

SEÇÃO V - GÊNESE, MORFOLOGIA E CLASSIFICAÇÃO DO SOLO

GÊNESE DO CONTRASTE TEXTURAL E DA DEGRADAÇÃO DO HORIZONTE B DE UM PODZÓLICO VERMELHO-AMARELO DA PLANÍCIE COSTEIRA DO RIO GRANDE DO SUL⁽¹⁾

J. A. ALMEIDA⁽²⁾, E. KLAMT⁽³⁾ & N. KÄMPF⁽³⁾

RESUMO

A origem do contraste textural e da degradação do topo do horizonte B de um podzólico vermelho-amarelo abrupto foi investigada em 1990 e 1991, numa catena no município de Viamão, na Planície Costeira do Rio Grande do Sul, por meio de estudos de suas características morfológicas, propriedades físicas, químicas e mineralógicas. A hipótese deposicional para a gênese do contraste textural foi descartada, tendo em vista a grande similaridade dos solos nos diferentes segmentos da paisagem e da constância das razões areia fina e média/areia total nos perfis de solo da catena. A influência de processos de lessivagem foi confirmada pelo aumento da razão argila fina/argila total em profundidade e expressiva cerosidade nos horizontes iluviais. As perdas de argila e Fe-DCB nos horizontes eluviais, no entanto, foram muito superiores aos ganhos nos iluviais. Alta anisotropia textural, de porosidade e de densidade, foi constatada entre os horizontes E e EB, que favorecem o fluxo sub- superficial lateral e o excesso sazonal de água nos horizontes transicionais EB e B/E. O monitoramento da umidade e dos teores de Fe^{2+} revelou a ocorrência de ciclos alternados de redução e oxidação nesses horizontes; avaliações químicas e mineralógicas indicaram a dissolução seletiva da hematita no topo do horizonte B, e remoção do ferro do sistema. Avaliações termodinâmicas mostraram que as vermiculitas com hidróxi-Al nas entrecamadas (VHE) são mais estáveis que as caulinitas do solo; a quantidade e o grau de intercalação das VHE são maiores no horizonte EB. Os resultados indicam a existência de um processo contemporâneo de destruição da caulinita pela ferrólise nos horizontes EB e B/E, responsável pela degradação química do topo do horizonte B.

Termos de indexação: contraste textural, lessivagem, fluxos laterais, ferrólise.

SUMMARY: *ORIGIN OF TEXTURAL CONTRAST AND DEGRADATION OF B HORIZON IN A RED YELLOW PODZOLIC SOIL IN THE COASTAL PLAIN OF RIO GRANDE DO SUL STATE, BRAZIL*

The origin of soil textural contrast and B horizon degradation of a red yellow podzolic soil was evaluated in 1990 and 1991 in a catena near the city of Porto Alegre, located in the Coastal Plain of Rio Grande do Sul State, through the study of morphological, physical, chemical and mineralogical properties. A lessivage process was confirmed by the increasing ratio of fine clay/total clay, and substantial waxiness in the illuvial B horizon; however, the clay and Fe-DCB losses in the illuvial horizons were greater than the gains in the illuvial horizons. The depositional hypothesis was eliminated, due to the occurrence of similar soils on different

⁽¹⁾ Parte da Tese de Doutorado do primeiro autor, apresentada à Faculdade de Agronomia - UFRGS, Porto Alegre (RS). Recebido para publicação em outubro de 1995 e aprovado em maio de 1997.

⁽²⁾ Professor do Departamento de Solos do Centro de Ciências Agroveterinárias, UDESC, Caixa Postal 281, CEP 88520-000 Lages (SC).

⁽³⁾ Professor do Departamento de Solos da UFRGS. Bolsista do CNPq. Caixa Postal 776, CEP 90001-970 Porto Alegre (RS).

landscape positions, and the uniform fine and medium sand / total sand ratio in the soil profiles of the catena. A high textural, porosity and soil density anisotropy was verified between the E and EB horizons, which is responsible for the lateral water transport and seasonal water excess in the EB and B/E horizons. The monitoring of soil humidity and Fe^{2+} in solution indicated alternation of reduction and oxidation processes in these horizons, whereas chemical and mineralogical analyses indicated a selective dissolution of hematite with the removal of iron from the system. Thermodynamic analyses showed that the vermiculites with interlayered hidroxi-Al are more stable than the kaolinite in the soil and that the quantity and degree of interlaying are greater in the EB horizon. These results indicate a contemporary process of kaolinite dissolution, by ferrololysis, in the transitional horizons, responsible for the degradation of the B horizon.

Index terms: textural contrast, lessivage, lateral flows, ferrololysis.

INTRODUÇÃO

Solos com alto contraste textural são comuns em várias superfícies geomórficas do Brasil, sendo sua gênese normalmente atribuída à translocação vertical de argila entre os horizontes A e B. Entretanto, outros processos podem também estar envolvidos, tendo em vista a ampla diversidade de materiais de origem, condições ambientais e hidrológicas, em que esses solos foram formados.

A origem do gradiente textural em solos da classe Podzólico é controversa, podendo ter causas tanto pedogenéticas (Gamble et al., 1970; Cabrera-Martinez et al., 1988a) como geológicas, devido a descontinuidades litológicas (Arnold, 1968).

Processos de eluviação/iluviação mecânica de argila tem sido tradicionalmente referidos como a principal causa da diferenciação textural em podzólicos bruno-acinzentados e vermelho-amarelos (McCaleb, 1959). Brewer (1968) e McKeague et al. (1978), entretanto, quantificaram a argila iluviada em horizontes subsuperficiais de vários solos com alto contraste textural mediante análises micromorfológicas e demonstraram que esta representava, geralmente, uma parcela muito pequena em relação à argila total presente nesses horizontes. Brewer (1968) concluiu que outros processos, além da eluviação/iluviação, devem estar envolvidos na gênese do gradiente.

Perdas de argila pelo fluxo subsuperficial lateral de água, ao longo dos declives, também têm sido referidas como possíveis causas da diferenciação textural em solos. Hugget (1976) concluiu que tanto compostos químicos em solução como material em suspensão foram transportados lateralmente em solos de Hertfordshire, Inglaterra. Van den Broek (1989), valendo-se de avaliações hidrológicas e pedológicas numa transeção de solos de Luxemburgo, verificou que, durante e após os períodos de altas precipitações pluviais, gerava-se um fluxo subsuperficial lateral, responsável pela remoção e transporte de argila na interface dos horizontes EAh e Bg ao longo do declive, sendo a principal causa da diferenciação textural do solo. Esses processos podem ser favorecidos quando a anisotropia vertical (textural, de porosidade ou densidade) é alta no solo, à medida que modificam a direção dos fluxos de água no sistema. Por outro lado, a formação do contraste textural em muitos pseudogleis, pseudopodzólicos e planossolos,

sujeitos a encharcamento temporário de água, é atribuída por Brinkman (1979) à destruição da argila pela ferrólise, devido à alternância de processos de redução e oxidação em certos horizontes ou camadas do perfil, tornando os argilominerais instáveis.

No presente trabalho, estudou-se a gênese do contraste textural em perfis de podzólico vermelho-amarelo abrupto do município de Viamão (RS), cujos horizontes transicionais EB e B/E são fortemente adensados e com saturação temporária de água, apresentando evidências morfológicas de alteração química da matriz, associadas a forte cimentação do material quando seco. Os processos ocorrentes são estudados numa catena, por meio de amostragem e análises efetuadas num perfil representativo de PV, localizado no topo, e nos solos ao longo de uma transeção do topo a uma pequena várzea, numa posição de declive lateral. Objetivou-se avaliar a influência de processos deposicionais, eluviação/iluviação de argila (lessivagem), bem como ação da ferrólise, como possíveis causas da diferenciação textural do solo.

MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo localiza-se na Planície Costeira do Rio Grande do Sul, na região fisiográfica da Coxilha das Lombas, município de Viamão, cerca de 45 km ao norte de Porto Alegre. O material geológico é constituído de sedimentos arenoargilosos inconsolidados de origem eólica da formação Itapoã, do período quaternário (Delaney, 1965), sendo o relevo predominantemente ondulado, com cotas altimétricas que variam de 50 a 100 m.

A área objeto de estudo foi percorrida para observação da variação das características morfológicas dos solos e seleção de uma catena representativa, em que os segmentos do declive lateral ("side slope"), declives convergentes ("head slope") e divergentes ("nose slope") fossem bem definidos. Selecionou-se uma pequena bacia de drenagem com essas características, na qual se efetuou o levantamento planialtimétrico com teodolito, sendo as cotas e coordenadas lançadas no programa SURFER, para elaboração do perfil tridimensional da bacia. Com base nesse perfil, definiram-se as direções dos fluxos externos e internos do sistema.

Numa transecção do declive lateral, em intervalos de 10 em 10 m, foram descritos e amostrados 17 perfis de solo com trado (Figura 1), nas posições de topo, ombro, encosta, sopé e planície aluvional (Ruhe & Walker, 1968), esta última representada por uma pequena várzea sem confinamento permanente de água.

Na posição de topo do declive lateral (P1), fez-se a descrição morfológica e amostrou-se um perfil de solo completo, correspondendo ao perfil representativo do podzólico vermelho-amarelo estudado.

Nas amostras coletadas, determinaram-se os teores de areia, silte e argila totais, segundo EMBRAPA (1979), sendo a fração areia separada por peneiramento em cinco subfrações, e o silte, separado da argila por sedimentação, com base na lei de Stokes. A argila foi fracionada em argila fina e grossa por centrifugação (Jackson, 1965). A macro- e a microporosidade foram determinadas em mesa de tensão, e a densidade aparente com anel volumétrico, ambos segundo EMBRAPA (1979). A condutividade hidráulica saturada foi determinada no campo, com permeâmetro de carga hidráulica constante, apenas na posição do topo.

Na fração terra fina foram extraídos Ca, Mg, K e Na com solução de acetato de amônio 1 mol L⁻¹ em pH 7; Ca e Mg foram dosados por espectrofotometria de absorção atômica e K e Na, por fotometria de chama. Al e H + Al foram extraídos, respectivamente, com solução de KCl 1 mol L⁻¹ e acetato de cálcio 0,5 mol L⁻¹ em pH 7, e quantificados por titulometria de neutralização com NaOH. O pH foi determinado potenciométricamente, usando-se uma relação solo:solvente de 1:1, e os teores de carbono orgânico por oxidação sulfocrômica e titulação do excesso de bicromato com FeSO₄, em presença de ferroin. Os valores de S, CTC, V% e saturação com alumínio (m%) foram calculados conforme EMBRAPA (1979).

Os teores de ferro na fração terra fina e na argila dos horizontes, bem como nos mosqueados e volumes alterados da matriz dos horizontes B/E, foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica, após extração com solução de ditionito-citrato-bicarbonato (Fe-DCB), segundo Mehra & Jackson (1960) e com solução de oxalato de amônio (Fe-Ox) no escuro, de acordo com Schwertmann (1964).

A identificação e semiquantificação dos minerais da fração argila foi feita por difratometria de raios X (DRX), após saturação com sódio e orientação, utilizando-se radiação de Fe K α . Análises do pó dessa fração foram feitas visando obter parâmetros de cristalinidade da caulinita. Na fração argila grossa, empregaram-se testes de colapso das amostras saturadas com K, por aquecimento, e testes de expansão com glicerol nas amostras saturadas com Mg, visando identificar os argilominerais com reflexos de 1,4 nm e avaliar seu grau de intercalação com polímeros de Al.

Amostras da fração argila também sofreram pré-tratamentos com NaOH 5 mol L⁻¹ para a concentração dos óxidos de ferro, conforme Kämpf & Schwertmann (1982). A substituição de Al na goethita e na hematita foi estimada, respectivamente, segundo Schulze (1984) e Schwertmann et al. (1979).

A variação temporal da umidade nos horizontes A1, E, EB1, EB2 e Bt1 foi monitorada, semanalmente, nas posições de topo, ombro e encosta durante quinze meses, utilizando-se amostras coletadas com trado. Os teores de Fe²⁺ foram monitorados nos horizontes EB1 e EB2, empregando-se testes qualitativos, com solução de Dipyridyl (Childs, 1981), e quantitativos, após a reação anterior, em que a solução foi extraída por sucção em filtro de 0,45 μ , e o ferro analisado por espectrofotometria de absorção atômica.

Efetuiu-se um balanço das perdas e ganhos de argila e Fe-DCB para todos os horizontes do perfil representativo, tomando-se como referencial para os

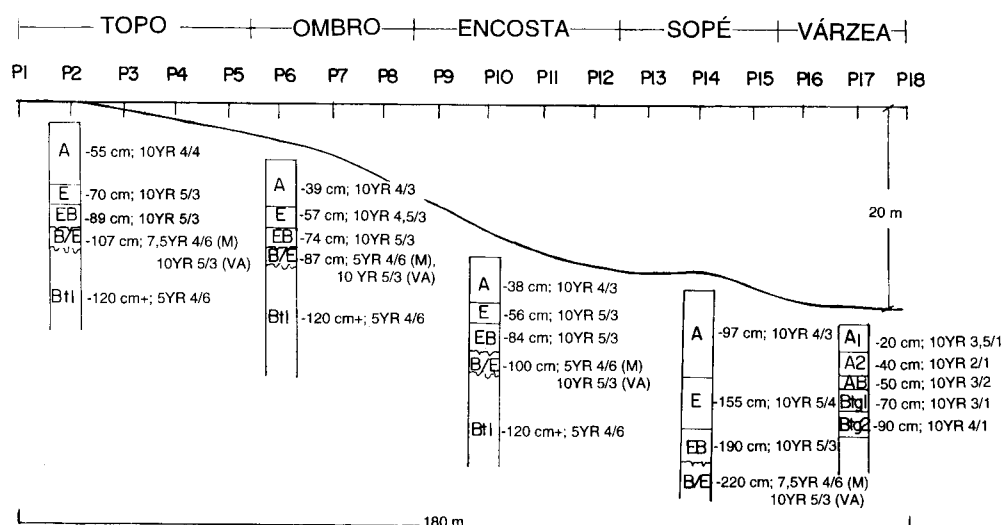


Figura 1. Representação da catena ao longo da transecção lateral, mostrando as variações nas características dos podzólicos vermelho-amarelos do topo ao sopé e o solo hidromórfico cinzento da várzea (M: mosqueados; VA: volumes alterados da matriz).

cálculos amostra do horizonte Bt coletada a 3 m de profundidade, e cujas características físicas e químicas não diferiram das da amostra coletada a 4 m. Pressupõe-se, deste modo, que represente as características do material original, não sendo, praticamente, afetada pelos processos pedogenéticos atuais. Com base nos critérios gerais sugeridos por Barshad (1964), os teores de argila e Fe-DCB foram recalculados numa base volumétrica para cada horizonte, a partir da densidade aparente original, e comparados aos teores efetivamente existentes neles.

Parâmetros químicos da solução do solo nos horizontes sujeitos à saturação temporária de água foram monitorados em horizontes dos perfis P3, P5, P7 e P9 da catena, objetivando avaliar a estabilidade termodinâmica relativa dos argilominerais presentes. A solução foi extraída de amostras dos horizontes E, EB e Bt1, coletadas em tubos de PVC de 20 mm de diâmetro, com papel-filtro de 0,45 μ colado na sua base, após centrifugação com umidade próxima da capacidade de campo. Nos extratos, mediram-se o pH e a condutividade elétrica, determinando-se os teores de silício e alumínio segundo Kahler (1941) e Jones & Thurman (1957) respectivamente. A especiação iônica do alumínio fundamentou-se no programa computacional SOIL SOLUTION (Wolt, 1987). Com base nos valores de pH e condutividade elétrica, as concentrações de silício e alumínio foram convertidas em valores de atividade, sendo os valores da abscissa e ordenada expressas, respectivamente, como pH_4SiO_4 e $\text{pH} - 1/3 \text{ pAl}$.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Morfologia dos solos na catena

O solo ocorrente em todas as posições da catena, com exceção da várzea, é um podzólico vermelho-amarelo (PV) abrupto (Figura 1), que apresenta a mesma sequência de horizontes do topo ao sopé, no perfil 15. Os horizontes A e E são menos espessos no ombro e no terço superior da encosta, fator condicionado pelas suas maiores taxas de declive, as quais favorecem grande erosão hídrica superficial. A maior espessura dos horizontes eluvial e transicionais é observada na base da encosta e no sopé. Os perfis 14 e 15, no sopé, coincidem com uma pequena área de mata ("capão"), sendo os locais onde se observa maior deposição de material arenoso pela erosão hídrica superficial, resultando, daí, a maior espessura do horizonte superficial do perfil 14 (Figura 1). Os horizontes eluvial e transicionais são também mais espessos, fator possivelmente associado ao maior tempo de residência média de água no local, em relação aos perfis das cotas mais altas. Ausentes ou em muito pequena quantidade na posição de topo, os mosqueados aumentam no horizonte Bt dos perfis do ombro, diminuem na encosta e voltam a aumentar em quantidade nos perfis no sopé e na várzea. Nesta, ocorre um solo hidromórfico cinzento, argiloso desde os horizontes mais superficiais, com mosqueados abundantes no Btg1 e Btg2.

No horizonte A do PV, a cor úmida é bruna a bruno-escura (10YR 4/3); no horizonte E e EB é bruna (10YR 5/3) ou bruno-amarelada (10YR 5/4). O EB diferencia-se do E pelo maior conteúdo de argila e silte, e consistência mais firme. O transicional B/E apresenta volumes da matriz com coloração similar à do EB, sendo a cor predominante da matriz geralmente bruno-avermelhada (5YR 4/4) ou vermelho-amarelada (5YR 4/6), similar à do horizonte Bt1. Tais características sugerem que os horizontes transicionais sejam provenientes da alteração química da matriz do horizonte B, sendo os volumes mais avermelhados daqueles, feição remanescente do último. Os volumes alterados da matriz do horizonte B/E diminuem gradativamente em profundidade, ocorrendo, ainda, em pequenas proporções no Bt1, tornando difícil a separação precisa desses horizontes por tradagem. Em duas trincheiras abertas no ombro e na encosta, constatou-se a presença de línguas de material do EB penetrando no B/E até o Bt1, e grande confinamento de água nos volumes alterados da matriz. Características fragipânicas foram constatadas nos horizontes EB e B/E, manifestadas pela consistência dura ou muito dura e "quebradiça", porém apenas com o solo seco, o que é uma característica diagnóstica, porém não exclusiva, de horizontes tipo fragipã. A passagem do trado através desses horizontes é extremamente difícil durante a estação seca.

Nos horizontes Bt1 e Bt2, a cor predominante da matriz é vermelho-amarelada (5YR 4/6) e bruno-avermelhada (5YR 4/4). Tradagens feitas em profundidades além do Bt2, em alguns pontos da transeção, evidenciaram uma tendência ao aumento da cor vermelha, com matizes até de 2,5YR 4/6. A cerosidade, avaliada nos perfis representativo (P1) e da trincheira do ombro (P7), ocorre em quantidade abundante nos horizontes Bt1 e Bt2, com grau de desenvolvimento moderado e forte. Na matriz não alterada do B/E, constataram-se poucos cutãs, moderadamente desenvolvidos, os quais estão ausentes no EB.

Propriedades físicas

As variações de porosidade, densidade e condutividade hidráulica saturada, no perfil representativo, evidenciam a alta anisotropia vertical existente entre os horizontes superficiais e subsuperficiais (Figura 2). Os horizontes transicionais representam as zonas de máximo incremento na densidade do solo, e máxima redução na macroporosidade, porosidade total e condutividade hidráulica saturada. No perfil P7 da transeção, a densidade do solo no horizonte EB foi de 2,0 kg dm^{-3} . Essas características são compatíveis, portanto, com a saturação temporária de água constatada sazonalmente durante as observações de campo, bem como com a ocorrência de um lençol de água "suspensão", que, de acordo com Bouma (1983), pode formar-se pela presença de fragipã ou camadas e horizontes adensados.

Os resultados da análise granulométrica do perfil representativo de PV (Figura 3a) mostram que, nos horizontes A e E, os teores de argila variam de 40 a

60 g kg⁻¹, havendo acentuado incremento a partir do horizonte EB, até atingir um máximo de 600 g kg⁻¹ no Bt2. Na mesma proporção em que cresce o teor de argila, decresce a areia total. Máximos teores de silte ocorrem nos horizontes transicionais. Tais características explicam a alta permeabilidade dos horizontes A e E, mas não a queda brusca do valor da condutividade hidráulica e o alto valor da densidade no EB. As características de forte adensamento, dureza e "quebradice" do solo quando seco, nesse horizonte, parecem ser resultantes de processos físico-químicos, devido ao empacotamento denso das partículas e, possivelmente, à presença de compostos de sílica amorfa, que têm a concentração aumentada com o secamento do solo.

O fracionamento da areia revelou o predomínio das frações areia fina e areia média, que, juntas, representam, em média, 95% do total da areia, para todos os horizontes. As razões areia fina/areia total e areia média/areia total são muito similares nos horizontes A, E e ao longo de todo o Bt (Figura 3b). Nos horizontes transicionais, ocorre aumento da areia fina, com decréscimo simétrico na areia média. Quebras acentuadas dessas razões, ao longo do perfil, têm sido utilizadas como critério para identificação de descontinuidades litológicas ou efeitos deposicionais (Brinkman, 1979; Cabrera-Martinez et al., 1988a). O "estrangulamento" observado nas curvas foi interpretado, entretanto, como decorrente de possível remoção da argila pelo fluxo subsuperficial lateral e/ou sua destruição nos horizontes transicionais, que favoreceram a migração de pequena quantidade de areia fina

(e silte) para o horizonte EB, oriunda dos horizontes superficiais, onde predominam macroporos.

Análise das razões areia média/areia total para os principais horizontes dos perfis de PV, nas posições de topo, ombro e encosta, evidenciaram resultados similares aos obtidos no perfil representativo. Quebras na uniformidade ocorreram apenas nos horizontes superficiais das posições do sopé e várzea, onde os processos deposicionais foram visualmente constatados no campo.

A ocorrência do podzólico vermelho-amarelo abrupto com a mesma sequência de horizontes no topo, no ombro e na encosta, no qual se manifestam apenas pequenas variações na espessura e morfologia dos horizontes, indica que os processos que influenciaram na formação desse solo são similares ao longo da catena. Isso, associado à grande uniformidade das razões areia fina e média/areia total dos horizontes eluviais e iluviais, é indicativo de que a gênese do contraste textural foi mais influenciada pela ação de processos pedogenéticos do que deposicionais. Esses resultados se assemelham aos obtidos por Gamble et al. (1970) e Cabrera-Martinez et al. (1988a) em solos com horizontes superficiais arenosos de planícies costeiras dos EUA; divergem, entretanto, da interpretação dada por Arienti (1986), segundo a qual o horizonte E (e EB) dos solos estudados representaria o testemunho de deposição eólica de material arenoso ocorrida em clima mais seco que o atual.

O fracionamento da argila revelou um aumento da argila fina (< 0,2 µm) em profundidade, com um

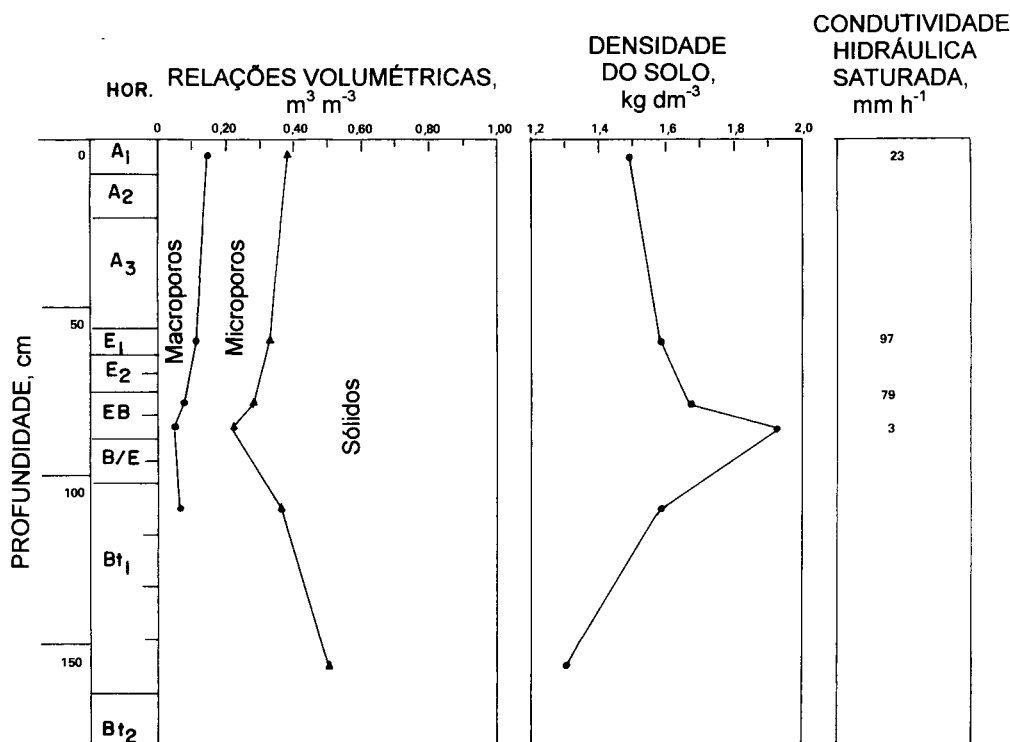


Figura 2. Parâmetros físicos determinados para horizontes selecionados do perfil representativo (P1).

máximo no horizonte Bt2 (Figura 3a, razão argila fina/argila total). O incremento acentuado dessa razão dos horizontes A e E para o Bt1, e seu decréscimo a partir do Bt2, indicam a ocorrência de processos de translocação vertical de argila ao longo do perfil (Floate, 1966), o que é confirmado pela presença expressiva de cerosidade nos horizontes iluviais. O balanço das perdas e ganhos de argila e Fe-DCB no perfil representativo (dados não apresentados), revelou, entretanto, que as perdas desses dois constituintes nos horizontes superficiais e transicionais foram expressivamente superiores aos ganhos computados nos horizontes iluviais (-417 kg de argila e -17,5 kg de Fe-DCB m^{-2} , no volume do perfil considerado, = 3 m^3). Esses resultados indicam, portanto, que outros processos, além da lessivagem, devem ter contribuído para a gênese do contraste textural do solo.

Propriedades químicas

Os parâmetros químicos determinados para o perfil representativo (Quadro 1) revelam que a reação do solo é fortemente ácida, havendo ligeira tendência ao aumento do pH, em H_2O e KCl, no horizonte E. Os teores de carbono orgânico são inferiores a 10 $g\ kg^{-1}$ ao longo do perfil; os valores mais baixos ocorrem nos horizontes E e EB e, os mais altos, no Bt1 e Bt2. A indicação da migração de compostos orgânicos solúveis é dada pelo seu acúmulo de carbono orgânico.

Nos horizontes A, E e EB, essencialmente arenosos, os teores de Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , Al^{3+} , Fe-DCB e

Fe e Al-Ox são muito baixos, ocorrendo o mesmo com a soma de bases e CTC. Esses valores sofrem incremento no horizonte B, tendendo a acompanhar o aumento dos teores de argila.

A razão Fe-Ox/Fe-DCB é menor do que 0,1 na maior parte dos horizontes (Quadro 1), indicando o predomínio de formas cristalinas dos óxidos de ferro, mesmo nos horizontes transicionais, onde os processos de oxirredução são mais frequentes. Os teores de manganês extraídos com DCB são baixos, não mostrando variações sensíveis ao longo do perfil.

Para os mesmos horizontes dos perfis de PV coletados ao longo da catena, não foram constatadas diferenças expressivas nos valores dos principais parâmetros químicos (Quadro 2). No perfil P11, a menor soma de bases e CTC no horizonte Bt1 é devida ao seu menor conteúdo de argila, cuja coleta, limitada pela dimensão do trado, restringiu-se a sua porção superficial.

O solo da várzea difere quimicamente do PV ocorrente nas demais posições da catena (Quadro 2). Considerando, entretanto, que todos os seus horizontes apresentam altos teores de argila, a soma de bases e a CTC são compatíveis com os valores dos horizontes mais argilosos das demais posições da transeção lateral.

Até certo ponto, esses resultados contradizem a hipótese da influência de processos laterais internos na diferenciação dos solos ao longo da catena. Não só a sequência de horizontes é a mesma, do topo ao sopé,

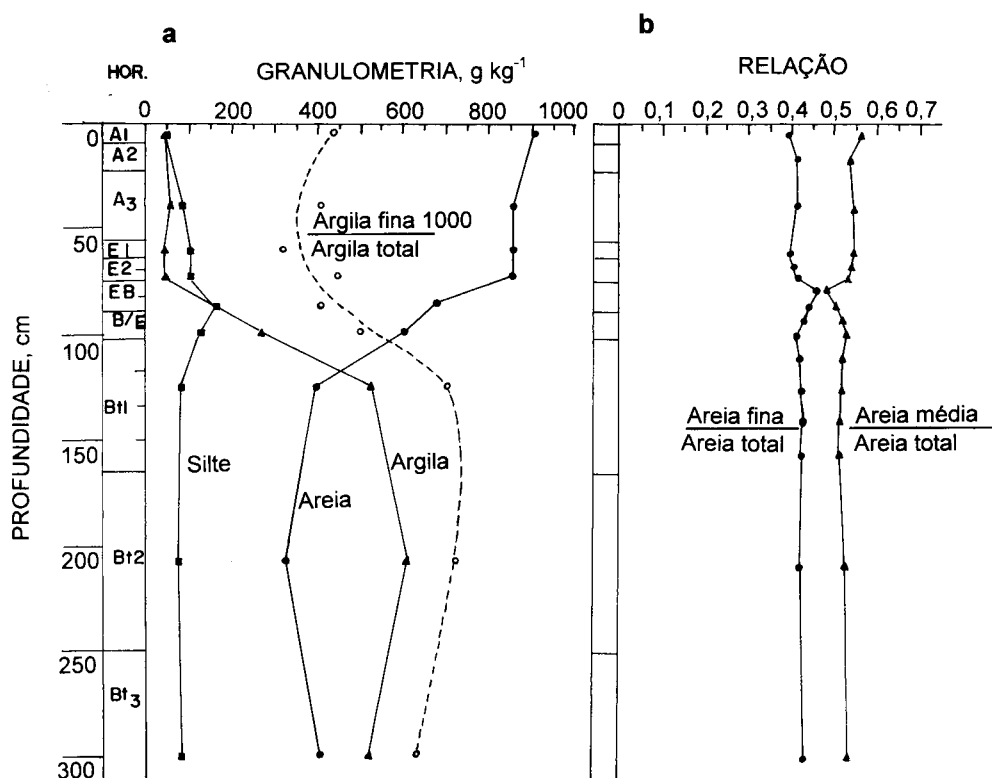


Figura 3. Distribuição granulométrica das frações areia, silte e argila, razão argila fina/argila total (a), e relação areia fina e areia média/areia total para os horizontes do perfil representativo, P1 (b).

Quadro 1. Resultados analíticos dos parâmetros químicos do perfil representativo de podzólico vermelho-amarelo abrupto

Horizonte	Cátions trocáveis					H + Al	S	CTC pH 7	V	m	C	pH		Fe		Mn DCB	Relação Fe _o /Fe _d
	Ca	Mg	K	Na	Al							H ₂ O	KCl	DCB(d)	Ox(o)		
	mmol _c kg ⁻¹											g kg ⁻¹		g kg ⁻¹		mg kg ⁻¹	
A1	6,6	3,3	0,8	0,9	4,5	14,3	11,6	25,9	45	28	5,8	4,80	4,00	2,2	0,32	72	0,15
A2	6,6	3,3	0,7	0,4	4,3	14,6	11,0	25,6	43	39	6,1	4,50	3,90	2,5	0,37	92	0,15
A3	3,7	1,7	0,5	0,3	3,2	15,1	6,2	21,3	29	34	3,0	4,55	3,95	2,9	0,32	67	0,11
E1	3,3	1,4	0,3	0,3	0,7	3,0	5,3	8,3	64	12	1,9	5,05	4,45	2,8	0,25	94	0,09
E2	2,2	1,0	0,2	0,0	0,5	1,6	3,4	5,0	69	11	2,0	5,05	4,80	2,6	0,16	76	0,07
EB1	4,1	2,2	0,2	0,3	1,6	10,6	6,8	17,4	39	19	1,9	4,55	4,30	7,8	0,35	76	0,04
EB2	5,1	3,6	0,3	0,6	2,0	14,6	9,6	24,2	40	12	2,5	4,50	3,90	9,3	0,41	71	0,04
B/E	7,8	5,8	0,4	0,9	7,4	22,0	14,9	36,8	41	6	3,3	4,40	3,65	11,6	0,43	65	0,04
Bt1	19,8	18,2	0,7	2,5	18,0	50,0	41,2	91,2	45	30	6,8	4,45	3,45	26,7	1,36	78	0,05
Bt2	19,4	22,4	0,8	2,6	19,9	48,3	45,2	93,5	48	28	6,5	4,55	3,45	32,8	1,49	74	0,05
Bt _(3m) ⁽¹⁾	13,7	21,8	0,8	1,7	12,8	36,1	38,0	74,1	51	25	4,4	4,70	3,55	26,1	0,98	...	0,04
Bt _(4m) ⁽¹⁾	15,8	27,7	0,8	2,3	4,0	31,7	46,6	78,3	60	8	4,4	4,70	3,65	...	...	...	...

⁽¹⁾ Amostras coletadas no Bt a 3 e 4 m de profundidade, com trado.**Quadro 2. Teores de argila e principais parâmetros químicos de quatro perfis da transecção lateral da catena nas posições de topo (P3), ombro (P7), encosta (P11) e na várzea (P17)**

Horizonte	Argila	pH-H ₂ O	S	Al ³⁺	CTC-pH7
	g kg ⁻¹				mmol _c kg ⁻¹
Perfil P3					
A1	100	4,75	5,2	3,5	20,1
E	80	4,75	2,3	2,4	7,8
EB	110	4,55	1,9	2,9	6,9
B/E	200	4,40	5,7	2,7	19,3
Bt1	530	4,65	54,6	5,3	101,1
Perfil P7					
A1	90	4,60	4,7	3,3	17,0
E	80	4,50	1,6	2,7	6,1
EB	120	4,40	2,3	3,4	7,7
B/E	200	4,35	7,8	3,4	25,2
Bt1	620	4,45	61,1	10,8	115,2
Perfil P11					
A1	80	4,85	4,9	2,9	12,5
E	50	4,60	1,1	2,2	2,2
EB	110	4,50	1,2	2,6	2,9
B/E	210	4,35	4,1	2,6	10,1
Bt1	370	4,25	25,7	8,7	63,4
Perfil P17					
A1	440	4,00	8,4	20,2	113,1
A2	520	4,10	14,2	53,4	178,4
Btg1	660	4,35	27,7	43,3	137,7
Btg2	580	4,35	33,0	35,4	121,6

mas também quimicamente os solos pouco diferem na catena. Há que considerar, entretanto, pelo menos dois aspectos: primeiro, que a presença do fluxo sub-superficial lateral, em condições saturadas, ocorre na zona acima do horizonte adensado (EB), onde os valores da soma de bases já são originalmente muito baixos, havendo, assim, muito pouco material para ser transportado em solução; segundo, que o sistema todo é aberto, havendo, pois, a possibilidade de que grande parte das soluções sejam transportadas para além da pequena várzea. É importante ressaltar, por outro lado, o fato de o solo da várzea ser argiloso, contrastando com todos os demais solos arenosos que ocorrem nas cotas mais altas da catena, sugerindo possível migração de argila por fluxos laterais, superficiais ou subsuperficiais.

Mineralogia da fração argila

A difratometria de raios X da fração argila revela uma composição muito similar entre os horizontes nos diversos pontos da transecção (dados não mostrados). Caulinita é o argilomineral dominante, seguido de proporções menores de argilominerais 2:1 e quartzo, o que indica alto grau de intemperização do material de origem. Os teores de quartzo são muito baixos nos horizontes iluviais, aumentando nos arenosos A, E e EB, e também nos volumes alterados da matriz do B/E. A participação relativa dos argilominerais com reflexos de 1,4 nm na fração argila do PV, expressa pela razão de intensidade dos reflexos a 1,4 nm ($I_{1,4}$) e 0,72 nm ($I_{0,7}$) indicaram um aumento na proporção dos primeiros, da base para o topo dos perfis. A razão $I_{1,4}/I_{0,7}$ aumenta gradativamente de 0,17 no horizonte Bt₂ para 0,44 no A. Essa razão também é maior nos volumes alterados da matriz do horizonte B/E (0,32), em relação à matriz não alterada (0,19).

Como os reflexos dos argilominerais de 1,4 nm foram pouco expressivos na fração argila fina, os testes para sua identificação foram efetuados na argila grossa (2-0,2 μm), em três horizontes da posição do ombro (Figura 4). Nas amostras saturadas com Mg, os tratamentos com glicerol não evidenciaram nenhum deslocamento dos reflexos de 1,42 nm, o que descarta a hipótese da presença de esmectitas. Os diferentes graus de colapso das amostras saturadas com K indicam a presença de vermiculita e/ou vermiculita com polímeros de hidróxi-Al nas entrecamadas (VHE).

O tratamento térmico a 350°C promoveu um colapso praticamente total das camadas na amostra do horizonte Bt1, indicando a presença de vermiculita com muito baixa intercalação com polímeros (vermiculitas puras normalmente colapsam em 0,99-1,01 nm no tratamento com K a 25°C). Já no horizonte A1, o reflexo a 1,01 nm apresenta maior assimetria em direção a ângulos 2θ mais baixos, sugerindo uma intercalação um pouco mais alta com polímeros de Al. A maior taxa de intercalação, entretanto, ocorre no horizonte EB (Figura 4), conforme o reflexo 1,23 nm na amostra K-350°C.

A maior quantidade de VHE nos horizontes superficiais e transicionais se deve, provavelmente, a um enriquecimento relativo de argila grossa, devido à migração de argila fina para os horizontes iluviais. Essa fração representa apenas 40% da argila total nos horizontes A, E e EB, aumentando para cerca de 75% no Bt. Cabrera-Martinez et al. (1988b) também sugere

essa hipótese para explicar a maior quantidade de VHE nos horizontes superficiais de ultissolos da planície costeira da Flórida. Não pode ser descartada, entretanto, a hipótese de que o enriquecimento se deva à destruição da caulinita pela ferrólise, particularmente nos horizontes transicionais. Isso foi descartado pelos autores citados, com base na argumentação de que os argilominerais 2:1 seriam mais instáveis que a caulinita.

Difratogramas do pó da fração argila total, dos horizontes EB e Bt (3 m), da posição do topo, mostram reflexos (001) largos da caulinita, e com assimetria em direção a ângulos 2θ mais baixos. Além disso, esses reflexos são de intensidade mais baixa do que os dos planos hk (02,11) a 0,443 nm, que formam uma banda assimétrica em direção ao reflexo (002) da caulinita (dados não mostrados). Esse comportamento indica a presença de caulinitas de pequeno tamanho e alto grau de desordem estrutural (Almeida et al., 1992), não havendo diferenças no padrão dos reflexos entre os horizontes. O índice de cristalinidade da caulinita (IC), determinado segundo os critérios de Hughes & Brown (1979), situou-se em torno de 7,0 para os dois horizontes do topo. O número médio de camadas, calculado a partir da dimensão média dos cristais pela fórmula de Scherrer, é de 25. Esses resultados confirmam o alto grau de desordem da caulinita do solo, visto que caulinitas de boa cristalinidade, como a Georgia 2, por exemplo, apresentam um IC = 29 e cerca de 96 camadas (Almeida et al., 1992).

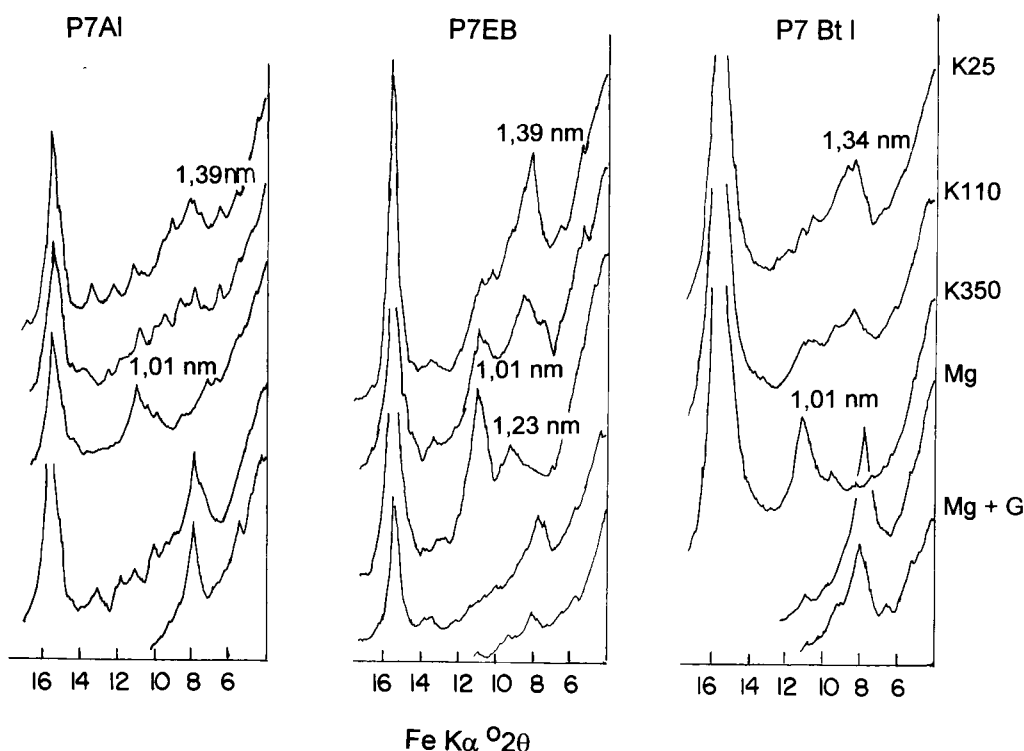


Figura 4. Difratogramas de raios X da fração argila grossa saturada com potássio e magnésio e submetida, respectivamente, a tratamentos térmicos (K 25, K 110 e K 350°C) e glicerolação (G), para três horizontes do perfil P7, da posição do ombro.

Monitoramento da umidade e dos teores de Fe^{2+}

Nas três posições da catena em que foram monitorados, os níveis de umidade dos horizontes EB1 e EB2 mantiveram-se acima da capacidade de campo por períodos relativamente longos - Figura 5 - para a posição do topo. No horizonte EB2, esses níveis se situaram próximo da saturação durante outubro e novembro de 1990, e entre abril e agosto de 1991. Embora não tenham sido monitorados, os volumes alterados da matriz do horizonte B/E também se apresentavam aparentemente saturados durante as coletas. Segundo Van Breemen (1988), períodos de 30 a 60 dias de encharcamento do solo já são suficientes para promover redução nos compostos de ferro. A variação acentuada nos níveis de umidade, constatada principalmente nos horizontes transicionais, é perfeitamente compatível, portanto, com a ocorrência de processos de oxirredução.

Os testes com Dipyridyl, bem como os teores de Fe^{2+} quantificados nos extratos (Quadro 3), foram positivos para a maioria das datas de observação e/ou coleta, porém os teores de ferro determinados são, em geral, baixos, com um valor médio em torno de $3,0 \text{ mg kg}^{-1}$. Isso está de acordo com as observações de Van Breemen (1988), segundo o qual usualmente apenas uma fração muito pequena do ferro aparece na solução, ficando a maior parte adsorvida ao complexo coloidal do solo, ou permanecendo numa forma sólida, provavelmente como compostos ferroso-férricos. Os teores mais altos de Fe^{2+} determinados durante dezembro de 1990 e janeiro de 1991 foram positivos apenas para os testes efetuados em presença de luz, indicando o predomínio de formas oxidadas do ferro, complexadas pela matéria orgânica da solução, e que

foram reduzidas fotoquimicamente durante os testes (Childs, 1981).

Os resultados obtidos confirmam a ocorrência de processos de redução nos horizontes transicionais EB nos volumes alterados da matriz do B/E, dado o elevado teor de umidade ali constatado sazonalmente. Durante o verão, a redução acentuada nos níveis de umidade nesses horizontes induz os processos de

Quadro 3. Testes com dipyridyl e teores de Fe^{2+} em solução nos horizontes EB1 e EB2, em tres posições da catena, para nove datas de coleta e/ou observação

Data	Topo		Ombro		Encosta	
	EB1	EB2	EB1	EB2	EB1	EB2
	mg kg ⁻¹					
05/12/90	3,0(+)	2,9(+)	2,6(+)	1,9(+)		
07/12/90	0,8(-)		1,4(+)		5,6(+)	
14/12/90	4,8(+)	10,8(+)	5,2(+)	4,6(+)	37,6(+)	
03/01/91	4,6(+)	0,9(-)	13,6(+)			1,5(+)
22/04/91	2,7(+)	0,0(-)	3,1(+)	4,5(+)	0,0(-)	0,0(-)
12/06/91	0,0(-)	0,0(-)	1,8(+)	0,0(-)	1,6(+)	0,0(-)
09/07/91	0,0(+)	0,0(+)	1,3(+)	1,9(+)	0,0(+)	0,0(-)
02/08/91	...(+)	...(-)	...(+)	...(+)	...(+)	...(+)
04/09/91	...(+)	...(+)	...(+)	...(+)	...(+)	...(+)

Os sinais (+) e (-) indicam, respectivamente, que os testes qualitativos da solução do solo com Dipyridyl foram positivos e negativos.

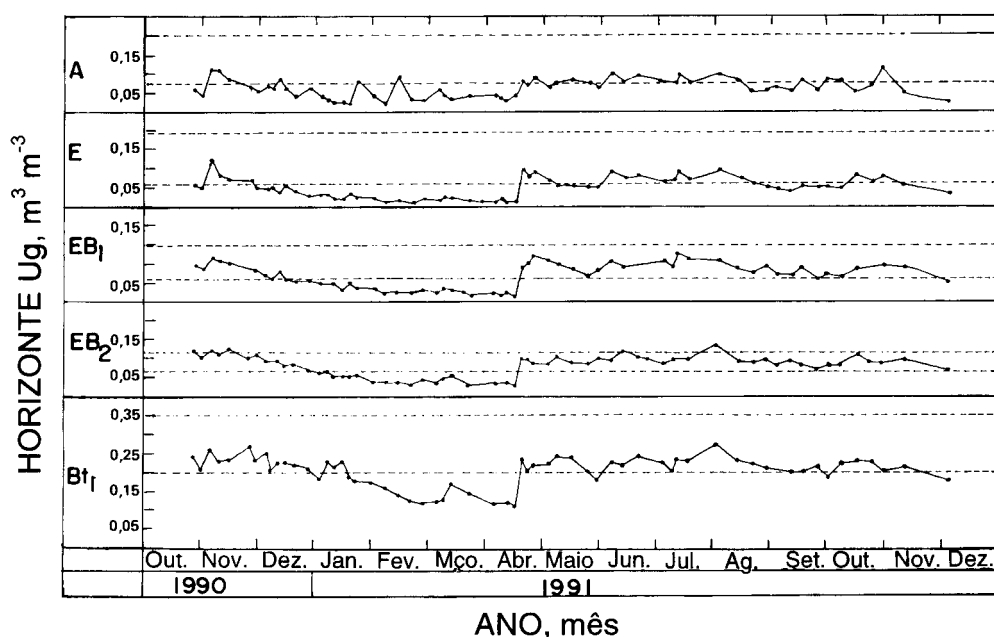


Figura 5. Variação temporal da umidade gravimétrica nos horizontes da posição do topo, P3 (linhas tracejadas superior e inferior indicam, respectivamente, a umidade na condição de saturação do solo e na capacidade de campo).

oxidação. Ciclos alternados de redução e oxidação devem estar implicados na gênese das alterações de volume da matriz do horizonte B, na medida em que promovem a dissolução dos óxidos de ferro e favorecem os processos de destruição dos argilominerais pela ferrólise (Brinkman, 1979; Van Breemen, 1988).

De acordo com os autores citados, o aumento nos teores de Fe^{2+} , pela redução do solo, induz maior lixiviação dos demais cátions, devido à saturação do ferro no complexo de troca. Esse processo é favorecido pela baixa CTC e soma de bases do solo em questão. Os cátions deslocados para a solução são transportados lateralmente, através do fluxo subsuperficial, ou verticalmente, para partes mais profundas do perfil. Durante o verão, a oxidação do Fe^{2+} a Fe^{3+} produz um aumento na concentração de íons H^+ , induzindo a protólise das lâminas octaédricas e tetraédricas, tornando os argilominerais instáveis. Parte do alumínio liberado nessas reações foi intercalado nas entre-camadas da vermiculita, na forma de polímeros, conforme foi visto. A maior parte do silício deve ter sido removida pelos fluxos verticais ou laterais, dada a sua grande solubilidade e devido ao caráter aberto do sistema.

Química e mineralogia dos óxidos de ferro

Os teores de Fe-DCB determinados na fração argila dos horizontes de seis pontos da transeção constam do quadro 4. Observa-se que, para um mesmo ponto, há um incremento nos seus teores em profundidade, atingindo valores máximos nos horizontes subsuperficiais mais argilosos. A redução expressiva nos teores de Fe-DCB nos horizontes eluviais e transicionais, bem como nos volumes alterados do B/E em relação à matriz mais vermelha desse horizonte, resultam dos processos de solubilização e remoção do ferro. Resultados similares foram obtidos na TFSA (Quadro 1), confirmando, portanto, as perdas verificadas no balanço efetuado no perfil representativo. Essa redução dos teores de ferro é acompanhada de um incremento nos teores de quartzo e vermiculita com polímeros de hidróxi-Al nas entrecamadas (VHE) na fração argila dos horizontes mais arenosos. Dado o conteúdo relativamente baixo de Fe-DCB das amostras, é pouco provável, entretanto, que o enriquecimento relativo em quartzo e VHE se dê unicamente a expensas da remoção de ferro, mas, sim, à remoção de parte da argila, seja pelo seu transporte lateral e/ou vertical, seja por sua destruição favorecida pelos processos de oxirredução. Nos horizontes transicionais EB e B/E, as feições de intensa alteração química da matriz indicam que essa última hipótese é mais provável, sendo o enriquecimento relativo daqueles minerais devido à remoção de quantidades expressivas de plasma do sistema, oriundo da destruição dos argilominerais.

Os resultados das análises mineralógicas dos óxidos de ferro por DRX estão condensados no quadro 4. Na posição de topo, o incremento na proporção de hematita com a profundidade do perfil, estimada pela razão goethita/hematita ($\text{Gt}/\text{Gt} + \text{Hm}$), relacionou-se

bem com o aumento da cor vermelha. As quantidades máximas de hematita (180 e 240 g kg^{-1}) foram constatadas nas amostras do horizonte Bt coletadas a 3 e 4 m ($\text{Bt}_{(3\text{m})}$ e $\text{Bt}_{(4\text{m})}$), coincidindo, portanto, com as zonas mais vermelhas do perfil.

A substituição em Al na goethita nos vários horizontes e posições da transeção varia de 14 a 21 cmol mol^{-1} , sem diferenças expressivas ao longo da transeção. Para o ponto P3, embora haja tendência de ligeiro aumento do Al da base para o topo do solo, as diferenças não são significativas, considerando que o intervalo de confiança da estimativa, inerente ao método usado na obtenção dos valores d , é em torno de 4 cmol mol^{-1} de Al. Do mesmo modo, não se observam diferenças entre os volumes alterados da matriz (VA) e a matriz mais vermelha (M) do horizonte B/E do ponto 5.

A similaridade nos graus de substituição em Al da goethita nos horizontes do perfil do PV indica que a maior parte do ferro solubilizado, durante as etapas de redução do solo, deve ter sido removida do sistema, e que as quantidades de ferro reprecipitadas nos horizontes transicionais deve ser pequena, não causando modificações sensíveis nas características dos óxidos de ferro remanescentes. Essa interpretação é reforçada pelos baixos valores obtidos da razão Fe-Ox/Fe-DCB no perfil modal (Quadro 1), indicando o predomínio de formas cristalinas dos óxidos de ferro, inclusive nos horizontes transicionais.

Em termos relativos, a proporção de goethita aumenta da base para o topo do perfil (Quadro 4), induzindo o seu amarelecimento ou xantização, particularmente nos horizontes transicionais e na porção superior do horizonte Bt_1 . Nos horizontes A e E, esse efeito não foi mensurável, devido aos baixíssimos teores de ferro e excessiva quantidade de quartzo. A hipótese mais plausível é de que esse amarelecimento se deva a um processo de dissolução da hematita em profundidade, pelo efeito da saturação temporária nos horizontes transicionais, em acordo com as observações de Macedo & Bryant (1987). Essa interpretação é apoiada pelas tendências constatadas no teor de Fe-DCB da fração argila do PV, as quais comprovam a ocorrência de perdas consideráveis de ferro nos horizontes superficiais e transicionais, e ao aumento da razão $\text{Gt}/\text{Gt} + \text{Hm}$ da base para o topo do solo.

Esta dissolução dos óxidos de ferro é favorecida pela saturação temporária de água, nos horizontes transicionais, e pela disponibilidade de fontes de energia para a ação dos microrganismos, advinda do transporte de carbono orgânico solúvel dos horizontes superficiais mais porosos.

A estimativa do Al da hematita somente foi possível nos horizontes mais vermelhos da posição do topo e nos mosqueados vermelhos das demais posições (Quadro 4), nos quais houve intensidade suficiente do reflexo (110), de modo a permitir uma medida confiável de sua posição correta. O fato de a hematita, no caso presente, apresentar baixo teor de Al (em torno de 6 a 8 cmol mol^{-1}), favorece a sua dissolução prefe-

rencial em relação à goethita (Torrent et al., 1987). Desse modo, as goethitas do solo, pela maior substituição em Al que as hematitas, tendem a ser mais preservadas no sistema. Apesar das limitações inerentes da estimativa, o fato de as goethitas dos horizontes EB e B/E apresentarem teores de Al ligeiramente mais altos que nos horizontes mais profundos, pode indicar que parte das primeiras, com menos Al, estariam também sendo dissolvidas nesses horizontes, onde os processos de redução são mais intensos.

Estabilidade termodinâmica dos minerais

A estabilidade relativa dos minerais no PV foi avaliada por meio de diagrama de estabilidade - Figura 6; nesta, está representada uma linha de estabilidade para a caulinita Georgia, de boa cristalinidade, tomada de Kittrick (1980), e outra de Karathanasis et al. (1983), representando uma aproximação para as caulinitas de solo. Da mesma forma, duas linhas de estabilidade foram plotadas para as VHE, com baixa e alta intercalação com polímeros de Al, de

Quadro 4. Cor, teores de Fe-DCB, razão goethita/hematita (Gt/Gt + Hm) e graus de substituição de Al na goethita (Gt) e hematita (Hm) na fração argila de horizontes dos pontos coletados na transeção lateral da catena

Perfil	Horizonte	Cor (Munsell)	Fe-DCB	Gt/Gt + Hm	Al	
					Gt	Hm
			g kg ⁻¹		cmol mol ⁻¹	
P3 (Topo)	A1	10 YR 5/4	37,8	1,00	16	...
	E	10 YR 5/4	41,2	1,00	16	...
	EB1	10 YR 5,5/4	38,8	...	17	...
	EB2	8,5 YR 5/6	42,0	0,95	18	...
	B/E	7,5 YR 5/6	45,6	...	18	...
	Bt1	6,0 YR 5/6	49,7	0,89	14	...
	Bt _(3m)	5,0 YR 5/8	48,6	0,82	15	6
	Bt _(4m)	5,0 YR 5/8	...	0,76	15	6
P5	B/E VA ⁽¹⁾	8,5 YR 5/4	43,3	0,93	16	...
	B/E M ⁽²⁾	7,5 YR 5/6	52,4	0,90	18	...
P7 (Ombro)	A ₁	...	38,0	...	...	...
	E	...	33,6	...	...	...
	EB1	...	32,0	...	...	...
	EB2	...	41,4	...	...	...
	Bt1	...	50,4	...	...	...
	Bt2	5,0 YR 5/8	50,2	...	...	...
	Bt2 MB ⁽³⁾	7,5 YR 4/6	44,2	...	17	...
	Bt2 MV ⁽⁴⁾	5,0 YR 5/8	49,7	...	17	4
P9	B/E VA ⁽¹⁾	...	46,4	...	...	...
	B/E M ⁽²⁾	...	50,5	...	...	...
P11 (Encosta)	A1	...	42,9	...	...	...
	E	...	52,5	...	...	...
	EB1	...	39,8	...	...	...
	EB2	...	41,8	...	...	...
	B/E	...	49,4	...	...	...
	Bt1	...	49,7	...	...	...
P16	AB VA	...	...	...	17	...
	Bg MV ⁽⁴⁾	...	...	...	19	6
P17 (Várzea)	A1	...	14,7	...	...	...
	A2	...	16,7	...	...	...
	Btg ₂	...	26,3	...	...	...
	Btg ₂ MV	3,5 YR 4/8	91,7	0,78	21	8

⁽¹⁾ VA = volumes alterados da matriz. ⁽²⁾ M = matriz. ⁽³⁾ MB = mosqueado bruno. ⁽⁴⁾ MV = mosqueado avermelhado.

Karathanasis (1988). As linhas de estabilidade da sílica amorfa e do quartzo foram obtidas de Elgawhary & Lindsay (1972), e a da gibbsita, de Kittrick (1980).

A localização dos pontos próximos à linha de estabilidade da vermiculita com baixa taxa de intercalação com polímeros de Al (Figura 6), indica que esse argilomineral apresenta maior estabilidade termodinâmica que as caulinitas do solo. Tais resultados se assemelham aos obtidos por Karathanasis et al. (1983) e Karathanasis (1988), os quais demonstraram que à medida que aumenta o grau de intercalação das vermiculitas e esmectitas com Al, aumenta a sua estabilidade termodinâmica. A presença de maiores quantidades de vermiculita com alta intercalação com polímeros de Al nas entrecamadas nos horizontes transicionais EB e B/E, nos quais ocorrem ciclos frequentes de redução e oxidação do ferro, é interpretada como indicação de que a caulinita deva estar sofrendo destruição pela ferrólise, dada sua menor estabilidade termodinâmica em relação à VHE.

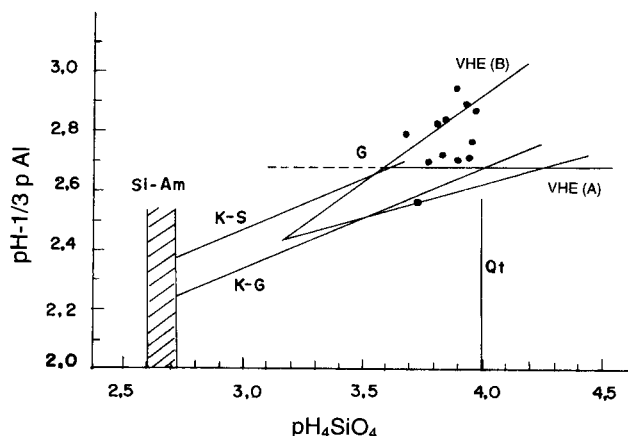


Figura 6. Diagrama de estabilidade considerando os principais componentes mineralógicos presentes no solo (Si-Am: sílica amorfa; Qt: quartzo; G: gibbsita; K-S: caulinita de solo; K-G: caulinita Georgia; VHE(B) e VHE(A): vermiculita com baixa e alta intercalação com polímeros de Al); os pontos representam valores dos parâmetros químicos determinados na solução do solo dos horizontes E, EB e Bt1 para quatro perfis da catena.

CONCLUSÕES

1. A gênese do contraste textural dos podzólicos estudados foi influenciada pela ação de processos de lessivagem, o que é indicado pela presença de horizontes eluviais típicos, pelo aumento da relação argila fina/argila total em profundidade e pela expressiva cerosidade constatada nos horizontes de máxima acumulação de argila dos perfis.

2. As perdas de argila e Fe-DCB quantificadas nos horizontes eluviais, entretanto, foram muito superiores aos ganhos computados nos horizontes iluviais, indicando que outros processos, além da lessivagem,

devem estar envolvidos na gênese do alto contraste textural e na degradação do horizonte Bt dos podzólicos.

3. A hipótese da deposição de material arenoso nos horizontes superficiais é pouco provável, tendo em vista a constância das razões areia fina/areia total e areia média/areia total, tanto no perfil representativo como em vários perfis da transeção lateral.

4. A formação do contraste textural dos podzólicos, gerando acentuada anisotropia vertical entre horizontes, induz a saturação temporária de água nos horizontes transicionais e, portanto, a alternância de processos de oxirredução nesses horizontes, favorecendo a dissolução e remoção do ferro e a destruição dos argilominerais;

5. A alternância e frequência dos ciclos de redução e oxidação nos horizontes transicionais, o caráter aberto do sistema, que induz intensa remoção da sílica e bases do perfil, e a baixa cristalinidade e pequeno tamanho das caulinitas em relação às vermiculitas com polímeros de hidróxi-Al entrecamadas (VHE), são fatores que favorecem a maior instabilidade termodinâmica das caulinitas. Desse modo, o aumento das VHE da base para o topo do perfil, aliado à maior taxa de intercalação com polímeros de Al na vermiculita dos horizontes transicionais, constituem indicações de que a degradação química do topo do horizonte B é afetada pela ferrólise.

LITERATURA CITADA

- ALMEIDA, J.A.; KÄMPF, N. & KLAMT, E. Amidas e hidrazina na identificação de caulinita desordenada em solos brunos subtropicais do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. *R. bras. Ci. Solo*, Campinas, 16(2):169-175, 1992.
- ARIENTI, L.M. Evolução paleogeográfica da bacia do rio Gravataí. Porto Alegre, UFRGS, Curso de Pós-Graduação em Geociências, 1986. 189p. (Dissertação de Mestrado)
- ARNOLD, R.W. Pedological significance of lithologic discontinuities. In: *Trans. Int. Conf. Soil Sci.*, Adelaide, 9(4):595-603, 1968.
- BARSHAD, T. Chemistry of soil development. In: BEAR, F., ed. *Chemistry of the soil*. New York, 1964. p.1-70.
- BOUMA, J. Hidrology and soil genesis of soils with aquic moisture regimes. In: WILDING, L. P.; SMECK, N. E. & HALL, G. F., eds. *Pedogenesis and soil taxonomy. I. Concepts and interactions*. Amsterdam, Elsevier Science, 1983. p.253-281.
- BREWER, R. Clay illuviation as a factor in particle size differentiation in soil profiles. In: *Trans. Int. Conf. Soil Sci.*, Adelaide, 9(4):489-499, 1968.
- BRINKMAN, R. Ferrololysis, a soil-forming process in hydromorphic conditions. *Agric. Res. Rep.* 887, Pudoc, Wageningen, 1979. 106p.
- CABRERA-MARTINEZ, F.; HARRIS, W. G.; CARLISLE, V. W. & COLLINS, M. E. Evidence for clay translocation in coastal plain soils with sandy/loamy boundaries. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Madison, 53:1108-1114, 1988a.
- CABRERA-MARTINEZ, F.; HARRIS, W.G.; CARLISLE, V.W. & COLLINS, M. E. Partitioning of clay-sized minerals in coastal plain soils with sandy/loamy boundaries. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Madison, 53:1584-1587, 1988b.

- CHILDS, C. W. Field tests for ferrous iron and ferric-organic complexes (on exchange sites or in water-soluble forms) in soils. *Aust. J. Soil Res.*, 19:175-180, 1981.
- DELANEY, P. J. V. Fisiografia e geologia da superfície da Planície Costeira do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, UFRGS, Escola de Geologia, 1965. 105p. (Public. Especial, 6)
- ELGAWHARY, S. M. & LINDSAY, W. L. Solubility of silica in soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, Madison, 36:439-442, 1972.
- EMBRAPA. Manual de métodos de análise de solo. EMBRAPA, SNLCS, Rio de Janeiro, 1979. n.p.
- FLOATE, M. J. S. A chemical, physical and mineralogical study of soils developed on glacial lacustrine clays in north central British Columbia. *Can. J. Soil Sci.*, Ottawa, 46:227-236, 1966.
- GAMBLE, E. E.; DANIELS, R. B. & McCracken, R. J. A₂ horizons of coastal plain soils. Pedogenic or geologic origin. *South. Geol.*, Durham, 11(3):137-152, 1970.
- HUGHES, J. C. & BROWN, G. A cristallinity index for soil kaolins and its relation to parent rock, climate, and soil maturity. *J. Soil Sci.*, London, 30: 357-363, 1979.
- HUGGET, R. J. Lateral translocation of soil plasm through a small valley basin in the Northaw Great Wood, Hertfordshire. *Earth Surface Process*, 1:99-109, 1976.
- JACKSON, M. L. Soil chemical analysis: advanced course. 2.ed., Madison, 1965. 991p. (Mimeo.)
- JONES, L. H. & THURMAN, D. A. The determination of aluminum in soil, ash and plant materials using eriochrome cianine R.A. *Plant Soil*, The Hague, 9(2):133-142, 1957.
- KAHLER, H.L. Determination of soluble silica in water. A photometric method. *Ind. Eng. Chem. Anal. Ed.*, 13:536-539, 1941.
- KÄMPF, N. & SCHWERTMAN, U. The 5 M - NaOH concentration treatment for iron oxides in soils. *Clays & Clay Miner.*, Ottawa, 30:401-408, 1982.
- KARATHANASIS, A. D. Compositional and solubility relationships between Al-hydroxyinterlayered soil smectites and vermiculites. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Madison, 52:1500-1508, 1988.
- KARATHANASIS, A. D.; ADAMS, F. & HAJEK, B. F. Stability relationships in kaolinite, gibbsite, and Al-hidroxyinterlayered vermiculite soil systems. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Madison, 47:1247-1251, 1983.
- KITTRICK, J. A. Gibbsite and kaolinite solubility by immiscible displacement of equilibrium solutions. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Madison, 44:139-142, 1980.
- McCALEB, S. B. The genesis of the Red-Yellow Podzolic soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, Madison, 23:164-168, 1959.
- MACEDO, J. & BRYANT, R. B. Morphology, mineralogy and genesis of a hydrosquence of oxisols in Brazil. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Madison, 51:690-698, 1987.
- McKEAGUE, J. A.; GUERTIN, R. K.; PAGE, F. & VALENTINE, K. W. G. Micromorphological evidence of illuvial clay in horizons designated Bt in the field. *Can. J. Soil Sci.*, Ottawa, 58:179-186, 1978.
- MEHRA, O. P. & JACKSON, M. L. Iron oxide removal from soils and clays by dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate. In: NATIONAL CONFERENCE ON CLAY AND CLAY MINERALS, 7., Washington, 1958. Proceedings, 1960. p.317-327.
- RUHE, R. V. & WALKER, P. H. Hillslope models and soil formation. I. Open systems. In: Trans. Int. Conf. Soil Sci., Adelaide, 9(4):551-560, 1968.
- SCHULZE, D. G. The influence of aluminum on iron oxides. VIII. Unit cell dimension of Al substituted goethites and estimation of Al from them. *Clays & Clay Miner.*, Ottawa, 32:36-44, 1984.
- SCHWERTMANN, U. Differenzierung der eisenoxide des bodens durch extraktion mit ammoniumoxalat-losung. *Pflanzenernaehr. Dueng Bodenkd.*, Leipzig, 105:194-202, 1964.
- SCHWERTMANN, U.; FITZPATRICK, R. M.; TAYLOR, R. M. & LEWIS, D. G. The influence of aluminum on iron oxides. 2. Preparation and properties of Al substituted hematites. *Clays & Clay Miner.*, Ottawa, 27:105-112, 1979.
- TORRENT, J.; SCHWERTMANN, U. & BARRON, V. The reductive dissolution of syntetic goethite and hematite in dithionite. *Clay Miner.*, London, 22:329-337, 1987.
- VAN BREEMEN, N. Long-term chemical, mineralogical, and morphological effects of iron-redox processes in periodically flooded soils. In: STUCKI, J. W.; GOODMAN, B. A. & SCHWERTMANN, U., eds. Iron in soil and clay minerals. Dordrecht, Reidel, Proc. Nato Advanced Study Institute, 1988. p.811-823. (NATO 451 studies)
- VAN den BROEK, T. M. W. Clay dispersion and pedogenesis of soils with an abrupt contrast in texture - a hydropedological approach on subcatchment scale. Amsterdam, Universiteit van Amsterdam, 1989. 109p. (Tese de Doutorado)
- WOLT, J. Soil solution: documentation, source code and Program Key. Version 1.4. University of Tennessee, 1987. 27p. (Research Report 87-19)