

# DIVISÃO 1 - SOLO NO ESPAÇO E NO TEMPO

## Comissão 1.1 - Gênese e morfologia do solo

### MINERALOGIA E GÊNESE DE ARGISSOLOS DAS SERRAS DO TABULEIRO/ITAJAÍ, ESTADO DE SANTA CATARINA<sup>(1)</sup>

Italomir Brighenti<sup>(2)</sup>, Jaime Antonio de Almeida<sup>(3)</sup> & Andrey Hofer<sup>(4)</sup>

#### RESUMO

As rochas do escudo cristalino, que afloram na porção centro-leste e nordeste do Estado de Santa Catarina, estão dispostas em relevo forte ondulado e montanhoso da unidade geomorfológica Serras do Tabuleiro/Itajaí. A movimentada superfície é resultante dos ciclos tecto magmático metamórficos sofridos pela crosta, responsáveis pelo retrabalhamento de rochas muito antigas formadas do Arqueano ao Proterozoico. Esse compartimento é constituído por rochas metamórficas, e informações sobre pedogênese e composição mineralógica dos solos delas derivados são escassas, fator que motivou a condução deste trabalho. Cinco perfis resultantes da pedogênese desses materiais foram estudados. O primeiro, desenvolvido de hornblendito do Complexo Granulítico de Santa Catarina (P1), foi descrito no topo de elevação em Pomerode, em condições de relevo forte ondulado. O segundo e o quinto perfis (P2 e P5), ambos desenvolvidos de granulitos máficos do mesmo complexo, respectivamente em Massaranduba e Blumenau, foram descritos na base da encosta, em relevo local ondulado. O terceiro perfil (P3), resultante da alteração de xistos do Complexo Metamórfico Brusque, foi descrito em encosta de relevo forte ondulado, em Botuverá. O quarto perfil (P4) foi fruto da pedogênese de granitoides foliados da faixa Granito-Gnáissica Faxinal, sendo descrito no terço inferior da encosta, num relevo ondulado. Foram feitas descrições gerais e morfológicas dos solos e da litologia subjacente, análises físicas e químicas de caracterização e análises mineralógicas da fração argila por difratometria de raios X (DRX), procurando avaliar as transformações sofridas pelos minerais presentes nas rochas durante a evolução dos solos. Todos os solos apresentaram alta relação textural e, ou, grau de desenvolvimento de estrutura em blocos, associada à presença de cerosidade, caracterizando a presença de horizonte

---

<sup>(1)</sup> Parte da Dissertação de Mestrado em Manejo do Solo do primeiro autor na Universidade do Estado de Santa Catarina, UDESC. Recebido para publicação em 9 de junho de 2011 e aprovado em 10 de maio de 2012.

<sup>(2)</sup> Professor da Universidade do Contestado, Campus de Concórdia, SC. Rua Vitor Sopelsa, 3.000 CEP 89700-000 Concórdia, SC. E-mail: italogeologo@gmail.com

<sup>(3)</sup> Professor Associado da Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC, Centro de Ciências Agroveterinárias, Av. Luis de Camões, 2090, CEP 88520-000 Lages, SC. E-mail: a2jaa@cav.udesc.br

<sup>(4)</sup> Acadêmico do Curso de Agronomia da Universidade do Estado de Santa Catarina, UDESC, Bolsista de Iniciação Científica da UDESC. E-mail: andreyh@hotmail.com

diagnóstico B textural, com argila de atividade baixa ou alta e caráter distrófico, alumínico ou alítico, o que permitiu classificá-los como Argissolo Amarelo distrófico típico (P1), Argissolo Amarelo alítico típico (P2, P3 e P5) e Argissolo Vermelho-Amarelo alumínico típico (P4) no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, versão de 2006. Em todos os Argissolos predominou caulinita, secundada por argilominerais do grupo da illita, interestratificados illita-vermiculita e, ou, vermiculita com polímeros de hidróxi-Al entrecamadas. Gibbsita, em baixas quantidades, também foi constatada nos perfis P2, P3 e P5. A formação de caulinita é resultante da dissolução de minerais primários, favorecida pelas condições climáticas subtropicais úmidas. Os argilominerais com estrutura 2:1 são provavelmente resultantes da transformação de filossilicatos presentes no material originário. O aumento da atividade da fração argila dos solos relacionou-se com o aumento na quantidade de argilominerais 2:1, cuja proporção foi mais alta no Argissolo desenvolvido de Muscovita-Xisto.

Termos de indexação: solos, argilominerais, rochas metamórficas, propriedades químicas.

#### SUMMARY: MINERALOGY AND GENESIS OF ARGISOLS (ULTISOLS) FROM SERRA DO TABULEIRO/ITAJAÍ, SANTA CATARINA STATE, BRAZIL

*The crystalline shield rocks that outcrop in the central-east and north-east of the state of Santa Catarina lie in a strong and wavy relief characterizing the northern Santa Catarina Coastal Mountains. The irregular surface results from the magmatic metamorphic cycles of the crust, responsible for the reworking of ancient rocks formed from the Archean to the Proterozoic. This compartment consists of metamorphic rocks while information about genesis and mineralogical composition of the soils derived from it are scarce, motivating this study. Five profiles resulting from pedogenesis of these materials were investigated. The first profile (P1), developed from hornblendites from the Granulitic Complex of Santa Catarina, was described at the top of Pomerode, in a strong and wavy relief. The second and fifth profiles (P2 and P5), both developed from mafic granulites of the same complex, in Massaranduba and Blumenau, respectively, were described at the base of the slope, in a wavy local relief; the third soil profile (P3), derived from micachist of Brusque Metamorphic Complex, was described on the slope of the strong and wavy relief near Botuverá. The fourth profile (P4) resulted from a granitoid pedogenesis of Faxinal Granitic-Gneissic formation. This profile was described in the lower third of the slope in a wavy relief. In these soils, general and morphological descriptions of soils and underlying lithology were made, as well as physical and chemical analyses of characterization and mineralogical analyses of the silt and clay fraction by X-ray diffraction (XRD), to evaluate the transformations undergone by the minerals in rocks during the soil evolution. The textural contrast was high in all soils, or block structure development associated with the presence of clay skins, consistent with the definition of a diagnostic B horizon in the Brazilian Soil Classification System (similar to the argilic horizon in the USDA Soil Taxonomy System), low activity clay, and dystrophic character, which allowed its classification as Dystrophic Yellow Argisol (P1), Alitic Yellow Argisols (P2, P3 and P5) and Aluminic Red Yellow Argisol (P4) in the Brazilian System of Soil Classification, version 2006, and Ultisols in the USDA Soil Taxonomy System. In all Ultisols, kaolinite was dominant, followed by illite, interstratified illite-vermiculite and/or vermiculite with polymers of hydroxy-Al interlayers. The formation of kaolinite is the result of the dissolution of primary minerals favored by the humid subtropical climate conditions. The 2:1 clay minerals found in the soils probably result from phyllosilicate transformation. The increase in the activity of the clay fraction was related to the increase in the amount of 2:1 clay minerals that was higher in the Ultisol developed from Granada-Muscovite-Schist (P3).*

*Index terms: Ultisols, clay mineralogy, metamorphic rocks, chemical properties.*

## INTRODUÇÃO

A intensa ocupação e utilização dos solos catarinenses, aliada à necessidade de exploração sustentável dos recursos naturais, destaca a importância do conhecimento pormenorizado das características básicas dos seus solos.

Nos levantamentos de solos de Santa Catarina (UFSC / SUDESUL, 1973; Santa Catarina, 1986; Potter et al., 2004), a caracterização dos solos restringe-se à descrição geral e morfológica e a resultados das análises físicas e químicas, havendo poucas informações sobre a mineralogia, tanto das frações grosseiras quanto da fração coloidal. Dados sobre a mineralogia da fração argila são disponíveis para alguns solos de regiões específicas do Estado, como os de basalto (Ker & Resende, 1990; Bognola, 1995; Corrêa, 2003; Almeida et al., 2003), de granitos e migmatitos das Serras Litorâneas do Sul do Estado (Paes Sobrinho, 2005) e de rochas sedimentares do Alto Vale do Itajaí e Planalto de Lages (Almeida et al., 1997). Nas demais regiões do Estado, a mineralogia da fração argila dos solos é pouco conhecida.

A unidade geomorfológica Serras do Tabuleiro/Itajaí abrange aproximadamente 13 % do Estado de Santa Catarina, pertencendo ao grande Domínio do Embasamento Cristalino em Estilos Complexos e à região geomorfológica das Serras do Leste Catarinense (Santa Catarina, 1986). Nos mapas de solos de Santa Catarina (UFSC / SUDESUL, 1973; Santa Catarina, 1986; Potter et al., 2004), nesse compartimento, predominam os Argissolos e Latossolos, sendo a grande maioria originada de litologia metamórfica.

Os Argissolos e Latossolos originados da decomposição de rochas metamórficas são profundos ou muito profundos e comumente apresentam espesso saprolito abaixo do *solum*. Essa característica favorece grande armazenamento de água nesses solos e torna os sistemas onde ocorrem bastante instáveis durante os episódios de grandes precipitações pluviiais, favorecendo os processos de deslizamentos, como os ocorridos em 2008 no Vale do Rio Itajaí.

Devido às altas precipitações pluviiais no Estado de Santa Catarina, o intemperismo é intenso, assim como a lixiviação dos seus solos, resultando na formação de solos ácidos e com altos teores de alumínio trocável (Ernani & Almeida, 1986).

A grande maioria dos Argissolos encontrados no Brasil possui baixa fertilidade natural, com predomínio de caulinita na fração argila. Em estudo desenvolvido por Perez et al. (1993) com 18 Argissolos de várias regiões brasileiras, foi constatado o predomínio da caulinita nesses solos, com quantidades menores de illita e de interestratificados illita-vermiculita. Os Argissolos derivados de gnaiss podem apresentar fertilidade química variável, de acordo com o ambiente onde se formaram. Argissolos provenientes da alteração de gnaiss de regiões com menor índice

pluviométrico são geralmente mais férteis, com maior proporção de esmectitas, tal como constatado por Moniz et al. (1990) em solos do trecho Cabo Frio-Xerém, Rio de Janeiro; já os ocorrentes em clima mais úmido apresentam baixa fertilidade química (Duarte et al., 1996; Costa Lima et al., 2007). Lacerda et al. (2001) também constataram que, tanto em Argissolos distróficos como nos eutróficos da região úmida de Lavras, os minerais primários foram alterados para caulinita, gibbsita e sesquióxidos de ferro, juntamente com vermiculita com hidróxi-Al entrecamadas no Argissolo eutrófico. O mesmo padrão mineralógico é encontrado nos Argissolos derivados de rochas pelíticas, como descrito por Vidal-Torrado et al. (1999) na Depressão Periférica Paulista e em solos derivados de migmatitos de Mococa (Vidal-Torrado & Lepsh, 1993). Em estudo comparativo de dois solos desenvolvidos de materiais de origem (biotita gnaiss e biotita hornblenda granito) e relevo similares no Estado de Pernambuco, Costa Lima et al. (2007) constataram que o da região do Agreste (semiárido) apresentou maior reserva mineral e maior fertilidade do que o da região úmida (Zona da Mata), ressaltando assim a importância do incremento da precipitação pluvial no aumento na taxa de lixiviação e de intemperismo dos solos.

Considerando a expressiva área ocupada por Argissolos desenvolvidos de rochas metamórficas no território catarinense, bem como a intensa utilização deles por pequenos e médios produtores rurais, o objetivo deste trabalho foi estudar a mineralogia e a gênese dos mesmos, procurando evidenciar suas relações com a litologia subjacente.

## MATERIAL E MÉTODOS

Durante a amostragem dos solos, realizada em setembro de 2007, foram selecionados Argissolos desenvolvidos de distintas litologias metamórficas que afloram nas Serras do Tabuleiro/Itajaí. Na figura 1 são mostrados no mapa geológico de Santa Catarina os locais de coleta dos perfis, com indicação da formação geológica e da litologia subjacente.

A vegetação original dominante na região é a Floresta Ombrófila Densa (IBGE, 1992), ou Subtropical Subperenifolia (IBGE, 2005), pertencente ao Bioma Mata Atlântica. Segundo a classificação de Köppen, a área em estudo se enquadra no clima Cfa, com precipitações pluviiais anuais médias de 1.600 mm anuais.

Os solos foram descritos e amostrados de acordo com Santos et al. (2005), todos em cortes de barrancos de estradas. Amostras da rocha intacta, ou pouco alterada, subjacente a cada perfil, foram coletadas para confecção de lâminas delgadas e identificação dos minerais presentes.

O perfil P1 foi descrito e coletado próximo ao topo de elevação, sob Mata Atlântica relativamente bem

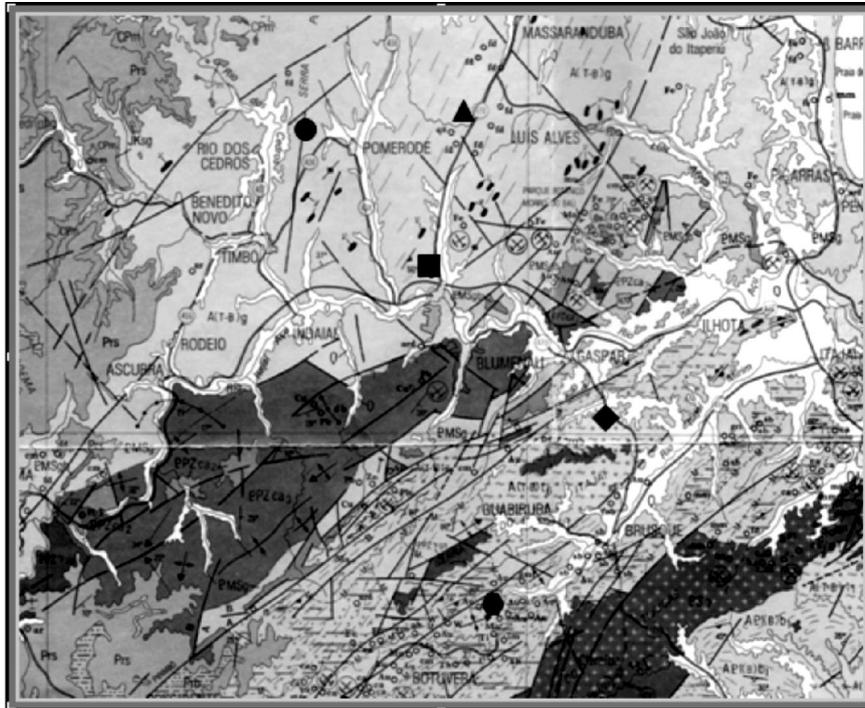


Figura 1: Localização dos perfis (P) no mapa geológico de Santa Catarina.

● P1 - Hornblendito ▲ P2-Granulito máfico ◆ P3 - Granada-muscovita-xisto ● P4 - Granitoide Foliado ■ Perfil 5-Granulito máfico  
 P1, P2, P5 - (A(T-B)g) - Complexo Granulítico de Santa Catarina; P3 e P4 – (A(T-B)t6) - Faixa Granito-Gnáissica Itajaí-Faxinal  
 Fonte: DNPM (1986).

preservada, em estrada marginal à SC 416, entre Timbó e Pomerode, sob coordenadas geográficas de 26° 44' 18,5" S e 49° 13' 40,5" W. O perfil P2 está localizado na rodovia Luis Alves-Blumenau, aproximadamente 4 km antes da BR 419, sendo descrito em área de relevo fortemente ondulado, na base de encosta, em posição de pedimento, com altitude de 130 m e coordenadas geográficas de 26° 40' 55,3" S e 49° 00' 30,2" W. O perfil P3 foi descrito e coletado na margem da rodovia, entre os municípios de Brusque e Botuverá, próximo a este último, no terço inferior de encosta, a 90 m de altitude, em área de relevo regional fortemente ondulado, sob coordenadas geográficas de 27° 11' 23,5" S e 49° 03' 49,9" W. A Mata Atlântica está relativamente bem preservada nas elevações montanhosas, porém no entorno a área encontra-se antropizada. O perfil P4 foi descrito e coletado às margens da rodovia que liga os municípios de Gaspar a Brusque, em área urbanizada, ocupando o terço inferior da encosta, numa altitude de 70 m, e sob coordenadas geográficas de 26° 59' 39,1" S e 48° 54' 10,3" W. O perfil P5 foi descrito e coletado às margens da rodovia que liga os municípios de Blumenau e Joinville via Massaranduba, próximo à localidade de Itoupava, em área urbanizada, posição de terço inferior da encosta, numa altitude de 40 m e sob coordenadas geográficas de 26° 47' 52,8" S e 49° 05' 20,9" W.

As amostras de solo foram secas ao ar, destorroadas, moídas e peneiradas em malha de 2 mm, quantificando-se as frações grosseiras (cascalho e calhaus, com diâmetro > 2,00 mm) e a terra fina (TFSA). Foram realizadas análises físicas, químicas e mineralógicas. Para determinação da granulometria, a fração TFSA, após agitação e dispersão com NaOH 1 mol L<sup>-1</sup>, foi submetida a peneiramento úmido, sendo a fração areia quantificada por pesagem. A argila foi quantificada pelo método do densímetro de Bouyoucos, e o silte, por diferença (Embrapa, 1997). O silte foi posteriormente separado da argila por sedimentação, com base na lei de Stokes. As frações silte e argila foram armazenadas na forma seca e em suspensão, para tratamentos posteriores destinados às análises mineralógicas.

Na TFSA, foi determinado o pH em água e em solução de KCl 1 mol L<sup>-1</sup>, na relação solo solução 1:1, utilizando-se potenciômetro; o carbono orgânico foi determinado após oxidação úmida com dicromato de potássio em meio ácido, por titulação (Tedesco et al., 1995); Ca, Mg e Al trocáveis foram extraídos com solução de KCl 1 mol L<sup>-1</sup>, sendo os dois primeiros determinados por espectrofotometria de absorção atômica e o último por titulometria de neutralização, segundo Tedesco et al. (1995); K e Na foram extraídos com acetato de amônio e quantificados por fotometria

de chama; e a acidez potencial (H+Al) foi extraída com acetato de cálcio a pH 7, sendo seus teores quantificados por titulometria de neutralização, conforme Embrapa (1997).

Foram calculados: soma de bases (S), CTC efetiva, CTC a pH 7 e saturação por bases (V) (Embrapa, 1997).

As lâminas das rochas foram confeccionadas no laboratório de laminação do curso de Geologia da Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS). A interpretação foi feita com microscópio petrográfico, sendo os minerais identificados por suas propriedades ópticas. Não foi analisada amostra do perfil 4, próximo a Gaspar, em razão de o saprolito ser muito espesso e de não ter sido encontrada a rocha sã no local do perfil, tendo esta sido observada e identificada em local próximo.

As análises mineralógicas foram processadas tanto em amostras do pó, para o caso da fração silte, como em lâminas de argila orientada. Para isso, foi utilizado um difratômetro de raios X Philips automatizado, dotado de goniômetro vertical e monocromador de grafite, com tubo de Co, radiação  $K\alpha$  e tensão de 35 kV e 35 mA. A variação angular foi de 3,2 a 40 ° 2 $\theta$  para as amostras saturadas com K e com Mg, lidas em temperatura ambiente, de 3,2 a 24 ° 2 $\theta$  para as amostras submetidas a aquecimento e glicoladas e de 10 a 60 ° 2 $\theta$  para o silte, em modo de leitura por passos, com velocidade angular de 0,02 ° 2 $\theta$ , com 1 segundo de leitura por passo. Os resultados foram interpretados principalmente com base nos parâmetros descritos por Brown & Brindley (1980) e Whittig & Allardice (1986), assim como em literatura específica citada no texto.

A fração argila foi submetida à saturação com K, Mg e Mg com etileno glicol. As suspensões de argila saturadas com K foram irradiadas em temperatura ambiente e, após aquecimento, em temperaturas de 100, 350 e 550 °C. As amostras saturadas com Mg foram irradiadas em temperatura ambiente e depois de submetidas ao vapor de etileno glicol.

Com base no software APD (Automatic Powder Diffraction), devidamente licenciado, foram obtidas automaticamente a posição dos vários reflexos e sua intensidade relativa, que permitiram identificar os minerais. Com o recurso "graphics" do APD, foram construídos os difratogramas, efetuando-se suavizações quando necessárias, bem como feitas indicações da posição dos principais reflexos. A estimativa semiquantitativa dos argilominerais presentes foi feita com base no recurso *fitprofile*, que processa automaticamente o cálculo das áreas de reflexos selecionadas no difratograma. Uma estimativa semiquantitativa dos argilominerais 2:1 (expansíveis ou não) presentes em cada amostra foi feita dividindo-se a área dos reflexos destes pela soma das áreas dos reflexos dos argilominerais 2:1 e 1:1.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Caracterização dos perfis

#### PERFIL P1

A rocha subjacente ao perfil P1 apresenta coloração escura, sendo identificada como um hornblendito. O anfibólio, do tipo hornblenda, predomina sobre os demais minerais, somando cerca de 70 % do conteúdo mineral da rocha. O plagioclásio soma em torno de 25 %, e a biotita, 5 %.

Trata-se de perfil profundo (espessura do A+B de 180 cm), com influência de colúvio superficial de material pré-intemperizado, provavelmente derivado de litologia semelhante à do perfil. O horizonte A, com apenas 15 cm de espessura, é do tipo moderado.

O horizonte B tem mais de 150 cm de espessura e cor bruno amarelada, no matiz 10YR (Quadro 1). A estrutura é prismática, de grau moderado, e em blocos, de grau moderado a fraco, apresentando cerosidade moderada e comum no horizonte Bt. A relação textural foi de 1,48, inferior, portanto, ao limite para B textural, considerando a classe textural do solo. Entretanto, os atributos de estrutura e cerosidade levaram à identificação do horizonte diagnóstico subsuperficial como sendo do tipo B textural (Embrapa, 2006).

A atividade da argila no Bt é de 15,7  $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ , indicando atividade baixa. Apresenta reação ácida e ligeiramente ácida, respectivamente nos horizontes A e B, com pH variando de 5,27 a 6,58. A soma de bases (S) varia de 1,74 a 3,56  $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$  em todo o perfil. Os teores de Al trocável variaram de 0,7 a 1,29  $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$  (Quadro 1), com saturação por Al inferior a 50 %. Com base na caracterização dos horizontes diagnósticos superficial e subsuperficial e demais atributos, o perfil foi classificado como Argissolo Amarelo distrófico típico (Embrapa, 2006).

No horizonte A, os difratogramas indicaram caulinita como argilomineral dominante (picos com valores  $d=0,727$  e  $d=0,357$  nm), secundada por mica ou illita (picos com valores  $d=1,001$  e 0,500 nm) e parcelas de micas em processos de transformação para argilominerais 2:1 expansíveis (picos assimétricos com valores  $d$  entre 1,001 e 1,214 nm), indicando provavelmente vermiculita (Douglas, 1989) (Figura 2a). O aquecimento a 350 °C produziu picos ligeiramente assimétricos em torno de  $d=1,0$  nm, sugerindo vermiculita com pouca intercalação com polímeros de hidróxi-Al (Figura 2b), confirmada pela ausência de expansão das camadas no tratamento Mg + etileno glicol (Barnishel & Bertsch, 1989).

Nos horizontes Bt e C também predominou a caulinita, com assimetria do pico em  $d=0,727$  nm em direção a valores  $d=1,001$  nm, secundada por mica ou illita e porções de mica parcial ou totalmente alteradas para vermiculitas (Douglas, 1989), indicadas pela banda assimétrica visualizada no difratograma em valores  $d$  entre 1,001 e 1,421 nm (Figura 2a). Isso foi

Quadro 1. Classificação, localização e caracterização dos horizontes do perfil P1

Classificação: **ARGISSOLO AMARELO DISTRÓFICO TÍPICO**

Localização: às margens da SC 416, entre Timbó e Pomerode.

Granulometria da TFSA									
Horiz.	Prof.	Cor Úmida	Cascalho + Calhaus	Areia	Silte	Argila	pH H <sub>2</sub> O	pH KCl	Carbono
	cm	Munsell	g kg <sup>-1</sup>						g kg <sup>-1</sup>
A	0-15	10YR 4/3	15	530	210	260	5,27	4,42	28,4
BA	15-28	10YR 4/4	17	450	190	360	5,68	4,54	20,2
Bt	28-100	10YR 4,5/4	24	420	170	410	6,09	4,91	9,5
BC	100-175	10YR 5/6	18	500	120	380	6,33	5,04	5,3
C	175-220	10YR 5/6	39	580	160	260	6,58	4,95	1,3
Cr	200-240+	7,5YR 5/6	160	nd	nd	nd	6,63	4,71	0,0

Horiz.	Ca	Mg	K	Na	Al	H+Al	S	CTC pH7	V
	cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>								%
A	1,89	0,43	0,26	0,13	1,15	6,90	2,71	9,61	28
BA	1,67	0,56	0,26	0,08	1,29	7,61	2,58	10,19	25
Bt	0,99	0,30	0,26	0,19	1,15	5,17	1,74	6,91	25
BC	1,14	1,03	0,25	0,17	0,70	3,88	2,59	6,47	40
C	1,24	0,37	0,18	0,23	0,70	4,31	2,01	6,32	32
Cr	3,01	0,16	0,15	0,24	1,15	4,60	3,56	8,16	44

nd = não determinada

confirmado na amostra com Mg e etileno glicol, onde não houve expansão das camadas para valores  $d$  além de 1,4 nm, tratando-se, portanto, de argilominerais 2:1 expansíveis com polímeros de hidróxi-Al entrecamadas (Barnishel & Bertsch, 1989), provavelmente em pequena quantidade. As assimetrias do pico da caulinita foram interpretadas como indicativas de interestratificações de camadas 2:1 nos cristais da caulinita, conforme sugerido por Mello & Wypych (2009).

No horizonte Cr, o padrão mineralógico é similar ao dos horizontes subjacentes, porém com menor alteração das micas para formar argilominerais expansíveis (Figura 2a). Em todos os horizontes, houve o desaparecimento dos picos com  $d=0,727$  e  $d=0,357$  nm nas amostras saturadas com K e aquecidas a 550 °C, confirmando a presença de caulinita (dados não mostrados).

Na figura 2a, observa-se que do saprolito da rocha em direção aos horizontes superficiais há aumento na intensidade dos picos com valores  $d$  entre 1,001 e 1,421 nm, indicando transformação paulatina das micas presentes no material de origem para argilominerais 2:1 expansíveis com polímeros de hidróxi-Al entrecamadas.

## PERFIL P2

A amostra da rocha subjacente ao perfil P2 foi identificada como granulito máfico, à semelhança do perfil P5, localizado em Blumenau. Ambas mostram estrutura gnáissica com bandas de plagioclásio e quartzo intercaladas com bandas finas de piroxênios, anfólio e biotita. A mineralogia principal constitui-se de: plagioclásio andesítico, ortopiroxênio e clinopiroxênio dominantes, quartzo, hiperstênio, diopsídio, biotita, hornblenda e minerais opacos. Como acessórios, ocorreram zircão, apatita e opacos.

O perfil é profundo, com espessura do *solum* de 1,70 m. Apresenta teor médio de C orgânico, coloração clara e baixa saturação por bases no horizonte A, do tipo moderado. A cor dominante no horizonte B é bruno amarelado a bruno forte, nos matizes 10 YR e 7,5 YR (Quadro 2). A relação textural foi de 1,76, com cerosidade moderada e comum nos horizontes BA e Bt1; cerosidade moderada e comum entre os prismas; e moderada e pouca entre os blocos nos horizontes Bt2 e Bt3. Desse modo, o horizonte diagnóstico subsuperficial foi classificado como B textural.

A atividade da argila é baixa, porém superior a 20 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup> na maioria dos sub-horizontes do B. A

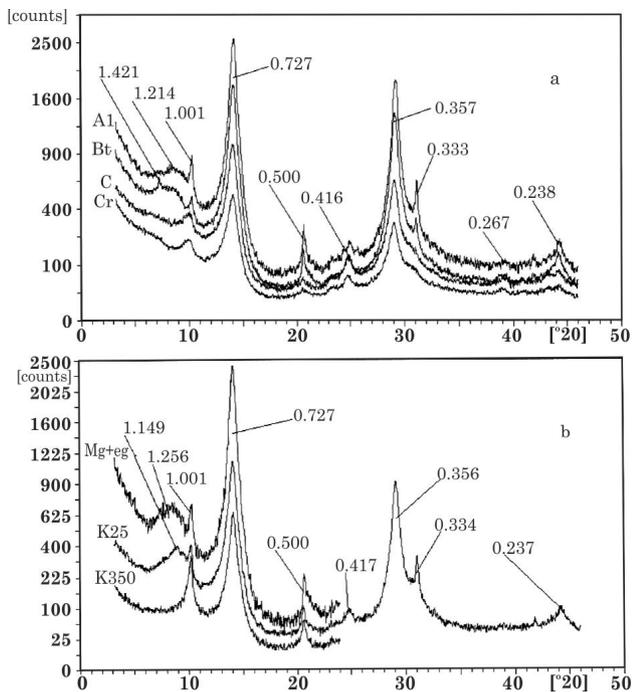


Figura 2. Difratogramas de amostras da fração argila orientada dos horizontes A1, Bt, C e Cr do perfil P1, saturadas com Mg (a), saturadas com K e aquecidas a 25 °C (K25) e 350 °C (K350) e saturadas com Mg e glicoladas (Mg + eg) do horizonte A do mesmo perfil (b). Espaçamentos em nm.

saturação por bases variou de 13 a 42 % ao longo do perfil. A reação é ácida nos horizontes A e B, com pH variando de 4,68 a 5,26. Os teores de Al trocável variaram de 3,3 a 5,6  $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$  (Quadro 2), com saturação por Al superior a 50 %, sendo classificado como Argissolo Amarelo alítico típico (Embrapa, 2006).

Os difratogramas das amostras saturadas com Mg indicam aparente similaridade da mineralogia da fração argila da base para o topo do perfil, sendo composta predominantemente por caulinita (picos com  $d=0,722$  e  $d=0,357$  nm), seguida de proporções bem menores de argilominerais com picos a valores  $d=1,42$  nm (Figura 3a) e picos a valores  $d=0,485$  nm, indicando gibbsita (HSU, 1989). Na amostra saturada com K, a posição e intensidade do pico a  $d=1,384$  nm tiveram pouca alteração, tendo havido apenas pequeno deslocamento em direção a ângulos 2 $\theta$  maiores pelo aquecimento das amostras até 350 °C, conforme exemplificado para a amostra do horizonte Bt2 desse perfil (Figura 3b). Esse comportamento parece indicar a presença de cloritas (Barnishel & Bertsch, 1989), também constatadas na litologia subjacente. A diluição dos picos a partir dos valores  $d=1,384$  nm em direção a valores  $d=1,000$  nm pelo aquecimento indica que parte das camadas da clorita é expansível, sugerindo também a existência de interestratificados clorita-vermiculita. Os tratamentos

com Mg e etileno glicol não evidenciaram nenhuma modificação do pico a  $d=1,384$  nm (Figura 3b). Os picos da caulinita foram destruídos pelo aquecimento das amostras saturadas com K a 550 °C (dados não mostrados), confirmando sua presença (Kampf & Curi, 2003).

### PERFIL P3

A rocha subjacente ao perfil P3 é uma granada-muscovita-xisto, associada ao Complexo Metamórfico Brusque (DNPM, 1986). Tem coloração cinza-escura, cinza-azulada a esverdeada com tons castanhos, devido à alteração pedoquímica. Apresenta forte bandejamento composicional, com alternância de níveis escuros de filossilicatos e níveis claros de quartzo. O grão é médio a grosso e a textura é granolepidoblástica, com xistosidade marcante e ocasionais porfiroblastos de granada de até 2 cm de diâmetro. Como acessórios, estão presentes: zircão, turmalina e apatita. A muscovita é o mineral predominante, somando 95 % da rocha. O quartzo é subordinado, somando cerca de 5 % da rocha, os opacos somam 3 % e a granada perfaz até 2 % da rocha.

O perfil de solo é muito profundo (espessura do A+B com mais de 200 cm), localizado em relevo local ondulado, mas regionalmente forte ondulado. Foi notada a presença de fragmentos centimétricos de quartzitos nos horizontes Bt1 e Bt2 e abundantes blocos de micaxisto alterado, de dimensões centimétricas a decimétricas, no horizonte BC. O horizonte A, com 25 cm de espessura, é do tipo moderado e apresenta contribuição de colúvio, proveniente do transporte de material oriundo de alteração de micaxistos localizados a montante.

O horizonte B tem mais de 175 cm de espessura e cor bruno amarelada, no matiz 10YR, chegando a 6,5YR no horizonte BC (Quadro 3). A estrutura é em blocos subangulares e angulares, de grau fraco a moderado, e prismática, de grau moderado a fraco, apresentando cerosidade moderada e comum nas faces dos prismas e fraca e pouca nas faces dos blocos.

A relação textural foi de 2,10, caracterizando o horizonte diagnóstico subsuperficial como do tipo B textural. A atividade da argila no Bt1 é de 27,38  $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$  e, no Bt2, de 26,11  $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ , caracterizando argila de atividade alta no limite para baixa no horizonte Bt.

A reação é ácida do horizonte A ao C, com pH variando de 4,68 a 5,07. O teor de bases é baixo a médio, com valores variando de 3,09 a 6,45  $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$  em todo o perfil. Os teores de Al trocável variaram de 2,15 a 6,17  $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$  (Quadro 3), e a saturação por Al é superior a 50 %, o que o classifica como Argissolo Amarelo alítico típico (Embrapa, 2006).

Na figura 4a constam os difratogramas das amostras saturadas com Mg para quatro horizontes deste perfil. Apesar da predominância da caulinita (picos com  $d$  em torno de 0,72 e 0,36 nm), observam-se neste perfil proporções expressivas de mica,

Quadro 2. Classificação, localização e caracterização dos horizontes do perfil P2

Classificação: **ARGISSOLO AMARELO ALÍTICO TÍPICO**

Localização: Rodovia Luiz Alves - Blumenau, a aproximadamente 4 km da BR 419 (Blumenau - Massaranduba)

Granulometria da TFSA									
Horiz.	Prof.	Cor Úmida	Cascalho + Calhaus	Areia	Silte	Argila	pH H <sub>2</sub> O	pH KCl	Carbono
	cm	Munsell	g kg <sup>-1</sup>						g kg <sup>-1</sup>
A	0-20	10YR 4/2	51	420	220	360	4,97	4,24	30,0
BA	20-32	10YR 5/4	49	320	180	500	4,89	4,11	19,2
Bt1	32-46	7,5YR 5/4	37	240	150	610	4,71	3,95	12,3
Bt2	46-80	7,5YR 5/6	46	210	150	640	4,68	3,96	7,7
Bt3	80-122	7,5YR 5/8	42	140	170	690	4,90	4,02	5,0
BC	122-170	7,5YR 6/8	80	240	290	470	5,07	4,09	2,0
C	170-190+		77	290	340	370	5,26	4,17	0,0

Horiz.	Ca	Mg	K	Na	Al	H+Al	S	CTC pH7	V
	cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>								%
A	2,91	0,55	0,36	0,17	3,30	11,90	3,99	15,89	25
BA	0,97	0,28	0,23	0,11	5,60	10,30	1,59	11,89	13
Bt1	3,90	0,87	0,17	0,12	5,46	9,05	4,24	13,29	32
Bt2	3,56	0,66	0,10	0,11	4,74	8,62	4,44	13,06	34
Bt3	4,87	1,37	0,06	0,13	5,17	8,76	6,43	15,19	42
BC	1,15	1,39	0,05	0,15	3,73	6,46	2,74	9,20	30
C	2,54	1,20	0,04	0,16	3,59	6,90	3,94	10,84	36

identificada pelos picos com valores d em torno de 1,0, 0,5 e 0,33 nm, indicando muscovita (Fanning et al., 1989), e argilominerais 2:1 expansíveis (picos com valores d em torno de 1,4 nm), cujas quantidades aumentam da base para o topo do perfil. Quartzo (picos com d=0,425 e 0,334 nm) e gibbsita (d=0,485 nm) também foram constatados, em baixa proporção (Whittig & Allardice, 1986). Picos estreitos e simétricos com valores d em torno de 0,72 e 0,36 nm indicam caulinitas com melhor cristalinidade e, provavelmente, com maior dimensão dos cristais (Almeida et al., 1992) do que nos demais solos.

A análise conjunta dos difratogramas das amostras com K e aquecidas e com Mg e glicoladas para os quatro horizontes antes citados confirmou o predomínio de caulinita, seguida de mica e quantidades menores de argilominerais expansíveis 2:1 do tipo vermiculita. O aquecimento das amostras com K até 350 °C revelou contração paulatina das camadas até valores em torno de 1,00 nm, mantendo, entretanto, ligeira assimetria em direção a 1,4 nm (Figura 4b), indicando que a vermiculita apresenta pequena intercalação com polímeros de hidróxi-Al entrecamadas. O aquecimento a 550 °C contraiu as camadas totalmente a 1,0 nm,

provavelmente pela destruição dos polímeros nessa temperatura (dados não mostrados). Não foi constatada expansão das camadas no tratamento com etileno glicol, confirmando tratar-se de vermiculita com polímeros de hidróxi-Al entrecamadas (Barnhisel & Bertsch, 1989).

#### PERFIL P4

A amostra da rocha deste perfil, apenas observada visualmente em local próximo de onde ele foi descrito, foi identificada como um granitoide foliado (granito-gnaiss) da Faixa Granito-Gnáissica Itajaí-Faxinal (DNPM, 1986).

Trata-se de perfil profundo (espessura do A+B de 150 cm) que ocorre em relevo local ondulado, mas regionalmente forte ondulado. Há quantidade expressiva de cascalho (2 cm), com grãos de quartzo e feldspatos constituindo a matriz do horizonte B, sendo muita expressiva sua quantidade no horizonte superficial. O horizonte A, com 18 a 22 cm de espessura, é do tipo moderado.

O horizonte B tem 1,98 cm de espessura e cor variando de bruno forte a vermelho amarelado, nos

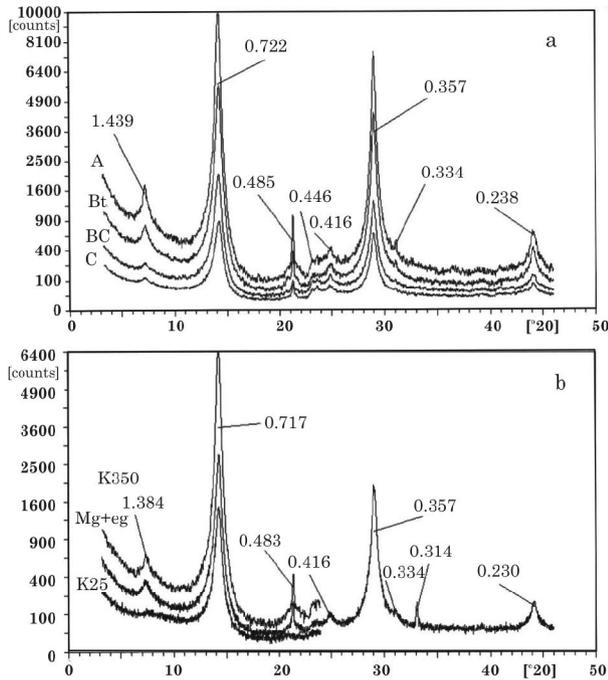


Figura 3. Difratoformas de amostras da fração argila orientada, saturadas com Mg dos horizontes A, Bt, BC e C do perfil P2 (a) e saturadas com K e aquecidas a 25 °C (K25) e 350 °C (K350) e saturadas com Mg e glicoladas (Mg + eg), do horizonte Bt do mesmo perfil (b). Espaçamentos em nm.

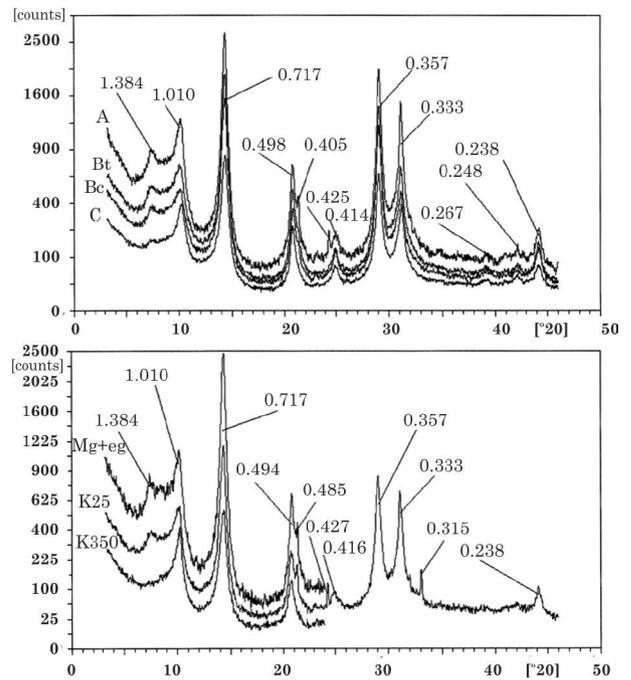


Figura 4. Difratoformas de amostras da fração argila orientada, saturadas com Mg dos horizontes A, Bt, BC e C do perfil P3 (a), saturadas com K e aquecidas a 25 °C (K25) e 350 °C (K350) e saturadas com Mg e glicoladas (Mg+eg) do horizonte A deste perfil (b). Espaçamentos em nm.

Quadro 3. Classificação, localização e caracterização dos horizontes do perfil P3

Classificação: **ARGISSOLO AMARELO ALÍTICO TÍPICO**  
 Localização: Rodovia (Brusque - Botuverá), Próximo a Botuverá

Granulometria da TFSA									
Horiz.	Prof.	Cor Úmida	Cascalho + Calhaus	Areia	Silte	Argila	pH H <sub>2</sub> O	pH KCl	Carbono
	cm	Munsell	g kg <sup>-1</sup>						g kg <sup>-1</sup>
A	0-25	10YR 6/2	31	53	240	230	5,02	4,06	21,7
BA	25-52	10YR 4/4	52	40	210	390	4,42	3,80	10,4
Bt1	52-97	10YR 4/6	89	33	170	500	4,39	3,64	4,7
Bt2	97-125	10YR 4/6	84	29	150	560	4,47	3,73	2,8
BC	125-200	6,5YR 5/8	105	26	100	640	4,53	3,78	0,0
C	200+	5YR 5/8	137	29	130	580	4,64	3,87	0,0

Horiz.	Ca	Mg	K	Na	Al	H+Al	S	CTC pH7	V
	cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>								%
A	4,41	1,77	0,23	0,04	2,15	9,20	6,45	15,65	41
BA	4,20	1,70	0,16	0,03	4,88	10,34	6,09	16,43	37
Bt1	2,56	0,62	0,12	0,04	5,75	10,34	3,35	13,69	24
Bt2	3,93	0,60	0,13	0,04	6,17	9,91	4,71	14,62	32
BC	2,37	0,49	0,18	0,05	5,43	6,46	3,09	9,55	32
C	1,47	0,08	0,11	0,02	4,45	6,03	1,68	7,71	22

matizes 7.5YR a 5.0 YR (Quadro 4). A estrutura apresenta grau de desenvolvimento fraco a moderado e de tamanho pequeno e muito pequeno no horizonte A, e médio e grande no horizonte B. É do tipo granular no horizonte superficial e varia de blocos subangulares a prismática nos horizontes subsuperficiais.

A relação textural foi de 1,65, e a cerosidade, moderada e comum no horizonte BA e fraca e comum nos demais sub-horizontes do B, exceto no Bt3, onde se observaram argilanes de compressão. Desse modo, o horizonte subsuperficial foi diagnosticado como B textural. A atividade da argila no Bt1 foi de 17,43  $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ , no Bt2, de 12,35  $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ , e no Bt3, de 9,16  $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ , caracterizando o solo como de argila de atividade baixa

A reação é ácida nos horizontes A e B, com pH variando de 4,25 a 4,93. O teor de bases é muito baixo, apresentando valores de S entre 1,29 e 2,72  $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$  em todo o perfil. Os teores de Al trocável variam de 4,16 a 6,03  $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$  (Quadro 4), e a saturação por Al é superior a 50 %. Com base no conjunto das características, o solo foi classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo aluminico típico (Embrapa, 2006).

Na figura 5a constam os difratogramas das amostras saturadas com Mg para quatro horizontes deste perfil. Observa-se predomínio da caulinita (picos com valores d em torno de 0,72 e 0,36 nm) e baixas proporções de argilominerais 2:1 (picos com d em torno de 1,42 e 1,00 nm), cujas quantidades aumentam da base para o topo do perfil. A análise conjunta dos difratogramas das amostras saturadas com Mg e glicoladas indicou que a maioria dos argilominerais 2:1 é expansível, com pequena quantidade de micas ou illita. Nos horizontes A e Bt, onde a intensidade dos picos na região de 1,4 nm é mais alta, o aquecimento das amostras até 350 °C provocou o colapso apenas parcial das camadas para valores d em torno de 1,00 nm (Figura 5b), não se observando nenhuma modificação na posição dos reflexos na amostra saturada com Mg e glicolada. Esse comportamento confirma que os argilominerais 2:1 expansíveis são vermiculita com alta intercalação de polímeros de hidróxi-Al entrecamadas (Barnishel & Bertsch, 1989).

#### PERFIL P5

A análise petrográfica da rocha subjacente a este perfil foi semelhante à do perfil P2, de Massaranduba,

Quadro 4. Classificação, localização e caracterização dos horizontes do perfil P4

Classificação: **ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO ALUMÍNICO TÍPICO**

Localização: Rodovia Gaspar-Brusque, próximo da área urbana de Gaspar

Granulometria da TFSA									
Horiz.	Prof.	Cor Úmida	Cascalho + Calhaus	Areia	Silte	Argila	pH H <sub>2</sub> O	pH KCl	Carbono
	cm	Munsell	g kg <sup>-1</sup>						g kg <sup>-1</sup>
A	0-22	10YR 3/3	69	510	110	380	4,25	3,60	27,0
BA	22-50	7,5YR 5/6	109	410	100	490	4,30	3,64	24,6
Bt1	50-72	7,5YR 5/8	110	360	80	560	4,43	3,78	13,1
Bt2	72-100	5YR 5/8	74	250	60	690	4,51	3,74	4,7
Bt3	100-150	4YR 5/8	49	180	50	770	4,52	3,75	2,5
BC	150-220	2,5YR 5/8	56	180	130	690	4,66	3,88	1,1
Cr			115				4,93	4,23	0,0

Horiz.	Ca	Mg	K	Na	Al	H+Al	S	CTC pH7	V
	cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>								%
A	1,53	0,92	0,21	0,06	5,02	11,78	2,72	14,50	19
BA	0,68	0,55	0,15	0,03	5,31	10,05	1,41	11,46	12
Bt1	0,69	0,20	0,07	0,03	5,74	8,47	1,29	9,76	13
Bt2	1,11	0,37	0,05	0,03	6,03	7,61	1,56	9,17	17
Bt3	1,04	0,59	0,07	0,04	5,03	5,31	1,74	7,05	25
BC	1,34	1,06	0,07	0,03	4,16	4,31	2,50	6,81	37
Cr	3,79	1,97	0,21	0,03	3,45	4,02	5,99	10,01	60

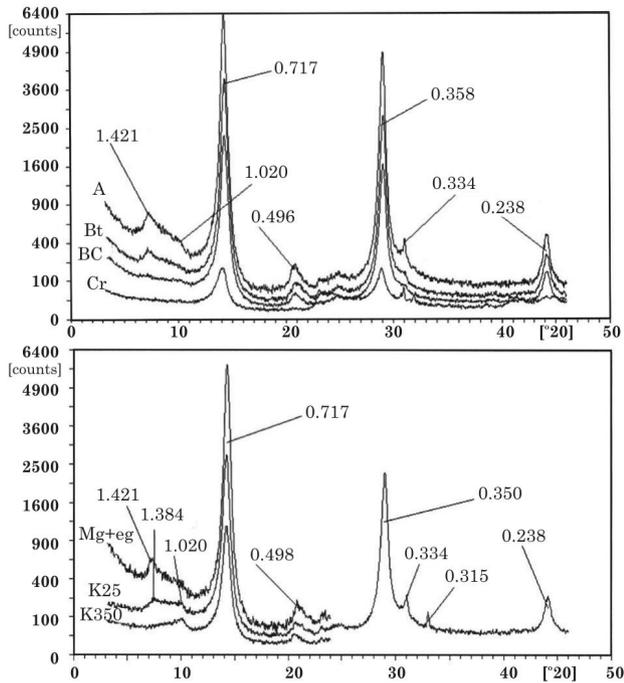


Figura 5. Difratomogramas de amostras da fração argila orientada, saturadas com Mg, dos horizontes A, Bt, BC e Cr do perfil P4 (a), saturadas com K e aquecidas a 25 °C (K25) e 350 °C (K350) e saturadas com Mg e glicoladas (Mg+eg) do horizonte A deste perfil (b). Espaçamentos em nm.

tratando-se de um granulito máfico, onde predominam plagioclásios e piroxênios.

Trata-se de perfil muito profundo (espessura do A+B de 335 cm), com saprolito muito espesso, localizado em relevo local ondulado, mas regionalmente forte ondulado. Neste perfil foram notados mosqueados nos horizontes Bt2 e Bt3 e manchas esbranquiçadas de depleção de ferro no horizonte BC.

O horizonte A, com 32 cm de espessura, é do tipo moderado. O horizonte B tem 303 cm de espessura e cor variando de bruno amarelado a bruno forte (Quadro 5). A estrutura no horizonte A é do tipo granular e em blocos subangulares e, no horizonte AB, de tamanho pequeno a médio, com grau de desenvolvimento moderado. A estrutura nos horizontes subsuperficiais tem grau de desenvolvimento fraco a moderado e tamanho variando de muito pequeno a médio, sendo do tipo blocos subangulares. A cerosidade é moderada e comum no BA e ausente nos demais sub-horizontes do B. A relação textural foi de 1,99; assim, o horizonte subsuperficial foi diagnosticado como sendo do tipo B textural.

A atividade da argila foi de 28,28 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup> no BA, provavelmente pela contribuição ainda expressiva do carbono na CTC deste horizonte, reduzindo para valores em torno de 18 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup> nos demais sub-horizontes do B, caracterizando o solo como de argila

de atividade baixa. A reação é ácida nos horizontes A e B, com pH variando de 4,20 a 4,42. O teor de bases é baixo, com valores de S variando de 1,12 a 5,30 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup> em todo o perfil. Os teores de Al trocável variam de 3,45 a 6,60 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup> (Quadro 5), e a saturação por Al é superior a 60 % na maioria dos horizontes. Assim, ele foi classificado como Argissolo Amarelo aluminico típico (Embrapa, 2006).

O padrão mineralógico da fração argila deste solo foi bastante similar ao descrito para o perfil 2; por isso, os difratogramas não são mostrados, observando-se aumento expressivo da quantidade de argilominerais com picos de 1,4 nm da base para o topo do perfil. Nas amostras dos horizontes A, Bt e C, o aquecimento provocou contração diferenciada das camadas dos argilominerais com picos de 1,42 nm, havendo tendência à horizontalização dos reflexos no intervalo entre 1,42 e 1,0 nm, para o horizonte Bt. Já nas amostras saturadas com Mg e glicoladas, não se observou expansão das camadas para valores acima de 1,42 nm. Esse comportamento pode indicar a presença de vermiculita com forte intercalação de polímeros de hidróxi-Al entrecamadas ou de interestratificados do tipo clorita-vermiculita.

A presença de clorita, ou de argilominerais assemelhados, é plausível neste solo, já que se encontra presente na litologia subjacente. As assimetrias do pico da caulinita, na região com valores d entre 0,73 e 1,00 nm, foram interpretadas como indicativas de interestratificações de camadas 2:1 nos cristais da caulinita, provavelmente do tipo caulinita-vermiculita (Mello & Wypich, 2009).

#### Mineralogia e gênese dos solos em função da litologia

Os solos desenvolvidos de granulitos e granitoides, correspondentes aos perfis P2, P4 e P5, e em menor extensão o solo desenvolvido de micaxistos (perfil P3) apresentam o *solum* assentado sobre espesso saprolito, especialmente nas áreas com relevo ondulado e suave ondulado, onde podem alcançar dezenas de metros. Portanto, é plausível supor que os processos de alteração geoquímica que atuaram na gênese desses espessos regolitos tenham atuado por longo tempo. Segundo Nahon & Tardy (1992), os regolitos se formam a uma taxa de 20 a 40 mm/1.000 anos em regiões tropicais, o que implica a necessidade de alguns milhões de anos para sua formação. Vários autores atribuem a gênese desses regolitos espessos a processos de intemperismo que podem ter se iniciado no Terciário (Butt, 1981; Tardy, 1992). Considerando válida essa hipótese, a gênese do *solum* correspondente aos perfis atuais deve ter ocorrido não a partir da alteração da rocha *in situ*, sendo mais provável que seu desenvolvimento tenha ocorrido a partir de processos pedogênicos atuantes no clima atual sobre um saprolito preexistente, exposto pela ação de processos geomórficos que moldaram a paisagem regional tal como hoje se configura.

Quadro 5. Classificação, localização e caracterização dos horizontes do perfil P5

Classificação: **ARGISSOLO AMARELO ALUMÍNICO TÍPICO**

Localização: Rodovia (Blumenau - Joinville) via Massaranduba e próximo de Itoupava

Granulometria da TFSA									
Horiz.	Prof.	Cor Úmida	Cascalho + Calhaus	Areia	Silte	Argila	pH H <sub>2</sub> O	pH KCl	Carbono
	cm	Munsell	g kg <sup>-1</sup>						g kg <sup>-1</sup>
A	0-12	10YR 4/3	27	580	180	240	4,31	3,72	24,9
AB	12-32	10YR 5/6	26	530	160	310	4,22	3,61	18,6
BA	32-65	10YR 5/8	37	430	140	430	4,20	3,62	10,0
Bt1	65-90	10YR 5/8	24	320	70	610	4,30	3,64	7,3
Bt2	90-162	9YR 5/6	19	350	80	570	4,31	3,68	7,5
Bt3	162-275	7.5YR5/8	31	330	90	580	4,37	3,69	4,3
BC	275-335	4 YR 5/8	21	170	280	550	4,42	3,76	1,7
C	335+	2.5YR5/6	59	270	240	490	4,63	3,91	0,0

Horiz.	Ca	Mg	K	Na	Al	H+Al	S	CTC pH7	V
	cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>								%
A	3,21	1,66	0,32	0,12	3,45	9,77	5,30	15,07	35
AB	3,89	0,90	0,18	0,07	3,87	9,04	5,05	14,09	36
BA	2,44	0,37	0,14	0,02	4,16	9,19	2,97	12,16	24
Bt1	1,63	0,24	0,09	0,01	6,60	9,77	1,97	11,74	17
Bt2	1,29	0,61	0,06	0,00	6,46	8,76	1,97	10,73	18
Bt3	0,67	0,37	0,08	0,00	5,74	9,19	1,12	10,31	11
BC	1,00	0,59	0,05	0,00	6,17	8,18	1,65	9,83	17
C	2,21	0,67	0,05	0,00	5,46	7,18	2,93	10,11	29

No perfil P1, desenvolvido de hornblendito, com contribuição de materiais pré-intemperizados oriundos dessa rocha, o intemperismo da rocha foi intenso, gerando um perfil muito profundo e argiloso, provavelmente fruto da completa destruição dos anfibólitos e plagioclásios, que compõem 95 % dos minerais da rocha. Entretanto, o saprolito deste solo foi o menos espesso entre os perfis estudados, o que pode ter sido decorrente do relevo forte ondulado onde se localiza. No clima úmido, esses minerais devem ter sido transformados, por neogênese, principalmente em minerais secundários do tipo caulinita e óxidos de ferro, por hidrólise parcial através de processos de monossilização (Melfi & Pedro, 1977). As micas presentes no material de origem, mais resistentes ao intemperismo químico (Fanning et al., 1989), transformaram-se em illitas e vermiculitas com hidróxi-Al entrecamadas. A proporção dos argilominerais 2:1, estimada pelo somatório das áreas dos picos das vermiculitas e illitas nas amostras tratadas com K em relação à soma dos picos a 1,0 e 0,72 nm, foi de 18 % no horizonte A, 19 % no Bt, 14 % no Cr e 20 % no horizonte C deste solo. Essa relação

foi compatível com os valores da CTC da fração argila calculada para o horizonte Bt, que foi em torno de 16 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>, mostrando-se acima dos valores de CTC frequentemente referidos para a caulinita pura (Kampf & Curi, 2003). Os atributos químicos deste solo confirmam a influência da sua mineralogia diferenciada em relação aos demais perfis, já que tanto os valores de pH foram maiores, como também a soma e saturação por bases, fruto provavelmente do intemperismo dos anfibólitos e plagioclásios, minerais primários ricos em Ca e Mg ainda presentes no solo.

A presença desses minerais primários foi constatada na fração silte do horizonte Bt do solo, pela presença de picos de plagioclásios calcossódicos em 0,42, 0,40, 0,36, 0,32 e 0,31 nm, de piroxênios em 0,32, 0,29 e 0,25 nm e de anfibólitos com picos principais em 0,27 e 0,85 nm (dados não mostrados).

Os perfis 2 e 5, desenvolvidos de litologia similar (granulitos máficos), apresentaram mineralogia da fração argila bastante similar entre si e ao longo dos horizontes, evidenciando o papel do clima e do tempo como os principais fatores da formação desses solos, já

que foram coletados em posição de relevo e vegetação similares. A caulinita foi o argilomineral dominante, com proporções menores de vermiculitas com hidróxi-Al entrecamadas, seguida de clorita e, ou, interestratificados clorita-vermiculita. Picos assimétricos em torno de 0,73 nm, com "saia" que se desloca em direção aos picos de 1,0 nm, foram interpretados como indicativos de possível interestratificação de camadas 2:1 nos cristais da caulinita. Provavelmente, a caulinita foi neoformada, a partir da alteração dos anfibólios e plagioclásios que predominam na litologia subjacente, sendo formada através de processos de monossilatização (Melfi & Pedro, 1977), favorecidos pela boa drenagem. Os demais argilominerais expansíveis devem ter sido formados por alteração parcial ou completa das micas do tipo biotita e, no caso do perfil 2, da clorita e da sericita, identificados como minerais de ocorrência secundária na amostra dos granulitos. A proporção dos argilominerais com picos em 1,0 e 1,4 nm foi de aproximadamente 12 % no P2 e de 6 % no P5. A presença desses argilominerais, associada à presença de interestratificados do tipo caulinita-vermiculita, nestes dois perfis é sugerida como causa dos valores de CTC mais altos da fração argila (superior a 20 e em torno de 18  $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$  na maioria dos sub-horizontes do B, respectivamente, no P2 e P5) em relação ao padrão normal dos solos puramente caulíníficos.

No perfil 3, novamente o principal mineral secundário foi a caulinita, sugerindo que a maior parte das micas presentes no micaxisto foi destruída pela ação do intemperismo e houve a neoformação de caulinita no ambiente mais lixiviante. Isso é consequência do clima úmido e, provavelmente, do longo tempo de alteração dos minerais constituintes dessa rocha, onde grande parte da sílica e dos cátions solúveis dos minerais da rocha foi removida, favorecendo a formação da caulinita por dessilicação parcial (Kampf & Curi, 2003). Parte das micas (ou illitas) transformou-se em vermiculita (Douglas, 1989), a qual foi diagnosticada pela contração de 1,4 para valores em torno de 1,0 nm quando submetida ao aquecimento.

A proporção dos argilominerais 2:1 (somados aos picos da mica, ou da illita, a 1,0 nm) foi de 41 % no horizonte A, 39 % no Bt, 30 % no BC e 30 % no horizonte C deste solo, sendo essas altas quantidades compatíveis com os valores relativamente altos da CTC da fração argila deste solo (em torno de 26 e 27  $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$  no Bt1 e Bt2, respectivamente).

No perfil 4, onde o solo foi originado pela decomposição de granitoides, com provável contribuição de material coluvionar pré-intemperizado dessas rochas, as condições de abundantes precipitações pluviais e boa drenagem, associada a ambiente ácido, favoreceram a predominância de caulinita.

A proporção dos argilominerais 2:1 foi de 4 % no horizonte A, 2 % no Bt, 10 % no BC e menos de

1 % no horizonte C neste solo. A menor participação de argilominerais 2:1 neste solo foi compatível com os valores relativamente baixos de atividade da argila (em torno de 12 e 9  $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$  nos horizontes Bt2 e Bt3, respectivamente). Os minerais com menor resistência ao intemperismo presentes na rocha foram decompostos principalmente por hidrólise, por processos de dessilicação parcial, formando principalmente caulinita (Kampf & Curi, 2003).

A composição mineralógica da fração argila da maioria dos solos estudados foi similar à encontrada em outras regiões brasileiras, com características de clima e litologia semelhantes, como os de Moniz et al. (1990), Duarte et al. (1996) e Lacerda et al. (2001) para solos derivados de rochas metamórficas.

## CONCLUSÕES

1. Todos os perfis apresentaram reação ácida; o baixo pH está relacionado aos baixos valores de soma e saturação por bases e aos altos teores de alumínio, indicando tratar-se de solos bastante lixiviados e intemperizados.

2. A composição mineralógica da fração argila dos solos estudados foi bastante similar entre os perfis, com predomínio de caulinita, seguida de proporções variáveis de illita, ou clorita, vermiculita com hidróxi-Al entrecamadas e interestratificados illita-vermiculita.

3. Apesar da proporção expressiva de argilominerais 2:1 em vários solos, a atividade da fração argila dos solos foi em geral baixa, provavelmente porque a maioria dos referidos argilominerais apresentam forte intercalação com polímeros de hidróxi-Al entrecamadas, que reduziram a CTC.

4. O perfil P3, um Argissolo Amarelo alítico derivado de micaxistos, foi o que apresentou maior CTC da fração argila, relacionada à maior quantidade de argilominerais 2:1 do tipo illita ou mica, presentes no solo e na litologia subjacente.

5. O intemperismo e a composição dos minerais presentes nas rochas dos diferentes substratos mostraram-se intimamente relacionados aos componentes minerais encontrados na fração argila dos solos, onde a neogênese de caulinita foi o processo dominante.

## AGRADECIMENTOS

A Andréa Sander, geóloga do CPRM do Rio Grande do Sul e professora da UNISINOS, pela confecção, descrição e interpretação das lâminas das rochas.

## 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, 16:169-175, 1992.
- ALMEIDA, J.A.; KÄMPF, N. & ALMEIDA, R. Caracterização mineralógica de Cambissolos originados de rochas pelíticas nos patamares do alto rio Itajaí e no planalto de Lages. R. Bras. Ci. Solo, 21:181-190, 1997.
- ALMEIDA, J.A.; TÓRRENT, J. & BARRÓN, V. Cor, formas do fósforo e adsorção de fosfatos em Latossolos desenvolvidos de basalto do extremo sul do Brasil. R. Bras. Ci. Solo, 27:985-1002, 2003.
- BARNHISEL, R.I. & BERTSCH, P.M. Chlorites and hydroxy-interlayered vermiculite and smectite. In: DIXON, J.B. & WEED, S.B. eds. Minerals in soil environments. Madison, Soil Science Society of America, 1989. p.729-788. (SSSA Book Series, 1)
- BOGNOLA, I.A. Caracterização química, física e mineralógica de solos intermediários entre Latossolos Brunos e Latossolos Roxos. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 1995. 205p. (Tese de Mestrado)
- BROWN, G. & BRINDLEY, G.W. X-ray diffraction procedures for clay mineral identification. In: BRINDLEY, G.W. & BROWN, G., eds. Crystal structures of clay minerals and their X ray identification. London, Mineralogical Society, 1980. p.305-360.
- BUTT, C.R.M. The nature and origin of lateritic weathering mantle with particular reference to western Australia. University of Western Australia Geology Department Publication, 6:11-29, 1981.
- CORREIA, J. Mineralogia e gênese das principais classes de solos de encostas basálticas do estado de Santa Catarina. Lages, CAV/UEDESC, 2003. 141p. (Tese de Mestrado)
- COSTA LIMA, J.G.; BITTAR, S.M.B.; RIBEIRO, M.R. & BARRETO, S.B. Evolução mineralógica de dois solos de referência do Estado de Pernambuco, Brasil. R. Biol. Ci. Terra, 7:71-83, 2007.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL - DNPM. Mapa geológico do estado de Santa Catarina. 1986.
- DOUGLAS, L.A. Vermiculites. In: DIXON, J.B. & WEED, S.B., eds. Minerals in soil environments. Madison, Soil Science Society of America, 1989. p.635-674. (SSSA Book Series, 1)
- DUARTE, M.N.; RAMOS, D.P. & LIMA, P.C. Caracterização e gênese de solos desenvolvidos de cobertura quaternária sobre embasamento cristalino, na baixada litorânea do Estado do Rio de Janeiro. R. Bras. Ci. Solo, 20:291-304, 1996.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Manual de métodos de análise de solo. 2.ed. Rio de Janeiro, Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. 212p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília, Embrapa/Produção de Informação; Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 2006. 306p.
- ERNANI, P.R. & ALMEIDA, J.A. Comparação de métodos analíticos dos solos do estado de Santa Catarina para avaliar a necessidade de calcário. R. Bras. Ci. Solo, 10:143-150, 1986.
- FANNING, D.S.; KERAMIDAS, V.Z. & EL-DESOKY, M.A. Micas. In: DIXON, J.B. & WEED, S.B., eds. Minerals in soil environments. Madison, Soil Science Society of America, 1989. p.551-634. (SSSA Book Series, 1)
- HSU, P.H. Aluminum oxides and oxyhydroxides. In: DIXON, J.B. & WEED, S.B., eds. Minerals in soil environments. Madison, Soil Science Society of America, 1989. p.331-379. (SSSA Book Series, 1)
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. Manual técnico de pedologia. 2. ed. Rio de Janeiro, 2005. 300p.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Manual técnico da vegetação brasileira. Rio de Janeiro, 1992. 92p. (Manuais Técnicos de Geociências, 1)
- KAMPF, N. & CURI, N. Argilominerais em solos brasileiros. In: CURI, N.; MARQUES, J.J.; GUILHERME, L.R.G.; LIMA, J.M.; LOPES, A.S. & ALVAREZ V.,V. H., eds. Tópicos em Ciência do Solo. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. v.3. p.1-54.
- KER, J.C. & RESENDE, M. Caracterização química e mineralógica de solos brunos subtropicais do Brasil. R. Bras. Ci. Solo, 14:215-225, 1990.
- LACERDA, M.P.C.; ANDRADE, H. & QUÉMÉNEUR, J.J.G. Transformações mineralógicas ao longo de perfis de alteração pedogenética na região de Lavras, MG. R. Bras. Ci. Solo, 25:799-809, 2001.
- MELFI, A.J. & PEDRO, G. Estudo geoquímico dos solos e formações superficiais do Brasil. Parte 1 : Caracterização e repartição dos principais tipos de evolução pedogeoquímica. R. Bras. Geoci., 7:271-286, 1977.
- MELLO, V.F. & WYPYCH, F. Caulinita e haloisita. In: MELO, V.F. & ALLEONI, L.R.F. (eds) Química e mineralogia do solo. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2009, v.1, p.427-504.
- MONIZ, A.C.; GRANDE, M.A. & OLIVEIRA, V. Solos do trecho Cabo Frio-Xerém, Rio de Janeiro: influência de regimes pluviais e de material de origem na pedogênese. R. Bras. Ci. Solo, 14:205-214, 1990.
- NAHON, D. & TARDY, Y. The ferruginous laterite. In: GOVETT, G.J.S., ed. Handbook of exploration geochemistry. London, Elsevier, 1992. v.4. p.41-78.
- PAES SOBRINHO, J.B. Mineralogia da fração argila de solos das serras do leste catarinense. Lages, CAV/UEDESC, 2005. 68p. (Tese de Mestrado)

- PEREZ, D.V.; RAMOS, D.P.; NASCIMENTO, R.A.M. & BARRETO, W.O. Propriedades eletroquímicas de horizontes B texturais. R. Bras. Ci. Solo, 17:157-164, 1993.
- POTTER, R.O.; CARVALHO, A.P.; FLORES, C.A. & BOGNOLA, I. Solos do Estado de Santa Catarina. Rio de Janeiro, Embrapa-Solos, 2004. mapa color. CD ROM (Embrapa Solos, Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 46).
- SANTA CATARINA. Gabinete de Planejamento e Coordenação Geral. Subchefia de Estatística, Geografia e Informática. Atlas de Santa Catarina. Rio de Janeiro, Aerofoto Cruzeiro, 1986. 176p.
- SANTOS, R.D.; LEMOS, R.C.; SANTOS, H.G.; KER, J.C. & ANJOS, L.H.C. Manual de descrição e coleta de solo no campo. Viçosa, MG, SBCS/CNPS. 100p.
- TARDY, Y. Diversity and terminology of lateritic profiles. In: MARTINI, J.P. & CHESWORTH, W., eds. Weathering, soils and Paleosoils. Developments in Earth Surface Processes 2. London, Elsevier, 1992. p.379-406.
- TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI C.A.; BOHNEN, H. & VOLKWEISS, S.J. Análise de solo plantas e outros materiais. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174p.
- UFMS/SUDESUL. Levantamento de reconhecimento de solos do Estado de Santa Catarina. (1ª Parte). R. Centro Ci. Rurais, 2:11-248, 1972.
- VIDAL-TORRADO, P. & LEPSH, I.F. Morfogênese dos solos de uma toposequência com transição B latossólico/B textural sobre migmatitos em Mococa (SP). R. Bras. Ci. Solo, 17:109-119, 1993.
- VIDAL-TORRADO, P.; LEPSH, I.F.; CASTRO, S.S. & COOPER, M. Pedogênese em uma seqüência Latossolo-Podzólico na borda de um platô na Depressão Periférica Paulista. R. Bras. Ci. Solo, 23:909-921, 1999.
- WHITTIG, L.D. & ALLARDICE, W.R. X-ray diffraction techniques. In: KLUTE, A., ed. Methods of soil analysis. Physical and mineralogical methods. 2.ed. Madison, SSSA, 1986. Part 1. p.331-362.

