demattê & Marconi (1991) também verificaram a maior concentração de montmorilonita em solos de drenagem imperfeita, apesar de ser a região subtropical úmida. Em solos pobremente drenados, quando comparados a outros bem drenados, a lixiviação e a velocidade de meteorização foram reduzidas, explicando seus maiores teores de silte, bases trocáveis, argilominerais 2:1 e CTC (Demattê et al., 1991).

Luz et al. (1992), pesquisando uma toposeqüência de solos Brunos Não-Cálcicos e Planossolo Solódico no semi-árido pernambucano, observaram que as principais diferenças entre esses solos estavam subordinadas ao condicionamento de suas posições ao longo do relevo, que exerce influência na drenagem e nos processos superficiais de transporte e deposição. Transformações de micas (biotitas) em vermiculitas trioctaédricas e estas em esmectitas são processos atuantes nesses solos. Verificaram, ainda, uma diminuição de esmectita e um aumento de caulinita na direção dos horizontes superficiais.

Assim sendo, o objetivo deste trabalho foi pesquisar a influência das condições de drenagem interna do solo na mineralogia de um Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico e de um Planossolo Háptico eutrófico solódico, localizados em uma toposeqüência e originados de gnaiss.

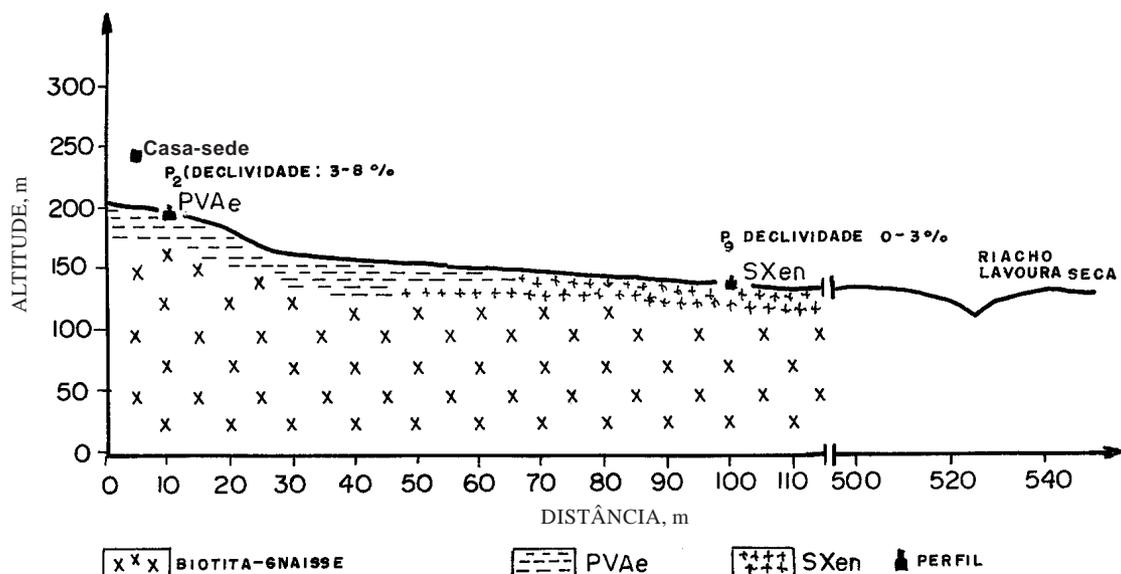


Figura 1. Perfil geológico e topográfico com a localização dos pedons amostrados: perfil 2 (PVAe) e perfil 9 (SXen).

## MATERIAL E MÉTODOS

A topossequência em estudo está localizada na Fazenda Lavoura Seca, pertencente à Universidade Federal do Ceará, no município de Quixadá, na zona fisiográfica do Sertão Central (Brasil, 1973), onde foram descritos e amostrados dois perfis de solos de acordo com Lemos & Santos (1984), utilizando-se a nomenclatura de horizontes atualmente em vigor (EMBRAPA, 1988). A classificação dos solos foi feita de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 1999) e também conforme SOIL SURVEY STAFF (1992). O clima da área é tipicamente semi-árido (tropical quente de seca acentuada), com temperatura do mês mais frio superior a 18 °C e 7 a 8 meses secos (Bsw'h, na classificação de Köppen, e 4aTh, na classificação de Gaussen). A precipitação média anual está em torno de 800 mm e a vegetação regional é do tipo caatinga hiperxerófila (Brasil, 1973). Litologicamente, 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, seguindo o método usado pela EMBRAPA (1979). Na análise granulométrica, a fração terra fina (< 2 mm) foi dispersada com NaOH 1 mol L<sup>-1</sup>. A areia foi separada por peneiramento, enquanto o fracionamento do silte e a separação deste da argila foram feitos 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 Gebhardt et al. (1967) e Troger (1969). A quantificação das fases minerais, neste caso, foi efetuada por contagem de grãos, com a estimativa de cada espécie mineral feita em % de peso da terra fina. Para identificar, de forma precisa, as espécies minerais, foram utilizados ainda difratogramas do pó das partículas; para os feldspatos, usou-se também a técnica de coloração com hexacobaltonitrato 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 duas horas. 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 obter 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 seguindo o método de Johns et al. (1954). A identificação qualitativa foi feita segundo Brindley (1955), Jackson (1969) e Brown (1961).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Atributos morfológicos físicos e químicos

A profundidade do "solum" varia de 205 cm, no PVAe, a 79 cm, no SXen, embora o PVAe apresente maior erosão, já que tem o horizonte superficial parcialmente truncado. A diferenciação de cores entre os dois perfis resulta de suas posições na paisagem, condicionadas por suas drenagens internas. A cor avermelhada no horizonte Bt do Argissolo, de boa drenagem, é substituída por uma coloração variegada no Planossolo, que tem drenagem imperfeita e localiza-se na zona de maior acumulação de água da topossequência. A estrutura em blocos é relativamente bem desenvolvida ao longo de toda a profundidade no PVAe e nos horizontes 2Bt<sub>n</sub> e 2BC<sub>n</sub> do SXen. A presença de superfícies brilhantes e cerosas (cerosidade), formando revestimentos nas unidades estruturais do Bt, mostra-se evidente no PVAe, porém não foi detectada no mesmo horizonte do SXen (Quadro 1).

O Argissolo de textura média não mostra acentuado aumento de argila em profundidade (relação textural = 1,5), mas a erosão laminar severa no horizonte superficial e a presença de cerosidade detectada no campo permitem qualificar o horizonte B desse solo como B textural. O Planossolo com textura arenosa/argilosa tem uma relação textural elevada, da ordem de 6,5, concordando com os resultados obtidos em outros perfis dessa classe (Camargo et al., 1987 e Oliveira et al., 1992). A relação silte/argila maior em quase todos os horizontes do SXen em relação ao PVAe traduz, de certa forma, maior intemperização do segundo solo quando comparado ao primeiro (Quadro 2).

O complexo sortivo, os valores de Ki e os principais atributos químicos também diferem nos dois perfis, tendo forte influência da posição no relevo. O Argissolo apresenta argila de atividade baixa, enquanto o Planossolo tem argila de atividade alta e saturação por bases mais elevada, embora ambos os solos mostrem caráter eutrófico, com as bases trocáveis sendo supridas pelas grandes quantidades

**Quadro 1. Atributos morfológicos dos perfis de Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico (PVAe) e de Planossolo Háptico eutrófico solódico (SXen)**

Solo	Horizonte	Profundidade	Cor <sup>(1)</sup>	Textura <sup>(2)</sup>	Estrutura <sup>(3)</sup>	Seco	Consistência úmido	Molhado <sup>(4)</sup>	Cerosidade <sup>(5)</sup>
		cm							
PVAe	A	0-12	5YR4/3	a. f	b. s	-	friável	np e np	-
	AB	12-43	5YR4/4	f. a	b. s	-	friável	lp e lp	-
	BA	43-74	5YR4/4	f. a	b. s	-	friável	lp e lp	-
	Bt1	74-119	5YR4/6	f. a. a	b. s. a	m. duro	friável	p e p	-
	2Bt2	119-185	2.5YR4/8	a. a	b. s. a	m. duro	firme	p e p	m. c
	2BC	185-205	2.5YR4/8	f. a. a	b. s. a	m. duro	firme	p e p	m. c
SXen	Ap	0-15	10YR5/3	a	g. i	-	Solto	np e np	-
	E	15-45	10YR4/4	a. f	g. i	-	Solto	np e np	-
	2Btn	45-63	Variegada	a. a	b. s	ext. duro	m. firme	mp e mp	-
	2BCn	63-79	Variegada	a. f	b. s. a	duro	firme	p e p	-

<sup>(1)</sup> Variegada composta de 10YR5/4, 7.5YR5/8 e 2.5YR4/8. <sup>(2)</sup> a. f = areia franca, f. a = franco-arenoso, f. a. a = franco-argilo-arenoso, a. a = argila arenosa, a = areia. <sup>(3)</sup> b. s = blocos subangulares, b. s. a = blocos subangulares e angulares, g. i = grãos individuais. <sup>(4)</sup> np e np = não-plástico e não-pegajoso, lp e lp = ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso, p e p = plástico e pegajoso, mp e mp = muito plástico e muito pegajoso. <sup>(5)</sup> m. c = moderada e comum.

**Quadro 2. Atributos físicos dos perfis de Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico (PVAe) e de Planossolo Háptico eutrófico solódico (SXen)**

Solo	Horizonte	Profundidade	Fração granulométrica (µm)						GF <sup>(1)</sup>	Relação silte/argila
			Areia grossa e média (> 200)	Areia fina (200-53)	Silte grosso (53-20)	Silte fino (20-2)	Argila (< 2)	Argila natural		
		cm	g kg <sup>-1</sup>						%	
PVAe	AB	12-43	450	290	50	30	190	100	47	0,4
	BA	43-74	520	200	50	30	190	90	53	0,4
	Bt1	74-119	470	230	50	30	230	110	52	0,4
	2Bt2	119-185	310	210	80	60	350	200	43	0,4
	2BC	185-205	410	200	80	60	250	80	68	0,6
SXen	Ap	0-15	550	310	90	30	20	10	52	5,6
	E	15-45	530	280	80	30	90	50	43	1,3
	2Btn	45-63	360	160	60	50	360	300	17	0,3
	2BCn	63-79	710	110	20	40	120	90	25	0,5

<sup>(1)</sup> Grau de floculação.

de minerais primários intemperizáveis nos dois pedons, mormente no Planossolo. Os cátions Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup> são os predominantes no complexo de troca dos dois solos, porém o teor relativamente alto de Na<sup>+</sup> nos horizontes 2Btn e 2BCn do Planossolo, variando de 14,1 a 12,5 %, conferem ao mesmo o caráter solódico. O pH varia de 5,2 a 6,0, no PVAe, de 5,3 a 7,1, no SXen, refletindo, nesse último, os teores mais elevados de sódio trocável, embora a reação seja ácida nos horizontes superficiais principalmente no Planossolo, condição provavelmente favorecida pela textura superficial mais arenosa, acentuando os

processos de lixiviação. O Ki é maior no SXen do que no PVAe, estando de acordo com a mineralogia das frações mais finas, condicionada pela drenagem interna, como será discutido posteriormente (Quadro 3).

### Mineralogia e transformações mineralógicas

A fração areia do Argissolo apresenta maior quantidade de biotita nos horizontes mais inferiores, guardando uma relação mais estreita com a mineralogia da rocha matriz. Por sua vez, o quartzo domina absolutamente nos horizontes mais

**Quadro 3. Atributos químicos dos perfis de Argissolo Vermelho-Amarelo (PVAe) e de Planossolo Háplico eutrófico solódico (SXen)**

Solo	Horizonte	pH (H <sub>2</sub> O)	Cátion trocável					V	Na <sup>+</sup>	Ki
			Ca	Mg	K	Na	CTC pH 7			
			mmolc kg <sup>-1</sup>					%		
PVAe	AB	5,9	17	6	3	2	32	88	6,3	2,37
	BA	5,6	20	6	4	2	36	89	5,6	2,26
	Bt1	5,2	20	7	4	2	39	85	5,1	2,30
	2Bt2	5,8	23	9	3	2	43	86	4,7	2,29
	2BC	6,0	18	11	2	2	38	87	5,3	4,20
SXen	Ap	5,3	8	4	2	2	23	70	8,7	2,50
	E	5,7	20	11	2	2	42	83	4,8	3,13
	2Btn	6,7	53	42	1	17	120	94	14,1	3,20
	2BCn	7,1	23	117	1	21	168	96	12,5	3,42

superficiais, seguido de plagioclásios e depois biotita, indicando horizontes mais alterados (do AB ao Bt1). Evidências de campo (linha de pedras) e interpretação das análises mineralógicas (teores mais elevados de quartzo na fração areia – Quadro 4) revelaram a influência de material pedimentar retrabalhado até o horizonte Bt1. Na fração silte, a composição básica predominante também é biotita e quartzo, seguindo a mesma tendência observada na areia. No silte fino, já existe a ocorrência de caulinita. Minerais opacos e incrustações de óxidos de ferro também ocorrem em quantidades diminutas na fração areia e silte grosso.

Os resultados encontrados para o PVAe estão de acordo com os descritos em Brasil (1973), discordando apenas na proporção de biotita que é maior no Argissolo estudado. Da mesma forma, Ribeiro et al. (1991) e Souza et al. (1993) encontraram quartzo como o mineral predominante em perfis de PVAe no semi-árido nordestino brasileiro. Isso reforça a afirmativa de Allen & Fanning (1983) de que a mineralogia das frações mais grosseiras em Alfissolos e Aridissolos, principalmente nos horizontes mais inferiores, normalmente está associada com a natureza mineralógica dos diferentes materiais de origem desses solos.

O Planossolo tem nas frações mais grosseiras dos horizontes 2BCn e 2Cr (Quadro 5) dominância de biotita e hornblenda, seguido de quartzo e plagioclásios. Os dois primeiros minerais, considerados mais intemperizáveis, diminuem os seus teores do horizonte 2Cr para o 2Btn, enquanto o quartzo aumenta em direção aos horizontes mais superficiais, onde é dominante, com os maiores teores nos horizontes Ap e E, de natureza pedimentar. Por outro lado, a presença de uma linha de pedras constituída de cascalhos e, ou, calhaus de quartzo, separando os horizontes A e E dos demais, associada com a presença de hornblenda (mineral

intemperizável) teores mais elevados de quartzo e maior proporção de plagioclásios sódicos (albita) nos horizontes A e E em relação ao 2Cr comprovam a natureza alóctone dos horizontes superficiais. Também a hipótese de destruição de argila pela ferrólise nos horizontes superficiais pode ajudar a explicar, conjuntamente com os processos deposicionais, o alto contraste textural no Planossolo. Segundo Brinkman (1970), a ocorrência de horizontes impermeáveis favorece a alternância de processos de oxirredução, que podem provocar a destruição dos argilominerais.

O conjunto de minerais encontrados na fração argila dos dois perfis (Quadros 4 e 5 e Figuras 2 e 3) difere qualitativamente em consequência da posição no relevo. No PVAe, que ocupa posições de topo e encosta e tem melhor drenagem, há uma constância em todo o perfil de caulinita, vermiculita e quartzo, cujos teores decrescem na ordem citada. No SXen, com drenagem imperfeita, além desses minerais, ocorrem também montmorilonita e um mineral interestratificado regular de vermiculita + mica, reconhecido pelos picos a 2,4 e 1,2 nm. No PVAe, os teores de vermiculita decrescem da base para o topo do perfil, sendo sua gênese resultante de transformações de biotitas trioctaédricas, mais abundantes nos horizontes inferiores. A caulinita, por sua vez, aumenta nesse mesmo sentido, sendo sua gênese favorecida pelas condições de maior fluxo lixiviante e intemperismo nos horizontes mais superficiais. No SXen, os teores de argila aumentam no sentido ascendente, ou seja, do 2Cr para o 2Btn. Os horizontes Ap e E não guardam relação com a rocha subjacente, daí as suas discrepâncias mineralógicas com os demais horizontes do perfil. A montmorilonita e o mineral interestratificado também crescem seus valores do 2Cr para o 2Btn, onde o teor de montmorilonita é máximo. Nesse

**Quadro 4. Componentes mineralógicos nas frações granulométricas da terra fina no perfil de Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico (PVe)**

Horizonte	Profundidade	Mineral	Fração granulométrica (µm)					Total
			> 200	200-53	53-20	20-2	<2	
	cm		g kg <sup>-1</sup>					
AB	12-43	Quartzo	436	231	31	15	12	725
		Plagioclásio <sup>(1)</sup>	7	39	9	-	-	55
		Biotita <sup>(2)</sup>	-	7	6	-	-	13
		Hornblenda	-	5	-	-	-	5
		Opacos <sup>(3)</sup>	-	7	-	-	-	7
		Vermiculita	-	-	-	2	50	52
		Caulinita	-	-	-	17	128	145
		Total	443	289	46	34	190	1.002
BA	43-74	Quartzo	505	163	24	14	16	722
		Plagioclásio	15	30	10	6	-	61
		Biotita	-	-	17	-	-	17
		Hornblenda	-	-	-	-	-	-
		Opacos	11	5	2	-	-	18
		Vermiculita	-	-	-	-	62	62
		Caulinita	-	-	-	9	112	121
		Total	531	198	53	29	190	1.001
Bt1	74-119	Quartzo	399	194	21	11	21	646
		Plagioclásio	24	23	13	7	-	67
		Biotita	13	10	17	-	-	40
		Hornblenda	3	-	-	-	-	3
		Opacos	3	-	2	-	-	5
		Vermiculita	-	-	-	-	65	65
		Caulinita	-	-	-	12	144	156
		Total	442	227	53	30	230	982 <sup>(4)</sup>
2Bt2	119-185	Quartzo	180	119	14	9	15	337
		Plagioclásio	13	18	5	6	-	42
		Biotita	71	73	62	-	-	206
		Hornblenda	-	-	-	-	-	-
		Opacos	-	-	-	-	-	-
		Vermiculita	-	-	-	-	102	102
		Caulinita	-	-	-	42	233	275
		Total	264	210	81	57	350	962
2BC	185-205+	Quartzo	170	88	3	8	14	283
		Plagioclásio	12	12	-	5	-	29
		Biotita	210	100	76	-	-	386
		Hornblenda	-	-	-	-	-	-
		Opacos	10	-	-	-	-	10
		Vermiculita	-	-	-	7	152	159
		Caulinita	-	-	-	41	84	125
		Total	402	200	79	61	250	992

<sup>(1)</sup> Predominantemente albita. <sup>(2)</sup> Preponderantemente flogopita-biotita trioctaédrica. <sup>(3)</sup> Óxidos de ferro; <sup>(4)</sup> A diferença para 1.000 está associada a minerais pesados e indeterminados.

último horizonte, porém, não foi mais detectado o mineral interestratificado que possivelmente se alterou para montmorilonita e, ou, caulinita.

Conforme ficou evidenciado, foram encontrados nos dois perfis, minerais de fácil intemperização nas frações areia e silte, por serem os 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, a maior soma de bases e maior atividade da argila do SXen estariam relacionadas com a presença de montmorilonita, enquanto a maior pobreza em bases e a menor CTC do PVAe estariam relacionadas com a maior presença de caulinita e com a intercalação da vermiculita com polímeros de hidróxi-Al nas entrecamadas, o que reduz consideravelmente a CTC efetiva deste argilomineral (Douglas, 1977).

**Quadro 5. Componentes mineralógicos nas frações granulométricas da terra fina no perfil de Planossolo Háptico eutrófico solódico (SXen)**

Horizonte	Profundidade	Mineral	Fração granulométrica (µm)					Total
			> 200	200-53	53-20	20-2	<2	
	cm		g kg <sup>-1</sup>					
Ap	0-15	Quartzo	480	254	40	7	1	782
		Plagioclásio <sup>(1)</sup>	28	34	25	-	-	87
		Biotita <sup>(2)</sup>	-	13	17	-	-	30
		Hornblenda	28	5	-	-	-	33
		Opacos <sup>(3)</sup>	4	4	2	-	-	10
		Ilita	-	-	-	1	-	1
		Caulinita	-	-	-	12	13	25
		Vermiculita	-	-	-	-	2	2
		Min. Int 2,4 nm <sup>(4)</sup>	-	-	-	-	6	6
	Total	540	310	84	20	22	976 <sup>(5)</sup>	
E	15-45	Quartzo	440	181	51	13	9	694
		Plagioclásio	63	30	24	-	-	117
		Biotita	-	54	5	-	-	59
		Hornblenda	27	6	1	-	-	34
		Opacos	-	9	2	-	-	11
		Ilita	-	-	-	3	-	3
		Caulinita	-	-	-	8	70	78
		Min. Int 2,4 nm	-	-	-	8	9	17
			Total	530	280	83	32	88
2Btn	45-63	Quartzo	285	117	30	17	36	485
		Plagioclásio	36	7	19	-	-	62
		Biotita	3	19	12	-	-	34
		Hornblenda	36	17	-	-	-	53
		Opacos	-	2	-	-	-	2
		Caulinita	-	-	-	14	180	194
		Montmorilonita	-	-	-	17	144	161
			Total	360	162	61	48	360
2BCn	63-79	Quartzo	9	14	1	2	-	26
		Plagioclásio	-	1	-	-	-	1
		Biotita	613	65	19	-	-	697
		Hornblenda	88	29	2	8	-	127
		Opacos	-	3	-	-	-	3
		Ilita	-	-	-	2	-	2
		Caulinita	-	-	-	8	66	74
		Montmorilonita	-	-	-	10	30	40
		Min. Int 2,4 nm	-	-	-	10	24	34
	Total	710	112	22	40	120	1004	
2Cr	79-170+	Quartzo	19	-	-	4	-	23
		Plagioclásio	7	-	-	-	-	7
		Biotita	473	124	23	-	-	620
		Hornblenda	280	15	2	4	-	301
		Opacos	-	2	-	-	-	2
		Ilita	-	-	-	-	3	3
		Caulinita	-	-	-	1	13	14
		Montmorilonita	-	-	-	-	18	18
		Min. Int. 2,4 nm	-	-	-	4	4	8
	Total	779	141	25	13	38	996	

<sup>(1)</sup> Predominantemente albita. <sup>(2)</sup> Preponderantemente flogopita-biotita trioctaédrica. <sup>(3)</sup> Óxido de ferro. <sup>(4)</sup> Interstratificação regular de vermiculita + mica. <sup>(5)</sup> A diferença para 1.000 está associada a minerais pesados e indeterminados.

Os dois solos (PVAe e SXen) localizam-se na mesma zona fisiográfica, estando sujeitos às mesmas condições de clima (regime hídrico ústico transicional para arídico), litologia e vegetação regional (caatinga hiperxerófila). A maior diferença relaciona-se com a drenagem interna. O SXen, graças à sua posição

no relevo, sofre menor lixiviação e apresenta enriquecimento de cátions e ânions provenientes das partes mais altas da topossequência. Tudo isso contribui para o aumento na soma de bases, % de sódio trocável e Ki, cujos valores são mais altos que no PVAe.

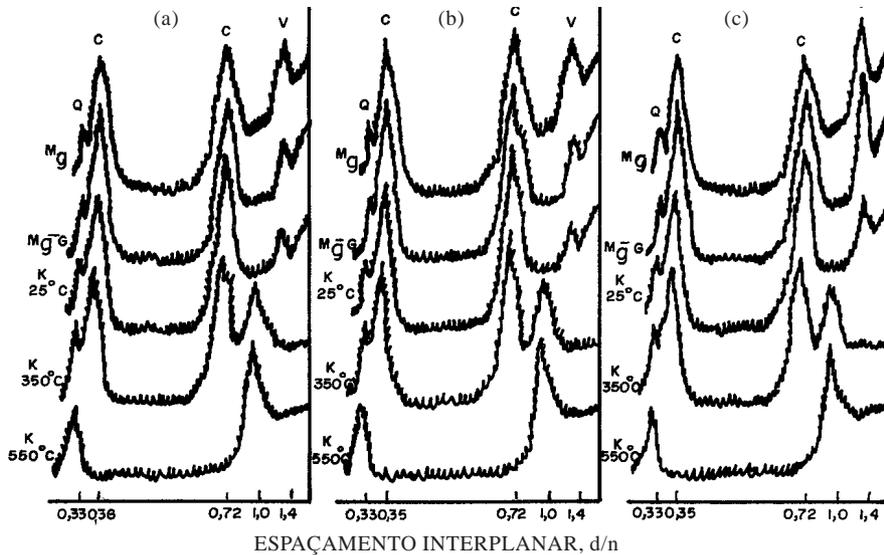


Figura 2. Difratoigramas da fração argila do perfil 2 (PVAe). (a) horizonte AB; (b) horizonte 2Bt2 e (c) horizonte 2BC. Q: quartzo; C: caulinita; V: vermiculita. Valores de d/n em nanômetros.

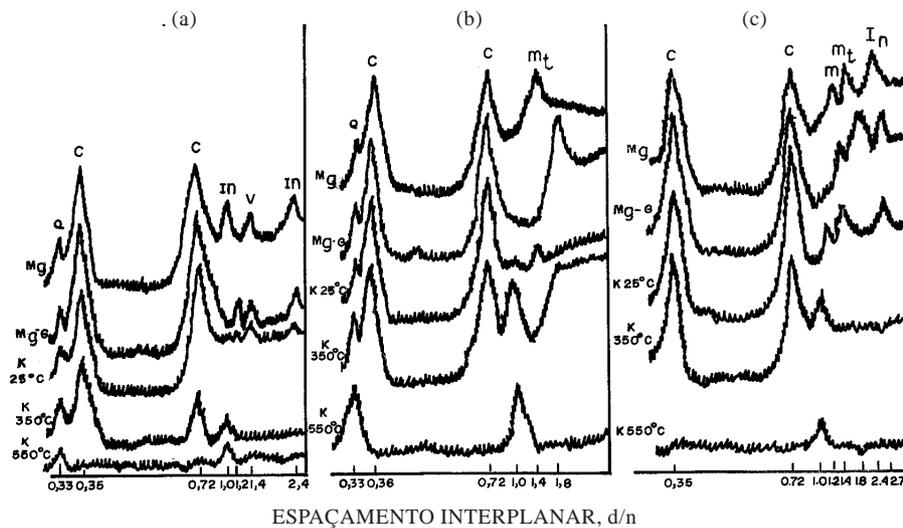


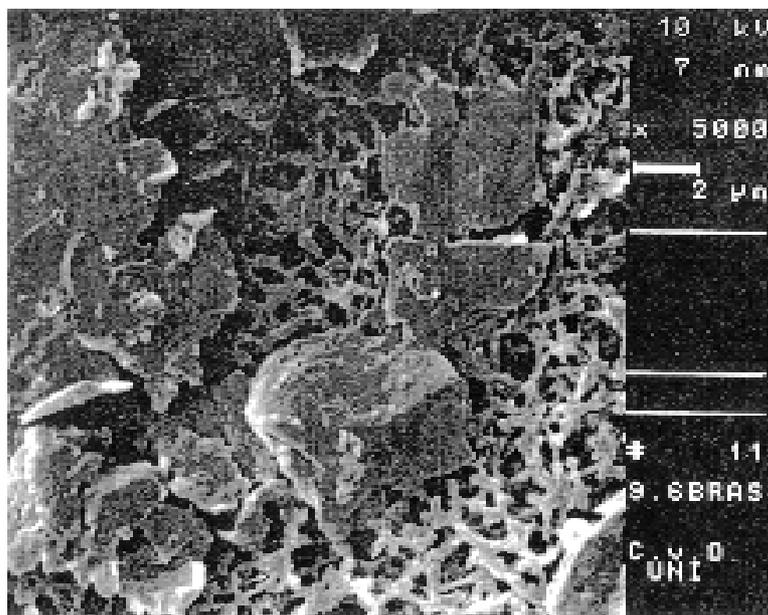
Figura 3. Difratoigramas da fração argila do perfil 9 (SXen). (a) horizonte Ap; (b) horizonte 2Bt2 e (c) horizonte 2Cr2. Q: quartzo; C: caulinita; V: vermiculita; In: interestratificado; Mt: montmorilonita. Valores de d/n em nanômetros.

A gênese dos argilominerais foi, portanto, afetada marcadamente pelas condições internas de drenagem dos solos. A formação e a preservação de montmorilonita no Planossolo estão diretamente associadas à sua condição de drenagem impedida (Borchardt, 1977), fato esse que contribui para maior atividade de silício e bases no sistema e maior atividade da argila nesse solo. A hornblenda pode também se alterar diretamente para montmorilonita em condições de menor fluxo lixiviante (Besoin, 1985). A ocorrência do mineral interestratificado pode estar associada com alterações incipientes da biotita.

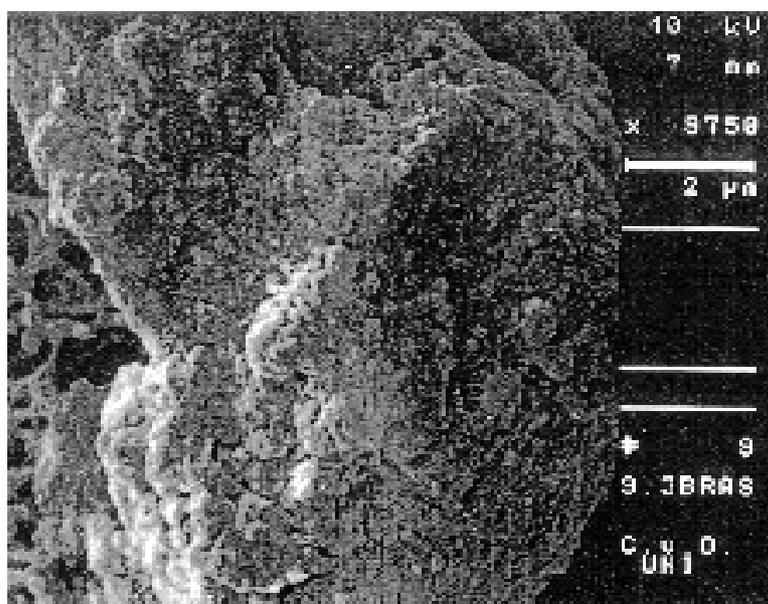
No Argissolo, a presença de vermiculita resulta da transformação da biotita encontrada em grande quantidade no horizonte mais inferior, concordando com a afirmativa de Douglas (1977) de que este mineral forma-se quase sempre a partir da alteração de mica. O aumento de caulinita da base para o topo nos dois perfis pode indicar a intemperização de vermiculita ou montmorilonita formando caulinita, visto que o intemperismo aumenta de intensidade em direção à superfície do solo. Uma eluviação preferencial de montmorilonita ou vermiculita em relação à caulinita também não pode ser descartada (Luz et al., 1992).

As figuras 4, 5 e 6 apresentam processos de alteração de minerais no SXen obtidos por microscopia eletrônica de varredura. Esta ferramenta tem sido utilizada com o propósito de fornecer informações complementares ou elucidar dúvidas que não podem ser facilmente obtidas com a microscopia ótica convencional e com a difração de raios-X (Eswaran, 1979; Berner & Schott, 1982; Eswaran & Shoba, 1983; Keller & Balasubramaniam, 1989; Miklos et al., 1996). A figura 4 mostra fotomicrografias da fração silte fino no horizonte 2Cr, onde se observa claramente

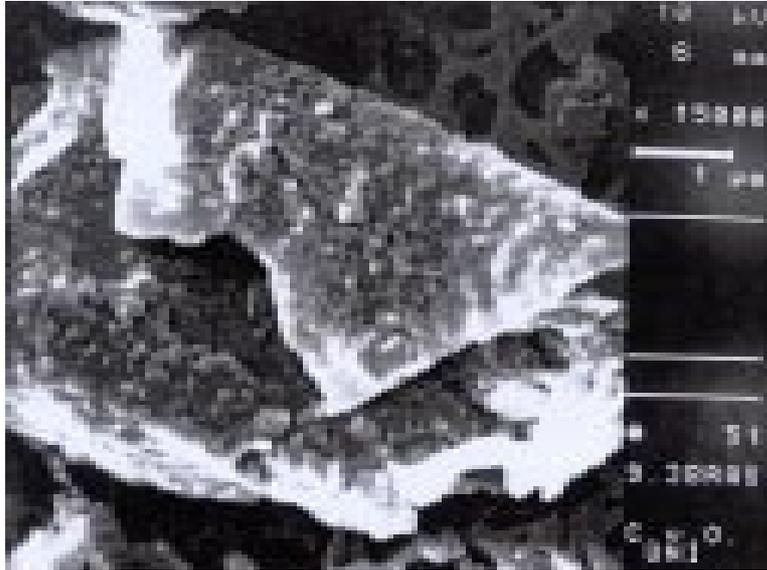
vermiculita originada pela intemperização da biotita, bem como a estrutura em camadas formada no novo mineral. A figura 5 exhibe pseudomorfozes de vermiculita alterada da biotita para caulinita no horizonte 2Btn. Esses agregados de cristais de caulinita, no tamanho da argila, representam, assim, uma boa contribuição para a formação da argila "in situ" nesse horizonte. A figura 6 mostra pseudomorfozes de montmorilonita para caulinita também no horizonte 2Btn, as quais contêm, igualmente, cristais de caulinita no tamanho da argila fina.



**Figura 4. Fotografia obtida por microscopia eletrônica de varredura, mostrando vermiculita intemperizada da biotita, no horizonte 2Cr do perfil 9 (SXen).**



**Figura 5. Fotografia obtida por microscopia eletrônica de varredura, mostrando pseudomorfozes de vermiculita intemperizada da biotita, para caulinita, no horizonte 2Btn do perfil 9 (SXen).**



**Figura 6. Fotografia obtida por microscopia eletrônica de varredura, mostrando pseudomorfozes de montmorilonita, para caulinita, no horizonte 2Btn do perfil 9 (SXen).**

### CONCLUSÕES

1. A mineralogia da fração argila é constituída predominantemente de caulinita e vermiculita no Argissolo e de caulinita e montmorilonita no Planossolo, ocorrendo também nesse último a presença de um mineral interestratificado regular de mica + vermiculita. Tais diferenças de mineralogia resultam essencialmente da diferença de drenagem interna entre os dois solos, resultante de suas posições na toposequência.

2. A presença dos minerais alteráveis (biotita, hornblenda e plagioclásios) nas frações mais grosseiras dos dois perfis indica pequeno grau de intemperismo e, ou, maturidade dos solos.

3. Nos dois perfis estudados, o maior teor de argila do horizonte B textural resulta, sugestivamente, da alteração dos minerais primários decomponíveis, presentes na rocha subjacente.

4. Em ambos os perfis, a presença de linha de pedras, associada com a geomorfologia da região e com as diferenças mineralógicas, observadas entre os horizontes mais superficiais e os mais inferiores, sugere uma duplicidade de materiais originários na gênese desses solos.

5. Os teores elevados de sódio observados no Planossolo são resultantes da decomposição da albita e de outros plagioclásios ricos em sódio, associado com o clima semi-árido e a drenagem deficiente do solo.

6. São sugeridas as seguintes seqüências de alteração: Argissolo – Biotita  $\Rightarrow$  vermiculita  $\Rightarrow$  caulinita e plagioclásios  $\Rightarrow$  caulinita Planossolo – Biotita  $\Rightarrow$  ilita  $\Rightarrow$  interestratificado  $\Rightarrow$  vermiculita  $\Rightarrow$  montmorilonita  $\Rightarrow$  caulinita e hornblenda  $\Rightarrow$  montmorilonita  $\Rightarrow$  caulinita.

7. Nos dois perfis a, caulinita é o mineral mais estável das seqüências de alteração.

### LITERATURA CITADA

- ALLEN, B.L. & FANNING, D.S. Composition and soil genesis. In: WILDUNG, L.P.; SMECK, N.E. & HALL, G.F., eds. Pedogenesis and Soil Taxonomy. I. Concepts and interactions. Amsterdam, Elsevier, 1983. p.141-192.
- BERNER, R.A. & SCHOTT, J. Mechanism of pyroxene and amphibole weathering. II. Observations of soil grains. Am. J. Soil Sci., 282:1214-1231, 1982.
- BESOAIN, E. Mineralogia de arcillas de suelos. San José, Costa Rica, IICA, 1985. 1216p.
- BORCHARDT, G.A. Montmorillonite and others smectite minerals. In: DIXON, J.B. & WEED, S.B., eds. Minerals in soil environments. Madison, Soil Science Society of America, 1977, p.293-330.
- 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. v.1-2, 502p. (Boletim Técnico, 28)
- BRINDLEY, G.W. Identification of clay minerals by X-ray diffraction analysis. In: National Conference on Clays and Clay Technology, 1th. Proceedings. San Francisco, Department of National Resources, 1955. p.119-129.
- BRINKMAN, R. Ferrolysis, a hydromorphic soil forming process. Geoderma, 3:199-206, 1970.
- BROWN, G. The X-ray identification and crystal structures of clay minerals. London, Mineralogical Society, 1961. 544p.
- CAMARGO, M.N.; KLAMT, E. & KAUFFMAN, J.H. Sistema brasileiro de classificação de solos. B. Inf. SBCS, 12:11-33, 1987.

- CASS, A. & JOHNSTON, M.A. Physical and clay mineralogical properties of some Natal and Eastern Transvaal soils. *South Afr. J. Plant. Soil*, 2:79-84, 1985.
- DEMATTE, J.L.I. & MARCONI, A. A drenagem na mineralogia de solos desenvolvidos de diabásio em Piracicaba, SP. *R. Bras. Ci. Solo*, 15:1-8, 1991.
- DEMATTE, J.L.I.; MARCONI, A.; SPAROVEK, G. & VIDAL TORRADO, P. Estimativa da evolução do intemperismo mediante ganhos e perdas de íons numa seqüência de solos desenvolvidos de diabásio e influenciados pela drenagem em Piracicaba, SP. *R. Bras. Ci. Solo*, 15:69-73, 1991.
- DOUGLAS, L.A. Vermiculites. In: DIXON, J.B. & WEED, S.B., eds. *Minerals in soil environments*. Wisconsin, Soil Science Society of America, 1977. p.259-288.
- ESWARAN, H. & SHOBA, S.A. Scanning microscopy in soil research. In: BULLOCK, P. & MURPHY, C.P., eds. *Soil micromorphology*. Melbourne, Academy Publishing, 1983. v.4, 356p.
- ESWARAN, H. The alteration of plagioclases and augites under differing pedo-environmental conditions. *J. Soil Sci.*, 30:547-555, 1979.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPEUÁRIA - EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Manual de métodos de análises de solos. Rio de Janeiro, 1979. não paginado.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPEUÁRIA - 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.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPEUÁRIA - EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. Rio de Janeiro, 1999. 412p.
- 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.
- JACKSON, M.L. *Soil chemical analysis: Advanced course*. 2.ed. Madison, University of Wisconsin, 1969. 895p.
- JOHNS, W.D.; GRIM, R.E. & BRADLEY, W.F. Quantitative estimation of clay minerals by diffraction methods. *J. Sed. Petr.* 24:242-251, 1954.
- KELLER, W.D. & BALASUBRAMANIAM, K.S. Scanning electron micrographs of clay minerals formed by weathering and other genetic processes. In: *WEATHERING its products and deposits, processes*. Athens, Theophrastus Publications, 1989. v.1, 462p.
- LEMOS, R.C. & SANTOS, R.D. Manual de descrição e coleta do solo no campo. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1984. 46p.
- LUZ, L.R.Q.P.; SANTOS, M.C.D. & MERMUT, A.R. Pedogênese em uma toposseqüência do semi-árido de Pernambuco. *R. Bras. Ci. Solo*, 16:95-102, 1992.
- MIKLOS, A.A.W.; TELLES, E.C.C. & MARIANO, B.H.B. Contribuições da microscopia eletrônica de varredura no estudo da gênese de argilo-minerais. In: *CONGRESSO LATINO AMERICANO DE CIÊNCIA DO SOLO*, 13., Águas de Lindóia, 1996. Solo-suelo 96. Trabalhos. Piracicaba, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1996. CD ROM.
- 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)
- OLIVEIRA, J.B.; JACOMINE, P.K.T. & CAMARGO, M.N. Classes gerais de solos do Brasil: guia auxiliar para seu reconhecimento. Jaboticabal, FUNEP, 1992. 201p.
- RIBEIRO, M.R.; SANTOS, M.C.D.; & FERREIRA, M.G.V.X. Caracterização e gênese de Podzólicos Vermelho-Amarelos do sertão de Pernambuco. *R. Bras. Ci. Solo*, 15:75-81, 1991.
- SOIL SURVEY STAFF. *Keys to soil taxonomy*, 5.ed. Washington, SSS Technical Monograph USDA-SCS, 1992. 541p.
- SOUZA, E.A.; RIBEIRO, M.R. & FERREIRA, M.G.V.X. Caracterização e gênese de solos do baixio de Irecê-Bahia. *R. Bras. Ci. Solo*, 17:89-97, 1993.
- SOUZA, M.J.N. Geomorfologia do vale do Choró-Ceará. São Paulo, Instituto de Geografia-USP, 1975. 212p. (Tese de Doutorado)
- TROGER, W.E. *Optische bestimmung der gesteinsbildenden minerale, teile 1 und 2*. Stuttgart, Schweizerbartsche verlagsbuchhandlung, 1969. 188p.