

**UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA – UDESC  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGROVETERINÁRIAS – CAV  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
MESTRADO EM CIÊNCIA DO SOLO**

**RODRIGO TESKE**

**RELAÇÕES SOLO – LITOLOGIA NUMA SEQUÊNCIA DE SOLOS  
DESENVOLVIDOS DE ROCHAS EFUSIVAS NO PLANALTO SUL DE  
SANTA CATARINA**

Trabalho de Dissertação apresentado como requisito parcial para obtenção do título de Mestre no Curso de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC.

Orientador: Dr. Jaime Antonio de Almeida  
Co-orientadora: Mari Lucia Campos

**LAGES, SC**

**2010**

Ficha catalográfica elaborada pela Bibliotecária  
Renata Weingärtner Rosa – CRB 228/14ª Região  
(Biblioteca Setorial do CAV/UDESC)

Teske, Rodrigo  
Relações solo – litologia numa sequência de solos  
desenvolvidos de rochas efusivas no Planalto Sul de Santa  
Catarina. / Rodrigo Teske – Lages, 2010.  
121 p.

Dissertação (mestrado) – Centro de Ciências  
Agroveterinárias / UDESC.

1.Litossequência. 2. Efusivas ácidas e básicas.  
3. Cambissolos. 4. Planalto Catarinense. 5. Mineralogia de  
argilas. I.Título.

CDD – 631.44

**RODRIGO TESKE**  
**ENG. AGRÔNOMO - UDESC**

UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGROVETERINÁRIAS  
MESTRADO EM CIÊNCIA DO SOLO

**RELAÇÕES SOLO – LITOLOGIA NUMA SEQUÊNCIA DE SOLOS  
DESENVOLVIDOS DE ROCHAS EFUSIVAS NO PLANALTO SUL DE SANTA  
CATARINA**

Aprovado em: \_\_/\_\_/2010  
Pela Banca Examinadora:

Homologado em:

---

Dr. Jaime Antonio de Almeida  
Orientador – UDESC/Lages - SC

---

Dr. Luciano Colpo Gatiboni  
Coordenador Técnico do Curso de Mestrado  
em Ciência do Solo e Coordenador Técnico  
do Programa de Pós-Graduação em Ciências  
Agrárias – UDESC/Lages - SC

---

Dra. Mari Lucia Campos  
Co-orientadora – UDESC/ Lages - SC

---

Dr. Adil Knackfuss Vaz  
Diretor Geral do Centro de Ciências  
Agroveterinárias – UDESC/Lages - SC

---

Dr. Ricardo Dalmolin  
UFSM/ Santa Maria - RS

LAGES  
Santa Catarina - Brasil  
2010

A todas as pessoas que acreditam que a educação é o melhor caminho para a não marginalização do indivíduo.

## **AGRADECIMENTOS**

À minha mãe pela perseverança, luta e incentivo à educação, pois seria o melhor caminho para se tornar um homem de respeito, justo e sincero.

A toda a minha família, em especial tio Sergio, Tia Dela, Mano (Robson) e Jéssica, Maninho (Ruan), meu irmão e cunhada (Jaques e Raquel), Tia Lala, e com muito carinho à minha pequenina sobrinha Ana Beatriz, que me fez gostar de alguém novamente.

Ao Prof. Dr. Jaime Antonio de Almeida, orientador desta dissertação, por todo empenho, sabedoria, compreensão e, acima de tudo, paciência. Gostaria de ratificar a sua competência, participação com discussões, correções, revisões de materiais, sugestões que fizeram com que concluíssemos este trabalho.

À Profa. Dra. Mari Lucia Campos, co-orientadora desta dissertação, por sua ajuda, interesse e sábias idéias.

Aos coordenadores do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo pela oportunidade de crescimento, aprendizado, realização profissional e pessoal e pela confiança em mim depositada.

Aos demais professores do Programa de Pós-Graduação, pelas incansáveis horas de estudos e infinitas horas de provas.

Aos laboratoristas Henrique Doege e Fátima Bitencourt, pela ajuda diária.

Aos colegas de laboratório que me aturaram por mais de dois anos, Antonio Lunardi, Andrey Hoffer, Rudiard Muniz, Élen Ferreira, Catiline Schmitd.

Aos demais colegas de mestrado e doutorado, em especial Camila Hugen e Fabrício Tondello pela tentativa de formarmos uma banda (de rock).

À UDESC que me proporcionou condições financeiras através da bolsa PROMOP, bem como instalações, equipamentos e profissionais que contribuíram com muita importância para a conclusão de mais este estudo.

Ao Cavero's pelos momentos de descontração e terceiros tempos.

A todas as pessoas que, direta ou indiretamente, contribuíram para a execução dessa Dissertação de Mestrado.

O Homem depende do Solo, e bons Solos dependem do Homem e do uso que ele faz.

**ATLAS DE SANTA CATARINA**

## RESUMO

O presente trabalho objetivou estudar relações entre as características do solo e o material de origem numa topossequência de solos desenvolvidos de rochas efusivas intermediárias e básicas do Planalto Sul Catarinense, situados ao sul dos municípios de Lages e São Joaquim. Efetuou-se a descrição geral e morfológica de 7 (sete) perfis de solo e a coleta de amostras de todos os horizontes e frações sãs das rochas subjacentes. Realizaram-se análises físicas e químicas de caracterização básica dos perfis e análises mineralógicas da rocha e da fração argila por difratometria de raios X (DRX). Nas regiões de maiores altitudes, tanto em Lages como em São Joaquim, foram identificados Cambissolos Hápicos desenvolvidos de riodacitos e nas proximidades do Rio Lava – Tudo, Nitossolos Vermelhos desenvolvidos de basalto. Os valores médios de CTC (Capacidade de Troca de Cátions) e de V% (Saturação por Bases) do horizonte Bi dos Cambissolos foram de  $15,38 \text{ cmol}_c \cdot \text{kg}^{-1}$  e 3%, respectivamente, com pH baixo e níveis muito altos de Al trocáveis. Já os Nitossolos também apresentaram altos teores de Al trocável, porém as quantidades de Ca e Mg trocáveis são maiores, proporcionando um V% médio para horizonte Bt em torno de 13% e CTC a pH 7,0 de  $18 \text{ cmol}_c \cdot \text{kg}^{-1}$ . A composição mineralógica das rochas foi similar, composta de plagioclásios, piroxênios, anfibólios, biotita, olivinas e quartzo, sendo a proporção dos primeiros mais baixa e as de quartzo mais alta nos riodacitos do que nos basaltos. A mineralogia da fração argila foi igualmente similar entre os solos, sendo composta de caulinita de baixa cristalinidade dominante, seguida de argilominerais 2:1 com polímeros de hidróxi-Al entrecamadas, interestratificados caulinita-esmectita, gibbsita e quartzo/cristobalita. A fertilidade natural dos Cambissolos é muito baixa, devido ao alto intemperismo dos riodacitos no clima úmido, e a maior lixiviação favorecida pela paisagem menos acidentada do planalto. Já nos Nitossolos, a maior fertilidade natural pode ser atribuída ao material de origem de natureza mais básica (basalto) e à maior contribuição de material coluvial na formação destes solos.

**Palavras-chave:** Litossequência. Efusivas ácidas e básicas. Cambissolos. Planalto Catarinense. Mineralogia de argilas.



## ABSTRACT

This study investigated relationships between soil characteristics and the source material in a toposequence of soils developed from basic and intermediate effusive rocks of the Southern Plateau of Santa Catarina, located at south of Lages and São Joaquim counties. Seven soil profiles were morphological described and samples from all horizons and bedrock fractions were collected for analysis. Physical and chemical basic characterization was performed in these samples and mineralogical analysis of rock and in the clay fraction by X-ray diffraction (XRD). On higher altitudes, both in Lages and São Joaquim, Cambissolos Háplicos (Haplumbrept) derived from rhyodacite were identified, and nearby to Lava Tudo river, in lower altitudes, Nitossolos Vermelhos (Kandiudox) developed from basalt. The mean values of CEC (Cation Exchange Capacity) at pH 7 and V% (basis saturation) of the Cambissolos Bi horizon were  $15.38 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  and 3% respectively, with low pH and high levels of interchangeable Al. Nitossolos also have high contents of Al, but the amounts of Ca and Mg are larger, providing a average V% for the Bt horizon around 13% and CEC equal to  $18 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ . The mineralogical composition of rocks was similar, composed of plagioclase, pyroxene, amphibole, biotite, olivine and quartz, with plagioclases and pyroxenes proportion lower and quartz higher in the rhyodacite than in basalts. The clay mineralogy was also similar between the soils, being composed by low-crystallinity kaolinite dominant, followed by 2:1 clay minerals with polymers of hydroxy-Al interlayers, interstratified kaolinite-smectite, gibbsite and quartz/cristoballite. The natural fertility of Cambissolos is very low, due to high rhyodacites weathering in the humid climate and increased leaching favored by the rugged landscape of the plateau. Already in the Nitossolos, the greatest natural fertility can be attributed to the more basic parent material (basalt) and the largest contribution of colluvial material in the formation of these soils.

**Keywords:** Litho-sequence. Acidic and basic effusive. Cambisols. Plateau of Santa Catarina. Clay mineralogy.

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 01 - Mapa litoestratigráfico dos Membros Palmas e Chapecó da Formação Serra Geral. No detalhe, seções colunares representativas das associações litogeoquímicas observadas entre Jaguari-Santiago (1), Sobradinho-Soledade (2), Bento Gonçalves-Flores da Cunha (3), Bom Jesus-Vacaria (4), Machadinho-Anita Garibaldi (5), Clevelândia-Generoso (6), Rio Parapanema-Ourinhos (7).....21
- Figura 02 - Estrutura mineralógica da Clorita e argilominerais 2:1 com lâminas hidróxi entrecamadas (HE).....36
- Figura 03 - Localização dos perfis em imagem do servidor Google. Topossequência I: P1 – Cambissolo Háplico alítico típico; P2 - Cambissolo Háplico alítico típico; P3- Cambissolo Háplico alítico típico; P4 – Nitossolo Vermelho distroférico típico; Topossequência II: P6 – Nitossolo Vermelho alítico típico; P7 - Cambissolo Háplico alítico típico; P8 - Cambissolo Háplico alítico típico.....47
- Figura 04 - Perfil 1 Cambissolo Háplico alítico típico. (a) Foto da área; (b) Perfil do solo e; (c) Fragmento rocha subjacente.....52
- Figura 05 - Equação de regressão entre o teor de carbono orgânico e a CTC a pH7 convertidos para 100g de argila para o perfil 1.....55
- Figura 06 - Difratoograma do pó da rocha coletada da área do perfil 1 (Rochas intermediárias a ácidas).....56
- Figura 07 - Difratoogramas dos horizontes A1, B<sub>2</sub> e C do perfil 1 (Cambissolo Háplico Alítico típico). Amostras saturadas com potássio (K) a diferentes temperaturas (K, K100, K400 e K550°C); Amostras saturadas com magnésio representadas por Mg, e magnésio mais etileno glicol representadas por Mg Et; Amostra em pó dos respectivos horizontes (pó).....57

Figura 08 - Difratoograma do horizonte Bi2 do perfil 1, tratamento com NaOH 3,5M e posterior saturação com magnésio.....	58
Figura 09 - Perfil 2 Cambissolo Háplico Alumínico úmbrico. (a) Foto da área; (b) Perfil do solo e; (c) Fragmento rocha subjacente.....	59
Figura 10 - Equações de regressão entre o teor de carbono orgânico e a CTC a pH7 convertidos para 100g de argila para o perfil 2 – Cambissolo Háplico alítico.....	60
Figura 11 - Difratoograma do pó da rocha coletada da área do perfil 2 (Riodacito avermelhado).....	62
Figura 12 - Difratoogramas dos horizontes A1, Bi2 e C do perfil 2 (Cambissolo Háplico alítico típico). Amostras saturadas com potássio representadas pela k em adição a estes os tratamentos térmicos k100, k400 e k550°C; Amostras saturadas com magnésio representadas por Mg, e magnésio mais etileno glicol representadas por Mg Et; Amostra em pó dos respectivos horizontes. ....	63
Figura 13 - Difratoograma do horizonte Bi2 do perfil 2, tratamento com NaOH 3,5M e posterior saturação com magnésio.....	64
Figura 14 - Perfil 3 Cambissolo Húmico Distrófico típico. (a) Foto da área; (b) Perfil do solo e; (c) Fragmento rocha subjacente.....	65
Figura 15 - Equações de regressão entre o teor de carbono orgânico e a CTC a pH7 convertidos para 100g de argila para o perfil 3 Cambissolo Húmico Distrófico típico.....	66
Figura 16 - Difratoograma do pó da rocha coletada da área do perfil 3 (Riodacito rosado/avermelhado).....	68
Figura 17 - Difratoogramas dos horizontes A, Bi e C do perfil 3 (Cambissolo Háplico alítico típico). Amostras saturadas com potássio representadas pela k em adição a estes os tratamentos térmicos k100, k400 e k550°C; Amostras saturadas com magnésio representadas por Mg, e magnésio mais etileno glicol representadas por Mg Et; Amostra em pó dos respectivos horizontes.. ....	69
Figura 18 - Difratoograma do horizonte Bi2 do perfil 3, tratamento com NaOH 3,5M e posterior saturação com magnésio.....	70

Figura 19 - Perfil 4 Nitossolo Vermelho distroférico típico. (a) Foto da área; (b) Perfil do solo e; (c) Fragmento rocha subjacente.....	72
Figura 20 - Equações de regressão entre o teor de carbono orgânico e a CTC a pH7 convertidos para 100g de argila para o perfil 4.....	72
Figura 21 - Difratoograma do pó da rocha coletada da área do perfil 4 (Basalto andesito) .....	74
Figura 22 - Difratoogramas dos horizontes A1, Bt2 e C do perfil 4 (Nitossolo Vermelho distroférico típico). Amostras saturadas com potássio representadas pela k em adição a estes os tratamentos térmicos k100, k400 e k550°C; Amostras saturadas com magnésio representadas por Mg, e magnésio mais etileno glicol representadas por Mg Et; Amostra em pó dos respectivos horizontes. ....	76
Figura 23 - Figura 23 - Difratoograma do horizonte Bt2 do perfil 4, tratamento com NaOH 3,5M e posterior saturação com magnésio.....	76
Figura 24 - Perfil 6 Nitossolo Vermelho Alítico típico. (a) Foto da área; (b) Perfil do solo e; (c) Fragmento rocha subjacente.....	78
Figura 25 - Figura 25 - Equações de regressão entre o teor de carbono orgânico e a CTC a pH7 convertidos para 100g de argila para o perfil 6.....	80
Figura 26 - Difratoograma do pó da rocha coletada da área do perfil 6 (Basalto).....	81
Figura 27 - Difratoogramas dos horizontes Ap, Bt2 e Cr do perfil 6 (Nitossolo Vermelho alítico típico). Amostras saturadas com potássio representadas pela k em adição a estes os tratamentos térmicos k100, k400 e k550°C; Amostras saturadas com magnésio representadas por Mg, e magnésio mais etileno glicol representadas por Mg Et; Amostra em pó dos respectivos horizontes. ....	82
Figura 28 - Perfil 7 Cambissolo Háptico alítico típico. (a) Foto da área; (b) Perfil do solo e; (c) Fragmento rocha subjacente.....	83
Figura 29 - Equações de regressão entre o teor de carbono orgânico e a CTC a pH7 convertidos para 100g de argila para o perfil 7.....	85
Figura 30 - Difratoograma do pó da rocha coletada da área do perfil 7 (Riodacito avermelhado).....	86

Figura 31 - Difractogramas dos horizontes A1, Bi2 e Cr do perfil 7 (Cambissolo Háplico alítico típico). Amostras saturadas com potássio representadas pela k em adição a estes os tratamentos térmicos k100, k400 e k550°C; Amostras saturadas com magnésio representadas por Mg, e magnésio mais etileno glicol representadas por Mg Et; Amostra em pó dos respectivos horizontes. ....	87
Figura 32 - Difractograma do horizonte Bi2 do perfil 7, tratamento com NaOH 3,5M e posterior saturação com magnésio.....	88
Figura 33 - Figura 33 - Perfil 7 Cambissolo Háplico alítico típico. (a) Foto da área; (b) Perfil do solo e; (c) Fragmento rocha subjacente.....	90
Figura 34 - Figura 34 - Equações de regressão entre o teor de carbono orgânico e a CTC a pH7 convertidos para 100g de argila para o perfil 8.....	91
Figura 35 - Difractograma do pó da rocha coletada da área do perfil 8 (Riodacitos).....	91
Figura 36 - Difractogramas dos horizontes A1, Bi2 e C do perfil 8 (Cambissolo Háplico alítico típico). Amostras saturadas com potássio representadas pela k em adição a estes os tratamentos térmicos k100, k400 e k550°C; Amostras saturadas com magnésio representadas por Mg, e magnésio mais etileno glicol representadas por Mg Et; Amostra em pó dos respectivos horizontes. ....	92
Figura 37 - Difractograma do horizonte Bi2 do perfil 8, tratamento com NaOH 3,5M e posterior saturação com magnésio.....	93
Figura 38 - Correlação linear entre a atividade da argila pelo método gráfico dos horizontes B (Bi ou Bt, excluindo BC) e a área dos argilominerais 2:1 dos respectivos perfis.....	95
Figura 39 - Correlação linear entre a atividade da argila dos horizontes B (Bi ou Bt, excluindo BC), calculada pelo método gráfico e o Índice de Assimetria da caulinita dos respectivos perfis.....	95

## **LISTA DE QUADROS**

Quadro 01 - Minerais mais freqüentes nas amostras de rochas dos perfis analisados e seus principais reflexos na difratometria de raios X.....	22
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

## LISTA DE TABELAS

Tabela 01 - Caracterização química, física, carbono orgânico, Si, Al e Fe totais e relações moleculares das amostras de horizontes do perfil 1 – Cambissolo Háplico Alítico típico.....	54
Tabela 02 Caracterização química, física, carbono orgânico, Si, Al e Fe totais e relações moleculares das amostras de horizontes do perfil 2 – Cambissolo Háplico Alumínico úmbrico.....	61
Tabela 03 Caracterização química, física, carbono orgânico, Si, Al e Fe totais e relações moleculares das amostras de horizontes do perfil 3 – Cambissolo Húmico Distrófico típico.....	67
Tabela 04 Caracterização química, física, carbono orgânico, Si, Al e Fe totais e relações moleculares das amostras de horizontes do perfil 4 – Nitossolo Vermelho Distroférico típico.....	73
Tabela 05 Caracterização química, física, carbono orgânico, Si, Al e Fe totais e relações moleculares das amostras de horizontes do perfil 6 – Nitossolo Vermelho Alítico típico.....	79
Tabela 06 Caracterização química, física, carbono orgânico, Si, Al e Fe totais e relações moleculares das amostras de horizontes do perfil 7 – Cambissolo Háplico alítico típico.....	84
Tabela 07 Caracterização química, física, carbono orgânico, Si, Al e Fe totais e relações moleculares das amostras de horizontes do perfil 8 – Cambissolo Háplico alítico típico.....	89
Tabela 08 Comparativo do intervalo de variação da atividade da argila nos horizontes BA e B (Bi ou Bt), excluindo o BC e o C pelo método do cálculo numa coluna e na outra os valores estimados pelo método gráfico.....	94

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>18</b>
<b>1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>19</b>
1.1 FORMAÇÃO SERRA GERAL.....	19
1.2 CARACTERIZAÇÃO DO AMBIENTE DO PLANALTO SUL CATARINENSE.....	23
1.2.1 Geomorfologia .....	23
1.2.3 Hidrografia.....	23
1.2.4 Hipsometria.....	24
1.2.5 Clima .....	24
1.2.6 Vegetação .....	24
1.2.7 Solos.....	26
1.3 GÊNESE DE SOLOS DERIVADOS DE ROCHAS EFUSIVAS .....	26
1.4 MINERALOGIA DOS SOLOS DO PLANALTO SUL.....	30
1.4.1 Minerais primários .....	33
1.4.2 Minerais secundários.....	34
1.4.2.1 Caulinita.....	34
1.4.2.2 Clorita .....	35
1.4.2.3 Esmectita.....	37
1.4.2.4 Vermiculita .....	38
1.4.2.5 Argilominerais 2:1 com polímeros hidróxi entrecamadas (2:1 HE).....	39
1.4.2.6 Argilominerais Interestratificados.....	40
1.4.2.7 Óxidos.....	41
1.4.2.7.1 Óxidos de Ferro.....	41
1.4.2.7.1.1 Hematita.....	41
1.4.2.7.1.2 Goethita.....	42
1.4.2.7.2 Óxidos de Alumínio.....	42
1.5 DIFRAÇÃO DE RAIOS X.....	43
1.5.1 Pré-Tratamentos.....	43
1.5.2 Tipos de montagem da argila para leitura em DRX.....	44
1.5.3 Tratamento Químico Diferencial .....	44



<b>2 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>46</b>
2.1 AMOSTRAGEM .....	46
2.2 ANÁLISES FÍSICAS .....	48
2.3 ANÁLISES QUÍMICAS .....	48
2.4 ANÁLISES MINERALÓGICAS .....	50
<b>3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>52</b>
3.1. TOPOSSEQUÊNCIA I .....	52
3.1.1. Perfil 1 - Cambissolo Háptico Alítico típico .....	52
3.1.1.1 Mineralogia do Substrato do Perfil 1 – Riodacito acinzentado .....	55
3.1.1.2 Mineralogia da fração argila do Perfil 1 .....	56
3.1.2 Perfil 2 - Cambissolo Háptico Alumínico úmbrico .....	58
3.1.2.1 Mineralogia do Substrato do Perfil 2 – Riodacito avermelhado .....	62
3.1.2.2 Mineralogia da fração argila do Perfil 2 .....	62
3.1.3 Perfil 3 - Cambissolo Húmico Distrófico típico .....	64
3.1.3.1 Mineralogia do Substrato do Perfil 3 – Riodacito avermelhado .....	68
3.1.3.2 Mineralogia da fração argila do Perfil 3 .....	68
3.1.4 Perfil 4 - Nitossolo Vermelho distroférico típico .....	70
3.1.4.1 Mineralogia do Substrato do Perfil 4 – Basalto Andesito .....	74
3.1.4.2 Mineralogia da fração argila do Perfil 4 .....	75
3.2 TOPOSSEQUÊNCIA II .....	77
3.2.1 Perfil 6 - Nitossolo Vermelho Alítico típico .....	77
3.2.1.1 Mineralogia do Substrato do Perfil 6 – Basalto .....	80
3.2.1.2 Mineralogia da fração argila do Perfil 6 .....	81
3.2.2 Perfil 7 - Cambissolo Háptico alítico típico .....	82
3.2.2.1 Mineralogia do Substrato do Perfil 7 – Riodacito avermelhado .....	86
3.2.2.2 Mineralogia da fração argila do Perfil 7 .....	86
3.2.3 Perfil 8 - Cambissolo Háptico alítico típico .....	88
3.2.3.1 Mineralogia do Substrato do Perfil 8 – Riodacito acinzentado .....	91
3.2.3.2 Mineralogia da fração argila do Perfil 8 .....	91
3.3 ESTIMATIVA DA ATIVIDADE DA ARGILA SOB DIFERENTE MÉTODOS .....	93
3.4 INTERAÇÃO ENTRE ATIVIDADE DA ARGILA COM ATRIBUTOS MINERALÓGICOS .....	95
3.5 SÍNTESE DOS RESULTADOS .....	96

<b>4 CONCLUSÕES.....</b>	<b>99</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>101</b>
<b>APÊNDICE .....</b>	<b>110</b>

## INTRODUÇÃO

O derrame de lavas que deu origem as rochas da Formação Serra Geral na região Sul do Brasil ocorreu numa seqüência de eventos sucessivos entre 120 e 135 milhões de anos atrás, originando principalmente o basalto, mas também vários outros tipos de rochas, com variada composição química e textural, incluindo fenobasaltos, andesitos, riolitos, dacitos e outros (HORBACH et al., 1986). As rochas com composição mais ácida correspondem principalmente aos últimos derrames de lava, ocorrendo por este motivo nas regiões de altitudes mais elevadas, como nos platôs de São Joaquim, no Planalto Sul Catarinense e nos de Ponte Serrada e Campo Erê, no Centro-Norte do Estado (SANTA CATARINA, 1986).

O conhecimento existente acerca das características dos solos formados neste ambiente é bastante escasso, limitando-se a análises pontuais de alguns perfis de solo caracterizados durante Levantamentos de Reconhecimento de Solos realizados pelo extinto Projeto Radambrasil (KER et al., 1986) e pelo Centro Nacional de Pesquisa de Solos (POTTER et al., 2004). Destes trabalhos, constatou-se que os perfis derivados de derrames mais ácidos apresentam menores conteúdos de ferro total, são invariavelmente ácidos e pobres em bases, e apresentam mineralogia da fração argila composta de caulinita de melhor grau de cristalinidade do que os solos desenvolvidos de basalto (ALMEIDA et al., 1992). À margem direita do rio Lava Tudo, na região denominada de “Coxilha Rica”, do município de Lages, a vegetação é predominantemente campestre, com solos desenvolvidos de rochas efusivas de caráter intermediário, com altitudes variando entre 900 e 1300m. A superfície geomórfica nestes locais é composta de um platô mais conservado, cujo relevo transiciona de forma mais abrupta em direção ao rio Lava-Tudo. Já na margem esquerda do rio, no município de São Joaquim, a paisagem é mais dobrada, havendo um contraste menos acentuado da superfície em direção a calha do rio, e a vegetação é composta principalmente de campos com matas de araucária, que possivelmente cobria uma extensão bem maior no passado. O presente trabalho objetiva estudar as variações nas características do solo, do material de origem, ocorrentes desde a localidade de São Sebastião do Arvoredo (São Joaquim), até a localidade de Morrinhos (Coxilha Rica, Lages), passando pela calha do rio Lava-Tudo.

## 1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 1.1 FORMAÇÃO SERRA GERAL

A Formação Serra Geral cobre 51% do território catarinense (UFSM e SUDESUL, 1972; SANTA CATARINA, 1991), e se desenvolveu durante a era Mesozóica, entre o período Jurássico e o Cretáceo (entre 65 e 190 milhões de anos) (MENDES e PETRI, 1975). É constituída por uma seqüência vulcânica, compreendendo desde rochas de composição básica até rochas com elevado teor de sílica e baixos teores de ferro e magnésio. A seqüência básica ocupa a maior parte do planalto catarinense, sendo composta predominantemente por basaltos e andesitos. Rochas vulcânicas intermediárias e de caráter ácido são de ocorrência secundária. As de caráter intermediário ocorrem predominantemente nas proximidades de Chapecó e Irani, enquanto as de natureza ácida estão na região sudeste do planalto, sendo de coloração cinza, de textura afanítica e granulação fina. Entre estas estão os riolitos, riodacito-felsíticos e dacitos (POTTER et al., 2004).

Esta intensa atividade vulcânica ocorreu no Sul do Brasil, sob a forma de abertura de geoclases gigantes que extravasaram os derrames de lava da Bacia do Paraná. A fase de maior intensidade da atividade vulcânica ocorreu no Cretáceo Inferior (120-130 milhões de anos) (LEINZ e AMARAL, 1975; SARTORI e GOMES, 1980; CASTRO, 1994).

O vulcanismo não ocorreu homoganeamente em toda a Bacia do Paraná, pois há descrições de rochas tanto básicas como rochas com características mais ácidas (HORBACH et al., 1986) e possuem diferentes espessuras (MENDES e PETRI, 1975; SARTORI e GOMES, 1980). A espessura dos basaltos da Formação Serra Geral é de 650 metros ao longo da rodovia SC-438 e alcançam 750 metros de profundidade num poço perfurado no município de São Joaquim pela PETROBRAS (CASTRO, 1994). De acordo com vários levantamentos, foram assinalados de 24 a 32 derrames superpostos (LAGO, 1968; MENDES e PETRI, 1975; CASTRO, 1994).

As rochas efusivas da Bacia do Paraná segundo Lago (1968), representam uma área aproximada de 1.200.000 km<sup>2</sup> e um volume 650.000 km<sup>3</sup> (LEINZ e AMARAL, 1975; MENDES e PETRI, 1975). Porém, recentes estudos demonstraram que a área coberta por

rochas vulcânicas na Bacia do Paraná é de apenas 917.000 km<sup>2</sup> ( $\pm$  15.000 km<sup>2</sup>), e o volume das rochas extrusivas igual a 450.000 km<sup>3</sup> e que o volume referente aos corpos intrusivos do tipo *sill* é de pelo menos 112.000 km<sup>3</sup>. Além destas estimativas, o volume de rochas da Formação Serra Geral deve ser considerado como sendo superior a 600.000 km<sup>3</sup> e a Província de Basaltos de Platô Continental Paraná-Etendeka como um todo possui um volume de no mínimo 1.700.000 km<sup>3</sup> (FRANK, et al, 2009).

Desse volume total de lavas toleíticas registrado, cerca de 90% são de basalto e o restante de natureza fêlsica, andesitos e riolitos (PICCIRILLO et. al., 1987). O primeiro deles, majoritário, corresponde ao dos basaltos, que exibem predominantemente textura intergranular e suas variações (intersertal, hialofítica, etc.). Os outros dois são representados por rochas de natureza ácida, denominadas de Palmas e Chapecó (Figura 01), sendo, respectivamente, as primeiras maciças e afíricas, e as segundas porfíricas. A facilidade de reconhecimento a olho nu permitiu a sua cartografia com a definição de dois novos membros associados à Formação Geral, caracterizados pela presença dessas rochas-tipo intercaladas aos basaltos (NARDY, et al, 2008).

As rochas vulcânicas ácidas do tipo Palmas (ATP) são caracterizadas pela coloração cinza clara, às vezes adquirindo tonalidade vermelho-acastanhada, natureza afírica, textura hipo a holohialina com marcante aspecto sal-e-pimenta. Sua mineralogia essencial é de microfenocristais (granulação inferior a 0,2 mm) de plagioclásio (labradorita), que chega a constituir até 16% do volume total da rocha, 11% de augita, 3% de pigeonita, 5% de magnetita e menos de 1% de apatita. Esses cristais exibem muitas vezes estruturas de resfriamento rápido, desenvolvendo formas esqueléticas, aciculares, ocas ou terminações em forma de cúspide (NARDY, et al, 2008).

Segundo Nardy (2008) a geoquímica das rochas ácidas do tipo Palmas não é homogênea sendo reconhecidos dois grandes grupos, um deles de baixo Ti ( $\text{TiO}_2 \leq 0,87\%$ ) e outro de alto em Ti ( $\text{TiO}_2 \geq 0,90\%$ ), onde este último é representado por três subgrupos denominados Caxias do Sul ( $0,91\% < \text{TiO}_2 < 1,03\%$  e  $0,25\% < \text{P}_2\text{O}_5 < 0,28\%$ ), Anita Garibaldi ( $1,06\% < \text{TiO}_2 < 1,25\%$  e  $0,32\% < \text{P}_2\text{O}_5 < 0,36\%$ ) e Jacuí ( $1,05\% < \text{TiO}_2 < 1,16\%$  e  $0,28\% < \text{P}_2\text{O}_5 < 0,31\%$ ). O subgrupo Caxias do Sul engloba, além de outros três, o platô de São Joaquim e o platô Serra da Farofa (NARDY, et al, 2008).

Assim, nas áreas de platô às margens direita e esquerda do rio Lava Tudo, local de coleta dos Cambissolos estudados, os perfis seriam desenvolvidos de rochas ácidas do subgrupo Caxias. Por outro lado, em analogia ao mapa geológico digital do Rio Grande do Sul (GEOBANK, 2010) para as regiões de Vacaria e Bom Jesus (RS) as rochas ocorrentes na



As rochas do subgrupo fácies Paranapanema são caracterizadas por apresentarem basalto granular fino a médio, mesocrático com horizontes vesiculares preenchidos por quartzo (ametista), zeólita, celadonita e carbonatos (GEOBANK, 2010).

No basalto podemos encontrar principalmente plagioclásios cálcicos, como a augita, a pigeonita e a labradorita; feldspatos potássicos; piroxênios; olivinas e micas do tipo biotita. Em alguns casos a mica do tipo muscovita e o quartzo também estão presentes, porém de forma irregular; concreções de calcedônia, apatitas, calcitas e zeólitas também podem ser constituintes menores do basalto (ERNEST, 1996; KIRSCH, 1972). As concreções se formam na fase final de um derrame, onde o magma apresenta-se geralmente mais denso, quando resfria mais lentamente o que pode manter bolsões de ar e que dão origem aos geodos, e estes podem conter em seu interior, calcedônias, apatita, calcita, zeólita e/ou quartzo (ametista) (LEINZ e AMARAL, 1975; UBERTI, 1981).

As rochas vulcânicas mais ácidas do tipo Palmas apresentam em sua mineralogia essencial os plagioclásios (labradorita), augita, pigeonita, magnetita e apatita. (NARDY, et al, 2008). Segundo Clemente (1988) as rochas ácidas a intermediárias do membro Palmas apresentam na sua constituição mineralógica o predomínio de plagioclásios e piroxênios, além destes foi encontrado também a cristobalita que pode resistir aos processos de intemperismo e permanecer no solo.

Em trabalho análogo no Rio Grande do Sul, Pedron (2008) estudando neossolos formados a partir de rochas vulcânicas daquele Estado, também identificou piroxênios, plagioclásios, feldspatos potássicos, olivinas, biotita, muscovita, magnetita e quartzo como sendo os minerais mais abundantes naquelas rochas. Os minerais mais freqüentes e seus respectivos reflexos são apresentados no Quadro 3.

Quadro 01 - Minerais mais freqüentes nas amostras de rochas dos perfis analisados e seus principais reflexos na difratometria de raios X.

Minerais	Principais reflexos (nm)
Plagioclásios	0,651 - 0,377 - 0,364 - 0,315 - 0,301
Piroxênios	0,321 - 0,301 - 0,257
Ortoclásios (feldspatos-K)	0,405 - 0,299
Quartzo	0,426 - 0,334 - 0,246 - 0,182 - 0,154
Magnetita-maghemita	0,295 - 0,252 - 0,161 - 0,128
Muscovita	1,00 - 0,199 - 0,149
Anfibólio	0,321 - 0,270
Cristobalita	0,405 - 0,284 - 0,249 - 0,188
Anatásio	0,188 - 0,125
Biotita	0,203 - 0,167
Olivina	0,252 - 0,228
Clorita	1,44 - 0,71

Fonte: BRINDLEY & BROWN, 1980; RESENDE et al., 2005.

## 1.2 CARACTERIZAÇÃO DO AMBIENTE DO PLANALTO SUL CATARINENSE

Esta extensa região do território catarinense é caracterizada por muitos municípios de estrutura fundiária composta por pequenas, médias e grandes propriedades rurais (IBGE, 2010), nas quais a principal atividade econômica é agricultura, pecuária e reflorestamentos (ICEPA, 2009).

Os estudos do ambiente e dos solos derivados de rochas efusivas na região do Planalto Sul de Santa Catarina são escassos, entretanto já foram realizados alguns trabalhos pontuais de caracterização de perfis de solo caracterizados durante Levantamento de Reconhecimento de Solos realizados pelo extinto Projeto Radambrasil (KER et al., 1986) e pelo Centro Nacional de Pesquisa de Solos (POTTER et al., 2004), além do Levantamento das Pastagens Nativas do Planalto Catarinense realizado por Gomes et al. (1989), e mais recentemente, por ocasião dos trabalhos de campo conduzidos para caracterização do Bioma Campos de Altitude do Sul do Brasil (BOLDRINI, 2007).

Além da influência dos fatores ambientais, o enfoque geológico na condução deste estudo foi considerado de importância relevante na diferenciação dos solos. Portanto a caracterização geral do ambiente, da mineralogia e dos fatores de formação do solo serviu de suporte para a construção do referido estudo.

### 1.2.1 Geomorfologia

O Planalto Catarinense é caracterizado pela presença de rochas vulcânicas basálticas e ácidas, cuja energia de relevo é moderada e tabuliforme. Nas regiões de rochas vulcânicas ácidas, o relevo tabuliforme cede lugar a formas mais arredondadas. Aos patamares se associam as maiores espessuras de solo argiloso e, às escarpas, os solos rasos e afloramentos rochosos. Duas unidades geomorfológicas ocorrem na região do Planalto Sul Catarinense: a Unidade Geomorfológica Planalto dos Campos Gerais, que se apresenta distribuída em blocos de relevos isolados pela Unidade Geomorfológica Planalto Dissecado Rio Iguaçu/Rio Uruguai (SANTA CATARINA, 1986).

### 1.2.3 Hidrografia

A hidrografia do Planalto Sul de Santa Catarina é representada pelo sistema integrado da vertente do interior (bacia do Prata), comandado pelas bacias dos rios Paraná e Uruguai. A Serra Geral é o grande divisor de águas que drenam para os rios Uruguai e Iguaçu, e das que se dirigem para o litoral catarinense (SANTA CATARINA, 1986).



O sistema de drenagem da vertente do interior ocupa uma área aproximada de 60.185 km<sup>2</sup>, equivalente a 63% do território catarinense. Neste sistema se destaca a bacia do rio Uruguai com 49.573 km<sup>2</sup>. Esta bacia apresenta afluentes importantes como os rios Peperi-Guaçu, das Antas, Chapecó, Irani, Jacutinga, do Peixe, Canoas e Pelotas (SANTA CATARINA, 1986). A região objeto do presente estudo é influenciada pela bacia do rio Pelotas, cujos dois principais afluentes de sua margem direita são os rios Lava-Tudo e Pelotinhas.

#### 1.2.4 Hipsometria

A faixa de 800 – 1.200 metros é a de maior ocorrência no Estado, correspondendo a grande parte do planalto Ocidental. A maior parte da Serra Geral, que não passa de borda de planalto ou escarpa, encontra-se nesta faixa, delimitando o planalto Ocidental. A faixa de 1.200 a 1.600 metros constitui as maiores altitudes da serra do Chapecó, da Taquara, do Espigão, da Pedra Branca, da Farofa, da Anta Gorda, do Mar e Geral. O trecho meridional da Serra Geral é a única região do Estado onde as altitudes ultrapassam a cota de 1.600 metros (SANTA CATARINA, 1986). Na área estudada, as altitudes situam-se em torno de 1000-1200m na porção Planaltina e entre 800 a 1000m na calha do rio Lava-Tudo e adjacências.

#### 1.2.5 Clima

No Planalto Ocidental a média do mês mais frio pode baixar a 10°C, quando nas noites de inverno a temperatura pode atingir 10°C negativos, o que ocasiona geada e nevascas esporádicas. (SANTA CATARINA, 1986). O índice pluviométrico anual na região de Lages e São Joaquim, gira em torno de 1.700 mm (SANTA CATARINA, 1986).

De acordo com a classificação climática Köppen, devido à altitude, o subtipo é o Cfb (clima subtropical com verões brandos), cujo mês mais quente tem temperatura média inferior a 22°C, encontrado nas áreas mais elevadas do Planalto de Canoinhas e Ocidental (SANTA CATARINA, 1986).

#### 1.2.6 Vegetação

Os campos do Planalto (Campos de Altitude) aparecem como áreas isoladas, entremeadas à Mata de Araucária e coincidem com altitudes entre 900 e 1400 metros.

Predominam gramíneas de baixo e médio porte, além de ciperáceas, verbenáceas, leguminosas e compostas (BOLDRINI, 2007; SANTA CATARINA, 1986).

Os Campos Subtropicais ocorrem predominantemente na área do Planalto Catarinense, formando manchas em meio ao domínio da mata de araucária. Merecem ser citados também os campos de Mafra, Abelardo Luz, Campo Alegre e Campo Erê. Esta formação ocorre normalmente acima de 700 metros de altitude, sob condições de um clima mesotérmico úmido, com precipitações entre 1.600 e 2.000mm, e temperaturas anuais entre 14 e 16 °C. São agrupamentos herbáceos formados por gramíneas, ciperáceas, compostas, leguminosas e verbenáceas, dando-lhes um aspecto de campos limpos. Este tipo de vegetação está normalmente associado à ocorrência de capões e florestas de galeria. Entre as gramíneas mais comuns neste tipo de vegetação têm-se o capim-forquilha (*Paspalum notatum*), capim caninha (*Andropogon lateralis*), capim-pluma (*Andropogon macrothrix*) e o capim barba-de-bode (*Aristida pallens*). Sob a vegetação predominam solos das classes Cambissolos, Neossolos Litólicos e Nitossolos Brunos (SANTA CATARINA, 1986), todos com horizonte A húmico ou proeminente.

A Mata de Araucária (Floresta Ombrófila Mista) transpõe as serras costeiras estendendo-se pelo Planalto Catarinense. É caracterizada pela coexistência da flora tropical e temperada, e apresenta a *Araucária angustifolia* como principal espécie endêmica, possui ainda extrato arbóreo e arbustivo, presença de epífitas e lianas, situando-se acima dos 500/600 metros de altitude (LAGO, 1968).

As Florestas Subtropicais ocorrem em geral em altitudes superiores a 500m, onde as chuvas são bem distribuídas, variando o total anual de precipitações de 1.400 a 2.400mm, a temperatura média anual de 14 a 20 °C e a frequência média de geadas de 10 a 25 dias/ano. São mais representativas nas microrregiões Colonial do Rio do Peixe, Colonial do Oeste Catarinense, Planalto de Canoinhas e, em menor escala, nos Campos de Lages e Campos de Curitibanos. Caracterizam-se por serem mais resistentes ao frio, pela coloração mais clara e por serem mais ralas e menos exuberantes em relação às florestas tropicais. O pinheiro (*Araucaria angustifolia*) sobressai pelo seu grande porte, sendo comum também no estrato emergente a presença da imbuia (*Ocotea porosa*), do angico-vermelho (*Parapiptadenia rigida*), da canela-lageana (*Ocotea pulchella*) e da bracatinga (*Mimosa scabrella*), entre outras. A erva-mate (*Ilex paraguariensis*) é uma espécie muito comum, situando-se já num estrato inferior. Dentro de Florestas Subtropicais a Floresta Subtropical Altimontana é uma vegetação de ciclo contínuo, caracterizada pelo fato de não perder as folhas, permanecendo verde ao longo de todo o ano. No seu interior ocorre denso matagal formado por um

complexo entrelaçado de bambus, cipós, arbustos e árvores jovens. Caracteriza-se também pela coloração verde um tanto acinzentada e pela abundância de plantas epífitas. Ocorre nas regiões das serras, em altitudes superiores a 1.000 metros, estando concentrada principalmente nas imediações de São Joaquim, Bom Jardim da Serra, Urubici, Bom Retiro e, subsidiariamente, nas proximidades de Calmon na microrregião Planalto de Canoinhas. Nesses locais a nebulosidade é uma constante por longos períodos do dia e praticamente durante todo o ano, determinando condições de extrema umidade ambiental.

### 1.2.7 Solos

As principais informações disponíveis sobre os solos de Santa Catarina estão contidas no Levantamento de Reconhecimento dos Solos do Estado de Santa Catarina (UFSC e SUDESUL, 1973), no Atlas de Santa Catarina (SANTA CATARINA, 1986), no Levantamento de Recursos Naturais efetuado pelo extinto Projeto Radambrasil (IBGE, 2010), e Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento n°. 46, da EMBRAPA (POTTER et al., 2004).

As rochas efusivas básicas são responsáveis pela formação de extensas áreas de solos argilosos, arroxeados, avermelhados ou brunados, com altos teores de  $Fe_2O_3$ . Entre estes predominam o Latossolo e Nitossolo. Já as rochas efusivas intermediárias e ácidas deram origem a solos argilosos ou de textura média, alguns com gradiente textural bem acentuado, com teores variáveis de  $Fe_2O_3$ , em geral inferior a 18% destacando-se os Cambissolos e Neossolos Litólicos (POTTER et al., 2004).

## 1.3 GÊNESE DE SOLOS DERIVADOS DE ROCHAS EFUSIVAS

No início da era Mesozóica, no período Triássico (225 a 190 milhões de anos atrás) todo o centro-sul do continente sul-americano era ocupado por uma grande área desértica (LEINZ e AMARAL, 1985; CASTRO, 1994), que deu origem, posteriormente, aos arenitos da Formação Botucatu. A partir do avanço da era Mesozóica, nos períodos Cretáceo e Jurássico, houve intensa atividade vulcânica na região (entre 190 e 65 milhões de anos) (MENDES e PETRI, 1975; CASTRO, 1994). A atividade vulcânica ocorreu na forma de imensos e sucessivos derrames de lavas, na forma de aberturas de geoclases gigantescas, originando derrames de diferentes espessuras. Os derrames ocorreram na forma de “trapps” (escadas) (LAGO, 1968; LEINZ e AMARAL, 1985), e na sucessão destes está presente o zoneamento da base para o topo, em cada, derrame provocado pelas diferentes condições de

resfriamento do magma, atuando sobre a constituição textural e mineralógica de cada derrame (LEINZ e AMARAL, 1975). Isto originou uma sucessão de rochas com diferentes graus de resistência á alteração (SARTORI e GOMES, 1980).

A formação da unidade geomorfológica Planalto Dissecado Rio Iguaçu/Rio Uruguai, consistindo num planalto com superfícies em patamares, típica das áreas de derrames basálticos foi moldado pela decomposição seletiva da rocha subjacente, associada á dissecação pela erosão, segundo Leinz e Amaral (1985), Sartori e Gomes (1980) e Uberti (1984).

Entretanto, Uberti (1984) e Bigarella et al.(1965) tendo por base trabalhos de Quinn (1957) e Butler (1959), consideram que a partir do estabelecimento da paisagem geológica, o desenvolvimento do relevo em degraus ou patamares se deve a interação dos fatores grau de resistência a alteração da rocha subjacente e processos geomórficos condicionados pelo clima. O desenvolvimento do relevo ocorrido nos últimos 70 mil anos teve também influência de glaciações e interglaciações. Durante as interglaciações, ocorreram eventos climáticos extremos, como períodos extremamente secos, alternados com épocas muito úmidas, além de frio intenso e fenômenos de acomodação do terreno como terremotos (QUINN, 1957).

A conclusão de Bigarella et al. (1965) para a formação das paisagens do Sul do Brasil adveio da análise da textura e da observação de sedimentos do basalto, através dos quais pode pressupor a influência de dois tipos climáticos distintos, um úmido e outro árido ou semi-árido, que predominaram a região dos derrames basálticos. Com a estabilização da paisagem, no Pleistoceno e em todo o Holoceno, deu-se início a formação e o desenvolvimento dos solos, que passaram por eventos climáticos distintos nos últimos 30.000 anos, como descreveu Ledru (1993), confirmando a hipótese inicial de Bigarella et al. (1965), das oscilações climáticas durante a pedogênese dos solos do Estado de Santa Catarina.

A pedogênese proposta por Bigarella, et al. (1965) leva em conta duas situações climáticas onde, durante a predominância do clima árido ou semi-árido a vegetação se torna escassa, com ausência ou muito baixa cobertura superficial, promovendo um aumento da intensidade do intemperismo físico. As precipitações pluviométricas, intensas e ocasionais, dissecam a paisagem principalmente pela erosão dos produtos do intemperismo, assoreando os vales. Este ciclo é caracterizado pela intensa instabilidade da paisagem.

Em clima úmido ocorre exuberante desenvolvimento vegetal e intenso intemperismo químico, permitindo o aprofundamento dos perfis de solo, favorecido pela proteção da cobertura vegetal e da drenagem vertical ao longo do perfil ser eficiente permitindo um menor escoamento superficial na forma de enxurrada, e um aumento na infiltração de água no solo.

A característica predominante neste período é a estabilidade da paisagem e a formação e aprofundamento dos perfis de solo.

Ledru (1993), estudando o Salitre de Minas Gerais, definiu as épocas das mudanças climáticas para o Sudeste brasileiro, confirmando períodos muito secos, com pouca vegetação e/ou predominância de gramíneas e vegetação rasteira, e períodos frios e úmidos com predominância de coníferas como a floresta de araucária, e quente e úmido com ausência de araucária e presença de vegetação mesofítica semidecídua. As épocas de distinção climática, de acordo com estudo palinológico, são separadas em oito. A primeira entre 30.000 e 17.000 anos atrás, teria um clima úmido com períodos de frio curtos, mas bem definidos – com predominância da floresta de Igapó; a segunda entre 17.000 e 13.000 anos atrás, ainda com predominância da floresta de Igapó, e plantas indicando que o clima estava mudando, possuindo curtos períodos de seca e média de temperaturas no inverno de menos de 15°C. A terceira época ocorreu entre 13.000 e 10.500 anos atrás, com aumento do período das baixas temperaturas, apresentando vegetativamente a mistura de floresta de Igapó com floresta de Araucária. A quarta época entre 10.500 e 9.000 anos atrás, apresenta-se de forma desfavorável ao desenvolvimento de florestas devido a invernos prolongados, secos e muito frio. A quinta época foi dividida em período A e B, o primeiro entre 9.200 e 8.000 anos, com predomínio de floresta de Araucária, com clima frio e úmido, sem estação seca e com inverno com temperaturas abaixo dos 10°C; o período B, possuía um clima úmido e quente, com altas temperaturas, uma estação seca durante cerca de dois meses, uma estação fria com temperaturas entre 10- 15°C predominando a floresta mesofítica semidecídua. O sexto período, entre 5.500 e 4.500 anos apresentava um forte estresse hídrico, com pelo menos 5 meses de estação seca. A última época, entre 4.500 e 3.000 anos, possuía vegetação predominantemente de floresta mesofítica semidecídua, indicando condições climáticas de uma estação curta de seca (1 a 2 meses) e inverno com temperaturas médias entre 10 e 15°C. Este eventos climáticos descritos dos últimos 30.000 anos, coincidem com as hipóteses de intensa movimentação coluvial e aluvial descrita por Bigarella et al. (1965).

De acordo com estudos em registros polínicos no Rio Grande do Sul e Santa Catarina o clima seria mais frio e seco até 10.000 anos atrás, quente e seco de 10.000 a 8.000 até 4.000 a 3.000 anos passados e mais frio e úmido no período de 3.000 anos até 1.000 anos atrás e, finalmente, mais quente e úmido no último milênio (BEHLING, 1995; BEHLING et al, 2002, BEHLING, et al, 2005).

A importância do tipo de vegetação é diretamente relacionada à taxa de formação do solo que pode ser influenciada tanto pelo tipo de cobertura, definido o predomínio de

percolação vertical ou horizontal de água (ENSWARAN e DE CONNICK, 1971), como pela população microbiológica que tenha afinidade com determinadas espécies vegetais que podem intensificar o intemperismo químico ao longo de muitos anos com seus compostos exsudados (ROBERT e BERTHELIN, 1986) tanto ácidos quanto básicos e agentes de agregação que influem na estrutura do solo (EMERSON, et al, 1986).

As rochas ao se decompor, fornecem o material do qual os solos se originarão. Ao se examinar um perfil de solo formado diretamente do substrato rochoso a ele subjacente geralmente assume-se dizer que a rocha subjacente constitui o material de origem deste solo. Outro caso muito comum em regiões tropicais e subtropicais ocorre quando um solo anteriormente formado em determinado local é removido e depositado em outro. Contudo diferentes materiais de origem de um solo podem ter a mesma rocha como fonte primária, sendo a linha de pedras (seixos) o indicativo de uma descontinuidade litológica (OLIVEIRA, 2005).

A formação dos solos no Planalto foi influenciada pela alternância de fases de estabilidade e instabilidade, conforme estudos palinológicos e paleoclimáticos recentes desenvolvidos por Behling (2002) e segundo Uberti (1984) originam quatro zonas distintas na paisagem: zona de remoção (erosional, que resulta na formação de solos jovens), zona de adição (solos deposicionais), zonas de alternância (onde erosão e deposição de alternam) e zona de estabilidade (solos desenvolvidos).

Rhue e Walker (1968) propuseram as seguintes denominações para os vários segmentos da paisagem: o topo ou interflúvio, ombro, encosta, pedimento e várzea. O interflúvio é a porção convexa, relativamente plana, localizando-se no ponto mais alto da paisagem; quando relativamente extenso, apresenta maior fluxo vertical de água no perfil, sendo considerado o segmento mais estável da paisagem, ou zona de estabilidade, apresentando os solos mais desenvolvidos. O ombro é o segmento da paisagem que apresenta a maior taxa de declive, uma zona essencialmente de remoção; o afloramento de rochas, ou solos rasos, é comum. A encosta é o segmento onde a vegetação é o principal responsável pela manutenção de solos mais profundos, possui declives fortes e pode ser dividida em três partes (terço superior, médio e inferior), as quais condicionam variações nas características do solo, em relação a profundidade do perfil, características morfológicas e propriedades físicas e químicas, devido principalmente a se tratar de uma zona de alternância, onde os movimentos de massa podem ser predominantes. O pedimento é o segmento essencialmente deposicional, recebendo material alóctone das demais porções do relevo; os solos são heterogêneos devido a contribuição de material provindo de cotas altimétricas superiores a do perfil do solo. A

planície aluvial, quando presente, é de pequena extensão, e constitui um segmento caracterizado por ser uma zona de adição. Os solos que recebem adições de materiais aluviais e coluviais, juntamente com estes materiais residuais, apresentam características intrínsecas, muitas vezes descontinuidades ou heterogeneidade quando considerado todo o segmento

#### 1.4 MINERALOGIA DOS SOLOS DO PLANALTO SUL

Os sucessivos derrames da Formação Serra Geral no Planalto Sul Catarinense são constituídos de basalto, efusivas intermediárias e ácidas.

A rocha, submetida à ação dos agentes do intemperismo, constitui a matriz dos solos (WAMBEKE, 1962; MELFI e PEDRO, 1978). Os constituintes do solo dependem primeiramente das características da rocha matriz e/ou do sedimento que lhe deu origem (físicas e constituição mineralógica) e dos agentes de intemperismo (água, temperatura e organismos). Portanto, a formação do solo é diretamente dependente de seu grau de evolução e intensidade de intemperismo a que foi submetido (WAMBEKE, 1962), que é relação direta da percolação horizontal e vertical da água, intensidade, periodicidade e fluxo de pluviosidade, condições do meio, tais como pH de abrasão, concentração de íons (MELFI e PEDRO, 1978) e das temperaturas ao longo do tempo. Todos os fatores em conjunto imprimem as características intrínsecas de uma unidade de solo específica. O solo é resultado das ações acima citadas apresentando características químicas, físicas e mineralógicas específicas (ESWARAN e DE CONINCK, 1971; MELFI e PEDRO, 1977; MELFI e PEDRO, 1978).

Nas regiões tropicais e subtropicais, após a ação do intemperismo físico, promovendo a fragmentação da rocha, o intemperismo químico age com maior intensidade, e o mecanismo essencial de alteração é a hidrólise (MELFI e PEDRO, 1977). De acordo com a intensidade da hidrólise e da lixiviação ocorrida, didaticamente podemos dividi-la em três graus: menos intensa ou **bissialitização**, mediana ou **monossialitização** e muito intensa ou **alitização**.

Quando ocorre a hidrólise parcial, e a lixiviação é fraca, a dessilicação é limitada, mantendo silício suficiente no sistema para a formação de argilominerais 2:1, nos quais parte dos cátions permanece no sistema, ocupando as entrecamadas do argilomineral, a este processo denomina-se bissialitização ou margalitização (MELFI e PEDRO, 1977; KAMPF e CURI, 2003; RESENDE et al, 2002). Ocorrendo hidrólise parcial com lixiviação mais intensa permitindo uma dessilicação moderada, o silício remanescente formará argilominerais do tipo 1:1, processo este denominado de monossialitização ou caulinitização (MELFI e PEDRO,

1977; KAMPF e CURI, 2003 ; RESENDE et al, 2002). Sendo o ambiente de formação do solo com fluxo de percolação vertical interno ocorre uma lixiviação muito forte permitindo a dessilicação completa, mantendo no sistema somente o alumínio que precipita na forma de óxidos, posteriormente cristalizando-se na forma de gibbsita e, este processo de perda drástica de cátions básicos é denominado alitização (MELFI e PEDRO, 1977; KAMPF e CURI, 2003; RESENDE et al, 2002).

No que se refere aos solos desenvolvidos de rochas básicas e intermediárias da Formação Serra Geral no Planalto Sul Catarinense onde o clima é subtropical, em geral, são fortemente dessaturados e ácidos, os quais segundo Melfi e Pedro (1977), resultariam de uma hidrólise ácida, fator intrínseco dos minerais de solo, e não de uma acidólise que necessitaria de um ataque ácido provocado.

Em condições tropicais úmidas, regiões de elevada pluviosidade e boa drenagem os plagioclásios apresentam um tipo extremo de transformação. Tal alteração do plagioclásio pode ser diretamente para gibbsita, isto é, dependendo do microambiente, se a drenagem for muito intensa (DELVIGNE, 1965; CLEMENTE, 1988).

Clemente (1988) realizou estudos dos produtos de alteração e solos desenvolvidos sobre as rochas vulcânicas ácidas na região de Guarapuava e Palmas, dando ênfase à evolução mineralógica dos plagioclásios, piroxênios e material vítreo. De acordo com o autor, a alteração dos minerais das rochas ácidas coincide com a alteração das rochas vulcânicas básicas. Numa sucessão de fases, em ordem decrescente, tem-se: olivina > plagioclásio > piroxênio > magnetita > feldspato alcalino > quartzo.

Quanto aos resultados obtidos por aquele autor, pode-se destacar que, em relação dos plagioclásios, estes seguem três linhas evolutivas principais, ou seja: plagioclásio -> gibbsita; plagioclásio -> geles -> gibbsita; plagioclásio -> geles -> gibbsita + caulinita.

Em relação aos piroxênios, estes apresentam também 3 linhas evolutivas principais: piroxênio -> goethita; piroxênio -> esmectita e goethita; piroxênio -> goethita + preenchimento de suas estruturas porosas (“boxworks”) por Al, formando a gibbsita. Por último, a magnetita, onde os principais produtos de sua alteração equivalem a hematita e a goethita (TRUFFI, 2002).

A rapidez com que as bases e a sílica são eliminadas dos níveis de alteração determina o aparecimento da gibbsita (DELVIGNE, 1965). Se a exportação da sílica no ambiente de alteração é mais lento, uma parte da sílica se mantém combinada com o alumínio, causando o retardamento da destruição da estrutura, gerando o aparecimento de uma fase amorfa +



caulinita. Esta fase amorfa + caulinita se mantém até a eliminação total do silício, quando se dá o aparecimento dos primeiros cristais de hidróxido de alumínio (CLEMENTE, 2001).

Em análises da mineralogia de saprólitos de basaltos no Estado De Santa Catarina, Corrêa (2003) verificou que as amostras são constituídas essencialmente de caulinita, óxidos e ferro como a maghemita, a goethita e a hematita. Também foram encontrados indícios de pequena quantidade de minerais primários como os plagioclásios, piroxênios e quartzos. Tal quantidade de minerais primários indica uma rápida transformação desses para minerais secundários do tipo 1:1. Devido ao ambiente de alta lixiviação de Si, os argilominerais do tipo 2:1 formados apresentam lâminas de hidroxí-alumínio entre camadas.

Estudos de alteração de rochas vulcânicas ácidas e básicas da Formação Serra Geral foram efetuados por Menegotto & Gasparetto (1987) na região do município de Santa Maria, RS. Esses autores observaram que a alteração desenvolve-se de uma forma concêntrica e outra em perfis verticais. A alteração concêntrica ocorre nas rochas básicas e ácidas, sendo condicionada à existência de uma estrutura maciça, com pouco diaclasamento. A alteração vertical ocorre onde a rocha apresenta intenso diaclasamento ou intensa estrutura vesicular.

Os mesmos autores notaram a alteração intempélica dos minerais, na seguinte ordem crescente de estabilidade: carbonato = piroxênio = vidro < plagioclásio < feldspato alcalino < magnetita < quartzo. Entre os principais produtos de alteração do basalto destacam-se a esmectita, os geles amorfos e subordinadamente, a goethita. Entre as rochas vulcânicas ácidas, a alteração do vitrófiro originou esmectita em elevada proporção, enquanto o riólito formou geles amorfos, caulinita, illita e menores proporções de esmectita (Menegotto & Gasparetto, 1987).

De acordo com estudos sobre a caracterização química e mineralógica de saprólitos e Neossolos derivados de rochas vulcânicas da Bacia do Paraná no Rio Grande do Sul, Pedron (2008) encontrou reflexos do quartzo mais intensos nas rochas ácidas, enquanto os reflexos do piroxênio, olivina, magnetita-maghemita e plagioclásios foram mais intensos nas rochas básicas. O mesmo autor identificou nas amostras de saprólito, minerais primários e secundários, sendo os teores de caulinita mais elevados em alguns perfis de solo, e em outros o da gibbsita, sugerindo que no saprólito encontrado em ambiente de alteração intensa houve predomínio de alteração direta de minerais primários como plagioclásios e feldspatos para gibbsita. Em outros perfis de solo ocorreram minerais 2:1, provavelmente esmectita HE, nesses mesmos perfis foram verificados indícios de interstratificado esmectita/caulinita.

No Sul do Brasil alguns trabalhos que elucidam melhor os processos de formação do solo e tipos de minerais encontrados em solos derivados de rochas básicas e intermediárias da

Formação Serra Geral, onde Potter e Kampf, (1981), Curi et al (1984), Almeida et al (1992), Kampf (1995), Kampf et al (1995), Kampf e Shwertmann (1995) encontraram caulinita e esmectita com polímeros de hidróxi-Al entrecamadas e interestratificado caulinita/esmectita.

#### 1.4.1 Minerais primários

Os minerais primários são aqueles herdados da rocha matriz e/ou do sedimento que deu origem ao solo. Geralmente se encontram nas frações grosseiras do solo, e sua presença pode indicar reserva de nutrientes a longo prazo (SCHULZE, 1971; ALLEN e HAJEK, 1989), além de indicar o grau de alteração sofrido pela rocha para a formação do solo (MELFI e PEDRO, 1977; MELFI e PEDRO, 1978).

O basalto é uma rocha homogênea, que possui pequena variação na proporção de seus constituintes minerais, os minerais presentes são feldspatos, plagioclásios, piroxênios. Micas, quartzo e olivinas, ocorrem em pequena proporção, e eventualmente há presença de anfíblio representado por hornblenda.

Os feldspatos calco-sódicos ou plagioclásios são aluminossilicatos, do tipo tectossilicatos, e são fontes importantes de cálcio e sódio para o solo, possuem uma ampla variação que vai desde a albita (essencialmente sódica) até a anortita (essencialmente cálcica), sendo encontradas variações destes tipos como a labradorita, muito comum em solos derivados de basalto (ALLEN e HAJEK, 1989; HUANG, 1989).

Os piroxênios são minerais de coloração verde escura a preta, do tipo inossilicatos, cujo principal representante é a augita, fonte importante de cálcio, magnésio e elementos traços (ALLEN e HAJEK, 1989; HUANG, 1989).

As olivinas são minerais de coloração verde oliva, do tipo nesossilicatos, sendo minerais de fácil intemperismo e importante fonte de magnésio, ferro e elementos traços. As olivinas são representadas por uma série de minerais que vai da forsterita (essencialmente magnésio) até fayalita (essencialmente ferro) (ALLEN e HAJEK, 1989; HUANG, 1989).

As micas são aluminossilicatos do grupo filossilicatos, sendo minerais de camada do tipo 2:1, não hidratados, importante fonte de potássio para o solo. A mica encontrada no basalto é a biotita, de coloração escura, devido ao alto conteúdo de ferro em relação às demais micas, e à celadonita. A biotita é trioctaedral, sendo suscetível ao intemperismo, tornando-a praticamente ausente nos solos mais intemperizados (ALLEN e HAJEK, 1989; FANNING et al, 1989).

O quartzo é um exemplo de mineral primário altamente resistente ao intemperismo, dada a ausência de substituições isomórficas durante sua formação, ao caráter forte das ligações que unem seus átomos – covalência, conferindo ao mineral um balanço de cargas nulo e uma alta estabilidade. É inerte, ou quimicamente inativo. O quartzo é um mineral que ocorre na maioria dos solos, frequentemente constituído entre 50 e 95% da fração areia e forma o chamado esqueleto do solo, diluindo a intensa atividade dos argilominerais e da matéria orgânica, possui área superficial específica muito baixa de somente 2 a 3 m<sup>2</sup> g<sup>-1</sup> (TAN, 1982; ALMEIDA, 1999). É raro o solo que não apresente quartzo, é o componente mais comum da fração areia e silte, e também na argila grossa. É muito estável podendo ser submetido à intensa dissolução, especialmente quando os grãos são muito pequenos, portanto o teor de quartzo num solo é diretamente relacionado a quantidade que havia no material de origem e ao grau de intemperismo do solo (DRESS et al 1989; ALLEN e HAJEK, 1989).

No entanto o basalto apresenta pouquíssima quantidade deste mineral na sua composição e desse modo os solos derivados desta rocha, em geral, são pobres em quartzo. O quartzo remanescente da rocha matriz, no caso do basalto, por características intrínsecas do mineral e do intemperismo ao qual foi submetido, concentra-se na fração areia onde é predominante, principalmente em solos mais desenvolvidos.

#### 1.4.2 Minerais secundários

##### 1.4.2.1 Caulinita

É um mineral do grupo dos filossilicatos, formado por uma camada constituída de uma lâmina de tetraedro de silício e uma de octaedro de alumínio, ou do tipo 1:1, dioctaedral, com cerca de dois terços de seus octaedros ocupados pelo alumínio, possuindo pouquíssima substituição isomórfica. Não é expansivo, possuindo o espaçamento basal fixo de 7,2 Å, fato pelo qual não há íons nem água nas suas entrecamadas. Sua fórmula estrutural mínima é Si<sub>4</sub>Al<sub>4</sub>O<sub>10</sub>. Possui uma pequena área superficial específica, em torno de 10 a 20 m<sup>2</sup> g<sup>-1</sup> de argila, e por possuir mínima substituição isomórfica, têm capacidade de troca de cátions restrita de 3 a 10 cmol<sub>c</sub>.kg<sup>-1</sup> de argila (KLAMT e MEURER, 2000; WILSON, 1972; TAN, 1982; DIXON, 1989).

As caulinitas de solo, por terem sua formação predominantemente por neogênese, apresentam em geral elevada desordem estrutural (HUGHES, 1980; APARICIO e GALÁN, 1999), que resulta de um empilhamento desordenado das camadas, e estas podem possuir distorções em um ou mais planos do cristalito (JACKSON, 1965; CULLITY, 1978;

BRINDLEY E BROWN, 1980). A caulinita desordenada analisada por difratometria de raios X apresenta picos mais largos e assimétricos, com menor intensidade (WILSON, 1987; APARICIO e GALÁN, 1999). Se a amostra tiver pequena quantidade de caulinita, que, em geral, possui tamanho muito pequeno em relação a outros minerais, ou algum mineral com maior expressividade, o reflexo menos intenso da caulinita desordenada pode ser mascarado pelo efeito do achatamento deste pico menor e assimétrico, que se tornará de difícil visualização (CULLITY, 1978; WILSON, 1987; APARICIO e GALÁN, 1999).

#### 1.4.2.2 Clorita

Clorita é um mineral com estrutura 2:1 que apresenta uma lâmina octaedral adicional na entrecamada, cuja composição pode conter principalmente Fe, Mg e/ou Al como cátion, com freqüente substituição por outros metais, como Mn, Ni e Cr (BARNHISEL & BERTSCH, 1989). Apesar de raramente ser encontrada na maioria dos solos, porque é pouco estável em condições pedogenéticas, a clorita é detectada em algumas situações específicas, como em solos desenvolvidos a partir de rochas ultrabásicas. Nesse caso, é de grande importância por ser fonte de Mg e de metais pesados. Clorita pedogênica é a denominação dada por alguns autores para o mineral 2:1 com ocupação total da entrecamada por lâmina hidróxi (KOHUT & WARREN, 2002; AZEVEDO e VIDAL-TORRADO, 2009).

A clorita é um mineral 2:1 que apresenta uma lâmina octaedral ocupando o espaço entrecamadas. Esta lâmina pode ser dioctaedral, com Al ocupando as posições octaedrais, ou trioctaedral, com Mg nas posições octaedrais (Figura 02). Às vezes, estas lâminas são referidas como lâmina "gibbsita" (quando dioctaedral de Al) ou lâmina "brucita" (quando trioctaedral de Mg), embora esta nomenclatura não seja adequada (KOHUT & WARREN, 2002). A lâmina octaedral na entrecamada revela carga positiva e difere da lâmina octaedral da estrutura 2:1 porque não compartilha O com as lâminas tetraedrais adjacentes (AZEVEDO e VIDAL-TORRADO, 2009).

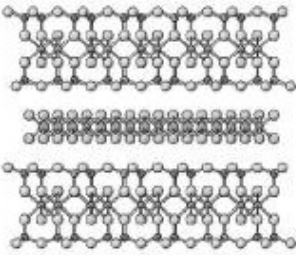
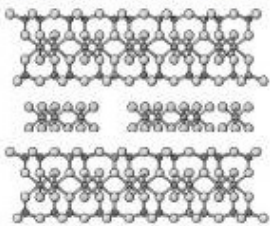
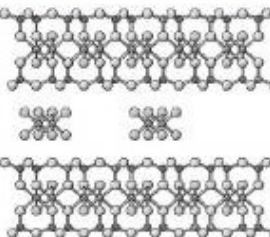
Atributo	Clorita	2:1 HE
Entrecamada	Lâmina octaedral contínua	Polímeros -OH (Al-OH e ou Fe-OH)
Origem mais comum	Litogênica	Pedogênica
Ocorrência em solos	Rara	Comum
Resistência ao intemperismo	Pequena	Grande
Estrutura		<p><b>2:1 HE com alto grau de intercalação</b></p> 
		<p><b>2:1 HE com baixo grau de intercalação</b></p> 

Figura 02 - Estrutura mineralógica da Clorita e argilominerais 2:1 com lâminas hidróxi entrecamadas (HE).

Fonte: AZEVEDO e VIDAL-TORRADO, 2009

Na diferenciação entre cloritas e 2:1 HE, a identificação ocorre mais pela ausência da expansão e contração na clorita, comportamento esperado para os 2:1 expansíveis (AZEVEDO e VIDAL-TORRADO, 2009). As cloritas apresentam espaçamento basal (001) entre 1,40 a 1,44 nm, sendo esta variação dependente de substituições isomórficas. Este espaçamento não deve variar com a saturação por íons ou aplicação de tratamentos térmicos, embora a intensidade do reflexo possa variar. Os reflexos de clorita nos DRX podem coincidir com os das vermiculitas e esmectitas, dependendo do íon saturante e dos tratamentos térmicos aplicados na amostra, e o reflexo de segunda ordem da clorita coincide com o de primeira ordem da caulinita (0,7nm). Assim, nas amostras em que estes minerais coexistem, a identificação de cloritas pode ser prejudicada ou mesmo impedida (AZEVEDO e VIDAL-TORRADO, 2009).

### 1.4.2.3 Esmectita

É um grupo de minerais, que engloba a montmorilonita, a beidelita e a nontronita, sendo a montmorilonita, a mais comum no solo (BORCHARDT, 1989). Em solos tropicais, a ocorrência de esmectitas, grupo que já foi chamado de grupo das montmorilonitas (OLSON et al., 2000) é restrita. Porém, o contraste das propriedades das esmectitas com a dos minerais 1:1 e óxidos, torna sua presença bastante importante, mesmo em baixos teores. As esmectitas encontradas em solos podem se formar durante a pedogênese ou serem herdadas do material de origem. Montmorilonita, beidelita e nontronita são esmectitas dioctaedrais. A carga na camada é originada na montmorilonita, pela substituição de Al por Mg nos octaedros, e na beidelita e na nontronita, pela substituição de Si por Al nos tetraedros. Os sítios octaedrais são ocupados por Al na beidelita e por  $Fe^{3+}$  na nontronita (AZEVEDO e VIDAL-TORRADO, 2009).

A esmectita é encontrada em solos pouco desenvolvidos, de material básico, onde a perda de bases é pouco significativa, o pH é alto e a perda de silício do solo não é acentuada. A esmectita pode formar-se a partir da alteração de minerais primários máficos (ALLEN e HAJEK, 1989; BORCHARDT, 1989), sendo por esse motivo sua presença esperada em solos jovens desenvolvidos de basalto.

Quando as condições de intemperismo permitem em elevado grau de alteração da rocha e o ambiente favorece (mantendo uma alta concentração de alumínio em solução), ocorre a intercalação das esmectitas com íons e/ou polímeros de alumínio preenchendo parte do argilomineral expansível, alterando algumas características da esmectita, como expansividade, estabilidade termodinâmica e CTC.

Embora todas as esmectitas produzam um reflexo a 1,4 nm quando saturadas com Mg, a beidelita mantém um reflexo a 1,4 nm após solvatação com vapor de glicerol, enquanto montmorilonita expande a 1,8 nm. Ambas expandem a 1,7 nm quando solvatadas com etilenoglicol. Quando saturadas com K e aquecidas a 110 °C, (0 % de água), produzem reflexo a 1,0 nm. Estes padrões de expansão geralmente não são perfeitos nos minerais encontrados em solos, em virtude da variação na cristalinidade, associação com colóides orgânicos e óxidos de Fe e Al, e da intercalação parcial por polímeros hidróxi Al (e menos comumente Fe) (AZEVEDO e VIDAL-TORRADO, 2009).

#### 1.4.2.4 Vermiculita

A vermiculita encontrada em solos é predominantemente resultado da transformação das micas, sendo, durante algum tempo, este mecanismo postulado como único possível, já que a carga na camada na vermiculita é próxima daquela das micas (AZEVEDO e VIDAL-TORRADO, 2009).

No entanto, em condições específicas, segundo alguns autores, vermiculitas podem se formar a partir de feldspatos (SMITH, 1965) e da precipitação de géis (BARSHAD & KISHK, 1969).

A transformação de mica em vermiculita segue duas etapas, a perda de K das entrecamadas e a diminuição da carga na camada. A perda de K pode seguir padrões distintos, ocorrendo seja nas bordas ou franjas, seja em entrecamadas alternadas. Diminuição da carga na camada pode ocorrer pela oxidação do  $\text{Fe}^{2+}$  para  $\text{Fe}^{3+}$  (RANSOM et al., 1988) na biotita (no caso da vermiculita trioctaedral) ou pela substituição do Al tetraedral por Si (AZEVEDO e VIDAL-TORRADO, 2009).

Os estudos sobre vermiculitas, especialmente o refinamento sobre a estrutura mineralógica, foram feitos, em sua maioria, em amostras macroscópicas e trioctaedrais (MALLA, 2002). A vermiculita trioctaedral pode ocorrer em todas as frações granulométricas do solo (de areia até argila) e é herdada do material de origem. Já a vermiculita dioctaedral só ocorre nas frações mais finas, o que dificulta estudos de refinamento de sua estrutura. De modo geral, admite-se que a vermiculita trioctaedral seja derivada de biotita e a vermiculita dioctaedral de muscovita (AZEVEDO e VIDAL-TORRADO, 2009).

A contribuição da vermiculita para a CTC do solo é a maior dentre os filossilicatos (BORCHARDT, 1989). No solo, especialmente naqueles sob intemperismo mais intenso, esta contribuição é minimizada pela pouca frequência e quantidade pequena com que ocorrem. Assim, as vermiculitas geralmente possuem intercalação com polímeros hidróxi entrecamadas (VHE), o que reduz significativamente sua CTC (AZEVEDO e VIDAL-TORRADO, 2009).

As vermiculitas puras, quando saturadas com K colapsam para 1,0 nm e quando saturadas com Mg, expandem para 1,4 nm. Tal comportamento pode ser confundido com o das esmectitas, porém sua diferenciação das vermiculitas de baixa carga pode ser feita pela saturação com Mg e etileno glicol, situação em que as esmectitas expandem para 1,8 nm, enquanto as vermiculitas de baixa carga podem expandir até 1,5nm (BRINDLEY e BROWN, 1980). Vermiculitas de alta carga na camada mantém seu espaçamento em 1,4nm, após saturação com Mg e etileno glicol (AZEVEDO e VIDAL-TORRADO, 2009).

#### 1.4.2.5 Argilominerais 2:1 com polímeros hidróxi entrecamadas (2:1 HE)

Além da interstratificação, de acordo com as condições de intemperismo, é muito comum a intercalação dos argilominerais 2:1 com polímeros, principalmente de hidróxi-alumínio nas entrecamadas (em especial da esmectita no caso do basalto) (BARNHISEL e BERTCH, 1989). Este processo aumenta a estabilidade termodinâmica do argilomineral, que assim se torna menos susceptível ao intemperismo (KARATHANASIS, 1988), além de dificultar a expansão e contração dos argilominerais e a diminuir a capacidade de troca de cátions por neutralização das cargas pelos polímeros (BARNHISEL e BERTCH, 1989).

Quando vermiculita e esmectita apresentam intercalação do espaço entrecamadas por polímeros hidróxi, transformando-se em esmectita hidróxi entrecamadas (EHE) e vermiculita com hidróxi entrecamadas (VHE), sua expansividade, bem como a expressão da CTC, plasticidade e pegajosidade, ficam comprometidas proporcionalmente ao grau de intercalação. No entanto, a resistência ao intemperismo dos minerais 2:1 HE (isto é, HE e VHE) é maior que a de seus congêneres sem hidróxi entrecamadas (esmectita e vermiculita) (AZEVEDO e VIDAL-TORRADO, 2009).

Os minerais 2:1 HE formam uma solução sólida entre a esmectita e a vermiculita, em um extremo, e a clorita aluminosa (isto é, com uma lâmina octaedral de Al na entrecamada), no outro. Como os primeiros minerais 2:1 HE foram descritos nas décadas de 1940 e 1950, e só mais recentemente tomados como grupo distinto, houve muita confusão em sua nomenclatura (BARNHISEL & BERTSCH, 1989), sendo freqüentemente adjetivados com termos relativos à clorita (por exemplo, minerais cloritizados) (AZEVEDO e VIDAL-TORRADO, 2009). Nos solos com argila de atividade baixa, minerais 2:1 não são comuns em grande quantidade e, quando ocorrem, geralmente seu espaço entrecamadas é obstruído por polímeros de hidróxi-Al, isto é, transformam-se em 2:1 HE (RESENDE et al., 2005). As quais por serem mais resistentes ao intemperismo em relação aos correspondentes puros, persistem nos solos mais intemperizados junto com a caulinita.

A intercalação de minerais 2:1 com polímeros, com a conseqüente transformação para 2:1 HE, é um processo rápido e dinâmico na escala pedológica (LIETZKE & MORTLAND, 1973). No solo, os polímeros que se depositam nas entrecamadas dos minerais 2:1 são, freqüentemente, de Al. Polímeros de Mg são mais comuns em sedimentos marinhos (RICH, 1968).

Os polímeros hidróxi-Al possuem carga positiva nos valores de pH geralmente encontrados no solo, o que aumenta sua estabilidade no espaço entrecamadas carregado



negativamente. A dificuldade de se encontrar 2:1 com polímeros Fe-OH nas entrecamadas no solo pode estar associada à necessidade de condições muito ácidas para que estes desenvolvam cargas positivas, situação que também desfavorece a permanência de minerais 2:1. Além disto, há maior estabilidade do Fe na forma de óxido, quando comparada à forma de hidróxido (RICH, 1968). No entanto, existem relatos de solos, no Japão, nos quais a extração do material entrecamadas revelou pequena quantidade de Fe (BAUTISTA-TULIN & INOUE, 1997).

Os polímeros são denominados hidróxi-Al porque apresentam relação OH/metal menor que 3, típica dos hidróxidos de Al, como  $\text{Al}(\text{OH})_3$  (BARNHISEL & BERTSCH, 1989; KAMPF & CURI, 2003). Os minerais 2:1 com estes polímeros intercalados são referidos como 2:1 hidróxi entrecamadas, abreviados por 2:1 HE (AZEVEDO e VIDAL-TORRADO, 2009).

#### 1.4.2.6 Argilominerais Interestratificados

Apresentam-se no solo como produtos parciais de um processo de síntese ou intemperismo de filossilicatos, e por isso apresentam características que são comuns a dois ou mais minerais de argila (micas, vermiculitas, esmectita, caulinita). Podem ser do tipo caulinita - esmectita, encontrados em solos derivados de basalto do Rio Grande do Sul (KAMPF et al, 1995b; KLAMT e MEURER, 2000).

Em vários solos de clima tropical e subtropical valores mais altos de CTC do que seria esperado para solos essencialmente caulíníticos, têm sido constatados. Alguns autores postularam que isto pode ser devido à maior substituição isomórfica de  $\text{Si}^{+4}$  por  $\text{Al}^{+3}$  em algumas caulinitas. Porém, há um consenso entre os pesquisadores que essa maior quantidade de cargas negativas é devida a interestratificações de camadas 2:1 nos cristais de caulinita, e/ou a presença de pequenas quantidades de esmectita e mica no material (MELO et al, 2009).

A associação esmectita/caulinita pode indicar que o sistema hidrotermal ocorreu sob condições básicas ou ligeiramente ácidas. A esmectita formada durante os primeiros estádios básicos é induzida a se transformar em caulinita, formando o interestratificado caulinita/esmectita, durante um segundo estágio neutro ou ácido (MELO e WYPYCH, 2009).

Os argilominerais podem se encontrar a meio caminho de transformações no solo, isto é, interestratificados vermiculita-esmectita, mica-esmectita, caulinita-esmectita, mica-vermiculita, caulinita-vermiculita (REYNOLDS, 1980; SAWHNEY, 1989). Uma dificuldade comum na identificação de minerais do grupo dos filossilicatos 2:1 é a ocorrência de minerais

interestratificados, que mostram alternância entre camadas que expandem (como as esmectitas) e que não expandem (como as micas) (AZEVEDO e VIDAL-TORRADO, 2009).

#### 1.4.2.7 Óxidos

##### 1.4.2.7.1 Óxidos de Ferro

O ferro ocorre nas rochas como um dos principais componentes dos minerais primários, como olivinas, piroxênios (comuns em basaltos) e anfibólios. O intemperismo destes minerais libera ferro, que após oxidar forma precipitados amorfos, que vão gradualmente se recombinaando e desidratando, adquirindo forma cristalina (SCHWERTMANN e TAYLOR, 1989). Podem ocorrer concentrados ou associados aos demais colóides (SCHWERTMANN, 1985). Seu formato quando cristalino é em geral acicular ou hexagonal.

Os óxidos de ferro são anfóteros, com suas cargas sendo dependentes de pH do meio. Em condições naturais de solos ácidos suas cargas positivas são mais atuantes fixando o fósforo adicionado ou presente no solo (ALMEIDA et al, 2003).

##### 1.4.2.7.1.1 Hematita

A hematita é a forma oxidada e desidratada de ferro. Sua estrutura atômica é resultante da polimerização de átomos de ferro, com seis oxidrilas, com um átomo de ferro ocupando o centro de cavidades octaédricas (KAMPF e CURI, 2003; SCHWERTMANN, 1985).

Constitui um mineral secundário muito comum nos solos mais intemperizados das regiões tropicais e subtropicais, de clima quente e úmido, derivados de materiais de origem ricos em minerais ferromagnesianos, desde que haja de condições boa de drenagem e teores baixos de matéria orgânica. Estas condições favorecem uma rápida oxidação, desidratação e cristalização dos géis de ferro liberados pelo intemperismo das rochas. Os cristais, vistos ao microscópio eletrônico, apresentam forma hexagonal (TAN, 1982; SCHWERTMANN e TAYLOR, 1989).

A hematita imprime uma coloração tipicamente avermelhada aos solos, podendo agir mesmo quando ocorre em pequenas quantidades (SCHWERTMANN e TAYLOR, 1989; ALMEIDA et al, 2002; ALMEIDA, 2000; KAMPF e CURI, 2003).

#### 1.4.2.7.1.2 Goethita

A goethita representa a forma oxidada e hidratada de ferro, sua estrutura atômica é semelhante a da hematita, com um átomo de ferro ocupando o centro das cavidades octaédricas formadas por um sexteto de oxidrilas, constituindo cadeias duplas de octaedros, formando a estrutura mais estável dentre os óxidos de ferro (KAMPF e CURI, 2000; SCHWERTMANN, 1985; FITZPATRICK, 1985).

Fatores que favorecem a formação de goethita no solo estão normalmente associados a materiais de origem pobres em ferro e climas úmidos, onde os solos tenham certa restrição de drenagem, induzindo a manutenção de um maior tempo de residência da água no solo, conjuntamente com o fixo fluxo de íons de ferro ( $\text{Fe}^{++}$ ), pH ácido e teores de alumínio trocável elevados (SCHWERTMANN, 1985; SCHWERTMANN e TAYLOR, 1989; ALMEIDA, 2000). Da mesma forma em climas mais frios, por haver maior acúmulo de matéria orgânica, há uma tendência a formação de goethita em detrimento da hematita (SCHWERTMANN, 1985; ALMEIDA, 2003). A goethita imprime uma coloração tipicamente brunada ou amarelada aos solos.

#### 1.4.2.7.2 Óxidos de Alumínio

Os óxidos de alumínio do solos originam-se da decomposição dos aluminossilicatos, principais constituintes da maioria das rochas. A liberação do alumínio para a solução do solo se dá na forma de géis amorfos, com polímeros muito hidratados, que ao perder água cristalizam-se, formando a gibbsita. A gibbsita possui estrutura cristalina octaédrica, constituída por dois planos de oxidrilas, com um plano de átomos de alumínio entre eles (HSU, 1989).

A gibbsita é um óxido de alumínio encontrado na fração argila de diversos solos altamente intemperizados das regiões tropicais. Nas condições tropicais, onde as precipitações pluviométricas são altas e a temperatura é alta, ocorre intensa lavagem das sílica liberada durante a intemperização dos minerais primários, criando condições favoráveis à precipitação do alumínio na forma de gibbsita. Em solos ácidos da região Sul do Brasil, ocorre pouca gibbsita. Por outro lado, são altos os teores de alumínio trocável, e possivelmente altos os teores de polímeros amorfos (ALMEIDA, 2000; HSU, 1989).

A alta quantidade de alumínio trocável e polímeros amorfos de alumínio, tanto livres como intercalando as camadas de argilominerais, têm um efeito antagônico na formação da

gibbsita, que pode reduzi-la ou mesmo promover sua inibição (JACKSON, 1965; MELFI e PEDRO, 1977; HSU, 1989).

## 1.5 DIFRAÇÃO DE RAIOS X

A difratometria de raios X é atualmente uma técnica-padrão na identificação e no estudo de minerais, sendo utilizada rotineiramente nos laboratórios de mineralogia, associada às demais técnicas analíticas. Sua importância transcende em muito sua aparente simplicidade, tendo sido fundamental na própria identificação e caracterização da estrutura cristalina dos minerais, no começo do século XX.

A descoberta dos raios X foi feita durante estudos experimentais sobre os raios catódicos, realizadas por W. C. Röntgen, em seu laboratório na Universidade de Würzburg, Baviera. Após sua descoberta e de tentativas iniciais de sua caracterização alguns resultados importantes começaram a aparecer, como a descoberta da polarização dos raios X e a identificação da radiação característica, por Barkla em 1905 e 1909, respectivamente. Em 1912, um grupo de pesquisadores da Universidade de Munique decidiu aplicar os raios para caracterizar a estrutura cristalina de sais simples. Esta tentativa, concebida por Max von Laue e efetuada experimentalmente por Friedrich e Knipping, levou à descoberta da difração dos raios X. É importante salientar que, até essa época, nada se conhecia sobre a estrutura cristalina ou o arranjo interior de átomos nas moléculas, tampouco o conceito atual da estrutura do átomo havia sido desenvolvido. A difração de raios X foi fundamental para o entendimento e desenvolvimento da física da matéria condensada e de todo o conjunto da física moderna (EWALD, 1962 apud FABRIS et al., 2009).

Usa-se a radiação característica de determinados elementos para as análises, após a filtragem da radiação total por meio de filtros adequados (folhas metálicas finas), podendo também ser usados os cristais monocromadores.

### 1.5.1 Pré-Tratamentos

A secagem das amostras deve ocorrer em temperatura que não afete os minerais da fração argila, como a perda de água estrutural em filossilicatos ou óxidos, como a haloisita ou a goethita. Argilas do grupo das esmectitas devem ser preferencialmente liofilizadas para evitar a formação de crostas endurecidas. A matéria orgânica pode ser removida por oxidação

por  $H_2O_2$  ou hipoclorito de Na. No caso do uso do peróxido, deve-se checar o pH após o tratamento, pois pode ocorrer acidificação do meio com a degradação de argilas (FABRIS, et al, 2009).

Os óxidos de Fe cimentantes podem ser removidos por meio de tratamento da amostra com a solução ditionito-citrato-bicarbonato de Na (DCB). O inconveniente desse método é a dissolução parcial ou total dos óxidos de Fe pedogenéticos cristalinos. Nos solos tropicais muito intemperizados, esses minerais são geralmente uma parcela importante da fração argila e sua remoção só pode ser feita nos estudos dos minerais silicatados (amostra desferrificada) (FABRIS, et al, 2009).

### 1.5.2 Tipos de montagem da argila para leitura em DRX

A amostra do pó pode ser montada em uma lâmina escavada, normalmente de vidro, com uma cavidade no centro, de 0,5 a 1,5 mm, no caso das amostras da fração argila, e daquelas que não se pode preparar uma pasta, como as de areias (amostra em pó). As amostras de argila também podem ser montadas em uma lâmina comum, espalhando-se a pasta formada pela amostra umedecida e trabalhada com uma espátula (amostra orientada) (FABRIS, et al, 2009).

### 1.5.3 Tratamento Químico Diferencial

Os tratamentos químicos diferenciais são usados para auxiliar a identificação de fases por meio do uso de propriedades específicas de determinados grupos de minerais, como a expansão diferencial dos minerais filossilicatos em função do solvatante, que altera o espaçamento entrecamadas, permitindo sua identificação.

*Saturação por Mg.* A saturação do complexo de troca por um único cátion permite a expansão uniforme e homogênea das camadas em toda a amostra analisada, minimizando as variações de espaçamento em amostras secas ao ar. A substituição do complexo de troca por Mg permite a formação de uma camada dupla de água estável, após secagem ao ar, pela expansão das lâminas das argilas expansivas dos grupos das vermiculitas e das esmectitas. Daí resulta um espaçamento basal de aproximadamente 1,4 nm, separando esses dois grupos dos filossilicatos 2:1 daqueles não-expansivos, com espaçamento de aproximadamente 1,0 nm (p.ex., micas) (FABRIS, et al, 2009).

*Saturação por K.* Permite separar vermiculitas de cloritas (não-expansivas) com espaçamento basal 1,4 nm, pois as primeiras se colapsam para estruturas não-expansivas de 1,0 nm, ao serem saturadas com K. A presença de vermiculitas e esmectitas com hidróxi entrecamadas (2:1 HE) exige a elevação da temperatura a 550 °C, além da saturação por K, para o colapso das camadas e completa separação de fases.

*Saturação por glicol.* A saturação por etileno glicol (ou glicerol) é usada para identificar e separar argilominerais expansíveis, que intercalam esses compostos orgânicos e promovem a expansão das camadas e o deslocamento dos picos correspondentes. As esmectitas podem adsorver uma dupla camada de glicerol entre as camadas adjacentes, resultando em espaçamento basal de aproximadamente 1,8 nm, ao passo que as vermiculitas não alteram sua expansão com a solvatação pelo glicerol (mantém o espaçamento basal de aproximadamente 1,4 nm em amostra saturada com Mg).

*Elevação da temperatura.* A elevação de temperatura permite verificar a estabilidade do mineral e visualizar o colapso de argilas expansivas. Os minerais do grupo da caulinita decompõem-se entre 500 e 550 °C, o que pode ajudar a identificação na presença de cloritas, que têm pico coincidente e são mais resistentes ao aquecimento. A haloisita (1,0 nm) desidrata em temperatura próxima de 100°C, com deslocamento do pico para 0,7 nm. Os minerais 2:1 HE colapsam para 1,0 nm, como descrito no procedimento de saturação por K, e a clorita mantém o espaçamento basal em 1,4 nm após aquecimento a 550°C (FABRIS, et al, 2009).

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 AMOSTRAGEM

O Estado de Santa Catarina possui diferentes formas de relevo, incluindo planícies, vales profundos, serras e planaltos. A região estudada localiza-se ao Sul do município de Lages e a Sudoeste do município de São Joaquim.

Foram selecionadas duas topossequências, a primeira no município de Lages, onde foram descritos e coletados quatro perfis de solo, e a segunda em São Joaquim com três perfis, incluindo em todos os pontos coletas de amostras da rocha sã da rocha subjacente. Selecionadas para estudo dos solos da região do Planalto Sul Catarinense, objetivaram contemplar as influências dos fatores de formação do solo e destacá-los conforme grau de importância nos processos de pedogênese de solos derivados de rochas efusivas da Formação Serra Geral.

Os solos da topossequência 1 localizam-se na região conhecida como Coxilha Rica, caracterizada por ser uma superfície geomórfica relativamente tabuliforme, com suaves elevações denominadas de coxilhas. Já no município de São Joaquim, local da topossequência 2, as coletas foram feitas nas imediações do distrito de São Sebastião do Arvoredo, região caracterizada por formas de relevo regionalmente mais acidentado, apresentando também regiões com relevo suave ondulado. Nas proximidades do Rio Lava Tudo, local de coleta dos Nitossolos, o relevo é bastante acidentado, sendo os perfis coletados próximo a calha do rio, em cota altimétrica 200m abaixo dos perfis de campo.

A topossequência 1 é composta de quatro perfis de solos e destes, três são originados de rocha ácida a intermediária (riodacitos do grupo Caxias), situados em cotas altimétricas entre 825 a 1.100 metros, cuja vegetação é formada por campos – dois perfis em área de campo limpo e um em campo sujo. O quarto perfil de solo, localizado na calha do rio Lava Tudo, é originado de basalto, cuja vegetação remanescente é a Floresta Ombrófila Mista, com Araucária. A topossequência II é constituída por três perfis de solo, sendo dois originados de rochas ácidas a intermediárias (riodacitos do grupo Caxias), localizados em cotas altimétricas

entre 850 a 1.200 metros e apresentam como vegetação original o campo subtropical com Floresta de Araucária, e um perfil em cota altimétrica menor, próximo a calha do rio Lava Tudo, derivado de basalto e com vegetação primária de Floresta Ombrófila Mista com Araucária, atualmente utilizada com pastagem.

Toda a região é classificada como clima Cfb (SANTA CATARINA, 1986), segundo a classificação de Köppen, indicando clima atual com inverno suave e verão brando e sempre úmido (CARDOSO, 2003).

Entre as duas topossequências há o Rio Lava - Tudo, divisor natural entre os municípios de Lages e São Joaquim, SC. Em síntese foram descritos sete perfis de solo, sendo cinco representando o ambiente dos Campos de Altitude, sendo três em Lages e dois em São Joaquim, e dois na área de Floresta Ombrófila Mista, no vale do rio Lava Tudo, um em cada topossequência. Procurou-se descrever os perfis comparativos de cada ambiente de vegetação em altitudes diferentes, procurando-se detectar possíveis diferenças na litologia subjacente a cada solo (Figura 03).



Figura 03 - Localização dos perfis em imagem do servidor Google. Topossequência I: P1 – Cambissolo Háplico alítico típico; P2 - Cambissolo Háplico alítico típico; P3- Cambissolo Háplico alítico típico; P4 – Nitossolo Vermelho distroférico típico; Topossequência II: P6 – Nitossolo Vermelho alítico típico; P7 - Cambissolo Háplico alítico típico; P8 - Cambissolo Háplico alítico típico.

A descrição da paisagem local e regional, relevo, vegetação, altitude, e demais características da área de coleta, incluindo descrição morfológica dos perfis, foram realizadas



no local de acordo com o Manual de Descrição e Coleta de Solo no Campo (SANTOS, 2005), com exceção da cor, obtida a céu aberto com auxílio da Carta Munsell. Informações detalhadas da descrição geral e morfológica encontram-se no Anexo 1. As análises de caracterização executadas nos Laboratórios de Solo do CAV/UEDESC foram realizadas em amostras secas ao ar, destorroadas, moídas e peneiradas a seco em malha de 2mm para obtenção da terra fina seca ao ar – TFSA. As análises laboratoriais foram divididas em físicas, químicas (EMBRAPA, 1997; TEDESCO et al., 1995) e mineralógicas, descritas a seguir.

## 2.2 ANÁLISES FÍSICAS

Foi realizada a separação do material grosseiro por seleção manual seguida da pesagem de cada fração e da TFSA para estimativa de contribuição de cada um na massa do solo, tais como cascalhos, calhaus, matações e TFSA.

Na fração TFSA a areia foi separada por peneiramento úmido e quantificada gravimetricamente, a argila pelo método do densímetro de Boyoucus (EMBRAPA, 1979) com e sem uso de dispersante químico ( $\text{NaOH } 1 \text{ mol.L}^{-1}$ ). Os teores de silte foram obtidos por diferença. A partir destas determinações calculou-se o grau de flocculação e relação silte/argila, segundo EMBRAPA (1979).

O grau de flocculação (GF) foi obtido pela seguinte expressão  $\text{GF} = 100 \times (\text{At}-\text{An})/\text{At}$ , onde At é a argila total obtida com o uso de dispersante químico e An é a argila natural, obtida por dispersão em água destilada. A relação silte/argila foi obtida pela razão entre o teor de silte e o da argila encontrados, usando para tanto, os valores obtidos de argila total e silte total da análise com dispersante químico NaOH.

## 2.3 ANÁLISES QUÍMICAS

O pH em água e em solução salina ( $\text{KCl } 1 \text{ mol.L}^{-1}$ ), na proporção 1:1, foi determinado com potenciômetro.

O carbono orgânico foi determinado por oxidação via úmida com dicromato de potássio em ácido mássico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) com posterior titulação com sulfato ferroso em presença de indicador ferroín (TEDESCO et AL., 1995).

O alumínio trocável foi extraído com solução de  $\text{KCl } 1 \text{ mol L}^{-1}$  e quantificado por titulometria de neutralização com indicador fenolftaleína com base (NaOH) padronizada com

bifalato de potássio. Cálcio e magnésio também foram extraídos com KCl 1mol L<sup>-1</sup> e determinados por espectrometria de absorção atômica.

O potássio e o sódio foram extraídos com acetato de amônio 1mol L<sup>-1</sup> e quantificados por fotometria de chama.

A acidez potencial (H+Al) foi extraída com acetato de cálcio 0,5 mol L<sup>-1</sup>, tamponado a pH 7,0, sendo seus teores quantificados por titulometria de neutralização com indicador fenolftaleína com base padronizada com bifalato de potássio.

Da quantificação destes elementos foram obtidos os seguintes parâmetros: a soma de bases (S), CTC efetiva, CTC pH 7, saturação por bases (V) e saturação por alumínio (M).

A soma de bases (S) foi obtida através do somatório do cálcio, magnésio, sódio e potássio. A CTC efetiva foi obtida da soma de bases mais o alumínio trocável (S+Al). A CTC a pH 7 é a soma de bases adicionada à acidez extraível (S+(H+Al)). A saturação por bases é a contribuição percentual da soma de bases na CTC a pH 7 e a saturação por alumínio é a contribuição percentual do alumínio na CTC efetiva do solo.

O ataque sulfúrico, segundo EMBRAPA (1979) foi realizado na fração TFSA para extração de Al, Si e Fe totais, em seguida sobre o precipitado é realizado um ataque básico (com NaOH) para quantificação do Si total, sendo todos quantificados em espectrometria de absorção atômica e expressos na forma de óxidos. Com isto foi possível calcular o índice Ki, Kr e relação Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

Para estudos pedológicos, Bennema (1966) propôs um método prático para estimativa da contribuição do carbono na CTC dos solos, baseando-se nos dados analíticos do teor de carbono orgânico, do valor T ou CTC a pH 7 e o do teor de argila, considerando o cômputo destes valores em todos os horizontes de latossolos. Tal método ficou conhecido como “método gráfico” de Bennema, o qual permite estimar não só a contribuição do carbono, mas também da fração argila, para a CTC de cada solo individualmente.

O método proposto por Bennema (1966) preconiza converter os teores de carbono e da CTC a pH 7 para 100g de argila em cada horizonte do perfil, considerando os teores de argila originais do solo. Com base nisto, os valores de carbono e CTC convertidos são plotados num gráfico xy, sendo então calculada a equação linear representativa destes valores, onde a variável dependente (y) representa a CTC a pH7 e a abscissa (x) o teor de carbono. Da equação resultante:  $CTC\ pH\ 7 = a \cdot (\% \text{ Carbono}) + b$ , o parâmetro **a** representa a contribuição a do carbono e o parâmetro **b** (intersecção da reta no eixo y) representa a contribuição média da fração argila para a CTC a pH 7 para cada solo.

Tal método foi proposto originalmente para Latossolos, por tratar-se de solos com baixa CTC da fração argila e de textura homogênea, não sendo este método em princípio aplicável a solos com proporções altas de argilominerais 2:1 ou com gradiente textural muito alto. Entretanto, acredita-se que face à existência de outras classes de solos com pequeno gradiente textural, tais como Nitossolos e Cambissolos o método também possa ser aplicado (TESKE et al., 2008).

A relação entre a CTC e os argilominerais foi obtida através de uma regressão linear entre a área dos argilominerais 2:1 e/ou interestratificado e a CTC. Para o cálculo destas áreas foram utilizados os difratogramas das amostras de argila de cada horizonte saturadas com Mg ou K aquecido a 400°C na falta do horizonte saturado com Mg.

## 2.4 ANÁLISES MINERALÓGICAS

Amostras das frações argila foram analisadas em lâminas de argila orientada, utilizando-se um difratômetro de raios X Philips, modelo PW 3710, dotado de tubo de cobre, ângulo de compensação  $\theta/2\theta$  e monocromador de grafite, com variação angular de 3 a 42 ° 2 $\theta$ . A velocidade angular foi de 0,02° 2 $\theta$ /s, em modo por passos (step), com tempo de 0,5 segundos de leitura por passo.

Partes do núcleo intacto de cada rocha foram moídos e peneirados em malha de 0,05mm e submetidos a radiação de raio-X, porém com variação angular de 3 a 60 ° 2 $\theta$ .

A suspensão silte + argila da TFSA usada para determinação da argila pelo método de Boyoucus passou pelo processo de sedimentação baseada na Lei de Stokes (JACKSON, 1965) para que fosse possível separar somente a fração argila desta suspensão.

A argila separada foi submetida à extração repetitiva dos óxidos de ferro e alumínio através do uso de ditionito-citrato-bicarbonato (DCB) (MEHRA & JACKSON, 1960). Após esta etapa as frações contendo mais que 1% de carbono orgânico foram submetidas ao processo de eliminação da matéria orgânica, que foi removida com uso de peróxido de hidrogênio a 30% em volume (EMBRAPA, 1997).

A eliminação do excesso de sais foi realizada com emprego de álcool etílico 20% e água destilada em repetidas lavagens e centrifugações (JACKSON, 1965).

A fração argila livre de óxidos e matéria orgânica foi dividida em duas porções, a primeira foi saturada com potássio (KCl 1 mol L<sup>-1</sup>) e a segunda com Mg (MgCl<sub>2</sub> 1 mol L<sup>-1</sup>). Da porção saturada com K foram confeccionadas as lâminas de argila orientada pelo método do esfregaço (LAO) que após secas ao ar foram submetidas a aquecimentos a 25, 100, 400 e

550 °C. As amostras saturadas com Mg também foram submetidas a saturação com etilenoglicol em atmosfera saturada e aquecimento por 24 horas a 60 °C em lâminas de argila orientada, e outra subamostra sofreu secagem em estufa por 24 horas a 60°C para a identificação dos minerais na forma de pó. Cada um dos tratamentos foi submetido ao DRX.

Uma parte da fração argila sofreu tratamento com NaOH 3,5 mol.L<sup>-1</sup> (POTTER e KAMPF, 1981; MELO, et al, 2009) com a finalidade de eliminar a caulinita e a gibbsita, para concentrar e evidenciar melhor os picos dos argilominerais 2:1. A metodologia consistiu em ferver a 250°C por aproximadamente 1 hora e meia uma amostra de argila (previamente tratada com DCB e água oxigenada para eliminação dos óxidos e matéria orgânica respectivamente) acrescida de NaOH 3,5 mol.L<sup>-1</sup>. Posteriormente, foi realizado a lavagem com HCl 0,5 mol.L<sup>-1</sup> durante 10 minutos, para remoção da sodalita possivelmente formada durante a fervura. Procedeu-se várias lavagens e centrifugações com água destilada e álcool a 20% para remoção dos sais na amostra. Foram confeccionadas lâminas orientadas e lidas do difratômetro de raio X.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1. TOPOSSEQUÊNCIA I

##### 3.1.1. Perfil 1 - Cambissolo Háptico Alítico típico

O perfil foi descrito e coletado no terço superior de encosta, numa cota altimétrica de 998 metros, em relevo suave ondulado local e regional, cuja vegetação é o campo subtropical “limpo” onde predomina pastagem natural denominada palha fina (GOMES et al, 1989). O material de origem foi caracterizado como sendo produto da alteração de rocha efusiva intermediária de coloração acinzentada escura, do tipo riodacito, com possível influência de colúvio superficial (Figura 04).



Figura 04 - Perfil 1 Cambissolo Háptico alítico típico. (a) Foto da área; (b) Perfil do solo e; (c) Fragmento rocha subjacente.

O solo é profundo, com espessura de solum de 102 cm, com valores de carbono orgânico nos horizontes A1 e A2 de 3,30 e 1,86% respectivamente, diminuindo nos demais horizontes até alcançar teores em torno de 0,20% nos horizontes C e Cr (Tabela 1). São solos extremamente ácidos, com pH em água em torno de 4,1 nos horizontes A e B e pequeno aumento para 4,6 no Cr. O pH em água o pH em sal (KCl) apresentou valores cerca de 0,5 a 1,0 unidades mais baixo do que o pH em água, caracterizando solos com predomínio de cargas negativas.

Os valores de  $K_i$  e  $K_r$  são maiores que 0,75, indicando portanto, solos cauliniticos (KEHRIG, 1949; IBGE, 2007). Porém, os valores da CTC da fração argila entre 18 e 26  $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$  nos horizontes subsuperficiais, parecem não refletir a participação exclusiva do argilomineral caulinita, sugerindo a contribuição de argilominerais 2:1 na CTC do solo.

A baixa saturação por bases revelou ser um solo bastante lixiviado, e os teores de  $\text{Al}^{+3}$  e  $\text{H}^+$  evidenciam alta acidez potencial e ocupando a maior parte das cargas negativas do mesmo, resultando em saturação por alumínio maior que 90%.

Estas características químicas revelam que o material de origem deste solo se encontra bastante intemperizado, porém a permanência de fragmentos de rochas, cascalhos e calhaus em seu perfil, parecem indicar que processos de erosão, transporte e deposição tiveram forte influencia na formação deste solo, sugerindo igualmente que o material originário tenha sido previamente intemperizado, antes de seu transporte e deposição, revelando certa juventude dos processos de formação. Os valores relativamente altos de  $K_i$  e  $K_r$  retratam estágio de intemperismo intermediário, sugerindo a participação ainda expressiva de argilominerais expansíveis em associação com a caulinita. Este solo se encontra em uma superfície geomórfica relativamente conservada, que no decorrer dos últimos milênios, possibilitou a formação de Cambissolos em relevo suave ondulado com moderada à boa drenagem dentro do perfil. Portanto a pobreza química deste solo pode ser decorrente da intensa lixiviação sofrida pelo solo em ambiente climático bastante úmido, bem como do intemperismo prévio sofrido pelo material de origem.

Os teores de  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  e  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (Tabela 1), aumentam do topo para a base do perfil, ou seja, quanto mais próximo da rocha maiores são os conteúdos destes óxidos. Contudo, no horizonte AB houve um decréscimo repentino no teor de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , indicando a contribuição de material alóctone mais deficiente em Fe na porção superficial do solo indicando uma possível descontinuidade litológica.

Tabela 01 - Caracterização química, física, carbono orgânico, Si, Al e Fe totais e relações moleculares das amostras de horizontes do perfil 1 – Cambissolo Háplico Alítico típico.

<b>Perfil 1</b>		Frações da amostra total			Composição granulométrica da terra fina (NaOH 1M)			Argila dispersa em água %	Grau de floculação %	% Silte / % Argila
Horizonte	Profundidade cm	Calhaus > 20 mm	Cascalho 20-2 mm	Terra fina < 2 mm	Areia 2-0,05 mm	Silte 0,05-0,002 mm	Argila < 0,002 mm			
A1	0 - 10	-	-	100	10	26	64	44	31	0,40
A2	10 - 21	-	-	100	12	29	60	42	30	0,48
AB	21 - 47	0,25	1,29	99	11	21	68	44	35	0,31
BA	47 - 60	-	2,85	97	10	19	71	36	49	0,27
Bi1	60 - 80	-	1,35	99	10	14	76	32	58	0,18
Bi2	80 - 102	-	1,50	99	11	14	75	24	68	0,19
BC	102 - 120/130	-	1,18	99	10	18	72	8	89	0,25
C	120/130 - 132/150	-	1,11	99	11	17	72	8	89	0,24
Cr	132/150 - 170+	-	-	100	22	38	40	-	100	0,95

Horizonte	pH (1:2,5)		Complexo sortivo (cmol <sub>e</sub> .kg <sup>-1</sup> )							Valor V (Sat. de bases) %	100Al <sup>3+</sup> / S+Al <sup>3+</sup>	
	Água	KCl 1N	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Valor S (soma)	Al <sup>3+</sup>	H <sup>+</sup>			Valor T (soma)
A1	4,1	3,5	1,0	0,6	1,0	0,1	2,6	7,5	15,4	25,5	10,0	74
A2	4,0	3,7	0,6	0,2	0,4	0,0	1,2	6,7	12,9	20,8	6,0	85
AB	4,0	3,6	0,3	0,1	0,3	0,0	0,7	7,2	10,8	18,7	4,0	91
BA	4,1	3,6	0,3	0,1	0,2	0,0	0,6	6,6	10,7	18,0	3,0	92
Bi1	4,2	3,7	0,2	0,1	0,2	0,0	0,5	6,3	9,5	16,4	3,0	92
Bi2	4,3	3,6	0,2	0,1	0,2	0,0	0,5	5,4	6,9	12,7	4,0	92
BC	4,4	3,6	0,1	0,1	0,2	0,0	0,4	5,4	6,5	12,3	4,0	93
C	4,6	3,6	0,1	0,1	0,2	0,1	0,5	5,4	6,0	11,9	4,0	92
Cr	4,4	3,4	0,1	0,1	0,3	0,0	0,6	12,6	3,5	16,7	4,0	95

Horizonte	C (orgânico) %	Ataque por H2SO4 (1:1) - NaOH 30%						SiO <sub>2</sub> / Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (Ki)	SiO <sub>2</sub> / R <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (Kr)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> / Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
		SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	MnO			
A1	3,30	15,85	12,26	5,42	-	-	-	2,20	1,71	3,56
A2	1,86	17,95	14,34	5,24	-	-	-	2,13	1,73	4,30
AB	1,11	19,10	15,25	3,97	-	-	-	2,13	1,83	6,03
BA	1,06	20,44	15,80	6,86	-	-	-	2,20	1,72	3,61
Bi1	0,61	22,35	16,08	8,12	-	-	-	2,36	1,79	3,11
Bi2	0,57	23,11	16,89	7,40	-	-	-	2,33	1,82	3,58
BC	0,42	24,64	18,33	6,14	-	-	-	2,29	1,88	4,69
C	0,30	30,56	20,69	9,93	-	-	-	2,51	1,92	3,27
Cr	0,14	33,42	25,70	10,11	-	-	-	2,21	1,77	3,99

Os valores altos de carbono orgânico, superiores a 1% ainda no BA, são resultantes do clima mais frio e úmido, que favorecem ainda a formação de goethita, imprimindo ao solo coloração bruno amarelada escura nos horizontes subsuperficiais do perfil e bruno escuro a

muito escuro nos horizontes superficiais. O baixo gradiente textural do solo, ausência de cerosidade, presença de calhaus e matações no perfil, pequena espessura do horizonte B e do perfil levaram a classificação do horizonte diagnóstico subsuperficial do tipo B incipiente. O horizonte A foi classificado como proeminente, pois atendeu a todos os requisitos para tal e saturação por bases inferior a 65% (EMBRAPA, 2006).

Os conteúdos de argila são muito altos e os teores de areia total muito baixo neste solo (Tabela 1), indicando que os minerais essenciais do riodacito (plagioclásios, piroxênios e feldspatos alcalinos) foram completamente destruídos, formando argilominerais e óxidos; a pequena quantidade de areia revela também que, apesar da rocha subjacente ser ácida a intermediária, com quantidades expressivas de quartzo e cristobalita indicados pelas análises mineralógicas da rocha, os cristais remanescentes do intemperismo desta devem ter dimensões muito pequenas, ou foram parcialmente corroídos, concentrando-se mais na fração silte, cujos teores foram sempre maiores do que a areia total.

Para este Cambissolo (P1) a contribuição média da fração argila na CTC do solo foi de  $17,47 \text{ cmol}_c.\text{kg}^{-1}$ , segundo o método gráfico de Bennema, e a contribuição média para cada 1% de carbono orgânico foi de  $4,71 \text{ cmol}_c.\text{kg}^{-1}$  (Figura 05).

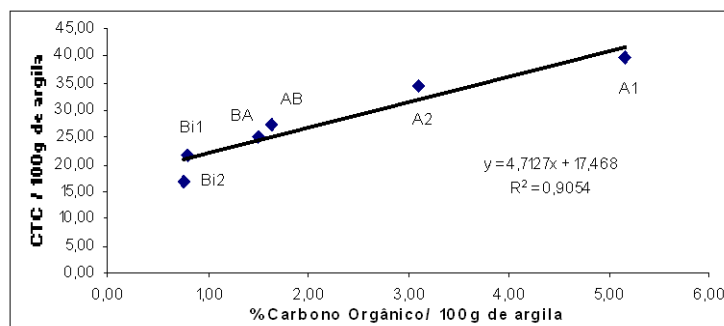


Figura 05 - Equação de regressão entre o teor de carbono orgânico e a CTC a pH7 convertidos para 100g de argila para o perfil 1.

### 3.1.1.1 Mineralogia do Substrato do Perfil 1 – Riodacito acinzentado

O difratograma da rocha coletada no perfil 1 encontra-se na Figura 06 e indicou piroxênios com picos a 0,290 nm, 0,228nm e 0,213 nm, plagioclásios com picos a 0,335nm e 0,322nm, feldspatos potássicos com espaçamentos 0,427 e 0,376 nm, óxidos e hidróxidos de ferro com pico a 0,182nm, além da cristobalita com picos a 0,405 e 0,250 nm.



Muito embora a presença da cristobalita não tenha sido citada na caracterização dessas rochas, realizada por Nardy et al. (1986), segundo outros autores, como Wilding et al. (1989) e Dana-Hurlbult (1984), a cristobalita se faz presente em muitas rochas vulcânicas ricas em sílica, seja como revestimento de cavidades, seja como constituinte importante na massa fundamental de granulação fina. Pode ser considerada, portanto, um mineral bastante freqüente nessas rochas (CLEMENTE, 1988).

O difratograma desta rocha ainda revela a presença de magnetita-maghemita com picos a 0,295nm, 0,253nm e 0,167nm. Os anfibólios também são identificados com os picos a 0,322nm e 0,271nm, biotita que apresenta os reflexos a 0,203 e 0,167 nm e olivina com picos a 0,253 e 0,228nm.

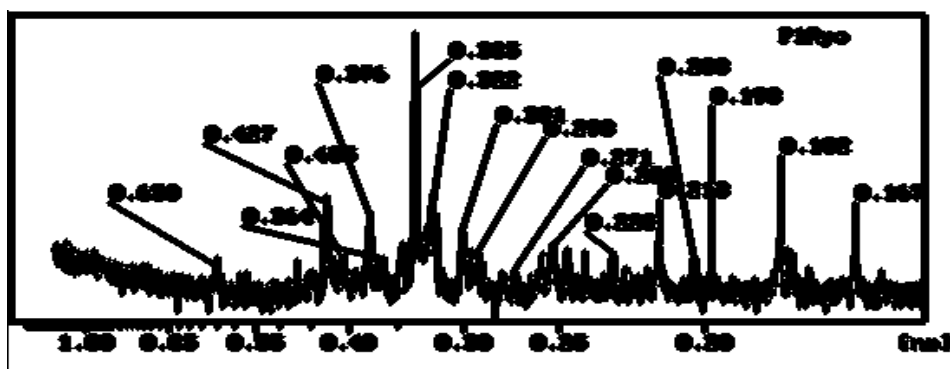


Figura 06 - Difratograma do pó da rocha coletada da área do perfil 1 (Rochas intermediárias a ácidas).

### 3.1.1.2 Mineralogia da fração argila do Perfil 1

Os difratogramas do pó (Figura 07) dos horizontes A1, Bi2 e C deste solo indicaram o predomínio de caulinita desordenada em todos os horizontes, com picos a 0,722 nm, 0,446 nm, 0,358 nm, 0,258 nm e 0,234nm, bem como de argilominerais 2:1 com picos a 1,4nm nos horizontes A1 e Bi2. Já no horizonte C o pico a 1,4 nm não ficou evidente. Há uma possível intercalação com polímeros de hidróxi-alumínio nas entrecamadas e/ou interestratificação. O reflexo a 0,485 nm parece indicar a presença de gibbsita (embora não apareça o pico a 0,435 nm). O quartzo também foi constatado, com picos a 0,425 nm, 0,334nm e 0,202 nm e óxidos e hidróxidos de ferro com reflexos a 0,182 nm.

Nas amostras saturadas com potássio e tratamentos térmicos (Figura 07) constata-se a presença de caulinita como argilomineral dominante, com picos a 0,720 nm e 0,358 nm. Estes reflexos se apresentam com bases largas e com ligeira assimetria em direção aos ângulos 2 $\theta$  mais baixos, sendo o Índice de Assimetria (IA) 0,158 no A1, 0,29 no Bi2 e 0,333 no C, o que

indica uma caulinita desordenada, com baixa cristalinidade entremeada com argilominerais 2:1. Os argilominerais 2:1 expansíveis foram confirmados pela presença dos picos em torno de 1,4 nm nas amostras saturadas com Mg e K lidas à temperatura ambiente, sendo que as saturadas com K, após aquecimento, não contraíram totalmente, mantendo um reflexo largo em torno dos 1,4nm até 1,0 nm com pequena saliência nesta ultima região. As amostras aquecidas a 400°C não colapsaram totalmente a 1,0 nm, permanecendo em todos os horizontes uma banda de baixa intensidade próxima deste pico, com exceção do horizonte Bi2 que apresentou dois picos um a 1,16 e outro a 1,01nm, comprovando a existência de polímeros de hidróxi Al nas entrecamadas.

A saturação com magnésio e magnésio mais etileno glicol não foi eficaz para identificação dos argilominerais 2:1, pois em todos os três horizontes não se verificou a expansão das camadas, permanecendo os reflexos a 1,40 nm. Portanto, os tratamentos com DCB realizados para a remoção dos óxidos, que podem também remover algum hidróxi Al entrecamadas, não foram eficazes na diferenciação de esmectita e vermiculita, tal como também verificado por Kampf et al (1995).

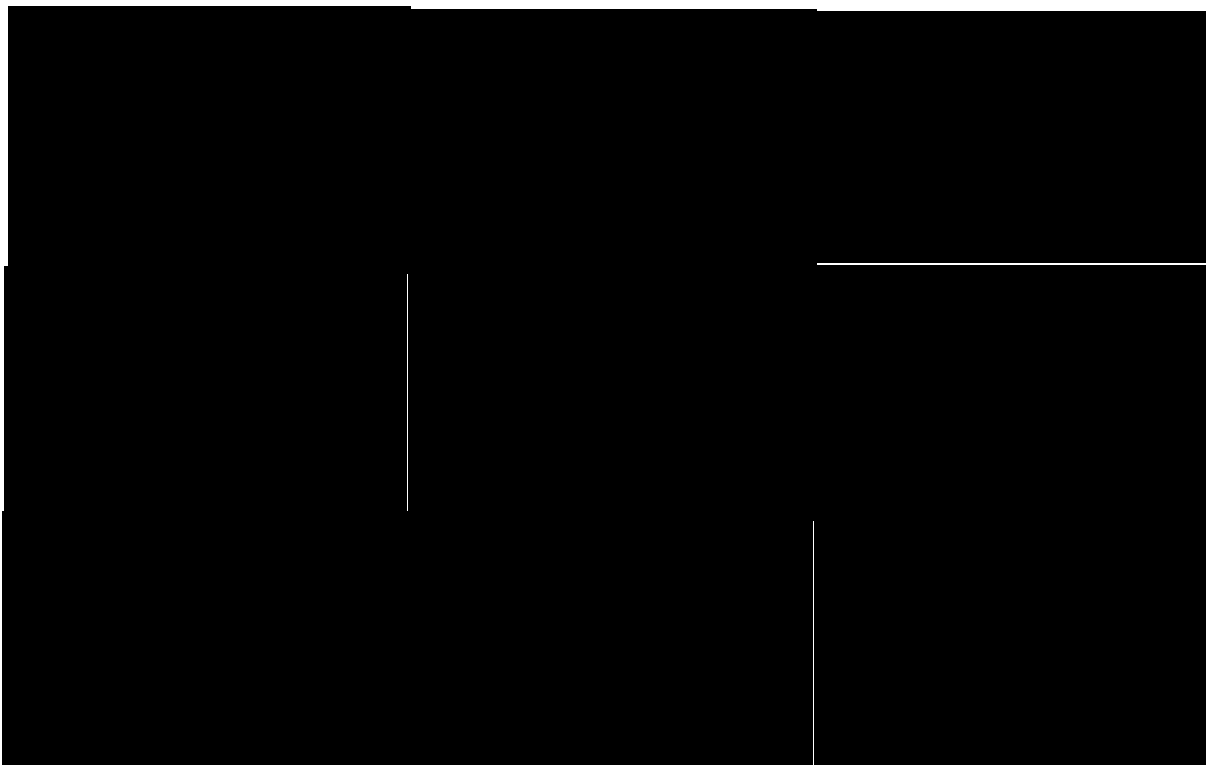


Figura 07 - Difratogramas dos horizontes A1, Bi2 e C do perfil 1 (Cambissolo Háplico Alítico típico). Amostras saturadas com potássio (K) a diferentes temperaturas (K, K100, K400 e K550°C); Amostras saturadas com magnésio representadas por Mg, e magnésio mais etileno glicol representadas por Mg Et; Amostra em pó dos respectivos horizontes (pó).

O tratamento mais agressivo das amostras desferrificadas com NaOH 3,5 mol L<sup>-1</sup> a quente, utilizado com a finalidade de concentrar os argilominerais 2:1 e remover os polímeros hidróxi Al entrecamadas, também não foi eficaz para este propósito, tendo resultado numa destruição de quase todos os constituintes da fração argila (Figura 08). Embora alguns autores (RYAN e HUERTAS, 2009; MELO et al, 2009) tenham obtido bons resultados com esta metodologia, no caso presente a concentração utilizada e/ou a temperatura alcançada devem ter sido muito altas, promovendo a destruição da maior parte dos argilominerais. Não foi possível, assim, definir qual o tipo de argilominerais 2:1 presentes no solo, se esmectita ou vermiculita, dada a pequena concentração alcançada para os mesmos.

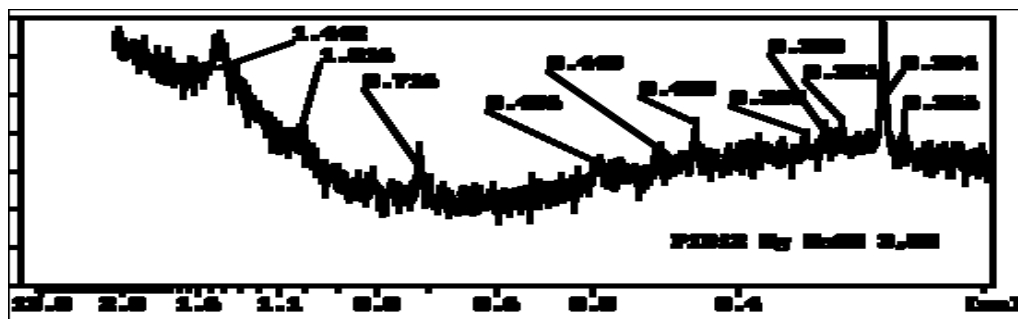


Figura 08 - Difratograma do horizonte Bi2 do perfil 1, tratamento com NaOH 3,5M e posterior saturação com magnésio.

A análise semiquantitativa dos argilominerais 2:1 indicou cerca de 20% de argilominerais 2:1 no horizonte A1, 27% no Bi2 e 17% no C, horizontes que apresentaram CTC a pH 7 de 25,5, 12,7 e 11,9 cmol<sub>c</sub>.kg<sup>-1</sup> respectivamente, confirmando a participação dos argilominerais 2:1 nas cargas negativas deste solo, mesmo considerando que apresentam forte intercalação com polímeros de alumínio.

### 3.1.2 Perfil 2 - Cambissolo Háplico Alumínico úmbrico

O perfil 2 foi descrito e coletado no topo de elevação com aproximadamente 5% de declividade no local, com cota altimétrica de 1.100 metros, em relevo suave ondulado local e regionalmente ondulado, cuja vegetação é campo subtropical “limpo” com predomínio de pastagem natural denominada campo palha fina (GOMES et al, 1989). O substrato foi caracterizado como um riodacito de cor avermelhada com possível retrabalhamento superficial de material previamente intemperizado desta mesma litologia (Figura 09).



Figura 09 - Perfil 2 Cambissolo Háplico Alumínico úmbrico. (a) Foto da área; (b) Perfil do solo e; (c) Fragmento rocha subjacente.

Formou-se neste local um solo pouco profundo com espessura de solum de 76 cm, com valores de carbono orgânico nos horizontes A1 e A2 de 3,37 e 2,80 respectivamente diminuindo nos demais horizontes até alcançar teores em torno de 0,30% nos horizontes C (Tabela 2). São solos extremamente ácidos apresentando pH em água em torno de 3,9 nos horizontes superficiais e 4,1 nos horizontes BA e Bi com pequeno aumento para 4,5 no Cr. O pH em sal (KCl) foi sempre inferior ao pH em água, caracterizando solos com predomínio de cargas negativas.

Os valores de  $K_i$  e  $K_r$  são maiores que 0,75, portanto se trata de solos predominantemente caulíníticos (IBGE, 2007). Porém, os valores da CTC da fração argila iguais ou superiores a  $20 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  nos subhorizontes BA e Bi, parecem não refletir a participação exclusiva do argilomineral caulinita, e sim a possível contribuição de argilominerais do tipo 2:1. Entretanto, a estimativa da CTC da fração argila neste solo pode

estar superestimada, em função da contribuição ainda expressiva do carbono no aumento da CTC destes horizontes.

A baixa saturação por bases revelou ser um solo bastante pobre quimicamente, e os teores elevados de  $Al^{+3}$  e  $H^+$  ocupando a maior parte das cargas negativas do solo, resultaram numa saturação por alumínio maior que 90% nos horizontes subsuperficiais.

Estas características químicas (Tabela 2) revelam que o material de origem deste solo se encontra em fase avançada de intemperismo, porém a permanência de pedras, cascalhos e calhaus em seu perfil, juntamente pequena espessura do horizonte B e do perfil retratam estágio de desenvolvimento não muito avançado deste solo, na fase atual. Provavelmente, tais feições sejam decorrentes de novo ciclo de desenvolvimento destes solos a partir do momento em que cessaram os processos de dissecação do relevo nos últimos milênios e a superfície geomórfica atual foi estabilizada.

Os conteúdos de argila são muito altos e os teores de areia total muito baixos neste solo (Tabela 2), tal como no perfil anterior, indicando que os minerais essenciais do riocacito (plagioclásios, piroxênios e feldspatos alcalinos) foram completamente destruídos, formando argilominerais e óxidos; a pequena quantidade de areia revela também que, apesar da rocha subjacente ser ácida a intermediária, com quantidades expressivas de quartzo e cristobalita indicados pelas análises mineralógicas da rocha, os cristais destes minerais devem ter dimensões muito pequenas, ou foram parcialmente corroídos, concentrando-se mais na fração silte, cujos teores foram sempre maiores do que a areia.

Para este Cambissolo (P2) a contribuição média da fração argila na CTC do solo foi de  $13,834 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ , e a contribuição média para cada 1% de carbono orgânico foi de  $5,27 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  (Figura 10).

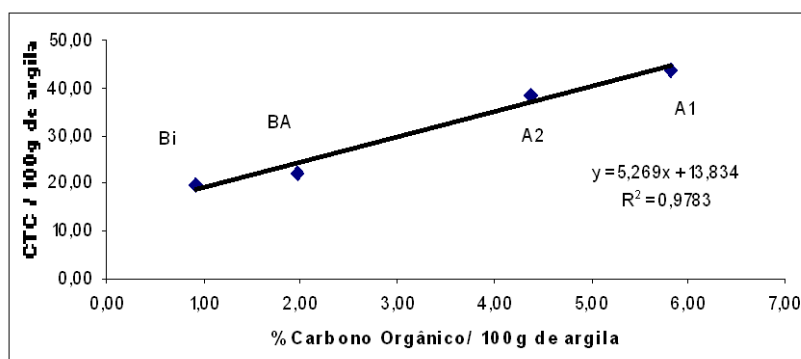


Figura 10 - Equações de regressão entre o teor de carbono orgânico e a CTC a pH7 convertidos para 100g de argila para o perfil 2 – Cambissolo Háplico alítico.

Tabela 02 - Caracterização química, física, carbono orgânico, Si, Al e Fe totais e relações moleculares das amostras de horizontes do perfil 2 – Cambissolo Háplico Aluminico úmbrico.

Perfil 2 Horizonte		Frações da amostra total %			Composição granulométrica da terra fina (dispersão com NaOH 1M) %			Argila dispersa em água %	Grau de floculação %	% Silte % Argila		
Símbolo	Profundidade cm	Calhaus > 20 mm	Cascalho 20-2 mm	Terra fina < 2 mm	Areia 2-0,05 mm	Silte 0,05- 0,002 mm	Argila < 0,002 mm					
A1	0 -13	-	0,56	99	6	36	58	12	79	0,62		
A2	13 – 26/30	1,51	1,27	97	8	28	64	4	94	0,44		
BA	26/30 - 42	0,80	12,34	87	18	15	67	48	28	0,23		
Bi	42 - 70/76	2,95	12,25	85	1	30	69	12	83	0,43		
C	70/76 – 97/78	-	1,37	99	13	32	55	-	100	0,58		
Cr	97/78 – 110+	0,48	1,00	99	14	47	40	-	100	1,16		
Horizonte	pH (1:2,5)		Complexo sortivo (cmol.kg <sup>-1</sup> )							Valor V (Sat. de bases) %	$\frac{100Al^{3+}}{S+Al^{3+}}$	
	Água	KCl 1N	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Valor S (soma)	Al <sup>3+</sup>	H <sup>+</sup>			Valor T (soma)
A1	3,9	3,5	1,22	1,05	<b>1,0</b>	0,1	1,8	8,4	13,7	23,9	7,0	83
A2	3,9	3,5	0,59	0,45	<b>0,7</b>	0,1	3,3	8,9	13,9	26,1	13,0	73
BA	4,0	3,6	0,33	0,08	<b>0,2</b>	0,0	0,6	6,0	8,2	14,8	4,0	90
Bi	4,1	3,6	0,19	0,02	<b>0,2</b>	0,0	0,4	5,1	8,3	13,7	3,0	93
C	4,3	3,7	0,16	0,02	<b>0,3</b>	0,0	0,5	4,5	5,3	10,3	5,0	90
Cr	4,5	3,7	0,14	0,02	<b>0,2</b>	0,0	0,4	4,4	12,5	17,2	2,0	93
Horizonte	C (orgânico) %	Ataque por H2SO4 (1:1) - NaOH 30%							$\frac{SiO_2}{Al_2O_3}$ (Ki)	$\frac{SiO_2}{R_2O_3}$ (Kr)	$\frac{Al_2O_3}{Fe_2O_3}$	
		SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	MnO					
A1	3,37	17,76	16,77	6,50	-	-	-	1,80	1,44	4,05		
A2	2,80	20,05	18,47	6,86	-	-	-	1,85	1,49	4,23		
BA	1,32	22,73	20,14	6,86	-	-	-	1,92	1,58	4,61		
Bi	0,63	25,40	21,50	6,86	-	-	-	2,01	1,67	4,92		
C	0,36	28,65	23,05	7,40	-	-	-	2,11	1,75	4,89		
Cr	0,15	30,94	25,01	8,85	-	-	-	2,10	1,72	4,44		

### 3.1.2.1 Mineralogia do Substrato do Perfil 2 – Riodacito avermelhado

O padrão mineralógico desta rocha foi muito semelhante à do perfil anterior (Figura 11). Os minerais mais abundantes são os piroxênios com picos a 0,290 nm, 0,228nm e 0,213 nm, os plagioclásios com picos a 0,334nm e 0,322nm, os feldspatos potássicos com espaçamentos 0,425 e 0,378nm, óxidos e hidróxidos de ferro com pico a 0,182nm, quartzo com picos a 0,425 e 0,334nm, além da cristobalita com picos a 0,405 e 0,245nm. O difratograma desta rocha ainda revela a presença de magnetita-maghemita com picos a 0,295nm, 0,253nm e 0,167nm. Os anfibólios também são identificados com os picos a 0,322nm e 0,271nm, biotita que apresenta os reflexos a 0,203 e 0,167 nm e olivina com picos a 0,251 e 0,228nm.



Figura 11 - Difratograma do pó da rocha coletada da área do perfil 2 (Riodacito avermelhado).

### 3.1.2.2 Mineralogia da fração argila do Perfil 2

O perfil 2 apresentou mineralogia da fração argila muito similar à do perfil 1. Os difratogramas do pó da argila dos horizontes A1, B1 e C deste solo (Figura 12) indicaram o predomínio de caulinita desordenada com picos a 0,722 nm, 0,444 nm, 0,358nm, 0,258 nm e 0,234 nm, com quantidades menores de argilominerais 2:1, com picos 1,4nm. A presença de quartzo também foi constatada, com picos a 0,427 nm, 0,334nm e 0,202 nm, sendo este último reflexo mais intenso no horizonte A1 do que nos demais horizontes. Óxidos e hidróxidos de ferro com reflexos a 0,182 nm, e gibbsita, com picos a 0,485 nm, também foram identificados em quantidades menores.

Nas amostras saturadas com potássio e tratamentos térmicos (Figura 12) confirmou-se caulinita como argilomineral dominante, com picos a 0,720 nm e 0,358 nm. Estes reflexos se

apresentam com bases largas e com ligeira assimetria em direção aos ângulos  $2\theta$  mais baixos, sendo o Índice de Assimetria (IA) 0,28 no A1, 0,257 no Bi2 e 0,297 no C, indicando caulinitas desordenadas, com baixa cristalinidade, misturadas com argilominerais 2:1. Estes argilominerais 2:1 não contraíram totalmente pelo aquecimento, permanecendo um reflexo largo em torno dos 1,39 nm até 1,0 nm com pequena saliência nesta última região. As amostras aquecidas a  $400^{\circ}\text{C}$  não colapsaram totalmente a 1,0 nm permanecendo em todos os horizontes uma banda de baixa intensidade próxima deste pico, indicando a existência de hidróxi Al nas entrecamadas.

A saturação com magnésio e magnésio mais etileno glicol não foi eficaz para identificação da origem dos argilominerais 2:1, pois em todos os três horizontes não se verificou a expansão, permanecendo os reflexos na região 1,40 nm. Assim, os tratamentos com DCB realizados para a remoção dos óxidos, que podem também remover algum hidróxi Al entrecamadas, não resultaram em mudanças na posição dos picos em torno de 1,4 nm, confirmando que os argilominerais 2:1 apresentam forte intercalação com polímeros hidróxi Al.



Figura 12 - Difratogramas dos horizontes A1, Bi2 e C do perfil 2 (Cambissolo Háptico alítico típico). Amostras saturadas com potássio representadas pela k em adição a estes os tratamentos térmicos k100, k400 e k550 $^{\circ}\text{C}$ ; Amostras saturadas com magnésio representadas por Mg, e magnésio mais etileno glicol representadas por Mg Et; Amostra em pó dos respectivos horizontes.



O tratamento mais agressivo das amostras deferrificadas com NaOH 3,5 mol L<sup>-1</sup> a quente, utilizado com a finalidade de concentrar os argilominerais 2:1 e remover os polímeros hidroxi Al entrecamadas, não foi eficaz para este propósito, tendo resultado numa destruição de quase todos os constituintes da fração argila (Figura 13), tal como o ocorrido no perfil 1, tendo havido apenas uma concentração residual de quartzo, e pequena quantidade de argilominerais 2:1.

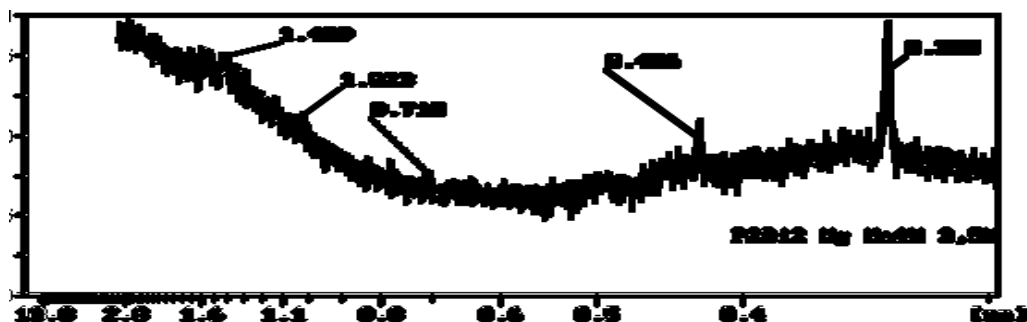


Figura 13 - Difratograma do horizonte Bi2 do perfil 2, tratamento com NaOH 3,5M e posterior saturação com magnésio.

A análise semiquantitativa dos argilominerais 2:1 indicou cerca de 14% no horizonte A1, 19% no Bi e 5% no C, cujos valores de CTC a pH 7 foram de 23.9, 13.7 e 10.3 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup> respectivamente, confirmando a participação de argilominerais 2:1 no aumento das cargas negativas deste solo, mesmo apresentando forte intercalação dos polímeros de alumínio.

### 3.1.3 Perfil 3 - Cambissolo Húmico Distrófico típico

O perfil foi descrito e coletado no terço médio de encosta com aproximadamente 25% de declividade no local, apresentando cota altimétrica de 1.009 metros, em relevo forte ondulado local e regionalmente, cuja vegetação é campo subtropical “sujo” onde a vegetação primária no local é a Floresta subtropical, subperenifólia, entremeada com campos subtropical, sendo esses campos de possível ação antrópica. O substrato é caracterizado como um riolito – riodacito, de cor rosada/avermelhada, sendo os horizontes mais superficiais influenciados por retrabalhamento de material pré-intemperizado de constituição semelhante ao da litologia subjacente (Figura 14).

O solo formado no local é pouco profundo, com espessura de solum de 63 cm, com valores de carbono orgânico no horizonte A de 3,91%, diminuindo nos demais horizontes até

alcançar teores em torno de 0,30% nos horizontes C (Tabela 3). São solos extremamente ácidos, com pH em água em torno de 3,9 nos horizontes superficiais e 4,0 nos horizontes AB e novamente de 3,9 no Bi com pequeno aumento para 4,4 no C. O pH em sal (KCl) foi sempre inferior ao pH em água, caracterizando solos com predomínio de cargas negativas.

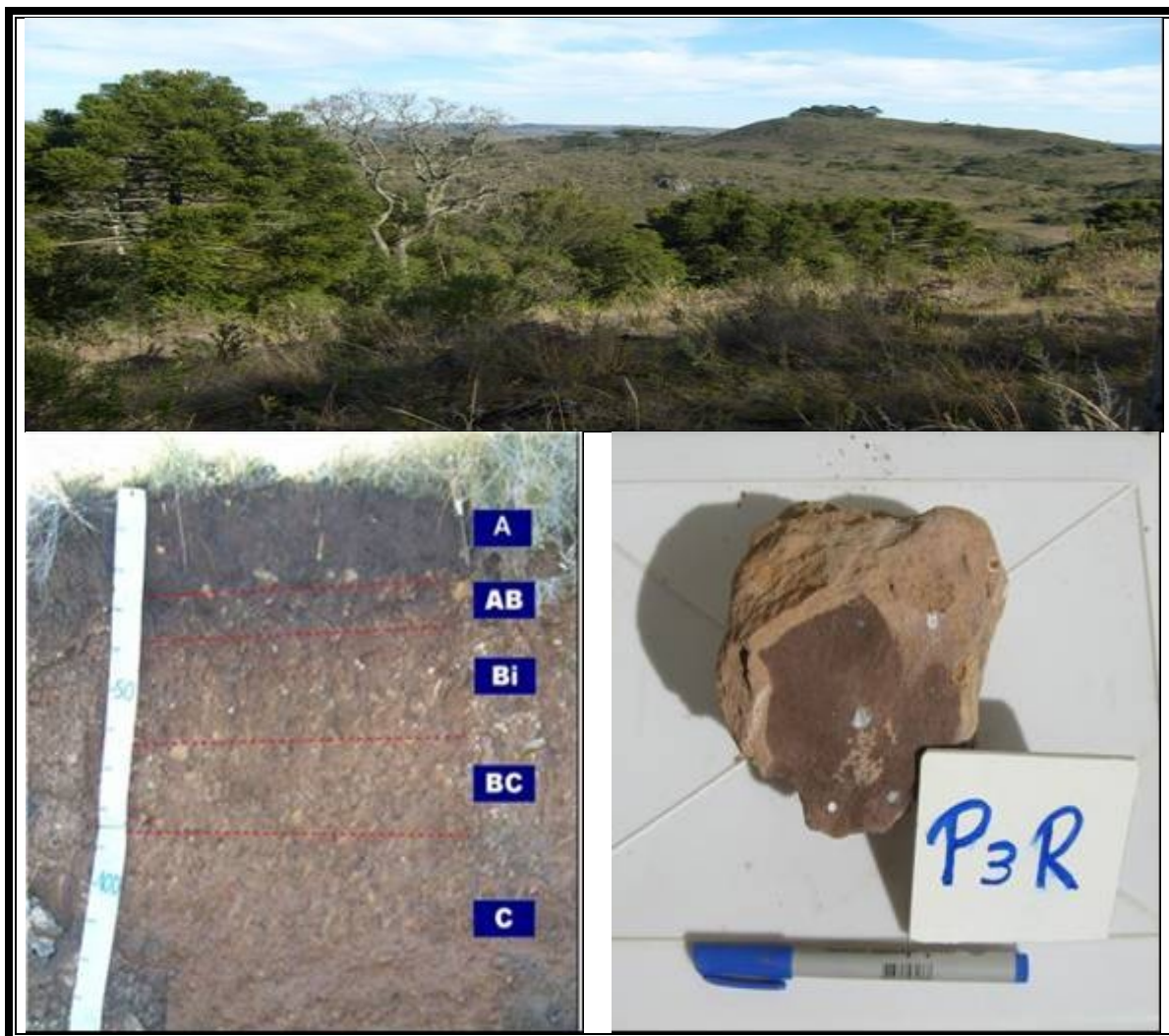


Figura 14 - Perfil 3 Cambissolo Húmico Distrófico típico. (a) Foto da área; (b) Perfil do solo e; (c) Fragmento rocha subjacente.

São solos extremamente ácidos, com pH em água em torno de 3,9 nos horizontes superficiais e 4,0 nos horizontes AB e novamente de 3,9 no Bi com pequeno aumento para 4,4 no C. O pH em sal (KCl) foi sempre inferior ao pH em água, caracterizando solos com predomínio de cargas negativas. Os valores de  $K_i$  e  $K_r$  são maiores que 0,75, portanto se trata de solos predominantemente cauliniticos (IBGE, 2007). Porém, os valores da CTC da fração argila superiores a  $24 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  no horizonte Bi parecem não refletir a participação exclusiva do argilomineral caulinita, e sim a possível contribuição de argilominerais do tipo 2:1.

Entretanto, a estimativa da CTC da fração argila neste solo pode estar superestimada, em função da contribuição ainda expressiva do carbono (0,74%) no aumento da CTC deste horizonte.

A baixa saturação por bases revelou ser um solo bastante pobre quimicamente e lixiviado, e os teores altos de  $Al^{+3}$  e  $H^{+}$ , ocupando a maior parte das cargas negativas do solo, resultaram numa saturação por alumínio maior que 90% nos horizontes subsuperficiais.

Os teores de  $Fe_2O_3$  (Tabela 3) foram baixos quando comparados aos solos desenvolvidos de basalto (P4 e P6, adiante) e apresentaram valores semelhantes em todos os horizontes, não confirmando, assim, a descontinuidade litológica indicada pela linha de pedras e cascalho entre os horizontes A e B. Sendo os riodacitos rochas de caráter intermediário, com maiores quantidades de Sílica e menor de Ferro, disso resultou também menor acumulação residual de óxidos de ferro neste perfil.

Os conteúdos de argila são muito altos e os teores de areia total muito baixos neste solo (Tabela 3), tal como nos perfis anteriores, indicando que os minerais essenciais do riodacito (plagioclásios, piroxênios e feldspatos alcalinos) foram completamente destruídos, formando argilominerais e óxidos; a pequena quantidade de areia revela também que, apesar da rocha subjacente ser ácida a intermediária, com quantidades expressivas de quartzo e cristobalita indicados pelas análises mineralógicas da rocha, os cristais destes minerais devem ter dimensões muito pequenas, ou foram parcialmente corroídos, concentrando-se mais na fração silte, cujos teores foram sempre maiores do que a areia.

Portanto, para este Cambissolo (P3) a contribuição média da fração argila na CTC do solo foi de  $25,881 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ , e a contribuição média para cada 1% de carbono orgânico foi de  $1,017 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  (Figura 15). Esta baixa correlação possivelmente deveu-se ao pequeno número de horizontes utilizado no cálculo.

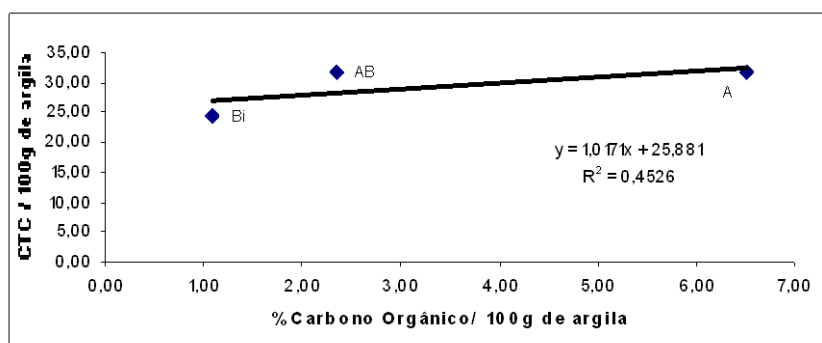


Figura 15 - Equações de regressão entre o teor de carbono orgânico e a CTC a pH7 convertidos para 100g de argila para o perfil 3 Cambissolo Húmico Distrófico típico.

Tabela 03 - Caracterização química, física, carbono orgânico, Si, Al e Fe totais e relações moleculares das amostras de horizontes do perfil 3 – Cambissolo Húmico Distrófico típico.

<b>Perfil 3</b> Horizonte		Frações da amostra total %			Composição granulométrica da terra fina (dispersão com NaOH 1M) %			Argila dispersa em água %	Grau de flocculação %	% Silte % Argila		
Símbolo	Profundidade cm	Calhaus > 20 mm	Cascalho 20-2 mm	Terra fina < 2 mm	Areia 2-0,05 mm	Silte 0,05- 0,002 mm	Argila < 0,002 mm					
A	0 – 26	-	0,16	99,84	19,20	20,80	60,00	4,00	93,33	0,35		
AB	26 – 40	7,50	44,17	48,33	13,40	24,60	62,00	35,00	43,55	0,40		
Bi	40 – 63	5,61	8,32	86,07	7,62	23,38	69,00	42,00	39,13	0,34		
BC	63 – 88	5,73	6,58	87,70	7,00	27,00	66,00	10,00	84,85	0,41		
C	88 – 160+	1,19	8,11	90,71	8,20	32,80	59,00	6,00	89,83	0,56		
Horizonte	pH (1:2,5)		Complexo sortivo ( $\text{cmol}_c \cdot \text{kg}^{-1}$ )								Valor V (Sat. de bases) %	$\frac{100\text{Al}^{3+}}{\text{S}+\text{Al}^{3+}}$
	Água	KCl 1N	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{K}^+$	$\text{Na}^+$	Valor S (soma)	$\text{Al}^{3+}$	$\text{H}^+$	Valor T (soma)		
A	3,9	3,6	0,3	0,1	0,4	0,0	0,9	6,2	12,0	19,0	5,0	87
AB	4,0	3,6	0,5	0,3	0,5	0,0	1,4	7,9	10,4	19,7	7,0	85
Bi	3,9	3,5	0,3	0,2	0,5	0,0	1,0	9,7	6,1	16,8	6,0	91
BC	4,1	3,5	0,2	0,1	0,4	0,0	0,7	8,9	5,0	14,6	5,0	93
C	4,4	3,5	0,2	0,2	0,4	0,0	0,9	8,1	7,4	16,4	5,0	90
Horizonte	C (orgânico) %	Ataque por $\text{H}_2\text{SO}_4$ (1:1) - NaOH 30%						$\frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3}$ (Ki)	$\frac{\text{SiO}_2}{\text{R}_2\text{O}_3}$ (Kr)	$\frac{\text{Al}_2\text{O}_3}{\text{Fe}_2\text{O}_3}$		
		$\text{SiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{TiO}_2$	$\text{P}_2\text{O}_5$	MnO					
A	3,91	19,10	22,60	6,86			1,44	1,20	5,17			
AB	1,45	24,45	22,86	7,40			1,82	1,51	4,85			
Bi	0,74	27,69	25,22	6,86			1,87	1,59	5,77			
BC	0,39	31,32	21,38	7,40			2,49	2,04	4,53			
C	0,21	36,29	22,14	8,85			2,79	2,22	3,93			

### 3.1.3.1 Mineralogia do Substrato do Perfil 3 – Riodacito avermelhado

Esta rocha apresentou geodos de tamanho centimétrico de quartzo em seu interior, indicando que este material se consolidou de forma mais lenta possibilitando a formação de bolsões de ar permitindo assim a formação desses geodos.

O padrão mineralógico foi semelhante ao das demais rochas intermediárias a ácidas desta toposequência. Foram identificados os seguintes minerais: piroxênios com picos a 0,290 nm, 0,228nm e 0,213 nm, plagioclásios com picos a 0,334nm e 0,322nm, feldspatos potássicos com espaçamentos 0,425 e 0,376 nm, óxidos e hidróxidos de ferro com pico a 0,182nm, quartzo com reflexos a 0,425nm, 0,334nm e 0,228nm), além da cristobalita com picos a 0,405 e 0,245 nm (Figura 16).

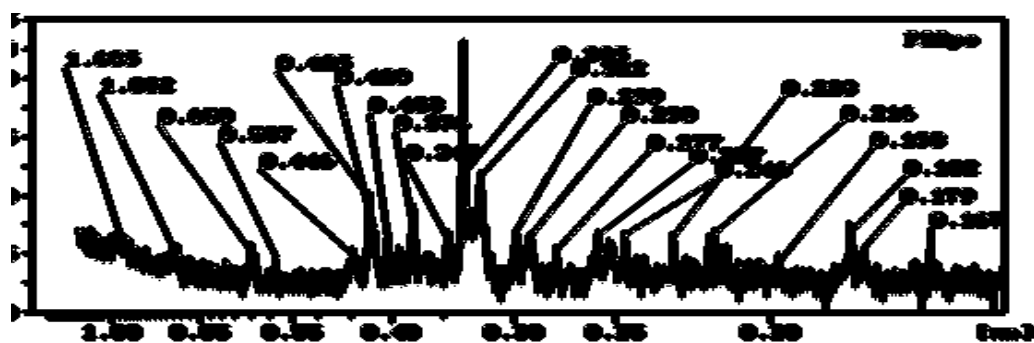


Figura 16 - Difratograma do pó da rocha coletada da área do perfil 3 (Riodacito rosado/avermelhado).

Os picos a 1,605 sugerem que já há uma possível formação de argilomineral expansível. O difratograma desta rocha ainda revela a presença de magnetita-maghemita com picos a 0,298nm, 0,252nm e 0,161nm. Os anfibólios também são identificados com os picos a 0,322nm e 0,270nm, biotita que apresenta os reflexos a 0,203 e 0,167 nm e olivina com picos a 0,252 e 0,228nm.

### 3.1.3.2 Mineralogia da fração argila do Perfil 3

Neste perfil, o difratograma do pó (Figura 17) dos horizontes A, Bi e C indicou a presença de argilominerais 2:1, com picos pouco intensos a 1,4nm e uma pequena saliência na região de 1,00nm possivelmente indicadora de illita. A caulinita desordenada foi o argilomineral dominante neste solo, com picos a 0,729 nm, 0,449 nm, 0,358, 0,258 nm e

0,234 nm, sendo o reflexo a 0,234 nm mais intenso no horizonte A e decaindo nos demais horizontes. O quartzo, com picos a 0,425 nm, 0,334nm e 0,202 nm, bem como os óxidos e hidróxidos de ferro, com reflexos a 0,182 nm, também foram constatados.

A figura 17 apresenta os difratogramas das amostras saturadas com potássio e submetidas a tratamentos térmicos, onde confirma-se a caulinita dominante, com picos a 0,716 nm e 0,357 nm. Estes reflexos se apresentam com bases largas e com ligeira assimetria em direção aos ângulos  $2\theta$  mais baixos, sendo o Índice de Assimetria (IA) 0,28 no A, 0,222 no Bi e 0,316 no C, indicando caulinitas desordenadas, de baixa cristalinidade, ou mesmo a presença de interstratificação de camadas 2:1 nos cristais da caulinita. Os argilominerais 2:1, com picos em torno de 1,4nm, não contraíram totalmente pelo aquecimento, permanecendo um reflexo largo em torno dos 1,48 nm até 1,0 nm. As amostras saturadas com magnésio e etileno glicol não expandiram, ficando os reflexos na região 1,40 nm. Este comportamento indica provável intercalação das entrecamadas com polímeros de hidróxi-alumínio.



Figura 17 - Difratogramas dos horizontes A, Bi e C do perfil 3 (Cambissolo Háplico alítico típico). Amostras saturadas com potássio representadas pela k em adição a estes os tratamentos térmicos k100, k400 e k550°C; Amostras saturadas com magnésio representadas por Mg, e magnésio mais etileno glicol representadas por Mg Et; Amostra em pó dos respectivos horizontes.

Ao contrário dos demais solos, o tratamento com NaOH 3,5 molar resultou na formação de pico (pouco intenso) a 1.543 nm (Figura 18), denotando possível presença do

argilomineral esmectita, além de um pequeno reflexo a 1,01nm caracterizando a illita. Esses resultados assemelham-se aos obtidos por Clemente (1988), que em solos originados de rochas ácidas do tipo Palmas, encontraram esmectita do tipo montmorilonita, illita e interstratificados do tipo illita-esmectita. No entanto, observa-se que o tratamento foi muito drástico, resultando numa destruição quase completa dos argilominerais, com acumulação residual maior do quartzo.

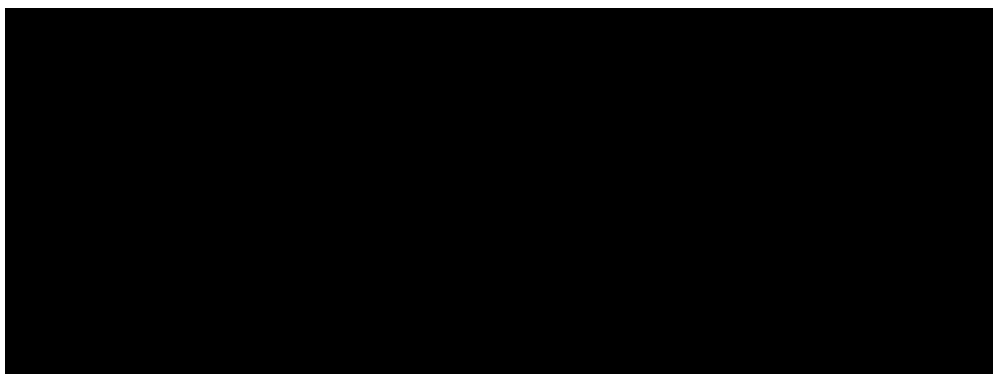


Figura 18 - Difratoograma do horizonte Bi2 do perfil 3, tratamento com NaOH 3,5M e posterior saturação com magnésio.

A análise semiquantitativa dos argilominerais 2:1 indicou cerca de 9% no horizonte A, 15% no Bi e 5% no C, os quais apresentaram CTC a pH 7 de 19,0, 16,8 e 16,4  $\text{cmol}_c \cdot \text{kg}^{-1}$  respectivamente, confirmando a participação dos argilominerais 2:1 no aumento das cargas negativas deste solo, mesmo apresentando intercalação dos polímeros de alumínio.

#### 3.1.4 Perfil 4 - Nitossolo Vermelho Distroférico típico

O perfil foi descrito e coletado no terço inferior da encosta, com aproximadamente 20% de declividade no local, em cota altimétrica de 825 metros, relevo ondulado no local e forte ondulado e montanhoso regionalmente, em cuja vegetação de campo com capoeira e resquícios de mata de Araucária. A vegetação primária do local é a Floresta subtropical, subperenifólia. A rocha subjacente é um Basalto Andesito, sendo o material de origem representado por produtos de alteração desta rocha com forte influência de material coluvial (Figura 19).

Os valores de  $K_i$  e  $K_r$  são maiores que 0,75, portanto se trata de solos predominantemente caulínicos (IBGE, 2007). Do mesmo modo que nos perfis anteriores, os valores de CTC da fração argila variaram de 17 a 22  $\text{cmol}_c \cdot \text{kg}^{-1}$ , não refletindo a participação exclusiva do argilomineral caulinita, e sim a possível contribuição de argilominerais do tipo

2:1 expansíveis. Entretanto, o cálculo da atividade da argila pode estar superestimado, já que os teores de carbono orgânico são ainda relativamente altos nos horizontes BA e Bt1.

O solo formado no local é profundo, com espessura de solum de 152 cm, com valores de carbono orgânico no horizonte A1 e A2 de 3,24 e 2,20% respectivamente, diminuindo nos demais horizontes até alcançar teores em torno de 0,30% no horizonte C (Tabela 4). São solos fortemente ácidos, porém o pH é superior aos perfis descritos anteriormente. O pH em sal é sempre inferior ao pH em água, caracterizando solos com predomínio de cargas negativas.

Os valores de  $K_i$  e  $K_r$  são maiores que 0,75, portanto se trata de solos predominantemente caulínico. Do mesmo modo que nos perfis anteriores, os valores de CTC da fração argila variaram de 17 a 22  $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ , não refletindo a participação exclusiva do argilomineral caulinita, e sim a possível contribuição de argilominerais do tipo 2:1 expansíveis. Entretanto, o cálculo da atividade da argila pode estar superestimado, já que os teores de carbono orgânico são ainda relativamente altos nos horizontes BA e Bt1.

Os teores de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (Tabela 4) foram mais altos neste perfil em relação aos Cambissolos, desenvolvidos de riodacitos, com valores superiores a 18% em todos os horizontes (férricos), devido ao fato do basalto conter maior conteúdo de ferro em minerais ferro-magnesianos.

A saturação por bases foi inferior a 50% em todos os horizontes deste perfil (solos distróficos), porém seus valores foram expressivamente mais altos do que nos Cambissolos da parte mais alta da topossequência (entre 18 e 44%). Além disso, os valores de Soma de Bases são mais altos (entre 2,6 e 10  $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ ) e os teores de Al trocável bem mais baixos do que nos perfis de Cambissolos, indicando solos menos lixiviados e com maior fertilidade química do que aqueles. Tais características parecem refletir as diferenças no material de origem, já que a litologia deste solo é o basalto, rocha básica caracterizada pela presença de maiores quantidades de minerais ferro-magnesianos e cálcicos. Maior contribuição de material coluvial e menor lixiviação deste solo, pela posição em relevo mais acidentado, também são hipóteses plausíveis para explicar as diferenças.

Os valores de argila, silte e areia são mostrados na tabela 12. As rochas básicas são mais ricas em minerais primários de fácil intemperização, tais como: feldspatos, plagioclásios, piroxênios, olivinas, mica do tipo biotita e eventualmente de anfibólio representado por hornblenda, o que lhe confere a formação e maior percentagem de argila, e poucos resquícios de quartzo mais evidente constituinte da fração areia.



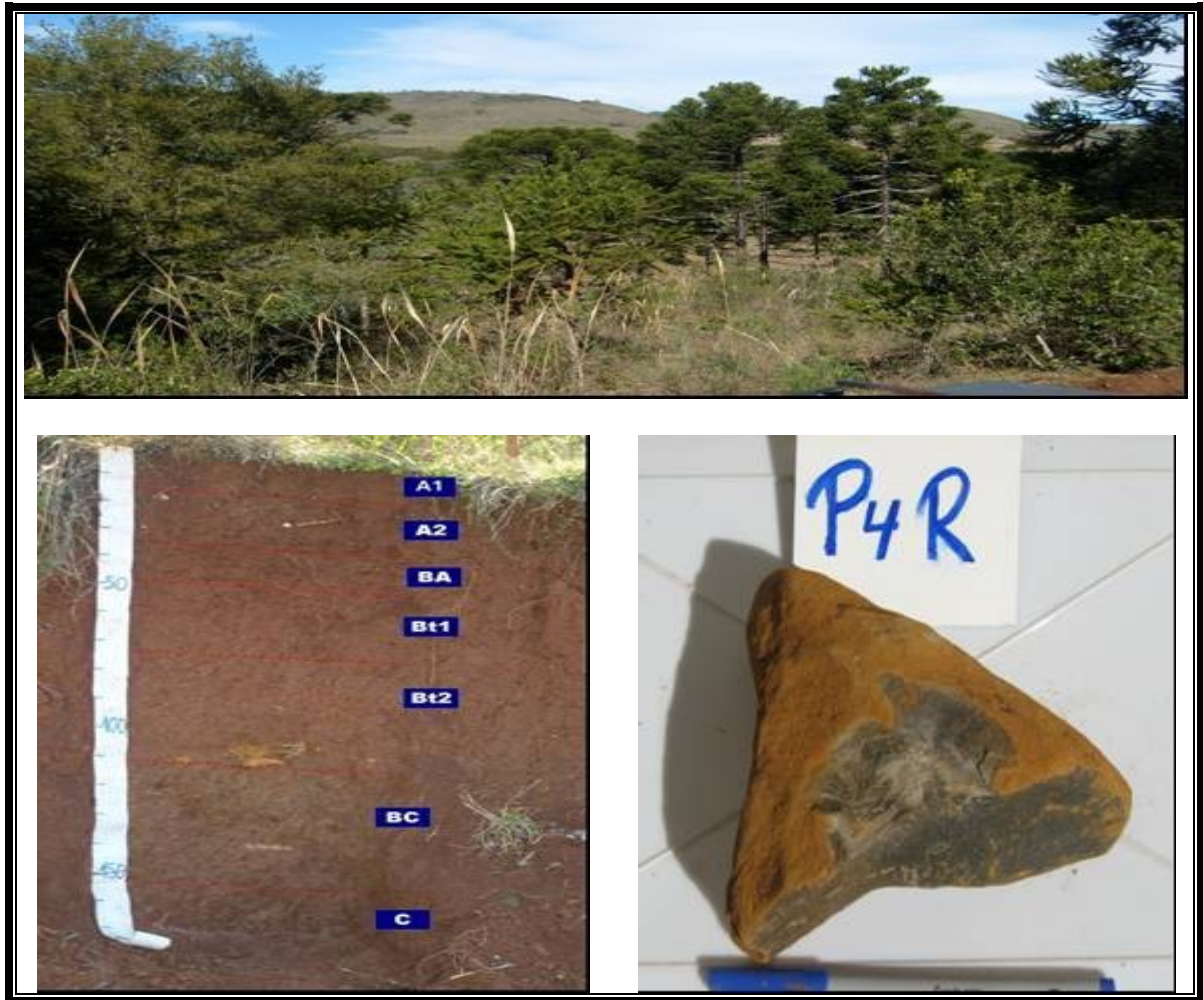


Figura 19 - Perfil 4 Nitossolo Vermelho distroférico típico. (a) Foto da área; (b) Perfil do solo e; (c) Fragmento rocha subjacente.

Neste Nitossolo (P4) a contribuição média da fração argila na CTC do solo foi de  $14,861 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ , e a contribuição média para cada 1% de carbono orgânico é de  $4,534 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  (Figura 20).

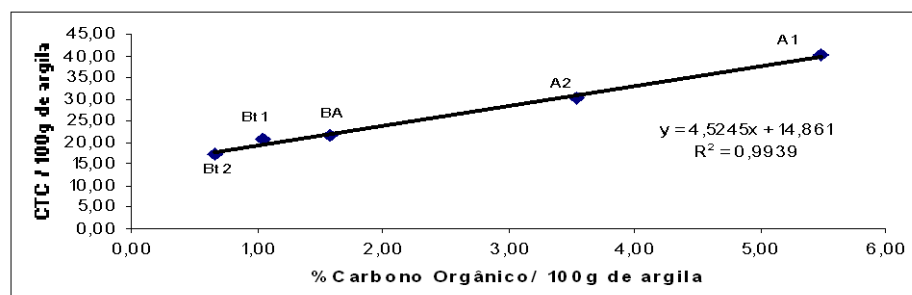


Figura 20 - Equações de regressão entre o teor de carbono orgânico e a CTC a pH7 convertidos para 100g de argila para o perfil 4.

A cor mais vermelha deste solo revela a participação mais expressiva da hematita, neste solo em relação aos da porção mais alta da toposequência. Kampf & Schwertmann (1983) reportam que em solos derivados de basalto, riolito e arenito no RS a matéria orgânica não elimina a influência da hematita na cor.

Tabela 04 - Caracterização química, física, carbono orgânico, Si, Al e Fe totais e relações moleculares das amostras de horizontes do perfil 4 – Nitossolo Vermelho Distroférico típico.

Perfil 4 Horizonte		Frações da amostra total %			Composição granulométrica da terra fina (dispersão com NaOH 1M) %			Argila dispersa em água %	Grau de floculação %	% Silte % Argila
Símbolo	Profundidade cm	Calhaus > 20 mm	Cascalho 20-2 mm	Terra fina < 2 mm	Areia 2-0,05 mm	Silte 0,05- 0,002 mm	Argila < 0,002 mm			
A1	0-15	-	1,31	98,70	14,88	26,12	59,00	52,00	11,86	0,44
A2	15-34	-	1,42	98,59	17,60	20,40	62,00	56,00	9,68	0,33
BA	34-49	-	0,56	99,44	15,36	17,64	67,00	6,00	91,04	0,26
Bt1	49-73	-	2,80	97,21	14,22	16,78	69,00	20,00	71,01	0,24
Bt2	73-110	1,70	0,37	97,94	12,00	18,00	70,00	6,00	91,43	0,26
BC	110-152	-	1,88	98,12	12,60	24,40	63,00	2,00	96,83	0,39
C	152-170+	-	6,11	93,90	12,90	25,10	62,00	-	100,00	0,40

Horizonte	pH (1:2,5)		Complexo sortivo (cmol.c.kg <sup>-1</sup> )								Valor V (Sat. de bases) %	$\frac{100Al^{3+}}{S+Al^{3+}}$	P assimilável ppm
	Água	KCl 1N	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Valor S (soma)	Al <sup>3+</sup>	H <sup>+</sup>	Valor T (soma)			
A1	4,8	4,3	4,8	3,1	2,0	0,0	10,0	1,2	12,5	23,6	42,0	10,0	-
A2	4,4	3,9	2,9	2,0	1,2	0,0	6,2	1,9	10,7	18,8	33,0	23,0	-
BA	4,4	3,9	2,1	1,1	0,4	0,0	3,7	2,5	8,4	14,6	26,0	41,0	-
Bt1	4,4	3,8	1,6	0,7	0,3	0,0	2,6	3,0	8,7	14,3	18,0	54,0	-
Bt2	4,6	4,0	1,5	0,9	0,3	0,0	2,6	1,1	8,4	12,1	22,0	29,0	-
BC	5,0	4,2	1,8	1,7	0,3	0,1	3,8	0,8	6,9	11,5	33,0	17,0	-
C	5,1	4,5	3,2	2,5	0,4	0,0	6,1	0,4	7,3	13,8	44,0	6,0	-

Horizonte	C (orgânico) %	Ataque por H2SO4 (1:1) - NaOH 30%						$\frac{SiO_2}{Al_2O_3}$ (Ki)	$\frac{SiO_2}{R_2O_3}$ (Kr)	$\frac{Al_2O_3}{Fe_2O_3}$
		SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	MnO			
A1	3,24	15,66	16,30	18,96				1,63	0,94	1,35
A2	2,20	17,76	19,76	18,41				1,53	0,96	1,68
BA	1,06	18,72	21,86	23,83				1,46	0,86	1,44
Bt1	0,72	21,58	22,02	24,73				1,67	0,97	1,40
Bt2	0,46	23,68	25,75	19,68				1,56	1,05	2,05
BC	0,28	25,40	19,88	19,86				2,17	1,33	1,57
C	0,24	28,65	19,80	20,94				2,46	1,47	1,48

### 3.1.4.1 Mineralogia do Substrato do Perfil 4 – Basalto Andesito

Nos basaltos, houve maior intensidade dos reflexos em torno de 0,320nm, com menor intensidade do quartzo a 0,334nm (Figura 21). Isto parece indicar maior quantidade dos piroxênios, anfibólios e plagioclásios no basalto e menores de quartzo, em relação aos riodacitos.

No difratograma do núcleo da rocha do perfil 4 se constata a presença de plagioclásios com picos a 0,334nm e 0,322nm, dentre estes o principal plagioclásio é a anortita com reflexos 0,401nm, 0,375nm, 0,324nm e 0,320nm (anortita intermediária) e 0,401nm, 0,363nm e 0,317nm (anortita ordenada) (PDF-CARD, 1996).

Os piroxênios também estão presentes nesta rocha confirmado através dos picos 0,299nm, 0,228nm e 0,213 nm, sendo a augita o principal piroxênio presente com reflexos a 0,320nm, 0,294nm e 0,251nm (PDF-CARD, 1996).

A presença de feldspatos potássicos é confirmada pelos picos em 0,401nm e 0,299nm. Os picos em 0,426nm, 0,334nm, 0,246nm e 0,182nm foram menos intensos nesta rocha em comparação às anteriores, confirmando assim os menores teores de quartzo dos basaltos. A magnetita–maghemita foi confirmada pelos picos a 0,294nm, 0,251nm e 0,162nm. Anfibólios com os reflexos observados a 0,320nm e 0,270nm. Mica do tipo biotita com picos a 0,203nm e 0,167nm. Olivina 0,251nm e 0,228nm. A cristobalita também foi constatada nesta rocha devido aos reflexos a 0,401nm, 0,283nm, 0,249nm e 0,188nm.

Além destes minerais foi confirmado a presença de óxidos e hidróxidos de ferro com picos a 0,188nm.

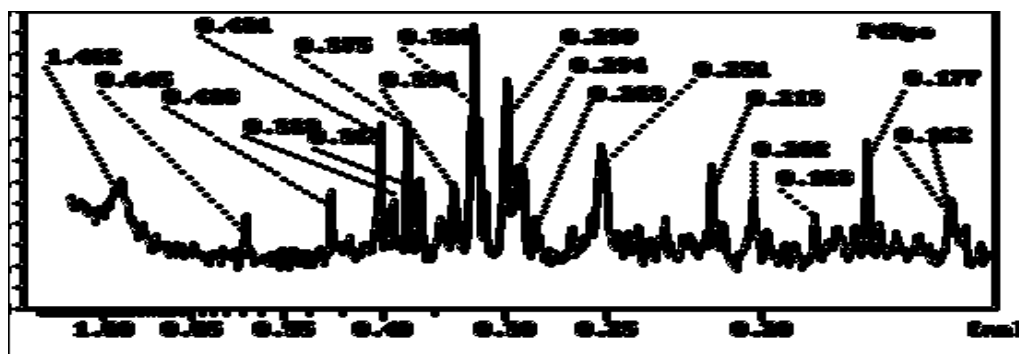


Figura 21 – Difratograma do pó da rocha coletada da área do perfil 4 (Basalto andesito).

#### 3.1.4.2 Mineralogia da fração argila do Perfil 4

Neste perfil o difratograma do pó (Figura 22) indicou caulinita desordenada dominante em todos os horizontes, com picos a 0,729 nm, 0,446 nm, 0,358, 0,256 nm e 0,234 nm, sendo o reflexo a 0,234 nm mais intenso no horizonte A1, decaindo nos demais. Os picos da caulinita foram os mais intensos desta topossequência, principalmente no horizonte Bt2. Os argilominerais 2:1 também ocorreram em quantidade expressiva, com picos a 1,427 nm no A1, 1,482 no Bt2 1.541 nm e no C, além de pequenos picos a 1,00 e 0,590 nm, possivelmente indicativos da illita. O quartzo, com picos a 0,425 nm, 0,334 nm e 0,202 nm, e os óxidos e os hidróxidos de ferro, com reflexos a 0,182 nm também foram constatados.

Os difratogramas das amostras saturadas com potássio e tratamentos térmicos se encontram na figura 22, confirmando a caulinita como argilomineral dominante (picos a 0,723 nm e 0,356 nm). Estes reflexos se apresentam com bases largas e com ligeira assimetria em direção aos ângulos  $2\theta$  mais baixos, sendo o Índice de Assimetria (IA) 0,368 no A1, 0,361 no Bt2 e 0,409 no C, indicando caulinitas desordenadas, de baixa cristalinidade, mas também podem ser indicativas interstratificação de camadas 2:1 nos cristais de caulinita. A presença de illita, especialmente no horizonte Bt2, é indicada pelo reflexo próximo a 1,00 nm nas amostras com potássio a temperatura ambiente (25°C).

Os argilominerais 2:1 com picos a 1,4 nm, não contraíram totalmente a 550°C, permanecendo um reflexo largo em torno dos 1,38 nm até 1,0 nm, indicando a existência de grande quantidade de polímeros de hidróxi-Al nas entrecamadas.

As amostras saturadas com magnésio e magnésio mais etileno glicol evidenciaram pouca expansão, permanecendo os reflexos na região 1,40 nm. Não foi possível, portanto, identificar a origem destes argilominerais, já que mesmo tendo sido feito o pré-tratamento para remoção dos óxidos, não houve expansão das amostras, devido a presença de hidróxi-Al entrecamadas, tanto na vermiculita como na esmectita, dificultam ou mesmo impedem a expansão das camadas após o tratamento com etileno glicol.

A análise semiquantitativa dos argilominerais 2:1 indicou em torno de 26% no horizonte A1, 25% no Bt2 e 24% no C, cujos valores de CTC a pH 7 foram de 23,60, 12,1 e 13,8  $\text{cmol.kg}^{-1}$  respectivamente, confirmando a contribuição dos argilominerais 2:1 no aumento das cargas negativas do solo, mesmo considerando a forte intercalação dos mesmos com polímeros hidróxi Al.

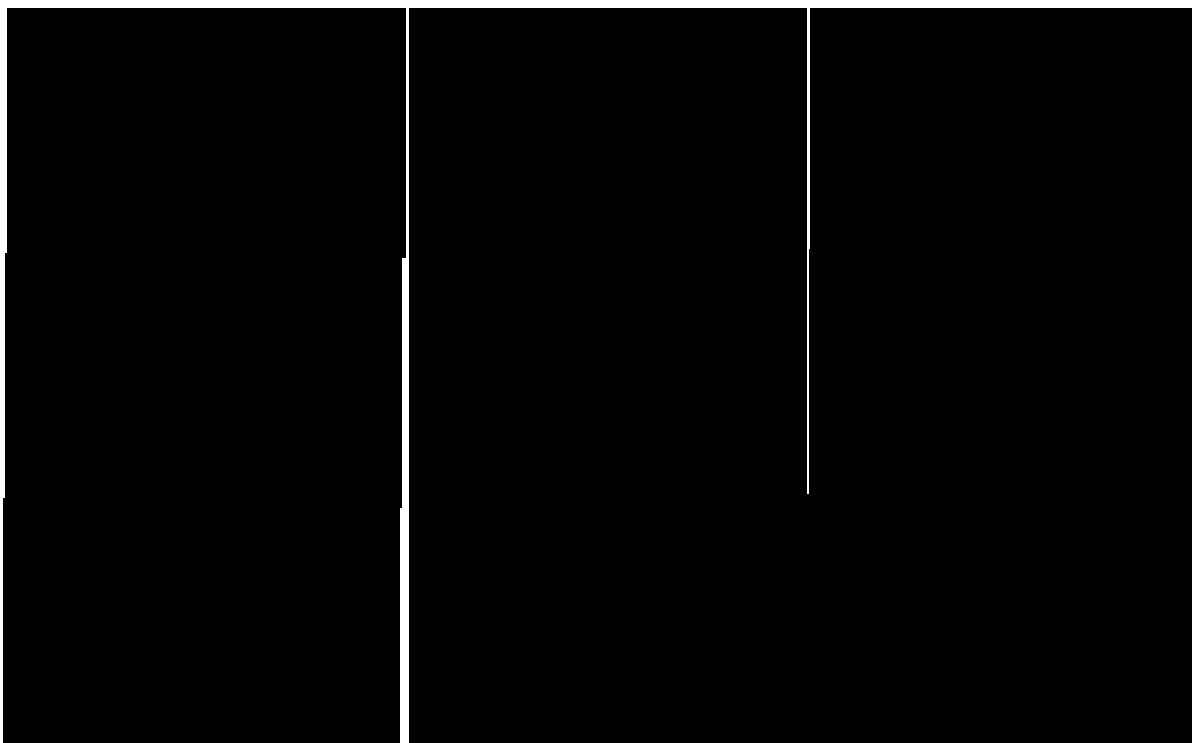


Figura 22 - Difratoogramas dos horizontes A1, Bt2 e C do perfil 4 (Nitossolo Vermelho distroférico típico). Amostras saturadas com potássio representadas pela k em adição a estes os tratamentos térmicos k100, k400 e k550°C; Amostras saturadas com magnésio representadas por Mg, e magnésio mais etileno glicol representadas por Mg Et; Amostra em pó dos respectivos horizontes.

O tratamento com NaOH 3,5 molar a quente para remover os polímeros também não foi eficaz na identificação dos argilominerais 2:1, tendo promovido a destruição quase completa dos constituintes da fração argila (Figura 23), embora alguns autores (RYAN e HUERTAS, 2009; MELO et al, 2009) tenham encontrado bons resultados com o emprego desta metodologia. Possivelmente, para argilominerais de pequena dimensão e baixa cristalinidade, o tratamento com NaOH tenha sido muito agressivo.

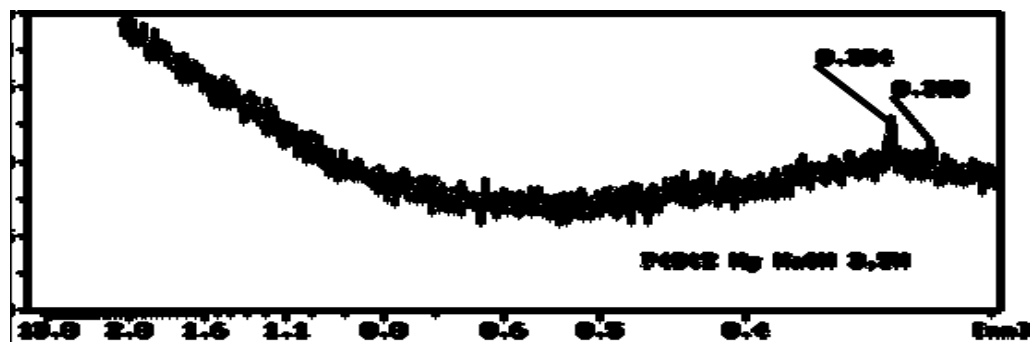


Figura 23 - Difratoograma do horizonte Bt2 do perfil 4, tratamento com NaOH 3,5M e posterior saturação com magnésio.

## 3.2 TOPOSSEQUÊNCIA II

### 3.2.1 Perfil 6 - Nitossolo Vermelho Alítico típico

O perfil foi descrito e coletado em meia encosta, com aproximadamente 18% de declividade, em cota altimétrica de 857 metros, com relevo local forte ondulado e na região sendo forte ondulado a montanhoso. A vegetação do local de coleta era de vassouras e gramíneas, caracterizando um campo sujo, mas nas imediações ocorria mata natural. A vegetação primária do local é a Floresta Ombrófila Mista. A rocha subjacente é um Basalto Andesito, sendo o material de origem representado por produtos de alteração desta rocha com forte influência de material coluvial. (Fig. 24).

Os valores de argila, silte e areia são mostrados na tabela 5. As rochas básicas, como o basalto, são ricas em minerais primários de fácil intemperização, tais como feldspatos, plagioclásios, piroxênios, olivinas, mica do tipo biotita, o que favorece a formação de solo mais argiloso. Como os teores de quartzo no basalto são muito baixos, a quantidade de areia também é baixa.

O solo formado no local é pouco profundo, com espessura de solum de 95 cm, com valores de carbono orgânico no horizonte Ap de 1,64%, diminuindo nos demais horizontes até alcançar teores em torno de 0,20% no horizonte C (Tabela 5). São solos fortemente ácidos a ácidos, porém o pH é superior aos demais perfis desta topossequência. O pH em sal foi sempre inferior ao pH em água, caracterizando solos com predomínio de cargas negativas

Os valores de  $K_i$  e  $K_r$  são maiores que 0,75, portanto se trata de solos predominantemente caulíníticos. Do mesmo modo que nos perfis anteriores, os valores de CTC da fração argila foram médios a altos variando de 19 a 22  $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ , não refletindo a participação exclusiva do argilomineral caulinita, e sim a possível contribuição de argilominerais do tipo 2:1 expansíveis. Entretanto, o cálculo da atividade da argila pode estar superestimado, já que os teores de carbono orgânico são ainda relativamente altos nos horizontes BA e Bt1.

Este solo já havia sofrido revolvimento para uso agrícola, possivelmente com pastagem, e apresentou horizonte superficial de apenas 12cm. Sendo este um solo pouco profundo a profundo, com declividade moderada e baixa cobertura vegetal em toda área, concluiu-se que a perda de parte do horizonte superficial se deu através de processos erosivos intensificados pela pulverização do solo. Além de que o teor do carbono orgânico

praticamente a metade dos teores de carbono orgânico obtido nos demais solos da região, caracterizando a perda do horizonte superficial.

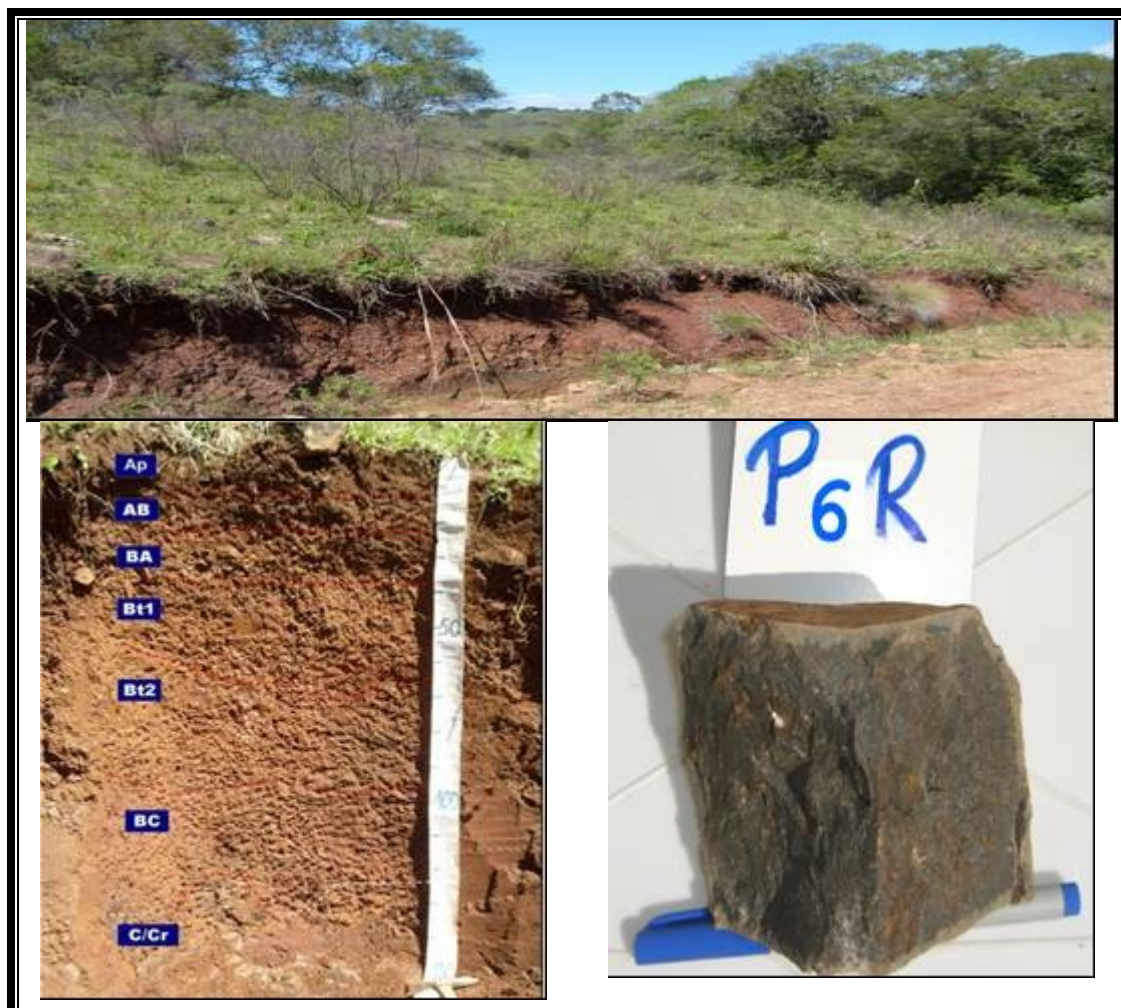


Figura 24 - Perfil 6 Nitossolo Vermelho Alítico típico. (a) Foto da área; (b) Perfil do solo e; (c) Fragmento rocha subjacente.

A saturação por bases foi inferior a 50% em todos os horizontes deste perfil (solos distróficos), porém seus valores foram expressivamente mais altos do que nos Cambissolos da parte mais alta da topossequência (entre 22 e 41%), com valores similares aos do perfil P4. Além disso, os valores de Soma de Bases são mais altos (entre 3,8 e 8,5  $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ ) do que nos perfis de Cambissolos, indicando solos menos lixiviados e com maior fertilidade química do que aqueles. Os teores de Al trocáveis, apesar de relativamente baixos nos horizontes mais superficiais, mantêm-se ainda em valores altos nos subsuperficiais, sendo superiores a 4,0  $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$  a partir do horizonte BA. Neste aspecto diferem do perfil de Nitossolo Vermelho da topossequência 1, coletado na margem oposta do rio Lava Tudo, cujos teores de Al são mais baixos.

Tabela 05 - Caracterização química, física, carbono orgânico, Si, Al e Fe totais e relações moleculares das amostras de horizontes do perfil 6 – Nitossolo Vermelho Alítico típico.

Perfil 6 Horizonte		Frações da amostra total %			Composição granulométrica da terra fina (dispersão com NaOH 1M) %			Argila dispersa em água %	Grau de floculação %	% Silte % Argila
Símbolo	Profundidade cm	Calhaus > 20 mm	Cascalho 20-2 mm	Terra fina < 2 mm	Areia 2-0,05 mm	Silte 0,05- 0,002 mm	Argila < 0,002 mm			
Ap	0-12	-	1,25	98,75	16,80	15,20	68,00	52,00	23,53	0,22
AB	12-22	-	1,55	98,45	15,80	8,20	76,00	54,00	28,95	0,11
BA	22-38	5,10	2,90	92,00	16,30	5,70	78,00	44,00	43,59	0,07
Bt1	38-60/67	-	0,90	99,10	4,92	12,08	83,00	8,00	90,36	0,15
Bt2	60/67-91/95	-	0,55	99,45	5,04	13,96	81,00	6,00	92,59	0,17
BC	91/95-125/132	-	-	100,00	6,88	18,12	75,00	-	100,00	0,24
C/Cr	125/132-150+	-	19,45	80,55	19,60	14,40	66,00	4,00	93,94	0,22

Horizonte	pH (1:2,5)		Complexo sortivo (cmol <sub>c</sub> .kg <sup>-1</sup> )								Valor V (Sat. de bases) %	100Al <sup>3+</sup> S+Al <sup>3+</sup>
	Água	KCl 1N	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Valor S (soma)	Al <sup>3+</sup>	H <sup>+</sup>	Valor T (soma)		
Ap	4,9	4,1	4,8	2,4	1,3	0,1	8,5	0,9	11,6	21,0	41,0	9,0
AB	4,8	4,0	3,4	1,7	0,7	0,0	5,9	1,8	10,5	18,1	32,0	23,0
BA	4,7	3,8	2,5	1,1	0,5	0,0	4,2	3,3	9,2	16,8	25,0	44,0
Bt1	5,0	3,8	1,8	1,5	0,4	0,0	3,8	4,7	8,1	16,6	23,0	55,0
Bt2	5,1	3,8	2,5	2,5	0,5	0,1	5,5	4,9	5,2	15,6	35,0	47,0
BC	5,2	3,7	3,7	4,8	0,5	0,1	9,1	4,4	6,3	19,8	46,0	33,0
C/Cr	5,3	3,7	5,6	6,1	0,7	0,1	12,6	4,3	5,3	22,2	57,0	26,0

Horizonte	C (orgânico) %	Ataque por H2SO4 (1:1) - NaOH 30%							SiO <sub>2</sub> Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (Ki)	SiO <sub>2</sub> R <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (Kr)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
		SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	MnO				
Ap	1,64	19,67	13,98	22,03	-	-	-	2,39	1,19	1,00	
AB	1,12	20,05	20,76	22,93	-	-	-	1,64	0,96	1,42	
BA	1,02	20,44	22,12	19,32	-	-	-	1,57	1,01	1,80	
Bt1	0,84	21,20	23,50	19,50	-	-	-	1,53	1,00	1,89	
Bt2	0,35	21,77	24,12	17,87	-	-	-	1,53	1,04	2,12	
BC	0,20	27,31	24,89	18,41	-	-	-	1,87	1,27	2,12	
C/Cr	0,20	31,13	26,80	18,41	-	-	-	1,98	1,37	2,28	



Para este Nitossolo (P6) a contribuição média da fração argila na CTC do solo foi de  $14,83 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ , e a contribuição média para cada 1% de carbono orgânico é de  $6,2306 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  (Figura 25).

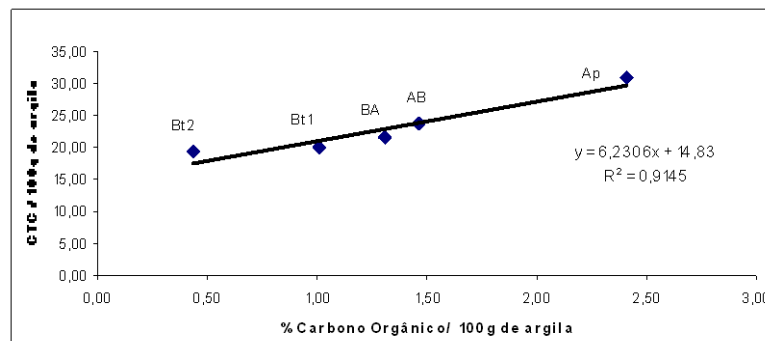


Figura 25 - Equações de regressão entre o teor de carbono orgânico e a CTC a pH7 convertidos para 100g de argila para o perfil 6.

A litologia deste solo é o basalto, rocha básica caracterizada pela presença de maiores quantidades de minerais ferromagnesianos e cálcicos, que devem ter contribuído para a melhor fertilidade química deste solo. Maior contribuição de material coluvial e menor lixiviação deste solo, pela posição em relevo mais acidentado, também são hipóteses plausíveis para explicar as diferenças em relação aos solos do topo da topossequência. Os teores de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  foram mais altos neste perfil (Tabela 5) em relação aos Cambissolos desenvolvidos de riodacitos, com valores próximo ou superiores a 18% em todos os horizontes (fêrricos), devido ao fato do basalto conter maior conteúdo de ferro em minerais ferromagnesianos.

### 3.2.1.1 Mineralogia do Substrato do Perfil 6 – Basalto

O difratograma (Figura 26) é bastante semelhante ao padrão encontrado na rocha do perfil 6, sendo esta constituída de plagioclásios com picos a  $0,337\text{nm}$  e  $0,322\text{nm}$ , dentre estes o principal plagioclásio é a anortita com reflexos  $0,405\text{nm}$ ,  $0,376\text{nm}$ ,  $0,324\text{nm}$  e  $0,320\text{nm}$  (anortita intermediária) e  $0,405\text{nm}$ ,  $0,364\text{nm}$  e  $0,317\text{nm}$  (anortita ordenada) (PDF-CARD, 1996). Os piroxênios também estão presentes nesta rocha confirmado através dos picos  $0,293\text{nm}$ ,  $0,228\text{nm}$  e  $0,214\text{nm}$ , sendo a augita o principal piroxênio presente com reflexos a  $0,320\text{nm}$ ,  $0,293\text{nm}$  e  $0,251\text{nm}$  (PDF-CARD, 1996).

A presença de feldspatos potássico pode ser observada com os picos originados em  $0,405\text{nm}$  e  $0,299\text{nm}$ . O quartzo, com picos menos intensos, foi constatado pelos reflexos a

0,426nm, 0,337nm, 0,246nm, 0,183nm. A magnetita–maghemita com picos a 0,295nm, 0,251nm e 0,161nm. Anfibólios com os reflexos observados a 0,321nm e 0,270nm. Mica do tipo biotita com picos a 0,203nm e 0,163nm e do tipo muscovita com picos a 1,07nm e 0,199nm. Olivina 0,251nm e 0,228nm. A cristobalita também foi constatada nesta rocha devido aos reflexos a 0,405nm, 0,283nm, 0,250nm e 0,188nm. Além destes minerais foi confirmado a presença de óxidos e hidróxidos de ferro com picos a 0,188nm.



Figura 26 - Difratograma do pó da rocha coletada da área do perfil 6 (Basalto).

### 3.2.1.2 Mineralogia da fração argila do Perfil 6

O difratograma do pó (Figura 27) do perfil 6 indicou o predomínio de caulinita desordenada em todos os horizontes, com picos entre 0, 729 a 0,736nm, 0, 444 nm, 0,358 nm, 0,257 nm e 0,234 nm, secundada por argilominerais 2:1 expansíveis, com picos pouco intensos a 1,48 nm, no Bt2, e um pico a 1.03nm no C, indicativo de illita. O quartzo, com picos a 0,334nm e 0,202 nm e os óxidos e hidróxidos de ferro (reflexos a 0, 182 nm) também foram constatados, em pequenas proporções..

As amostras saturadas com potássio e tratamentos térmicos (Figura 27), confirmaram a caulinita como argilomineral dominante, com picos entre 0,726 a 0,733 nm e a 0,355 nm. Estes reflexos se apresentam com bases largas e com ligeira assimetria em direção aos ângulos 2θ mais baixos, sendo o Índice de Assimetria (IA) 0,50 no Ap, 0,417, no Bt2 e 0,424 no Cr, indicando caulinitas desordenadas, com baixa cristalinidade, mas a assimetria também podem ser fruto da presença de interstratificações de camadas 2:1 nos cristais da caulinita. O reflexo próximo a 1,00 nm nas amostras com Mg a temperatura ambiente sugere a presença de illita em todos os horizontes estudados. O aquecimento a 400°C promoveu contração quase completa das camadas a 1,0 nm, indicando baixa quantidade, ou mesmo ausência de polímeros hidróxi-Al nas entrecamadas.

As amostras saturadas com magnésio e submetidas ao vapor de etileno glicol demonstraram expansão, sendo que no horizonte Ap a expansão ocorreu de modo a formar um patamar largo entre 1,4nm a 1,6nm. Nos horizontes Bt2 e Cr a expansão foi ainda maior, chegando a 1,836nm no Cr, confirmando a presença de esmectita como o argilomineral 2:1 expansível. Os picos em torno de 1,0 nm não foram modificados pelo tratamento, confirmando a presença de illita neste solo.

A análise semiquantitativa dos argilominerais 2:1 indicou cerca de 18% no horizonte Ap, 12% no Bt2 e 13% no Cr, cujos valores de CTC a pH 7 foram de 21, 15,6 e 22,2  $\text{cmol}_c.\text{kg}^{-1}$  respectivamente, confirmando a participação dos argilominerais 2:1 no aumento da CTC.

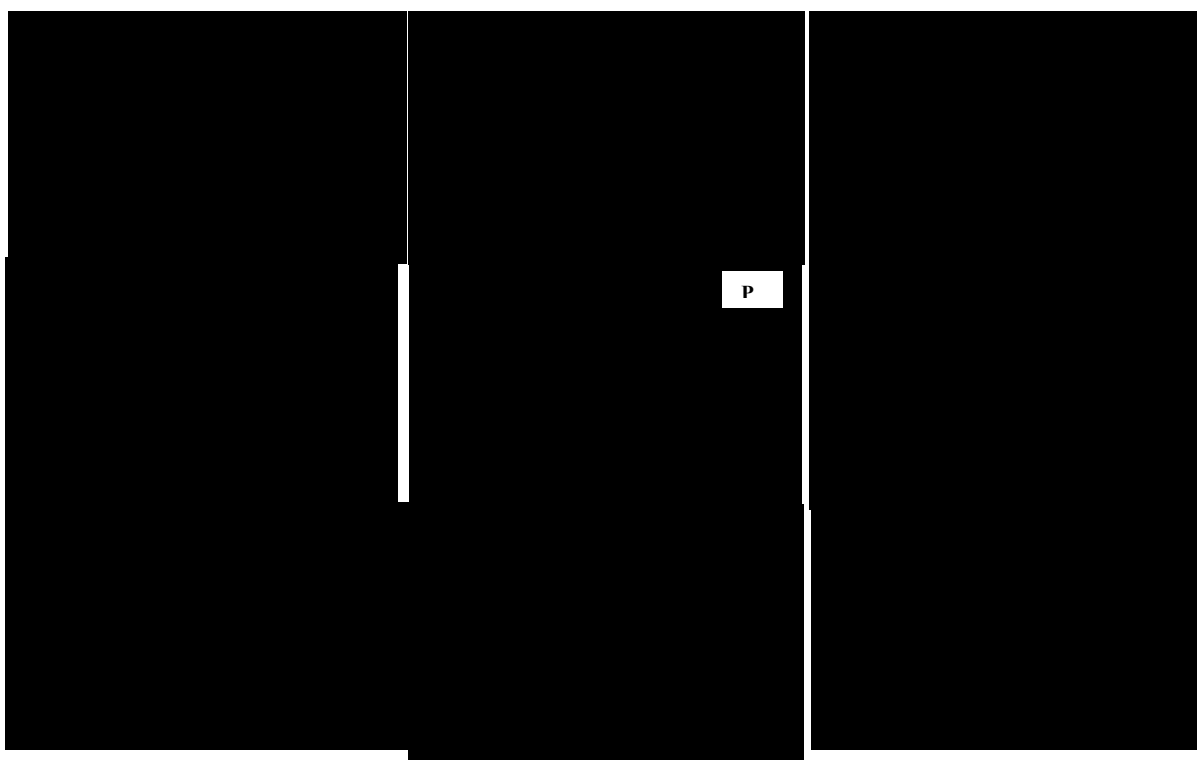


Figura 27 - Difratogramas dos horizontes Ap, Bt2 e Cr do perfil 6 (Nitossolo Vermelho alítico típico). Amostras saturadas com potássio representadas pela k em adição a estes os tratamentos térmicos k100, k400 e k550°C; Amostras saturadas com magnésio representadas por Mg, e magnésio mais etileno glicol representadas por Mg Et; Amostra em pó dos respectivos horizontes.

### 3.2.2 Perfil 7 - Cambissolo Háplico Alítico típico

O perfil foi descrito e coletado no topo de elevação, com aproximadamente 18% de declive, com cota altimétrica de 1.062 metros, em relevo ondulado a forte ondulado local e regionalmente. A vegetação primária é de campo subtropical com Araucária e atualmente se

encontra sob pastagem natural controlado por queima. O substrato é caracterizado como um riolito – riodacito, de cor rosada/avermelhada, sendo os horizontes mais superficiais influenciados por retrabalhamento de material pré-intemperizado de constituição semelhante ao da litologia subjacente (Figura 28).

O solo formado no local é profundo com espessura de solum de 114 cm, com percentuais de carbono orgânico no horizonte A1 de 3,27 e no A2 de 2,53 diminuindo nos demais horizontes até alcançar teores em torno de 0,15% no horizonte C (Tabela 6). É um solo fortemente ácido, com pH em água em torno de 4,5 nos horizontes superficiais e 4,6 no horizontes Bi1 e 5,0 no C. O pH em sal (KCl) é sempre inferior ao pH em água, caracterizando solos com saldo líquido de cargas negativas.

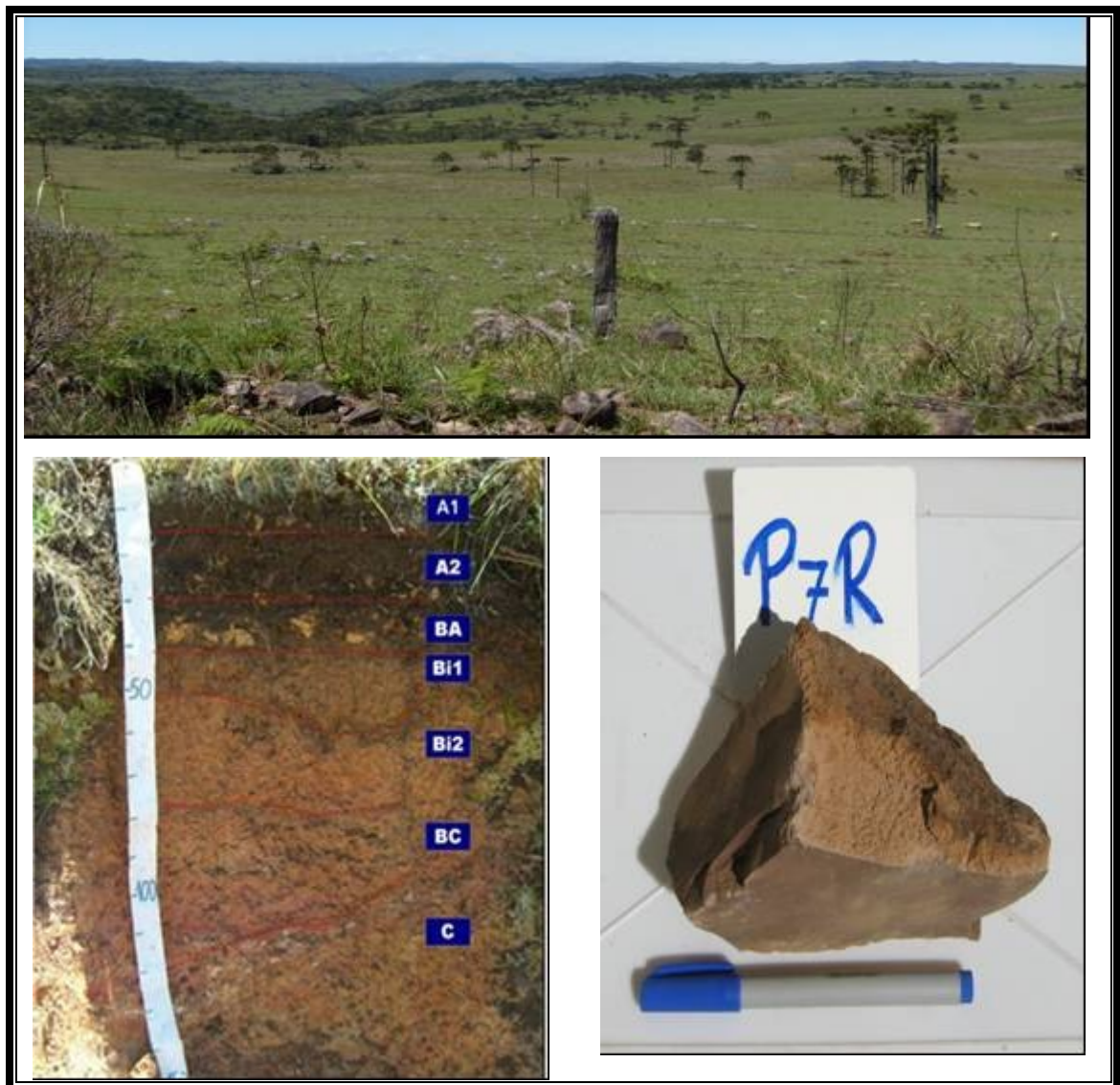


Figura 28 - Perfil 7 Cambissolo Háplico alítico típico. (a) Foto da área; (b) Perfil do solo e; (c) Fragmento rocha subjacente.

Tabela 06 - Caracterização química, física, carbono orgânico, Si, Al e Fe totais e relações moleculares das amostras de horizontes do perfil 7 – Cambissolo Háplico alítico típico.

Perfil 7 Horizonte		Frações da amostra total %			Composição granulométrica da terra fina (dispersão com NaOH 1M) %			Argila dispersa em água %	Grau de floculação %	% Silte % Argila
Símbolo	Profundidade cm	Calhaus > 20 mm	Cascalho 20-2 mm	Terra fina < 2 mm	Areia 2-0,05 mm	Silte 0,05- 0,002 mm	Argila < 0,002 mm			
A1	0 – 14	-	6,15	93,85	6,12	32,88	61,00	44,00	27,87	0,54
A2	14 – 30	5,45	16,35	78,20	10,40	27,60	62,00	46,00	25,81	0,45
BA	30 – 42	43,95	13,15	42,90	21,68	8,32	70,00	44,00	37,14	0,12
Bi1	42 – 53/60	-	0,70	99,30	7,56	24,44	68,00	22,00	67,65	0,36
Bi2	53/60 – 80	-	0,95	99,05	3,20	29,80	67,00	16,00	76,12	0,44
BC	80 – 100/114	-	1,80	98,20	3,02	36,98	60,00	10,00	83,33	0,62
C	100/114 – 150+	-	8,10	91,90	8,24	34,76	57,00	-	100,00	0,61

Horizonte	pH (1:2,5)		Complexo sortivo ( $\text{cmol.c.kg}^{-1}$ )								Valor V (Sat. de bases) %	$\frac{100\text{Al}^{3+}}{\text{S}+\text{Al}^{3+}}$
	Água	KCl 1N	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Valor S (soma)	Al <sup>3+</sup>	H <sup>+</sup>	Valor T (soma)		
A1	4,5	3,7	0,8	0,9	2,1	0,0	3,9	6,4	16,0	26,3	15,0	63,0
A2	4,3	3,7	0,2	0,4	1,0	0,0	1,6	6,8	15,3	23,7	7,0	81,0
BA	4,4	3,8	0,1	0,2	0,4	0,0	0,8	7,5	11,2	19,5	4,0	91,0
Bi1	4,6	3,7	0,1	0,1	0,3	0,0	0,5	11,4	6,0	17,9	3,0	96,0
Bi2	4,5	3,7	0,2	0,1	0,4	0,0	0,7	14,2	3,7	18,5	4,0	95,0
BC	4,7	3,8	0,0	0,1	0,2	0,0	0,3	13,8	1,6	15,7	2,0	98,0
C	5,0	3,8	0,0	0,1	0,3	0,0	0,4	6,7	2,4	9,5	4,0	94,0

Horizonte	C (orgânico) %	Ataque por H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (1:1) - NaOH 30%						$\frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3}$ (Ki)	$\frac{\text{SiO}_2}{\text{R}_2\text{O}_3}$ (Kr)	$\frac{\text{Al}_2\text{O}_3}{\text{Fe}_2\text{O}_3}$
		SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	MnO			
A1	3,27	20,44	19,18	7,76	-	-	1,81	1,44	3,88	
A2	2,53	23,11	23,50	6,32	-	-	1,67	1,43	5,84	
BA	1,30	24,64	23,91	6,68	-	-	1,75	1,49	5,62	
Bi1	0,78	26,93	24,05	6,86	-	-	1,90	1,61	5,50	
Bi2	0,45	28,65	28,28	9,57	-	-	1,72	1,42	4,64	
BC	0,15	32,66	24,60	9,57	-	-	2,26	1,81	4,04	
C	0,16	33,62	24,82	4,51	-	-	2,30	2,06	8,63	

Os valores de  $K_i$  e  $K_r$  são maiores que 0,75, portanto se trata de solos cauliniticos (IBGE, 2007). Os valores de CTC da fração argila variaram de 26 a 28  $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ , indicando possível contribuição de argilominerais do tipo 2:1 expansíveis, além da caulinita. Entretanto, o cálculo da atividade da argila pode estar superestimado, já que os teores de carbono orgânico são ainda relativamente altos nos horizontes BA e Bi1.

Os baixos valores de soma e saturação por bases revelaram ser um solo bastante pobre quimicamente e lixiviado, e os teores altos de  $\text{Al}^{+3}$  e  $\text{H}^+$ , extremamente altos, resultaram uma saturação por alumínio maior que 90% nos horizontes subsuperficiais.

Os conteúdos de argila são muito altos e os teores de areia total muito baixos neste solo (Tabela 6), tal como nos perfis derivados de riodacitos da topossequência 1, indicando que os minerais essenciais do riodacito (plagioclásios, piroxênios e feldspatos alcalinos) foram completamente destruídos, formando argilominerais e óxidos; a pequena quantidade de areia revela também que, apesar da rocha subjacente ser ácida a intermediária, com quantidades expressivas de quartzo e cristobalita indicados pelas análises mineralógicas da rocha, os cristais destes minerais devem ter dimensões muito pequenas, ou foram parcialmente corroídos, concentrando-se mais na fração silte, cujos teores foram sempre maiores do que a areia. Observam-se, entretanto, teores mais altos de areia no horizonte BA, que podem indicar alguma descontinuidade de material de origem.

Portanto, para este Cambissolo (P2) a contribuição média da fração argila na CTC do solo foi de  $23 \text{ cmol}_c \text{kg}^{-1}$ , e a contribuição média para cada 1% de carbono orgânico foi de  $3,68 \text{ cmol}_c \text{kg}^{-1}$  (Figura 29).

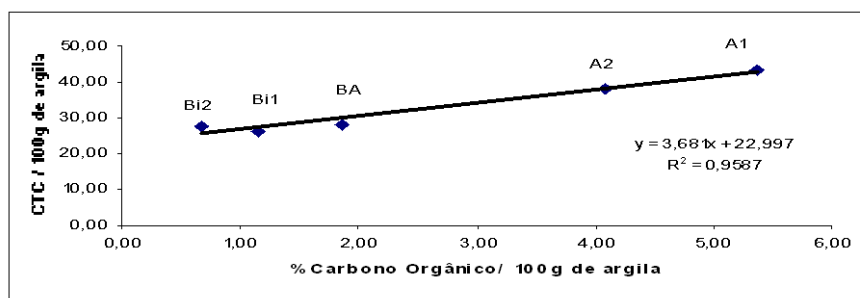


Figura 29 - Equações de regressão entre o teor de carbono orgânico e a CTC a pH7 convertidos para 100g de argila para o perfil 7.

### 3.2.2.1 Mineralogia do Substrato do Perfil 7 – Riodacito avermelhado

Este padrão mineralógico é semelhante aos demais padrões mineralógicos das rochas intermediárias a ácidas da topossequência 1 do Planalto Sul de Santa Catarina. A presença de piroxênios com picos a 0,299 nm, 0,228nm e 0,213 nm, os plagioclásios com picos a 0,334nm e 0,320nm, os feldspatos potássicos com espaçamentos 0,425 e 0,375 nm, óxidos e hidróxidos de ferro com pico a 0,182nm, quartzo com picos a 0,425 e 0,334nm, além da cristobalita com picos a 0,403 e 0,251 nm (Figura 30).

Os reflexos a 0,203nm e 0,167nm são referentes a biotita, e a olivina foi identificada com os picos a 0,251nm e 0,228nm. Os picos da magnetita-maghemita aparecem na região de 0,29nm, 0,251nm e 0,16nm.

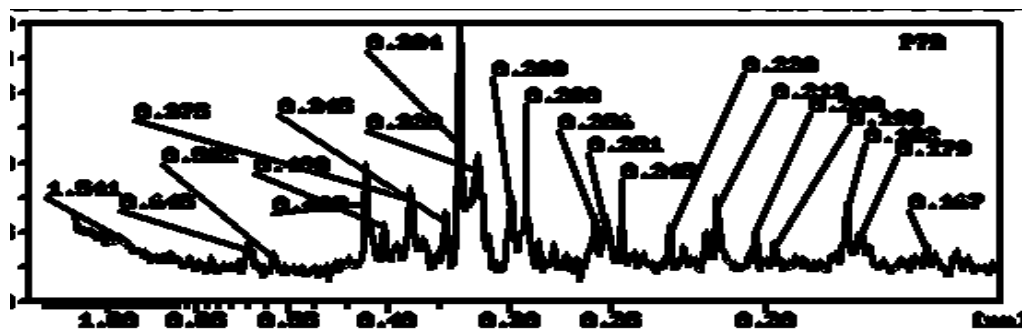


Figura 30 – Difratograma do pó da rocha coletada da área do perfil 7 (Riodacito avermelhado).

### 3.2.2.2 Mineralogia da fração argila do Perfil 7

Os difratogramas do pó (Figura 31) indicaram caulinita desordenada como o argilomineral dominante em todos os horizontes, com picos a 0,729 nm, 0,446 nm, 0,358, 0,258 nm e 0,234 nm, porém não houve evidência de argilominerais 2:1, pela ausência de picos em torno de 1,4 nm. O quartzo (picos a 0,425 nm, 0,334nm e 0,202 nm), óxidos e hidróxidos de ferro (pico a 0,182 nm) e a gibbsita (pico a 0,485nm) também foram identificados, em proporções menores. Diferentemente das amostras do pó, na argila orientada, tratada com K ou Mg, aparecem reflexos em torno de 1,4nm e 1,0nm, indicativos de argilominerais 2:1.

Nas amostras saturadas com potássio e submetidas a tratamentos térmicos, confirma-se a caulinita dominante, com picos a 0,720 nm e 0,358 nm (Figura 31). Os reflexos têm bases largas e ligeira assimetria em direção aos ângulos  $2\theta$  mais baixos, sendo o Índice de Assimetria (IA) 0,40 no A1, 0,429 no Bi2 e 0,50 no C, indicando ou caulinita desordenada,

com baixa cristalinidade, ou caulinitas com interestratificações de camadas 2:1. O aquecimento das amostras com K até 400°C promoveu um colapso quase completo das camadas até 1,0 nm, indicando provavelmente ausência, ou pequena quantidade de hidróxi-Al nas entrecamadas.

As amostras saturadas com magnésio e magnésio mais etileno glicol também evidenciaram picos a 1,00nm confirmando a presença de illita. A expansão dos argilominerais com picos de 1,4 nm foi mais evidente no horizonte Bi2, onde houve deslocamento do reflexo para aproximadamente 1,70nm, caracterizando esmectitas. A análise semiquantitativa dos argilominerais 2:1 indicou cerca de 12% no horizonte A1, 2% no Bi2 e 8% no Cr, cujos valores de CTC a pH 7 foram de 26,3, 18,5 e 9,5  $\text{cmol}_c\cdot\text{kg}^{-1}$  respectivamente, confirmando sua contribuição para o aumento da CTC do solo

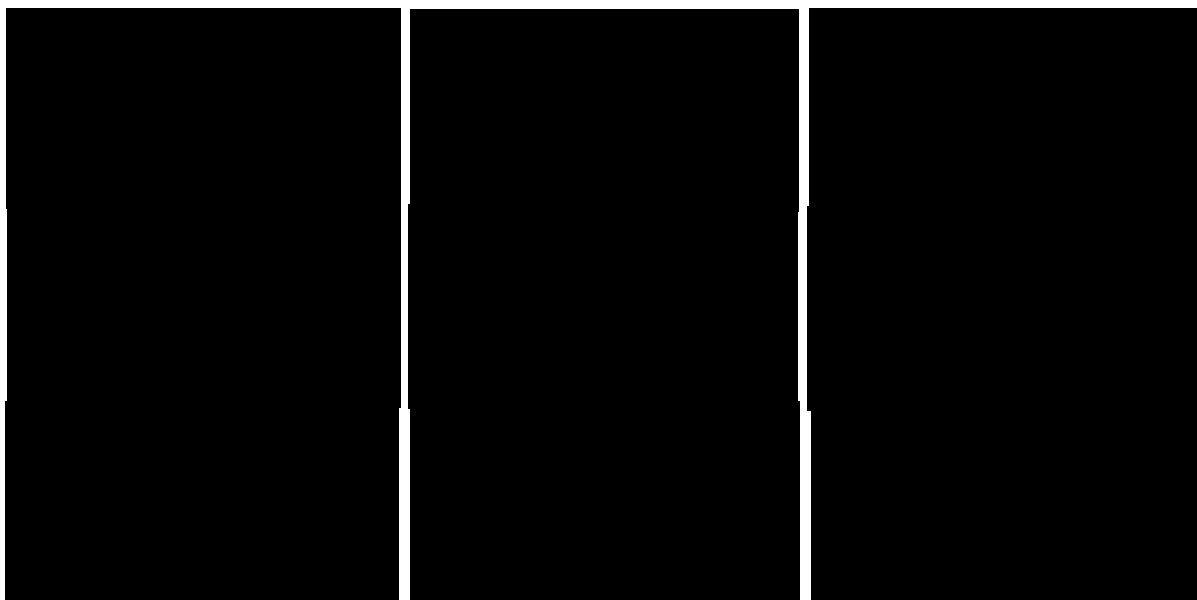


Figura 31 - Difractogramas dos horizontes A1, Bi2 e Cr do perfil 7 (Cambissolo Háplico alítico típico). Amostras saturadas com potássio representadas pela k em adição a estes os tratamentos térmicos k100, k400 e k550°C; Amostras saturadas com magnésio representadas por Mg, e magnésio mais etileno glicol representadas por Mg Et; Amostra em pó dos respectivos horizontes.

O tratamento com NaOH 3,5 molar promoveu uma destruição quase completa dos argilominerais presentes, concentrando principalmente o quartzo, porém evidenciou banda a aproximadamente a 1.50 nm e pequeno reflexo a 1,065nm (Figura 32) confirmando a presença dos argilominerais esmectita a illita, assemelhando-se assim ao comportamento observado no perfil 3. Assim como Clemente (1988) estes solos originados de rochas ácidas do tipo Palmas, apresentaram em seu perfil esmectita do tipo montmorilonita, illita e interestratificados do tipo illita-esmectita.



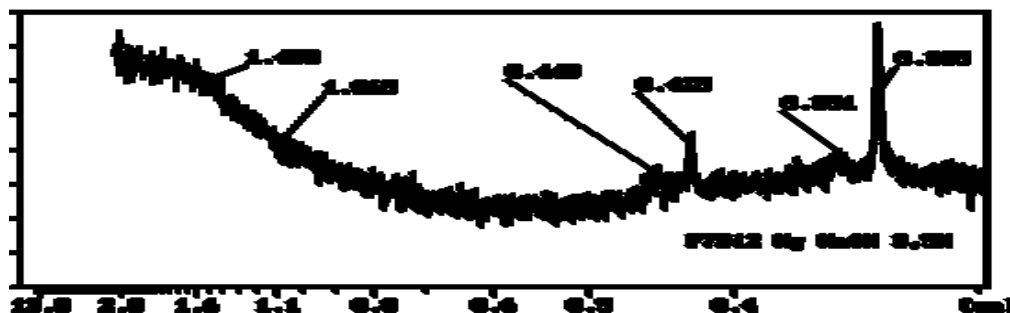


Figura 32 - Difratograma do horizonte Bi2 do perfil 7, tratamento com NaOH 3,5M e posterior saturação com magnésio.

### 3.2.3 Perfil 8 - Cambissolo Háptico alítico típico

O perfil foi descrito e coletado em barranco, no terço superior de encosta com aproximadamente 23% de declive, com cota altimétrica de 1.197 metros, em relevo forte ondulado local e regionalmente ondulado, cuja vegetação primária é o campo subtropical. O substrato foi caracterizado como um riodacito, de coloração acinzentada clara, tendo o solo sofrido possível retrabalhamento de produtos de alteração desta mesma rocha sob influência de colúvio superficial (Figura 33).

O solo formado no local é profundo, com espessura de solum de 114 cm, com percentuais de carbono orgânico no horizonte A1 de 3,27 e no A2 de 2,53, diminuindo nos demais horizontes até alcançar teores em torno de 0,15% no horizonte C (Tabela 7). É um solo fortemente ácido, com pH em água em torno de 4,5 nos horizontes superficiais e no Bi e 4,6 no C. O pH em sal (KCl) foi sempre inferior ao pH em água, caracterizando solos com predomínio de cargas negativas.

Os baixos valores de soma e saturação por bases revelaram ser um solo bastante pobre quimicamente e lixiviado, e os teores altos de  $Al^{+3}$  e  $H^+$ , extremamente altos, resultaram numa saturação por alumínio maior que 80% nos horizontes subsuperficiais (Tabela 7).

Os valores de  $K_i$  e  $K_r$  são maiores que 0,75, indicando solos caulíníticos. Os valores da CTC da fração argila variaram de 18 a 26  $cmol_c.kg^{-1}$  no horizonte B, não refletindo a participação exclusiva do argilomineral caulinita, havendo possível contribuição de argilominerais do tipo 2:1 expansíveis. O cálculo da atividade da argila, entretanto, pode estar superestimado, devido a provável contribuição do carbono na CTC, já que o mesmo apresenta valores ainda relativamente altos nos subhorizontes do B.

Tabela 07 - Caracterização química, física, carbono orgânico, Si, Al e Fe totais e relações moleculares das amostras de horizontes do perfil 8 – Cambissolo Háplico alítico típico.

Perfil 8 Horizonte		Frações da amostra total %			Composição granulométrica da terra fina (dispersão com NaOH 1M) %			Argila dispersa em água %	Grau de floculação %	% Silte % Argila
Símbolo	Profundidade cm	Calhaus > 20 mm	Cascalho 20-2 mm	Terra fina < 2 mm	Areia 2-0,05 mm	Silte 0,05- 0,002 mm	Argila < 0,002 mm			
A1	0 - 12	-	2,15	97,85	9,92	33,08	57,00	46,00	19,30	0,58
A2	12 - 33	-	4,90	95,10	10,60	31,40	58,00	48,00	17,24	0,54
AB	33 - 42	29,80	16,25	53,95	10,84	26,16	63,00	52,00	17,46	0,42
BA	42 - 54	12,75	17,18	70,07	11,20	24,80	64,00	46,00	28,13	0,39
Bi	54 - 78	-	12,95	87,05	7,34	32,66	60,00	34,00	43,33	0,54
BC	78 - 100	14,45	15,90	69,65	12,80	25,20	62,00	-	100,00	0,41
C	100-150+	8,65	7,45	83,90	15,50	28,50	56,00	-	100,00	0,51

Horizonte	pH (1:2,5)		Complexo sortivo (cmol <sub>c</sub> .kg <sup>-1</sup> )								Valor V (Sat. de bases) %	$\frac{100Al^{3+}}{S+Al^{3+}}$
	Água	KCl 1N	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Valor S (soma)	Al <sup>3+</sup>	H <sup>+</sup>	Valor T (soma)		
A1	4,5	3,7	0,7	0,6	2,4	0,0	3,7	5,5	14,2	23,4	16,0	60,0
A2	4,5	3,7	0,2	0,2	1,1	0,0	1,6	8,8	8,9	19,3	8,0	85,0
AB	4,5	3,8	0,3	0,2	0,9	0,0	1,3	5,8	9,4	16,4	8,0	82,0
BA	4,4	3,7	0,3	0,1	0,8	0,0	1,2	6,3	7,6	15,1	8,0	84,0
Bi	4,5	3,8	0,1	0,1	0,5	0,0	0,8	9,8	2,3	12,8	6,0	93,0
BC	4,5	3,6	0,1	0,1	0,7	0,0	0,8	6,8	4,6	12,3	7,0	90,0
C	4,6	3,8	0,1	0,1	0,6	0,0	0,8	6,7	4,2	11,7	7,0	90,0

Horizonte	C (orgânico) %	Ataque por H2SO4 (1:1) - NaOH 30%						$\frac{SiO_2}{Al_2O_3}$ (Ki)	$\frac{SiO_2}{R_2O_3}$ (Kr)	$\frac{Al_2O_3}{Fe_2O_3}$
		SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	MnO			
A1	3,30	18,91	20,02	6,86			1,61	1,32	4,58	
A2	2,71	21,01	20,85	7,40			1,71	1,40	4,42	
AB	1,87	22,73	22,05	7,22			1,75	1,45	4,79	
BA	1,03	26,55	22,43	6,50			2,01	1,70	5,42	
Bi	0,56	26,93	23,05	7,58			1,99	1,64	4,77	
BC	0,28	30,56	24,24	7,40			2,14	1,79	5,14	
C	0,12	34,76	24,24	7,22			2,44	2,05	5,27	

Os conteúdos de argila são muito altos e os teores de areia total muito baixos neste solo (Tabela 7), tal como no perfil anterior, indicando que os minerais essenciais do riódacito (plagioclásios, piroxênios e feldspatos alcalinos) foram completamente destruídos, formando argilominerais e óxidos; a pequena quantidade de areia revela também que, apesar da rocha subjacente ser ácida a intermediária, com quantidades expressivas de quartzo e cristobalita indicados pelas análises mineralógicas da rocha, os cristais destes minerais devem ter dimensões muito pequenas, ou foram parcialmente corroídos, concentrando-se mais na fração silte, cujos teores foram sempre maiores do que a areia.



Figura 33 - Perfil 7 Cambissolo Háplico alítico típico. (a) Foto da área; (b) Perfil do solo e; (c) Fragmento rocha subjacente.

Portanto, para este Cambissolo (P8) a contribuição média da fração argila na CTC do solo foi de  $17 \text{ cmol}_c.\text{kg}^{-1}$ , e a contribuição média para cada 1% de carbono orgânico foi de  $3,87 \text{ cmol}_c.\text{kg}^{-1}$  (Figura 34).

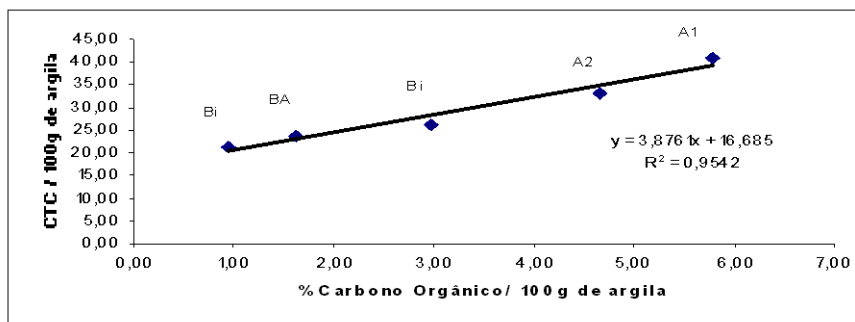


Figura 34 - Equações de regressão entre o teor de carbono orgânico e a CTC a pH7 convertidos para 100g de argila para o perfil 8.

### 3.2.3.1 Mineralogia do Substrato do Perfil 8 – Riodacito acinzentado

Este difratograma (Figura 35) indica que esta rocha também é constituída por piroxênios com picos a 0,289 nm, 0,228nm e 0,212 nm, plagioclásios com picos a 0,335nm e 0,322nm, os feldspatos potássicos com espaçamentos 0,425 e 0,376 nm, óxidos e hidróxidos de ferro com pico a 0,182nm, quartzo com reflexos a 0,425nm, 0,335nm e 0,228nm além da cristobalita com picos a 0,403 e 0,252 nm. Neste difratograma pode-se observar os picos da magnetita-meghemita a 0,295nm, 0,252nm e 0,161nm. Anfibólios com reflexos a 0,322nm e 0,270nm. Micas do tipo biotita 0,202nm e 0,167nm, e olivina com picos a 0,252nm e 0,228 nanômetros.



Figura 35 - Difratograma do pó da rocha coletada da área do perfil 8 (Riodacitos).

### 3.2.3.2 Mineralogia da fração argila do Perfil 8

Os difratogramas de pó (Figura 36) indicaram caulinita desordenada como argilomineral dominante, com picos a 0,729 nm, 0,446 nm, 0,358nm, 0,256 nm e 0,234 nm

em todos os horizontes, secundados por argilominerais 2:1 com picos a 1,35 e 1,4nm nos horizontes A1, Bi2, os quais não foram evidentes no horizonte C. Picos pouco intensos a 1,00nm e 0,574nm em alguns horizontes, parecem indicar illita. O quartzo também foi evidenciado pelos picos a 0,425 nm, 0,334nm e 0,202 nm e os óxidos e hidróxidos de ferro pelos reflexos a 0, 182 nm. A gibbsita foi identificada nos horizontes A1 e Bi2 com picos em torno de 0,485nm.

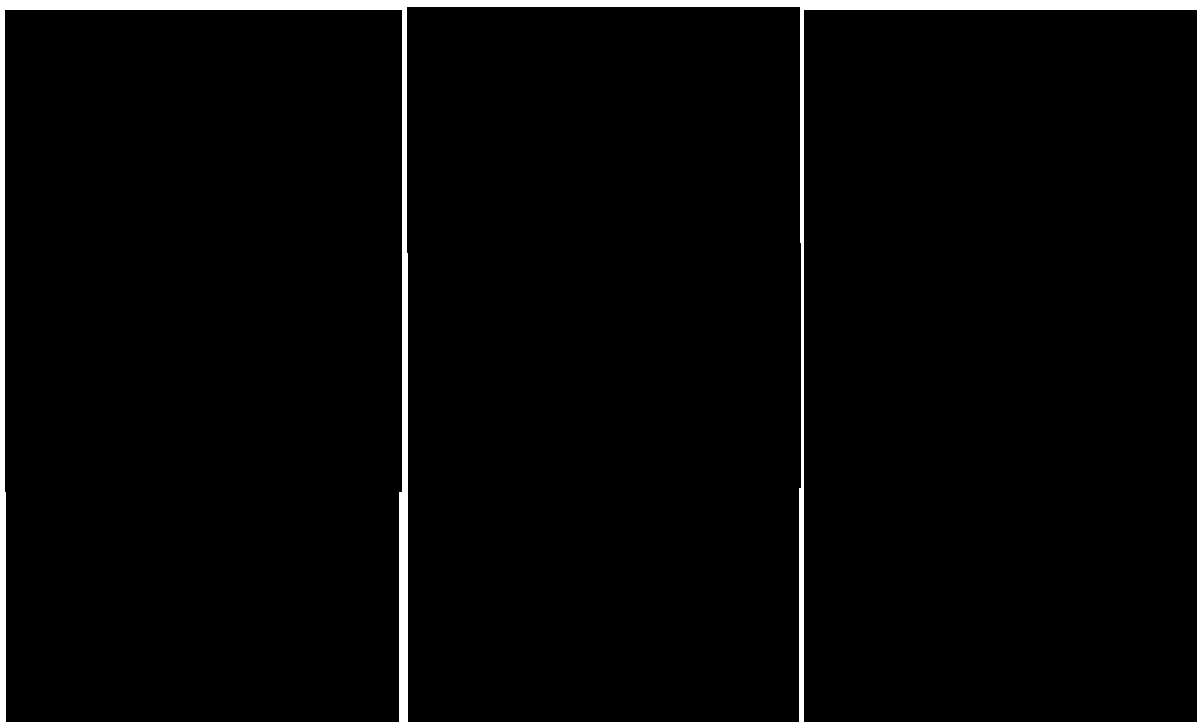


Figura 36 - Difratoformas dos horizontes A1, Bi2 e C do perfil 8 (Cambissolo Háptico alítico típico). Amostras saturadas com potássio representadas pela k em adição a estes os tratamentos térmicos k100, k400 e k550°C; Amostras saturadas com magnésio representadas por Mg, e magnésio mais etileno glicol representadas por Mg Et; Amostra em pó dos respectivos horizontes.

Nos difratogramas das amostras saturadas com K e com Mg lidas à temperatura ambiente, confirma-se a caulinita como argilomineral dominante, com picos a 0,723 nm e 0,357 nm e a presença de argilominerais expansíveis (picos em torno de 1,4nm) nos três horizontes analisados, mas não a da illita, já que nas amostras saturadas com Mg os picos a 1,0nm não foram evidentes.

Os reflexos da caulinita têm bases largas e ligeira assimetria em direção aos ângulos 2 $\theta$  mais baixos, sendo o Índice de Assimetria (IA) 0, 343 no A1, 0,333 no Bi2 e 0,333 no C, indicando caulinitas desordenadas e de baixa cristalinidade, ou de caulinitas com interstratificação de camadas 2:1. O aquecimento das amostras até 400°C provocou a contração quase dos argilominerais expansíveis até valores em torno de 1,0 nm, porém ainda

pode-se perceber banda de baixa intensidade próxima deste pico, indicando a possibilidade de existência de polímeros de hidróxi-Al nas entrecamadas.

A expansão dos picos dos argilominerais expansíveis foi mais evidente no horizonte Bi2, onde os reflexos da amostra saturada com magnésio mais etilenoglicol alcançou o valor de aproximadamente 1,80nm, caracterizando esmectita.

Semelhante aos Cambissolos dos perfis 3 e 7, o tratamento com NaOH 3,5 molar parece ter destruído a maior parte dos argilominerais presentes, mas a permanência de pico a 1.50 nm (Figura 37), parece confirmar a presença do argilomineral esmectita, além de um pequeno reflexo a 1,010nm caracterizando a illita. Tal como verificado por Clemente (1988), estes solos originados de rochas ácidas do tipo Palmas, apresentaram em seu perfil esmectita do tipo montmorilonita, illita e interstratificação do tipo illita-esmectita.

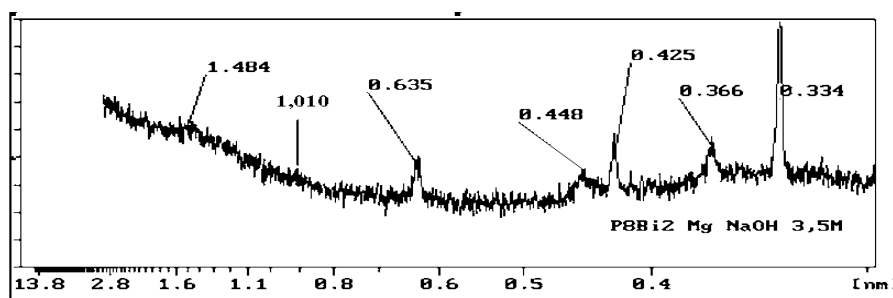


Figura 37 – Difratograma do horizonte Bi2 do perfil 8, tratamento com NaOH 3,5M e posterior saturação com magnésio.

A análise semiquantitativa indicou cerca de 5% de argilominerais 2:1 no horizonte A1, 10% no Bi2 e 14% no Cr, cujos valores de CTC a pH 7 foram de 23,4, 12,8 e 11,7  $\text{cmol}_c \cdot \text{kg}^{-1}$  respectivamente, confirmando a contribuição dos argilominerais 2:1 no aumento da CTC do solo., mesmo considerando que apresentem alguns polímeros de hidróxi-Al nas entrecamadas.

### 3.3 ESTIMATIVA DA ATIVIDADE DA ARGILA SOB DIFERENTE MÉTODOS

Na tabela 8, estão indicados os valores de CTC obtidos segundo o método de cálculo, proposto pelo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos - SiBCS (EMBRAPA, 2006) e o método gráfico, proposto por Bennema (1966).

Com exceção do perfil 3, cujos valores da atividade da argila foram maiores pelo método de Bennema (1966), para os demais perfis, o método gráfico proposto por este autor estimou valores de atividade da fração argila sempre menores do que o método de cálculo segundo o SiBCS. Este método, por não envolver correção da contribuição do carbono na

CTC do solo, pode de fato estar superestimando a atividade da fração argila dos solos. O método gráfico, assim, pode estar expressando de forma mais realista a atividade da fração argila, por computar de maneira mais eficaz a contribuição do carbono para a CTC de cada perfil de solo.

No caso dos solos estudados, isto teve implicações muito importantes na classificação dos solos no terceiro nível categórico, já que os teores de Al trocáveis sendo maiores do que  $4 \text{ cmol}_c.\text{kg}^{-1}$  em muitos solos, quando utilizou-se os valores de atividade da argila calculada segundo o SiBCS, os valores foram superiores a  $20 \text{ cmol}_c.\text{kg}^{-1}$ , caracterizando os mesmos como alíticos. Entretanto, se fosse utilizado os valores estimados segundo o método gráfico, a atividade da argila, com exceção dos perfis 3 e 7 (Cambissolos) seria inferior a  $20 \text{ cmol}_c.\text{kg}^{-1}$ , caracterizando os solos como aluminicos, apenas.

Assim, parece imprudente, para solos de altitude, onde o teor de matéria orgânica ainda se mantém em níveis altos nos horizontes subsuperficiais, não considerar o efeito da matéria orgânica na CTC.

Tabela 08 - Comparativo do intervalo de variação da atividade da argila nos horizontes BA e B (Bi ou Bt), excluindo o BC e o C pelo método do cálculo numa coluna e na outra os valores estimados pelo método gráfico.

Perfil/horizonte	CTC pH 7 ( $\text{cmol}_c.\text{kg}^{-1}$ )	CTC 100g argila (SiBCS) ( $\text{cmol}_c.\text{kg}^{-1}$ )	CTC argila (gráfico) ( $\text{cmol}_c.\text{kg}^{-1}$ )
P1BA	17,95	25,28	17,47
P1Bi1	16,44	21,63	
P1Bi2	12,72	16,96	
P2BA	14,76	22,03	13,83
P2Bi	13,74	19,91	
P3Bi	16,75	24,28	25,88
P4BA	14,61	21,81	14,86
P4Bt1	14,28	20,70	
P4Bt2	12,09	17,27	
P6BA	16,76	21,49	14,83
P6Bt1	16,56	19,95	
P6Bt2	15,59	19,25	
P7BA	19,52	27,88	22,99
P7Bi1	17,94	26,38	
P7Bi2	18,52	27,65	
P8BA	15,12	23,63	16,68
P8Bi	12,79	21,32	

### 3.4 INTERAÇÃO ENTRE ATIVIDADE DA ARGILA COM ATRIBUTOS MINERALÓGICOS

A CTC da fração argila dos solos, tanto a obtida pelo método gráfico como pelo cálculo pela correção para 100 g de argila, foi superior a CTC prevista para a caulinita, sugerindo a hipótese de que esses valores devem ser resultantes da contribuição de argilominerais 2:1 com polímeros hidróxi-Al e eventualmente da presença de caulinitas com interstratificações de camadas 2:1, que aumentariam assim a CTC. Logo, seria plausível supor que houvesse alguma correlação entre as áreas dos picos de argilominerais 2:1 (que indicariam aproximadamente a quantidade deles) e a CTC da fração argila (Figura 38), ou entre a CTC da fração argila e o índice de assimetria (Figura 39).

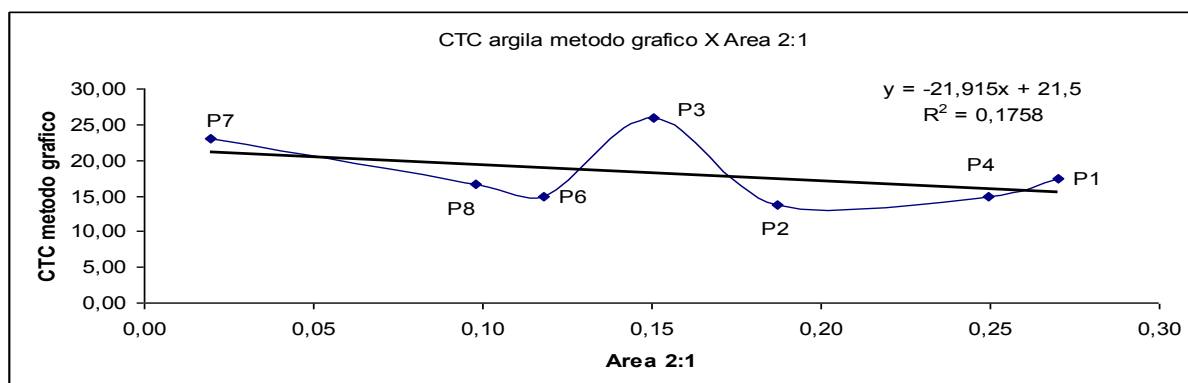


Figura 38 - Correlação linear entre a atividade da argila pelo método gráfico dos horizontes B (Bi ou Bt, excluindo BC) e a área dos argilominerais 2:1 dos respectivos perfis.

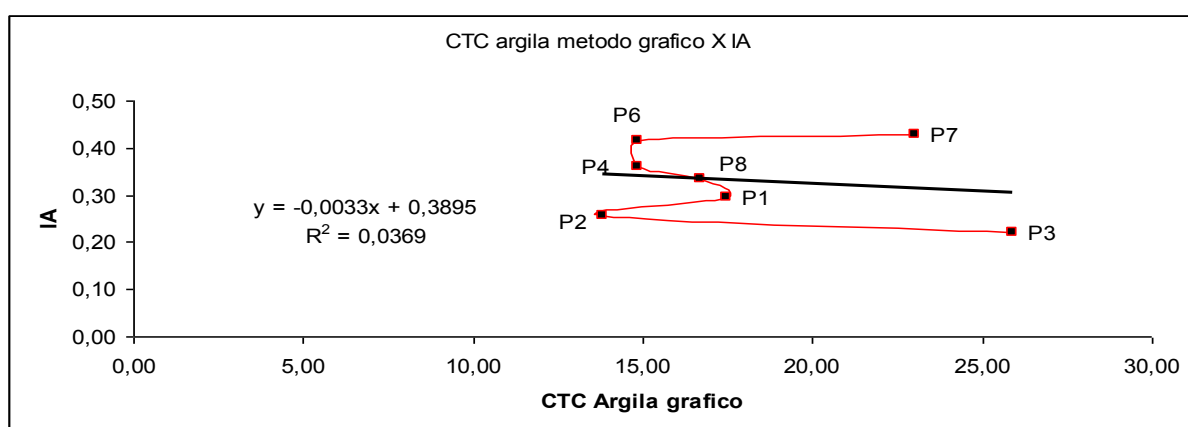


Figura 39 - Correlação linear entre a atividade da argila dos horizontes B (Bi ou Bt, excluindo BC), calculada pelo método gráfico e o Índice de Assimetria da caulinita dos respectivos perfis.



Porém, as correlações demonstraram coeficientes de determinação ( $r^2$ ) muito baixos (Figuras 38 e 39). Portanto estes parâmetros não foram úteis para comprovar essas duas hipóteses. Poderia se aventar que o grau de intercalação dos 2:1 e da parte 2:1 dos próprios interestratificados pode estar mais ou menos preenchida com polímeros de hidróxi-Al nos vários solos, mascarando os resultados.

### 3.5 SÍNTESE DOS RESULTADOS

A área do Planalto Sul Catarinense coincide principalmente com a Unidade Geomorfológica Planalto dos Campos Gerais, havendo pequenas áreas em São Joaquim (perfis 4 e 6) incluídas na Unidade Geomorfológica Planalto Dissecado dos Rios Iguaçu/Uruguai. A região onde se desenvolveu o trabalho coincide com porção campestre sul do município de Lages e porção campestre sudoeste do município de São Joaquim, ambos sob clima subtropical com verões brandos (Cfb) conforme Köppen.

O clima e o relevo influenciaram de modo marcante formação dos solos, assim como as variações do material de origem. Os agentes ativos do clima, notadamente as altas precipitações pluviométricas e baixas temperaturas promoveram intenso intemperismo e forte lixiviação das bases, influenciando a mineralogia da fração argila e a fertilidade química destes solos. Uma característica marcante foi o efeito do clima mais frio, favorecendo grande acúmulo de matéria orgânica.

Na topossequência I, correspondendo aos perfis de solo P1, P2, P3 e na topossequência II aos perfis P7 e P8, foram todos classificados como Cambissolos Háplicos Alíticos típico e Cambissolo Alumínico Distrófico úmbrico (EMBRAPA, 2006). Tais perfis desenvolveram-se em posição de cimeira, em platôs residuais com relevo suave ondulado e ondulado, em altitudes entre 1000 e 1200m, formando solos profundos a pouco profundos. A superfície geomórfica dominante nesta região foi bastante dissecada pela erosão hídrica, configurando uma superfície nitidamente erosional, com freqüentes afloramentos rochosos nos topos de morros, e influência de deposição e material retrabalhado na base das encostas e pedimentos, evidenciados pela presença de linhas de cascalhos entre horizontes e matacões sobre a superfície e no interior da massa do solo.

Estudos recentes (KAMPF e SCHWERTMANN, 1983; BEHLING et al, 2005) demonstraram que a região dos campos, após o Último Glacial Máximo, ocorrido entre 14 e 24 mil anos AP (antes do presente) esteve submetida a um clima inicialmente frio e seco, e

posteriormente a um clima seco e quente, que favoreceu a persistência de uma vegetação de campo por vários milênios. Nos últimos 1500 anos, o clima tornou-se mais úmido e frio, tendo favorecido então a penetração da vegetação florestal, dominada pela mata de araucária. Acredita-se que o longo período seco prevalecente no Pleistoceno tenha favorecido a ação de intensos processos erosivos que promoveram a dissecação da paisagem configurando a superfície geomórfica atual, resultando na formação dos afloramentos rochosos e das linhas de cascalhos e pedras, evidências do transporte e deposição ocorridos.

Todos os Cambissolos estudados apresentaram baixa CTC e baixa fertilidade química, com níveis muito altos de Al trocável e reação extremamente ácida.

Já os Nitossolos Vermelhos (P4 e P6), coletados próximo ao vale do rio Lava-Tudo, ocorrem em áreas de relevo forte ondulado, geralmente em posição de pedimento, onde houve forte influência de material pré-intemperizado de origem coluvial no desenvolvimento dos solos.

São solos geralmente profundos, porém provavelmente mais jovens do que os Cambissolos, devido à maior instabilidade das formas de relevo onde ocorrem. Este fator, associado às diferenças de substrato no qual se desenvolveram (basalto, no caso), provavelmente favoreceram a formação de solos com melhor fertilidade química, evidenciada pelos valores mais altos de CTC, pH, soma e saturação por bases e pelos menores valores de  $Al^{+3}$  em relação aos Cambissolos.

As rochas intermediárias, caracterizadas como riodacitos, apresentaram composição mineralógica similar, composta por piroxênios, plagioclásios, quartzo e cristobalita, feldspatos e biotita. Já nos basaltos, os minerais presentes são os mesmos, mas aumenta a quantidade de plagioclásios e piroxênios, e diminuem as quantidades de quartzo em relação aos primeiros.

O material coluvial presente na massa do solo dos horizontes superficiais possui composição mineralógica semelhante ao do material proveniente da alteração do substrato, indicando relativa homogeneidade do material originário, sendo composto principalmente de produtos de alteração de plagioclásios e piroxênios e dos feldspatos alcalinos.

A fração argila é composta predominantemente por caulinita de baixa cristalinidade e de pequeno diâmetro, cujo padrão largo e assimétrico dos picos também sugere a presença de argilominerais interstratificados do tipo caulinita-esmectita com baixas proporções de camadas esmectíticas. Argilominerais 2:1, com graus variáveis de intercalação com polímeros de hidróxi-Al nas entrecamadas (2:1HE) também ocorreram em quantidades expressivas na maioria dos solos. Illita, gibbsita e quartzo ocorreram em proporções menores. A participação dos argilominerais interstratificados e dos 2:1HE contribuiu para aumentar a atividade da

argila dos solos, que variou de 14 a 26  $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ , segundo o método gráfico de Bennema. . Pela difração de raios-X da fração argila total constatou-se uma mineralogia bastante simples: caulinita (dominante), seguida de argilominerais 2:1HE, interestratificados caulinita-esmectita e gibbsita. Em todos os difratogramas analisados, há bastante semelhança das características mineralógicas, indicando a homogeneidade do material de origem.

Os reflexos de caulinita em todos os difratogramas são largos e assimétricos, sugerindo-se tratar de argilominerais de baixa cristalinidade com índices de assimetria variando de 0,158 a 0,50. Os reflexos a 0,72; 0,36 são eliminados pelo aquecimento a 550°C.

A ocorrência de picos próximo a 1,4 nm indicou presença de argilominerais 2:1 expansíveis, sendo provavelmente esmectitas formadas por neogênese através da alteração de plagioclásios calco-sódicos, piroxênios e anfibólios. Entretanto, o fato da maioria destes argilominerais não expandirem nos tratamentos com etileno glicol sugere que apresentem forte intercalação com polímeros de hidroxí-Al entrecamadas.

A gibbsita mostra picos em 0,48 e 0,43 nm, sendo destruída pelo aquecimento a 350°C. Os picos da gibbsita foram de baixa intensidade em todos os perfis, porém os difratogramas apresentaram algumas diferenças, sendo menores nos perfis originados de basalto (Nitossolos) e maiores nos de riodacito (Cambissolos).

Estes resultados confirmam que nos Nitossolos o processo de alteração do material de origem básico foi menor, com predomínio da monossilicização. Já os Cambissolos, por serem desenvolvidos de material de origem mais ácido e estarem situados em relevo menos acidentado e o fluxo vertical interno de água ser maior, tiveram maior perda de bases, favorecendo o processo de monossilicização e alitização, formando mais gibbsita.

Além do ambiente lixiviante não ter sido suficientemente severo a ponto de favorecer processos de alitização, dada a pequena ocorrência de gibbsita na maioria dos solos, a presença de argilominerais 2:1 com polímeros de hidroxí-Al entrecamadas parece indicar maior ação de processos de acidólise parcial, segundo o modelo proposto por Melfi e Pedro (1977). Este comportamento pode ser atribuído ao efeito “antigibbsítico” proposto por Jackson (1965), onde grande parte do alumínio pode ter sido imobilizada nas entrecamadas de esmectitas/vermiculitas.

Os resultados obtidos neste estudo são semelhantes aos obtidos por Clemente (2001) e Pedron (2008) para solos desenvolvidos de materiais de origem similares, mas segundo Bouabid et al. (1995) citado por Clemente (2001), a interpretação do intemperismo dos plagioclásios é muito complexa pois estes minerais apresentam uma grande variabilidade composicional.

#### 4 CONCLUSÕES

Os Cambissolos das topossequência I e II, desenvolvidos de riodacitos, estão situados em cotas altimétricas entre 1000 e 1200m, em áreas de relevo suave ondulado e ondulado, sob vegetação original de campo. Todos os perfis destes locais apresentaram reação fortemente ácida, níveis muito altos de Al trocável, baixos valores de soma e saturação por bases e teores baixos de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  extraídos pelo ataque sulfúrico.

Os Nitossolos de ambas as topossequências, desenvolvidos de basalto, ocorrem em cotas altimétricas em torno de 800 a 850m, ao longo da calha do rio Lava Tudo, sob vegetação original de floresta, em área de relevo forte ondulado. Ambos os perfis, coletados em margens opostas do rio Lava-Tudo, apresentaram reação menos ácida, teores mais baixos de Al trocável, valores de soma e saturação por bases mais altos e teores mais elevados de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ .

A identificação dos minerais presentes nos substratos, feita por difratometria de raios X, revelou uma composição diferenciada entre os riodacitos e os basaltos, sendo esta composição similar para cada uma das rochas. Os riodacitos apresentaram teores mais elevados de quartzo e de feldspatos alcalinos e teores mais baixos de plagioclásios cálcicos e piroxênios do que os basaltos.

A mineralogia da fração argila de todos os solos foi similar, mas houveram diferenças quantitativas importantes dos seus componentes. Em todos os solos, caulinitas de baixa cristalinidade e com pequena dimensão dos cristais foram os argilominerais dominantes, seguidas de proporções expressivas de argilominerais 2:1 com polímeros de hidróxi-Al entrecamadas, interestratificados caulinita-esmectita ou illita-esmectita, gibbsita, quartzo e illita. Nos solos desenvolvidos de riodacitos, as proporções de gibbsita e quartzo na fração argila foram maiores do que nos de basalto e as caulinitas parecem ser melhor ordenadas.

A atividade da fração argila, calculada segundo o método gráfico de Bennema, foi inferior aos valores obtidos pelo método de cálculo preconizado pelo SiBCS (EMBRAPA, 2006), mas em todos os casos foi bastante superior aos valores normalmente atribuídos à caulinita, levando a crer que os argilominerais 2:1HE, assim como os interestratificados, contribuem para aumentar sensivelmente a CTC dos solos.

O predomínio de caulinita em todos os solos é resultante da ação de processos de monossilificação (Melfi & Pedro, 1977), devido ao clima úmido da região, e sua formação, por neogênese, deu-se as expensas da alteração dos plagioclásios calco-sódicos, piroxênios e feldspatos presentes tanto nos basaltos como nos riodacitos. A presença expressivas quantidades de argilominerais 2:1 com polímeros de Al entrecamadas, bem como de interestratificados caulinita-esmectita, entretanto, sugere que o ambiente, no passado, possa ter sido mais seco do que o atual, onde o menor fluxo lixiviante pode ter favorecido processos de bissialitização. No clima atual mais úmido e frio, tais argilominerais sofreram paulatina intercalação com polímeros de Al, tornando-se termodinamicamente mais estáveis e persistindo nos solos.

Eventos poligenéticos parecem ter influenciado na formação dos solos estudados, evidenciados pelas nuances mineralógicas, e principalmente pela presença de linhas de pedras e cascalhos entre os horizontes superficiais e subsuperficiais, pela conformação das superfícies geomórficas que denotam forte ação erosiva nos topos das elevações com afloramentos rochosos e influência de colúvios de material na base das encostas, onde se situam os solos com maior profundidade.

As variações na litologia dos perfis influenciaram a diferenciação dos solos nas duas toposequências, mas as formas do relevo e a posição dos solos na paisagem também foram fatores determinantes na sua variação na região estudada. Assim, relevo e material de origem foram os fatores determinantes na diferenciação dos solos, situados numa mesma região climática.

## REFERÊNCIAS

ALLEN, B.L.; HAJEK, B.F. Mineral occurrence in soil environments. In: DIXON, J.B. & WEED, S.B. (Ed.) Minerals in soil environments. Madison: SSSA, 1989. p.199-278.

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 (SC). Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v.21, p. 181- 190, 1997.

ALMEIDA, J.A. ; KAMPF, N. ; KLAMT, E. . Uso de Amidas e Hidrazina na identificação de caulinita desordenada em solos brunos subtropicais do RS e SC. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas-SP, v. 16, n. 2, p. 169-175, 1992.

ALMEIDA, J.A. de, BARRÓN, V.; TORRENT, J.; NICHELE, E.R. Características estruturais de populações de Goethitas sintéticas e naturais com diferentes graus de substituição de ferro por alumínio. In : REUNIAO SUL BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO : Solos e qualidade ambiental, 4., 2002, Porto Alegre. Programa e resumos... Porto Alegre : UFRGS, 2002.

APARICIO, P. ; GALÁN, E. Mineralogical interference on Kaolinite crystallinity index measurements. Clays and Clays Minerals. Clarkson. v.47, n.1, p.12-27, 1999.

AZEVEDO, A.C. de; VIDAL-TORRADO, P. Esmectita, vermiculita, minerais com hidróxi entrecamadas e clorita. In: ALLEONI, L.R.F.; MELO, V. F. Química e mineralogia do solos. v.1. 1ed. Viçosa: SBCS, 2009. 695p. p. 382-418.

BARNHISEL, R.I. & BERTSCH, P.M. Chlorites and hydroxy-interlayered vermiculite and smectite. In: DIXON, J.B. & WEED, S.B. Minerals in soil environments. 2.ed. Madison, Soil Science Society of America, 1989. p.729-788.

BARSHAD, I. & KISHK, F.M. Chemical composition of soil vermiculite clays as related to their genesis. Cont. Mineral. Petrol., 24:136-155, 1969.

BAUTISTA-TULIN, A.T. & INOUE, K. Hydroxy-interlayered minerals in Japanese soils influenced by eolian deposition. Soil Sci. Soc. Am. J., 61:631-640, 1997.

BENNEMA, J. The calculation of CEC for 100 grams Clay (CEC 100) with correction for organic carbon. In : BENNEMA, J. Report to the government of Brazil on classification of brazilian soils. Rome : FAO, 1966. 83 p. (FAO. EPTA, 2197).

BEHLING, Hermann ; PILLAR, V D ; BAUERMANN, S G . Late Quaternary grassland (Campos), gallery forest, fire and climate dynamics, studied by pollen, charcoal and multivariate analysis of the São Francisco de Assis core in western Rio Grande do Sul (southern Brazil). *Review of Palaeobotany and Palynology*, v. 133, p. 235-248, 2005.

BEHLING, Hermann . South and Southeast Brazilian grasslands during Late Quaternary times: a synthesis. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, v. 177, p. 19-27, 2002.

BEHLING, Hermann . Investigations into the Late Pleistocene and Holocene history of vegetation and climate in Santa Catarina (S Brazil). . *Vegetation History and Archaeobotany*, v. 4, p. 127-152, 1995.

BIGARELLA, J.J. ; MOUSINHO, M.K. ; SILVA, J.Z. Considerações a respeito da evolução das vertentes. *Boletim Paranaense de Geografia*, Curitiba, n. 16-17, p.84-116, 1965.

BOLDRINI, I.I., (Ed.), 2007. Biodiversidade dos Campos do Planalto das Araucárias. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, Brasília (Série Biodiversidade 30), in press.  
BORCHARDT, G. Smectites. In: DIXON, J.B.; WEED, S.B. (Ed.) *Minerals in soil environments*. Madison : SSSA, 1989. p. 675-728.

BRINDLEY, G.W.; BROWN, G. *Cristal structures of clay minerals and their X ray identification*. London: Mineralogical Society, 1980. 495 p.

BUTTLER, B.E. *Periodic phenomena in landscape as basis for soil studies*. Camberia: CSRIO, 1959. 20p. (Soil Publication, 4).

CARDOSO, C.O. *Apostila de meteorologia e climatologia agrícola*. Lages : Departamento de Engenharia Rural. CAV/UEDESC, 2003.

CASTRO, J.C. *Coluna White: estratigrafia da Bacia do Paraná no Sul do Estado de Santa Catarina – Brasil*. Florianópolis : Secretaria de Estado da Tecnologia, Energia e Meio Ambiente, 1994. 68p. (Séria Textos Básicos de Geologia e Recursos Minerais de Santa Catarina, 4.)

CLEMENTE, C. A. *Alterações e solos desenvolvidos sobre rochas vulcânicas ácidas da Formação Serra Geral nos Planaltos de Guarapuava e Palmas, região centro-sul do Estado do Paraná*. 1988. 211 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz/USP, Piracicaba, 1988.

CLEMENTE, C. A. Intemperismo de riólitos e riodacitos da Formação Serra Geral (Jurássico-Cretáceo), das regiões sul e sudeste do Brasil. 2001. 216 f. Tese (Livre Docência) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz/USP, Piracicaba, 2001.

CORRÊA, J. Mineralogia e gênese das principais classes de solos de encostas basálticas do Estado de Santa Catarina. 2003. 146 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) Universidade Estadual de Santa Catarina, Lages, 2003.

CULLITY, B.D. Elements of X-Ray diffraction. 2.ed. Reading : Addison-Wesley, 1978. 555p.

CURI, N.; KAMPF, N.; RESENDE, M. Mineralogia, química, morfologia e geomorfologia se solos originados de rochas efusivas das encostas superior e inferior do nordeste, no Rio Grande do Sul. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v.8, p.229-276, 1984.

DANA, J. D. e HURLBULT, C. S. (1984). Manual de mineralogia. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, V.2.

DELVIGNE, J. Pedogenése en zone tropicale. La formation des minéraux secondaires en milieu ferrallitique. Paris: Mém. ORSTOM, 13, 1965. 177p.

DIXON, J.B. Kaolin and Serpentine Group Mineral. DIXON, J.B.; WEED, S.B. (Ed.) Minerals in soil environments. Madison : SSSA, 1989. p.467-526.

DREES, L.R.; WILDING, L.P.; SMECK, N.E.; SENKAYI, A.L. Silica in Soils: Quartz and disordered Silica Polymorphs. In: DIXON, J.B.; WEED, S.B. (Ed.) Minerals in soil environments. Madison : SSSA, 1989. p. 913-974.

EMBRAPA. CNPS. Manual de métodos de análise de solo. 2.ed. Rio de Janeiro , 1997. 212p.

EMBRAPA. SNLCS. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, 1979.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2ª ed., Rio de Janeiro: EMBRAPA, 2006. 306 p.

EMERSON, W.W.; FOSTER, R.C.; OADES, J.M. Organo - Mineral complexes in relation to Soil Aggregation and Structure. In: HUANG, P.M.; SCHNITZER, M. (Ed.) Interactions of Soil Minerals With Natural Organic and Microbes. Madison : SSSA, 1986. p.521-548.

ERNST, W.G. Minerais e rochas. São Paulo: Edgard Blüncher, 1996. 163p.

ESWARAN, H.; DE CONINCK, F. Clay mineralogy formation and transformation in basaltic soils in tropical environments. Pedologie. V.21, n.2, p.181-210. 1971.



FABRIS, J. D.; VIANA, J. H. M.; SCHAEFER, C. E. G. R.; WYPYCH, F.; STUCKI, J.W. MÉTODOS FÍSICOS DE ANÁLISES EM MINERALOGIA DO SOLO. In: ALLEONI, L.R.F.; MELO, V. F. Química e mineralogia do solos. v.1. 1ed. Viçosa: SBCS, 2009. 695p. p. 611-694.

FANNING, D.S.; KERAMIDAS, V.D.; EL-DESOKY, M.A. Micas. In: DIXON, J.B.; WEED, S.B. (Ed.) Minerals in soil environments. Madison : SSSA, 1989. p. 551-634.  
FITZPATRICK, R.W. Compounds as indicators of pedogênica process: examples from the southern hemisferes. In: STUCKY, J.W.; GOODMAN, B.A.; SCHERTMANN, U. Iron in soils an Clay minerals. Holland: D. Reidel, 1985. p.351-396.

FRANK, T.H.; GOMES, M.E.B.; FORMOSO, M.L.L. Review of the areal extent and the volume of the Serra Geral Formation,Paraná Basin, South America. Pesquisas em Geociências, 36 (1): 49-57, jan./jun. 2009 ISSN 1518-239 . Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil.

GEOBANK – CPRM. Serviço Geológico do Brasil, 2010. Disponível em:  
<<[http://geobank.sa.cprm.gov.br/pls/publico/litoestratigrafia.litoestratigrafia.consultar?p\\_webmap=N](http://geobank.sa.cprm.gov.br/pls/publico/litoestratigrafia.litoestratigrafia.consultar?p_webmap=N). Acesso em 12 jan. 2010.

GOMES, K. E. ; ALMEIDA, J.A. ; QUADROS, F. L. F. ; VIDOR, M. ; RIBEIRO, A.M.L. DALLAGNOL M . Zoneamento das Pastagens Naturais do Planalto Catarinense. In: XI Reunião do grupo técnico regional do cone sul em melhoramento e utilização de recursos forrageiros das áreas tropical e subtropical, 1989. Anais. Lages, SC. v. 1. p. 304-314.

HORBACH, R. et al. Geologia. In: BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Levantamento de Recursos Naturais. Vol.33, Folha SH 22, Porto Alegre e parte das folhas SH 21 e SI 22 Lagoa Mirim. Capítulo 1, Rio de Janeiro, 1986, 796p.

HSU, P.H. Aluminum Oxides and Oxyhidrohides. In: DIXON, J.B.; WEED, S.B. (Ed.) Minerals in soil environments. Madison : SSSA, 1989. p. 331-378.

HUANG, P.M. Feldspars, olivines, pyroxenes and amphiboles. In: DIXON, J.B.; WEED, S.B. (Ed.) Minerals in soil environments. Madison : SSSA, 1989. p. 975-1050  
HUGHES, J.C. Cristallinity of kaolin minerals and their wheathering sequence in some soils from Nigeria, Brazil and Colombia. Geoderma, Amsterdam, v.24, p. 317-325, 1980.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Cidades do Brasil município por município, 2000. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/default.php>>. Acesso em 12 jan. 2010.

IBGE. Manual Técnico de Pedologia Rio de Janeiro: IBGE. 2007. 316 p. (Manuais Técnicos em Geociências no 4).

ICEPA. Síntese Anual da Agricultura Catarinense. Florianópolis: ICEPA/SC, 2009. Disponível em <<http://cepa.epagri.sc.gov.br/>>. Acesso em: 12 jan 2010.

JACKSON, M.L. Soil Chemical Analysis. 2ed. Madison: Department of Soil Science-University of Wisconsin. Advanced Course, 1965. 991p. (mimeografado)

KAMPF, N. Halositas em saprolitos de rochas vulcânicas do Rio Grande do Sul. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v. 19, p. 179-184, 1995.

KAMPF, N.; AZEVEDO, A. C.; COSTA JR., M. I. Estrutura básica de argilominerais 2:1 com hidróxi-Al entrecamadas em Latossolos Bruno do Rio Grande do Sul. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v. 19, p.185-190, 1995a.

KAMPF, N.; CURI, N. Argilominerais em solos brasileiros. In: CURI, N. et al. (Eds.). Tópicos em ciência do solo. Viçosa: SBCS, 2003. v. 3, p.1-54.

KAMPF, N.; SCHWERTMANN, U. Goethitas na interface solo-rocha em amostras do Rio Grande do Sul e Minas Gerais. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v.19, p. 359-366, 1995.

KARATHANASIS, A. D. Compositional and solubility relationships between aluminumhydroxylinterlayered soil-smectites and vermiculites. Soil Science Society of America Journal, Madison, v. 52, p. 1500-1508, 1988.

KEHRIG, A. G. As relações ki e kr no solo. Rio de Janeiro: IQA, 1949. 67 p. (Boletim do Instituto de Química Agrícola n. 13).

KER, J.C.; ALMEIDA, J.A.; FASOLO, P.J. & HOCHMÜLLER, D.P. Levantamento exploratório de solos. In: BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Levantamento de Recursos Naturais. Vol.33, Folha SH 22, Porto Alegre e parte das folhas SH 21 e SI 22 Lagoa Mirim. Capítulo 3, Rio de Janeiro, 1986, 796p.

KIRSCH, H. Mineralogia aplicada. São Paulo: Polígono/ Ed da USP, 1972 291p.

KLAMT, E.; MEURER, J.E. Composição da fase sólida mineral do solo. In: MEURER, E.J (Ed.). Fundamentos química do solo. Porto Alegre : Genesis, 2000 .174p.

KOHUT, C.K. & WARREN, C.J. Chlorites. In: DIXON, J.B. & SCHULZE, D.G. Soil mineralogy with environmental applications. Madison, Soil Science Society of America, 2002. p.531-553.

LAGO, P.F. Santa Catarinense: a terra, o homem e a economia. Florianópolis : Ed. UFSC, 1968.

LEDRU, M.P. Late quaternary environment and climatic changes in Central brasil. Quaternary Research, Washington, v.39, p.90-98, 1993.

LEINZ, V.; AMARAL, S. E. do. Geologia física.Brasília: Ministério da Educação e Cultura/Instituto Nacional do Livro, 1975.95p.

LEINZ, V.; AMARAL, S. E. do. Geologia geral. São Paulo: Nacional, 1985, 397p.

LEMOS, R.C. ; SANTOS, R.D. Manual de descrição e coleta do solo no campo. 3ed. Viçosa: SBCS/ CNPS, 1996.

LEPSCH, I. F. et al. Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso. Campinas: SBCS, 1991. 175 p.

LIETZKE, D. A.; WEBER, R. S. The importance of Cr horizons in soil classification and interpretations. Soil Science Society of America Journal, Madison, v. 45, p. 593-599, 1981.

LIETZKE, D.A. & MORTLAND, M.M. The dynamic character of chloritized vermiculitic soil clay. Soil Sci. Soc. Am. J., 37:651-656, 1973.

MALLA, P.B. Vermiculites. In: DIXON, J.B. & SCHULZE, D.G. Soil mineralogy with environmental applications. Madison, Soil Science Society of America, 2002. p.501-529.

MEHRA, O. P.; JACKSON, M. L. Iron oxide removal from soils and clays by a dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate. Proceedings Clays & Clay Mineral Conference, London, v. 7, 1960. p. 317-327.

MELFI, A. J.; PEDRO, G. Estudo geoquímico dos solos e formações superficiais do Brasil. Parte 1: Caracterização e repartição dos principais tipos de evolução pedogeológica. Revista Brasileira de Geociências, São Paulo, v. 7, p. 271-286, 1977.

MELFI, A. J.; PEDRO, G. Estudo geoquímico dos solos e formações superficiais do Brasil. Parte 2: Considerações sobre os mecanismos geoquímicos envolvidos na alteração superficial e sua repartição no Brasil. Revista Brasileira de Geociências, São Paulo, v. 8, p. 11-22, 1978.

MELO, Vander de Freitas; MATTOS, Julian Martins S.M. and LIMA, Valmiqui Costa. Métodos de concentração de minerais 2:1 secundários na fração argila visando sua identificação por difratometria de raios x. Rev. Bras. Ciênc. Solo. 2009, vol.33, n.3, pp. 527-539. ISSN 0100-0683.

MENDES, C.J. ; PETRI, S. Geologia do Brasil. Ministério da Educação e Cultura/ Instituto Nacional do Livro. Brasília, 1975 207p.

MENEGOTTO, E.; GASPARETTO, N.V.L. Intemperização de rochas vulcânicas básica e ácidas na região de Santa Maria-RS. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOQUÍMICA, 1., 1987, Anais... 1987. v.2, p. 69-83.

MENEGOTTO, E.; SARTORI, P. L.; MACIEL FILHO, C. L. Nova seqüência sedimentar sobre a Serra Geral no Rio Grande do Sul. Santa Maria: UFSM, 1968. 19 p. (Publicação especial n. 1).

NARDY, A. J. R.; MACHADO, F. B. ; OLIVEIRA, M.A.F. de. As rochas vulcânicas mesozóicas ácidas da Bacia do Paraná: litoestratigrafia e considerações geoquímico-estratigráficas. *Rev. bras. geociênc.*, mar. 2008, vol.38, no.1, p.178-195. ISSN 0375-7536.

NARDY, A.J.R.; MARQUES, L.S.; RAPOSO, M.I.B. Aspectos Petrológicos das rochas efusivas ácidas da Região Centro Sul do Estado do Paraná. *Geociências*, v.5/6, p.43-57, 1986.

OLIVEIRA, J. B. *Pedologia Aplicada*. Jaboticabal: FUNEP, 2005. 414 p.

OLSON, C.G.; THOMPSON, M.L. & WILSON, M.A. Phyllosilicates. In: SUMNER, M. E., ed. *Handbook of soil science*. Boca Raton, CRC Press, 2000. p.F77-F123.

PDF Card. In: Joint Committee on Powder Diffraction System (JCPDS). International Centre for Diffraction Data (ICDD). Powder Diffraction File 1996: PDF-2 Database Sets 1-46. Newtown Square: Dataware technologies, 1996. CD-ROM.

PEDRON, F. de A. *Mineralogia, morfologia e classificação de saprolitos e Neossolos derivados de rochas vulcânicas no Rio Grande do Sul*. 2008. 146 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) Universidade Federal de Santa Maria, UFSM, Brasil, 2008.

PICCIRILLO, E.M.; CIVETTA, L.; PETRINI, R.; LONGINELLI, A.; COMINCHIARAMONTI, P.; BELLINI, G.; MARQUES, L.S.; MELFI, A.J. Regional variations within the Paraná continental flood basalt sequences as evidence for different mantle regions and variable crustal contamination. *Terra Cognita*, v.7, p.618. 1987a.

PICCIRILLO, E.M.; RAPOSO, M.I.B.; MELFI, A.J.; COMIN-CHIARAMONTI, P.; BELLINI, G.; CORDANI, U.G.; KAWASHITA, K. Bimodal fissural volcanic suites from the Paraná basin (Brazil): K-Ar age, Sr-isotopes and Geochemistry. *Geochimica Brasiliensis*, v.1, p.53-69, 1987b.

POTTER, R. O.; KÄMPF, N. Argilo-minerais e óxidos de ferro em Cambissolos e Latossolos sob regime climático térmico údico no Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.5, p. 153-159, 1981.

POTTER, R.O.; CARVALHO, A.P.; FLORES, C.A. & BOGNOLA, I. 2004. Solos do Estado de Santa Catarina. Rio de Janeiro: Embrapa-Solos. CD ROM; mapa color. (Embrapa Solos, Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 46).

QUINN, J.H. Paired river terraces and pleistocene glacialiation. *The Journal of Geology*, Chicago, v.65, p.149-166, 1957.

RANSOM, M.D.; BIGHAM, J.M.; SMECK, N.E. & JAYNES, W.F. Transitional vermiculite-smectite phases in Aqualfs of Southwestern Ohio. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 52:873-880, 1988.

RESENDE, M.; CURI, N.; KER, J. C. & REZENDE, S.B.D. *Mineralogia de solos brasileiros- Interpretação e aplicações*. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 2005. 192p.

RESENDE, M.; CURI, N.; de RESENDE, S.B.; CORRÊA, G.F. Pedologia: base para distinção de ambientes. 4ed. Viçosa: NETPUT, 2002. 338p.

REYNOLDS, R. C. Interstratified clay minerals. In: BRINDLEY, G.W.; BROWN, G. (Eds.). *Cristal structures of clay minerals and their X ray identification*. London: Mineralogical Society, 1980. p. 249-303.

RHUE, R.V.; WALKER, P.H. Hillslope models and soil formation. In: *Congress of Soil Science*, 9., 1968, Adelaide. 1968.

RICH, C.I. Hydroxy interlayers in expansible layer silicates. *Clays Clay Minerals*, 16:15-30, 1968.

ROBERT, M.; BERTHELIN, J. Role of Biological and Biochemical Factors in Soil Mineral Weathering. In: HUANG, P.M.; SCHNITZER, M. (Ed.) *Interactions os Soil Minerals with Natural Organics and Microbes*. Madison: SSSA, 1986 p. 453-496.

RYAN P.C., HUERTAS F.J. The temporal evolution of pedogenic Fe-smectite to Fe-kaolin via interstratified kaolin-smectite in a moist tropical soil chronosequence (2009) *Geoderma*, 151 (1-2), pp. 1-15.

SANTA CATARINA. Gabinete de Planejamento e Coordenação Geral. Subchefia de Estatística. *Atlas de Santa Catarina*. Rio de Janeiro Aerofoto Cruzeiro, 1986. 173p.

SANTA CATARINA. Secretaria de Estado de Coordenação Geral e Planejamento. *Atlas escolar de Santa Catarina*. Rio de Janeiro, Aerofoto Cruzeiro, 1991. 96p.

SANTOS, R. D. et al. *Manual de descrição e coleta de solo no campo*. 5. ed. Viçosa: SBCS, 2005. 100 p.

SARTORI, P. L.; GOMES, C. B. Composição química-mineralógica das últimas manifestações vulcânicas na região de Santa Maria, RS. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 52, n. 1, p. 125-133, 1980.

SAWHNEY, B.L. ; REYNOLDS, R.C. Interstratified clay as particles: a discussion. *Clay and Clay Minerals*, Clarkson, v.33, p.559, 1985.

SCHULZE, D.G. et al. Mixed-layer kaolinite-montmorillonite from the Yucatán peninsula, México. *Clays and Clay Minerals*, Clarkson, v. 9, p. 137-150, 1971.

SCHWERTMANN, U.; TAYLOR, P.M. Iron oxides. In: DIXON, J.B. & WEED S.B. (Ed.) *Minerals in soil environments*. Madison: SSSA, 1989. p.379-438.

SCHWERTMANN, U. Occurrence and formation of iron oxides in various pedoenvironments. In: STUCKY, J. W.; GOODMAN, B.A.; SCHWERTMANN, U. *Iron in soils an clay minerals*. Holland: D Reidel, 1985. p. 267-308.

SMITH, W.W. Weathering of some Scottish basic igneous rocks with reference to soil formation. *J. Soil Sci.*, 13:202-215, 1965.

TAN, K.H. Principles of soil chemistry. New York: Marcel Dekker, 1982. 267p.

TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H. VOLKWEISS, S.J. Análise de solo plantas e outros materiais. Porto Alegre: UFRGS, 1995. 174p.

TESKE, R. ; ERHART, J. ; ALMEIDA, J. A. . Contribuição do carbono orgânico para a CTC de solos catarinenses. In: VII Reunião Sul-Brasileira de Ciência do Solo, 2008, Santa Maria. Ciência do Solo no RS e SC: onde estamos e para onde vamos. Santa Maria : UFSM, 2008. v. 01. p. 20-20.

TRUFFI, S. A.; CLEMENTE, C. A. Alteração de plagioclásios dos riódacitos da Formação Serra Geral (JKsg) da região de Piraju – SP. *Scientia Agrícola*, Piracicaba, v. 59, n. 2, p. 383-388, 2002.

UBERTI, A.A. As características, distribuição e aptidão de uso dos solos da encosta inferior do Nordeste do Rio Grande do Sul. 93p. Dissertação ( Mestrado – Área de Concentração Solos) – Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1981.

UBERTI, A.A.; KLAMT, E. Relações solo - superfícies geomórficas na encosta inferior, nordeste do rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.8, p.229-234, 1984.

UFSM e SUDESUL. Levantamento de reconhecimento de solos do Estado de Santa Catarina (1 parte) .*Revista do Centro de Ciências Rurais*, Santa Maria , v.2, n.1/2, p.11-248, jan/jun. 1972.

UFSM e SUDESUL. Levantamento de reconhecimento de solos do Estado de Santa Catarina (2 parte) .*Revista do Centro de Ciências Rurais*, Santa Maria , v.2, n.1/2, p.11-248, jul/dez. 1972.

WAMBEKE, A.R. van. Criteira for classifying tropical soil by age by age. *Journal of Soil Science*, London, v.13, n.1, p.24-132, 1962.

WILDING, L.P.; SMECK, N.E.; DREES, L.R. Silica in Soils: Quartz, Cristobalite, Tridymite, and Opal. In: DIXON, J.B.; WEED, S.B. (Ed.). *Minerals in Soil Enviroments*. SSA. 1989.

WILSON, M.J. A handbook of determinative methods in Clay mineralogy. London: Blakie & Son, 1987. 173p.

WILSON, M.J.; CRADWICK, P. D. Occurrence of interstratified kaolinite-montmorillonite in some Scottish soils. *Clay Minerals*. v. 9, p. 435-437, 1972.

## APÊNDICE

APÊNDICE A – Descrição morfológica dos perfis de solo estudados.

PERFIL 1

DATA: 22 de julho de 2008.

CLASSIFICAÇÃO : Cambissolo Háptico alítico típico.

LOCALIZAÇÃO : trecho da localidade Vigia em direção à localidade do Bodegão, entrando a direita para a localidade do Rincão do Perigo aproximadamente 800 metros a partir do entroncamento estrada geral da Coxilha Rica.

LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA : S 28° 26' 756'' ; W050° 89' 487''.

ALTITUDE : 1.004 metros (GPS); 1.030 metros (barômetro).

LITOLOGIA : Rochas efusivas intermediárias.

FORMAÇÃO : Serra Geral.

PERÍODO : Cretáceo Superior.

MATERIAL DE ORIGEM: Produtos da decomposição das rochas supracima citadas , com possível retrabalhamento do mesmo material de origem mais superficial.

PEDREGOSIDADE : ligeiramente pedregoso.

ROCHOSIDADE : Não rochoso.

SITUAÇÃO DECLIVE/COBERTURA: terço superior de encosta.

RELEVO LOCAL: suave ondulado                      REGIONAL : ondulado.

EROSÃO : não aparente.

DRENAGEM : moderado (apresenta poucos mosqueados).

VEGETAÇÃO : campo subtropical (dominância palha fina).

USO ATUAL : Pastagem natural.

CLIMA: Cfb (Köppen).

DESCRITO E COLETADO POR: Jaime Antonio de Almeida, Rodrigo Teske, Artur Lorenzini..

#### DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

A1 0 – 10cm bruno muito escuro (úmido: 10YR 2,5/2; seco 5YR 2,5/2); muito argiloso; forte pequena e muito pequena granular; dura, friável, plástico e ligeiramente pegajoso; transição clara e plana.

A2 10 – 21cm bruno muito escuro (úmido: 10YR 2,5/2; seco:7,5YR 3/2); muito argiloso; moderada pequena e muito pequena granular, moderado pequeno blocos subangulares; dura, friável, plástico e ligeiramente pegajoso; transição clara e plana.

AB 21 – 47cm bruno acinzentado muito escuro (úmida: 10YR 3/2 - seco: 10YR 4/3); muito argiloso; moderada pequena e muito pequena blocos subangulares; dura, friável, plástico e pegajoso; transição clara e plana.

BA 47 – 60cm bruno amarelado escuro (úmida: 10YR 3,5/4 – seco:10YR 4/3); muito argiloso; moderada pequena blocos subangulares; muito dura, friável, plástico e pegajoso; transição clara e plana.

Bi1 60 – 80cm bruno amarelado escuro (úmida: 10YR 4/4 – seco: 10YR 4/4); muito argiloso; moderada pequena a média blocos subangulares; extremamente dura, friável a firme, muito plástico e pegajoso a muito pegajoso; transição : gradual e plana.

Bi2 80 – 102cm bruno amarelado escuro (úmida: 10YR 4,5/4 – seco :10YR 5/4); muito argiloso; moderada a fraca média blocos subangulares; extremamente dura, friável a firme, plástico e pegajoso a muito pegajoso; transição: gradual e plana.

BC 102 – 120/130cm bruno amarelado (úmida: 10YR 5/5 – seco: 10YR 5/4); muito argiloso; fraca media e grande blocos subangulares; extremamente dura, firme, plástico e pegajoso a muito pegajoso; transição abrupta e ondulada.

C 120/130 – 132/150cm bruno forte ( úmida: 7,5YR 4/6 – seco: 10YR 6/4); muito argiloso; fraca grande blocos subangulares; dura a extremamente dura, firme: plástico a ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição: abrupta irregular. Mosqueados: (7,5YR 4/6); média comum e distinto.

CR 132/150 – 170cm+ cinzento brunado claro (úmida: 10YR 6/2 – seco: 10YR 7/2); argiloso.



RAÍZES: no A1 muitas, fasciculadas e finas; no A2 comuns, fasciculadas e finas; no AB e BA poucas a comuns, fasciculadas, finas; Poucas no Bi1 e Bi2; no BC raras e no C e Cr ausentes.

Obs.: Dia nublado. Presença de cascalho até 20cm no AB e no BA Presença de cascalho no AB e BA ( até 20cm).

PERFIL: 2

DATA: 23 de julho de 2008.

CLASSIFICAÇÃO: Cambissolo Háptico alítico típico.

LOCALIZAÇÃO : aproximadamente 500 metros da propriedade de Cândido Vieira em direção a Fazenda Negreiro, lado direito. Encontra-se a 19 km da calha do Rio Lava-Tudo, Lages Santa Catarina..

LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA: S 28° 31' 055"; W050° 39' 756".

ALTITUDE: 1.100 metros (altímetro); 1.084 metros (GPS).

LITOLOGIA : Riodacito Vermelhado.

FORMAÇÃO: Serra Geral.

PERÍODO: Cretáceo Superior.

MATERIAL DE ORIGEM: Produto da alteração do Riodacito Vermelhado com deposição coluvionar superficial.

PEDREGOSIDADE: não pedregoso.

ROCHOSIDADE: não rochoso.

SITUAÇÃO DECLIVE/COBERTURA: Topo de elevação com aproximadamente 5% de declividade no local. Cobertura de pastagem natural com predomínio de capim palha fina.

RELEVO LOCAL: suave ondulado

REGIONAL: ondulado.

EROSÃO : não aparente.

DRENAGEM : moderada.

VEGETAÇÃO : primária campo subtropical.

USO ATUAL: pastagem natural.

CLIMA : Cfb (Köppen).

DESCRITO E COLETADO POR: Jaime Antonio de Almeida, Rodrigo Teske, Artur Lorenzini.

## DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

**A1** 0 – 13cm preto (úmido: 10YR 2/1, seco 10YR 4/2); argiloso; moderada, média, blocos subangulares e angulares que se desfazem em moderada a forte, média granular e moderada, muito pequena e pequena granular; macia, friável, plástico e ligeiramente pegajoso; transição gradual e plana.

**A2** 13 – 26/30 bruno avermelhado escuro (úmida: 5YR 3/3 - seco: 10YR 4/2); muito argiloso; fraca a moderada média e grande blocos subangulares que se desfazem em moderada, muito pequena e pequena granular; macia, friável; plástico e ligeiramente pegajoso; transição clara e ondulada.

**BA** 26/30 - 42 bruno escuro (úmida: 7,5YR 3/3 – seco: 10YR 4/3); muito argiloso; moderada a fraca, pequena e média blocos subangulares; macia, friável, plástico e pegajoso; transição clara e plana.

**Bi** 42 -70/76 bruno escuro (úmida: 7,5YR 4/4 – seco: 10YR 6/4); muito argiloso; moderada, média e pequena blocos subangulares; dura, friável a firme, plástico e ligeiramente pegajoso a pegajoso; transição: abrupta e ondulada.

**C** 70/76 - 97/78 vermelho escuro (úmida : 3,5YR 3/6 – seco: 5YR 6/3); argiloso; moderada, média e pequena blocos angulares e subangulares; ligeiramente dura, muito friável; ligeiramente plástico a plástico e ligeiramente pegajoso a pegajoso; transição: abrupta e irregular.

**Cr** 97/78 – 110+ bruno avermelhado escuro (úmido: 2,5YR 3/4, seco 10R 6/3); argila siltosa; moderada a forte, média blocos angulares. Consistência seca: macia, úmida: firme; ligeiramente plástico, ligeiramente pegajoso.

Raízes : no A1 e A2 muitas, fasciculadas; no BA e Bi fasciculadas comuns; No C poucas e no Cr raras.

Obs. : Presença expressiva de linha de pedras disseminada no horizonte **BA** e parte superior do **Bi** com fragmentos de calcedônia. Fragmentos semintemperizados de Riodacito e com dimensões métricas e decimétricas.

## PERFIL 3

DATA: 23/07/08.

CLASSIFICAÇÃO: Cambissolo Háptico alítico típico .

LOCALIZAÇÃO : Estrada para a localidade Invernada da Cadeia, aproximadamente 5 km antes do perfil 4.

LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA : S 28°33'067" W050°30'289" .

ALTITUDE : 1.009 metros (GPS); 1.025 metros (altímetro) .

LITOLOGIA : Riólito - Riódacito rosado/avermelhado.

FORMAÇÃO: Serra Geral.

CRONOLOGIA: Cretáceo Superior .

MATERIAL DE ORIGEM: produto da alteração do Riódacito com influência de colúvio superficial.

PEDREGOSIDADE: ligeiramente pedregoso.

ROCHOSIDADE: não rochoso.

SITUAÇÃO DECLIVE/COBERTURA: terço médio de encosta aproximadamente 25% declive. Cobertura de campo sujo com capoeira com resquícios de mata de araucária.

RELEVO LOCAL: forte ondulado

**Regional:** forte ondulado.

EROSÃO : : laminar moderada.

DRENAGEM : moderadamente drenado.

VEGETAÇÃO primária : Floresta subtropical, subperenifólia, entremeada com campos subtropical. (campos : possível ação antrópica).

USO ATUAL: pastagem natural com vassouras.

CLIMA : Cfb (Köppen).

DESCRITO E COLETADO POR: Jaime Antonio de Almeida, Rodrigo Teske, Artur Lorenzini.

#### DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

**A** 0 – 26cm bruno muito escuro (úmido: 10YR 2/2, seco 10YR 4/2); muito argiloso; moderada média e pequena granular; macia, friável, plástico, ligeiramente pegajoso a pegajoso; transição clara e plana.

**AB** 26 – 40 bruno escuro (úmida: 7,5YR 3/3 - seco: 5YR 3/3); muito argiloso; fraca a moderada pequena granular; muito dura, friável, plástico e pegajoso; transição clara e plana.

**Bi** 40 – 63 bruno avermelhado (úmida: 5YR 4/4 – seco: 7,5YR 4/6); muito argiloso; fraca a moderada média e pequena blocos subangulares; muito dura, firme, plástico e ligeiramente pegajoso a pegajoso; transição gradual e plana.

**BC** 63 – 88 vermelho amarelado (úmida: 5YR 4/6 – seco: 7,5YR 4/6); muito argiloso; fraca a moderada média e pequena blocos subangulares; muito dura, firme, plástico e ligeiramente pegajoso a pegajoso; transição gradual e plana.

C 88 – 160+ vermelho amarelado (úmida : 5YR 4/6 – seco: 7,5YR 6/4); argiloso; maciça que se desfaz em fraca grande média blocos subangulares; ligeiramente dura, firme a muito firme; ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso.

Raízes : no A e AB muitas, fasciculadas, finas e pivotantes poucas; no Bi comuns; raras no BC e ausentes no C.

Obs.: presença de linha de pedras e cascalho disseminados por todo AB ocupando mais que 50% do volume fragmentos de Riodacito intemperizados no Bi, média quantidade no Bi, com cores cinzento-amarelo-esverdeado e manchas vermelhas. Maior quantidade destes são encontrados no horizonte BC, alguns com cores avermelhadas.

O horizonte C é composto predominantemente por Riodacito semi-intemperizado fragmentado (Cr).

PERFIL: 4

DATA: 23/07/08.

CLASSIFICAÇÃO: Nitossolo Vermelho distroférico típico.

LOCALIZAÇÃO : próximo da calha do Rio Lava Tudo Lages SC.

LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA : S28°34'511"; W050°29'405".

ALTITUDE : 825 metros (GPS); 840 metros ( Altímetro).

LITOLOGIA : Basalto Andesito.

FORMAÇÃO: Serra Geral.

CRONOLOGIA: Cretáceo superior .

MATERIAL DE ORIGEM: produtos da alteração do Basalto Andesito com forte influência de colúvio/coluviamento superficial.

PEDREGOSIDADE: ligeiramente pedregoso.

ROCHOSIDADE: não rochoso.

RELEVO LOCAL: ondulado REGIONAL: forte ondulado e montanhoso.

EROSÃO : ligeiramente laminar.

DRENAGEM : bem drenado.

SITUAÇÃO DECLIVE/COBERTURA: terço inferior da encosta com aproximadamente 20% de declividade e cobertura campo com capoeira e resquícios de mata de Araucária.

VEGETAÇÃO : floresta subtropical (original/primária).

USO ATUAL: campo com capoeira.

CLIMA: Cfb/Cfa

DESCRITO E COLETADO POR: Jaime Antonio de Almeida, Rodrigo Teske, Artur Lorenzini

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

**A1** 0 – 15cm bruno avermelhado escuro (úmido: 5YR 3/3, seco 7,5YR 3/3); argiloso; moderada pequena a muito pequena granular; macia, muito friável, plástico e pegajoso; transição gradual e plana.

**A2** 15 – 34 bruno avermelhado escuro (úmido: 5YR 3/3/, seco 7,5YR 4/4); muito argiloso; fraca média blocos que se desfaz em moderada pequena e média granular; ligeiramente dura, friável, muito plástico e ligeiramente pegajoso; transição clara e plana.

**BA** 34 - 49 bruno avermelhado (úmido: 5YR 4/4, seco 5YR 4/4); muito argiloso; fraca a moderada média e pequena blocos subangulares e moderada pequena granular; ligeiramente dura, friável a firme, plástico e ligeiramente pegajoso a pegajoso; transição gradual e plana.

**Bt1** 49 – 73 bruno avermelhado (úmido: 3,5YR 4/4, seco 5YR 4/4); muito argiloso; moderada grande prismática que se desfaz em moderada média e pequena blocos subangulares; ligeiramente dura, friável a firme, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso a pegajoso; transição gradual e plana; Cerosidade fraca e pouca.

**Bt2** 73 - 110 bruno avermelhado (úmido: 4YR 4/4, seco 7,5YR 4/4); muito argiloso; moderada média prismática que se desfaz em moderada média e pequena blocos subangulares; dura, firme, plástico e ligeiramente pegajoso; transição clara e plana; Cerosidade moderada e comum.

**BC** 110 - 152 bruno (úmido: 7,5YR 4/4 – com manchas de óxidos de Manganês disseminadas por toda matiz - , seco 7,5YR 4/6); muito argiloso; aspecto de maciça que se desfaz em fraca média blocos angulares e subangulares; dura, firme a muito firme, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição gradual e plana;

**C** 152 – 170+ bruno (úmido: 7,5YR 4/4, seco 7,5YR 4/6); muito argiloso; aspecto de maciça que se desfaz em moderada média blocos angulares e subangulares; extremamente dura, muito firme, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso.

Raízes : no A1 muitas; no A2 e BA são comuns; No Bt1 poucas, Bt2 raras; no BC e C ausentes.

Obs.: Intensa quantidade de óxidos de Manganês no BC. Fragmentos de rocha basáltica semi alterados ao longo do B (poucas rochas). Presença de grãos milimétricos a centimétricos disseminados ao longo de todo o perfil. Fragmentos de quartzo, silics, calcedônia, ágata, muitos com aspecto esferoidal.

PERFIL 6

DATA: 01/11/2008.

CLASSIFICAÇÃO Nitossolo Vermelho alítico típico.

**LOCALIZAÇÃO** : Estrada secundária à noroeste da localidade São João do Pelotas, entrando a direita em direção ao Rio Lava Tudo, a 7 km da Igreja São João do Pelotas e 500 metros após o arroio lado direito, estando a 1,4 km antes da localidade São João do Pelotas, Coxilha Rica Lages, Santa Catarina.

**LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA** : S 28° 22' 343" W050° 17' 583".

**ALTITUDE** : 857 metros (GPS).

**LITOLOGIA** : Basalto.

**FORMAÇÃO** : Serra Geral.

**PERÍODO** : Juro Cretáceo.

**MATERIAL DE ORIGEM**: Produtos da alteração do Basalto, com colúvio do mesmo material até horizonte BA.

**PEDREGOSIDADE** : Pedregoso.

**ROCHOSIDADE** : Não rochoso.

**SITUAÇÃO DECLIVE/COBERTURA**: Meia encosta com aproximadamente 18% de declividade.

**COBERTURA**: vassouras e gramíneas, campo sujo a direita do perfil e a esquerda mata natural.

**RELEVO LOCAL**: Forte ondulado. **\_REGIONAL** : Ondulado..

**EROSÃO**\_: Laminar moderada a forte.

**DRENAGEM**\_: Bem drenado.

**VEGETAÇÃO PRIMÁRIA**\_: Floresta Ombrófila Mista..

**USO ATUAL**\_: Pastagem.

**CLIMA**\_: Cfb

**DESCRITO E COLETADO POR**: Jaime Antonio de Almeida, Rodrigo Teske, Andrey Hoffer e Rudiard Muniz.

**DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA**

**Ap** 0 – 12cm bruno avermelhado escuro (úmido: 2,5YR 2,5/3 , seco: 2,5YR 3/2); muito argiloso: moderada, pequena e muito pequena granular e fraca, pequena blocos subangulares; dura, muito friável; plástico, ligeiramente pegajoso; transição gradual e plana.

**AB** 12 – 22cm bruno avermelhado escuro (úmida: 2,5YR 2,5/3 - seco: 2,5YR 3/4); muito argiloso; fraca a moderada, média e pequena blocos subangulares.; muito dura, friável; plástico, ligeiramente pegajoso; transição gradual e plana.

**BA** 22 – 38cm bruno avermelhado escuro (úmida: 2,5YR 3/3 - seco: 2,5YR 3/4); muito argiloso; moderada a fraca média e pequena blocos subangulares; muito dura, friável a firme; plástico, ligeiramente pegajoso a pegajoso; transição gradual e plana; cerosidade fraca e pouca.

**Bt1** 38 – 60/67cm bruno avermelhado escuro (úmida: 2,5YR 3/4 – seco: 2,5YR 4/4); muito argiloso; moderada média e pequena blocos subangulares; muito dura a extremamente dura, friável a firme, plástico, ligeiramente pegajoso a pegajoso; transição clara e ondulada; cerosidade moderada e comum.

**Bt2** 60/67 - 91/95cm bruno avermelhado escuro (úmida: 2,5YR 3/5 – seco: 2,5YR 4/6); muito argiloso; moderada grande prismática que se desfaz em moderada média blocos subangulares; muito dura, friável a firme; plástico, pegajoso; transição gradual e ondulada; cerosidade moderada e comum.

**BC** 91/95 – 125/132cm bruno avermelhado escuro (úmida: 2,5YR 2,5/4 – seco: 2,5YR 5/4); muito argiloso; fraca a moderada média blocos subangulares; dura, friável; ligeiramente plástico, ligeiramente pegajoso; transição clara e ondulada; cerosidade: fraca e pouca.

**C/Cr** 125/132 – 150+ cm bruno avermelhado escuro (úmida: 2,5YR 2,5/4 – seco: 2,5YR 4/8); muito argiloso; aspecto maciça; dura, friável; ligeiramente plástico, ligeiramente pegajoso.

Raízes : no Ap e AB fasciculadas comuns, médias e finas; fasciculadas, poucas, médias no BA e Bt1; poucas no Bt2; no BC raras e ausentes no C/Cr.

Obs. : Presença de linha de pedras com cascalhos no BA. Desuniformidade lateral na espessura do solo, com partes mais rasas onde a rocha intemperizada encontra-se aflorando no C/Cr evidenciando coloração lilás do Cr e partes avermelhadas e partes com concentrações de zeólitas. Presença de deposições de óxidos de manganês (MnO) pigmentos negros, na face de alguns agregados do Bt2 e BC. Presença de fragmentos de quartzo e geodos de ágata nos Bt2 e BC.

## PERFIL 7

DATA: 31/10/2008.

CLASSIFICAÇÃO Cambissolo Háplico alítico típico.

UNIDADE MAPEAMENTO : Bom Jesus.

LOCALIZAÇÃO : Rodovia SC - \_\_\_\_\_ trecho São Sebastião do Arvoredo – Bom Jesus, 4,8 km após trevo para São João do Pelotas, aproximadamente 1,5 km antes da localidade, lado direito. São Joaquim, Santa Catarina.

LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA : S 28° 41' 119" W050° 17' 425".

ALTITUDE : 1062 metros (GPS).

LITOLOGIA : Riodacitos Vermelhados.

FORMAÇÃO : Serra Geral.

PERÍODO : Cretáceo.

MATERIAL DE ORIGEM: Produtos da alteração do Riodacito, com contribuição de material alóctone de mesma constituição recobrimdo a cobertura do solo.

PEDREGOSIDADE : Pedregoso.

ROCHOSIDADE : Ligeiramente rochoso.

SITUAÇÃO DECLIVE: Topo de elevação com aproximadamente 18% de declive.

COBERTURA: Campo natural queimado (pastagem).

RELEVO LOCAL: Ondulado a forte ondulada. REGIONAL : idem ao local.

EROSÃO: Não aparente.

DRENAGEM: Moderadamente drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA: campo subtropical com Araucária.

USO ATUAL: Pastagem.

CLIMA: Cfb

DESCRITO E COLETADO POR: Jaime Antonio de Almeida, Rodrigo Teske, Andrey Hoffer e Rudiard Muniz.

#### DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

**A1** 0 – 14cm preto (úmido: 10YR 2/1 - seco: 10 YR 3/1); muito argiloso; moderada a forte, pequena e muito pequena granular; macia, muito friável; não plástico, não pegajoso; transição gradual e plana.

**A2** 14 – 30cm preto (úmida: 10YR 2/1 - seco: 10 YR 3/1); muito argiloso; moderada a forte, pequena e média granular; macia, muito friável; não plástico; não pegajoso; transição gradual e plana.

**BA** 30 – 42cm bruno amarelado escuro (úmida: 10YR 3/4 - seco: 10YR 4/4); muito argiloso; fraca a moderada, pequena blocos e moderada, média granular; dura, friável; ligeiramente plástico, ligeiramente pegajoso; transição clara e plana.



**Bi1** 42 –53/60cm bruno forte (úmida: 7,5YR 4/6 – seco: 5YR 5/4); muito argiloso; fraca a moderada, média blocos subangulares; ligeiramente dura a dura, friável a firme; ligeiramente plástico, ligeiramente pegajoso a pegajoso; transição clara e ondulada.

**Bi2** 53/60 - 80cm bruno forte (úmida: 7,5YR 5/8– seco: 5YR 6/4); muito argiloso; fraca, média e grande blocos subangulares; dura a muito dura, friável a firme; ligeiramente plástico, ligeiramente pegajoso a pegajoso; transição clara e plana.

**BC** 80 – 100/114cm vermelho amarelado (úmida: 5YR 5/6 – seco : 5YR 7/2); muito argiloso; maciça que se desfaz em fraca grandes blocos subangulares; dura a muito dura, friável, ligeiramente plástico, ligeiramente pegajoso a pegajoso; transição abrupta e ondulada. muito argiloso

**C** 100/114 – 150+ cm bruno amarelado (úmida: 10YR 5/6 – seco: 5YR 7/3); muito argiloso; maciça; macia, muito friável.; ligeiramente plástico, ligeiramente pegajoso.

Raízes : no A1, A2 e BA fasciculadas muitas, médias e finas; fasciculadas, poucas, médias no Bi1 e no Bi2; no BC raras e no C ausentes.

Obs. : Presença de fragmentos de rocha Riodacito alterado com dimensões centimétricas e decimétricas, comuns no A1 e A2.

Presença de linha de cascalho e fragmentos de rochas alteradas no BA.

PERFIL 8

DATA: 01/11/2008.

CLASSIFICAÇÃO Cambissolo Háplico alítico típico.

LOCALIZAÇÃO :Rodovia SC - \_\_\_\_\_ trecho São Sebastião do Arvoredo – São João do Pelotas, Coxilha Rica Lages, Santa Catarina.

LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA : S 28° 23' 433" W050° 10' 361".

ALTITUDE : 1.197 metros (GPS).

LITOLOGIA : Riodacitos.

FORMAÇÃO : Serra Geral.

PERÍODO : Juro Cretáceo.

MATERIAL DE ORIGEM: Produtos da alteração dos Riodacitos, com contribuição de material colúvial de constituição similar à litologia supra citada.

PEDREGOSIDADE : Pedregoso.

ROCHOSIDADE : Ligeiramente rochoso.

SITUAÇÃO DECLIVE: Barranco terço superior de encosta com aproximadamente 23% de declive.

COBERTURA: Gramíneas naturais.

RELEVO LOCAL: Forte ondulado.                      \_REGIONAL : Forte ondulado.

EROSÃO\_ : Não aparente.

DRENAGEM\_ : Moderadamente drenado.

VEGETAÇÃO\_PRIMÁRIA\_ : Campo subtropical.

USO ATUAL\_ : Pastagem.

CLIMA\_ : Cfb

DESCRITO E COLETADO POR: Jaime Antonio de Almeida, Rodrigo Teske, Andrey Hoffer e Rudiard Muniz..

#### DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

**A1** 0 – 12cm preto (úmido: 10YR 2/1 - seco: 10YR 3/3); argiloso; moderada, média e pequena granular; ligeiramente dura a dura, muito friável; não plástico, não pegajoso; transição gradual e plana.

**A2** 12 – 33cm preto (úmida: 10YR 2/1 - seco: 10YR 3/3); argiloso; fraca a moderada, média blocos subangulares e moderada, média e pequena granular; ligeiramente dura a dura, muito friável; ligeiramente plástico, ligeiramente pegajoso; transição gradual e plana.

**AB** 33 – 42cm bruno acinzentado muito escuro (úmida: 10YR 3/2 - seco: 10YR 4/2); muito argiloso; moderada a fraca, média e pequena blocos subangulares e moderada, média granular ; ligeiramente dura a dura, friável à muito friável; ligeiramente plástico, ligeiramente pegajoso a pegajoso; transição gradual e plana.

**BA** 42 – 54cm bruno escuro (úmida: 7,5YR 3/2 – seco: 10YR 4/2); muito argiloso; moderada a fraca, média e pequena blocos subangulares; ligeiramente dura a dura, friável; ligeiramente plástico a plástico, ligeiramente pegajoso a pegajoso; transição clara e plana.

**Bi** 54 - 78cm bruno amarelado escuro (úmida: 10YR 3/4 – seco: 10YR 7/3); muito argiloso; moderada a fraca, média e pequena blocos subangulares; dura, friável; ligeiramente plástico a plástico, ligeiramente pegajoso a pegajoso; transição gradual e plana.

**BC** 78 – 100cm bruno amarelado escuro (úmida: 10YR 4/4 – seco : 10YR 7/2); muito argiloso; fraca, grande e média blocos subangulares e angulares; ligeiramente dura a dura, friável.; ligeiramente plástico a plástico, ligeiramente pegajoso; transição: difusa e plana.

**C** 100 – 150+ cm bruno amarelado (úmida: 10YR 5/4 – seco: 10YR 8/2); argiloso; aspecto maciça; ligeiramente dura, muito friável; ligeiramente plástico, ligeiramente pegajoso. Raízes : no A1 fasciculadas comuns, médias e finas; no A2 fasciculadas comuns, finas; no AB fasciculadas, poucas, finas; no BA fasciculadas, poucas; no Bi e BC raras e no C ausentes.

Obs. : Presença de linha de pedras com cascalhos nos horizontes AB e BA.