

**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

Caracterização e gênese de Espodosolos da planície costeira do Estado de São Paulo

Maurício Rizzato Coelho

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em Agronomia. Área de concentração: Solos e Nutrição de Plantas

**Piracicaba
2008**

Maurício Rizzato Coelho
Engenheiro Agrônomo

Caracterização e gênese de Espodossolos da planície costeira do Estado de São Paulo

Orientador:
Prof. Dr. **PABLO VIDAL TORRADO**

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em
Agronomia. Área de concentração: Solos e Nutrição de
Plantas

Piracicaba
2008

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - ESALQ/USP**

Coelho, Maurício Rizzato
Caracterização e gênese de Espodossolos da planície costeira do Estado de São Paulo
/ Maurício Rizzato Coelho. - - Piracicaba, 2008.
270 p. : il.

Tese (Doutorado) - - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2008.
Bibliografia.

1. Espodossolos 2. Gênese do solo 3. Micromorfologia do solo 4. Restinga I. Título

CDD 631.44
C672c

“Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor”

A meus pais,
João Baptista Marcondes Coelho e Ida Rizzato Coelho,
dedico.

AGRADECIMENTOS

A realização desta pesquisa só foi possível graças ao apoio e à colaboração imprescindíveis de instituições, amigos, colegas, orientadores e conselheiros abaixo elencados, aos quais manifesto meus sinceros agradecimentos.

Agradeço:

À Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – ESALQ/USP pela oportunidade, apoio técnico e financeiro;

À EMBRAPA por ter permitido esta qualificação, com dedicação exclusiva e bolsa;

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa cedida no exterior (Doutorado Sanduíche) por meio do convênio CAPES-MECD 154/03 entre a ESALQ/USP e a Universidade de Santiago de Compostela, Espanha;

À Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo financiamento do projeto: “Solos sob vegetação de restinga no Estado de São Paulo: relações solo-paisagem, pedogênese e alterações com o uso agrícola” (Processo nº. 2005/59450-9);

À Universidade de Santiago de Compostela (USC-ES) – “Departamento de Edafología y Química Agrícola – pelo apoio e infra-estrutura na realização das análises laboratoriais;

Ao Prof. Dr. Pablo Vidal Torrado pela amizade, confiança, compreensão, liberdade orientada, conhecimento transmitido e orientação, valiosos e imprescindíveis ao desenvolvimento deste trabalho;

Ao Prof. Dr. Xosé Luis Otero Pérez (USC-ES) pela acolhida em Santiago de Compostela, orientação técnica, apoio e colaboração na realização das análises laboratoriais;

Ao Prof. Dr. Felipe Macías Vázquez (USC-ES) pela colaboração na realização desta pesquisa;

Ao Prof. Dr. Miguel Cooper pelo auxílio nas análises micromorfológicas;

Aos pesquisadores Dr. Ricardo Marques Coelho e Igo Fernando Lepsch pela correção dos textos em inglês;

À colega Vanda Moreira Martins pela parceria no desenvolvimento das atividades de campo e laboratório e nas discussões relacionadas ao desenvolvimento deste trabalho;

Ao colega Raphael Beirigo, sempre disposto a ajudar;

Ao primo Waldomiro Pereira e ao colega Gabriel Ramatis pela auxílio na tradução dos resumos desta tese;

Aos colegas e amigos, elencados em ordem alfabética, Alexandre, Fernando Cesar Bertolani, Fernando Perobelli, Flávio, Gabriel, Ingrid, Josiane, Márcia, Raphael e Vanda pelo convívio, companheirismo, discussões técnicas e apoio emocional;

Aos técnicos David Romero, Natividad Matilla, Maria Santiso e Carmen Pérez Llaguno pelo apoio no desenvolvimento das análises laboratoriais no Laboratório de Biología y Edafologia Ambiental – USC (Espanha);

Aos colegas da Universidade de Santiago de Compostela: Marta Velasco, Roberto, Naty, Zuriñe, David, Ion, Juan, Eva Penteado, Eva Bujan e Cruz pela acolhida e convívio;

Ao técnico Luiz Silva pelo apoio no desenvolvimento das análises laboratoriais de rotina nos laboratórios do Departamento de Ciência do Solo – ESALQ/USP;

Aos funcionários do Departamento de Ciência do Solo, em especial ao Sr. Dorival Grisotto pelo apoio nos trabalhos de campo, companheirismo, dedicação e cuidado com os membros da equipe;

À Ariadne, pelo carinho, compreensão e paciência;

Finalmente, aos meus queridos pais pelos conselhos, dedicação, exemplo de vida e amor, desde sempre;

À todos aqueles que, de forma direta ou indireta, contribuíram para a realização desta pesquisa.

MUITO OBRIGADO!

SUMÁRIO

RESUMO	9
ABSTRACT	10
1 INTRODUÇÃO.....	11
Referências	15
2 CARACTERIZAÇÃO E GÊNESE DE ESPODOSSOLOS DA PLANÍCIE COSTEIRA DO ESTADO DE SÃO PAULO: I. RELAÇÕES SOLO-PAISAGEM, MORFOLOGIA E QUÍMICA.....	17
Resumo	17
Abstract.....	18
2.1 Introdução.....	19
2.2 Desenvolvimento.....	21
2.2.1 Material e Métodos.....	21
2.2.1.1 Meio Físico.....	21
2.2.1.2 Trabalhos de Campo.....	23
2.2.1.3 Análises Laboratoriais.....	23
2.2.1.4 Datações.....	25
2.2.2 Resultados e Discussão.....	25
2.2.2.1 Aspectos da Paisagem.....	25
2.2.2.2 Solos: Classes, Distribuição na Paisagem e Morfologia.....	37
2.2.2.3 Solos: Química e Granulometria.....	47
2.3 Considerações Finais.....	64
Referências	65
3 CARACTERIZAÇÃO E GÊNESE DE ESPODOSSOLOS DA PLANÍCIE COSTEIRA DO ESTADO DE SÃO PAULO: II. FRACIONAMENTO DO ALUMÍNIO POR MEIO DE DISSOLUÇÕES SELETIVAS.....	71
Resumo	71
Abstract.....	72
3.1 Introdução.....	73
3.2 Desenvolvimento.....	76
3.2.1 Material e Métodos.....	76
3.2.1.1 Meio Físico.....	76
3.2.1.2 Trabalhos de Campo.....	77
3.2.1.3 Análises Laboratoriais.....	78
3.2.2 Resultados e Discussão.....	79
3.2.2.1 Relação entre Extratores para o Conjunto de Amostras.....	79
3.2.2.2 Relação entre Extratores para os Horizontes Espódicos.....	83
3.2.2.3 Considerações Finais.....	95
3.3 Conclusões.....	96
Referências	97
4 CARACTERIZAÇÃO E GÊNESE DE ESPODOSSOLOS DA PLANÍCIE COSTEIRA DO ESTADO DE SÃO PAULO: III. AVALIAÇÃO DE CLORETOS NÃO TAMPONADOS (KCl, CuCl ₂ E LaCl ₃) COMO EXTRATORES DE ALUMÍNIO ASSOCIADO À MATÉRIA ORGÂNICA.....	104
Resumo	104

Abstract.....	105
4.1 Introdução.....	106
4.2 Desenvolvimento.....	109
4.2.1 Material e Métodos.....	109
4.2.1.1 Meio Físico.....	109
4.2.1.2 Trabalhos de Campo.....	110
4.2.1.3 Análises Laboratoriais.....	111
4.2.2 Resultados e Discussão.....	112
4.2.2.1 Relação entre Extratores, suas Especificidade e Adequabilidade.....	112
4.2.2.2 Al Extraído com CuCl_2 (Al_{Cu}).....	133
4.2.2.3 Al Extraído com LaCl_3 (Al_{La}).....	144
4.2.2.4 Al Extraído com KCl (Al_{K}) e sua Comparação ao Al_{Cu} e Al_{La}	153
4.3 Conclusões.....	163
Referências.....	165
5 CARACTERIZAÇÃO E GÊNESE DE ESPODOSSOLOS DA PLANÍCIE COSTEIRA DO ESTADO DE SÃO PAULO: IV. MICROMORFOLOGIA DOS HORIZONTES ESPÓDICOS.....	171
Resumo.....	171
Abstract.....	172
5.1 Introdução.....	173
5.2 Desenvolvimento.....	175
5.2.1 Material e Métodos.....	175
5.2.1.1 Meio Físico.....	175
5.2.1.2 Análises Micromorfológicas.....	177
5.2.1.3 Análises Laboratoriais.....	177
5.2.2 Resultados e Discussão.....	178
5.2.2.1 Macromorfologia.....	178
5.2.2.1.1 Bertioga.....	179
5.2.2.1.2 Cananéia.....	180
5.2.2.1.3 Ilha do Cardoso.....	181
5.2.2.1.4 Comparação Morfológica e Ambiental dos Solos e Áreas Estudados.....	187
5.2.2.2 Micromorfologia.....	187
5.2.2.2.1 Micromorfologia dos Solos de Bertioga.....	191
5.2.2.2.1.1 Micromorfologia dos Perfis P3 e P6.....	191
5.2.2.2.1.2 Interpretação Micromorfológica dos Horizontes Espódicos dos Perfis P3 e P6.....	196
5.2.2.2.1.3 Micromorfologia dos Perfis P9 e P10.....	199
5.2.2.2.1.4 Interpretação Micromorfológica dos Horizontes Espódicos dos Perfis P9 e P10.....	203
5.2.2.2.2 Micromorfologia e Interpretação dos Solos de Cananéia (Perfis P29 e P30).....	206
5.2.2.2.3 Micromorfologia dos Solos da Ilha do Cardoso.....	209
5.2.2.2.3.1 Micromorfologia e Interpretação do Perfil C14.....	209
5.2.2.2.3.2 Micromorfologia e Interpretação dos Perfis H13 e J14.....	214
5.2.2.3 Química, Granulometria e Considerações sobre a Gênese dos Horizontes Espódicos e Espodossolos Estudados.....	219
5.3 Conclusões.....	229
Referências.....	230
APÊNDICE.....	235

RESUMO

Caracterização e gênese de Espodosolos da planície costeira do Estado de São Paulo

A gênese, a química, a macro e micromorfologia dos solos desenvolvidos nos ambientes arenosos da planície costeira do Estado de São Paulo foram investigadas. Nesses ambientes, genericamente denominados de restinga, a podzolização é o processo pedogenético predominante, sendo os Espodosolos e Neossolos Quartzarênicos os solos mais comumente encontrados. Os municípios paulistas de Cananéia, Ilha Comprida e Bertioga foram selecionados para o desenvolvimento desta pesquisa devido à presença de diferentes unidades sedimentares, de vegetação remanescente e de solos, representativos da planície costeira do Estado de São Paulo. Nesses locais foram descritos e amostrados 31 perfis, muitos deles em cronosequência. A idade dos sedimentos e da matéria orgânica de horizontes cimentados selecionados (ortstein) também foram investigadas e, juntamente às análises químicas, incluindo procedimentos de dissolução seletiva do Fe e Al (DC, oxalato e pirofosfato para Fe e Al; NaOH, KCl, LaCl₃ e CuCl₂ para Al) e às micromorfológicas, permitiram concluir que: **(a)** os Espodosolos mais evoluídos e antigos, dotados de horizontes ortstein, podem ser considerados indicadores dos sedimentos pleistocênicos da Formação Cananéia das planícies costeiras quaternárias estudadas e, possivelmente, são paleossolos; **(b)** o tempo e o relevo foram os principais fatores de formação, condicionantes da diferenciação dos Espodosolos na paisagem; **(c)** os solos mais antigos, bem drenados devido às condições de relevo e dinâmica sedimentar (Ilha de Cananéia e Bertioga), apresentam grande variabilidade e diversidade de seus horizontes e atributos morfológicos, diferindo daqueles mais jovens e mal drenados, mais homogêneos, geralmente destituídos de horizonte Bs (Bertioga); **(d)** a química da maioria dos solos estudados são típicas daqueles já descritos para as áreas sob vegetação de restinga: baixas soma e saturação por bases, extremamente a fortemente ácidos, capacidade de troca de cátions dependente da matéria orgânica e saturada com Al trocável, aumento do carbono orgânico em profundidade; **(e)** o Al é o principal cátion envolvido na podzolização, sendo que suas formas ativas são: complexos de Al-húmus e compostos inorgânicos pouco cristalinos. Os primeiros predominam nos horizontes superficiais e horizontes espódicos hidromórficos; as formas inorgânicas se relacionam a alguns horizontes espódicos (Bs, Bh, Bhs e Bsm) situados na base de perfis bem drenados; **(f)** Al inorgânico pouco cristalino também foi extraído pelos reagentes pirofosfato e CuCl₂, geralmente utilizados para avaliar Al unido à matéria orgânica; ao contrário, LaCl₃ extraiu apenas as formas ativas da interação Al-húmus, sendo que KCl não incluiu todas essas formas reativas; **(g)** a decomposição de raízes “*in situ*” e, sobretudo, os processos de formação e transporte de complexos Al-húmus foram observados em alguns (decomposição de raízes) ou em todos os perfis estudados (complexos Al-húmus), originando os horizontes espódicos às expensas dos eluviais; **(h)** a imobilização desses complexos se dá por diferentes mecanismos: filtragem físico-mecânica dos poros do solo, aumento do pH em profundidade, incorporação adicional de Al durante seu transporte e o efeito da absorção seletiva das raízes. Neste último processo, as raízes absorvem seletivamente água e nutrientes, segregando e precipitando ao seu redor os complexos Al-húmus da solução do solo, mobilizados dos horizontes superiores ou presentes nas águas de drenagem.

Palavras-chave: Podzolização; Restinga; Relações solo-paisagem; Terraços marinhos; Termoluminescência; ¹⁴C; Dissoluções seletivas; CuCl₂; LaCl₃

ABSTRACT

Characterization and genesis of Spodosols on the São Paulo State sandy coastal plain

The genesis, chemistry and macro and micromorphology of soils developed on the sandy coastal plain of the São Paulo State were investigated. In these environments, often designated “restinga”, podzolization is the main pedogenetic process, being Spodosols and Quartzipsamments the soils most commonly found. Cananéia, Ilha Comprida and Bertioga cities were selected for the development of this research due to the representativeness of this environmental condition in the São Paulo State. In these environments 31 soil profiles were described and sampled, mainly in chronosequences. Age of sediments and of organic matter of cemented horizons (ortstein) were investigated as well. These data associated to the chemical analysis, including Fe and Al selective dissolution procedures (dithionite-citrate, oxalate and pyrophosphate for Fe and Al; NaOH, KCl, LaCl₃ and CuCl₂ for Al) and micromorphological analysis allowed the following conclusions: **(a)** the most developed Spodosols have ortstein horizons and can be considered indicators of sediments of Pleistocene age from the Cananéia Formation of the studied quaternary coastal plain and possibly are paleosols; **(b)** time and relief were the main soil formation factors responsible for differentiation of Spodosols on the landscape; **(c)** the oldest and well drained soils due to relief conditions and sedimentary dynamics (Cananéia and Bertioga) showed great variability and diversity of their horizons and morphological properties, differing from the youngest, poorly drained and more homogeneous Spodosols usually without Bs horizon (Bertioga). The youngest and well drained Spodosols (Ilha Comprida) showed an advanced degree of degradation; **(d)** the chemical properties of the studied soils are similar to other soils already described in the “restinga”: low in exchangeable bases, low in base saturation, strongly acidic, organic-matter dependent and Al-saturated CEC, increase in organic carbon with depth; **(e)** Al is main metal related to the podzolization process. The reactive forms of this element are Al-humus complexes and inorganic poorly crystalline compounds. Al-humus complexes predominate in the superficial and spodic, poorly drained horizons; the Al-inorganic forms occur in some well drained spodic horizons (Bs, Bh, Bhs and Bsm) situated at the bottom of the well-drained soil profiles; **(f)** Al inorganic, poorly crystalline forms were extracted by pyrophosphate and CuCl₂ reagents, usually used to determinate Al bound to organic matter; unlike, LaCl₃ only extracted the reactive forms of Al-humus interaction, whereas KCl did not include these reactive forms; **(g)** Al-humus formation and mobilization were the main pedogenetic processes, but roots decomposition were observed in some horizons; **(h)** different mechanisms are related to Al-humus complexes immobilization: physical-mechanical filtering effect on soil pores, precipitation as pH increases with depth, precipitation with the decrease of C-to-metal ratio during organic matter complexation and roots selective absorption effect. In the latter, there is selective absorption of water and nutrients with segregation and precipitation of Al-humus complexes around roots. These Al-humus complexes are either mobilized from the superficial horizons or already dissolved in the draining water.

Keywords: Podzolization; Soil-landscape relationships; Marine terraces; Thermoluminescence; ¹⁴C; Selective dissolution; CuCl₂; LaCl₃

1 INTRODUÇÃO

Dentro das planícies costeiras existem vários tipos de ambientes e unidades sedimentares quaternárias. Um desses ambientes, as restingas, constituem importantes ecossistemas para a manutenção da vida terrestre ao longo da costa brasileira.

O termo restinga apresenta várias definições, entre elas a geológica-geomorfológica, a botânica e a ecológica (SUGUIO, 1992). De acordo com Suguio e Tessler (1984), o termo é frequentemente utilizado para designar desde vários tipos de depósitos litorâneos, quanto outras feições costeiras e até mesmo a vegetação. No presente trabalho utilizamos o termo restinga para se referir aos ambientes essencialmente arenosos e de solos pobres da planície costeira, onde se desenvolve uma vegetação genericamente denominada de “vegetação de restinga”, englobando as seguintes fitofisionomias: dunas, escrube, entre-cordões arenosos, floresta baixa de restinga e floresta alta de restinga (SOUZA, 2006). Estas, por sua vez, estão relacionadas às unidades sedimentares comumente denominadas de cordões litorâneos, terraços marinhos holocênicos e terraços marinhos pleistocênicos. Sob floresta alta de restinga e terraços marinhos pleistocênicos, predominantemente, encontram-se os Espodossolos (MOREIRA, 2007).

Considerando a sua estrutura e a dinâmica dos processos que garantem o equilíbrio do sistema ecológico, as restingas são especialmente frágeis frente às intervenções antrópicas. Embora protegidos por lei, a pressão pelo uso agrícola e, sobretudo, urbano nesses ambientes se faz presente em muitos municípios litorâneos brasileiros e paulistas. Neste contexto, é necessário conhecê-los a fim de subsidiar a tomada de decisão quanto ao melhor manejo ambiental dessas áreas frágeis e submetidas à crescente pressão antrópica.

Inúmeros estudos de caracterização botânica e biogeografia florística foram desenvolvidos nos ambientes de restingas paulistas, de modo que, atualmente, é bem conhecida a mais rica das vegetações arenícolas marinhas. No entanto, são poucos os relatos dos solos costeiros sob mata de restinga, principalmente se considerarmos a classe de solos de maior ocorrência nesses ambientes: os Espodossolos. Para esta classe de solos, os processos envolvidos na sua formação, genericamente conhecidos como podzolização, têm sido intensivamente estudados desde o final

do século XIX. No entanto, concentram-se em grande parte no hemisfério norte, sob clima frio ou temperado úmido. Muito menos expressivos são os relatos em climas tropicais e equatoriais. No Brasil, os estudos que avaliam a gênese, a evolução das paisagens regionais e a formação dos Espodossolos, relacionam-se predominantemente a condições equatoriais da floresta amazônica, localizados na bacia do Rio Negro. Tais trabalhos enfatizam os mecanismos envolvidos na transição Latossolo/Espodossolo, comuns naquele local.

Os ambientes acima relatados diferem completamente daqueles encontrados na planície litorânea do Estado de São Paulo. Em conseqüência, espera-se que os solos e os processos de podzolização, bem como a evolução das paisagens nesses ambientes sejam peculiares, diferindo em atributos, mecanismos e/ou intensidade dos processos envolvidos na formação dos Espodossolos, comparativamente àqueles originários em clima frio ou equatorial.

Enfatizando a relevância das pesquisas que avaliam a gênese de Espodossolos e avesso aos inúmeros estudos já realizados, muito das teorias e mecanismos propostos para explicar e elucidar o processo de podzolização é contraditório ou, mesmo, vários aspectos fundamentais da podzolização ainda continuam não ou pouco entendidos, tal como amplamente relatado nas mais recentes e conceituadas publicações internacionais sobre o tema (HEES; LUNDSTRÖM; GIESLER, 2000; BUURMAN; JONGMANS, 2005; BUURMAN et al., 2005; SAUER et al., 2007; BUURMAN; JONGMANS; NIEROP, 2008).

Objetivando melhor compreender os processos pedogenéticos e caracterizar os solos representativos e desenvolvidos sob vegetação de restinga do Estado de São Paulo, com ênfase aos Espodossolos, desenvolveu-se o presente trabalho. Para tal, foram descritos e amostrados 31 perfis de solos, muitos deles em cronosseqüência, nos municípios paulistas de Bertioga, Cananéia (Ilha de Cananéia) e Ilha Comprida. A localização das seqüências estudadas é mostrada nas Figuras 1.1 e 1.2.

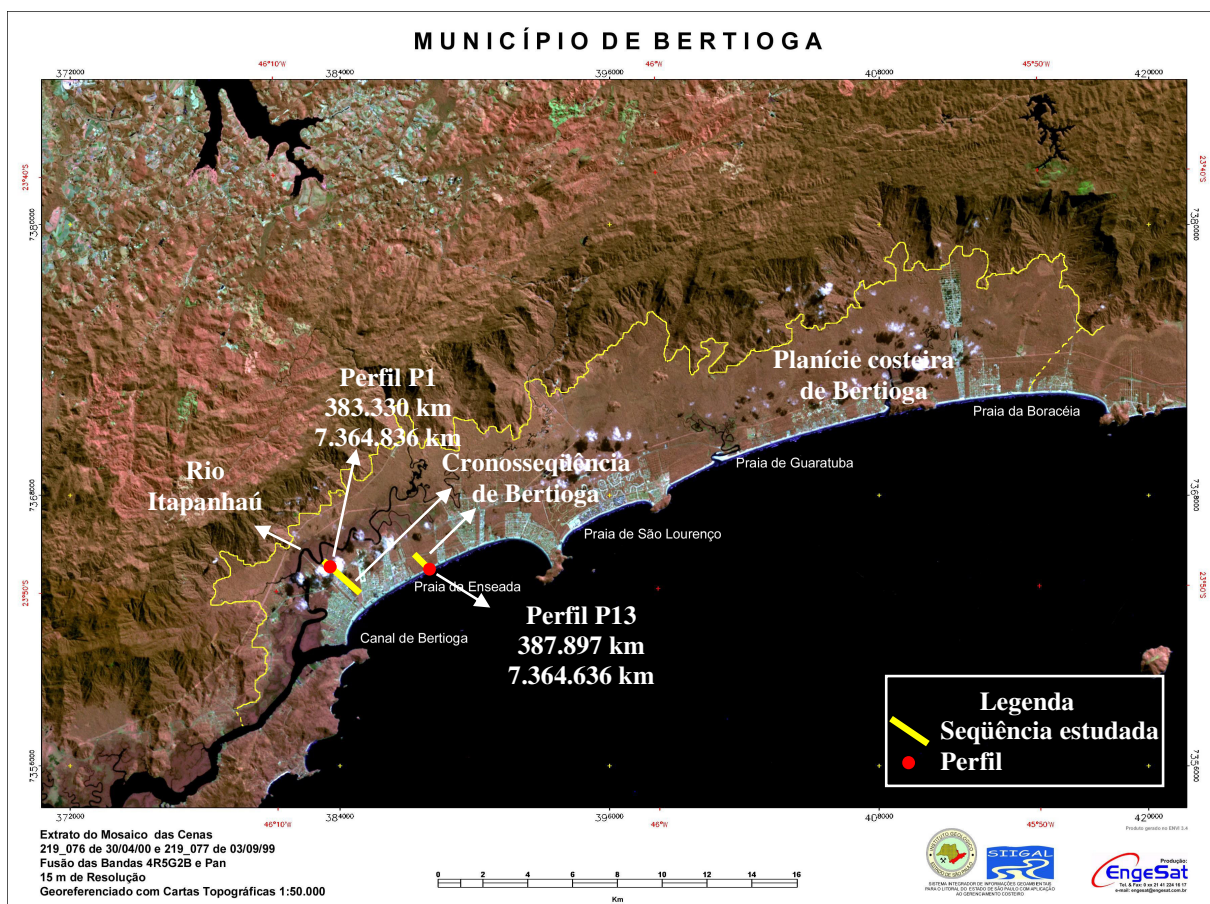


Figura 1.1 – Imagem de satélite TM-LANDSAT ilustrando a planície costeira do município de Bertioiga e a cronossequência estudada, indicando as coordenadas geográficas (UTM) dos perfis inicial e final da cronossequência. Esta foi fragmentada em duas sequências a fim de se adequar às condições locais, possibilitando a descrição e coleta de perfis de solos em áreas representativas e em melhor estado de preservação

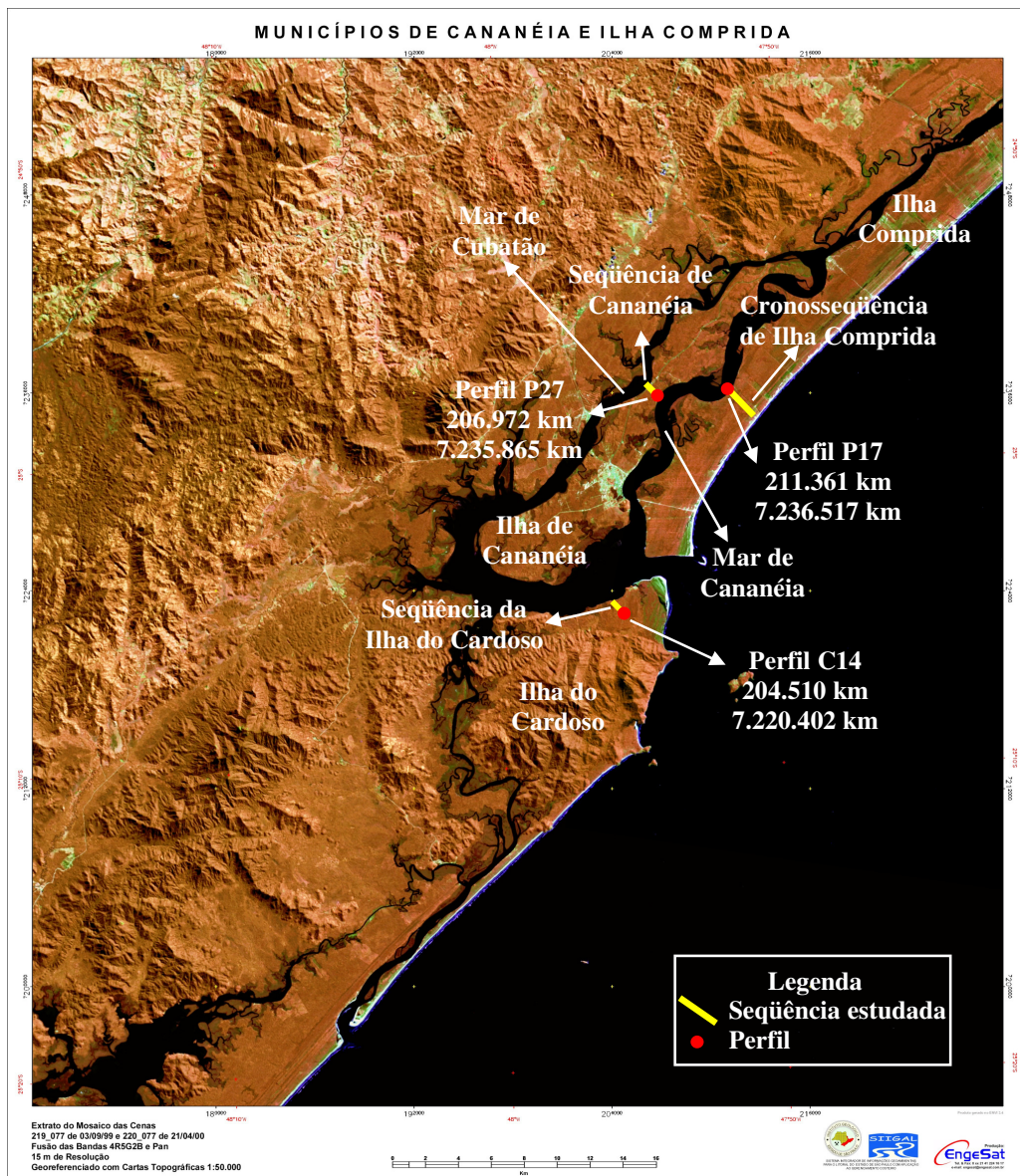


Figura 1.2 – Imagem de satélite TM-LANDSAT ilustrando as seqüências estudadas nos municípios de Cananéia (Ilha de Cananéia), Ilha Comprida e Ilha do Cardoso e as coordenadas geográficas (UTM) referentes aos perfis iniciais de cada seqüência (P17 de Ilha Comprida; P27 da Ilha de Cananéia; C14 da Ilha do Cardoso). Três perfis da seqüência da Ilha do Cardoso, estudada por Gomes (2005), foram incorporados ao quinto capítulo deste trabalho para estudos micromorfológicos dos horizontes espódicos

A fim de alcançar os objetivos propostos, a estrutura desta tese foi dividida em capítulos. O capítulo 2 busca a caracterização química e morfológica dos solos desenvolvidos sob vegetação de restinga, sua distribuição e variação na paisagem em função do relevo e do

substrato geológico, lançando-se mão de análises químicas de rotina e de dissoluções seletivas dos elementos ferro e alumínio (ditionito-citrato, oxalato e pirofosfato), de granulometria, bem como de datações absolutas dos sedimentos (termoluminescência) e relativas (^{14}C) da matéria orgânica de horizontes cimentados selecionados. Os terceiro e quarto capítulos enfatizam aspectos metodológicos relacionados às dissoluções seletivas do elemento alumínio: enquanto a habilidade e especificidade dos reagentes rotineiramente utilizados para caracterizar e estudar processos pedogenéticos (ditionito-citrato, oxalato e pirofosfato) de Espodosolos são avaliadas no capítulo 3, possibilitando inferir processos e componentes mineralógicos, o capítulo 4 objetiva avaliar a eficácia de reagentes não tamponados de cloro, KCl , LaCl_3 e CuCl_2 , na dissolução do Al, sobretudo daquele que se encontra unido à matéria orgânica em diferentes graus de estabilidade. A seletividade de tais reagentes, comparativamente ao pirofosfato de sódio, é analisada neste capítulo, auxiliando no entendimento da química dos complexos Al-húmus. A formação e (i)-mobilização de tais complexos são considerados os principais processos relacionados à gênese dos Espodosolos (BUURMAN; JONGMANS, 2005)

Finalmente, o último capítulo (capítulo 5) utiliza da micromorfologia de horizontes espódicos selecionados a fim de caracterizar a matéria orgânica nessa escala de detalhamento, bem como auxiliar na elucidação dos mecanismos envolvidos na gênese dos horizontes espódicos. Perfis coletados e descritos por Gomes (2005) na Ilha do Cardoso (município de Cananéia; Figura 1.2) sob vegetação de restinga e procedimentos de dissoluções seletivas dos elementos Fe e Al foram incorporados a esse capítulo, contribuindo para um mais amplo entendimento dos solos e dos ambientes estudados.

Referências

BUURMAN, P.; JONGMANS, A.G. Podzolisation and soil organic matter dynamics. **Geoderma**, Amsterdam, v. 125, p. 1 71-83, 2005.

BUURMAN, P.; JONGMANS, A.G.; NIEROP, K.G.J. Comparison of Michigan and Dutch podzolized soils: organic matter characterization by micromorphology and pyrolysis-GC/MS. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 72, p. 1344-1356, 2008.

BUURMAN, P.; van BERGEN, P.F.; JONGMANS, A.G.; MEIJER, E.L.; DURAN, B.; van LAGEN, B. Spatial and temporal variation in podzol organic matter studied by pyrolysis-gas chromatography/mass spectrometry and micromorphology. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v. 56, p. 253-270, 2005.

- GOMES, F.H. **Gênese e classificação de solos sob vegetação de restinga na Ilha do Cardoso-SP**. 2005. 107p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.
- HEES, P.A.W.; LUNDSTRÖM, U.S.; GIESLER, R. Low molecular weight organic acids and their Al complexes in soil solution-composition, distribution and seasonal variation in three podzolized soils. **Geoderma**, Amsterdam, v. 94, p. 173-200, 2000.
- MOREIRA, M.G. **Associações entre os solos, os ambientes sedimentares quaternários e as fitofisionomias da planície costeira e baixa encosta nas bacias dos rios Itaguapé e Guaratuba (Bertioga-SP)**. 2007. 157p. Dissertação (Mestrado em Biodiversidade e Meio Ambiente) – Instituto de Botânica da Secretaria de Estado do Meio Ambiente, São Paulo, 2007.
- SAUER, D.; SPONAGEL, H.; SOMMER, M.; GIANI, L.; JAHN, R.; STAHR, K. Review article – Podzol: Soil of the year 2007 – A review on its genesis, occurrence, and functions. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, Weinheim, v. 170, p. 581-597, 2007.
- SOUZA, C.R. Mapeamento de compartimentos fisiográficos de planície costeira e baixa encosta e da vegetação associada no Litoral Norte de São Paulo. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA, 5., 2006. Goiânia (GO). **Anais...Goiânia**, 2006. 1 CD-ROM
- SUGUIO, K. **Dicionário de Geologia Marinha**: com termos correspondentes em inglês, francês e espanhol. São Paulo: T.A. QUEIROZ, 1992. 171p. (Biblioteca de ciências naturais, v. 15).
- SUGUIO, K.; TESSLER, M.G. Planícies de cordões litorâneos quaternários do Brasil: origem e nomenclatura. In: LACERDA, L.D.; ARAÚJO, D.S.D.; CERQUEIRA, R.; TURQ, B. **Restingas**: origem, estrutura e processos. Niterói: CEUFF, 1984. p. 15-26.

2 CARACTERIZAÇÃO E GÊNESE DE ESPODOSSOLOS DA PLANÍCIE COSTEIRA DO ESTADO DE SÃO PAULO: I. RELAÇÕES SOLO-PAISAGEM, MORFOLOGIA E QUÍMICA

Resumo

A relação entre floresta alta de restinga, terraços marinhos pleistocênicos e Espodosolos, componentes típicos das paisagens litorâneas brasileiras, já foi constatada por alguns autores no litoral do Estado de São Paulo. No entanto, o presente trabalho lança mão de datações por luminescência (TL e LOE) e radiocarbônica, de atributos químicos e morfológicos de um gama considerável de solos (Neossolos Quartzarênicos e Espodosolos) em diferentes estádios de desenvolvimento, muitos deles descritos e amostrados em cronossequência, a fim de caracterizar os constituintes formadores da paisagem litorânea paulista, com ênfase aos solos, relacionando-os e convergindo evidências para elucidar os processos envolvidos na formação dos Espodosolos na paisagem; estes de ampla ocorrência sob vegetação de restinga em todo o Brasil. Os solos estudados se localizam nos municípios litorâneos de Bertioga, Cananéia (ilha de Cananéia) e Ilha Comprida (SP). Essa abordagem é inédita para as planícies costeiras brasileiras e possibilitou concluir que: **(a)** os Espodosolos mais evoluídos e antigos, dotados de horizontes cimentados (ortstein) podem ser considerados indicadores litoestratigráficos edáficos dos sedimentos pleistocênicos da Formação Cananéia das planícies costeiras quaternárias estudadas e, possivelmente, são paleossolos formados em condições climáticas pretéritas, diferentes das atuais; **(b)** o relevo e o tempo foram os principais fatores de formação de solos, condicionantes da diferenciação dos Espodosolos na paisagem, de tal forma que **(c)** os solos mais antigos, bem drenados devido às condições de relevo e dinâmica sedimentar (Ilha de Cananéia e Bertioga), apresentam grande variabilidade e diversidade de seus horizontes e atributos morfológicos, diferindo daqueles mais jovens e mal drenados, mais homogêneos, geralmente destituídos de horizonte Bs (Bertioga). Os Espodosolos mais jovens, quando bem drenados (Ilha Comprida), mostram-se em avançado estágio de desmantelamento sugerindo que as condições edafoclimáticas atuais são desfavoráveis à sua gênese; **(d)** duas formas de Al e Fe ativos foram observadas, dependendo do pH: a baixos valores (pH<4,5) complexos organo-metálicos predominam, enquanto que a maiores valores de pH (4,8) compostos inorgânicos pouco cristalinos ocorrem em alguns poucos horizontes espódicos (Bs, Bhs e Bh) e C de perfis bem drenados, com menores conteúdos de carbono orgânico (0,3 a 1,50g kg⁻¹) em relação aos horizontes espódicos subjacentes. No entanto, interações metal-húmus predominam nos solos estudados, com valores similares dos diferentes extratores seletivos (ditionito-citrato, pirofosfato e oxalato) para os elementos Fe e Al, sugerindo que esse é o principal mecanismo de translocação e formação dos solos sob vegetação de restinga.

Palavras-chave: Luminescência (TL e LOE); ¹⁴C; Neossolos Quartzarênicos; Solos sob vegetação de restinga; Relação solo-geomorfologia-estratigrafia; Podzolização

Abstract

Characterization and genesis of Spodosols on the São Paulo State sandy coastal plain: I. Soil-landscape relationships and morphological and chemical properties

The relationship among Restinga High Forest, Pleistocene Marine Terraces and Spodosols have already been found in the coastal plain of São Paulo State, Brazil. Nevertheless, the current paper lays hand of absolute datings by luminescence, relative datings by ^{14}C and chemical and morphological properties of a large amount of soils (Quartzipsamments and Spodosols) with different degrees of development. The majority of these soils were sampled in chronosequence in order to characterize the landscape elements of the coastal plain of São Paulo State, emphasizing the soils and relating them and converging evidences for elucidating the main process for Spodosols formation in the landscape. These Spodosols are usually present in the sandy coastal plains of the whole country. The studied soils are situated in Bertioga, Cananéia and Ilha Comprida counties, São Paulo State. This approach is still unpublished for the Brazilian coastal plain and allowed to conclude that (a) the most developed Spodosols having hardpans (ortstein horizon) can be considered edaphic lithostratigraphic indicators of sediments of Pleistocene age from the Cananéia Formation of the studied quaternary coastal plain and possibly are paleosols formed under preterit climatic conditions, not the same as the actual.; (b) relief and time were the main soil formation factors responsible for differentiation of Spodosols on the landscape so that (c) the oldest soils, of free drainage due to relief conditions and sedimentary dynamics (Cananéia and Bertioga), show great variability and diversity in their horizons and morphological properties, differing from the youngest, poorly drained and more homogeneous Spodosols usually without Bs horizon (Bertioga). The youngest Spodosols, when they are free drained (Ilha Comprida) show themselves in advanced degree of degradation; (d) depending on the pH, two active forms of Al and Fe were found: in low pH values, sesquioxide-humus complexes predominate, whereas on higher pH values (4,8), poorly ordered minerals occur in few spodic (Bs, Bhs e Bh) and C horizons of free drainage with low organic carbon contents (0.3 a 1.5 g kg⁻¹). Nevertheless, metal-organic interactions prevail in the studied soils, which show similar contents of Al and Fe for the distinct selective-dissolution reagents used (citrate-dithionite, pyrophosphate and oxalate ammonium), suggesting that the metal-organic matter bond is the main mechanism of mobilization and translocation in these soils.

Keywords: Luminescence (TL and LOE); ^{14}C ; Quartzipsamments; Soil-landscape relationship; Podzolization

2.1 Introdução

Espodossolos ocorrem numa ampla variedade de condições climáticas, desde as florestas boreais até os trópicos (SKJEMSTAD et al., 1992; van BREEMEN; BUURMAN, 2002). No entanto, têm sido extensivamente estudados nos climas temperados do hemisfério norte (SKJEMSTAD et al., 1992; van RANST et al., 1997) e poucos são os relatos para as condições tropicais, sobretudo para os diferentes ambientes das planícies costeiras do Brasil. Nestes, os solos são de idade sedimentar jovem e apresentam uma variabilidade que é resultante das diferentes etapas e processos de sedimentação que, por sua vez, geram diferenças de relevo (macro e micro), de drenagem (MOREIRA, 2007), de vegetação, bem como de processos geoquímicos envolvidos na evolução dos sedimentos e desenvolvimento dos solos. Assim, a gênese dos solos costeiros depende da evolução dos ambientes sedimentares presentes nos diferentes compartimentos geológico-geomorfológicos aí existentes, bem como da evolução da própria vegetação que os recobre (MOREIRA, 2007).

Dentro das planícies costeiras existem vários tipos de ambientes ou unidades sedimentares quaternárias. A descrição dessas unidades para o município de Bertioga, por exemplo, situado no litoral do Estado de São Paulo, revelaram a complexidade e heterogeneidade das mesmas (SOUZA, 2007). Das doze unidades sedimentares descritas por Souza (2007) para o município, duas são de especial interesse ao presente estudo: (a) cordões litorâneos e (b) terraços marinhos holocênicos e terraços marinhos pleistocênicos. Nesses ambientes essencialmente arenosos, genericamente denominados de restinga, predominam os Espodossolos e os Neossolos Quartzarênicos (OLIVEIRA; JACOMINE; CAMARGO, 1992; MOREIRA, 2007).

O termo restinga apresenta várias definições, entre elas a geológica-geomorfológica, a botânica e a ecológica (SUGUIO, 1992). No sentido geológico-geomorfológico refere-se a barras ou barreiras de natureza arenosa, especialmente quando essas feições fecham lagunas costeiras (LACERDA; ARAÚJO, MACIEL, 1982). Com o passar dos anos, o termo vegetação de restinga passou a se referir às diversas comunidades associadas às praias, dunas, cordões arenosos, depressões entre-cordões, margem das lagoas e até manguezais (LACERDA; ARAÚJO; MACIEL, 1982). A fim de evitar confusões em torno do termo restinga, Souza (2006) propôs para o litoral norte do Estado de São Paulo a denominação de “vegetação de planície costeira e baixa-média encosta” para o conjunto das nove fitofisionomias lá identificadas: Praias e Dunas,

Escrube, Entre-Cordões Arenosos, Floresta Baixa de Restinga, Floresta Alta de Restinga, Brejo de Restinga, Floresta Paludosa, Turfeira ou Paludosa sobre Substrato Turfosos e Floresta de Transição Restinga-Encosta. Sob Floresta Alta de Restinga, predominantemente, assentam-se os Espodossolos (MOREIRA, 2007).

A geologia da planície costeira do Estado de São Paulo está documentada nos trabalhos de Suguio e Martin (1976) e Suguio e Martin (1978a). As oscilações do nível do mar durante o período Quaternário desempenharam importante papel na evolução das planícies costeiras em todo o mundo (SUGUIO; MARTIN, 1976). No Estado de São Paulo, dois eventos de variações do nível do mar ocorreram durante o Quaternário: o evento Transgressivo-Regressivo Cananéia e o evento Transgressivo-Regressivo Santos. Enquanto o primeiro teve seu pico de oscilação positiva máxima a 120.000 anos antes do presente (A.P.), de idade Pleistocênica, o evento Transgressivo-Regressivo Santos é mais recente, holocênico, com seu máximo a 5.100 anos A.P. Os depósitos de idade pleistocênica associados ao evento Transgressivo-Regressivo Santos são denominados de Formação Cananéia, enquanto que os de idade holocênica a atual recebem a designação de Formação Ilha Comprida (SUGUIO; MARTIN, 1976 e SUGUIO; MARTIN, 1978a). Em estudo recente, Moreira (2007) visando caracterizar e relacionar os aspectos das paisagens de duas bacias do município de Bertioga (SP) encontrou estreita relação entre o substrato geológico, os solos e a vegetação: os Espodossolos predominam nos terraços marinhos pleistocênicos sob floresta alta de restinga.

Visando fornecer subsídios ao entendimento da gênese dos Espodossolos sob vegetação de restinga a partir de sua caracterização química e morfológica, sua distribuição e variação na paisagem em função do relevo e do substrato geológico em diferentes e representativas regiões do litoral do Estado de São Paulo, desenvolveu-se o presente trabalho. Para tal, foram descritos, amostrados e analisadas amostras (granulometria, química de rotina e dissoluções seletivas) de 31 perfis de solos de três municípios do litoral paulista (Bertioga, Cananéia e Ilha Comprida), realizadas datações absolutas dos sedimentos por luminescência e de restos vegetais por ^{14}C , bem como relativas (^{14}C) de horizontes cimentados (ortstein). Estudos dessa natureza auxiliam tanto no entendimento do frágil ecossistema de restinga, constantemente submetido à degradação ambiental, como nos trabalhos futuros de caracterização dos ecossistemas costeiros por estabelecer relações entre os componentes formadores da paisagem litorânea. Além disso, fornece suporte ao desenvolvimento e aperfeiçoamento da classe dos Espodossolos no Sistema Brasileiro

de Classificação de Solos, uma das menos estudadas e conhecidas, de elevada variabilidade espacial e temporal de seus atributos morfológicos e das mais carentes em atributos químicos diagnósticos de classe em diferentes níveis categóricos.

2.2 Desenvolvimento

2.2.1 Material e Métodos

2.2.1.1 Meio Físico

Foram coletadas amostras e descritos perfis em três municípios do litoral do Estado de São Paulo: Bertioga, Cananéia (Ilha de Cananéia) e Ilha Comprida. A Figura 2.1 mostra as localizações dos municípios no litoral paulista.

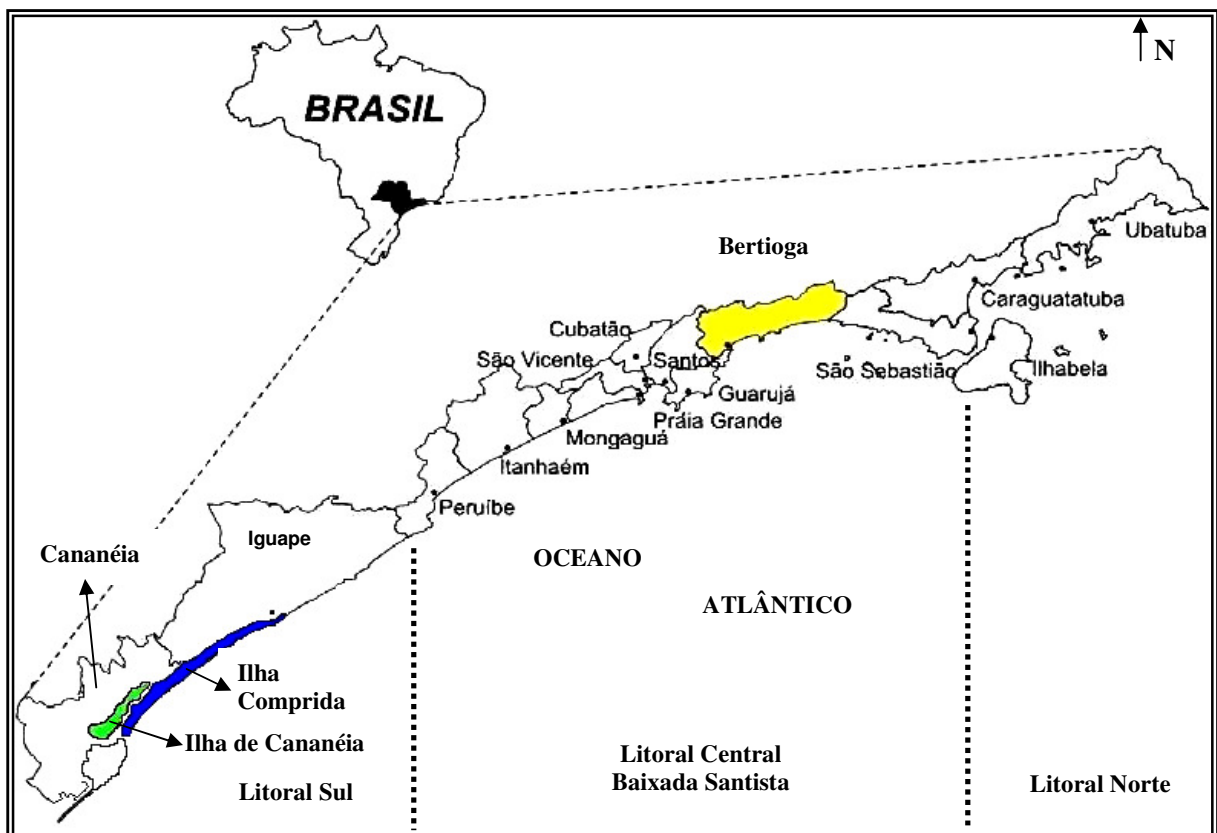


Figura 2.1 – Localização dos municípios de Bertioga, Cananéia e Ilha Comprida no litoral do Estado de São Paulo

O clima do litoral do Estado de São Paulo é do tipo Af, caracterizado como tropical úmido ou super-úmido, com chuvas distribuídas durante todo o ano, conforme classificação climática de Köppen (SETZER, 1966). Segundo dados climatológicos da estação meteorológica do DAEE em Bertioga (24° 45,6'S e 46° 04,2'W), obtidos entre 1941 e 1970, a temperatura e precipitação médias anuais são, respectivamente, 24,8° C e 3.200 mm anuais, sendo considerada uma das regiões mais úmidas do Brasil (MARTINS et al., 2008).

Conforme levantamento geológico realizado por Suguio e Martin (1978b), na planície costeira de Bertioga predominam depósitos holocênicos de várias origens, ocorrendo remanescentes de terraços marinhos pleistocênicos somente nas proximidades do Rio Itapanhaú. No entanto, em trabalho recente, Souza (2007) detalhou as unidades sedimentares quaternárias do município de Bertioga (Bacias de Guaratuba e Itaguaré) em nove tipos, dos quais os solos estudados encontram-se inseridos em apenas duas unidades, denominadas: (a) cordões litorâneos e terraços marinhos holocênicos; e (b) terraços marinhos pleistocênicos.

A Ilha Comprida, localizada no litoral sul do Estado de São Paulo (Figura 2.1) tem 63 km de comprimento por até 5 km de largura (NASCIMENTO-JÚNIOR, 2006). É constituída de sedimentos arenosos quaternários, com presença de dunas holocênicas, exceto para um pequeno morro constituído de rochas cristalinas, denominado de Morrete. Esta ilha é separada da Ilha de Cananéia ao sul por um canal lagunar denominado Mar Comprido ou Mar de Cananéia, e do continente, ao norte, pelo Mar Pequeno (SUGUIO; TATUMI; KOWATA, 1999). Martin e Suguio (1978) interpretaram-na como uma ilha-barreira relacionada a mudanças do nível do mar no Quaternário, cujo início de formação se deu a cerca de 6.000 a 7.000 anos atrás. Portanto, é o material de origem mais jovem dos solos aqui estudados.

A Ilha de Cananéia é também predominantemente composta de sedimentos arenosos Quaternários, exceto pelo denominado Morro de São João, formado por rochas alcalinas, e um pequeno afloramento pré-cambriano de granitóides próximo a uma ponte na localidade denominada de Aroeira. O Mar de Cubatão separa a Ilha de Cananéia do continente (SUGUIO; TATUMI; KOWATA, 1999). De acordo com geólogos, essa ilha e as porções continentais circundantes são constituídas de areias finas e muito finas cimentadas com húmus resultante da decomposição da matéria orgânica. Sua origem se acredita estar relacionada ao período interglacial denominado Sangamon nos Estados Unidos da América, com diferentes nomes em outras regiões do mundo, ocorrido entre 80 a 130.000 anos atrás (WANATABLE et al., 1997).

A vegetação predominante nessas áreas é genericamente denominada vegetação de restinga. A origem do termo restinga é polêmica (SUGUIO; TESSLER 1984). Uma das formas de emprego é no sentido botânico, segundo o qual ele representa um conjunto de comunidades vegetais fisionomicamente distintas, sob influência marinha e flúvio-marinha, ocorrendo sobre os depósitos arenosos costeiros (ARAÚJO; HENRIQUES, 1984). Esta será a conotação ao termo utilizada neste trabalho.

Os solos sob vegetação de restinga englobam aqueles genericamente classificados como Espodossolos e Neossolos Quartzarênicos (OLIVEIRA; JACOMINE; CAMARGO, 1992). Esses últimos muitas vezes intermediários para Espodossolos (GOMES, 2005).

2.2.1.2 Trabalhos de Campo

Os trabalhos de campo consistiram em tradagens, observações de barrancos e mini-trincheiras a fim de selecionar os locais de amostragem. Estes consistiram de 31 perfis de solos representativos das paisagens locais: 27 são Espodossolos e 4 classificados como Neossolos Quartzarênicos. No município de Bertióga, 13 perfis foram coletados em cronoseqüência (bacia do rio Itapanhaú; perfis P1 a P13) e 3 distante dos anteriores (bacia do rio Itaguaré; perfis P14, P15 e P16). Em Ilha Comprida (10 perfis; P17 a P26) e Cananéia (5 perfis; P27 a P31) os solos foram descritos e amostrados longitudinalmente às ilhas, todos sob vegetação alta ou baixa de restinga.

Os perfis foram descritos e amostrados conforme Santos et al. (2005) e os solos classificados segundo Embrapa (2006). As coordenadas geográficas de cada perfil constam no Apêndice deste trabalho.

2.2.1.3 Análises Laboratoriais

No laboratório as amostras de solo foram secas ao ar, destorroadas com um martelo de borracha, quando necessário, e passadas em peneira n.º10 (malha de 2mm), obtendo-se a fração terra fina seca ao ar (TFSA), onde foram realizadas as análises químicas e granulométricas. Esta última foi realizada pelo método do densímetro, utilizando hidróxido de sódio 0,1 mol L⁻¹ como agente dispersante (EMBRAPA, 1997).

Foram as seguintes análises químicas e procedimentos analíticos utilizados (EMBRAPA, 1997): o pH foi determinado em água (potenciômetro) utilizando relação solo:solução 1:2,5 após agitação e repouso de 1 hora. Os cátions Ca^{2+} , Mg^{2+} e Al^{3+} foram extraídos com solução KCl 1 mol L^{-1} . A extração do $\text{H} + \text{Al}$ foi realizada com solução de acetato de cálcio $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ a pH 7,0. Os elementos P , Na^+ e K^+ foram extraídos com solução de H_2SO_4 $0,0125 \text{ mol L}^{-1}$ + HCl $0,05 \text{ mol L}^{-1}$. Os teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} foram determinados por espectroscopia de absorção atômica; K^+ e Na^+ por fotometria de chama; Al^{3+} e $\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$ por titulometria.

Os elementos alumínio e ferro foram obtidos pelos seguintes procedimentos de extração seletiva:

a) Extração com oxalato ácido de amônio de acordo com Buurman, Lagen e Velthorst (1996): relação solo:solução de 1:50, agitando por 4 horas no escuro. A suspensão foi centrifugada por 15 minutos a 2.500 rpm, com quatro gotas de “superfloc”. O sobrenadante foi filtrado utilizando-se papel de filtro lavado em ácido (7 a 11 μm de tamanho de poro). Os símbolos Al_o e Fe_o doravante mencionados correspondem aos valores do alumínio (Al_o) e Fe (Fe_o) extraídos por oxalato;

b) Extração com pirofosfato de sódio 0,1 M (pH 10): relação solo:solução 1:100, agitando por 16 horas (BUURMAN; LAGEM; VELTHORST, 1996). Após adição de quatro gotas de “superfloc” procedeu-se a centrifugação e filtragem conforme os procedimentos descritos acima. Os símbolos Al_p e Fe_p utilizados nesse trabalho correspondem aos valores de alumínio (Al_p) e ferro (Fe_p) extraídos com o pirofosfato de sódio;

c) Extração do ferro com ditionito-citrato de sódio (DC): relação solo:solução 1:125, agitando por 16 horas, segundo metodologia proposta por Holmgren (1967). Os procedimentos seguintes foram semelhantes aos acima relatados. O símbolo Fe_d aqui utilizado se refere ao conteúdo de ferro obtido por ditionito-citrato.

Alumínio e ferro nos extratos foram determinados por espectroscopia de absorção atômica. Os resultados apresentados para esse elemento representam a média das análises realizadas em duplicata que diferiram entre si em menos que 10%.

2.2.1.4 Datações

Luminescência: foram realizadas no Laboratório de Vidros e Datação (LVD) da Faculdade de Tecnologia de São Paulo (FATEC-SP), cujos procedimentos estão descritos em Sallun et al. (2007) e Suguio, Tatum e Kowata (1999). A forma de coleta e acondicionamento das amostras em tubos de PVC negros de comprimento médio de 30 cm e inseridos horizontalmente nas trincheiras, foi realizada seguindo as recomendações de Sallun et al. (2007).

Radiocarbônica: fragmentos de restos vegetais (tronco) soterrados a 120 cm de profundidade (perfil P7), bem como a fração TFSA de três horizontes cimentados de diferentes perfis (perfis P3, P10 e P30, Tabela 2.2), foram utilizados para datação. As amostras foram conduzidas ao Laboratório de Isótopos Estáveis do Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA/USP) em Piracicaba (SP), o qual utiliza os métodos de síntese de benzeno e espectrometria de cintilação líquida descritos por Pessenda e Camargo (1991) para determinar a atividade do ^{14}C . Os resultados estão corrigidos para o fracionamento isotópico natural (-25‰) e apresentados em idade convencional não calibrada em anos antes do presente (A.P.). A idade média ou o tempo de residência médio (TRM) foi computado com um período de ^{14}C de 5.570 anos e desvio padrão de 1 (PESSENDA; CAMARGO, 1991).

2.2.2 Resultados e Discussão

2.2.2.1 Aspectos da Paisagem

A seqüência de solos do município de Bertioga (perfis P1 a P14), a qual pode ser considerada uma cronosseqüência juntamente com a de Ilha Comprida (Figuras 2.2ab; Tabela 2.1), é a mais extensa de todas analisadas (aproximadamente 2,8 km) e com a maior variabilidade de classes de solos, de seus atributos e vegetação. Seu material de origem, sedimentos arenosos marinhos quartzosos, é de idade pleistocênica (Perfis P1 a P6) até atual (Perfil P13), predominando sedimentos pleistocênicos da Formação Cananéia, embora algumas e possíveis inconsistências cronológicas podem ser observadas entre as idades aqui obtidas e aquelas utilizadas para definir os eventos Transgressivos-Regressivos do litoral paulista (SUGUIO; MARTIN, 1978a), o que será discutido posteriormente.

O substrato geológico e a geomorfologia diferem daqueles genericamente apresentados por Souza et al. (1997) para o litoral paulista e Suguio e Martin (1978b) para o município de Bertioiga, seja pela predominância ou maior ocorrência de depósitos pleistocênicos, seja pela completa ausência de cordões e entre-cordões litorâneos que se sucedem próximos à praia. Estes últimos, no entanto, podem ter sido naturalmente retrabalhados nessa porção da paisagem e/ou obliterados pela ação antrópica, já que é uma região de intensa especulação imobiliária atual e com expressivas atividades agrícolas no passado, sobretudo a cana-de-açúcar e a bananicultura (MOREIRA, 2007).

Tabela 2.1 – Dados de Termoluminescência (TL) e de Luminescência Opticamente Estimulada (LOE) de 14 amostras dos perfis e seqüências estudadas

Município	Coordenada (km)	Perfil	Prof. ¹ (m)	Dose ± anual (µGy/ano)	Dose acumulada LOE (Gy)	Idade LOE (anos)	Idade TL (anos)
Bertioiga	383.330 S	P1	0,80	932 ± 61	116,98	125.600 ± 14.500	131.500 ± 15.100
Bertioiga	7.364.836 W	P1	1,85	1.338 ± 165	235,00	175.000 ± 30.000	171.100 ± 30.000
Bertioiga	384.524 S	P6	0,60	770 ± 64	25,29	33.600 ± 4.500	32.800 ± 4.400
Bertioiga	7.364.581 W	P6	1,30	309 ± 13	52	168.000 ± 15.000	150.000 ± 13.500
Bertioiga	384.919 S 7.364.284 W	P9	1,05	272 ± 9	11,6	42.700 ± 3.500	41.200 ± 3.400
Bertioiga	387.643 S 7.365.241 W	P11	1,10	677 ± 107	3,5	5.100 ± 1.000	4.800 ± 1.000
Bertioiga	400.571 S 7.369.473 W	P14	1,10	255 ± 8	1,7	6.600 ± 500	7.800 ± 600
Ilha Comprida	211.136 S	P17	0,83	1.533 ± 105	10,76	7.000 ± 800	10.400 ± 1.200
Ilha Comprida	7.236.517 W	P17	4,50	710 ± 68	9,38	13.200 ± 1.900	22.800 ± 3.300
Ilha Comprida	212.077 S	P21	0,50	603 ± 103	2,77	4.600 ± 1.100	4.800 ± 1.100
Ilha Comprida	7.235.756 W	P21	1,55	931 ± 196	3,02	3.200 ± 900	...
Ilha Comprida	212.849 S 7.234.721 W	P26	1,75	1.683 ± 99	0,75	500 ± 50	3.000 ± 300
Cananéia	206.083 S	P31	0,40	794 ± 210	222,38	280.300 ± 88.200	271.000 ± 85.300
Cananéia	7.236.264 W	P31	2,80	1.280 ± 193	400,91	313.100 ± 62.900	272.300 ± 54.700

Nota – Sinais convencionais utilizados
... Dano numérico não disponível

¹ Prof. = Profundidade

As idades geológicas das seqüências de Cananéia e Ilha Comprida (Tabela 2.1) também se aproximam dos trabalhos desenvolvidos localmente: sedimentos pleistocênicos em Cananéia (SUGUIO; PETRI, 1973; SUGUIO; MARTIN, 1978b) ao longo da seqüência estudada (Figura 2.2c), enquanto que, em Ilha Comprida (Figura 2.2b), uma estreita faixa da Formação Cananéia antecede cronológica (Tabela 2.1) e fisiograficamente (Figura 2.2b) os sedimentos holocênicos da Formação Ilha Comprida no sentido Mar de Cananéia - Oceano Atlântico (MARTIN; SUGUIO, 1978; SUGUIO; MARTIN, 1978b; SUGUIO; TATUMI, KOWATA, 1999).

Apesar dos inúmeros problemas e considerações sobre a avaliação da idade radiocarbônica em Espodossolos, bem documentadas nos trabalhos de Matthews (1980) e Schwartz (1988), algumas interpretações e especulações parecem relevantes ao presente trabalho, além de fornecerem subsídios aos estudos estratigráficos, evolutivos e paleoclimáticos do litoral paulista; estes últimos ainda virtualmente indisponíveis, tal como afirmam Suguio, Tatumi e Kowata (1999).

As idades radiocarbônicas ou o tempo de residência médio (TRM) da matéria orgânica dos horizontes ortstein dos perfis 1, 8 e 30, respectivamente 4.800, 2.130 e 9.250 anos A.P. (antes do presente; Tabela 2.2), evidenciam numa primeira análise que: **(a)** o perfil mais velho é o de Cananéia, o qual coincide com o sedimento mais antigo (Tabela 2.1); **(b)** as idades dos perfis de Bertioga variam em conformidade àquelas obtidas dos sedimentos (Tabela 2.1; Figura 2.2a), ou seja, sedimentos mais antigos deram idades aos radiocarbono mais elevadas.

Tabela 2.2 – Idade ao radiocarbono da matéria orgânica de horizontes cimentados (ortstein) e de um tronco de árvore (horizonte Cg) de perfis selecionados

Perfil	Horizonte	Profundidade (cm)	Município	Idade (anos A.P.) ¹
P3	Bhm2	120-142	Bertioga	4.800 ± 80
P10	Bhm	117-150	Bertioga	2.130 ± 70
P30	Bhm	58-105	Cananéia	9.250 ± 90
P7	Cg	120	Bertioga	3.700 ± 70

¹ A.P. = antes do presente

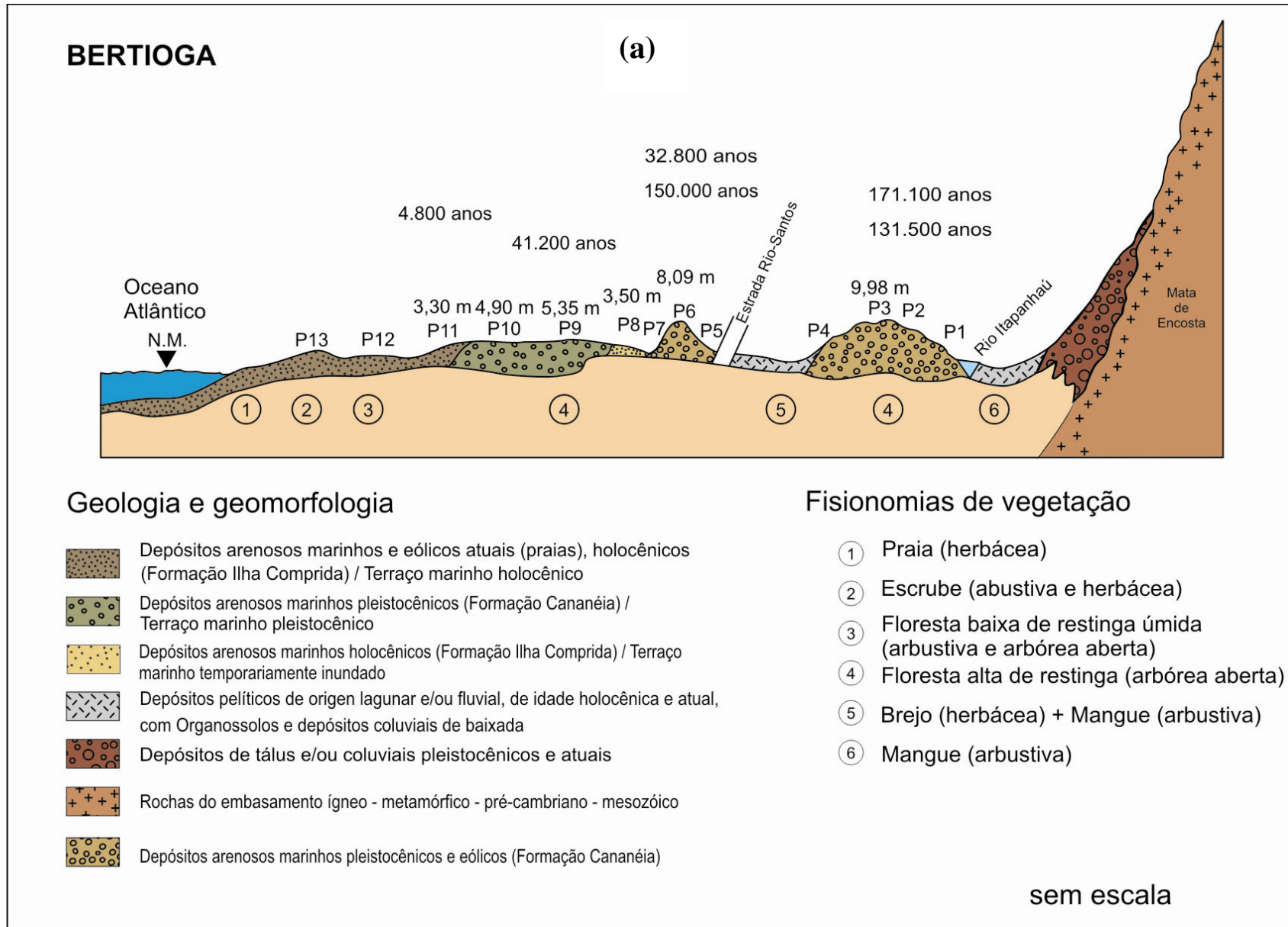


Figura 2.2 – Desenho esquemático mostrando a distribuição dos perfis (P) analisados, as fisionomias da vegetação, o substrato geológico e a geomorfologia para as seqüências de solos estudadas nos municípios de (a) Bertioiga, (b) Ilha Comprida, e (c) Cananéia. As idades TL em anos A.P. (e a cota altimétrica; apenas para Bertioiga) de perfis selecionados estão mostradas acima da indicação dos respectivos perfis. Adaptado de Souza et al. (1997) Continua

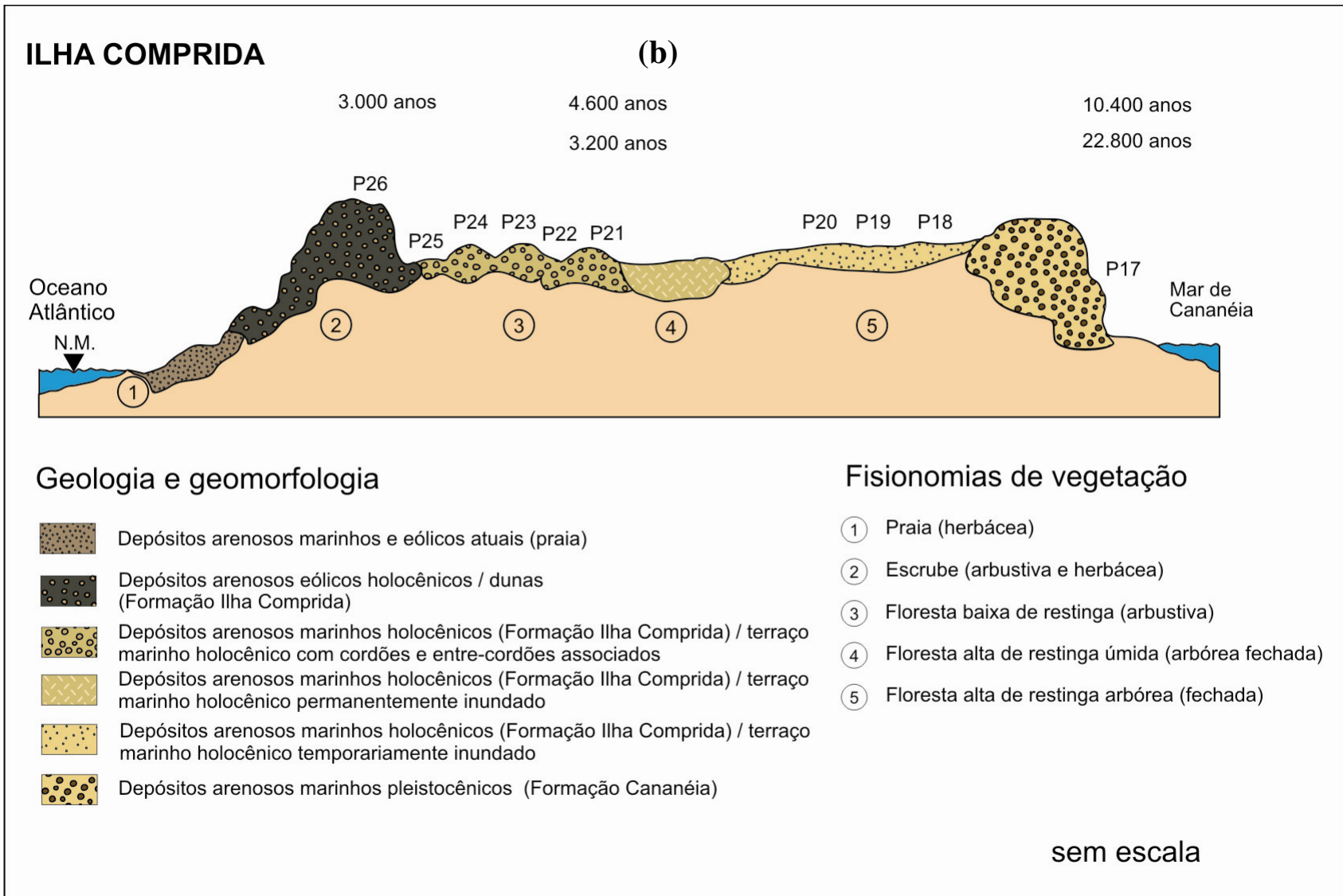


Figura 2.2 – Desenho esquemático mostrando a distribuição dos perfis (P) analisados, as fisionomias da vegetação, o substrato geológico e a geomorfologia para as seqüências de solos estudadas nos municípios de (a) Bertioga, (b) Ilha Comprida, e (c) Cananéia. As idades TL em anos A.P. (e a cota altimétrica; apenas para Bertioga) de perfis selecionados estão mostradas acima da indicação dos respectivos perfis. Adaptado de Souza et al. (1997) Continuação

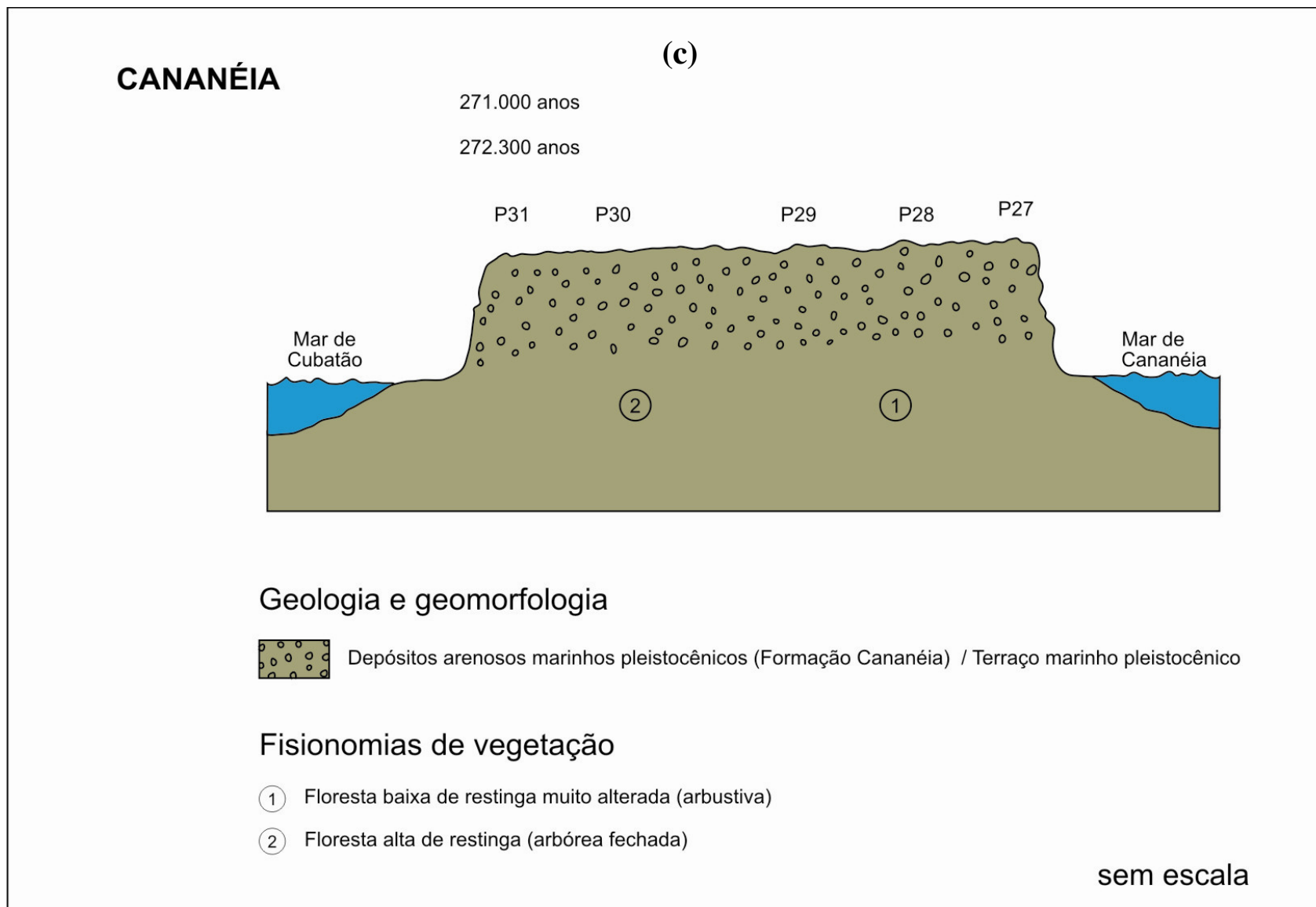


Figura 2.2 – Desenho esquemático mostrando a distribuição dos perfis analisados (P), as fisionomias da vegetação, o substrato geológico e a geomorfologia para as seqüências de solos estudadas nos municípios de (a) Bertioga, (b) Ilha Comprida, e (c) Cananéia. As idades TL em anos A.P. (e a cota altimétrica; apenas para Bertioga) de perfis selecionados estão mostradas acima da indicação dos respectivos perfis. Adaptado de Souza et al. (1997) Conclusão

Considerando-se que o tempo de residência médio da matéria orgânica corresponde aproximadamente à metade do intervalo desde que sua acumulação iniciou (DE CONINCK, 1980; SCHWARTZ, 1988), pode-se sugerir que as acumulações de material orgânico nos horizontes ortstein analisados se iniciaram há cerca de 9.600, 4.260 e 18.500 anos atrás, respectivamente para os perfis P3, P10 e P30. Essas idades aproximadamente coincidem com as bem documentadas variações do nível do mar no litoral paulista (SUGUIO; MARTIN, 1976; 1978a): próximo ao final do Pleistoceno, durante o último glacial ocorrido a aproximadamente 17.000-18.000 A.P., houve um máximo regressivo no litoral paulista em que o nível do mar se deslocou até as profundidades próximas as atuais batimétricas de -110m a -130m (SUGUIO; MARTIN, 1978a). Possivelmente, os Espodossolos de Cananéia tiveram seu início de formação juntamente com os primórdios do estágio interglacial subsequente, período consideravelmente mais úmido que o antecedeu (SUGUIO; MARTIN, 1978a; BEHLING; BAUERMAN; NEVES, 2001), favorável ao desenvolvimento de condições propícias a podzolização: temperaturas mais amenas que as atuais e elevada precipitação pluviométrica, drenagem impedida e baixa atividade biológica (van BREEMEN; BUURMAN, 2002), além do material de origem pobre em nutrientes, característico dessas áreas, o qual exerce papel fundamental na gênese dos Espodossolos, induzindo ao crescimento de espécies vegetais que produzem uma liteira impalatável, também pobre em bases (ANDRIESSE, 1968/1969; van BREEMEN; BUURMAN, 2002; SAUER et al., 2007).

A proximidade dos períodos supracitados, tanto para a datação ao radiocarbono (18.500 anos A.P.) como para transição climática no final do Pleistoceno (17.000 – 18.000 anos) pode ser função de alguns fatores, como a imprecisão analítica nas suas obtenções, variações locais e a paulatina evolução e transição climáticas ao longo do tempo, mas evidenciam que os Espodossolos não são atuais e indicam uma relativa contemporaneidade dos eventos edafoclimáticos. Os problemas relativos às datações absolutas por luminescência dos depósitos quaternários foram recentemente revisados e resumidos por Sallun et al. (2007).

O início do período de acumulação orgânica ou formação dos Espodossolos da cronossequência de Bertioga também é condizente com os eventos transgressivos-regressivos marinhos ao longo do Quaternário no Estado de São Paulo. Suguio e Martin (1978b) mapearam os sedimentos onde se localiza o perfil P3 como pleistocênicos da Formação Cananéia, cujo pico de oscilação positiva máxima ocorreu à aproximadamente 120.000 anos A.P. (evento

Transgressivo-Regressivo Cananéia), com o mar deslocando-se até o sopé da Serra do Mar (SUGUIO; MARTIN, 1976; 1978a). De fato, a suposta idade do início de formação do horizonte Bhm2 do Perfil P3, de maior cota altimétrica (9,98 m), é de 9.600 anos A.P., idade essa consideravelmente inferior ao primeiro máximo transgressivo (Formação Cananéia) e superior ao segundo máximo transgressivo marinho que ocorreu há cerca de 5.100 anos atrás (evento Transgressivo-Regressivo Santos) onde o nível do mar se elevou $4 \pm 0,5$ m (SUGUIO; MARTIN, 1976; 1978a), não atingindo tal perfil, bem como os perfis P9 (cota altimétrica de 5,35 m) e P10 (cota altimétrica de 4,90 m). Este último de menor idade ao radiocarbono dentre os demais analisados e com provável início do processo de formação ocorrendo há aproximadamente 4.200 anos atrás. Portanto, mais jovem e relativamente contemporâneo ao máximo do evento Transgressivo-Regressivo Santos.

Como argumentado anteriormente, algumas inconsistências podem ser observadas entre as idades TL e LOE aqui obtidas e aquelas utilizadas para reconstruir as antigas posições do nível relativo do mar no tempo e espaço para o litoral paulista: a idade dos sedimentos relacionados aos perfis P1 (171.100 ± 30.000 anos, cota altimétrica de 9,98 m) e P6 (150.000 ± 13.500 anos; cota altimétrica de 8,09 m) ultrapassaram 120.000 anos (Tabela 2.1). Apesar dessas inconsistências, algumas especulações e constatações podem ser auferidas desses resultados: **(a)** o cordão litorâneo onde se situa o perfil P6 é relativamente contemporâneo ao perfil P1 e possivelmente de mesma origem. Ambos provavelmente representavam uma mistura de depósitos marinhos parcialmente retrabalhados pelo vento (Figura 2.2a; SUGUIO; MARTIN, 1978b); **(b)** tal cordão é um remanescente da Formação Cananéia, como possivelmente alguns outros observados por ao longo da planície costeira de Bertioga. Encontra-se isolado na paisagem e foi o único observado nas proximidades da cronossequência estudada, com dimensões ao redor de $150 \times 25 \times 5$ m e subparalelo a atual linha de costa. É provável que a presença de Espodossolos e, sobretudo, de horizontes cimentados, condicionaram sua resistência aos processos erosivos, remanescendo na paisagem atual; **(c)** a grande diferença das idades dos sedimentos mais superficiais em relação aos mais profundos nesse cordão (Tabela 2.1) sugere que o mesmo avançou e remanesceu na paisagem num extenso período de tempo, possivelmente alternando períodos de atividade e inatividade, este último associado à estabilização pela vegetação; **(d)** as inconsistências referentes as idades superiores a 120.000 anos A.P. dos sedimentos onde se localizam os perfis P3 e P6 podem estar relacionadas aos problemas potenciais inerente às técnicas (SALLUN et al., 2007),

bem como às condições de sedimentação, tal como argumentado por Nott et al. (1994) para Espodosolos em ambientes de dunas da costa australiana e Sallun et al. (2007) para depósitos quaternários brasileiros: por algum motivo, a idade residual (TL e LOE) de parte dos sedimentos aqui considerados, de significativa diferença entre as idades avaliadas verticalmente nos perfis, não foi completamente zerada. É possível que a rápida deposição associada ao longo período de tempo de submersão a que ficaram submetidos os grãos de quartzo, anterior ou concomitante ao seu transporte, não propiciaram suficiente exposição à radiação solar ultravioleta (WINTLE; HUNTLEY, 1980) a fim realocar a carga adquirida e acumulada na estrutura cristalina dos grãos de quartzo durante seu transporte para os sítios de déficit de cargas, de mais baixa energia (NOTT et al., 1994), não zerando assim sua idade. Como esses sedimentos são possivelmente mistos e heterogêneos, tal como argumentado por Suguio, Tatumi e Kowata (1999) para dunas de Ilha Comprida, naturalmente de diferentes idades e formados num longo período de tempo, o que, associado às condições diferenciadas de transporte, condicionaram valores de intensidade luminescente residual muito heterogêneos. Com isso, é de se esperar diferentes idades, seja entre dunas numa planície de cordões litorâneos, seja na mesma duna quando estudamos sua acreção vertical, além de idades superiores ao esperado, como encontramos aqui. Em vista do exposto, a idade TL de 32.800 ± 4.400 anos A.P. (perfil P6) avaliada a 0,60 m de profundidade aparentemente é a mais coerente dentre as demais analisadas para os perfis P1 e P6, mas não se descarta os possíveis enganos cronológicos advindos da técnica e ambiente de sedimentação acima relatados.

Apesar dessas inconsistências quanto às idades TL e LOE, há uma redução das mesmas à medida que se aproxima da praia e da superfície dos perfis analisados, concorrendo para se considerar os resultados satisfazíveis, os quais, associados às datações radiocarbônicas e aos aspectos edáficos, possibilitam as seguintes interpretações e discussões, tal como apresentadas a seguir.

Na cronosseqüência de Bertioga, os Espodosolos, holocênicos, formaram-se predominantemente em sedimentos pleistocênicos da Formação Cananéia. Embora os sedimentos do perfil P11 (Espodosolo; Tabela 2.2) se apresentem com idade holocênica (4.800 ± 1.000), esta foi avaliada a 1,10 m de profundidade e no horizonte E3 (Tabela 2.2). Para este perfil, o horizonte espódico se inicia a 1,22 m de profundidade. Nott et al. (1994), avaliando os problemas relativos à estratigrafia e pedogênese em seqüências sedimentares costeiras da Austrália, encontraram que

um perfil de solo não corresponde a uma unidade sedimentar. Segundo os autores, as grandes diferenças de idades TL encontradas entre os horizontes superficiais e subsuperficiais dos Espodossolos por eles estudados evidenciaram a poligenia na formação de tais solos, argumentando que isso provavelmente é um fato comum nas planícies costeiras tropicais, também constatado por Schwartz (1988) para Espodossolos tropicais de ambientes continentais. Nott et al. (1994) complementam que, apesar da poligenia, não há evidências morfológicas ou de campo que corroborem as discontinuidades litológicas nos perfis. Assim, é possível que os horizontes espódicos do perfil P11, todos situados abaixo da profundidade utilizada para datação por TL, foram também formados nos sedimentos da Formação Cananéia, sendo os horizontes superficiais A + E mais recentes. Isso também pode ter ocorrido com o sedimento onde se localiza o perfil P9, avaliada a 1,05 m de profundidade, abaixo do horizonte ortstein (Tabela 2.2). Nott et al. (1994) argumentam que devido à enorme diferença de resistência mecânica entre os horizontes superficiais, soltos, e aqueles duros a extremamente duros relativos aos ortstein em profundidade, há um favorecimento da remoção dos primeiros, com posterior deposição de areia num outro evento sedimentar, fazendo, assim, as vezes de horizontes E. Com o tempo, o crescimento da vegetação, promovendo a reciclagem de material vegetal e desenvolvimento de uma atividade biológica, levaria a formação de horizonte A e mesmo de sub-horizontes E, semelhante a um perfil desenvolvido *in situ*. Como a origem e os processos envolvidos no transporte e deposição dos sedimentos são semelhantes nas diferentes fases, não é de se esperar variações significativas na morfologia, morfoscopia e granulometria dos grãos de quartzo entre os horizontes espódicos e os horizontes A+E superficiais;

A transição do perfil P11 para o P12 se dá por uma rampa que se pendente em direção ao mar, sucedida por uma área deprimida, encharcada, com 40 m de extensão e ocorrência de Organossolos. O perfil P11, um Espodossolo bem desenvolvido (Apêndice), localiza-se no início dessa rampa, de inclinação próxima a 8% e desnível de aproximadamente 0,60 m. Após a área deprimida, abriu-se o perfil P12, um Neossolo Quartzarênico Hidromórfico distante cerca de 70 m do P11 (Figura 2.2a). Essas contrastantes variações de solo e de relevo nessa porção da paisagem, juntamente com a idade aproximada a 5.100 anos do sedimento nesse perfil (Tabela 2.1), de cota altimétrica de 3,30 m (Figura 2.2a), convergem para suposição de que o máximo transgressivo da Formação Santos se deu nessa porção da paisagem. Portanto, é nas proximidades

do perfil P11 que se tem a transição entre os eventos Transgressivos-Regressivos Santos e Cananéia;

A presença de ortstein é empiricamente utilizada por alguns geólogos quaternaristas brasileiros como indicativo de sedimentos pleistocênicos da Formação Cananéia. Com os dados aqui obtidos e as inúmeras observações de campo, existem algumas evidências e indagações sobre a veracidade de tal assertiva. De fato, como se pode observar na Tabela 3.3, os horizontes ortstein estão completamente ausentes na seqüência de Ilha Comprida, a mais jovem aqui estudada, mesmo nos seus sedimentos mais antigos, e, com exceção do perfil P28 (Apêndice), todos os demais descritos e amostrados na seqüência de Cananéia, a mais antiga, manifestaram sua presença dentro de 2,0 m de profundidade. Em Bertioga, estão presentes apenas nos perfis mais antigos, formados em sedimentos da Formação Cananéia (P3, P4 e P6, P9 e P10), mas ausente tanto no perfil P11, este possivelmente situado numa faixa transicional entre os sedimentos oriundos dos eventos transgressivos-regressivos holocênicos e pleistocênicos, como nos perfis P14 (7.800 ± 600 anos A.P. – Bacia do rio Itaguaré), P7 (3.700 ± 70) e P8. Tais informações, associadas às observações das paisagens locais estudadas, sugerem que os horizontes ortstein dos Espodossolos podem ser considerados e utilizados como indicadores litoestratigráficos edáficos das planícies costeiras sedimentares do Quaternário. No entanto, como afirmam Nott et al. (1994) e argumentado anteriormente, tal informação deve ser utilizada com cautela. Segundo os autores, não se pode assumir que todos os Espodossolos associados às seqüências sedimentares costeiras sejam compostos de uma série de horizontes geneticamente relacionados, embora manifestem aparência intacta, com horizontes A, E e B espódicos típicos de Espodossolos formados por processos de mobilização e migração de matéria orgânica dos horizontes eluviais E e sua acumulação nos horizontes iluviais sotopostos B (DE CONINCK, 1980).

A significativa diferença de idades TL (aproximadamente 120.000 anos) observada entre as amostras coletadas a diferentes (mas próximas) profundidades (0,60 e 1,30 m) nos horizontes E do perfil P6 (Tabela 2.1) sugere mecanismos de retrabalhamento, possivelmente eólico, desses horizontes soltos e sobrepostos aos horizontes espódicos. Se estes últimos são consolidados (ortstein), fato comum nos Espodossolos costeiros, a grande variação de consistência entre tais horizontes e os sotopostos (A + E), pode resultar na preservação do B consolidado e remoção parcial ou total daqueles horizontes soltos e sotopostos, com posterior retrabalhamento. Como

argumentado anteriormente, isso é passível de ocorrência nos perfis P9, P10 e P11 da cronossequência de Bertioga, embora a disponibilidade dos dados atuais não permitam tal interpretação. A amostra coletada e analisada do perfil P9, por exemplo, acusou idade Pleistocênica (41.200 ± 3.400 anos A.P.) a 1,05 m de profundidade, esta situada abaixo do horizonte ortstein (Tabela 1.2).

Assim, como exaustivamente discutido anteriormente, não se pode precisar a idade dos sedimentos acima de 1,05 m para este perfil e porção da paisagem, mesmo onde se desenvolveu o próprio horizonte ortstein, embora haja indícios edafo-geomórficos da sua idade Pleistocênica (perfil P11), o que, de certa forma, contrapõe-se à datação pelo radiocarbono obtida no perfil P10. Este, distante aproximadamente 200 m do P9 e na mesma superfície geomórfica (Figura 2.2a), mostrou idade pelo radiocarbono de 2.130 anos A.P. do horizonte ortstein. Considerando-se o dobro dessa idade (4.260 anos A.P.) como o início de deposição da matéria orgânica e formação deste horizonte e solo (SCHWARTZ, 1988), pode-se afirmar que tal perfil se formou após o primeiro máximo transgressivo holocênico (5.100 anos A.P.). Portanto, se não em sedimentos holocênicos, teve sua formação fortemente influenciada pelas condições edafoclimáticas locais e pretéritas, remontadas ao período do máximo transgressivo da Formação Ilha Comprida, o que é passível de se ocorrer devido à proximidade física.

Em vista do exposto, o reconhecimento da poligenia dos Espodosolos tem decisiva implicação no protocolo de amostragem quando se pretende decifrar a cronoestratigrafia do Quaternário e conseqüente reconstrução geológica e ambiental das seqüências sedimentares costeiras. Assim, amostragens e datações por TL e LOE nos horizontes E e B espódicos, ou abaixo deste, são recomendadas a correta interpretação litoestratigráfica dos sedimentos costeiros estudados.

Apesar da virtual ausência de dados paleoclimáticos das áreas estudadas (SUGUIO; TATUMI; KOWATA, 1999), pode-se tentativamente correlacioná-los àqueles obtidos no Estado de São Paulo. Segundo Schell-Ybert et al. (2003), estudos paleoambientais no Brasil mostraram que as condições climáticas similares ao presente apareceram entre 5.000 e 1.000 anos A.P., dependendo do local. Para o centro-sul do Estado de São Paulo (municípios de Botucatu, Jaguariúna, Anhembi e Pirassununga) os autores definiram que esse período se deu entre 3.500 e 3.000 anos A.P. Devido à proximidade física, possivelmente variações climáticas semelhantes se deram nos locais aqui estudados, sugerindo que a maioria dos Espodosolos das planícies

quaternárias marinhas continentais do Estado de São Paulo iniciou ou se formou completamente em condições paleoclimáticas pretéritas, considerando-se as datações radiocarbônicas aqui obtidas (Tabela 2.2) e partindo-se da premissa que o tempo de residência médio da matéria orgânica corresponde aproximadamente à metade do intervalo desde que sua acumulação iniciou. Esses eventos holocênicos são cronologicamente coincidentes a outros obtidos no litoral paulista, no município de Ilha Comprida, relatados por Martin e Suguio (1978), Suguio e Barcelos (1978) e Suguio, Tatumi e Kowata (1999). Segundo os autores, desde o início da formação da Ilha Comprida, há cerca de 6.000 a 7.000 anos A.P. até aproximadamente 3.200 anos (MARTIN; SUGUIO, 1978; SUGUIO; BARCELOS, 1978) ou 3.500 anos A.P. (SUGUIO; TATUMI; KOWATA, 1999), a ilha cresceu no sentido nordeste com uma taxa de 30 m/ano (MARTIN; SUGUIO, 1978; SUGUIO; BARCELOS, 1978). Após o segundo transgressivo máximo holocênico, em torno de 3.200 (MARTIN; SUGUIO, 1978; SUGUIO; BARCELOS, 1978) ou 3.500 anos atrás (SUGUIO; TATUMI; KOWATA, 1999) a ilha ficou sujeita ao alargamento, acelerando sua formação devido à queda do nível do mar (MARTIN; SUGUIO, 1978; SUGUIO; BARCELOS, 1978) e a flutuação paleoclimáticas ocorridas na área, responsáveis pelas mudanças nas atividades do vento (SUGUIO; TATUMI; KOWATA, 1999).

As bem documentadas alterações paleoclimáticas para o Estado de São Paulo e os eventos transgressivo-regressivos holocênicos acima relatados convergem para as suposições de que a maioria dos Espodossolos das planícies costeiras arenosas paulistas são paleossolos, exceção feita àqueles formados em Ilha Comprida, a maioria deles mais jovens, formados em sedimentos da Formação de mesmo nome. Por isso são pouco desenvolvidos e atualmente se encontram em estágio de desmantelamento, como veremos no item subsequente.

2.2.2.2 Solos: Classes, Distribuição na Paisagem e Morfologia

A descrição morfológica e classificação dos solos se encontram no Apêndice. No município de Bertioga foram descritos e amostrados Neossolos Quartzarênicos e Espodossolos. Os primeiros aparecem tanto na cronossequência de Bertioga como de Ilha Comprida. Em Bertioga, no entanto, ocupam as maiores extensões comparativamente aqueles descritos e amostrados nos sedimentos holocênicos da Formação Ilha Comprida, onde ocorrem apenas nas dunas mais recentes, próximas à praia.

Na cronossequência de Bertioga, partindo-se dos solos e sedimentos mais jovens, próximos à praia, observou-se Neossolos Quartzarênicos (perfil P13) sob a vegetação de escrube, em cotas ligeiramente superiores aos solos que os sucedem devido à dinâmica deposicional e erosiva marinha recente. Daí a ausência de características hidromórficas até cerca de 0,70 m de profundidade e presença de lençol freático abaixo de 1,50 m durante a maior parte do ano. Sob vegetação de escrube (Perfil P13) não há evidência de incipiente podzolização e sim de mobilização de Fe, o qual imprime a coloração amarela aos primeiros 0,70 m de profundidade. Essas “areias amarelas pálidas”, já descritas por Andriessse (1968/1969) para Espodossolos tropicais do leste da Malásia e Queiroz Neto e Küpper (1965) para o litoral paulista, foram consideradas no passado sinais de incipiente podzolização. Evidência disso é que alguns pedólogos brasileiros as denominavam de “Parapodzol”, o que, a luz dos conhecimentos atuais, está equivocada.

À medida que se distancia da praia a hidromorfia aumenta juntamente com o aparecimento de mosqueados avermelhados de concentração de ferro, típicas de feições redoximórficas, as quais aumentam em quantidade e tamanho. O perfil P12 (Figuras 2.2a; 2.3d) é um Neossolo Quartzarênico Hidromórfico típico, com abundante segregação de ferro (Tabela 2.3) na forma de mosqueados. Como comentado anteriormente, a transição desses Neossolos para os Espodossolos se dá por uma área deprimida, encharcada e com predominância de Organossolos, após o que se inicia uma sutil rampa positiva com inclinação aproximada de 8%. No início desta, abriu-se uma trincheira (perfil P11), cujo solo foi classificado como Espodossolo Humilúvico Hidromórfico espessarênico, destituído de horizonte ortstein, mas bem desenvolvido e com horizontes A + E de espessura superior a 1,0 m. Não foram observadas variações morfológicas, físicas e químicas (Tabela 2.3) que evidenciassem uma possível origem poligenética para este perfil.

A pendente que se iniciou próximo ao perfil P11 se torna mais sutil à medida que se distancia da praia, sendo os solos exclusivamente da classe dos Espodossolos até o aparecimento de áreas deprimidas e inundadas de mangue e daquelas também constantemente encharcadas nas proximidades do cordão onde se localiza o perfil P6 (Figura 2.2a). Nessas áreas com lençol aflorante a maior parte do ano, próximas ao mangue, predominam Neossolos Quartzarênicos hidromórficos e, em menor proporção, Organossolos e Gleissolos. Dentre os Espodossolos, no entanto, há variações morfológicas: predominam aqueles dotados de horizonte ortstein (Bhm) que

se manifesta a diferentes profundidades (de 0,40 a 1,40 m), bem como com diferentes espessuras do horizonte E, a qual aumenta à medida que se caminha do perfil P7 em direção à praia (perfil P11). Tal espessura tem sua máxima expressão no P6 na cronossequência de Bertioiga, situado no topo do cordão arenoso isolado na paisagem (Figura 2.2a), provavelmente de contribuição eólica e oriundo de diferentes eventos deposicionais, tal como comentado anteriormente. Alinhado e aproximadamente paralelo à atual linha de costa, com diferença de nível cerca de 5 m em relação às áreas adjacentes, é o único cordão litorâneo remanescente nas proximidades da cronossequência estudada. A transição deste para o restante da área se dá, de um lado, por um pequeno córrego intermitente, com predominância de Organossolos e Gleissolos, de outro, por Espodossolos bem drenados (Perfil P5). Na face mal drenada, os Organossolos e Gleissolos ocupam aproximadamente 20 m de extensão, os quais são sucedidos, à medida que se caminha para a praia, por Espodossolos Hidromórficos com exíguo horizonte E e ausência de horizonte ortstein. Os limites entre horizontes são os mais difusos e os horizontes B os menos desenvolvidos observados entre os Espodossolos na cronossequência de Bertioiga.

Uma peculiaridade desses Espodossolos menos desenvolvidos (perfis P7 e P8) é a presença de horizontes Cg (hidromórficos), sendo que no perfil P8 é de textura média (Tabela 2.3) e se inicia a aproximadamente 1,30 m de profundidade, acompanhados de abundantes restos vegetais, predominantemente troncos de árvores. A datação ao radiocarbono de um fragmento de tronco de árvore situado a 160 cm de profundidade neste perfil indicou idade holocênica (3.700 ± 70 ; Tabela 2.2), o que associado à sua cota altimétrica (3,50 m), à presença de argila e de restos vegetais, evidenciam ambientes deposicionais diferenciados nessa porção da paisagem, possivelmente de origem lagunar ou fluvial, os quais foram soterrados pelos sedimentos holocênicos da Formação Ilha Comprida, onde se formaram os Espodossolos dos perfis P7 e P8. Daí a ausência de horizontes cimentados em tais perfis, consequência de sua maior jovialidade e fraco desenvolvimento pedogenético em relação aos descritos e coletados mais próximos à Serra do Mar (perfis P3; P5 e P6) ou mais distantes (perfis P9 e P10; Figura 2.2a).

Após interrupção da restinga por uma área de depósitos pelíticos (mangue; Figura 2.2a), os Espodossolos aparecem juntamente com os sedimentos psamíticos pleistocênicos. Inicialmente são hidromórficos e à medida que se distancia do manguezal se tornam melhor drenados e muito heterogêneos, com uma grande variabilidade espacial, tanto horizontal como vertical. A descrição morfológica do perfil P3 (Apêndice) evidencia essa variabilidade, a qual deve estar relacionada à

sua maior idade em relação aos demais Espodossolos mais próximos à praia, condicionando o tempo necessário para que tanto os fluxos hídricos diferenciados como a ação da atividade biológica (predominantemente raízes), favorecessem o desenvolvimento dos Espodossolos com muitos e variados horizontes, alguns deles se iniciam e terminam em uma única face do perfil (transição descontínua). Nitidamente se diferencia morfologicamente dos perfis mal drenados quer pela variabilidade, quantidade e transição entre horizontes, quer pela presença de horizontes Bs na base dos perfis, de tons amarronzados a amarelados, este intenso em alguns horizontes, refletindo a presença e maior conteúdo de Fe (Tabela 2.3) e/ou a natureza diferenciada dos constituintes orgânicos.

Os perfis P1 (Figura 2.3a) e P2 iniciam a cronosequência de Bertioga. Enquanto o primeiro se distancia 8 m do P2, este se encontra a aproximadamente 15 m do P3, os quais, juntamente com o perfil P4, localizam-se na mesma superfície geomórfica (Figura 2.2a). Esta de superfície convexa e topo curto e com pendentes de maior declividade observadas na área (6%) que se inclinam, de um lado, para o rio Itapanhaú, caudaloso e distante cerca de 60 m do perfil P1 em direção a Serra do Mar (Figura 2.2a), de outro para áreas cada vez mais inundadas, brejeiras, inicialmente de vegetação herbácea e com solos de textura média, posteriormente para vegetação arbustiva de mangue e textura indiscriminada dos solos. Desde o rio Itapanhaú até o perfil P4, situado na transição para a área de brejo, tem-se aproximadamente 100 m de extensão. Os solos desta superfície são predominantemente Espodossolos e Neossolos Quartzarênicos. A transição do primeiro para o segundo se dá à medida que se caminha em direção à Serra do Mar e ao rio Itapanhaú (Figura 2.3a). Nesse sentido há o desaparecimento paulatino dos horizontes cimentados e manifestação de horizontes mais homogêneos em profundidade, com transições inicialmente descontínuas e onduladas (perfil P3), alterando-se para planas à medida que se aproxima do rio (perfil P1), até o completo desaparecimento de horizontes B espódicos. No entanto, remanescentes destes, sobretudo de ortstein, são visíveis na base dos perfis dos Neossolos Quartzarênicos (perfil P1) e mesmos dos Espodossolos com dominância de horizontes friáveis (perfil P2), aparecendo na profundidade média de 1,40 m a partir da superfície. Correspondem a fragmentos de ortstein; blocos irregulares, arestados, de tamanhos centimétricos (30 cm) a milimétricos (5 mm), de consistência mais branda em relação aqueles observados nos demais perfis (firme quando úmida), que apesar de desconectados, aqueles de maior dimensão nitidamente se mostram como parte de um horizonte contínuo no passado devido ao paralelismo,

continuidade lateral e, portanto, congruência entre suas faces. Nas bases dos perfis P1 (Figura 2.3a) e P2 também se observaram remanescentes de horizontes cimentados por ferro e matéria orgânica, de coloração avermelhada a amarelada intensa, de espessura média de 3 cm e aproximadamente paralelo à superfície do terreno. Tais remanescentes evidenciam que esses solos foram, no passado, Espodossolos bem desenvolvidos e formados sob condições hidromorfismo. A mudança do nível de base, das condições de relevo com conseqüente alterações no fluxo hídrico local, sobretudo com a maior manifestação daqueles laterais, condicionaram o dismantelamento dos Espodossolos e o desenvolvimento de areias de coloração amarelada, configurando os Neossolos Quartzarênicos com remanescentes dos solos que os antecederam.

Alterações morfológicas e mecanismos semelhantes foram descritos por Klinge (1965) para Espodossolos da Amazônia. Segundo o autor, o desaparecimento dos horizontes iluviais foi acentuado nos locais com forte movimento lateral da água, sendo que isso inicialmente se manifesta pela presença de transição irregular (“tonguing”) entre os horizontes E e B devido à dissolução do Bh, tal como observamos no perfil P2, até seu completo desaparecimento, restando somente horizonte E. Este último, característico do Neossolo Quartzarênico do perfil P1 (Figura 2.3a), difere daqueles amazônicos descritos por Klinge (1965) pela coloração amarelada do primeiro, sugerindo remobilização de ferro e “tingimento” homogêneo do extinto horizonte E, renomeado de horizonte C.

A cronoseqüência da Ilha Comprida, de aproximadamente 2.500 m de extensão, mostra peculiaridades em relação àquela descrita em Bertioga. Dentre estas podemos destacar a completa ausência de horizontes cimentados e presença de feições de cordões e entre-cordões litorâneos (Figura 2.2b), com horizontes espódicos nitidamente em fase de dismantelamento, sobretudo no cordão. De maneira geral, à medida que se aproxima da praia os horizontes espódicos se tornam cada vez mais dismantelados, até o aparecimento de Neossolos Quartzarênicos Órticos espódicos, com sinais incipientes de podzolização e presença constante de estratificação (minerais pesados), inicialmente plano-paralela, mostrando-se cruzada no último perfil estudado (Perfil P26), típica da dinâmica eólica costeira, o qual está situado no topo da mais potente duna da seqüência.

O perfil 17, um Espodossolo, é o mais desenvolvido na seqüência de Ilha Comprida. Descrito e amostrado na face exposta do barranco no contato com o Mar de Cananéia (Figura

2.2b), com idades que remontam aos sedimentos da Formação Cananéia (Tabela 2.1), este perfil mostra-se bem desenvolvido, com transições planas e abruptas entre horizontes, bem contrastantes entre si, moderadamente drenado e com estratificação plano-paralela de minerais pesados nos horizontes mais profundos, diferindo completamente dos demais aqui descritos. A aproximadamente 250 m do anterior está o perfil P18 (Figura 2.3e), um Espodossolo em incipiente estágio de desenvolvimento. A 340 m do anterior, o perfil P19, caracteriza-se pelos baixos cromas dos horizontes espódicos, bem desenvolvidos e formados por lamelas negras e amarronzadas que se intercalam. Do perfil P18 ao P20 a altura do lençol freático se eleva até se manifestar a 0,40 m de profundidade neste último. Uma extensa área úmida de cerca de 800 m, com lençol à superfície durante todo o ano, sucede o perfil P20 até alcançar superfícies mais elevadas, com feições de cordões (largura média de 6 m e altura de 1 m) e entre-cordões que se alternam por cerca de 300 m. Nestes cordões litorâneos, os Espodossolos se caracterizam pelo crescente dismantelamento do B espódico à medida que se aproxima da praia, até alcançar uma estreita faixa relativamente plana de aproximadamente 70 m dominada por Espodossolos com máximo grau de dismantelamento (perfil P24 e P25), os quais evoluem para Neossolos Quartzarênicos Órticos espódicos juntamente com uma sutil e suave elevação da paisagem (0,40 m) e expressiva manifestação de estratificações plano-paralelas de minerais pesados na base do perfil.

A evolução do dismantelamento dos Espodossolos nos cordões, entre-cordões e superfícies relacionadas se dá, inicialmente, pela transição irregular entre os horizontes E e Bh (Perfil P21; Figura 2.3f) manifesta pela presença de interpenetrações do primeiro no B espódico (“tonguing”); este inicialmente contínuo, transicionando para àqueles descontínuos, cada vez menos espessos e com menores conteúdos de carbono orgânico (perfis P23 e P24; Figura 2.3h). No entanto, os Espodossolos são mais preservados nas situações de entre-cordões (Perfil P22; Figura 2.3g), fato também constatado por Gomes et al. (1998) para ambientes de restinga do Estado do Rio de Janeiro, devido à maior umidade condicionada pelo lençol freático mais próximo à superfície em relação àqueles situados nos cordões, o que sugere que o atual estágio de dismantelamento foi motivado ou acelerado, além de outros fatores, pelo abaixamento definitivo do nível de base local. Em contraposição, pode-se argumentar que a mais forte expressão morfológica do Espodossolo referente ao perfil P17, formado em sedimentos pleistocênicos da Formação Cananéia, sem sinais de dismantelamento mesmo de drenagem livre, é decorrente do

maior tempo de formação a que foram submetidos e/ou das condições climáticas pretéritas mais adequadas que as atuais, favorecendo seu maior desenvolvimento em relação aos solos mais recentes, oriundos de sedimentos holocênicos e, conseqüentemente, sua melhor preservação nas paisagens atuais.

A aproximadamente 10 m da área onde se situa o perfil P25 emerge abruptamente uma duna, estabilizada pela vegetação de escrube, de inclinação superior a 45 % na sua face voltada a este perfil e cerca de 8 m acima do mesmo (Figura 2.2b). O perfil P26 (Apêndice), descrito e amostrado no seu topo, caracteriza-se pela ausência completa de podzolização, mesmo que incipiente, intensa estratificação cruzada de minerais pesados a partir de 0,60 m da superfície e coloração amarelada por todo o perfil, tornando-se mais pálida com a profundidade.

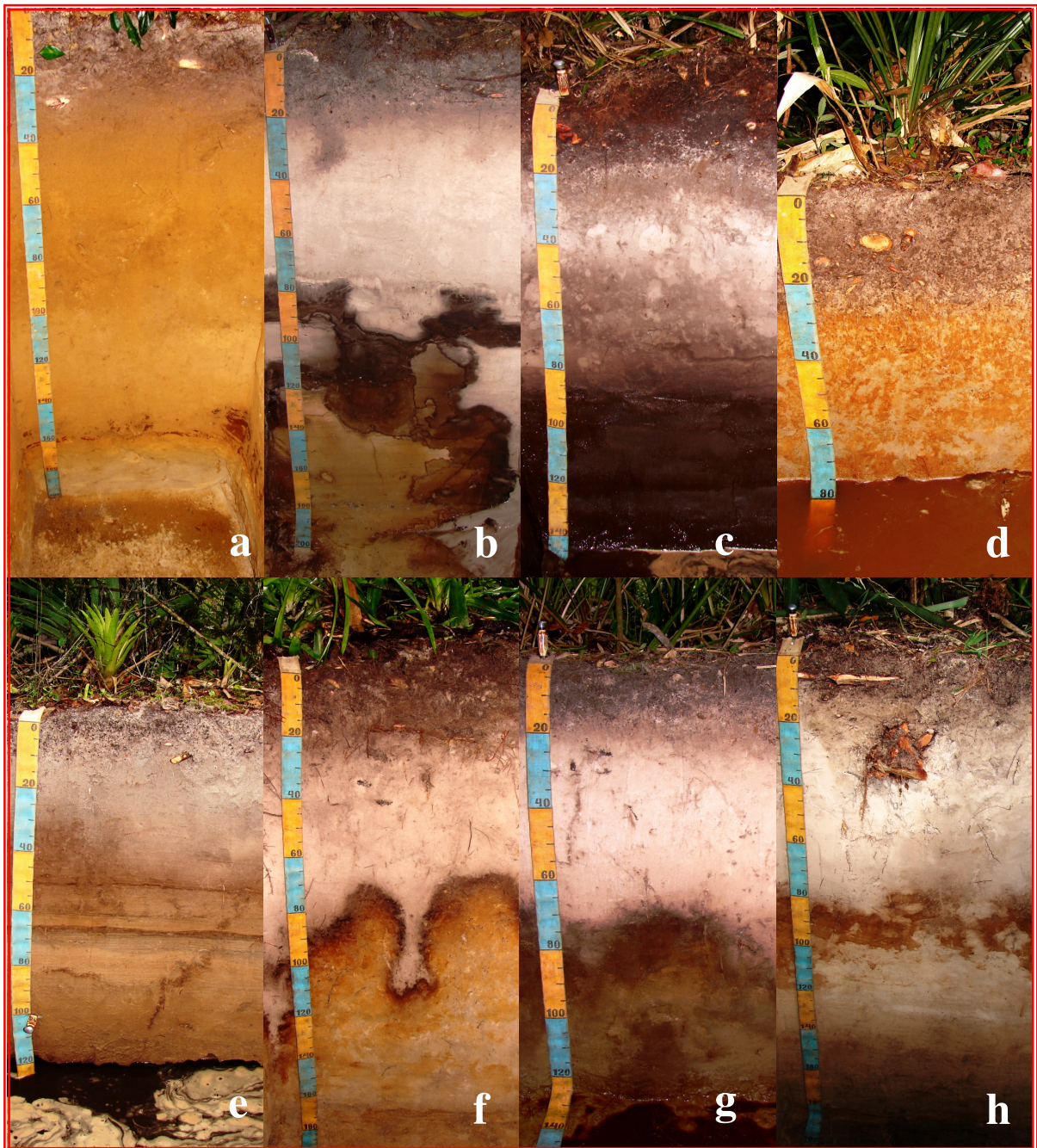


Figura 2.3 – Fotos de perfis selecionados: (a) Perfil P1 (Neossolo Quartzarênico - Bertioga). Notar Bhm remanescente na sua base; (b) Perfil P3, Bertioga. Espodosolo Ferrihumilúvico bem drenado com grande diversidade e variabilidade espacial de seus horizontes; (c) Perfil P10, Bertioga. Espodosolo Humilúvico mal drenado. Notar água na base da trincheira, transições paralelas entre horizontes e relativa homogeneidade dos horizontes espódicos. (d) Perfil P12, Bertioga. Neossolo Quartzarênico Hidromórfico com segregações de ferro; (e) Perfil P18, Ilha Comprida. Espodosolo Humilúvico em incipiente estágio de formação. Notar estratificações de minerais pesados; (f) Perfil P21, Ilha Comprida. Espodosolo Ferrihumilúvico situado no topo do cordão, com transição E-Bh irregular e horizontes espódicos em dismantelamento; (g) Perfil P22, Ilha Comprida. Espodosolo Humilúvico situado no entre-cordão. Notar maior preservação do B espódico em relação ao anterior e água na base da trincheira; (h) Perfil P24, Ilha Comprida. Espodosolo Ferrilúvico em avançado estágio de dismantelamento

A seqüência de Cananéia, com dimensão aproximada de 1.000 m, caracteriza-se pela presença comum de horizontes ortstein; estes ocorrendo a profundidades que variam entre 0,50 e 1,0 m a partir da superfície, exceção feita ao perfil P28, de maior diversidade e variabilidade entre seus horizontes espódicos nesta seqüência, de consistência firme naqueles mais próximos à superfície, tornando-se muito friável em profundidade (Apêndice). Os horizontes ortstein aqui descritos são os de maior consistência de todos os solos estudados: extremamente duros quando secos e extremamente firmes quando úmidos.

As observações de campo evidenciaram que os solos estudados, sobretudo os Espodossolos, são morfologicamente muito variados. De um modo geral, pode-se afirmar que essa variabilidade está predominantemente relacionada aos fatores tempo e relevo na sua formação. O primeiro condiciona o intervalo necessário para que os processos atuem na formação dos Espodossolos e evolução das paisagens locais, de tal forma que, os mais antigos e bem drenados, situados nas cotas mais elevadas das paisagens e originados em sedimentos pleistocênicos, mostram-se com acentuada variabilidade espacial, tanto lateral como vertical. Aqueles mais recentes, em geral sujeitos a um hidromorfismo temporário ou permanente, são mais homogêneos, com horizontes contínuos e paralelos à superfície do terreno. Eventuais alterações do nível de base local e/ou de direção dos fluxos hídricos promovem o completo dismantelamento dos horizontes espódicos, mesmo daqueles cimentados, restando Neossolos Quartzarênicos intermediários para Espodossolos que evoluem para o típico da classe, predominantemente de coloração amarelada, evidência da mobilização e distribuição homogênea de ferro nos solos e sedimentos. Essas areias amarelas também foram descritas nas porções mais jovens da paisagem atual, próximo às praias e sob vegetação de escrube, sugerindo que, tanto o elemento está presente nos estádios finais e iniciais do processo de podzolização, como a evolução dos solos nas restingas arenosas quaternárias se dá de maneira cíclica, convergindo para solos semelhantes nas situações extremas de evolução da paisagem e desenvolvimento dos solos. Esse ciclo, no entanto, parece mais curto nas Espodossolos mais jovens, como pode ser observado naqueles descritos e amostrados em Ilha Comprida, os mais jovens aqui estudados, muitos deles em avançado estágio de dismantelamento. Esse fato associado às datações ao radiocarbono aqui realizadas e apoiado pelos estudos paleoclimáticos no Estado de São Paulo, sugerem que as condições edafoclimáticas pretéritas, diferente das atuais, foram mais pujantes ao processo de podzolização, as quais condicionaram o início ou a completa formação dos

Espodossolos mais evoluídos que ainda permanecem nas restingas arenosas quaternária paulistas, como aqueles dotados de horizontes ortstein. O rebaixamento definitivo do nível de base local, seja por processos naturais ou antrópicos, comum nessas áreas de intensa especulação imobiliária, parece favorecer a grande diversidade e variabilidade espacial dos horizontes espódicos nos perfis mais antigos (perfil P3) e o dismantelamento daqueles mais recentes (perfis P23, P24 e P25).

No campo, um perfil em estágio incipiente de formação dos horizontes B espódicos (P13 e P18) é facilmente distinguido daqueles em estágio oposto de evolução: enquanto os primeiros apresentam horizontes contínuos, geralmente com transições onduladas e claras entre os horizontes E e aqueles sotopostos, com início de acumulação de material organo-sesquioxídico, de colorações brunadas e presença de estratificação de minerais pesados se originalmente existente no sedimento de partida, os horizontes espódicos nos Espodossolos que se encontram nos estádios finais de dismantelamento são, em geral, descontínuos lateralmente, ou se mostram continuidade, isso ocorre apenas nos mais superficiais. Estes apresentam forte interpenetração do horizonte E no espódico sotoposto, configurando uma típica transição irregular entre esses horizontes. Os tons amarelados e as transições abruptas predominam nos horizontes espódicos dismantelados, os quais são destituídos de estratificações de minerais pesados, possivelmente já obliteradas pela pedogênese.

As observações de campo, as datações radiocarbônicas e as realizadas por luminescência permitiram genericamente inferir que a presença e o tipo de ortstein (Bhm e Bsm) estão relacionados tanto a idade quanto às condições de drenagem. Assim, apenas os Espodossolos mais antigos apresentam ortstein desde que as condições de drenagem atual favoreçam sua permanência: se mal drenados permanecem nas paisagens atuais e se mostram de colorações marrom escuro ou negro, de baixo croma (Bhm); se bem drenados manifestam horizontes ortstein mais claros, sobretudo em profundidade, com algum conteúdo de ferro (Bsm), o que lhes imprime tons amarelados na base do perfil. Nessas condições, horizontes plácicos também ocorrem e, em geral, são negros, manifestando os maiores conteúdos de carbono e alumínio do perfil. Variações semelhantes de tonalidades dos horizontes espódicos em função da drenagem foram descritas por Gomes et al. (1998) para Espodossolos sob vegetação de restinga do Estado do Rio de Janeiro. Se bem drenados e sob intensos fluxos hídricos laterais favorecidos pelo relevo, há um completo desaparecimento de todos os horizontes espódicos, inclusive dos

ortsteins, evoluindo para horizontes do tipo C e de tonalidades amarelas, típico dos Neossolos Quartzarênicos Órticos sob vegetação de restinga, alguns deles com remanescentes de ortstein. Tais situações e variações de drenagem foram condicionadas pela variação do nível de base e/ou relevo local que, por sua vez, estão relacionados à dinâmica geológica/sedimentar desses ambientes costeiros.

2.2.2.3 Solos: Química e Granulometria

Os dados químicos e granulométricos (Tabela 2.3) dos perfis estudados mostram tendências similares àqueles descritos por Gomes (2005) na Ilha do Cardoso (SP) e Rossi (1999) e Moreira (2007) para os solos sob vegetação de restinga do município de Bertiooga: textura essencialmente arenosa, baixos valores de soma (SB) e saturação por bases (V), dominância de solos extremamente a fortemente ácidos, capacidade de troca de cátions (T) altamente dependente da matéria orgânica (Figura 2.4) e saturada com Al trocável, sobretudo nos horizontes espódicos. Esses atributos refletem a influência tanto do material de origem como do processo pedogenético predominante nesses ambientes: a podzolização. Enquanto o primeiro, originalmente quartzoso e com baixos conteúdos de minerais facilmente intemperizáveis, imprime a pobreza em nutrientes e a textura arenosa aos solos, praticamente destituídos de argila e predominância da fração areia fina e muito fina bem selecionada (VILLWOCK, 2005), os atributos mais marcantes e relativos à podzolização são o expressivo acúmulo de carbono orgânico (C) e alumínio em profundidade, típico dos Espodossolos. Em conseqüência, os valores de SB e de V são consideravelmente superiores nos horizontes A (SB mínimo, máximo e média de 0,2; 3,6 e 1,3 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$; V mínimo, máximo e média de 3; 87 e 22, respectivamente) comparativamente aos B espódicos (SB mínimo, máximo e média de 0,0; 1,7 e 0,6 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$; V mínimo, máximo e média de 0; 100 e 11, respectivamente) uma vez que os cátions básicos (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e Na^+) são constantemente incorporados aos horizontes superficiais via ciclagem de nutrientes e não se acumulam nos horizontes espódicos, dominados por Al trocável.

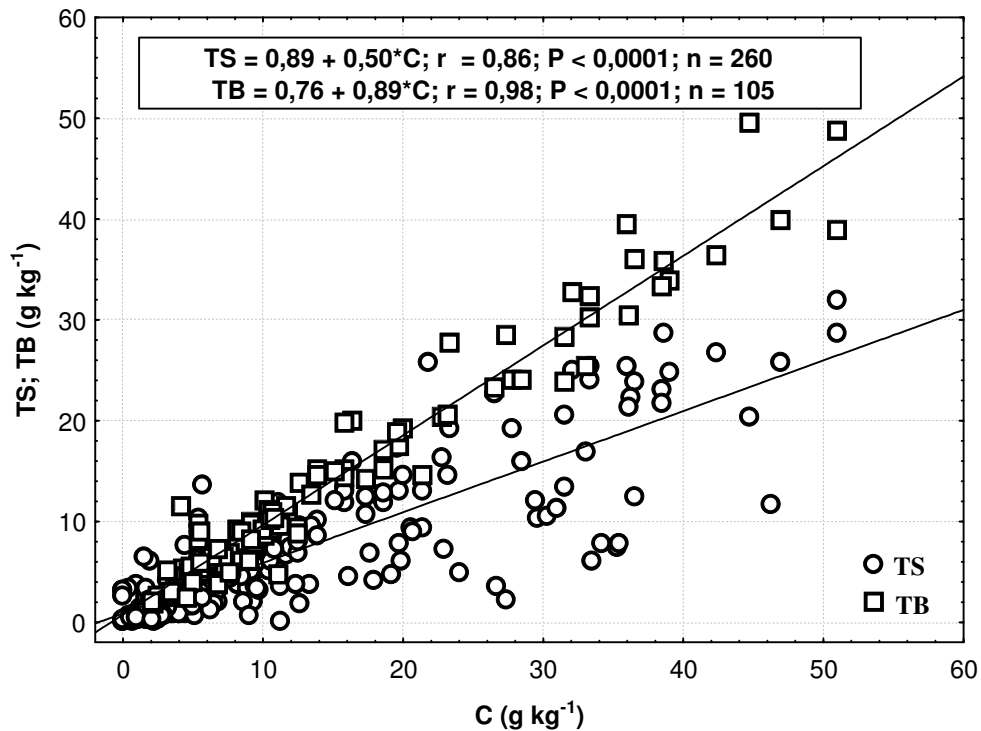


Figura 2.4 – Relação entre a capacidade de troca de cátions (T) e o carbono orgânico (C). TS refere-se a todos os horizontes e perfis estudados; TB: apenas aos horizontes espódicos

Nos Espodossolos, em geral, os valores de pH tendem a ser mais elevados nos horizontes E por serem lavados e praticamente destituídos de material orgânico (GOMES et al., 1998), a mais provável fonte de acidez nesses solos; daí os valores mínimo, máximo e a média de pH nos horizontes espódicos da seqüência de Ilha Comprida, respectivamente 4,3; 6,0 e 5,0, serem superiores àqueles de Bertioiga (3,1; 5,3 e 4,4) e Cananéia (3,7; 5,2 e 4,4), já que os conteúdos de carbono orgânico acompanham essas tendências (Tabela 2.3). De fato, a seqüência de Ilha Comprida mostra os horizontes B espódicos com os menores conteúdos de C (mínimo, máximo e a média respectivamente de 2,01; 12,40 e 6,13 g kg⁻¹) comparativamente à Bertioiga (2,19; 51,00 e 15,07 g kg⁻¹) e Cananéia (5,56; 50,94 e 22,08 g kg⁻¹). Esta última apresenta os mais antigos Espodossolos aqui estudados, sugerindo que o tempo pode ser um fator responsável pelo maior acúmulo e estabilidade de carbono nos Espodossolos, fato já constatado por Skjemstad et al. (1992) para solos semelhantes sob dunas na Austrália. Segundo os autores, os horizontes espódicos mais antigos mostraram dominância de matéria orgânica com estruturas aromáticas, estáveis, as quais são fortemente associadas e flocladas por Al, imprimindo coloração negra aos horizontes. A maior proporção relativa de horizontes ortstein nos solos de Cananéia comparativamente às demais seqüências estudadas, de elevado grau de consistência, cimentação e

estabilidade estrutural, predominantemente de colorações negras (Apêndice) e com os mais elevados teores das diferentes formas de Al no perfil (Tabela 2.3), sugerem similaridades às constatações de Skjemstad et al. (1992), de tal forma que permanecem intactos nas paisagens atuais e apenas naquelas mais antigas, tal como aqui evidenciado com as idades dos solos e sedimentos.

Bronick et al. (2004), baseando-se em estudos realizados nos Estados Unidos e Canadá, afirmam que alguns milhares de anos são requeridos para cimentar horizontes espódicos. No entanto, é de se supor que, além do tempo, condições ambientais adequadas desempenham papel preponderante na formação e manutenção desses horizontes, fato já constatado por vários autores (PAGÉ; GUILLET; 1991; SKJEMSTAD et al.; 1992; THOMPSON et al, 1996; KACZOREK et al., 2004).

A relação molar C/Al_p é fortemente dependente do grau de humificação e química da matéria orgânica, mas pode proporcionar uma medida do grau de saturação por Al no húmus (GARCÍA-RODEJA et al., 2004). Para os horizontes superficiais do tipo A, esse valor é elevado (mínimo de 8,3 e máximo de 938, 3) e, em média, muito superior àquele dos horizontes espódicos (mínimo de 1,5 e máximo de 45,3), o que pode ser explicado pelo menor grau de humificação da matéria orgânica dos horizontes superficiais. A variação significativa dessa relação para os horizontes espódicos é condizente com a sua diversidade morfológica (Apêndice) e química (Tabela 2.3) e deve refletir tanto o tipo de matéria orgânica como as condições ambientais em que foram formados. De fato, os mais baixos valores são constatados para os horizontes do tipo Bs, geralmente situados na base dos perfis bem drenados, fato também constatado por Jansen, Nierop e Verstraten (2005) e Mokma e Buurman (1982) para Espodossolos de clima frio, indicando que a alta saturação por Al pode estar relacionada às boas condições de drenagem e/ou ao tipo de matéria orgânica. A influência de ambos os fatores na relação entre C e Al de horizontes espódicos já foi relatada por vários autores (DE CONINCK, 1980; FARMER, 1982; SKJEMSTAD et al., 1992; GARCÍA-RODEJA et al., 2004).

García-Rodeja et al. (2004) trabalhando com horizontes superficiais de Andossolos europeus sugeriram que a baixa saturação por Al no húmus de alguns de seus solos estava relacionada tanto à má drenagem como às baixas temperaturas, condicionantes de uma matéria orgânica menos decomposta. As maiores relações C/Al_p aqui verificadas nos horizontes espódicos se encontram nos horizontes Bh do perfil P20 ($C/Al_p = 45,3$) e Bhg do perfil P30

($C/Al_p = 44,0$). Enquanto o primeiro é um dos poucos horizontes espódicos aqui estudados que atualmente permanece inundado durante a maior parte do ano, o exíguo horizonte Bhg (perfil P30), assim designado pelas tonalidades acinzentadas, encontra-se assentado sobre horizonte ortstein, este praticamente impermeável devido à baixa porosidade, condicionando, para ambos os horizontes, o hidromorfismo necessário à lenta decomposição e jovialidade da matéria orgânica, bem como a sua baixa saturação por Al (SKJEMSTAD et al., 1992).

Em termos gerais, os horizontes Bs num perfil, facilmente identificados no campo pela coloração em tons amarelados, caracterizam-se pelos mais baixos conteúdos de carbono orgânico e menor relação C/Al_p , mais elevados valores de pH e das diferentes formas de Fe, condições químicas significativamente diferenciadas daquelas dos horizontes do tipo Bh, o que corrobora a assertiva acima de que esses horizontes foram formados em condições ambientais diferenciadas e, conseqüentemente, diferentes mecanismos de podzolização podem ter atuado no desenvolvimento de um mesmo perfil ou entre diferentes perfis, basicamente condicionado pela presença ou ausência de hidromorfismo e variações nos valores de pH, que por sua vez definem tipo de interação metal/matéria orgânica e a permanência do elemento Fe no sistema.

No capítulo dois deste trabalho se evidenciou a ocorrência de materiais inorgânicos de Al pouco cristalinos em alguns horizontes Bs, Bhs, Bsm e Bh bem drenados aqui estudados devido às condições químicas favoráveis, predominantemente valores de pH (próximos à 5,0), o que favorece a formação e estabilização de amorfos inorgânicos de Al em detrimento da complexação do elemento à matéria orgânica do solo (SHOJI et al., 1982; SHOJI; FUJIWARA, 1984). No entanto, os baixos valores médios de pH (4,5) dos horizontes espódicos aqui estudados sugerem que a química é mais favorável à interação Al-matéria orgânica, sobretudo para horizontes Bh e Bhm, de menores valores de pH e praticamente destituídos de Fe. Este elemento está presente, sobretudo, nos horizontes superficiais do tipo A de todos os perfis estudados, bem como nos diagnósticos subuperficiais Bhs, Bsm, Bs e plácico e, em geral, mostra-se com conteúdos inferiores ao do Al (Tabela 2.3).

Shoji e Fujiwara (1984) mostraram que a formação de complexo de Fe-húmus ocorre intensivamente a valores de pH inferiores a 4 unidades, onde o íon Fe^{3+} é a espécie dominante do elemento. Devido à maioria das amostras aqui estudadas e que manifestaram algum conteúdo de Fe mostraram valores médios de pH superiores a 4,4, é de se esperar que a contribuição do Al à acumulação de húmus seja muito superior que aquela do Fe, o que realmente ocorre para a

maioria dos solos aqui estudados. No entanto, os extratores ditonito-citrato (DC), oxalato e pirofosfato de sódio extraíram conteúdos similares para a maioria dos horizontes espódicos (Tabela 2.3), o que sugere que Fe está na forma predominantemente amorfa e unida à matéria orgânica, já que o DC é um extrator efetivo para óxidos de ferro livre nos solos sem discriminação de fases (MEHRA; JACKSON, 1960; FARMER; RUSSEL; SMITH, 1983), enquanto oxalato extrai a maior parte das formas amorfas de Fe e Al, incluindo aquelas associadas ao húmus. Esta última é mais especificamente removida pelo reagente pirofosfato de sódio (MAcKEAGUE, 1967; FARMER; RUSSEL; SMITH, 1983).

A ação da acidez controlando a formação de complexos Fe-húmus pode ser verificada com a análise dos perfis P12 e P14 de Bertioaga. O P12, um Neossolo Quartzarênico com expressiva segregação de Fe na forma de mosqueados, mostra relações Fe_p/Fe_d acima de 0,6 nos quatro primeiros horizontes superficiais (A1, A2, AE e C), com valores de pH variando de 3,74 a 4,38 (Tabela 2.3). No entanto, há uma redução significativa desta relação em profundidade (relação Fe_p/Fe_d de 0,3 no horizonte Cg1 e de 0,1 no Cg2), o que é acompanhado pelo aumento do pH ($> 4,75$), evidenciando que sob condições menos ácidas, formas inorgânicas do elemento (Fe_d) prevalecem sobre as orgânicas (Fe_p). Fato semelhante é constatado para o perfil P14, um Espodossolo em incipiente estágio de desenvolvimento. Enquanto o horizonte Bh deste perfil mostra valor de Fe_p superior aos de Fe_d e Fe_o (Tabela 2.3), portanto com relação Fe_p/Fe_d superior a 1,0 a pH próximo a 4,0 (4,38), nos horizontes Bs (Bs1 e Bs2) e C sotopostos (C1 e C2) essa relação é significativamente reduzida (inferior a 0,4), juntamente com o aumento crescente do pH em profundidade (mínimo de 4,94 e máximo de 5,62). Essas relações dos extratores entre si e deles com os valores de pH considerados adequados à interação carbono-metal, evidenciam a habilidade e relativa especificidade dos reagentes utilizados na extração de formas de Fe e Al nos solos sob vegetação de restinga.

Uma vez que carbono orgânico é a principal fonte de acidez desses solos, é de se esperar que os maiores valores de pH sejam encontrados nos horizontes inferiores dos perfis ou de menor acúmulo de carbono orgânico iluvial, como se dá nos horizontes Bs, C e alguns Bhs aqui estudados, o que inclui os acima relatados para os perfis P12 e P14, em geral com conteúdos de C inferiores a 10 g kg^{-1} . Em conseqüência, a ocorrência de formas inorgânicas de Fe e Al fica predominantemente restrita a esses horizontes, tal como evidenciado acima (perfis P12 e P14) para o elemento Fe e no capítulo 2 deste trabalho para Al. No entanto, é provável que a química e

o grau de humificação diferenciados da matéria orgânica nos contrastantes e variados horizontes espódicos aqui estudados (Tabela 2.3), tal como relatado anteriormente, imprimam variadas condições de acidez e capacidade de retenção de metais aos solos, de tal forma que, mesmo a valores de pH diferentes daqueles considerados ótimos a interação carbono/metálico, formas orgânicas dos metais prevalecem.

Os valores de Al e Fe extraídos por ditionito-citrato (Al_d ; Fe_d), oxalato (Al_o ; Fe_o) e pirofosfato (Al_p , Fe_p) apresentam uma clara tendência de acumulação nos horizontes iluviais (horizonte B) em relação aos horizontes A, E e C dentro de cada perfil. Essa tendência é acompanhada pela similar capacidade de extração desses extratores, com relações Al_o/Al_p e Fe_p/Fe_d próximas a 1 para a maioria dos horizontes espódicos estudados (Tabela 2.3), sugerindo que o clássico mecanismo de mobilização, transporte e precipitação de complexos organometálicos iluviais na formação dos Espodossolos parece ser atuante nos perfis estudados, tal como amplamente relatado nos mais abrangentes e recentes estudos sobre o tema (SAUER et al., 2007; BUURMAN; JONGMANS, 2005; JANSEN; NIEROP; VERSTRATEN, 2005; LUMDSTRÖM; van BREEMEN; BAIN, 2000; LUMDSTRÖM et al., 2000).

Aspectos relativos aos mecanismos envolvidos na (i)-mobilização dos elementos e diferenciação dos horizontes espódicos durante os processos de podzolização são discutidos no quinto capítulo deste trabalho.

Tabela 2.3 – Dados químicos e granulométricos dos perfis estudados

(continua)

Hor. ¹	Prof. ²	Granulometria ³				C	pH	SB	Al ³⁺	T	V	m	Fe _d	Fe _o	Fe _p	Al _o	Al _p	Fe _p /Fe _d ⁴	Al _o /Al _p ⁵	C/Al _p ⁶
		AG	AF	Silte	Arg															
cm		-----g kg ⁻¹ -----				---cmol _c kg ⁻¹ ---			----%----		-----g kg ⁻¹ -----									
BERTIOGA - Perfil P1 – NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico típico, A moderado, excessivamente drenado																				
A1	0-8	106	830	44	20	19,83	4,2	1,3	0,9	6,5	20	41	0,83	0,62	1,02	0,22	0,32	1,2	0,7	62,0
A2	8-25	90	812	78	20	17,57	4,0	1,0	1,0	7,2	13	52	1,61	1,31	1,37	0,44	0,54	0,8	0,8	32,5
AC	25-38	82	836	62	20	9,69	4,5	0,9	0,7	5,6	15	45	2,43	2,31	2,27	1,19	1,17	0,9	1,0	8,3
CA	38-84	80	828	72	20	8,18	4,8	0,8	0,3	5,3	15	25	2,73	2,58	2,96	3,35	3,59	1,1	0,9	2,3
C1	84-140	60	854	66	20	3,94	4,9	0,8	0,3	3,5	23	25	1,56	1,27	1,51	2,75	2,13	1,0	1,3	1,8
C2	140-160	50	882	48	20	3,63	4,9	0,8	0,3	3,6	23	23	1,35	1,19	1,28	3,02	2,09	0,9	1,4	1,7
C3	160-175	116	792	72	20	3,33	4,7	1,0	0,3	3,8	27	20	1,70	1,79	1,55	3,88	2,18	0,9	1,8	1,5
C4	175-210	60	902	18	20	...	4,8	0,9	0,1	2,2	41	8	0,38	0,36	0,29	1,68	0,83	0,8	2,0	3,3
BERTIOGA - Perfil P2 – ESPODOSSOLO FERRIHUMILÚVICO Órtico espessarênico, A moderado, textura arenosa, acentuadamente drenado																				
A1	0-13	102	780	98	20	20,61	3,8	0,7	3,7	9,1	8	84	1,69	1,18	1,28	0,71	0,74	0,8	1,0	28,0
A2	13-28	90	808	82	20	19,68	4,2	0,4	2,6	7,7	5	87	2,24	1,67	2,15	1,90	2,37	1,0	0,8	8,3
AE	28-63	86	850	44	20	9,37	4,7	0,3	0,8	3,3	8	74	1,06	1,72	1,85	2,51	2,40	1,7	1,0	3,9
E	35-82	108	866	6	20	2,19	5,4	0,3	0,0	0,5	63	3	0,25	0,11	0,15	0,20	0,24	0,6	0,8	9,1
EB	60-84	98	858	24	20	4,06	4,9	0,2	0,2	1,2	20	46	1,39	0,92	1,16	0,00	0,00	0,8	..	..
Bhs1	67-90	80	850	60	10	6,72	4,8	0,3	0,5	3,3	8	62	3,77	3,74	3,52	1,33	1,23	0,9	1,1	5,5
Bhs2	74-116	76	842	72	10	9,76	4,9	0,2	0,6	4,4	6	71	2,42	3,68	3,92	3,96	3,65	1,6	1,1	2,5
Bhs3	116-140	74	842	44	40	9,06	5,0	0,2	0,5	4,9	3	77	1,82	3,06	3,92	4,61	5,33	2,2	0,9	1,7
Bhs4	114-128	96	798	66	40	12,49	4,9	0,3	1,0	6,7	4	81	3,29	4,59	5,66	5,55	7,89	1,7	0,7	1,6
Bhs5	128-153	62	880	38	20	4,41	5,1	0,1	0,2	4,4	3	62	0,85	1,18	1,23	3,47	2,25	1,4	1,5	1,8
Bhs6	126-152	68	856	56	20	6,10	5,2	0,3	0,4	4,8	6	61	1,32	1,57	1,53	4,44	2,88	1,2	1,5	2,1
Bhs7	140-200	82	858	40	20	4,84	5,3	0,3	0,3	2,7	10	52	0,63	0,72	0,84	4,13	2,40	1,3	1,7	2,0
C1	161-180	84	890	16	10	1,25	5,6	0,6	0,0	1,0	60	6	0,36	0,52	0,61	1,31	0,90	1,7	1,5	1,4
C2	180-200	66	870	54	10	3,90	5,3	0,2	0,2	2,4	9	43	0,39	0,72	0,67	5,43	2,12	1,7	2,6	1,8

Tabela 2.3 – Dados químicos e granulométricos dos perfis estudados

Hor. ¹	Prof. ²	Granulometria ³				C	pH	SB	Al ³⁺	T	V	m	Fe _d	Fe _o	Fe _p	Al _o	Al _p	(continuação)		
		AG	AF	Silte	Arg													Fe _d ⁴	Al _p ⁵	C/ Al _p ⁶
		cm	g kg ⁻¹															cmol _c kg ⁻¹	%	g kg ⁻¹
BERTIOGA - Perfil P3 - ESPODOSSOLO FERRIHUMILÚVICO Órtico dúbico, A moderado, textura arenosa, bem drenado																				
A1	0-6	24	846	90	40	36,52	4,2	2,8	0,4	12,9	22	12	0,22	0,13	0,06	0,00	0,00	0,3	..	..
A2	6-13	48	908	24	20	13,33	4,4	1,0	0,8	4,1	25	42	0,12	0,00	0,00	0,00	0,00	..	..	..
EA	13-25	28	942	10	20	2,12	4,6	1,0	0,2	1,7	57	14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	..	..	..
E1	25-71	16	956	8	20	0,61	5,7	1,0	0,0	1,1	98	1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	..	..	..
E2	106-180	92	882	6	20	0,30	5,5	1,0	0,0	1,0	100	2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	..	..	..
EB	94-113	74	900	6	20	1,21	5,3	1,0	0,1	1,8	56	9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	..	..	..
BE1	71-82	56	726	138	80	8,78	5,2	1,3	1,0	6,8	20	42	0,07	0,00	0,00	0,47	0,47	..	1,0	18,9
BE2	73-91	80	718	142	60	18,17	4,6	1,1	2,3	13,0	8	69	0,00	0,00	0,00	1,49	1,46	..	1,0	12,4
Bh1	82-119	98	840	42	20	19,69	4,3	1,0	2,5	13,4	8	71	0,00	0,00	0,00	1,45	1,49	..	1,0	13,3
Bh2	107-125	84	870	26	20	11,51	4,5	1,0	1,7	9,2	11	63	0,00	0,00	0,00	0,89	0,86	..	1,0	13,5
Bh3	135-170	...	...	...	...	11,81	4,5	1,0	1,9	8,6	12	65	0,00	0,00	0,00	0,73	0,81	..	0,9	14,6
Bhm1	89-125	98	806	76	20	36,52	4,2	1,0	4,0	24,2	4	80	0,00	0,00	0,00	3,11	3,27	..	0,9	11,2
Bhm2	120-142	92	778	70	60	22,72	4,7	0,9	1,9	16,7	5	68	0,00	0,00	0,00	4,44	4,83	..	0,9	4,7
Bs1	107-125	108	864	8	20	5,45	4,8	1,0	0,7	5,7	17	41	0,00	0,00	0,00	0,87	0,86	..	1,0	6,4
Bs2	125-180	86	876	18	20	4,24	5,2	0,8	0,4	5,5	15	31	0,16	0,12	0,10	3,21	1,91	0,6	1,7	2,2
Bsm1	122-144	92	816	72	20	19,99	4,6	1,0	2,4	14,9	7	70	0,09	0,06	0,05	2,64	2,87	0,5	0,9	7,0
Bsm2	153-180	72	868	40	20	8,18	5,2	1,0	0,4	8,2	12	30	0,09	0,00	0,00	6,17	3,20	..	1,9	2,6
Bsm3	132-170	106	834	40	20	11,02	4,7	1,2	0,8	11,5	10	40	0,00	0,00	0,00	4,05	2,82	..	1,4	3,9
Bsm4	157-180	78	860	42	20	15,75	4,8	0,9	1,4	12,3	8	61	0,19	0,19	0,14	4,45	3,20	0,7	1,4	4,9
Plácico	..	...	...	...	...	35,89	4,1	1,0	4,0	25,8	4	81	0,24	0,19	0,19	3,83	3,99	0,8	1,0	9,0
BERTIOGA - Perfil P4 – ESPODOSSOLO FERRIHUMILÚVICO Hidromórfico dúbico, A moderado, textura arenosa, imperfeitamente drenado																				
A	0-18	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
AE	18-26	162	792	26	20	6,09	4,0	0,6	1,3	3,2	20	67	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	..	..	..
EA	26-37	122	838	20	20	3,44	4,5	0,5	0,4	1,1	45	44	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	..	..	..
E	37-50	116	852	22	10	2,19	5,0	0,5	0,0	0,5	100	2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	..	..	..
EB	50-59	...	...	...	...	5,15	5,2	0,7	0,2	1,0	67	23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	..	..	..
Bh	59-82	112	690	178	20	44,66	3,9	0,8	10,9	20,8	4	93	0,00	0,00	0,00	2,90	3,63	..	0,8	12,3
Bhm1	95-137	28	830	122	20	31,55	3,6	0,7	5,1	13,7	5	89	0,21	0,19	0,16	4,75	3,95	0,8	1,2	8,0
Bhm2	113-150	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Bs	130-160	16	944	30	10	5,47	3,8	0,6	2,2	4,5	14	77	0,28	0,26	0,18	1,39	0,78	0,6	1,8	7,0
Bhs1	73-134	114	686	180	20	38,42	3,5	0,8	10,4	22,0	4	93	0,12	0,12	0,12	3,52	3,62	1,0	1,0	10,6
Bhs2	134-160	...	...	...	...	36,23	3,5	0,7	14,9	22,6	3	95	0,34	0,34	0,50	4,83	6,54	1,5	0,7	5,5

Tabela 2.3 – Dados químicos e granulométricos dos perfis estudados

Hor. ¹	Prof. ²	Granulometria ³				C	pH	SB	Al ³⁺	T	V	m	Fe _d	Fe _o	Fe _p	Al _o	Al _p	Fe _p /Fe _d ⁴	Al _o /Al _p ⁵	C/Al _p ⁶
		AG	AF	Silte	Arg															
		cm	g kg ⁻¹																		cmol_{c} kg^{-1}	%	g kg^{-1}
BERTIOGA - Perfil P5 – ESPODOSSOLO FERRIHUMILÚVICO Órtico dúrico, A moderado, textura arenosa, bem drenado																				
A1	0-12	32	892	56	20	19,08	4,7	0,4	0,4	4,4	10	50	0,12	0,10	0,07	0,00	0,09	0,5	..	212,0
A2	12-27	34	880	66	20	11,21	4,3	0,2	0,4	3,3	7	65	0,12	0,12	0,11	0,00	0,18	0,9	..	62,3
E	27-57	28	930	22	20	0,63	4,5	0,2	0,1	0,5	46	19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	..	..	..
Bhg	57-75	22	846	72	60	10,70	4,0	0,6	1,6	7,2	8	73	0,15	0,15	0,12	0,87	0,95	0,8	0,9	11,3
Bh1	52-75	22	834	104	40	31,49	4,0	0,3	4,1	20,3	2	93	0,00	0,00	0,00	3,17	2,87	..	1,1	11,0
Bh2	63-80	26	816	98	60	33,37	3,9	0,2	5,0	23,7	1	96	0,00	0,00	0,00	3,04	3,51	..	0,9	9,5
Bh3	55-95	42	806	92	60	26,44	4,2	0,4	3,1	22,5	2	90	0,20	0,20	0,16	4,14	4,70	0,8	0,9	5,6
Bh4	126-150	100	734	126	40	32,11	4,4	0,3	2,2	24,7	1	88	0,55	0,47	0,36	10,45	8,16	0,7	1,3	3,9
Bh5	73-112	32	786	122	60	27,39	4,2	0,1	5,3	2,3	3	99	1,51	1,11	0,99	7,42	7,31	0,7	1,0	3,7
Bs1	78-101	68	830	62	40	12,59	4,7	0,4	0,5	9,3	4	60	5,43	6,84	5,77	8,57	5,69	1,1	1,5	2,2
Bs2	82-85	72	876	32	20	5,35	4,8	0,4	0,3	6,2	6	48	0,41	0,46	0,38	6,49	3,65	0,9	1,8	1,5
Bs3	95-126	56	846	58	40	10,07	4,6	0,3	0,5	8,8	4	62	2,76	3,31	3,24	7,86	5,07	1,2	1,6	2,0
Bs4	85-180	76	832	72	20	16,37	4,4	0,3	1,6	15,7	2	83	1,76	1,59	1,21	7,45	6,44	0,7	1,2	2,5
Bs5	130-150	234	704	42	20	3,15	4,8	0,3	0,2	3,8	8	35	0,37	0,36	0,28	5,77	1,98	0,7	2,9	1,6
Bs6	54-120	128	720	92	60	23,30	4,6	0,3	1,4	19,0	2	82	2,77	3,44	2,85	16,30	10,55	1,0	1,5	2,2
Bs7	155-180	48	832	80	40	13,85	4,7	0,3	0,5	9,9	3	61	0,77	0,88	0,81	10,62	7,23	1,0	1,5	1,9
C	54-112	174	760	46	20	1,57	5,1	0,4	0,1	2,2	16	25	0,12	0,00	0,00	2,34	0,84	..	2,8	1,9
Plácico	..	34	814	112	40	15,4	4,6	0,4	0,8	13,2	3	68	16,10	15,40	9,63	10,10	7,53	0,6	1,3	2,1
BERTIOGA - Perfil P6 – ESPODOSSOLO HUMULÚVICO Órtico espessarenico, A moderado, textura arenosa, acentuadamente/imperfeitamente drenado																				
A	0-15	54	894	32	20	5,35	4,6	0,4	0,1	2,3	16	25	0,14	0,00	0,00	0,00	0,00	..	..	..
AE	15-41	50	924	6	20	1,89	4,2	0,4	0,1	1,4	30	14	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	..	..	..
EA	41-71	46	926	8	20	1,26	4,6	0,3	0,0	0,4	72	11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	..	..	..
E	71-153	26	950	4	20	1,30	5,5	0,3	0,0	0,4	72	3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	..	..	..
Bhg	153-156	8	808	104	80	7,56	4,5	0,7	0,7	5,4	13	49	0,00	0,00	0,00	0,29	0,32	..	0,9	23,6
Bh1	156-165	10	800	110	80	39,04	3,8	1,6	4,2	24,5	6	72	0,00	0,00	0,00	1,79	1,83	..	1,0	21,3
Bh2	165-205	46	900	34	20	15,74	4,2	0,4	1,8	12,7	3	83	0,00	0,00	0,00	1,75	1,87	..	0,9	8,4
Bhm1	156-205	16	848	96	40	51,00	3,8	0,5	5,0	31,7	2	91	0,00	0,00	0,00	2,38	2,43	..	1,0	21,0
Bhm2	158-205	30	874	76	20	38,41	3,9	0,5	3,7	22,8	2	88	0,00	0,00	0,00	2,75	3,03	..	0,9	12,7

Tabela 2.3 – Dados químicos e granulométricos dos perfis estudados

Hor. ¹	Prof. ²	Granulometria ³				C	pH	SB	Al ³⁺	T	V	m	Fe _d	Fe _o	Fe _p	Al _o	Al _p	Fe _p /Fe _d ⁴	Al _o /Al _p ⁵	C/Al _p ⁶
		AG	AF	Silte	Arg															
		cm	g kg ⁻¹																		---cmol_{c} kg^{-1}---	---%---	g kg^{-1}
BERTIOGA - Perfil P7 – ESPODOSSOLO FERRIHUMILÚVICO Hidromórfico espessarênico, A moderado, textura arenosa, mal drenado																				
A1	0-8	40	822	118	20	...	4,3	2,8	2,6	21,2	13	48	0,53	0,20	0,08	0,32	0,13	0,2	2,4	...
A2	8-13	30	862	88	20	35,26	4,2	1,5	4,3	7,7	19	74	0,25	0,18	0,15	0,19	0,09	0,6	2,1	391,8
AE1	13-19	30	896	54	20	10,39	4,4	0,8	0,9	5,2	15	54	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	..	..	..
AE2	19-26	18	950	22	10	8,18	4,4	0,2	0,8	3,8	4	83	0,00	0,00	0,00	0,27	0,18	..	1,5	45,5
Bh1	26-37	14	938	38	10	11,65	4,2	0,7	1,7	6,7	10	71	0,00	0,00	0,00	0,52	0,68	..	0,8	17,3
Bh2	37-59	26	912	52	10	10,39	3,7	0,1	2,5	8,7	2	95	0,00	0,00	0,00	0,88	0,96	..	0,9	10,8
Bs	59-74	18	928	44	10	5,67	3,1	1,0	6,5	13,6	7	87	1,78	1,37	1,15	0,74	0,69	0,6	1,1	8,2
BCg	74-84	14	940	36	10	4,41	3,5	0,2	5,0	7,6	3	96	0,71	0,55	0,59	0,56	0,54	0,8	1,0	8,2
Cg	84-100	18	934	38	10	1,89	3,1	0,1	4,6	6,2	1	98	2,01	1,67	1,81	0,41	0,30	0,9	1,4	6,3
BERTIOGA - Perfil P8 – ESPODOSSOLO FERRIHUMILÚVICO Hidromórfico espessarênico, A moderado, textura arenosa, mal drenado																				
A1	0-13	14	770	196	20	76,81	3,7	1,7	1,8	21,5	8	50	0,38	0,25	0,43	0,28	0,44	1,1	0,6	176,6
A2	13-23	14	942	24	20	12,28	3,9	0,4	0,5	3,5	11	53	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	..	..	..
EA1	17-29	4	954	22	20	5,67	4,3	0,3	0,2	2,1	12	41	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	..	..	..
EA2	29-36	8	966	6	20	5,04	4,6	0,4	0,2	1,8	20	40	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	..	..	..
Bh1	36-42	6	936	38	20	17,31	4,2	0,3	2,3	10,4	3	88	0,07	0,03	0,03	0,85	0,85	0,5	1,0	20,4
Bh2	42-82	8	940	32	20	21,41	3,6	0,3	2,5	12,8	2	91	0,11	0,00	0,00	1,04	1,25	..	0,8	17,2
Bhs	53-93	10	912	58	20	10,39	3,4	0,3	2,7	11,0	2	91	0,33	0,27	0,23	1,09	1,07	0,7	1,0	9,8
Bs	93-114	30	936	14	20	4,41	3,6	0,3	1,5	5,0	5	85	0,25	0,24	0,20	0,57	0,56	0,8	1,0	7,9
BCg	114-129	32	886	62	20	5,35	3,1	0,3	4,9	9,2	3	94	1,32	1,32	1,26	0,47	0,47	1,0	1,0	11,5
Cg1	129-150	26	836	98	40	10,07	3,4	1,6	3,4	9,9	16	68	0,88	0,85	0,57	0,74	0,54	0,7	1,4	18,7
2Cg2	150-170	12	720	68	200	21,72	3,3	9,1	3,7	25,4	36	29	3,00	2,71	1,87	0,91	0,62	0,6	1,5	35,3

Tabela 2.3 – Dados químicos e granulométricos dos perfis estudados

Hor. ¹	Prof. ²	Granulometria ³				C	pH	SB	Al ³⁺	T	V	m	Fe _d	Fe _o	Fe _p	Al _o	Al _p	Fe _p /Fe _d ⁴	Al _o /Al _p ⁵	C/Al _p ⁶													
		AG	AF	Silte	Arg																												
		cm	g kg ⁻¹																		cmol _c kg ⁻¹			%			g kg ⁻¹						
		(continuação)																															
BERTIOGA - Perfil P9 – ESPODOSSOLO HUMILÚVICO Hidromórfico dúrico, A moderado, textura arenosa, muito mal drenado																																	
O	0-7	...	...	...	...	79,96	3,6	8,6	6,4	98,0	9	42	1,14	0,84	0,84	1,15	1,28	0,7	0,9	62,7									
A	7-12	...	...	...	...	17,00	3,7	2,6	4,2	58,0	5	62	0,17	0,15	0,15	0,34	0,42	0,9	0,8	40,5									
AE	12-17	12	842	126	20	29,59	3,9	0,4	1,3	10,4	4	74	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	..	..	..										
E	17-32	2	976	12	10	4,41	4,7	0,6	0,0	1,0	59	28	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	..	..	..										
BE	27-40	2	958	30	10	7,56	4,6	0,2	1,3	4,3	4	87	0,00	0,00	0,00	0,29	0,29	..	1,0	26,5													
Bh1	37-53	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	..	..	..
Bhm	46-89	4	920	56	20	27,70	3,8	0,8	4,5	19,3	4	85	0,11	0,00	0,00	1,91	2,18	..	0,9	12,7													
Bh2	89-106	16	924	50	10	10,70	4,1	0,1	2,6	11,1	1	95	0,00	0,00	0,00	1,26	1,26	..	1,0	8,5													
Bh3	106-130	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	..	..	..
BERTIOGA - Perfil P10 – ESPODOSSOLO HUMILÚVICO Hidromórfico espessarênico, A moderado, textura arenosa, mal drenado																																	
A	0-7	40	684	216	60	67,37	3,9	1,9	2,6	17,9	11	57	0,50	0,36	0,25	0,32	0,20	0,5	1,6	345,5													
AE	7-11	34	894	52	20	20,46	4,1	0,7	2,4	9,6	7	77	0,08	0,00	0,00	0,26	0,00	..	..	..										
EA	11-30	8	958	24	10	8,81	4,2	0,3	0,7	3,4	8	70	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	..	..	..										
E	18-48	6	980	4	10	1,26	4,9	0,4	1,4	0,6	62	79	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	..	..	9,7											
EB	35-74	12	970	8	10	1,57	4,7	0,6	1,6	1,7	33	74	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	..	..	..										
BE	60-83	10	978	2	10	4,09	4,5	0,1	0,8	3,1	5	84	0,14	0,00	0,00	0,26	0,13	..	2,0	31,5													
Bh1	83-103	28	920	42	10	15,11	3,9	0,2	4,3	12,2	1	97	0,00	0,00	0,00	0,21	0,66	..	0,3	22,9													
Bh2	90-117	28	934	28	10	19,52	4,1	0,1	4,5	17,4	0	99	0,12	0,00	0,00	0,78	1,23	..	0,6	15,9													
Bhm	117-150	22	930	28	20	18,57	4,1	0,1	4,7	12,0	0	99	0,00	0,00	0,00	0,84	1,38	..	0,6	13,5													
BERTIOGA – Perfil P11 - ESPODOSSOLO HUMILÚVICO Hidromórfico espessarênico, A moderado, textura arenosa, mal drenado																																	
A	0-14	10	978	2	10	17,31	4,4	0,3	0,9	12,7	3	73	0,16	0,00	0,00	0,00	0,00	..	..	..										
EA	14-35	18	892	70	20	2,20	4,3	0,0	0,2	0,2	9	92	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	..	..	..										
E1	29-71	2	978	10	10	0,63	4,8	0,0	0,4	0,1	10	98	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	..	..	..										
E2	53-100	6	982	2	10	0,00	5,3	0,0	0,4	0,1	22	96	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	..	..	..										
E3	84-112	4	984	2	10	0,00	4,7	0,0	0,1	0,1	17	81	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	..	..	..										
EB	112-122	2	986	2	10	1,57	4,6	0,0	0,9	1,5	2	97	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	..	..	26,2											
Bh1	122-140	2	984	4	10	5,04	4,7	0,1	1,1	4,4	2	93	0,00	0,00	0,00	0,25	0,41	..	0,6	12,4													
Bh2	140-160	6	970	14	10	5,35	4,5	0,0	1,6	10,3	0	97	0,00	0,00	0,00	0,85	0,92	..	0,9	5,8													
BERTIOGA - Perfil P12 – NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Hidromórfico típico, A moderado, muito mal drenado																																	
A1	0-8	12	952	26	10	30,30	3,9	1,6	1,9	10,8	14	54	2,47	1,19	1,45	0,18	0,23	0,6	0,8	134,7													
A2	8-24	40	836	114	10	34,20	3,7	1,0	2,0	8,0	12	67	2,96	1,98	2,12	0,32	0,32	0,7	1,0	108,6													
AE	24-30	26	862	102	10	9,21	3,9	0,8	1,2	2,4	33	60	2,90	2,21	2,41	0,33	0,39	0,8	0,8	23,6													
C	30-48	10	932	48	10	4,22	4,4	0,7	1,7	3,6	19	72	8,10	3,67	4,47	0,92	0,89	0,6	1,0	4,8													
Cg1	48-83	16	926	48	10	1,72	4,8	0,6	1,9	2,4	25	76	6,10	1,66	1,83	0,66	0,56	0,3	1,2	3,1													
Cg2	83-110	24	952	14	10	0,78	5,6	0,6	0,5	0,9	66	47	3,60	0,27	0,30	0,60	0,30	0,1	2,0	2,6													

Tabela 2.3 – Dados químicos e granulométricos dos perfis estudados

Hor. ¹	Prof. ²	Granulometria ³				C	pH	SB	Al ³⁺	T	V	m	Fe _d	Fe _o	Fe _p	Al _o	Al _p	Fe _p /Fe _d ⁴	Al _o /Al _p ⁵	C/Al _p ⁶
		AG	AF	Silte	Arg															
		cm	g kg ⁻¹																		cmol_{c} kg^{-1}			%			g kg^{-1}
BERTIOGA - Perfil P13 – NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Hidromórfico típico, A moderado, mal drenado																				
A1	0-7	46	838	76	40	21,41	4,4	3,6	2,6	9,7	37	42	6,50	1,40	0,68	0,40	0,20	0,1	2,1	109,8
A2	7-15	42	860	78	20	11,96	4,5	1,9	1,3	7,7	25	41	10,60	1,70	1,03	0,49	0,30	0,1	1,6	39,9
C1	15-63	8	978	4	10	0,94	5,9	3,0	0,7	3,9	76	19	7,50	0,84	0,22	0,33	0,00	..	..	..
C2	57-82	6	982	2	10	0,31	6,1	3,2	0,7	3,7	86	18	7,10	0,79	0,00	0,32	0,00	..	..	..
C3	73-94	8	980	2	10	0,00	6,3	2,9	0,0	3,3	88	1	9,30	0,84	0,00	0,39	0,00	..	..	..
C4	94-100	6	982	2	10	0,00	6,5	3,6	0,5	3,7	97	13	6,90	0,77	0,00	0,35	0,00	..	..	..
Cg	73-82	10	978	2	10	0,00	6,0	2,3	0,1	2,7	84	4	8,70	1,14	0,14	0,36	0,00	..	..	..
BERTIOGA - Perfil P14 – ESPODOSSOLO FERRIHUMILÚVICO Órtico espessarênico, A moderado, textura arenosa, moderadamente drenado																				
A1	0-12	66	860	54	20	9,68	4,4	1,5	0,7	3,3	44	32	0,41	0,00	0,00	0,00	0,00	..	..	..
A2	12-22	40	930	20	10	8,59	4,2	0,9	0,6	2,2	39	40	0,18	0,00	0,00	0,00	0,00	..	..	..
AE	22-30	36	940	14	10	3,90	4,2	0,7	0,3	1,3	53	28	0,16	0,00	0,00	0,00	0,00	..	..	..
E	30-59	28	956	6	10	2,19	4,4	0,6	0,2	1,0	56	27	0,19	0,00	0,00	0,00	0,00	..	..	..
Bh	43-71	26	930	24	20	6,09	4,4	0,8	1,4	4,0	19	65	1,29	1,57	1,85	0,43	0,44	1,4	1,0	13,8
Bs1	56-81	72	906	12	10	3,28	4,9	0,8	0,8	1,8	43	52	1,11	0,84	0,45	0,45	0,45	0,4	1,0	7,3
Bs2	65-110	100	888	2	10	2,19	5,2	0,7	0,5	1,8	38	42	1,06	1,00	0,39	0,49	0,39	0,4	1,3	5,6
C1	84-124	10	964	16	10	1,25	5,5	0,6	0,3	1,1	53	34	0,55	0,33	0,17	0,29	0,17	0,3	1,7	7,3
C2	115-135	60	928	2	10	0,62	5,6	0,5	0,3	0,9	55	34	0,47	0,19	0,15	0,26	0,15	0,3	1,7	4,2
BERTIOGA - Perfil P15 – ESPODOSSOLO HUMILÚVICO Hiperespesso espessarênico, A moderado, excessivamente drenado																				
A	0-20	20	812	148	20	35,45	3,7	2,3	1,1	8,1	28	32	0,13	0,00	0,00	0,00	0,07	..	..	525,2
EA	20-40	2	974	14	10	3,59	4,1	0,5	0,2	1,0	54	31	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,1	..	..
E1	40-60	2	980	8	10	0,94	4,5	0,5	0,1	0,5	100	11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	..	..	..
E2	60-160	2	982	6	10	0,47	5,2	0,3	0,0	0,3	100	3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	..	..	..
E3	160-215	6	980	4	10	0,00	5,5	0,5	0,0	0,5	100	2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	..	..	..
EB	215-305	10	974	6	10	1,41	5,1	0,6	0,3	1,5	42	30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	..	..	..
Bh1	305-330	28	942	20	10	9,37	4,4	0,5	2,7	5,8	9	83	0,00	0,00	0,00	0,43	0,65	..	0,7	14,4
Bhm	340-360	34	926	20	20	13,43	4,3	1,2	3,0	9,7	12	71	0,00	0,00	0,00	0,89	1,09	..	0,8	12,3
Bh2	360-400	42	922	16	20	10,15	4,3	1,1	2,4	7,4	15	68	0,00	0,00	0,00	0,69	0,93	..	0,7	10,9

Tabela 2.3 – Dados químicos e granulométricos dos perfis estudados

Hor. ¹	Prof. ²	Granulometria ³				C	pH	SB	Al ³⁺	T	V	m	Fe _d	Fe _o	Fe _p	Al _o	Al _p	Fe _p /Fe _d ⁴	Al _o /Al _p ⁵	C/Al _p ⁶
		AG	AF	Silte	Arg															
		cm	g kg ⁻¹																		cmol_{c} kg^{-1}	%	g kg^{-1}
BERTIOGA- Perfil P16 – ESPODOSSOLO FERRIHUMILÚVICO Órtico espessarênico, A moderado, textura arenosa, fortemente drenado																				
A	0-20	44	840	96	20	29,36	3,9	1,5	1,6	12,3	12	50	0,43	0,27	0,26	0,37	0,21	0,6	1,8	139,8
EA	20-32	12	954	14	20	6,72	4,1	0,7	0,7	2,1	34	49	0,21	0,14	0,09	0,31	0,14	0,4	2,2	48,0
E1	32-77	6	982	2	10	1,56	4,7	0,4	0,1	0,4	100	12	0,00	0,00	0,00	0,27	0,00	..	..	..
E2	77-97	2	986	2	10	1,25	5,2	0,5	0,1	0,9	59	13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	..	..	..
Bh1	90-121	2	964	14	20	4,69	4,3	0,6	1,5	3,2	20	70	0,00	0,00	0,00	0,47	0,47	..	1,0	10,1
Bh2	121-170	6	972	2	20	2,81	5,0	0,5	0,6	1,7	32	54	0,00	0,00	0,00	0,31	0,15	..	2,1	19,3
Bh3	134-193	2	974	4	20	3,75	4,9	0,7	1,1	3,1	24	59	0,00	0,00	0,00	0,45	0,36	..	1,3	10,4
Bh4	193-253	8	956	16	20	6,87	4,9	0,7	1,4	5,1	14	66	0,00	0,00	0,00	0,61	0,75	..	0,8	9,2
Bs	253-300	20	948	12	20	3,90	4,7	1,3	0,6	4,1	31	32	0,00	0,00	0,00	0,42	0,50	..	0,8	7,9
ILHA COMPRIDA - Perfil P17 – ESPODOSSOLO FERRIHUMILÚVICO Órtico espessarênico, A moderado, textura arenosa, moderadamente drenado																				
A	0-30	92	792	96	20	46,31	4,0	1,3	1,1	11,8	11	46	0,10	0,00	0,00	0,27	0,00	..	..	..
EA	30-52	40	938	2	20	9,57	4,2	0,8	0,4	3,6	22	32	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	..	..	..
E1	52-88	24	964	2	10	1,54	4,6	0,6	0,0	6,6	10	2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	..	..	..
E2	88-115	52	936	2	10	1,39	4,8	0,5	0,0	0,6	87	1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	..	..	..
BE	115-130	48	940	2	10	4,94	4,6	0,6	0,3	1,8	31	38	0,00	0,00	0,00	0,14	0,12	..	1,2	40,7
Bh	130-243	108	866	16	10	8,95	4,6	0,8	0,9	0,9	84	53	0,00	0,00	0,00	0,60	0,53	..	1,1	16,9
Bs	243-485	148	840	2	10	4,48	5,0	1,0	0,3	3,0	34	21	0,00	0,00	0,00	0,51	0,36	..	1,4	12,5
C	485-500	306	680	4	10	3,24	5,5	1,6	0,1	2,8	56	6	0,10	0,00	0,00	0,35	0,22	..	1,6	14,6
ILHA COMPRIDA - Perfil P18 – ESPODOSSOLO HUMILÚVICO Hidromórfico espessarênico, A fraco, textura arenosa, imperfeitamente drenado																				
A	0-12	56	834	100	10	24,05	4,5	1,3	1,0	5,2	24	43	0,12	0,00	0,00	0,00	0,00	..	..	..
AE	12-24	20	966	4	10	2,97	4,9	0,5	0,1	1,2	42	12	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	..	..	..
EB	24-44	20	968	2	10	1,87	4,9	0,5	0,3	1,7	30	38	0,10	0,00	0,00	0,10	0,10	..	1,0	18,6
Bh1	27-50	12	976	2	10	2,65	5,0	0,5	0,8	2,3	23	58	0,11	0,00	0,00	0,20	0,20	..	1,0	13,3
Bh2	37-66	12	974	4	10	2,97	4,8	0,7	0,9	3,0	22	57	0,17	0,00	0,00	0,32	0,34	..	0,9	8,6
Bh3	66-69	20	962	8	10	3,59	5,2	0,6	0,7	2,8	22	53	0,18	0,00	0,00	0,40	0,40	..	1,0	9,0
CB	69-76	26	960	4	10	2,03	5,2	0,4	0,7	2,6	17	63	0,15	0,00	0,00	0,31	0,26	..	1,2	7,7
C	76-125	22	964	4	10	1,56	5,2	0,5	0,7	2,5	21	56	0,05	0,00	0,00	0,31	0,24	..	1,3	6,4
Perfil P19 – ESPODOSSOLO HUMILÚVICO Órtico espessarênico, A fraco, textura arenosa, moderadamente drenado																				
A	0-13	52	898	40	10	17,91	4,8	1,0	0,3	4,4	22	26	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	..	..	..
EA	13-25	22	960	8	10	4,65	4,9	0,7	0,1	1,9	38	16	0,05	0,00	0,00	0,01	0,00	..	..	..
E1	25-40	18	966	6	10	1,39	5,6	0,7	0,0	1,0	69	4	0,02	0,00	0,00	0,04	0,00	..	..	..
E2	40-61	14	974	2	10	1,08	5,9	0,6	0,0	0,6	100	2	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	..	..	..
E3	61-74	20	966	4	10	0,93	6,0	0,6	0,0	1,0	65	2	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	..	..	..
Bh1	68-105	18	964	8	10	6,82	5,3	0,7	0,5	3,5	21	43	0,07	0,00	0,00	0,40	0,25	..	1,6	27,7
Bh2	105-117	24	958	8	10	8,37	4,8	0,8	0,7	4,7	16	48	0,08	0,00	0,00	0,47	0,28	..	1,7	30,0
Bh3	117-130	76	824	90	10	5,58	4,3	0,9	1,1	7,5	12	55	0,18	0,00	0,00	0,60	0,53	..	1,1	10,4

Tabela 2.3 – Dados químicos e granulométricos dos perfis estudados

(continuação)

Hor. ¹	Prof. ²	Granulometria ³				C	pH	SB	Al ³⁺	T	V	m	Fe _d	Fe _o	Fe _p	Al _o	Al _p	Fe _p /Fe _d ⁴	Al _o /Al _p ⁵	C/Al _p ⁶
		AG	AF	Silte	Arg															
		g kg ⁻¹				cmol _c kg ⁻¹				%				g kg ⁻¹						
		cm																		
ILHA COMPRIDA - Perfil P20 – ESPODOSSOLO HUMILÚVICO Hidromórfico espessarênico, A fraco, textura arenosa, mal drenado																				
A	0-13	34	938	18	10	30,99	4,3	1,7	0,6	11,5	14	27	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	..	..	..
EA	13-37	66	922	2	10	3,10	5,0	1,5	0,1	1,9	78	4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	..	..	..
E	37-85	60	926	4	10	1,24	5,9	0,5	0,0	0,5	89	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	..	..	..
BE	85-110	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Bh	110-140	52	932	6	10	10,54	4,4	0,8	1,0	6,9	12	55	0,09	0,00	0,00	0,20	0,23	..	0,9	45,3
ILHA COMPRIDA - Perfil P21 – ESPODOSSOLO FERRIHUMILÚVICO Órtico espessarênico, A moderado, textura arenosa, bem drenado																				
A1	0-18	118	752	110	20	45,69	4,4	...	...	...	...	...	0,18	0,18	0,05	0,00	0,00	0,3	..	..
A2	18-31	88	882	10	20	6,51	4,9	0,8	0,2	2,1	37	17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	..	..	..
EA	31-47	76	906	8	10	2,63	4,9	0,5	0,1	1,0	52	8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	..	..	..
E	47-134	76	912	2	10	1,70	5,1	0,7	0,0	1,0	67	6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	..	..	..
Bh	70-138	76	880	24	20	12,40	4,6	0,8	0,6	8,2	9	43	2,49	1,98	2,18	0,63	0,72	0,9	0,9	17,1
Bs1	73-150	180	792	8	20	7,13	5,2	0,7	0,4	5,6	12	37	0,06	0,00	0,00	0,83	1,02	..	0,8	7,0
Bs2	73-152	88	884	18	10	5,58	5,2	0,6	0,3	3,8	15	35	1,91	1,82	1,91	0,86	0,99	1,0	0,9	5,6
Bs3	92-168	54	934	2	10	2,48	5,7	0,6	0,2	2,0	29	26	0,69	0,52	0,53	0,47	0,43	0,8	1,1	5,7
CB	126-170	100	888	2	10	2,01	5,8	0,6	0,2	1,7	37	26	0,45	0,34	0,29	0,33	0,29	0,6	1,1	6,9
C	170-180	66	922	2	10	1,39	6,1	0,6	0,0	1,3	45	0	0,46	0,32	0,25	0,34	0,25	0,5	1,3	5,5
ILHA COMPRIDA - Perfil P22 – ESPODOSSOLO HUMILÚVICO Órtico espessarênico, A fraco, textura arenosa, imperfeitamente drenado																				
A	0-18	108	814	58	20	47,85	4,4	...	...	...	...	...	0,22	0,14	0,04	0,21	0,05	0,2	4,1	938,3
EA	18-28	98	886	6	10	4,03	4,8	0,5	0,1	1,1	47	11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	..	..	..
E1	28-57	84	900	6	10	1,08	5,6	0,7	0,0	1,0	72	2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	..	..	..
E2	57-88	142	822	26	10	2,01	5,3	0,7	0,1	1,4	50	13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	..	..	..
EB	64-91	170	806	4	20	4,96	5,0	0,8	0,4	2,6	32	34	0,00	0,00	0,00	0,34	0,25	..	1,3	19,7
Bh1	67-119	148	814	18	20	9,92	4,8	0,8	1,2	7,6	10	62	0,11	0,00	0,00	1,07	0,98	..	1,1	10,1
Bh2	107-118	168	820	2	10	11,11	5,0	0,7	0,7	5,3	13	51	0,10	0,00	0,00	0,67	0,67	..	1,0	16,6
C	118-130	100	874	16	10	2,63	5,2	0,5	0,0	2,3	23	0	0,08	0,00	0,00	0,37	0,33	..	1,1	8,0
ILHA COMPRIDA - Perfil P23 – ESPODOSSOLO FERRILÚVICO Órtico espessarênico, A fraco, textura arenosa, bem drenado																				
A	0-22	20	894	66	20	7,75	4,6	1,7	0,4	5,1	34	18	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	..	..	..
E1	22-72	36	942	12	10	2,47	4,5	0,3	0,0	0,5	69	11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	..	..	..
EB	56-101	...	...	...	...	...	...	0,4	...	0,4	100	0	0,12	0,00	0,00	0,30	0,11	..	2,8	..
Bs	76-123	72	900	18	10	3,55	5,2	0,3	0,3	2,7	11	54	0,95	0,72	0,69	0,48	0,46	0,7	1,1	7,8
E2	94-141	76	904	10	10	1,70	5,2	0,3	0,1	1,0	25	35	0,20	0,00	0,00	0,00	0,08	..	..	21,2
C1	128-160	104	874	12	10	1,85	...	...	...	...	...	...	0,09	0,00	0,00	0,36	0,15	..	2,3	12,0
C2	160-186	82	906	2	10	1,55	5,4	2,1	0,3	3,6	59	11	0,16	0,00	0,00	0,40	0,20	..	2,0	7,9
C3	186-200	122	850	18	10	1,86	5,4	1,5	0,3	2,5	58	17	0,06	0,00	0,00	0,35	0,22	..	1,6	8,4

Tabela 2.3 – Dados químicos e granulométricos dos perfis estudados

Hor. ¹	Prof. ²	Granulometria ³				C	pH	SB	Al ³⁺	T	V	m	Fe _d	Fe _o	Fe _p	Al _o	Al _p	(continuação)		
		AG	AF	Silte	Arg													Fe _p /Fe _d ⁴	Al _o /Al _p ⁵	C/Al _p ⁶
		cm	g kg ⁻¹															cmol _c kg ⁻¹		
ILHA COMPRIDA - Perfil P24 – ESPODOSSOLO FERRILÚVICO Órtico espessarênico, A fraco, textura arenosa, fortemente drenado																				
A	0-18	142	816	32	10	26,65	4,8	1,4	0,2	3,8	35	15	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00	..	..	..
AE	18-32	136	842	12	10	6,20	4,8	1,0	0,1	1,5	67	9	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	..	..	..
E	32-78	128	860	2	10	0,93	5,2	0,9	0,1	0,9	100	6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	..	..	..
EB	66-88	78	908	4	10	1,70	5,5	0,8	0,1	1,3	63	14	0,16	0,00	0,00	0,00	0,07	..	..	24,7
Bs1	70-95	90	888	2	20	4,96	5,7	1,1	0,4	4,3	26	24	0,76	0,45	0,44	0,80	0,80	0,6	1,0	6,2
Bs2	84-144	220	768	2	10	2,01	6,0	1,1	0,2	2,4	48	13	0,79	0,50	0,52	0,43	0,41	0,7	1,0	4,9
C1	112-160	282	706	2	10	0,77	6,2	0,7	0,1	1,1	61	15	0,39	0,25	0,17	0,24	0,14	0,4	1,7	5,4
C2	143-180	154	820	16	10	0,46	6,0	0,7	0,1	0,8	88	16	0,36	0,23	0,09	0,18	0,00	0,2	..	..
ILHA COMPRIDA - Perfil P25 – ESPODOSSOLO HUMILÚVICO Órtico espessarênico, A moderado, textura arenosa, bem drenado																				
A1	0-14	168	798	24	10	12,66	5,2	1,2	0,1	2,2	54	5	0,21	0,00	0,00	0,00	0,00	..	..	..
A2	14-33	148	836	6	10	3,70	4,8	1,1	0,1	1,7	63	9	0,30	0,00	0,00	0,00	0,00	..	..	..
Bh	33-65	152	832	6	10	3,40	5,0	0,9	0,3	2,6	36	23	1,33	0,82	0,70	0,29	0,14	0,5	2,1	25,2
C1	65-103	102	886	2	10	1,85	5,6	0,8	0,2	1,7	49	19	0,79	0,47	0,41	0,27	0,13	0,5	2,1	14,5
C2	103-138	108	880	2	10	1,85	5,9	0,7	0,0	1,2	58	0	0,55	0,33	0,20	0,36	0,15	0,4	2,4	12,1
C3	138-201	74	914	2	10	1,54	6,2	0,7	0,2	1,1	61	23	0,49	0,25	0,10	0,38	0,13	0,2	2,9	11,8
C4	201-216	274	714	2	10	1,39	6,1	0,4	0,1	1,1	37	20	0,38	0,22	0,00	0,31	0,13	..	2,4	10,8
ILHA COMPRIDA - Perfil P26 – NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico típico, A moderado, excessivamente drenado																				
A	0-27	434	544	2	20	4,01	4,8	0,9	0,0	1,1	87	3	0,16	0,00	0,00	0,00	0,00	..	..	..
AC	22-45	386	590	4	20	3,09	4,8	0,8	0,1	1,5	54	15	0,24	0,24	0,24	0,26	0,00	1,0	..	..
C1	45-70	340	644	6	10	2,32	5,2	0,6	0,1	1,4	46	14	0,64	0,45	0,25	0,29	0,00	0,4	..	..
C2	70-128	408	580	2	10	1,39	5,4	0,5	0,1	1,1	46	17	0,28	0,23	0,00	0,33	0,00	..	..	..
C3	128-210	342	642	6	10	1,39	5,8	0,6	0,0	0,8	73	6	0,45	0,22	0,00	0,27	0,00	..	..	..
CANANÉIA - Perfil P27 – ESPODOSSOLO HUMULÚVICO Órtico dúbico, A fraco, textura arenosa, imperfeitamente drenado																				
A	0-18	32	862	96	10	16,05	4,3	0,9	0,5	4,7	19	35	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	..	..	..
EA	18-29	8	964	18	10	2,93	4,5	0,5	0,1	0,9	56	14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	..	..	..
E	29-94	12	970	8	10	0,93	5,4	0,5	0,0	0,6	87	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	..	..	..
EB	84-109	14	956	20	10	1,54	5,2	1,1	0,0	1,1	98	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	..	..	..
Bh	90-115	16	788	116	80	23,15	5,2	1,7	1,9	14,6	12	52	0,00	0,00	0,00	0,89	1,13	..	0,8	20,6
Bhm	99-160	14	852	94	40	38,59	3,9	1,6	2,4	28,8	6	60	0,00	0,00	0,00	3,34	4,04	..	0,8	9,6

Tabela 2.3 – Dados químicos e granulométricos dos perfis estudados

Hor. ¹	Prof. ²	Granulometria ³				C	pH	SB	Al ³⁺	T	V	m	Fe _d	Fe _o	Fe _p	Al _o	Al _p	(conclusão)		
		AG	AF	Silte	Arg													Fe _p /Fe _d ⁴	Al _o /Al _p ⁵	C/Al _p ⁶
		cm	g kg ⁻¹															cmol _c kg ⁻¹		
CANANÉIA - Perfil P28 – ESPODOSSOLO FERRIHUMILÚVICO Órtico esparênico, A fraco, textura arenosa, bem drenado																				
A	0-21	14	920	56	10	5,71	4,1	0,5	0,3	2,5	18	39	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	..	..	..
E	21-126	8	952	30	10	0,93	5,0	0,2	0,0	0,6	38	5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	..	..	..
Bhs1	54-73	6	836	78	80	11,27	4,6	0,4	0,7	0,4	100	62	7,30	6,93	6,53	2,92	3,23	0,9	0,9	3,5
Bhs2	65-88	4	870	86	40	10,50	5,0	0,5	0,4	6,5	8	44	5,60	5,26	6,03	4,67	5,91	1,1	0,8	1,8
Bhs3	60-108	14	816	90	80	13,89	4,8	0,4	0,7	8,9	5	61	8,70	7,89	7,20	4,55	6,69	0,8	0,7	2,1
Bhs4	77-177	2	884	54	60	10,81	5,1	0,3	0,2	7,4	4	40	4,60	3,46	3,86	6,46	5,63	0,8	1,1	1,9
Bhs5	111-200	2	924	54	20	6,33	5,1	0,3	0,2	4,3	8	41	1,12	1,12	1,12	4,54	3,06	1,0	1,5	2,1
Bhs6	134-160	2	916	62	20	8,49	4,9	0,4	0,2	6,4	6	38	1,71	1,71	1,70	6,22	3,84	1,0	1,6	2,2
Bhs7	150-200	10	920	60	10	6,79	5,0	0,2	0,2	4,9	5	45	3,91	3,91	3,54	5,04	3,44	0,9	1,5	2,0
CANANÉIA - Perfil P29 – ESPODOSSOLO HUMILÚVICO Órtico dúbico, A fraco, textura arenosa, imperfeitamente drenado																				
A	0-14	24	734	202	40	64,52	...	...	...	...	...	...	0,30	0,00	0,00	0,00	0,00	..	..	..
E	14-60	6	962	22	10	2,16	4,9	0,6	0,0	0,9	63	6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	..	..	..
Bh	47-70	8	854	98	40	36,12	3,8	1,4	3,4	21,4	7	71	0,00	0,00	0,00	1,06	1,30	..	0,8	27,8
Bhm1	60-87	10	860	90	40	50,94	3,7	0,8	5,0	28,7	3	87	0,00	0,00	0,00	1,87	1,98	..	0,9	25,7
Bhm2	87-104	16	908	56	20	18,52	4,4	0,2	0,0	12,8	1	0	0,00	0,00	0,00	2,17	2,30	..	0,9	8,1
Bs	104-115	40	920	20	20	9,11	4,6	0,1	0,0	8,1	2	0	0,00	0,00	0,00	1,88	1,98	..	0,9	4,6
CANANÉIA - Perfil P30 – ESPODOSSOLO HUMILÚVICO Órtico dúbico, A fraco, textura arenosa, imperfeitamente drenado																				
O	0-10	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	1,49	0,71	0,33	0,89	0,98	0,2	0,9	..
A	10-18	26	798	156	20	33,50	4,1	0,5	0,5	6,3	8	51	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	..	..	..
E	18-40	2	962	26	10	2,78	4,9	0,4	0,0	0,9	39	8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	..	..	..
Bhg	33-44	4	770	146	80	33,03	3,7	0,3	2,9	17,0	2	90	0,08	0,00	0,00	0,82	0,75	..	1,1	44,0
Bh	40-76	16	780	124	80	46,93	3,7	0,6	4,7	26,0	2	89	0,00	0,00	0,00	1,89	2,01	..	0,9	23,3
Bhm	58-105	4	870	86	40	42,30	4,1	0,5	1,4	27,1	2	72	0,00	0,00	0,00	3,95	4,62	..	0,9	9,2

Tabela 2.3 – Dados químicos e granulométricos dos perfis estudados

Hor. ¹	Prof. ²	Granulometria ³				C	pH	SB	Al ³⁺	T	V	m	Fe _d	Fe _o	Fe _p	Al _o	Al _p	(conclusão)		
		AG	AF	Silte	Arg													Fe _p /Fe _d ⁴	Al _o /Al _p ⁵	C/Al _p ⁶
		cm	g kg ⁻¹															cmol _c kg ⁻¹	%	g kg ⁻¹
CANANÉIA - Perfil P31 – ESPODOSSOLO FERRIHUMILÚVICO Órtico dúrico, A fraco, textura arenosa, imperfeitamente drenado																				
A	0-23	20	904	66	10	22,85	4,7	1,2	0,9	7,6	16	42	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00	..	..	..
E	23-55	8	956	26	10	2,01	4,9	0,3	0,0	0,5	55	3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	..	..	..
Bh	45-87	8	854	78	60	28,40	3,8	0,5	3,1	16,2	3	87	0,07	0,00	0,00	1,34	1,62	..	0,8	17,5
Bhm	65-140	2	876	82	40	33,34	3,8	0,6	2,0	25,6	2	78	0,07	0,00	0,00	3,23	3,57	..	0,9	9,3
Bs1	140-290	32	922	36	10	5,56	4,5	0,4	0,3	5,8	7	40	0,00	0,00	0,00	2,83	2,46	..	1,1	2,3
Bs2	290-500	90	814	56	40	7,56	4,5	0,5	0,7	6,7	8	58	0,08	0,00	0,00	4,31	2,00	..	2,2	3,8

Nota – Sinais convencionais utilizados:

... Dado numérico não disponível

.. Não se aplica dado numérico

¹ Hor. = Horizonte

² Prof. = Profundidade

³ AG = grossa (0,25 a 2 mm); AF = fina (0,05-0,25 mm); Arg = argila (<0,002 mm)

⁴ Fe_p/Fe_d = relação entre os teores de ferro extraídos com pirofosfato (Fe_p) e ditionito-citrato (Fe_d)

⁵ Al_o/Al_p = relação entre os teores de alumínio extraídos com oxalato (Al_o) e pirofosfato (Al_p)

⁶ C/Al_p = relação entre carbono orgânico (C) e alumínio extraído por pirofosfato (Al_p)

2.3 Considerações Finais

1. Os Espodossolos mais antigos (TRM de 9.250 anos) foram encontrados na seqüência da Ilha de Cananéia, cujos sedimentos foram os de maior idade TL aqui registrados (271.000 anos). Diferenciam-se dos demais pela presença comum de horizontes ortstein, de maior consistência, conteúdo de carbono orgânico (C) e de alumínio ativo (Al^{3+} , Al_o e Al_p);
2. Inversamente, aqueles mais recentes foram descritos e amostrados em Ilha Comprida, condizente com a maior jovialidade de seus sedimentos (7.000 anos), de tal forma que há uma estreita relação entre idade dos sedimentos e os atributos morfológicos e químicos dos Espodossolos. Nos mais jovens, os menores conteúdos de C e de todas as formas de Al (Al^{3+} , Al_o , Al_p) foram registrados. Em termos morfológicos são visivelmente contrastantes dos mais antigos (Cananéia), seja pela menor espessura e desenvolvimento dos horizontes espódicos, seja pela completa ausência de cimentação (ortstein);
3. Alguns milhares de anos são necessários para a cimentação dos horizontes Bh e formação de ortstein. Assim, foram encontrados apenas em terraços marinhos supostamente pleistocênicos da Formação Cananéia, tal como constatado por Moreira (2007) para o município de Bertioga, e, por isso, podem ser considerados como indicadores litoestratigráficos edáficos das planícies costeiras sedimentares do Quaternário na região sudeste do Brasil;
4. Na cronosseqüência de Bertioga, os Espodossolos mais antigos (Perfil P3; TRM de 4.800 anos), ao contrário dos mais jovens e próximos à praia, são bem drenados e apresentam grande variabilidade espacial de seus atributos morfológicos. Horizontes ortstein, plácicos e espódicos brandos com transição irregular são comuns, os quais, associados ao relevo e condições de drenagem locais sugerem que o tempo condicionou processos diferenciados de morfopedogênese, predominantemente relacionados à dinâmica sedimentar e às condições específicas de drenagem nessa porção da paisagem;
5. É provável que os Espodossolos mais antigos, dotados de horizontes ortstein, sejam paleossolos formados sob condições climáticas pretéritas e diferentes das atuais, de tal modo que aqueles mais jovens e natural ou artificialmente submetidos a boas condições de drenagem, estão visivelmente se dismantelando, sugerindo que **(a)** as condições edafoclimáticas atuais são desfavoráveis à sua gênese, e **(b)** os mais desenvolvidos e antigos permanecem nas paisagens devido ao hidromorfismo e/ou ao elevado grau de desenvolvimento que atingiram durante sua

evolução, com horizontes cimentados e/ou matéria orgânica mais estável, com maiores conteúdos de carbono orgânico e alumínio comparativamente aos Espodossolos mais recentes;

6. A química da maioria dos solos (Neossolos Quartzarênicos e Espodossolos) de Bertioiga, Ilha Comprida e Cananéia são típicas daqueles já descritos para as áreas sob vegetação de restinga do Estado de São Paulo: baixas soma e saturação por bases, extremamente a fortemente ácidos, capacidade de troca de cátions dependente da matéria orgânica e saturada com Al trocável, aumento do carbono orgânico em profundidade. Esses atributos refletem a influência tanto do material de origem como do processo pedogenético predominante nesses ambientes: a podzolização.

Referências

ANDRIESSE, J.P. A study of the environment and characteristics of tropical podzols in Sarawak (east-Malaysia). **Geoderma**, Amsterdam, v. 2, p. 201-227, 1968/1969.

ARAÚJO, D.S.D.; HENRIQUES, R.P.B. Análise florística das restingas do Estado do Rio de Janeiro. In: LACERDA, L.D.; ARAÚJO, D.S.D.; CERQUEIRA, R.; TURQ, B. (Org.).

Restingas: origem, estrutura, processos. Niterói: CEUFF, 1984. p. 37-48,

BEHLING, H.; BAUERMANN, S.G.; NEVES, P.C.P. Holocene environmental changes in the São Francisco de Paula region, southern Brasil. **Journal of South American Earth Sciences**, Oxford, v. 14, p. 631-639, 2001.

BRONICK, C.J.; MOKMA, D.L.; LI, H.; BOYD, S.A. Recementation of crushed ortstein by blueberry leaf extract. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 68, p. 558-561, 2004.

BUURMAN, P.; LAGEN, B.; VELTHORST, E.J. **Manual of soil and water analysis.** Leiden: Backhuys Publishers Leiden, 1996. 314p.

BUURMAN, P.; JONGMANS, A.G. Podzolisation and soil organic matter dynamics. **Geoderma**, Amsterdam, v. 125, p. 71-83, 2005.

BUURMAN, P.; van BERGEN, P.F.; JONGMANS, A.G.; MEJIER, E.L.; DURAN, B.; van LAGEN, B. Spatial and temporal variation in podzol organic matter studied by pyrolysis-gas chromatography/mass spectrometry and micromorphology. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v. 56, p. 253-270, 2005.

DE CONINCK, F. Major mechanisms in formation of spodic horizons. **Geoderma**, Amsterdam, v. 24, p. 101-126, 1980.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROCUPECUÁRIA (EMBRAPA). Centro Nacional de Pesquisa em Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2. ed. Brasília: EMBRAPA, Produção de informação; Rio de Janeiro: EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisa em Solos, 2006. 306p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROCUPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa em Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. 212p.

FARMER, V.C. Significance of the presence of allophane and imogolite in podzol Bs horizons for podzolization mechanisms: a review. **Soil Science and Plant Nutrition**, Tokyo, v. 28, p. 571-582, 1982.

FARMER, V.C.; RUSSEL, J.D.; SMITH, B.F.L. Extraction of inorganic forms of translocated Al, Fe and Si from a podzol Bs horizon. **Journal of Soil Science**, Oxford, v. 34, p. 571-576, 1983.

GARCÍA-RODEJA, E.; NÓVOA, J.C.; PONTEVEDRA, X.; MARTÍNEZ-CORTIZAS, A.; BUURMAN, P. Aluminium fractionation of European volcanic soils by selective dissolution techniques. **Catena**, Amsterdam, v. 56, p. 155-183, 2004.

GOMES, F.H. **Gênese e classificação de solos sob vegetação de restinga na Ilha do Cardoso-SP**. 2005. 107p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

GOMES, J.B.V.; RESENDE, M.; REZENDE, S.B.; SÁ-MENDONÇA, E. de. Solos de três áreas de Restinga. I. Morfologia, caracterização e classificação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.33, p. 1907-1919, 1998.

HOLGREN, G.G.S. A rapid citrate-dithionite extractable iron procedure. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v. 31, p. 210-211, 1967.

JANSEN, B.; NIEROP, K.G.J.; VERSTRATEN, J.M. Mechanisms controlling the mobility of dissolved organic matter, aluminium and iron in podzol B horizons. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v. 56, p. 537-550, 2005.

KACZOREK, D.; SOMMER, M.; ANDRUSCHKEWITSCK, I.; OKTABA, L.; CZERWINSKI, Z.; STAHR, K. A comparative micromorphological and chemical study of “Raseneisenstein” (bog iron ore) and “Ortstein”. **Geoderma**, Amsterdam, v. 121, p. 83-94, 2004.

KLINGE, H. Podzols soils in the Amazon Basin. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v. 16, p. 95-103, 1965.

LACERDA, L. D., ARAÚJO, D. S. D.; MACIEL, N. C. **Restingas brasileiras: uma bibliografia**. Rio de Janeiro: Fundação Universidade José Bonifácio. 1982. 48p

LUMDSTRÖM, U.S.; van BREEMEN, N.; BAIN, D. The podzolization process. A review. **Geoderma**, Amsterdam, v. 94, p. 91-107, 2000.

LUMDSTRÖM, U.S.; van BREEMEN, N.; BAIN, D.; van HEES, P.A.W.; GIESLER, R.; GUSTAFSSON, J.P.; ILVESNIEMI, H.; KARLTUN, E.; MELKERUD, P.A., OLSSON, M.; RIISE, G.; WAHLBERT, O.; BERGELIN, A.; BISHOP, K.; FINLAY, R.; JONGMANS, A.G.; MAGNUSSON, T.; MANNERKOSKI, H.; NORDGREN, A.; LYBERG, L.; STARR, M. TAU-SATRAN, L. Advances in understanding the podzolization process resulting from a multidisciplinary study of three coniferous forest soils in the Nordic Countries. **Geoderma**, Amsterdam, v. 94, p. 335-353, 2000.

McKEAGUE, JA. An evaluation of 0,1 M pyrophosphate and pyrophosphate-ditionite in comparison with oxalate as extractants of the accumulation products in podzols and some other soils. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v. 46, p. 12-22, 1967.

MARTIN, L.; SUGUIO, K. Ilha Comprida: um exemplo de ilha-barreira ligado às flutuações do nível marinho durante o Quaternário. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 30, 1978, Recife. **Anais...Recife**, 1978. v. 2. p. 905-912.

MARTINS, S.E.; ROSSI, L.; SAMPAIO, P.S.P.; MAGENTA, M.A.G. Caracterização florística de comunidades vegetais de restinga em Bertioga, SP, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, Porto Alegre, v. 22, p. 249-274, 2008.

MATTHEWS, J.A. Some problems and implications of ^{14}C dates from a podzol buried beneath na end moraine at Haugabreen, southern Norway. **Geografiska Annaler**, Oxford, v. 62, p. 185-208, 1980.

MEHRA, O.P.; JACKSON, M.L. Iron oxide removal from soils and clays by dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate. **Clays and Clay Minerals**, Lawrence, v. 7, p. 317-327, 1960.

MOKMA, L.; BUURMAN, P. **Podzols and podzolization in temperate regions**. Wageningen: International Soil Museum, 1982. 126p. (ISM monograph, 1).

MOREIRA, M.G. **Associações entre os Solos, os Ambientes Sedimentares Quaternários e as Fitofisionomias de Planície Costeira e Baixa Encosta nas Bacias dos Rios Itaguapé e Guaratuba (Bertioga-SP)**. 2007. 157p. Dissertação (Mestrado em Biodiversidade e Meio Ambiente) – Instituto de Botânica da Secretaria de Estado do Meio Ambiente, São Paulo. 2007.

NASCIMENTO JÚNIOR, D.R. **Morfologia e sedimentologia ao longo do sistema praia – duna frontal de Ilha Comprida, SP**. 2006. 97p. Dissertação (Mestrado em Geologia Sedimentar) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2006.

NOTT, J.; YOUNG, R.; BRYANT, E.; PRICE, D. Stratigraphy vs. pedogenesis; problems of their correlation within coastal sedimentary facies. **Catena**, Amsterdam, v. 23, p. 199-212, 1994.

OLIVEIRA, J.B.; JACOMINE, P.K.T.; CAMARGO, M.N. **Classes gerais de solos do Brasil: guia auxiliar para seu reconhecimento**. 2.ed. Jaboticabal: FUNEP, 1992. 201p.

PAGÉ, F.; GUILLET, B. Formation of loose and cemented B horizons in Podzolic soils: evaluation of biological actions from micromorphological features, C/N values and ^{14}C datings. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v. 71, p. 485-494, 1991.

PESSENDA, L.C.R.; CAMARGO, P.B. Datação radiocarbônica de amostras de interesse arqueológico e geológico por espectrometria de cintilação líquida de baixa radiação de fundo. **Química Nova**, São Paulo, v. 14, p. 98-103, 1991.

QUEIROZ NETO, J. P.; KÜPPER, A. Os Solos. In. AZEVEDO, A. **A Baixada Santista: aspectos geográficos**. São Paulo: EDUSP, 1965. v.1, p. 67-92.

ROSSI, M. **Fatores formadores da paisagem litorânea: A bacia do Guaratuba**, São Paulo, Brasil. 1999. 168p. Tese (Doutorado em Geografia Física) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

SALLUN, A.E.M.; SUGUIO, K; TATUMI, S.H.; YEE, M.; SANTOS, J. BARRETO, A.M.F. Datação absoluta de depósitos quaternários brasileiros por luminescência. **Revista Brasileira de Geociências**, Curitiba v. 37, p. 402-413, 2007.

SANTOS, R.D.; LEMOS, R.C.; SANTOS, H.G.; KER, J.C.; ANJOS, L.H.C. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 5. ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005. 100p.

SAUER, D.; SPONAGEL, H.; SOMMER, M.; GIANI, L.; JAHN, R.; STAHR, K. Review article – Podzol: Soil of the year 2007 – A review on its genesis, occurrence, and functions. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, Weinheim, v. 170, p.581-597, 2007.

SCHEEL-YBERT, R.; GOUVEIA, S.E.M.; PESSENDA, L.C.R.; ARAVENA, R.; COUTINHO, L.M.; BOULET, R. Holocene palaeoenvironmental evolution in the São Paulo State (Brazil), base don anthracology and soil $\delta^{13}\text{C}$ analysis. **The Holocene**, London, v. 13, p. 73-81, 2003.

SCHWARTZ, D. Some podzols on bateke sands and their origins, people's republic of Congo. **Geoderma**, Amsterdam, v. 43, p. 229-247, 1988.

SETZER, J. **Atlas climático e ecológico do Estado de São Paulo**. São Paulo: Centrais Elétricas de São Paulo, 1966. 61p

SHOJI, S.; FUJIWARA, Y. Active aluminum and iron in the humus horizons of Andosols from northeastern Japan: their forms, properties and significance in clay weathering. **Soil Science**, Philadelphia, v. 137, p. 216-226, 1984.

SHOJI, S.; FUJIWARA, Y.; YAMADA, I.; SAIGUSA, M. Chemistry and clay mineralogy of Ando soils, Brown forest soils, and Podzolic soils formed from recent Towada ashes, Northeastern Japan. **Soil Science**, Philadelphia, v. 133, p. 69-86, 1982.

- SKJEMSTAD, J.O.; FITZPATRICK, R.W.; ZARCINAS, B.A.; THOMPSON, C.H. Gênese of Podzols on Coastal Dunes in Southern Queensland. II. Geochemistry and Forms of Elements as Deduced from Various Soil Extraction Procedures. **Australian Journal and Soil Research**, Melbourne, v. 30, p. 615-644, 1992.
- SOUZA, C.R. Mapeamento de compartimentos fisiográficos de planícies costeiras e baixa encosta e da vegetação associada no litoral norte de São Paulo. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA, 6., 2006, Goiânia. **Anais...Goiânia**, 2006. 1 CD-ROM (trabalho completo).
- SOUZA, C.R. de G.; BENDAZOLI, A.; SUGIYAMA, M.; LOPES, E.A.; KIRIZAWA, M.A. Relação entre o meio físico e a biota no estudo da “restinga” do Estado de São Paulo. In: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO DE ESTUDOS DO QUATERNÁRIO, 4., 1997. Curitiba. **Resumos...Curitiba**: ABEQUA, 1997. p. 367-372.
- SOUZA, C.R. de G. Ambientes sedimentares de planície costeira e baixa-média encosta em Bertiooga (SP). In: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS DO QUATERNÁRIO, 11., 2007, Belém. **Anais...Belém**: ABEQUA, 2007. 1 CD-ROM.
- SUGUIO, K. **Dicionário de geologia marinha**: com termos correspondentes em inglês, francês e espanhol. São Paulo: T.A. QUEIROZ, 1992. 171p. (Biblioteca de ciências naturais, v. 15).
- SUGUIO, K; MARTIN, L. Mecanismos de gênese das planícies sedimentares quaternárias do litoral do Estado de São Paulo. CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 29., 1976, Ouro Preto. **Anais...Ouro Preto**: SBG, v.1, p. 295-305.
- SUGUIO, K.; BARCELOS, J.H. Quaternary sedimentary environments in Comprida Island, State of São Paulo, Brazil. **Boletim do Instituto de Geociências**, São Paulo, v. 9, p. 203-211, 1978.
- SUGUIO, K; MARTIN, L. Formações quaternárias marinhas do litoral paulista e sul fluminense. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON COASTAL EVOLUTION IN THE QUATERNARY, 1978, São Paulo. **Anais...São Paulo**: IGCB/IG-USP; SBG, 1978a. 55p. (Special Publication, 1).
- SUGUIO, K.; MARTIN, L. Mapa geológico do litoral de São Paulo, Escala 1:100.000. **Folha de Bertiooga, São Paulo**, Secretaria de Obras e Meio Ambiente / Departamento de Águas e Energia Elétrica. 1978b.
- SUGUIO, K; PETRI, S. Stratigraphy of the Iguape-Canaéia lagoonal region sedimentary deposits, São Paulo State, Brazil. Part I: Field observations and grain size analysis. **Boletim IG, Instituto de Geociências**, São Paulo, v. 4, p. 1-20, 1973.
- SUGUIO, K.; TESSLER, M.G. Planícies de cordões litorâneos quaternários do Brasil: origem e nomenclatura. In: LACERDA, L.D.; ARAÚJO, D.S.D.; CERQUEIRA, R.; TURQ, B. **Restingas: origem, estrutura e processos**. Niterói: CEUFF, 1984. p. 15-26.

SUGUIO, K.; TATUMI, S.H.; KOWATA, E.A. The comprida island inactive dune ridges and their possible significance for the island evolution during the holocene, State of São Paulo, Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciência**, São Paulo, v. 71, p. 623-630, 1999.

THOMPSON, C.H.; BRIDGES, E.M.; JENKINS, D.A. Pans in húmus podzols (Humods and Aquods) in coastal southern Queensland. **Australian Journal of Soil Researcher**, Melbourne, v.34, p. 161-182, 1996.

van BREEMEN, N.; BUURMAN, P. **Soil Formation**. 2nd ed. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2002. 404p.

van RANST, E.; STOOPS, G.; GALLETZ, A.; VANDENBERGHE, R.E. Properties, some criteria of classification and gênese of upland forest Podzols in Rwanda. **Geoderma**, Amsterdam, v. 76, p.263-283, 1997.

VILLWOCK, J.A.; LESSA, G.C.; SUGUIO, K.; ANGULO, R.J.; DILLENBURG, S.R. Geologia e geomorfologia de regiões costeiras. In: SOUZA, C.R.G., C.R.G.; SUGUIO, K.; OLIVEIRA, A.M.S.; OLIVEIRA, P.E. (Ed.). **Quaternário do Brasil**. Ribeirão Preto: Holos, 2005. cap. 5, p. 94-113.

WANATABLE, S.; ORTEGA, N.R.S.; FERIA-AYTA, W.E., COAQUIRA, J.A.H.; CORTEZÃO, S.U.; ARENAS, J.S.A. TL dating of sands from Ilha de Cananéia. **Radiation Measurements**, London, v.27, p. 373-376, 1997.

WINTLE, A.G.; HUNTLEY, D.J. Thermoluminescence dating of sediments. **Canadian Journal of Earth Science**, Kelowna, v. 17, p. 348-360, 1980.

3 CARACTERIZAÇÃO E GÊNESE DE ESPODOSSOLOS DA PLANÍCIE COSTEIRA DO ESTADO DE SÃO PAULO: II. FRACIONAMENTO DO ALUMÍNIO POR MEIO DE DISSOLUÇÕES SELETIVAS

Resumo

Apesar das modernas e sofisticadas técnicas disponíveis, procedimentos de extração seletiva ainda são de considerável valor para a caracterização dos solos e para o entendimento dos processos pedogenéticos, sobretudo em ambientes e solos pouco estudados, como as restingas e os Espodosolos paulista e brasileiro. A aplicação de tais técnicas, a maioria rotineiramente utilizada à caracterização de horizontes espódicos e Espodosolos, a um conjunto expressivo de horizontes e perfis em cronossequências, são inéditos para esses ambientes e possibilitam estabelecer comparações com aqueles intensivamente estudados sob clima temperado ou boreal. Apesar das reconhecidas limitações dos procedimentos analíticos de dissolução seletiva, os aqui utilizados foram relativamente seletivos e possibilitaram discriminar horizontes, inferir componentes mineralógicos e processos atuantes ao conjunto de horizontes e perfis analisados. Estes se situam nos municípios de Bertioga, Cananéia e Ilha Comprida (SP), onde foram abertos, descritos e amostrados 31 perfis de solos sob vegetação de restinga, representativos das paisagens locais. Dentre os resultados encontrados, destacam-se: NaOH 0,5 M à frio extraiu, em média, 22 a 30 % mais Al que os reagentes ditionito-citrato (Al_d), oxalato (Al_o) e pirofosfato (Al_p) para todo o conjunto de amostras. Em alguns horizontes espódicos bem drenados (Bs, Bhs, Bh e Bsm) as condições químicas (pH) e as interações entre as diferentes técnicas (Al_n-Al_o ; Al_o-Al_p ; Al_p/Al_o ; Al_p/Al_d) propiciaram inferir sobre a formação e manutenção de compostos inorgânicos amorfos de Al em detrimento da total complexação do elemento à matéria orgânica iluviada. Esta última forma de Al predomina nos Espodosolos hidromórficos.

Palavras-chave: Ditionito-citrato; Oxalato; Pirofosfato; NaOH 0,5 M à frio; Solos sob vegetação de restinga; Podzolização

3 Characterization and genesis of Spodosols on the São Paulo State sandy coastal plain: II. Fractionation of aluminium by selective dissolution techniques

Abstract

In spite of modern and sophisticated techniques, procedures of selective dissolution are still of considerable value for soil characterization and to the understanding of the pedogenetic process, especially environments and soils poorly studied, as the coastal plain regions and Spodosols of São Paulo State and Brazil. The application of this techniques commonly used for characterization of spodic horizons and soil profiles for large amount horizons and soils studied in cronossequences are rare for those environments and become possible to establish comparisons with those intensively studied under boreal and temperate climatic. In spite of the recognized limitations of all selective dissolution techniques these used procedures were relatively selective and become possible (a) the differentiation of the horizons, (b) deduce mineralogical components of soil, and (c) deduce pedogenetic process. The studied soils are situated in Bertioga, Cananéia and Ilha Comprida counties, São Paulo State, where were opened, make the morphological descriptions and sampled thirty-one pedons. The main results reached are: cold 0,5 M NaOH extracted in average 22 to 30 % more Al than dithionite-citrate (Al_d), oxalate ammonium (Al_o) and Na pyrophosphate (Al_p) for all group of samples. In some well drained spodic horizons (Bs, Bhs and Bsm) the chemical properties (pH) and the relationship among the different techniques (Al_n-Al_o ; Al_o-Al_p ; Al_p/Al_o ; Al_p/Al_d) allowed to deduce about the formation and maintenance of low cristallinity Al minerals to the detriment of this element bounded to soil organic matter. This last form of Al predominates in the hidromorphic Spodosols.

Keywords: Dithionite-citrate; Oxalate ammonium; Na pyrophosphate; Cold 0,5 M NaOH; Podzolization

3.1 Introdução

Procedimentos de extração seletiva, envolvendo reagentes como pirofosfato de sódio alcalino, oxalato ácido de amônio e ditionito-citrato-bicarbonato (ou ditionito-citrato) têm sido amplamente utilizados no entendimento de processos pedogenéticos de muitos solos (BLUME; SCHWERTMANN, 1969). Estudos dessa natureza são úteis e muitas vezes suficientes e contundentes na avaliação da (i)-mobilização de compostos orgânicos de Al e Fe (SAUER et al., 2007) e inorgânicos de Si, Al e Fe (ANDERSON et al., 1982), bem como nos estudos de translocação de vários elementos durante o processo de podzolização (SKJEMSTAD et al., 1992a) e descrição do grau desenvolvimento dos espodosolos e solos afins (MOKMA; BUURMAN, 1982; BARRETT; SCHAEZAL, 1992; LUMDSTRÖM; van BREEMEN; BAIN, 2000; GOMES, 2005; JANSEN; NIEROP; VERSTRATEN, 2005).

A despeito de muitos avanços na aplicação de modernas técnicas na caracterização dos solos e argilas, tais procedimentos analíticos ainda são de considerável valor (PATERSON; CLARK; BIRNIE, 1993). Exemplo disso é o recente trabalho de García-Rodeja et al. (2004), os quais utilizaram várias técnicas de dissoluções seletivas a fim de avaliar o fracionamento de Al em solos europeus sob influência vulcânica. A utilidade desses métodos, no entanto, é limitada, quer pela existência, na maioria dos solos, de um “continuum” entre componentes de baixo grau de cristalinidade até cristalinos (GARCÍA-RODEJA, et al., 2004), quer devido a mais débil tendência do Al formar oxidróxidos, comparativamente ao Fe (SHOJI; FUJIWARA, 1984; KAISER; ZECH, 1996; GARCÍA-RODEJA, et al., 2004).

Todas as relevantes limitações dos métodos devem ser consideradas na interpretação do significado dos resultados que utilizam extrações seletivas em estudos de mecanismos de podzolização ou para fins de classificação taxonômica (MACKEAGUE; DAY, 1966). O DCB, por exemplo, é um extrator efetivo para óxidos de ferro livre nos solos sem discriminação de fases (MEHRA; JACKSON, 1960; FARMER; RUSSEL; SMITH, 1983), mas extrai parcialmente aluminossilicatos não cristalinos (FARMER; RUSSEL; SMITH, 1983) e gibbsita, não devendo ser utilizado para formas de Al (GARCÍA-RODEJA, et al., 2004) uma vez que a fração dissolvida pelo extrator não é bem definida para tal elemento (FARMER; RUSSEL; SMITH, 1983). Isso é corroborado nos trabalhos de Farmer, Russel e Smith (1983) e Paterson, Clark e Birnie (1993), os quais determinaram que ditionito foi menos efetivo na extração de Al e Si do

que o oxalato em muitos solos, particularmente no horizonte B (PATERSON, CLARK; BIRNIE, 1993). Este último extrator é o mais efetivo para formas de Fe, Al e Si em horizontes espódicos (FARMER; RUSSEL; SMITH, 1983).

Alumínio oxalato é considerado representar a soma do Al presente na alofana (PARFITT; HENMI, 1982; KODAMA; ROSS, 1991) e em alguma imogolita, em complexos orgânicos (MACKEAGUE; DAY, 1966; MACKEAGUE; BRYDON; MILES, 1971; PARFITT; HENMI, 1982; KODAMA; ROSS, 1991; GARCÍA-RODEJA, et al., 2004) e, em menores conteúdos, pode representar o elemento substituído na estrutura de óxidos de ferro de baixa cristalinidade (PARFITT; HENMI, 1982; PARFITT; CHILDS, 1988), bem como pode extrair uma pequena fração do elemento da gibbsita (PARFITT; CHILDS, 1988; KODAMA; ROSS, 1991) e do Al-hidróxi entrecamada de argilas silicatadas 2:1 (FARMER et al., 1988; IYENGAR; ZELAZNY; MARTENS, 1981; SHOJI; FUJIWARA, 1984). Para determinados solos representa o “pool” de Al lábil, com potencial para regular a solubilidade do elemento na solução do solo (TAKAHASHI; FUKUOKA; DAHLGREN, 1995), bem como proporciona uma razoável estimativa do total de Al translocado no perfil (CHILDS; PARFITT; LEE, 1983). Fe oxalato relaciona-se à dissolução total ou parcial de ferridrita, lepdrocrocita, maghemita e magnetita (FARMER; RUSSEL; SMITH, 1983), além do elemento complexado à matéria orgânica (McKEAGUE; BRYDON; MILES, 1971), o que complica a interpretação do conteúdo do ferro extraído com oxalato em alguns solos (BARIL; BITTON, 1969). No entanto, é a melhor técnica de dissolução seletiva de rotina para quantificar ferridrita nos solos, e seu uso deve ser encorajado para tal fim (PARFFIT; CHILDS, 1988), bem como possibilita estimar, razoável e quantitativamente, a alofana em Espodossolos e outros solos com ocorrência deste mineral (PARFITT; HENMI, 1982; FARMER et al., 1984).

Uma questão, ainda não resolvida, refere-se à qual extrator proporciona a melhor estimativa do Al e Fe complexados à matéria orgânica, importante nas considerações acerca da gênese dos solos (McKEAGUE; SHELDRIK, 1977). Pirofosfato de sódio 0,1 M tem sido utilizado como um extrator seletivo para Al e Fe em complexos orgânicos nos solos (MACKEAGUE, 1967; CHILDS; PARFITT; LEE, 1983; FARMER; RUSSEL; SMITH, 1983; SHOJI; FUJIWARA, 1984). Como tais elementos estão predominantemente associados à matéria orgânica nos horizontes espódicos, pirofosfato é geralmente considerado o melhor extrator para materiais amorfos nesses horizontes (MOKMA, 1983). No entanto, nem todo o Al extraído nesta

forma é necessariamente associado à matéria orgânica (BASCOMB, 1968; MACKKEAGUE; SCHUPPLI, 1982).

A interpretação do extrato pirofosfato, particularmente com relação ao Fe, tem sido tema de debates contínuos desde que Higashi, De Coninck e Gelaude (1981) e Jeanroy e Guillet (1981) demonstraram que tanto formas orgânicas como inorgânicas de Fe de baixo grau de cristalinidade podem ser simultaneamente extraídos pelo extrator (PATERSON; CLARK; BIRNIE, 1993). No entanto, McKeague, Brydon e Miles (1971) trabalhando com complexos sintéticos mostraram que Fe extraído por pirofosfato é, em grande parte, orgânico. Fato também constatado por Farmer, Russel e Smith (1983) em amostras de imogolita e proto-imogolita sintéticas, bem como de horizonte espódico (Bs) com baixo conteúdo de carbono (0,7%). Segundo os autores, o pirofosfato foi seletivo para complexos orgânicos de Al e Fe e os discrimina efetivamente de formas inorgânicas. Os autores acrescentam que em horizontes espódicos mais ricos em matéria orgânica dos que eles estudaram, pirofosfato pode pipetizar óxidos de ferro cristalinos (JEANROY; GUILLET, 1981), e em solos mais ricos em argila, o extrator promove sua dispersão (MACKKEAGUE, 1967).

Em trabalho mais recente Kaiser e Zeck (1996) afirmaram que o extrator pirofosfato não deveria mais ser utilizado para estimar metais em complexos húmicos. Segundo os autores, tanto o conteúdo de Fe como de Al associados à matéria orgânica podem ser superestimados, enfatizando que Al extraído com pirofosfato não pode ser atribuído unicamente à associação do elemento à fração húmica do solo, mas também a dissolução alcalina de gibbsita e a peptização (dispersão) de hidróxidos de Al associados à matéria orgânica neles adsorvida. Em vista da comprovada falta de seletividade do extrator pirofosfato para determinados solos e horizontes, tem-se sugerido que, para a adequada caracterização do Al complexado à matéria orgânica, extratores não tamponados de cloro, como CuCl_2 (HARGROVE; THOMAS, 1981) e LaCl_3 (BLOOM; McBRIDE; WEAVER, 1979) podem dar melhores resultados (OATES; KAMPRATH, 1983).

O objetivo desta pesquisa foi utilizar diferentes extratores a fim de investigar suas habilidades e especificidades na extração de formas de Al nos solos estudados e, com isso, caracterizá-los, inferir processos pedogenéticos e componentes mineralógicos. A abordagem será de extrair e determinar o conteúdo de Al de amostras de solos com soluções rotineiramente utilizadas para fins de caracterização de horizontes espódicos e classificação dos Espodossolos,

tais como DC, oxalato e pirofosfato. NaOH 0,5 M à frio foi também utilizado e avaliado na extração de formas de Al inorgânico e complexado à matéria orgânica.

3.2 Desenvolvimento

3.2.1 Material e Métodos

3.2.1.1 Meio Físico

Foram coletadas amostras e descritos perfis em três municípios do litoral do Estado de São Paulo: Bertioga, Cananéia (Ilha de Cananéia) e Ilha Comprida. A Figura 3.1 mostra suas localizações no litoral paulista. O clima do litoral do Estado de São Paulo é do tipo Af, segundo a classificação climática de Köppen, com precipitação média anual de 1800 a 2000 mm e médias de temperaturas mínimas de 19° C e de temperaturas máximas de 27° C (MELO; MANTOVANI, 1994; estação meteorológica da Ilha do Cardoso, município de Cananéia - SP). Temperaturas médias de 21,9° C foram registradas para o município de Santos (QUEIROZ NETO; KÜPPER, 1965) e variações de precipitação pluviométrica entre 2.400 a 4.600 mm para o município de Bertioga, esta última uma das mais elevadas do país (AGEM, 2003).

A geologia dos locais estudados é composta por sedimentos arenosos quaternários de origem marinha (PETRI; FÚLFARO, 1970; SUGUIO; MARTIN, 1978). Neles se desenvolveram uma vegetação genericamente denominada de vegetação de restinga, característica das zonas costeiras (SUGUIO; TESSLER, 1984), cujos solos predominantes pertencem às classes dos Espodosolos e Neossolos Quartzarênicos (OLIVEIRA; JACOMIME; CAMARGO, 1992), sendo que muitas vezes esses últimos apresentam incipiente processo de podzolização (GOMES, 2005).

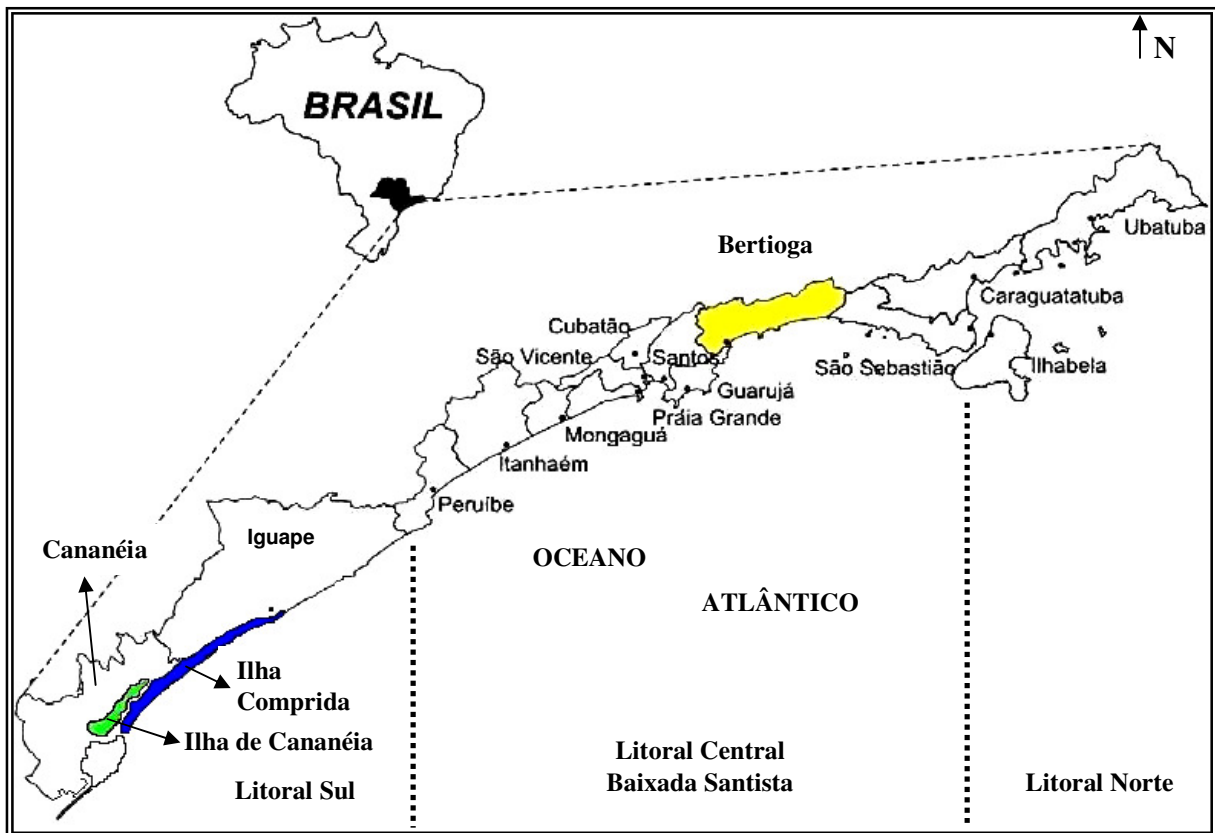


Figura 3.1 – Localização dos municípios de Bertiooga, Cananéia e Ilha Comprida no litoral do Estado de São Paulo

3.2.1.2 Trabalhos de Campo

Os trabalhos de campo consistiram em tradagens, observações de barrancos e mini-trincheiras a fim de selecionar os locais de amostragem. Estes consistiram de 31 perfis de solos representativos das paisagens locais. A localização dos perfis e a classificação detalhada dos solos estudados são apresentados no segundo capítulo deste trabalho. Vinte e sete perfis são Espodossolos e quatro foram classificados como Neossolos Quartzarênicos. No município de Bertiooga, treze perfis foram coletados em cronossequência (bacia do rio Itapanhaú), três distante dos anteriores (bacia do rio Itararé). Em Cananéia (5 perfis) e Ilha Comprida (10 perfis) os solos foram descritos e amostrados longitudinalmente às ilhas, todos sob vegetação alta ou baixa de restinga. Os perfis foram descritos e amostrados conforme Santos et al. (2005) e os solos classificados segundo EMBRAPA (2006).

3.2.1.3 Análises Laboratoriais

No laboratório, as amostras de solo foram secas ao ar, destorroadas com um martelo de borracha, quando necessário, e passadas em peneira n.º 10 (malha de 2mm), obtendo a fração terra fina seca ao ar, onde foram realizadas as análises químicas. O pH foi determinado em água (potenciômetro) utilizando relação solo:solução (peso) 1:2,5 após agitação e repouso de 1 hora. O conteúdo de carbono orgânico (Corg) foi determinado por oxidação com dicromato de potássio, segundo metodologia proposta por EMBRAPA (1997); para carbono total (Ctotal) utilizou-se um Analisador LECO CNH 1000. Houve um bom ajuste das curvas entre Corg e Ctotal ($r = 0,96$; $P < 0,0001$; $n = 260$). Devido às melhores correlações entre Corg e os demais dados aqui utilizados, este foi preferencialmente utilizado.

Foram os seguintes procedimentos de dissolução seletiva para extração de Al e Fe:

a) Extração com NaOH 0,5 M (Al_n): relação solo:solução 1:100 e agitando por 16 horas. A suspensão foi centrifugada por 15 minutos a 2.500 rpm após adição de quatro gotas de “suplerfoc” 0,2% (BORGGAARD, 1985). O subrenadante foi filtrado através de papel de filtro lavado em ácido (7-11 μ m de diâmetro de poro);

b) Extração com oxalato ácido de amônio de acordo com Buurman, Lagen e Velthorst (1996): relação solo:solução de 1:50, agitando por 4 horas no escuro. A suspensão foi centrifugada por 15 minutos a 2.500 rpm, com quatro gotas de “superfloc” e o sobrenadante filtrado como descrito acima;

c) Extração com pirofosfato de sódio 0,1 M (pH 10): relação solo:solução 1:100, agitando por 16 horas (BUURMAN; LAGEN; VELTHORST, 1996). Após adição de quatro gotas de “superfloc”, procedeu-se a centrifugação e filtragem conforme os procedimentos descritos acima.

d) Extração com ditionito-citrato de sódio (DC): relação solo:solução 1:125, agitando por 16 horas, segundo metodologia proposta por Holmgren (1967). Os procedimentos seguintes foram semelhantes aos acima relatados.

Alumínio e ferro nos extratos foram determinados por espectroscopia de absorção atômica. Os resultados apresentados para esses elementos representam a média das análises realizadas em duplicata que diferiram entre si em menos que 10%.

3.2.2 Resultados e Discussão

A fim de corretamente utilizar os diferentes procedimentos de dissoluções seletivas no entendimento dos mecanismos de podzolização ou para fins de classificação taxonômica e estimativa dos constituintes mineralógicos, é necessário avaliar a habilidade dos extratores, suas relações, eficiência e limitações na remoção de Fe e Al nos Espodossolos e Neossolos estudados, o que será discutido nos itens subseqüentes para o elemento Al devido à sua predominância na composição química da fração coloidal, o qual, juntamente ao carbono orgânico (Corg), são os principais responsáveis pela formação da maioria dos Espodossolos das áreas de restinga analisadas.

3.2.2.1 Relação entre Extratores para o Conjunto de Amostras

As diferentes formas de Al extraídas com DC, oxalato, pirofostato e hidróxido de sódio são correlacionadas entre si. Do exame da Tabela 3.1 verifica-se que Al extraído com oxalato ácido de amônio é o que melhor se correlaciona aos demais extratores, cujo maior coeficiente de correlação é observado com NaOH 0,5 M. Similares conteúdos extraídos por oxalato e NaOH também foram constatadas tanto por Farmer, Russel e Smith (1983) para horizonte espódico Bs, como por García-Rodeja et al. (2004) para horizontes superficiais de Andosolos europeus, indicando, segundo os autores, que os solos estudados apresentavam baixos conteúdos de Al cristalino (GARCÍA-RODEJA et al., 2004) e que uma distinta fração reativa foi removida pelos extratores (FARMER; RUSSEL; SMITH, 1983).

Tabela 3.1 – Coeficientes de correlação linear do momento do produto Pearson para o conjunto de dados referentes ao Al extraído com NaOH 0,5 M (Al_n), ditionito-citrato (Al_d), oxalato ácido de amônio (Al_o) e pirofosfato de sódio (Al_p) ($P < 0,0001$)

Formas de Al	Al_n^1	Al_d	Al_o	Al_p^4
	Coeficientes de correlação			
Al_n	..	0,86	0,97	0,90
Al_d	0,86	..	0,90	0,93
Al_o	0,97	0,90	..	0,93
Al_p	0,90	0,93	0,93	..

Nota – Sinais convencionais utilizados:
 .. Não se aplica dado numérico

Uma vez que NaOH dissolve gibbsita, filossilicatos 1:1 de baixo grau de cristalinidade (WADA, 1980), bem como cristalinos, como caulinita (KODAMA; ROSS, 1991) e considerando-se que tanto DC, como pirofosfato e oxalato, juntamente com NaOH 0,5 M tem sidos mencionados dissolver complexos organo-metálicos dos solos (WADA, 1977), a boa correlação e proximidade dos valores de Al entre todos os extratores sugerem: **(a)** a relativa uniformidade da assembléia mineralógica da exígua fração argila (inferior 20 g kg⁻¹; dados não mostrados) dos solos estudados; e, sobretudo, **(b)** a dominância de Al na forma de complexos organo-metálicos em detrimento da presença do elemento na forma mineral (cristalina ou não), característico de Espodosolos e solos afins das áreas de restingas brasileiras (GOMES et al., 1998; GOMES, 2005), além da **(c)** relativa especificidade dos extratores para Al, removendo a denominada fração reativa dos solos, tal como relatado por Farmer, Russel e Smith (1983). No entanto, a Figura 3.2 mostra que a equação de regressão entre Al_n e Al_o caiu próxima a da linha 1:1 e que os pontos que mais se afastam da reta se situam abaixo da linha de regressão, sugerindo que formas minerais de Al também ocorrem em determinados horizontes e perfis estudados, o que será discutido posteriormente.

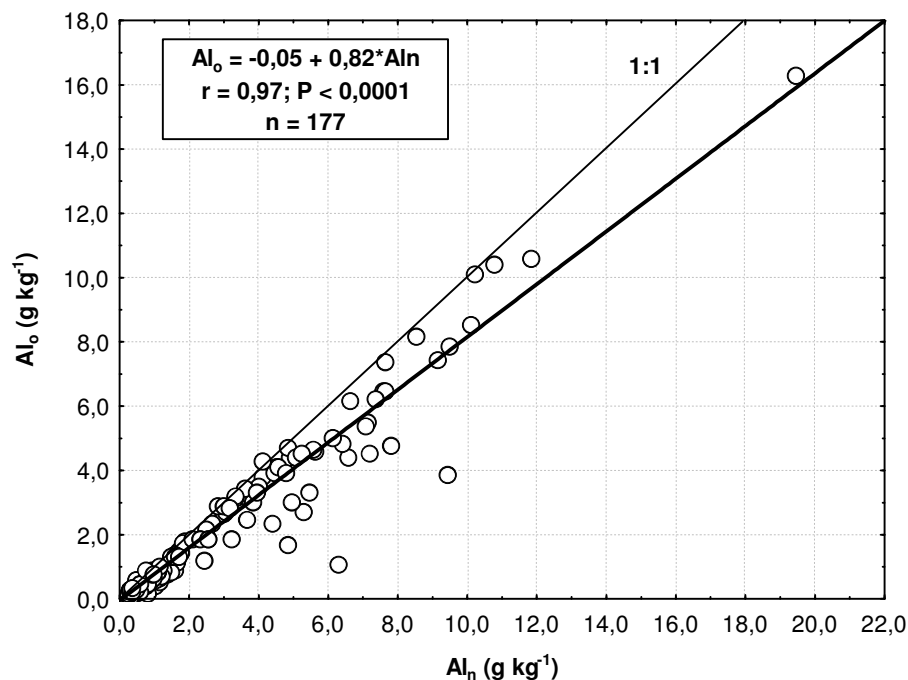


Figura 3.2 – Relação entre Al extraído por NaOH (Al_n) e oxalato (Al_o). Linha de regressão e equação para todas as amostras com valores de Al diferentes de zero

Lee, Yuan e Carlisle (1988) estudando Espodossolos da Flórida encontraram que NaOH dissolveu os maiores conteúdos de Al, enquanto pirofosfato extraiu o menor, com valores intermediários para Al_o . Os autores atribuíram esses resultados ao fato de que NaOH pode dissolver gibbsita e constituintes minerais pouco cristalinos, enquanto pirofosfato é assumido ser específico para complexos organo-metálicos. Apenas parcialmente esses resultados são aqui reproduzidos.

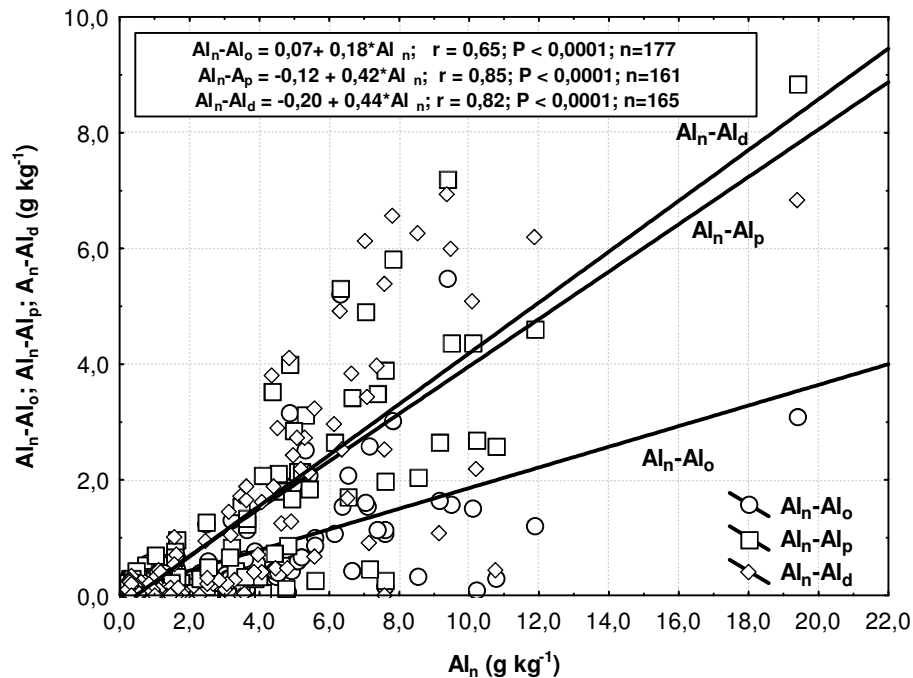


Figura 3.3 – Relação entre Al extraído com NaOH (Al_n) e o conteúdo de Al extraído por NaOH mas não por ditionito ($Al_n - Al_d$), oxalato ($Al_n - Al_o$) e pirofosfato ($Al_n - Al_p$). Foram incluídos apenas horizontes com valores de Al diferentes de zero e aqueles com diferença positiva ou nula entre os extratores

Nos solos estudados o NaOH 0,5 M geralmente extraiu mais Al que os outros extratores, tal como encontrado por Lee, Yuan e Carlisle (1988). Na Figura 3.3 se observa que Al_n aumenta com o aumento das diferenças entre $Al_n - Al_d$, $Al_n - Al_o$, $Al_n - Al_p$, sendo que Al_o , Al_d e Al_p representam, em média, cerca de 78%, 76% e 70% respectivamente do Al_n (dados não mostrados). No entanto, em poucos horizontes (6,0% dos horizontes - 16 amostras dentre 273 analisadas) os efeitos redutor e complexante do DC e oxalato respectivamente, bem como o efeito quelante do pirofosfato, sobrepuseram-se à dissolução do Al pelo NaOH (PANSU;

GAUTHEYROU, 2006; Al_n-Al_d , Al_n-Al_o e Al_n-Al_p $<0,81\text{ g kg}^{-1}$). Isso se deu predominantemente em alguns horizontes Bh e Bhm, possivelmente devido à maior polimerização das formas de Al, efeito tampão desses horizontes espódicos ou contribuição de constituintes de maior solubilidade em tais extratores em relação ao NaOH, embora não se observou relação entre conteúdos de Al, carbono, valores de pH e outros atributos químicos entre as referidas amostras e as demais analisadas. Pequenas diferenças entre extratores ($<10\%$) foram encontradas para algumas amostras, cujos valores no extrato NaOH, ligeiramente inferiores aos demais reagentes, foram desconsiderados devido aos erros metodológicos inerentes às análises em questão. Assim, tais amostras foram consideradas semelhantes na capacidade de extração de Al.

A Figura 3.4 mostra a correlação e a equação de regressão entre os conteúdos de Al extraídos por pirofosfato e aqueles extraídos com oxalato e DC de todos os horizontes e solos aqui estudados. A remoção de conteúdos similares entre os extratores já foi constatado anteriormente, bem como relatado por Jarvis (1986) para horizontes superficiais de solos sob pastagens permanentes e Gomes (2005) para Espodossolos sob vegetação de restinga próximos à área estudada (Ilha do Cardoso). No entanto, os valores médios, mínimos e máximos da relação Al_p/Al_o , respectivamente 0,91; 0,24 e 3,14, mostram que pirofosfato extrai mais que oxalato e isso se dá para um número significativo de amostras (64 dentre 172 amostras analisadas com relação Al_p/Al_o diferente de zero). Fato semelhante ocorre para a relação Al_p/Al_d (valores médios, mínimos e máximos de 0,92; 0,02 e 2,90, respectivamente). Esses resultados evidenciam à falta de especificidade dos extratores para Al: seja do pirofosfato para formas do elemento associadas à matéria orgânica, as quais podem incluir óxidos (SOON, 1993), tal como relatado por vários autores (BASCOMB, 1968; HIGASHI; DE CONINCK; GELAUDE, 1981; MACKEAGUE; SCHUPPLI, 1982; PAGÉ; KIMPE, 1989; SOON, 1993; KAISER; ZECK, 1996; SAUER et al., 2007), seja do oxalato (IYENGAR; ZELAZNY; MARTENS, 1981; SHOJI; FUJIWARA, 1984; FARMER et al., 1988; SKJEMSTAD et al., 1992a) ou ditionito (FARMER; RUSSEL; SMITH, 1983; GARCÍA-RODEJA, et al., 2004).

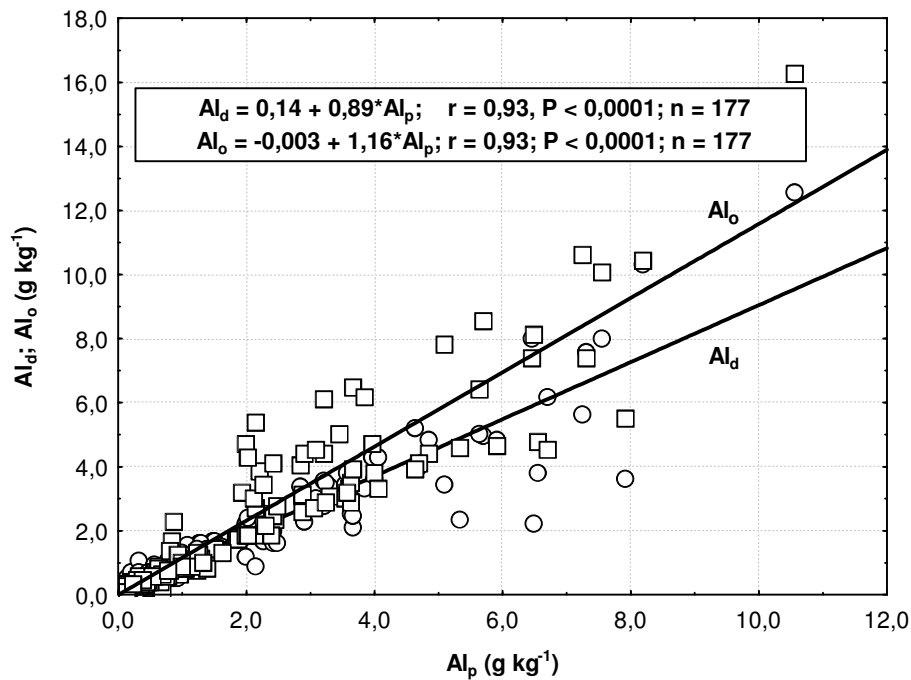


Figura 3.4 – Relação entre os extratores DC, pirofosfato e oxalato para todos os horizontes dos perfis analisados. Utilizaram-se apenas valores diferentes de zero

A inespecificidade do reagente oxalato foi constatada por Skjemstad et al., (1992a) ao estudar Espodosolos da costa australiana e é provável que se reproduza aqui. Os autores argumentaram que relações A_p/Al_o maiores que 1,0 podem acontecer nesses solos devido ao extrator não ser apto para extrair Al de complexos orgânicos insolúveis em meio ácido de certos horizontes. Essas frações insolúveis em meio ácido podem ser interpretadas como humina e ácido húmico (MOKMA; BUURMAN, 1982), sendo que, este último corresponde a mais de 90% dos horizontes Bhm e muitos Bh de Espodosolos de planícies costeiras tropicais e subtropicais, tal como genericamente relatado por vários autores (HOLZHEY; DANIELS; GAMBLE, 1975; FARMER; SKJEMSTAD; THOMPSON, 1983; GOMES et al., 1988) e observado em horizontes espódicos de alguns Espodosolos aqui estudados (LOPES et al., 2008).

3.2.2.2 Relação entre Extratores para os Horizontes Espódicos

A Tabela 3.2 mostra os atributos químicos selecionados para o conjunto dos horizontes espódicos estudados. Alguns dados e interpretações acima relatados devem ser considerados em relação àqueles mostrados na Tabela 3.2, à presença de constituintes inorgânicos pouco

cristalinos nas amostras estudadas, bem como à especificidade dos extratores, como veremos a seguir.

Os baixos valores de pH em água dos horizontes B espódicos (Tabela 3.2), com valores médios, mínimos e máximos, respectivamente, de 4,51; 3,13 e 5,97 encontram-se, em média, abaixo daqueles mínimos considerados adequados à formação de alofana e imogolita, condições ácidas essas favoráveis à dominância de complexos Al-húmus em detrimento de compostos inorgânicos pouco cristalinos (SHOJI et al., 1982; SHOJI; FUJIWARA, 1984). García-Rodeja et al. (2004) comentam que em valores de pH < 4,9 a complexação do Al pela matéria orgânica exerce um efeito anti-alofânico, não deixando algum Al disponível para formar alofana e imogolita. No entanto, o pH máximo (5,97) e a observação de alguns horizontes Bs, Bhs, Bsm e Bh selecionados (Tabela 3.3), cujos valores de pH se aproximam ou mesmo extrapolam 4,9, o que, aliado as suas relações Al_o/Al_d e Al_p/Al_o , sugerem que as condições químicas são favoráveis e houve formação de silicatos pouco cristalinos nesses horizontes espódicos, situados nas porções inferiores de perfis bem drenados. Em tais horizontes, a relação Al_p/Al_o foi sempre inferior a uma unidade, com valores mínimos e máximos de 0,34 e 0,92 (Tabela 3.3), respectivamente, estando dentre os menores aqui analisadas (Tabela 3.2). Ao contrário, Al_o/Al_d situou-se acima de uma unidade para os mesmos horizontes (Tabela 3.3). Relações semelhantes foram descritas por Farmer, Russel e Smith (1983) para horizonte Bs e por Childs, Parfitt e Lee (1983) para horizontes Bh e Bs de Espodossolos cuja fração argila continha alofana e imogolita. Segundo esses autores, essas relações ocorrem devido ao oxalato ser mais efetivo na extração de formas inorgânicas pouco cristalinas de Fe, Al e Si nos horizontes espódicos, enquanto pirofosfato é mais seletivo para complexos orgânicos e remove pequenos conteúdos de Fe, Al e Si dos solos. Por outro lado, DC reconhecidamente dissolve eficientemente óxidos de Fe livre, mas extrai apenas parcialmente alofana e imogolita (FARMER; RUSSEL; SMITH, 1983; SHOJI; FUJIWARA, 1984) e outros silicatos pouco cristalinos; daí as relações $Al_p/Al_o < 1$ e $Al_o/Al_d > 1$ em alguns horizontes dos Espodossolos aqui estudados e aqueles relatados por Childs, Parfitt e Lee (1983) e Farmer, Russel e Smith (1983) serem indicativas da presença de amorfos inorgânicos.

Tabela 3.2 – Dados químicos referentes aos horizontes B espódicos estudados

(continua)												
Perfil	Hor.	Prof.	pH	Corg ¹	Al _n ²	Al _d ³	Al _o ⁴	Al _p ⁵	Fe _d ³	Al _o /Al _d ⁶	Al _p /Al _o ⁷	Fe _o /Fe _d ⁸
		cm	-----g kg ⁻¹ -----									
2	Bhs1	67-90	4,8	5,98	1,46	1,46	1,33	1,23	3,77	0,91	0,93	0,99
2	Bhs2	74-116	4,9	9,76	4,40	2,51	3,96	3,65	2,42	1,58	0,92	1,52
2	Bhs3	116-140	5,0	8,81	5,60	2,35	4,61	5,33	1,82	1,96	1,16	1,68
2	Bhs4	114-128	4,9	12,91	7,10	3,66	5,55	7,89	3,29	1,52	1,42	1,39
2	Bhs5	128-153	5,1	4,41	3,60	1,71	3,47	2,25	0,85	2,03	0,65	1,39
2	Bhs6	126-152	5,2	6,30	5,05	2,31	4,44	2,88	1,32	1,92	0,65	1,19
2	Bhs7	140-200	5,3	4,41	4,52	1,62	4,13	2,40	0,63	2,55	0,58	1,14
2	plácico	..	5,4	8,18	8,51	2,23	8,18	6,47	0,00	3,67	0,79	..
3	Bh1	82-119	4,3	19,69	1,73	1,70	1,45	1,49	0,00	0,85	1,03	..
3	Bh2	107-125	4,5	11,51	1,03	1,03	0,89	0,86	0,00	0,87	0,96	..
3	Bh3	135-170	4,5	11,81	0,91	0,90	0,73	0,81	0,00	0,81	1,11	..
3	Bhm1	89-125	4,2	36,52	3,44	3,44	3,11	3,27	0,00	0,90	1,05	..
3	Bhm2	120-142	4,7	22,72	6,54	4,87	4,44	4,83	0,00	0,91	1,09	..
3	Bs1	107-125	4,8	5,45	1,13	0,96	0,87	0,86	0,00	0,91	0,98	..
3	Bs2	125-180	5,2	4,24	3,47	1,76	3,21	1,91	0,16	1,83	0,59	0,75
3	Bsm1	122-144	4,6	19,99	3,00	2,91	2,64	2,87	0,09	0,91	1,09	0,61
3	Bsm2	153-180	5,2	8,18	6,63	2,80	6,17	3,20	0,09	2,20	0,52	..
3	Bsm3	132-170	4,7	11,00	4,63	3,38	4,05	2,82	0,00	1,20	0,70	..
3	Bsm4	157-180	4,8	15,70	4,89	3,60	4,45	3,20	0,19	1,24	0,72	0,95
3	plácico	..	4,1	35,90	4,08	3,67	3,83	3,99	0,24	1,04	1,04	0,79
4	Bh	59-82	3,9	44,66	2,82	2,54	2,90	3,63	0,00	1,14	1,25	..
4	Bhm1	95-137	3,6	31,55	4,81	4,34	4,75	3,95	0,21	1,09	0,83	0,87
4	Bs	130-160	4,9	5,47	1,57	1,04	1,39	0,78	0,28	1,33	0,56	0,91
5	Bhg	57-75	4,0	10,70	0,98	0,95	0,87	0,95	0,15	0,91	1,09	1,00
5	Bh1	52-75	4,0	26,44	3,32	3,03	3,17	2,87	0,00	1,04	0,91	..
5	Bh2	63-80	3,9	33,37	3,83	3,44	3,04	3,51	0,00	0,88	1,15	..
5	Bh3	55-95	4,2	26,44	4,47	4,00	4,14	4,70	0,20	1,03	1,14	1,02
5	Bh4	126-150	4,4	32,11	10,76	10,33	10,45	8,16	0,55	1,01	0,78	0,85
5	Bh5	73-112	4,2	27,39	7,59	7,59	7,42	7,31	1,51	0,98	0,99	0,73
5	Bs1	78-101	4,7	12,59	10,08	4,98	8,57	5,69	5,43	1,72	0,66	1,26
5	Bs2	82-85	4,8	5,35	7,56	2,16	6,49	3,65	0,41	3,00	0,56	1,12
5	Bs3	95-126	4,6	10,07	9,45	3,47	7,86	5,07	2,76	2,27	0,65	1,20
5	Bs4	85-180	4,4	16,37	9,11	8,03	7,45	6,44	1,76	0,93	0,86	0,90
5	Bs5	130-150	4,8	3,15	7,81	1,24	5,77	1,98	0,37	4,65	0,34	0,96
5	Bs6	54-120	4,6	23,30	19,41	12,57	16,30	10,55	2,77	1,30	0,65	1,24
5	Bs7	155-180	4,7	13,85	11,84	5,63	10,62	7,23	0,77	1,89	0,68	1,14
5	plácico	..	4,6	15,74	10,21	8,01	10,10	7,53	16,10	1,26	0,75	0,96
6	Bhg	153-156	4,5	7,56	0,32	0,30	0,29	0,32	0,00	0,97	1,10	..
6	Bh1	156-165	3,8	39,04	1,87	1,83	1,79	1,83	0,00	0,98	1,02	..
6	Bhm1	156-205	3,8	51,00	2,65	2,46	2,38	2,43	0,00	0,97	1,02	..
6	Bhm2	158-205	3,9	38,41	3,05	2,85	2,75	3,03	0,00	0,96	1,10	..
6	Bh2	165-205	4,2	15,74	1,77	1,75	1,75	1,87	0,00	1,00	1,07	..
7	Bh1	26-37	4,2	11,65	0,73	0,73	0,52	0,68	0,00	0,71	1,30	..
7	Bh2	37-59	3,7	10,39	1,28	1,17	0,88	0,96	0,00	0,75	1,09	..
7	Bs	59-74	3,1	5,67	0,99	0,93	0,74	0,69	1,78	0,79	0,94	0,77
8	Bh1	36-42	4,2	17,31	0,96	0,96	0,85	0,85	0,07	0,88	1,01	0,46
8	Bh2	42-82	3,6	21,41	1,32	1,64	1,04	1,25	0,11	0,64	1,20	..
8	Bhs	53-93	3,4	10,39	1,51	1,59	1,09	1,07	0,33	0,68	0,98	0,83
8	Bs	93-114	3,6	4,41	0,90	0,70	0,57	0,56	0,25	0,81	0,98	0,95
9	Bhm	46-89	3,8	27,70	2,50	2,31	1,91	2,18	0,11	0,83	1,14	..
9	Bh2	89-106	4,1	10,70	1,46	1,34	1,26	1,26	0,00	0,94	1,00	..

Tabela 3.2 – Dados químicos referentes aos horizontes B espódicos estudados

Perfil	Hor.	Prof.	pH	Corg ¹	Al _n ²	Al _d ³	Al _o ⁴	Al _p ⁵	Fe _d ³	(continuação)		
										Al _o /Al _d ⁶	Al _p /Al _o ⁷	Fe _d /Fe _d ⁸
		cm		-----g kg ⁻¹ -----								
10	Bh1	83-103	3,9	15,11	0,80	0,73	0,21	0,66	0,00	0,29	3,14	..
10	Bh2	90-117	4,1	19,52	1,36	1,34	0,78	1,23	0,12	0,58	1,58	..
10	Bhm	117-150	4,1	18,57	1,45	1,45	0,84	1,38	0,00	0,58	1,64	..
11	Bh1	122-140	4,7	5,04	0,46	0,43	0,25	0,41	0,00	0,59	1,62	..
11	Bh2	140-160	4,5	5,35	1,11	1,03	0,85	0,92	0,00	0,83	1,08	..
14	Bh	43-71	4,4	6,09	0,43	0,58	0,43	0,44	1,29	0,75	1,02	1,21
14	Bs1	56-81	4,9	3,28	0,46	0,54	0,45	0,45	1,11	0,83	1,00	0,75
14	Bs2	65-110	5,2	2,19	0,50	0,50	0,49	0,39	1,06	0,98	0,80	0,94
15	Bh1	305-330	4,4	9,37	0,68	0,68	0,43	0,65	0,00	0,64	1,51	..
15	Bhm	340-360	4,3	13,43	1,01	1,15	0,89	1,09	0,00	0,77	1,22	..
15	Bh2	360-400	4,3	10,15	0,93	0,88	0,69	0,93	0,00	0,78	1,36	..
16	Bh1	90-121	4,3	4,69	0,53	0,47	0,47	0,47	0,00	1,00	0,99	..
16	Bh2	121-170	5,0	2,81	0,40	0,20	0,31	0,15	0,00	1,55	0,47	..
16	Bh3	134-193	4,9	3,75	0,62	0,39	0,45	0,36	0,00	1,16	0,80	..
16	Bh4	193-253	4,9	6,87	0,79	0,79	0,61	0,75	0,00	0,77	1,23	..
16	Bs	253-300	4,7	3,90	0,74	0,50	0,42	0,50	0,00	0,84	1,18	..
17	Bh	130-243	4,6	8,95	0,45	0,61	0,60	0,53	0,00	0,97	0,89	..
17	Bs	243-485	5,0	4,48	0,55	0,50	0,51	0,36	0,00	1,02	0,70	..
18	Bh1	27-50	5,0	2,65	0,20	0,17	0,20	0,20	0,11	1,19	1,00	..
18	Bh2	37-66	4,8	2,97	0,34	0,32	0,32	0,34	0,17	1,00	1,07	..
18	Bh3	66-69	5,2	3,59	0,54	0,44	0,40	0,40	0,18	0,89	1,01	..
19	Bh1	68-105	5,3	6,82	0,54	0,29	0,40	0,25	0,07	1,37	0,62	..
19	Bh2	105-117	4,8	8,37	0,61	0,38	0,47	0,28	0,08	1,24	0,60	..
19	Bh3	117-130	4,3	5,58	0,84	0,64	0,60	0,53	0,18	0,94	0,89	..
20	Bh	110-140	4,4	10,54	0,29	0,28	0,20	0,23	0,09	0,73	1,16	..
21	Bh	70-138	4,6	12,40	0,92	0,92	0,63	0,72	2,49	0,68	1,15	0,79
21	Bs1	73-150	5,2	7,13	1,05	1,05	0,83	1,02	0,06	0,79	1,23	..
21	Bs2	73-152	5,2	5,58	1,06	1,06	0,86	0,99	1,91	0,81	1,16	0,95
22	Bh1	67-119	4,8	9,92	6,30	1,37	1,07	0,98	0,11	0,78	0,92	..
22	Bh2	107-118	5,0	11,11	0,94	0,83	0,67	0,67	0,10	0,81	1,00	..
23	Bs	76-123	5,2	3,55	0,77	0,75	0,48	0,46	0,95	0,64	0,95	0,75
24	Bs1	70-95	5,7	4,96	0,90	0,98	0,80	0,80	0,76	0,82	1,00	0,58
24	Bs2	84-144	6,0	2,01	0,45	0,55	0,43	0,41	0,79	0,77	0,97	0,63
25	Bh	33-65	5,0	3,40	0,29	0,35	0,29	0,14	1,33	0,81	0,47	0,62
27	Bh	90-115	5,2	23,15	0,90	1,05	0,89	1,13	0,00	0,85	1,26	..
27	Bhm	99-160	3,9	38,59	3,90	4,34	3,34	4,04	0,00	0,77	1,21	..
28	Bhs1	54-73	4,6	11,27	2,96	3,50	2,92	3,23	7,30	0,83	1,10	0,95
28	Bhs2	65-88	5,0	10,50	5,55	4,88	4,67	5,91	5,60	0,96	1,27	0,94
28	Bhs3	60-108	4,8	13,89	7,15	6,23	4,55	6,69	8,70	0,73	1,47	0,91
28	Bhs4	77-177	5,1	10,81	7,60	5,06	6,46	5,63	4,60	1,28	0,87	0,75
28	Bhs5	111-200	5,1	6,33	5,20	3,03	4,54	3,06	1,12	1,50	0,67	1,00
28	Bhs6	134-160	4,9	8,49	7,35	3,36	6,22	3,84	1,71	1,85	0,62	1,00
28	Bhs7	150-200	5,0	6,79	6,11	3,13	5,04	3,44	3,91	1,61	0,68	1,00
29	Bh	47-70	3,8	36,12	1,10	1,36	1,06	1,30	0,00	0,78	1,22	..
29	Bhm1	60-87	3,7	50,94	2,05	2,19	1,87	1,98	0,00	0,85	1,06	..
29	Bhm2	87-104	4,4	18,52	2,46	2,58	2,17	2,30	0,00	0,84	1,06	..
29	Bs	104-115	4,6	9,11	2,28	2,28	1,88	1,98	0,00	0,83	1,05	..

Tabela 3.2 – Dados químicos referentes aos horizontes B espódicos estudados

Perfil	Hor.	Prof.	pH	Corg ¹	Al _n ²	Al _d ³	Al _o ⁴	Al _p ⁵	Fe _d ³	(conclusão)		
										Al _o /Al _d ⁶	Al _p /Al _o ⁷	Fe _o /Fe _d ⁸
		cm		-----g kg ⁻¹ -----								
30	Bhg	33-44	3,7	46,93	0,96	1,08	0,82	0,75	0,08	0,75	0,92	..
30	Bh	40-76	4,1	42,30	2,50	2,20	1,89	2,01	0,00	0,86	1,06	..
30	Bhm	58-105	3,7	33,03	4,77	5,21	3,95	4,62	0,00	0,76	1,17	..
31	Bh	45-87	3,8	28,40	1,66	1,53	1,34	1,62	0,07	0,88	1,21	..
31	Bhm	65-140	3,8	33,34	3,33	3,85	3,23	3,57	0,07	0,84	1,11	..
31	Bs1	140-290	4,5	5,56	3,12	1,66	2,83	2,46	0,00	1,70	0,87	..
31	Bs2	290-500	4,5	7,56	4,07	2,46	4,31	2,00	0,08	1,75	0,46	..

Nota – Sinais convencionais utilizados:

... Dados numéricos não disponíveis

.. Não se aplica dado numérico

¹Corg = Carbono orgânico

²Al_n = Al extraído com NaOH 0,5 M

³Al_d e Fe_d = Al e Fe extraídos com ditionito-citrato

⁴Al_o = Al extraído com oxalato

⁵Al_p = Al extraído com pirofosfato de sódio

⁶Al_o/Al_d = relação entre o Al extraído por oxalato (Al_o) e aquele extraído por ditionito-citrato (Al_d)

⁷Al_p/Al_o = relação entre o Al extraído por pirofosfato (Al_p) e aquele extraído por oxalato (Al_o)

⁸Fe_o/Fe_d = relação entre o Fe extraído por oxalato (Fe_o) e aquele extraído por ditionito-citrato (Fe_d)

Gomes (2005), estudando a mineralogia de Espodossolos próximos à área estudada, não encontrou compostos inorgânicos amorfos, tampouco relações entre extratores e valores de pH semelhantes aos aqui estudados. Três fatores podem ter contribuído para isso: **(a)** a técnica utilizada (difratometria de raios-X) e a forma de tratamento das amostras não foram adequadas ou suficientes para sua detecção, tal como relatado pelo próprio autor; **(b)** a inexistência de tais minerais nos solos estudados e, em complementação a isso; **(c)** os solos aqui estudados diferem em atributos daqueles relatados por Gomes (2005). Este autor trabalhou apenas com os chamados Espodossolos Hidromórficos com baixos ou nulos conteúdos de Fe nos horizontes espódicos (Fe_d < 1,00 g kg⁻¹), alguns dos quais os designou de Bs. Embora assim tenha nomeado alguns dos horizontes se baseando no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS), o que deveria indicar que os componentes de Fe são dominantes ou co-dominantes e que há pouco evidência de matéria orgânica iluvial (EMBRAPA, 2006), o autor afirma que o critério para tal designação baseou-se na morfologia (cor) dos horizontes, os quais possuíam matizes mais amareladas e cromas mais claros em relação aos horizontes Bh. Também, poucos dos horizontes aqui denominados de Bs e Bhs se ajustam aos critérios estabelecidos por EMBRAPA (2006), mas apresentam maiores conteúdos de Fe (Fe_d e Fe_o) em relação àqueles relatados por Gomes (2005),

maiores valores de pH e são melhor drenados. Esse último fator, sozinho, é suficiente para promover condições químicas e biológicas diferenciadas entre os Espodossolos bem drenados aqui descritos e àqueles hidromórficos estudados por Gomes (2005), o que inevitavelmente influencia nos processos de formação, morfologia e mineralogia dos solos; daí as diferenças observadas entre extratores, valores de pH e, provavelmente, mineralogia entre os solos descritos aqui e aqueles apresentados por Gomes (2005).

Outros fatores, no entanto, são mais relevantes aos acima relatados e devem ser considerados na avaliação da mineralogia, com enfoque à presença de silicatos pouco cristalinos quando se utiliza dissoluções seletivas. Embora as relações Al_p/Al_o e Al_o/Al_d utilizadas foram semelhantes àquelas descritas para Espodossolos de clima frio (CHILDS, PARFITT; LEE, 1983; FARMER; RUSSEL; SMITH, 1983) nos valores de pH acima relatados ($pH > 4,9$), isoladas, podem sugerir, mas jamais caracterizam tais minerais. A presença de gibbsita e/ou, sobretudo, caulinita, ambas com baixo grau de cristalinidade nesses horizontes é mais provável refletir as referidas relações nos valores de pH encontrados na Tabela 3.3, e vai ao encontro: **(a)** da reconhecida capacidade de extração dos reagentes utilizados (PARFITT; CHILDS, 1988; KODAMA; ROSS, 1991), **(b)** da relativa pobreza do material de partida (van BREEMEN; BUURMAN, 2002), e **(c)** dos processos de formação dos Espodossolos nas condições químicas aqui encontradas (FARMER; RUSSEL; SMITH, 1983). Farmer, Russel e Smith (1983) argumentam que sob condições ácidas em que os Espodossolos se formam é plausível a mobilidade do Al como íons Al^{3+} e $Al(OH)^{2+}$, especialmente em materiais de origem pobres, onde silicatos são insuficientes para formar proto-imogolita (precursor da imogolita). Segundo os autores, Al pode mover verticalmente desta maneira e precipitar nos horizontes mais profundos devido aos valores mais elevados de pH, tal como ocorre nos horizontes Bs, Bhs, Bsm (Tabela 3.3) e, sobretudo, horizontes C (dados não mostrados), originando gibbsita mal cristalizada.

Tabela 3.3 – Dados químicos referentes a horizontes espódicos selecionados (Bs, Bh, Bhs e Bsm)

Perfil	Hor. ¹	Prof. ²	pH	Ctotal ³	Corg ⁴	Al _p ⁵	Al _n ⁶	Fe _d ⁷	(Al _n -Al _o) ⁸	(Al _n -Al _d) ⁹	(Al _o -Al _p) ¹⁰	Al _o /Al _d ¹¹	Al _p /Al _o ¹²	Al _p +Fe _p /Corg ¹³	Fe _o /Fe _d ¹⁴	
		cm		g kg ⁻¹												
2	Bhs2	74-116	4,9	9,90	9,76	3,65	4,40	2,42	0,45	1,89	0,31	1,58	0,92	0,78	1,52	
2	Bhs5	128-153	5,1	4,76	4,41	2,25	3,60	0,85	0,13	1,89	1,22	2,03	0,65	0,79	1,39	
2	Bhs6	126-152	5,2	6,10	6,30	2,88	5,05	1,32	0,62	2,74	1,56	1,92	0,65	0,70	1,19	
2	Bhs7	140-200	5,3	5,51	4,41	2,40	4,52	0,63	0,40	2,90	1,73	2,55	0,58	0,74	1,14	
3	Bs2	125-180	5,2	4,40	4,24	1,91	3,47	0,16	0,26	1,71	1,31	1,83	0,59	0,47	0,75	
3	Bsm2	153-180	5,2	9,11	8,18	3,20	6,63	2,20	0,46	3,83	2,98	2,20	0,52	0,39	..	
4	Bs	130-160	4,9	5,35	5,47	0,78	1,57	0,28	0,19	0,53	0,61	1,33	0,56	0,18	0,91	
5	Bs1	78-101	4,7	13,92	12,59	5,69	10,08	5,43	1,51	5,10	2,89	1,72	0,66	0,91	1,26	
5	Bs2	82-85	4,8	6,26	5,35	3,65	7,56	0,41	1,08	5,40	2,84	3,00	0,56	0,75	1,12	
5	Bs3	95-126	4,6	12,15	10,07	5,07	9,45	2,76	1,59	5,98	2,79	2,27	0,65	0,83	1,20	
5	Bs5	130-150	4,8	5,22	3,15	1,98	7,81	0,37	2,04	6,57	2,79	4,67	0,34	0,72	1,00	
5	Bs7	155-180	4,7	15,28	13,85	7,23	11,84	0,77	1,22	6,21	3,39	1,89	0,68	0,58	1,14	
17	Bs	243-485	5,0	4,98	4,48	0,36	0,55	0,00	0,04	0,04	0,15	1,02	0,70	0,08	..	
19	Bh1	68-105	5,3	6,89	6,82	0,25	0,54	0,07	0,15	0,25	0,15	1,37	0,62	0,04	0,95	
19	Bh2	105-117	4,8	7,66	8,37	0,28	0,61	0,08	0,15	0,24	0,19	1,24	0,61	0,03	0,94	
28	Bhs4	77-177	5,1	10,40	10,81	5,63	7,60	4,60	1,14	2,54	0,84	1,28	0,87	0,88	0,75	
28	Bhs5	111-200	5,1	6,57	6,33	3,06	5,20	1,12	0,66	2,17	1,48	1,50	0,67	0,66	1,00	
28	Bhs6	134-160	4,9	9,00	8,49	3,84	7,35	1,71	1,13	3,99	2,38	1,85	0,62	0,65	1,00	
28	Bhs7	150-200	5,0	7,27	6,79	3,44	6,11	3,91	1,07	2,98	1,60	1,61	0,68	1,03	1,00	

Nota – Sinais convencionais utilizados:

.. Não se aplica dado numérico

¹ Hor. = Horizonte

² Prof. = profundidade

³ Ctotal = Carbono total

⁴ Corg = Carbono orgânico

⁵ Al_p = Al extraído com pirofosfato

⁶ Al_n = Al extraído com NaOH 0,5 M

⁷ Fe_d = Fe extraído com ditionito-citrato

⁸ (Al_n - Al_o) = Al especificamente extraído por NaOH 0,5 M (Al_n), mas não por oxalato (Al_o); Al cristalino ou menos reativo

⁹ (Al_n - Al_d) = Al especificamente extraído por NaOH 0,5 M (Al_n), mas não por ditionito-citrato (Al_d)

¹⁰ (Al_o - Al_p) = Al especificamente extraído por oxalato (Al_o), mas não por pirofosfato (Al_p); Al presente na estrutura dos aluminossilicatos amorfos

¹¹ Al_o/Al_d = relação entre o Al extraído por oxalato (Al_o) e o Al extraído por ditionito-citrato (Al_d)

¹² Al_p/Al_o = relação entre Al extraído por pirofosfato (Al_p) e Al extraído por oxalato (Al_o)

¹³ Al_p + Fe_p/Corg = relação entre Al + Fe extraídos com pirofosfato (Al_p + Fe_p) e carbono orgânico (Corg)

¹⁴ Fe_o/Fe_d = relação entre o Fe extraído com oxalato (Fe_o) e o Fe extraído com ditionito-citrato (Fe_d)

A significativa diferença entre o Al_n , que reconhecidamente dissolve gibbsita e aluminossilicatos pouco cristalinos (DARKE; WALBRIDGE, 1994), e o Al_d ($Al_n - Al_d$) da Tabela 3.3, as quais estão dentre as maiores observadas nos respectivos perfis, sugere a presença de gibbsita e/ou caulinita. Este último extrator falha na dissolução de aluminossilicatos não cristalinos ou gibbsita (DALHGREN; SAIGUSA, 1994), enquanto oxalato é comumente utilizado para dissolver hidróxidos e oxidróxidos de Al de baixo grau de cristalinidade (MACKEAGUE; DAY, 1966; MACKEAGUE; BRYDON; MILES, 1971), além de alguma gibbsita (PARFITT; CHILDS, 1988; KODAMA; ROSS, 1991); daí os valores positivos da diferença entre Al_n e Al_o ($Al_n - Al_o$) observado nos dados da Tabela 3.3, indicando que formas de Al cristalino ou menos reativo (GARCÍA-RODEJA et al., 2004) podem estar presentes em alguns horizontes espódicos bem drenados, sobretudo naqueles identificados como Bs no perfil P5, os quais mostram o maior valor da diferença entre os extratores (Tabela 3.3). No entanto, as formas pouco cristalinas do elemento predominam. Caulinita, mas não gibbsita, foi encontrada na exígua fração argila de todos os horizontes espódicos descritos por Gomes (2005) próximos a área estudada, fato comum em Espodosolos de clima tropical e subtropical, onde o intemperismo é mais intenso (van BREEMEN; BUURMAN, 2002).

Devido à evidente presença das formas inorgânicas e especificidade dos extratores supracitados, outras relações e considerações podem ser mencionadas com respeito aos horizontes espódicos elencados na Tabela 3.3: **(a)** a curva de regressão ($r = 0,99$; $P < 0,0001$) entre Al_n e Al_o para esse conjunto de horizontes é mais bem ajustada, seja em relação àquela descrita na Figura 3.2 ($r = 0,97$; $P < 0,0001$), que considera todos os horizontes e perfis aqui estudados, seja analisando apenas os horizontes espódicos da Tabela 3.2 ($r = 0,98$; $P < 0,0001$); **(b)** a diferença $Al_o - Al_p$ (Tabela 3.3), a qual se refere ao Al presente na estrutura dos aluminossilicatos amorfos (MACKEAGUE; DAY, 1966), segue a mesma tendência daquela acima relatada para a diferença entre Al_n e Al_d , ou seja, estão entre as maiores observadas nos horizontes espódicos dos respectivos perfis. Ambas as diferenças ($Al_n - Al_d$ e $Al_o - Al_p$; Tabela 3.3), sempre positivas, suas magnitudes, bem como as relações entre extratores, discriminam tais horizontes bem drenados (Bs, Bhs, Bh e Bsm) dos demais morfologicamente diferentes e sujeitos a condições hidromórficas diferenciadas (A, Bhm, C e a grande maioria dos horizontes Bh mal drenados), fornecendo indicações da composição mineralógica e dos processos envolvidos na formação dos

Espodossolos sob vegetação de restinga, condizentes com a literatura mundial sobre o tema e com a habilidade extratora dos reagentes utilizados.

A abordagem aqui adotada, analisando preliminarmente todos os horizontes e perfis e, posteriormente, restringindo a forma de análise a um conjunto menor de amostras de horizontes com características diferenciadas morfológicamente, que foram discriminadas pelas técnicas de dissoluções seletivas, comprovam a relativa habilidade e especificidade dos reagentes NaOH, DC, oxalato e pirofosfato em extrair diferentes formas de Al dos Espodossolos estudados. Se houve alguma ineficiência dos extratores para formas de Al em alguns horizontes ou perfis, tal como sugerido e evidenciado por vários autores (HIGASHI; DE CONINCK; GELAUDE, 1981; SKJEMSTAD et al., 1992a; KAISER; ZECK, 1996), esta, possivelmente, não será limitante a ponto de inviabilizar ou incorrer em interpretações enganosas na sua utilização para fins de caracterização química e em estudos de pedogênese dos solos das áreas de restinga, sobretudo quanto ao reagente pirofosfato. A especificidade deste extrator pode ser confirmada pela Figura 3.5a. Esta foi obtida se utilizando os dados da Tabela 3.3, sendo que a curva designada de Ap1 (Figura 3.5a) se refere a todo o conjunto de dados da referida tabela; Ap2 aos mesmos conjuntos, eliminando-se os quatro menores valores do extrato pirofosfato.

A primeira e forte evidência sobre a capacidade do pirofosfato em extrair Al organicamente unido vem da boa relação obtida entre Al_p e Corg. Utilizando-se todos os dados da Tabela 3.3, a curva Ap1 (Figura 3.5a) apresenta pior ajuste em relação aos dados selecionados, curva Ap2. Essa seleção compreende os mais baixos valores de Al_p e relação Al_p+Fe_p/C (Tabela 3.3), que não acompanharam o aumento do conteúdo do Corg, ou seja, para três dessas amostras, aumentando-se o conteúdo de Corg não há um aumento da capacidade de extração do pirofosfato. Apesar dos pequenos conteúdo e amplitude de variação do Corg das amostras, com valores similares ao do carbono total (Ctotal; Tabela 3.3), a tendência acima relatada pode indicar que a influência da matéria orgânica nesses horizontes não depende unicamente da quantidade, mas também de sua natureza, tal como demonstrado por vários autores (HIGASHI; DE CONINCK; GELAUDE, 1981; BUURMAN 1985; DAHLGREN; SAIGUSA, 1994; URRUTIA et al., 1995). As diferentes substâncias húmicas, ácidos húmicos, fúlvicos e humina, por exemplo, apresentam diferentes capacidades de retenção de metais (STEVENSON, 1982; SKJEMSTAD, 1992).

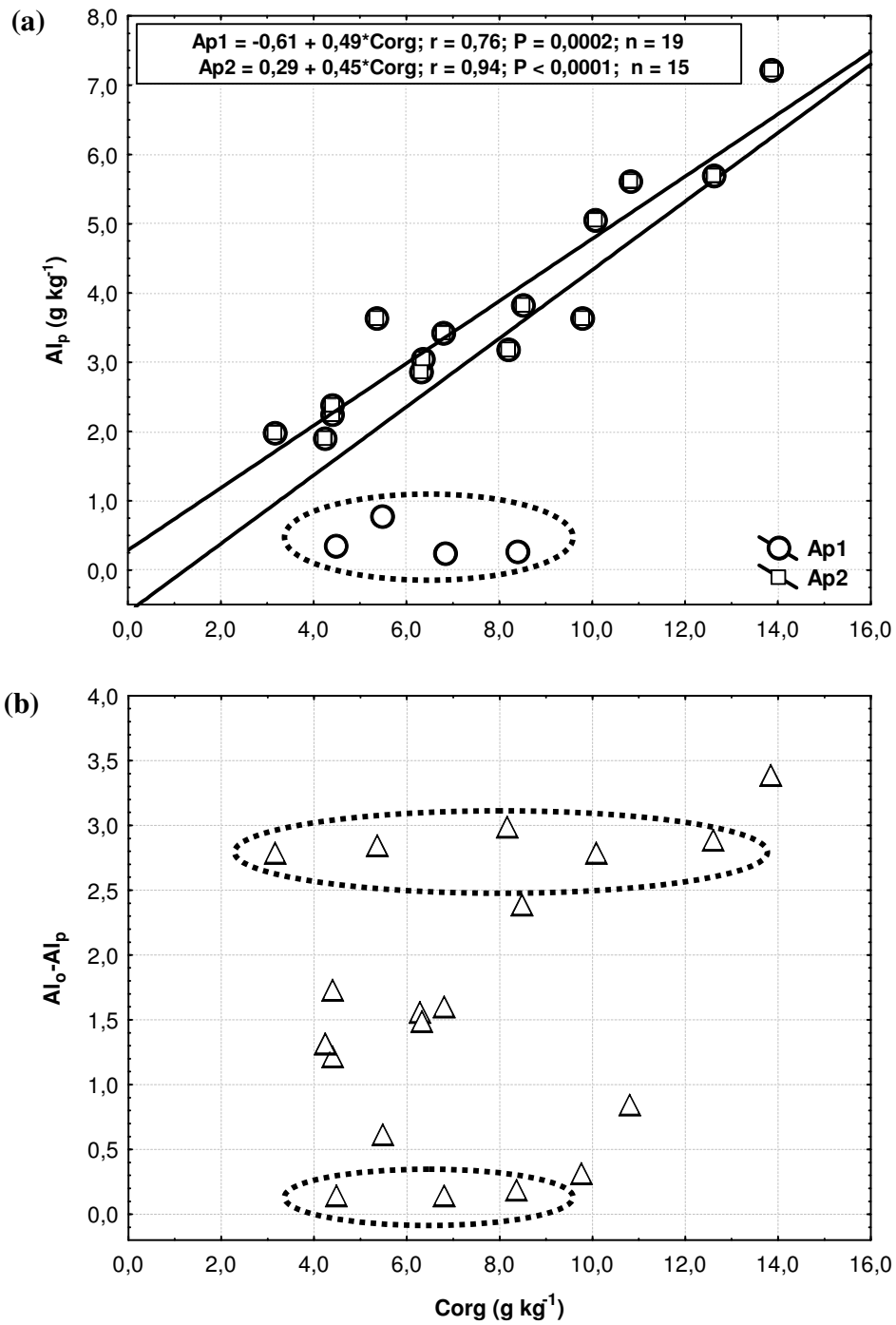


Figura 3.5 – Relação entre o carbono orgânico (Corg) e o (a) Al extraído com pirofosfato (Al_p). Ap1 se refere a todo o conjunto de amostras da Tabela 3.3; Ap2 são as mesmas amostras, eliminando-se aquelas circundadas pela elipse; (b) Al presente na estrutura dos aluminossilicatos amorfos ($Al_0 - Al_p$). Continua

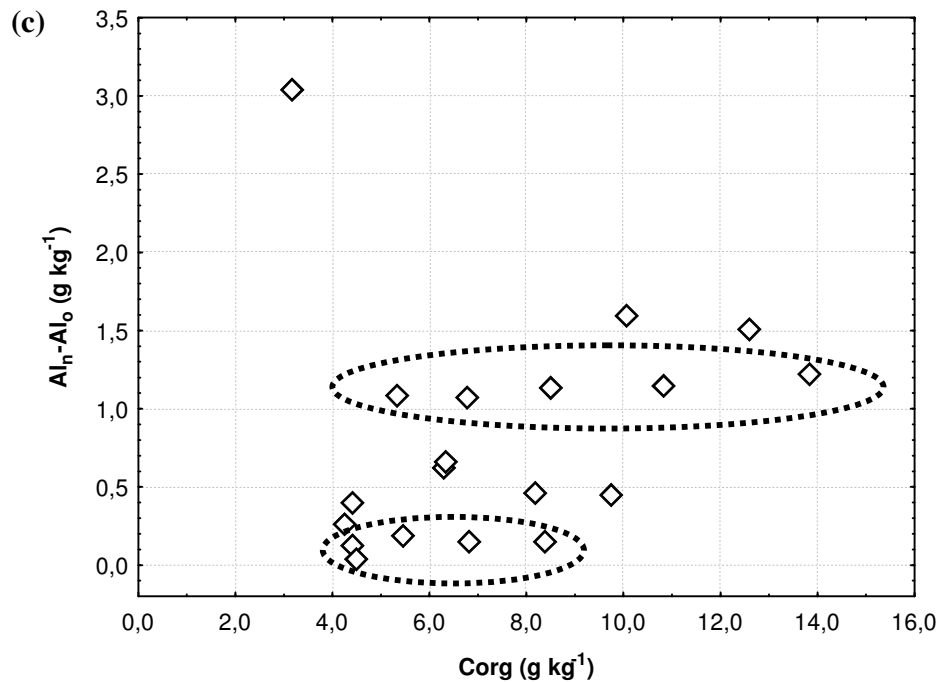


Figura 3.5 – Conclusão. (c) Al cristalino ou menos reativo (Al_n-Al_o). Para interpretação, ver texto

A interpretação sobre a natureza diferenciada do húmus e das condições químicas locais que definem as diferentes formas de Al nos solos também pode explicar a grande dispersão dos dados quando analisamos a relação Al_p e Corg de todos os perfis e horizontes estudados (ampla variação do Corg e Al_p), bem como ao restringirmos a análise aos horizontes espódicos, tal como observamos na Figura 3.6. Nesta se verifica os baixos conteúdo e saturação por Al no húmus para muitos horizontes superficiais A (amostras circundadas), uma vez que há uma variação e aumento expressivo do Corg ($15 < Corg < 80 \text{ g kg}^{-1}$) com pequeno ou nulo incremento no conteúdo de Al_p ($0,1 < Al_p < 0,4 \text{ g kg}^{-1}$), semelhante ao descrito para os horizontes espódicos bem drenados da Figura 3.5a. De fato, Wada e Higashi (1976) utilizando procedimentos de dissoluções seletivas encontraram que o horizonte A de Andossolos, também caracterizados pela presença de complexos Al-húmus (SHOJI; FUJIWARA, 1984), mostraram baixa capacidade de complexação de metais devido à jovialidade da matéria orgânica dos mesmos. Para o caso dos horizontes espódicos, essa jovialidade pode estar presente em alguns horizontes e perfis estudados, sobretudo naqueles bem drenados, recebendo constantemente material orgânico iluvial fresco. Em alguns desses horizontes, com baixos conteúdos de Corg ($< 15 \text{ g kg}^{-1}$), tal como observamos anteriormente, os valores de pH e as relações entre extratores (Tabela 3.3; Figura 3.5a) indicaram

a ocorrência de materiais inorgânicos de Al pouco cristalinos, evidenciando a formação preferencial de tais compostos em detrimento da complexação do Al pelo húmus; daí a falta ou pequena relação entre Corg e Al_p para algumas amostras da Figura 3.5a (circundadas), possivelmente com natureza diferenciada dos componentes orgânicos em relação aos demais horizontes. De fato, a matéria orgânica desses horizontes (amostras circundadas; Figura 3.5a) não parece estar saturada com metais. A relação Al_p+Fe_p/Corg (relação Metal/Corg) da Tabela 3.3 dessas mesmas amostras (Perfis 18 e 26) se encontra muito abaixo ou próxima de 0,12 e são as menores observadas; valor este considerado por Higashi, De Coninck e Gelaude (1981) como limite para a união de metais à matéria orgânica do solo. Isso novamente corrobora os resultados e discussões anteriores de que as condições químicas em alguns horizontes espódicos bem drenados são favoráveis às formas de Al inorgânico, mas sugere, para a maioria das amostras e com relação metal/Corg muito superior a 0,12, que o pirofosfato pode ter extraído outras formas que não apenas Al complexado à matéria orgânica.

As Figuras 3.5b e 3.5c mostram, respectivamente, a relação entre o Corg e o Al presente na estrutura dos minerais amorfos (Al_o-Al_p) e cristalinos (Al_n-Al_o). Embora haja uma tendência de aumento do Al amorfo com o Corg (Figura 3.5b), essa é pouco expressiva, tal como pode ser verificado pela grande dispersão dos dados ($r = 0,30$). Do exame da Figura 3.5c se observa que praticamente não há relação entre Corg e minerais cristalinos ($r = 0,18$). As amostras circundadas nas figuras evidenciam que o aumento de Corg não é acompanhado pelo aumento significativo das formas de Al no solo. Tais resultados comprovam a habilidade e relativa especificidade dos extratores para extrair as diferentes formas de Al, pois, caso contrário, esperar-se-ia um melhor ajuste das curvas, tal como ocorreu na Figura 3.5a (relação entre Corg e Al_p).

O elemento Fe aparece predominantemente nos Espodossolos bem drenados na área estudada e são geralmente inferiores ao Al (oxalato). As Tabelas 3.2 e 3.3 mostram que a denominada relação ferro ativo (Fe_o/Fe_d), utilizada por Blume e Schwertmann (1969) como uma medida relativa grau de envelhecimento ou cristalinidade dos óxidos de ferro livre, está próxima a 1 para a maioria das amostras, indicando que compostos de Fe amorfos predominam. Apesar da coloração amarela (10YR 5/6, por exemplo) de alguns horizontes bem drenados aqui denominados de Bs, seus teores de Fe_d são, em geral, muito baixos ou mesmo, nulos (Tabela 3.2). Como, em geral, tanto o conteúdo de Corg (<10 g kg⁻¹) como a superfície específica das areias quartzosas onde tais horizontes são formados são baixos, apenas um pequeno conteúdo de

óxidos de ferro são suficientes para imprimir colorações intensas nesses solos. No entanto, é de se esperar que o tipo da matéria orgânica tenha forte influência na coloração de alguns horizontes amarelos Bs, com conteúdos não detectáveis de Fe_d , fato já mencionado van Breemen e Buurman (2002).

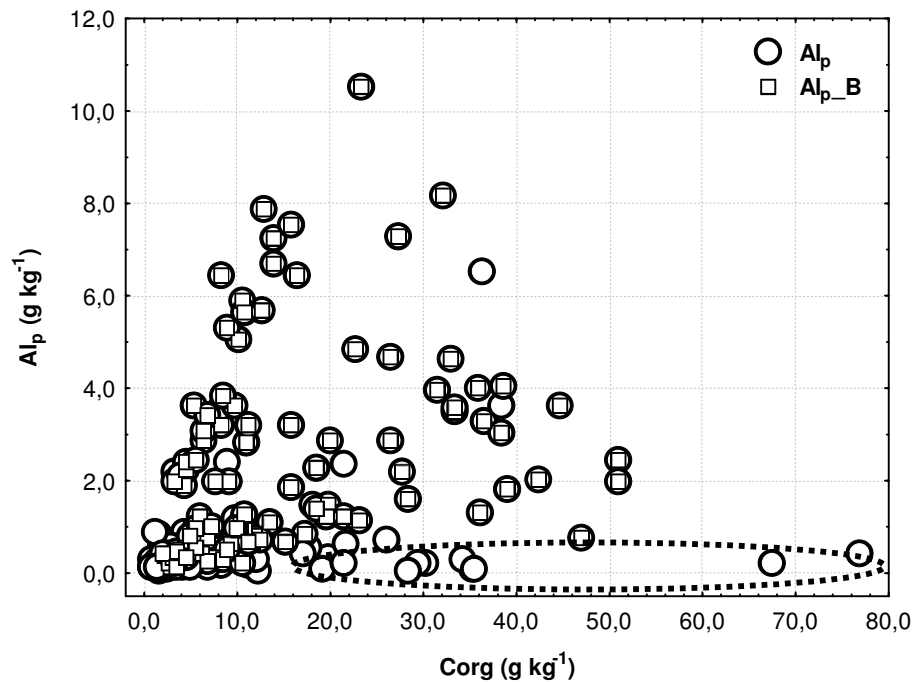


Figura 3.6 – Relação entre o carbono orgânico (Corg) e o Al extraído por pirofosfato (Al_p). As amostras designadas de Al_p se referem à relação entre Corg e Al_p de todos os horizontes aqui estudados (horizontes A, E, B, C e intermediários), com valores diferentes de zero. Al_p -Bh se refere à relação entre o Corg e o conjunto de dados dos horizontes espódicos bem drenados da Tabela 3.2. Elipse circunda alguns horizontes superficiais do tipo A de baixos conteúdos de Al_p e que pouco variaram com o aumento do Corg

3.2.2.3 Considerações Finais

A significativa dispersão dos dados mostrados na Figura 3.6 deve refletir, em grande parte, a complexidade da matéria orgânica (grau de humificação e química) e as condições pedogenéticas nos quais os horizontes e perfis são formados, ao contrário da relativa falta de especificidade do reagente pirofosfato, tal como se observou ao analisarmos um menor conjunto de dados (Tabela 3.3; Figura 3.5). A visível, contrastante e surpreendente diversidade morfológica (cor e consistência), bem como a variabilidade espacial dos horizontes (A, E, EA, AE, Bs, Bh, Bhg, Bhm, Bsm, Bhs, CB e C) verificadas em campo, tanto horizontal, como

vertical, sugerem que compostos orgânicos e inorgânicos também variam e são co-responsáveis por essa diversidade. De fato, a natureza diferenciada do húmus nos Espodosolos, sobretudo dos horizontes espódicos, tem sido uma constante na literatura que aborda o tema em ambientes tropicais (GOMES et al., 1988; SKJEMSTAD, et al., 1992a, SKJEMSTAD, et al., 1992b; van RANST et al., 1997).

Mokma (1983) relatou que o conteúdo e distribuição de materiais amorfos variam grandemente nos horizontes espódicos, fato constatado com os diferentes extratores aqui utilizados, sobretudo naqueles horizontes bem drenados, sugerindo a adequabilidade dos mesmos quando utilizados para caracterizar os Espodosolos em ambiente de restinga; solos com baixos conteúdos de argila, esta de mineralogia simples, possivelmente dominada por caulinita (e gibbsita?) e óxidos de ferro (ambiente bem drenado), ambos pobremente cristalinos.

O uso de extratores para determinar formas específicas de ocorrência de metais nos solos tem um número de deficiências, particularmente onde a química é tão complexa como a do Al. Extratores podem reagir com formas outras que aquelas intencionadas e os metais podem mudar sua forma durante a extração e mesmo não permanecer em solução (Jarvis, 1986). Para o caso do pirofosfato, se o extrato de algumas amostras aqui analisadas, sobretudo naquelas referentes aos horizontes espódicos bem drenados, contém materiais outros que Al complexado à matéria orgânica, deve ser considerado na avaliação do elemento como critério na distinção de horizontes espódicos. No entanto, como afirmam MacKeague e Schuppli (1982), se tal critério resulta numa consistente e lógica diferenciação dos solos e horizontes, demonstrando-se relevantes tendências e relações na interpretação dos resultados das análises, como encontramos neste trabalho, as conseqüências de se utilizar tais informações são insignificantes.

3.3 Conclusões

1. As formas predominantes de Al ativo nos Espodosolos estudados são: complexos de Al-húmus e compostos inorgânicos pouco cristalinos, provavelmente caulinita e/ou gibbsita de baixa cristalinidade. Enquanto os primeiros predominam nos horizontes superficiais e horizontes espódicos hidromórficos, as formas inorgânicas amorfas se relacionam predominantemente a alguns horizontes espódicos bem drenados (Bs, Bh, Bhs e Bsm), situados na base dos perfis;

2. Os resultados apresentados aqui são consistentes com aqueles reportados por muitos investigadores e dão indicação da distribuição do Al e sua associação a espécies orgânicas e inorgânicas relacionadas à podzolização, tal como relatado por Paterson, Clark e Birnie (1993);
3. NaOH 0,5 M extrai, em média, 22 a 30% mais Al que os outros extratores e, juntamente com DC, oxalato, pirofosfato e suas relações, discriminaram perfeitamente alguns horizontes espódicos bem drenados (Bs, Bh, Bhs e Bsm) daqueles em que os complexos Al-húmus são únicos ou predominam. Nesses, todos os extratores tiveram eficácia semelhante;
4. Ditionito-citrato foi menos efetivo na extração de Al do que o oxalato e pirofosfato nos mesmos horizontes espódicos bem drenados acima relatados devido à inabilidade do mesmo na extração de componentes inorgânicos pouco cristalinos;
5. Apesar de insuficientes e não comprobatórios, os valores de pH e a relação entre os extratores aqui utilizados condizem com a presença de minerais do tipo alofana, gibbsita ou caulinita em alguns horizontes espódicos bem drenados. Os primeiros são freqüentes apenas em Espodosolos boreais e temperados. Devido à carência de estudos mineralógicos desses solos sob condições tropicais, sugere-se uma avaliação detalhada da mineralogia da exígua fração argila (pouco cristalina) nesses horizontes, o que contribuirá para a caracterização com ênfase ao entendimento dos processos de podzolização nesses ambientes frágeis e pouco estudados de restinga. Ademais, tais estudos darão suporte ao aperfeiçoamento da classe dos Espodosolos no SiBCS, uma das mais carentes em atributos químicos discriminadores de classes, inclusive e principalmente em nível de Ordem.

Referências

AGÊNCIA METROPOLITANA DA BAIXADA SANTISTA (AGEM). **Indicadores metropolitanos da Baixada Santista**. Tabelas, Mapas, Gráficos, Vídeos. Secretaria dos Transportes Metropolitanos. Conselho de Desenvolvimento da Baixada Santista – CONDESB. São Paulo. 2002/2003. 2003. 1 CD-ROM

ANDERSON, H.A.; BERROW, M.L.; FARMER, V.C.; HEPBURN, A.; RUSSEL, J.D.; WALKER, A.D. A reassessment of podzol formation processes. **Journal of Soil Science**, Oxford, v. 33, p. 125-136, 1982.

BARIL, R.; BITTON, G. Teneurs élevées de fer libre et l'identification taxonomique de certains sols du Québec contenant de la magnétite. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v. 59, p. 1-9, 1969.

- BARRET, L.R.; SCHAETZL, R.J. An examination of podzolization near Lake Michigan using chronofunctions. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v. 72, p. 527-541, 1992.
- BASCOMB, C.L. Distribution of pyrophosphate-extractable iron and organic carbon in soils of various groups. **Journal of Soil Science**, Oxford, v. 19, p. 251-268, 1968.
- BLOOM, P.R.; McBRIDE, M.B.; WEAVER, R.M. Aluminum organic matter in acid soils: buffering and solution aluminum activity. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 43, p. 448-493, 1979.
- BLUME, H.P.; SCHWERTMANN, U. Genetic evaluation of distribution of aluminium, iron, and manganese oxides. **Soil Science Society American Proceedings**, Madison, v. 33, p. 438-444, 1969.
- BORGGAARD, O.K. Organic matter and silicon in relation to the crystallinity of soil iron oxides. **Acta Agriculturae Scandinavica**, London, v. 35, p. 398-406, 1985.
- BUURMAN, P. Carbon/sesquioxide ratios in organic complexes and the transition albic-spodic horizon. **Journal of Soil Science**, Oxford, v. 36, p. 255-260, 1985.
- BUURMAN, P.; LAGEN, B.; VELTHORST, E.J. **Manual of soil and water analysis**. Leiden: Backhuys Publishers Leiden, 1996. 314p.
- CHILDS, C.W.; PARFITT, R.L.; LEE, R. Movement of aluminium as an inorganic complex in some podzolized soils, New Zealand. **Geoderma**, Amsterdam, v. 29, p.139-155, 1983.
- DALHGREN, R.A.; SAIGUSA, M. Aluminum release rates from allophonic and non allophonic Andosols. **Soil Science and Plant Nutrition**, Tokyo, v. 40, p. 125-136, 1994.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROCUPECUÁRIA (EMBRAPA). Centro Nacional de Pesquisa em Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Brasília: EMBRAPA, Produção de informação; Rio de Janeiro: EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisa em Solos, 2006. 306p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROCUPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa em Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Rio de Janeiro, 1997. 212p.
- FARMER, V.C.; FRASER, A.R.; ROBERTSON, L.; SLEEMAN, J.R. Proto-imogolite allophone in podzol concretions in Australia: Possible relationship to aluminous ferrallitic (lateritic) cementation. **Journal of Soil Science**, Oxford, v. 35, p. 333-340, 1984.
- FARMER, V.C.; RUSSEL, J.D.; SMITH, B.F.L. Extraction of inorganic forms of translocated Al, Fe and Si from a podzol Bs horizon. **Journal of Soil Science**, Oxford, v. 34, p. 571-576, 1983.

FARMER, V.C.; SMITH, B.F.L.; WILSON, M.J.; LOVELAND, P.J.; PAYTON, R.W. Readily-extractable hydroxyaluminium interlayers in clay- and silt-sized vermiculite. **Clay Minerals**, London, v. 23, p. 271-277, 1988.

FARMER, V.C.; SKJEMSTAD, J.O.; THOMPSON, C.H. Genesis of humus B horizons in hydromorphic humus podzols. **Nature**, London, v. 304, p. 342-344, 1983.

GARCÍA-RODEJA, E.; NÓVOA, J.C.; PONTEVEDRA, X.; MARTÍNEZ-CORTIZAS, A.; BUURMAN, P. Aluminium fractionation of European volcanic soils by selective dissolution techniques. **Catena**, Amsterdam, v. 56, p. 155-183, 2004.

GOMES, F.H. **Gênese e classificação de solos sob vegetação de restinga na Ilha do Cardoso-SP**. 2005. 107p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

GOMES, J.B.V.; RESENDE, M.; REZENDE, S.B.; SÁ-MENDONÇA, E. de. Solos de três áreas de Restinga. II. Dinâmica de substâncias húmicas, ferro e alumínio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.33, p. 1921-1932, 1998.

HARGROVE, W.L.; THOMAS, G.W. Extraction of aluminum from aluminum-organic matter complexes. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 45, p. 153, 1981.

HIGASHI, T.; DE CONINCK, F. de; GELAUDE, F. Characterization of some spodic horizons of the Campine (Belgium) with dithionite-citrate, pyrophosphate and sodium hydroxide-tetraborate. **Geoderma**, Amsterdam, v.25, p. 131-142, 1981.

HOLGREN, G.G.S. A rapid citrate-dithionite extractable iron procedure. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v. 31, p. 210-211, 1967.

HOLZHEY, C.S.; DANIELS, R.B.; GAMBLE, E.E. Thick Bh horizons in the North Carolina Coastal Plain: II. Physical and chemical properties and rates of organic additions from surface sources. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 39, p. 1182-1187, 1975.

IYENGAR, S.S.; ZELAZNY, L.W.; MARTENS, D.C. Effect of photolytic oxalate treatment on soils hydroxyl-interlayered vermiculites. **Clays and Clay Minerals**, Lawrence, v. 29, p. 429-434, 1981.

JANSEN, B.; NIEROP, K.G.J.; VERSTRATEN, J.M. Mechanisms controlling the mobility of dissolved organic matter, aluminium and iron in podzol B horizons. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v. 56, p. 537-550, 2005.

JARVIS, S.C. Forms of aluminium in some acid permanent grassland soils. **Journal of Soil Science**, Oxford, v. 37, p. 211-222, 1986.

JEANROY, E.; GUILLET, B. The occurrence of suspended ferruginous particles in pyrophosphate extracts of some soil horizons. **Geoderma**, Amsterdam, v. 26, p. 95-106, 1981.

- KAISER, K.; ZECH, W. Defects in estimation of aluminum in humus complexes of podzolic soils by pyrophosphate extraction. **Soil Science**, Philadelphia, v. 161, p. 452-458, 1996.
- KODAMA, H.; ROSS, G.J. Tiron dissolution method used to remove and characterize inorganic components in soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 55, p. 1180-1186, 1991.
- LEE, F.Y.; YUAN, T.L.; CARLISLE, V.W. Nature of cementing materials in ortstein horizons of selected Florida Spodosols: II. Soil properties and chemical form(s) of aluminum. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 52, p. 1796-1801, 1988.
- LOPES, J.M; VITAL-TORRADO, P; COELHO, M.R.; MARTINS, V.M. Influência da idade nas substâncias húmicas de horizontes espódicos na planície costeira do Estado de São Paulo. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 16., 2008, Piracicaba. **Anais...Piracicaba: ESALQ**, 2008. 1 CD-ROM.
- LUMDSTRÖM, U.S.; van BREEMEN, N.; BAIN, D. The podzolization process. A review. **Geoderma**, Amsterdam, v. 94, p. 91-107, 2000.
- MACKEAGUE, J.A.; DAY, J.H. Dithionite and oxalate extractable Fe and Al as aids in differentiating various classes of soils. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v. 46, p. 13-22, 1967.
- MACKEAGUE, J.A.; SCHUPPLI, P.A. Changes in concentration of iron and aluminum in pyrophosphate extracts of soil and composition of sediment resulting from ultracentrifugation in relation to spodic horizon criteria. **Soil Science**, Philadelphia, v. 134, p. 265-270, 1982.
- McKEAGUE, J.A.; BRYDON, J.E.; MILES, N.M. Differentiation of forms of extractable iron and aluminum in soils. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v. 35, p. 33-38, 1971.
- McKEAGUE, JA. An evaluation of 0,1 M pyrophosphate and pyrophosphate-ditionithe in comparison with oxalate as extractants of the accumulation products in podzols and some other soils. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v. 46, p. 12-22, 1967.
- MEHRA, O.P.; JACKSON, M.L. Iron oxide removal from soils and clays by dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate. **Clays and Clay Minerals**, Lawrence, v. 7, p. 317-327, 1960.
- MELO, M.R.F.; MANTOVANI, W. Composição florística e estrutura fitossociológica da mata atlântica de encosta na Ilha do Cardoso (Cananéia, SP, Brasil). **Boletim do Instituto de Botânica**, São Paulo, v.9, p. 107-158, 1994.
- MOKMA, L.; BUURMAN, P. **Podzols and podzolization in temperate regions**. Wageningen: International Soil Museum, 1982. 126p. (ISM monograph, 1).

MOKMA, L. New chemical criteria for defining the spodic horizon. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 47, p. 972-976, 1983.

OATES, K.M.; KAMPRATH, E.J. Soil acidity and liming. II, Evaluation of using aluminum extracted by various chloride salts for determining lime requirements. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 47, p. 686-689, 1983.

OLIVEIRA, J.B.; JACOMINE, P.K.T.; CAMARGO, M.N. **Classes gerais de solos do Brasil: guia auxiliar para seu reconhecimento**. 2.ed. Jaboticabal: FUNEP, 1992. 201p.

PAGE, C.R.; KIMPE, C.R. Dissolution des composés ferrugineux et alumineux des horizons B podzoliques de sols du Québec par de dithionite-citrate, l'oxalate, le pyrophosphate et le tetraborate. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v. 69, p. 451-459, 1989.

PANSU, M.; GAUTHEYROU, J. **Handbook of soil analysis: mineralogical, organic and inorganic methods**. Netherlands: Springer, 2006. 993p.

PARFITT, R.L.; CHILDS, C.W. Estimation of forms of Fe and Al: a review, and analysis of contrasting soils by dissolution and Mossbauer methods. **Australian Journal of Soil Research**, Melbourne, v. 26, p. 121-144, 1988.

PARFITT, R.L.; HENMI, T. Comparison of an oxalate-extraction method and an infrared spectroscopic method for determining allophane in soil clays. **Soil Science and Plant Nutrition**, Tokyo, v. 28, p. 183-190, 1980.

PATERSON, E.; CLARK, L.; BIRNIE, C. Sequential selective dissolution of iron, aluminium, and silicon from soils. **Communication in Soil Science and Plant Analysis**, Philadelphia, v. 24, p. 2015-1023, 1993.

PETRI, S.; FÚLFARO, V.J. Nota sobre a geologia e terraços marinhos da Ilha do Cardoso. **Notícias Geomorfológicas**, Campinas, v. 10, p. 21-31, 1970.

QUEIROZ NETO, J.P.; KÜPPER, A. Os solos da Baixada Santista. In: AZEVEDO, A (org.). **A Baixada Santista: aspectos geográficos**. São Paulo: EDUSP, 1965. v. 1, p. 67-92.

SANTOS, R.D.; LEMOS, R.C.; SANTOS, H.G.; KER, J.C.; ANJOS, L.H.C. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 5. ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005. 100p.

SAUER, D.; SPONAGEL, H.; SOMMER, M.; GIANI, L.; JAHN, R.; STAHR, K. Review article – Podzol: Soil of the year 2007 – A review on its genesis, occurrence, and functions. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, Weinheim, v. 170, p. 581-597, 2007.

SCHUPPI, P.A.; ROSS, G.J.; McKEAGUE, J.A. The effective removal of suspended materials from pyrophosphate extracts of soils from tropical and temperate regions. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 47, p. 1026-1032, 1983.

SHOJI, S.; FUJIWARA, Y. Active aluminum and iron in the humus horizons of Andosols from northeastern Japan: their forms, properties and significance in clay weathering. **Soil Science**, Philadelphia, v. 137, p. 216-226, 1984.

SHOJI, S.; FUJIWARA, Y.; YAMADA, I.; SAIGUSA, M. Chemistry and clay mineralogy of Ando soils, Brown forest soils, and Podzolic soils formed from recent Towada ashes, Northeastern Japan. **Soil Science**, Philadelphia, v. 133, p. 69-86, 1982.

SILVA, S.M. Diagnósticos das restingas do Brasil. In: WORKSHOP DE AVALIAÇÃO E AÇÕES PRIORITÁRIAS PARA CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE DA ZONA COSTEIRA E MARINHA, 1999, Porto Seguro. **Anais eletrônicos...**Porto Seguro: Fundação BIO RIO, 1999. Disponível em: <<http://www.bdt.fat.org.br/workshop/costa/restinga/>>. Acesso em: 04 maio 2008.

SKJEMSTAD, J.O. Genesis of Podzols on Coastal Dunes in Southern Queensland. III. The role of aluminium-organic complexes in profile development. **Australian Journal and Soil Research**, Melbourne, v. 30, p. 645-665, 1992.

SKJEMSTAD, J.O.; FITZPATRICK, R.W.; ZARCINAS, B.A.; THOMPSON, C.H. Gênese of Podzols on Coastal Dunes in Southern Queensland. II. Geochemistry and Forms of Elements as Deduced from Various Soil Extraction Procedures. **Australian Journal and Soil Research**, Melbourne, v. 30, p. 615-644, 1992a.

SKJEMSTAD, J.O.; WATERS, A.G.; HANNA, J.V.; OADES, J.M. Genesis of Podzols on Coastal Dunes in Southern Queensland. II. Nature of the organic fraction as seen by ¹³C nuclear magnetic resonance spectroscopy. **Australian Journal and Soil Research**, Melbourne, v. 30, p. 615-644, 1992b.

SOON, Y.K. Fractionation of extractable aluminum in acid soils: a review and a proposed procedure. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, Philadelphia, v. 24, p. 1683-1708, 1993.

SOUZA, C.R. de G. Ambientes sedimentares de planície costeira e baixa-média encosta em Bertioga (SP). In: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS DO QUATERNÁRIO, 11., 2007, Belém. **Anais...**Belém: ABEQUA, 2007. 1 CD-ROM.

TAKAHASHI, T.; FUKUOKA, T.; DAHLGREN, R.A. Aluminum solubility and release rates from soil horizons dominated by aluminum-humus complexes. **Soil Science and Plant Nutrition**, Tokyo, v. 41, p. 119-131, 1995.

STEVENSON, F.J. **Humus chemistry**: genesis, composition and reactions. New York: Wiley, 1982. 443p.

SUGUIO, K.; MARTIN, L. Mapa geológico do litoral de São Paulo, Escala 1:100.000. **Folha de Bertioga, São Paulo**, Secretaria de Obras e Meio Ambiente / Departamento de Águas e Energia Elétrica. 1978.

SUGUIO, K.; TESSLER, M.G. Planícies de cordões litorâneos quaternários do Brasil: origem e nomenclatura. In: LACERDA, L.D.; ARAÚJO, D.S.D.; CERQUEIRA, R.; TURQ, B. **Restingas: origem, estrutura e processos**. Niterói: CEUFF, 1984. p. 15-26.

URRUTIA, M.; MACÍAS, F.; GARCÍA-RODEJA, E. Evaluación del CuCl_2 y del LaCl_3 como extractantes de aluminio en suelos ácidos de Galicia. **Nova Acta Científica Compostelana** (Biología), Santiago de Compostela, v. 5, p.173-182, 1995.

van BREEMEN, N.; BUURMAN, P. **Soil Formation**. 2nd ed. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2002. 404p.

van RANST, E. STOOPS, G.; GALLEZ, A.; VANDENBERGHE, R.E. Properties, some criteria of classification and genesis of upland forest Podzols in Rwanda. **Geoderma**, Amsterdam, v. 76, p.263-283, 1997.

WADA, K. Mineralogical characteristics of Andisols. In: THENG, B.K. (Ed.). **Soil with variable charge**. New Zealand: New Zealand Society of Soil Science, 1980. p. 87-107

WADA, K. Allophane and imogolite. In: DIXON, J.B.; WEED, S.B. (Ed.). **Minerals in soil environments**. Madison: SSSA, 1977. p. 603-638.

4 CARACTERIZAÇÃO E GÊNESE DE ESPODOSSOLOS DA PLANÍCIE COSTEIRA DO ESTADO DE SÃO PAULO: III. AVALIAÇÃO DE CLORETOS NÃO TAMPONADOS (KCl, CuCl₂ E LaCl₃) COMO EXTRATORES DE ALUMÍNIO ASSOCIADO À MATÉRIA ORGÂNICA

Resumo

A eficácia dos cloretos não tamponados de Cu, La e K como extratores de Al unido à matéria orgânica foi avaliada em 31 perfis de solos (Espodosolos e Neossolos Quartzarênicos) representativos das áreas sob restinga do litoral paulista (municípios de Bertioga, Cananéia e Ilha Comprida). Os resultados foram comparados com aqueles obtidos com pirofosfato de sódio. O CuCl₂, mais forte que o LaCl₃ e KCl e menos eficaz que o pirofosfato, extraiu parte do Al de complexos estáveis, não ativos em termos de acidez do solo e troca iônica. Ao contrário, KCl e LaCl₃ removeram as formas reativas do elemento. No entanto, o Al extraído por LaCl₃ (Al_{La}) foi que melhor se correlacionou ao carbono orgânico (Corg) e à CTC do solo, indicando que Al_{La} está relacionado ao principal componente responsável pelo desenvolvimento de cargas nos solos estudados: a matéria orgânica. O grau de interação desta com o Al possivelmente é influenciado tanto pelo seu tipo como pelo pH do solo e foi possível de ser avaliado por meio dos extratores aqui utilizados. Os complexos Al-húmus mais estáveis foram observados nos horizontes bem drenados Bs, Bhs e C, onde o LaCl₃ e, sobretudo, o KCl mostraram as mais baixas eficácias dentre todas as amostras analisadas. O Al mais lábil unido à matéria orgânica foi encontrado nos horizontes superficiais do tipo A. De uma maneira geral, os horizontes estudados apresentaram a seguinte seqüência de estabilidade da interação Al-húmus: A<Bh<Bhm<Bs/Bhs/C, sendo esses últimos os únicos horizontes de subsuperfície bem drenados, indicando que o hidromorfismo (horizontes Bh) e a ciclagem da serapilheira (horizontes A) favorecem a manutenção de espécies de alumínio mais lábeis nos solos estudados. Em tais horizontes bem drenados, com baixos conteúdos de Corg, identificou-se a presença de minerais de Al não cristalinos. Tanto o CuCl₂ como o pirofosfato removeram o Al inorgânico desses horizontes, com maior eficácia para o pirofosfato. A extensão que isso ocorreu não foi possível de se avaliar e é dependente do conteúdo, tipo e grau de cristalinidade dos minerais existentes. Recomenda-se ter em mente a falta de especificidade de tais reagentes, convergindo evidências morfológicas e químicas a fim de adequadamente interpretar os resultados, estimar o conteúdo e a intensidade de interação do Al à matéria orgânica do solo. O grau de saturação por Al no húmus e os princípios que governam a ação dos cloretos na remoção do elemento são também discutidos.

Palavras-chave: Podzolização; Ortstein; horizontes espódicos; Restinga; Complexos Al-húmus; Saturação por Al na matéria orgânica; Pirofosfato; Dissolução seletiva

Characterization and genesis of Spodosols on the São Paulo State sandy coastal plain: III. Evaluation of unbuffered chloride (KCl, CuCl₂ e LaCl₃) as extractants of aluminum bound on soil organic matter

Abstract

The effectiveness of unbuffered Cu, La and K chlorides to extract aluminum bound to soil organic matter (Al-humus) was evaluated in soil materials from 31 pedons representative of Spodosols and Quartzipsamments from São Paulo State sandy coastal plains. The results were compared with those achieved by sodium pyrophosphate. The CuCl₂, more efficient than LaCl₃ and KCl and less than the pyrophosphate, extracted part of the Al associated to stable complexes, inactive in terms of soil acidity and ionic exchange. Unlike, KCl and LaCl₃ removed the reactive Al forms. However, the Al extracted by LaCl₃ (Al_{La}) was found to be better correlated to both organic carbon (C_{org}) as the soil CEC, showing that Al_{La} is related to the main component responsible by development of charges in the soil studied: the organic matter. The degree of Al-humus interaction is possibly influenced both by its type as the soil pH and it was possible to be evaluated through all the extractors here used. The more stable Al-humus complexes were only found in the well drained Bs, Bhs and C horizons, where the LaCl₃ and mainly the KCl presented the less effectiveness among the all soil materials here analyzed. The more labile organic matter bounded Al was found on the A horizons. In general the studied horizons showed the following stability sequence of Al-humus interaction: A<Bh<Bhm<Bs/Bhs/C. The latter horizons are the only well drained subsurface one, pointing out the presence of water (Bh horizons) and the litter turnover (A horizons) promoted the maintenance of the more labile Al species. In the well drained horizons with low C_{org}, low crystallinity Al minerals were identified. Both the CuCl₂ as the pyrophosphate removed part of the inorganic Al of these horizons. However, pyrophosphate was more effective in this case. It is recommended to keep in mind the lack of specificity of these reactants in order to converge morphological and chemical evidences to properly interpret the results, estimated the Al-humus interaction as well its contents in the organic matter. The Al-humus saturation degree and the reasons that lead the removing of Al by chlorides are discussed as well.

Keywords: Podzolization; Ortstein; Spodic horizons; Restinga; Al-humus complexes; Al-humus Saturation degree; Pyrophosphate; Selective dissolution

4.1 Introdução

Alumínio é o mais abundante elemento metálico da crosta terrestre e solos (SOON, 1993). Sua toxicidade às plantas cultivadas é bem conhecida e, em casos extremos, é extensiva para algumas vegetações naturais. Sob determinadas circunstâncias pode ser tóxico aos peixes, a outros organismos aquáticos e mesmo ao homem, fatores esses que o torna de considerável importância ambiental (BACHE, 1986). Nos solos, além de estar presente em grandes quantidades em muitos minerais primários e na maioria dos minerais de argila e na gibbsita, freqüentemente há importantes quantidades do elemento em estágios bem menos definidos (LIN; COLEMAN, 1960), em diversas formas (SOON, 1993). Em consequência, sua química é complexa (LIN; COLEMAN, 1960; JARVIS, 1986; SOON, 1993; HIRADATE, 2004).

Em adição aos minerais aluminossilicados cristalinos e gibbsita, na fase sólida do solo o Al pode ocorrer como (a) íons trocáveis; (b) adsorvido ou precipitado como compostos de Al-hidróxi (exemplos: revestimentos de superfície ou Al entrecamada); (c) minerais secundários outros que gibbsita, como sulfatos (alunita, basalalunita, jurbanita) e fosfatos (variscita) de alumínio e aluminossilicatos amorfos, como alofana e imogolita, e em (d) complexos organometálicos (BACHE, 1986), sendo que esta última é a forma que mais influencia nas propriedades, organização e evolução dos solos ácidos (URRUTIA; MACÍAS; GARCÍA-RODEJA, 1995). Dentre estes, destacam-se os Espodossolos.

Elevadas concentrações de Al dissolvido, freqüentemente observada nas áreas com Espodossolos, são de grande preocupação ambiental devido aos efeitos potencialmente adversos do Al inorgânico aquoso nos organismos terrestres e aquáticos (DAHLGREN; WALKER, 1993). Dentre as formas mencionadas acima, nos Espodossolos existem cinco principais fontes de Al (FARMER; RUSSEL; BERROW, 1980; DRISCOLL; van BREENEM; MULDER, 1985; DAHLGREN; UGOLINI, 1991), as quais incluem: (1) Al trocável; (2) complexos Al-húmus; (3) Al substituindo o Fe nos óxidos de Fe livres; (4) polímeros de Al-hidróxi na posição entrecamada dos silicatos 2:1; e (5) aluminossilicatos pouco cristalinos, tais como alofana e imogolita. A maioria dos Espodossolos contém apreciáveis quantidades das quatro primeiras fontes de Al, enquanto que alofana e imogolita são menos comuns (DAHLGREN; WALKER, 1993) ou mesmo ausentes naqueles não boreais (BUURMAN; JONGMANS, 2005), incluindo os Espodossolos tropicais. Nesses, geralmente formados em condições de hidromorfismo (van

BREEMEN; BUURMAN, 2002), complexos de Al-húmus predominam nos horizontes B espódicos (TAKAHASHI; FUKUOKA; DAHLGREN, 1995; van BREEMEN; BUURMAN, 2002) e são, portanto, as formas dominantes de Al ativo (TAKAHASHI; FUKUOKA; DAHLGREN, 1995).

O alumínio em complexos com matéria orgânica do solo comumente é determinado por técnicas de dissolução seletiva (GARCÍA-RODEJA et al., 2004). Um extrator comum para essa forma de Al (e Fe) é o pirofosfato de sódio 0,1 M (pH 9,5 a 10,5, 16horas) (KAISER; ZECH, 1996). A interpretação do extrato pirofosfato tem sido tema de debates contínuos desde que Jeanroy e Guillet (1981) e Higashi, De Coninck e Gelaude (1981) demonstraram que tanto formas orgânicas como inorgânicas de Fe de baixo grau de cristalinidade podem ser simultaneamente extraídos pelo extrator (PATERSON; CLARK; BIRNIE, 1993). Em trabalho mais recente, Kaiser e Zeck (1996) afirmaram que o extrator pirofosfato não deveria mais ser utilizado para estimar metais em complexos húmicos. Segundo os autores, tanto o conteúdo de Fe como de Al associados à matéria orgânica podem ser superestimados, enfatizando que o Al extraído com pirofosfato não pode ser atribuído unicamente à associação do elemento à fração húmica do solo, mas também à dissolução alcalina de gibbsita e a peptização de hidróxidos de Al associados à matéria orgânica neles adsorvida. Em vista da comprovada falta de seletividade do extrator pirofosfato para determinados solos e horizontes, tem-se sugerido que, para a adequada caracterização do Al complexado à matéria orgânica, extratores não tamponados de cloro, como CuCl_2 (JUO; KAMPRATH, 1979; HARGROVE; THOMAS, 1981) e LaCl_3 (BLOOM; MACBRIDE; WEAVER, 1979b), podem dar melhores resultados (OATES; KAMPRATH, 1983b).

Juo e Kamprath (1979) foram os primeiros a proporem CuCl_2 0,5M como um extrator de Al potencialmente reativo nos solos ácidos. No entanto, a interpretação dos resultados obtidos em solos minerais com respeito ao Al associado à matéria orgânica é dificultada uma vez que CuCl_2 pode, pelo menos parcialmente, extrair Al-hidróxi entrecamadas e da superfície dos minerais de argila (HARGROVE; THOMAS, 1984), presumivelmente devido à depolimerização induzida pelo baixo pH do extrator (JUO; KAMPRATH, 1979; SOON, 1993).

Bloom, MacBride e Weaver (1979b) propuseram o uso de LaCl_3 0,33M para a extração de Al associado à matéria orgânica dos solos. Comparando os dois extratores, Oates e Kamprath (1983a) encontraram que CuCl_2 0,5M foi mais efetivo na remoção de Al dos complexos

orgânicos que LaCl_3 0,33M. Este último extrator possivelmente remove um conteúdo de Al que está relacionado à acidez titulável e, por isso, ao requerimento de calcário dos solos ácidos, tal como constatado por Hargrove e Thomas (1984). Esses autores complementam que seu uso para tal fim parece promissor, mas necessita de ampla avaliação.

Outra fração de interesse aos estudos de fracionamento do Al nos solos por meio de técnicas de dissoluções seletivas é aquela extraída com KCl 1M (GARCÍA-RODEJA et al., 2004), geralmente referida como Al trocável (LIN; COLEMAN, 1960; OATES; KAMPRATH, 1983ab; GILLMAN; SUMPTER, 1985). Além de ser o método padrão para formas de Al trocável (SHUMAN, 1990; DAHLGREN; WALKER, 1994; TAKAHASHI; DAHLGREN, 1998), é utilizado como um critério tanto para prever o requerimento de calcário em solos ácidos (OATES; KAMPRATH, 1983ab; HARGROVE; THOMAS, 1984; TAKAHASHI; DAHLGREN, 1998) como em alguns sistemas de classificação de solos (GILLMAN; SUMPTER, 1985). Sua interpretação, no entanto, foi questionada para solos de carga variável (AMEDEE; PEECH, 1976; WADA, 1987; DAHLGREN; WALKER, 1994) e especificamente para aqueles dominados por complexos Al-húmus (TAKAHASHI; DAHLGREN, 1998) como os Espodossolos (LEE; YUAN; CARLISLE, 1988; DAHLGREN; WALKER, 1994; TAKAHASHI; FUKUOKA; DAHLGREN, 1995; TAKAHASHI; DAHLGREN, 1998), uma vez que subestima o conteúdo de Al trocável, responsável pela acidez dos solos de carga variável (WADA, 1987).

Os extratores KCl (Al_K), CuCl_2 (Al_{Cu}) e LaCl_3 (Al_{La}) removem diferentes conteúdos de Al dos solos (OATES; KAMPRATH, 1983a). Em geral, a quantidade extraída do elemento segue a ordem: $\text{Al}_{Cu} > \text{Al}_{La} > \text{Al}_K$ (BLOOM; McBRIDE; WEAVER, 1979b; HARGROVE; THOMAS, 1981; OATES; KAMPRATH, 1983a; HARGROVE; THOMAS, 1984; URRUTIA; MACÍAS; GARCÍA-RODEJA, 1995; GARCÍA-RODEJA et al., 2004). Essa variação do conteúdo extraído com diferentes soluções salinas de cloro indica que o cátion tem um efeito direto no conteúdo de Al removido do solo (OATES; KAMPRATH, 1983a). Esse efeito, no entanto, está relacionado ao regime de acidez que o mesmo cria na solução de cloreto em contato com a amostra de solo (OATES; KAMPRATH, 1983a; JARVIS, 1986; PONETTE; ANDRE; DUFEY, 1996) de tal forma que o pH da solução de equilíbrio (mistura solo-solução), em geral, não é a mesma para cada solo, fato já constatado por Oates e Kamprath (1983a) e Ponette, Andre e Dufey (1996). Esses últimos autores, estudando os horizontes superficiais de solos florestais, encontraram que

em todos os casos analisados, o pH da solução de equilíbrio decresceu em relação ao pH original do extrator devido à liberação de prótons da amostra à solução.

No presente estudo se procurou avaliar a eficácia de reagentes não tamponados de cloro, KCl, LaCl₃ e CuCl₂, na dissolução do Al, sobretudo daquele ligado à matéria orgânica em Espodossolos e Neossolos Quartzarênicos representativos do litoral paulista, comparando-os ao pirofosfato. Esses extratores foram selecionados devido à habilidade dos mesmos em remover Al que se encontra unido à matéria orgânica em diferentes graus de estabilidade, colaborando ao entendimento da química dos complexos Al-húmus (GARCÍA-RODEJA et al., 2004). Tais complexos têm forte influência no tamponamento do pH e regulação da atividade do Al (BLOOM; MAcBRIDE; WEAVER, 1979ab; CRONAN; WALKER; BLOOM, 1986; BERGGREN; MULDER, 1995; TAKAHASHI; FUKUOKA; DAHLGREN, 1995), além de serem os responsáveis pela gênese da maioria dos solos aqui estudados. Associado a isso, as recentes propostas de utilizá-los (CuCl₂ e LaCl₃) como métodos alternativos do Al complexado à matéria orgânica tem despertado interesse nos estudos que avaliam a gênese dos Espodossolos, como por exemplo o de SAUER et al. (2007), com potencial de incorporá-los aos critérios diagnósticos químicos na definição de horizontes espódicos e classificação dos Espodossolos nos sistemas taxonômicos.

4.2 Desenvolvimento

4.2.1 Material e Métodos

4.2.1.1 Meio Físico

Foram coletadas amostras e descritos 31 perfis de solos (27 Espodossolos e 4 Neossolos Quartzarênicos) sob vegetação de restinga de três municípios do Estado de São Paulo: Bertioga, Cananéia e Ilha Comprida. A Figura 4.1 mostra as localizações dos municípios no litoral paulista.

O clima do litoral do Estado de São Paulo é do tipo “Af”, tropical úmido ou super-úmido, com chuvas distribuídas durante todo o ano, conforme classificação climática de Köppen (SETZER, 1966). Segundo dados climatológicos da estação meteorológica do DAEE em Bertioga (24° 45,6’S e 46° 04,2’W), obtidos entre 1941 e 1970, a temperatura e precipitação médias anuais

são, respectivamente, 24,8 °C e 3.200 mm anuais, sendo considerada uma das regiões mais úmidas do Brasil (MARTINS et al., 2008).

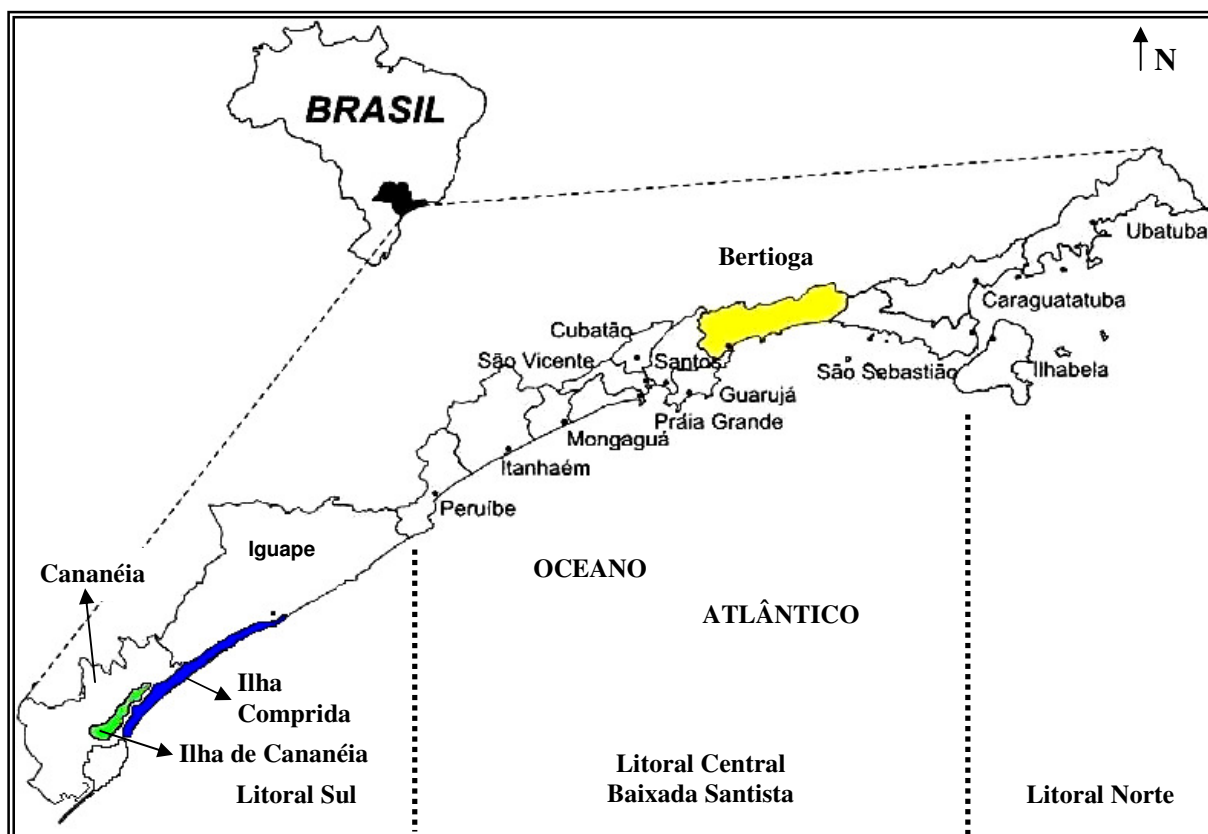


Figura 4.1 – Localização dos municípios de Bertioga, Cananéia e Ilha Comprida no litoral do Estado de São Paulo

Geologicamente os perfis estudados se desenvolveram em sedimentos arenosos Quaternários marinhos (SUGUIO; MARTIN, 1978; SUGUIO et al., 1999).

Os solos sob vegetação de restinga englobam aqueles genericamente classificados como Espodossolos e Neossolos Quartzarênicos (OLIVEIRA; JACOMINE; CAMARGO, 1992). Esses últimos muitas vezes intermediários para Espodossolos (GOMES, 2005).

4.2.1.2 Trabalhos de Campo

Após seleção dos locais de amostragem, foram abertas as trincheiras, descrito e amostrado os perfis conforme Santos et al. (2005) e os solos classificados segundo EMBRAPA (2006). A

descrição detalhada dos solos e paisagens estudadas se encontra no segundo capítulo deste trabalho.

4.2.1.3 Análises Laboratoriais

No laboratório, as amostras de solo foram secas ao ar, destorroadas com um martelo de borracha, quando necessário, e passadas em peneira n.º10 (malha de 2mm), obtendo a fração terra fina seca ao ar, onde foram realizadas as análises químicas. O pH foi determinado tanto em água (potenciômetro), utilizando para tal relação solo:solução 1:2,5 após agitação e repouso de 1 hora, como na solução de equilíbrio após agitação, centrifugação e filtração das amostras após extração com CuCl_2 (pH CuCl_2), LaCl_3 (pH LaCl_3) e KCl (pH KCl_E). O conteúdo de carbono orgânico (Corg) e a capacidade de troca de cátions (CTC) foram obtidos segundo EMBRAPA (1997). Esta última corresponde à soma dos cátions Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e Na^+ , juntamente com H^+ e Al^{3+} . Ca^{2+} e Mg^{2+} foram extraídos com solução de KCl 1 M; K^+ e Na^+ com H_2SO_4 0,0125 M + HCl 0,05 M; H^+ e Al^{3+} com acetato de cálcio 0,5 M a pH 7,0. Os teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} foram determinados por espectroscopia de absorção atômica; K^+ e Na^+ por fotometria de chama e H^+ e Al^{3+} por titulometria.

Os seguintes procedimentos foram utilizados para extração do alumínio:

a) Extração com oxalato ácido de amônio de acordo com Buurman; Lagen; Velthorst (1996): relação solo:solução de 1:50, agitando por 4 horas no escuro. A suspensão foi centrifugada por 15 minutos a 2.500 rpm, com quatro gotas de “superfloc”, após o que filtrou-se o sobrenadante, utilizando-se para isso de papel de filtro lavado em ácido (7 a 11 μm de tamanho de poro);

b) Extração com pirofosfato de sódio 0,1 M (pH 10; Al_p): relação solo:solução 1:100, agitando por 16 horas (BUURMAN; LAGEN; VELTHORST, 1996). Após adição de quatro gotas de “superfloc” se procedeu a centrifugação e filtração de acordo aos procedimentos descritos no item (a);

c) Extração com CuCl_2 0,05 M (pH 3; Al_{Cu}): 5 g de solo foram agitados durante 5 minutos com 50 ml da solução extratora. Após agitação a suspensão permaneceu em repouso durante 12 horas, seguido de nova agitação durante 30 minutos e filtração através de papel de filtro lavado

em ácido. Lavou-se o solo contido no papel de filtro com CuCl_2 até completar o volume para 100 ml (JOO; KAMPRATH, 1979);

d) Extração com LaCl_3 0,33 M (pH 4; Al_{La}): 10 g de solo foi agitado durante 2 horas com 50 ml da solução extratora. A suspensão foi filtrada utilizando papel de filtro lavado em ácido e o solo nele retido foi lavado com LaCl_3 até completar o volume para 100 ml (HARGROVE; THOMAS, 1981);

e) Extração com KCl 1 M (pH 5; Al_{K}): 5 g de solo foi agitado durante 5 minutos com 50 ml da solução extratora. Após agitação se procedeu imediatamente a filtragem da suspensão em papel de filtro lavado em ácido (RAIJ et al., 2001).

O alumínio nos extratos foi determinado por espectroscopia de absorção atômica. Os resultados apresentados para esse elemento representam a média das análises realizadas em duplicata que diferiram entre si em menos que 10%.

4.2.2 Resultados e Discussão

4.2.2.1 Relação entre Extratores, suas Especificidade e Adequabilidade

A habilidade dos diferentes extratores salinos em remover Al organicamente unido à matéria orgânica dos horizontes e solos aqui estudados segue, para a maioria das amostras, aquela já descrita por vários autores (BLOON; MCBRIDE; WEAVER, 1979b; HARGROVE; THOMAS, 1981; OATES; KAMPRATH, 1983a; HARGROVE; THOMAS, 1984; URRUTIA; MACÍAS; GARCÍA-RODEJA, 1995; GARCÍA-RODEJA et al., 2004): $\text{Al}_{\text{p}} > \text{Al}_{\text{Cu}} > \text{Al}_{\text{La}} > \text{Al}_{\text{K}}$. No entanto, algumas amostras não seguiram essa tendência, o que será discutido posteriormente.

A falta de especificidade do extrator pirofosfato para formas Al-húmus ou sua habilidade em remover outras formas de Al (e Fe), que não somente aquela unida à matéria orgânica, tem sido demonstrada por vários autores (CHILDS; PARFITT; LEE, 1983; LEE; YUAN; CARLISLE, 1988; URRUTIA; MACÍAS; GARCÍA-RODEJA, 1995) considerando-se a máxima capacidade de complexação da matéria orgânica. Esta, geralmente expressa pela relação $\text{Al}(+\text{Fe})/\text{Corg}$, é obtida por meio da co-extração desses elementos pelo reagente pirofosfato, tal como originalmente argumentado e estabelecido por Higashi, De Coninck e Gelaude (1981). Baseando-se em dados de literatura, esses autores concluíram que a acidez total da matéria

orgânica de horizontes A ou B espódicos de Espodosolos nunca excede $7,0 \text{ mmol}_c \text{ g C}^{-1}$, mesmo em amostras compostas predominantemente de ácidos fúlvicos.

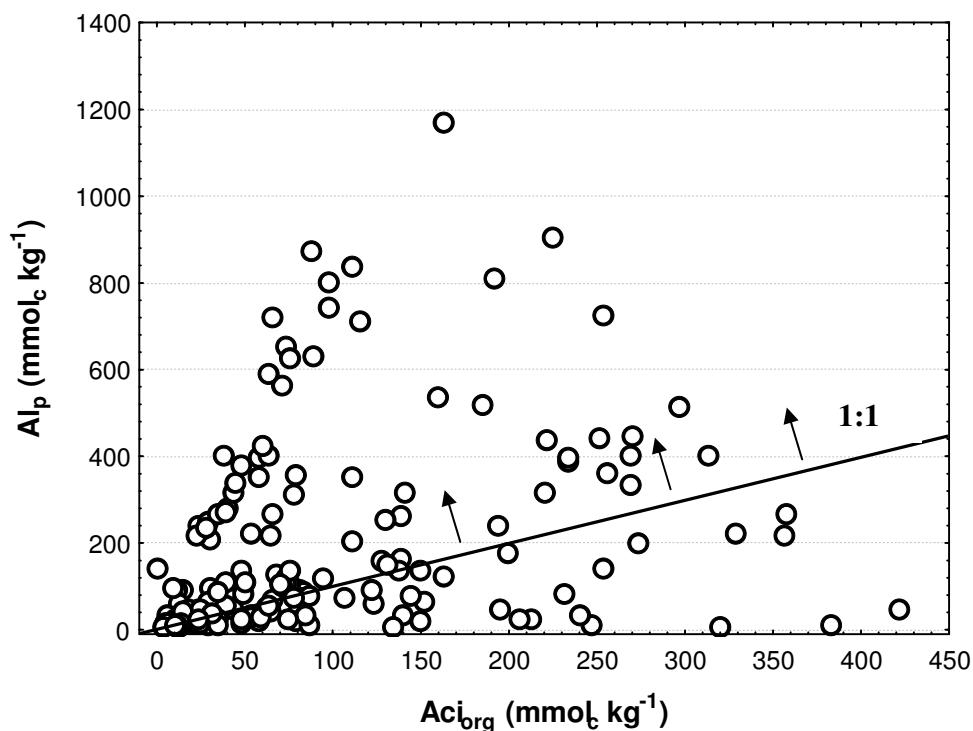


Figura 4.2 – Relação entre Al extraído com pirofosfato (Al_p) e o conteúdo de acidez orgânica (Aci_{org}) estimada segundo Higashi, De Coninck e Gelaude (1981) para todos os horizontes e solos estudados com valores de Al_p e carbono orgânico (C_{org}) detectáveis pelos respectivos métodos analíticos utilizados. Amostras acima da linha de regressão 1:1 possivelmente excedem a capacidade de complexação da matéria orgânica

A Figura 4.2 mostra a relação entre a acidez orgânica estimada e o conteúdo de Al_p para todas as amostras aqui estudadas. Observando-se a figura, está claro que Al_p excede o conteúdo de acidez orgânica para um número expressivo de amostras, aquelas situadas acima da linha de regressão 1:1, passando pela origem. Interpretação similar foi auferida por Kaiser e Zeck (1996) para horizontes espódicos. Segundo os autores, há ainda que se considerar o fato de que, devido ao baixo pH, somente parte dos grupos carboxílicos estarão protonados. Além disso, os dados aqui utilizados se referem ao carbono orgânico oxidado das amostras que é sempre superior aquele obtido do extrato pirofosfato, geralmente utilizado para estabelecer o grau de saturação por Al na matéria orgânica. Esses fatos, associados à presença expressiva de ácidos húmicos em muitos horizontes espódicos aqui estudados (LOPES et al., 2008), predominantemente naqueles

consolidados (orstein), o que lhes imprime menor conteúdo de grupos carboxílicos por unidade de carbono (STEVENSON, 1982) e, conseqüentemente, menor acidez orgânica comparativamente aos ácidos fúlvicos, corroboram e evidenciam que Al no extrato pirofosfato pode ser atribuído não somente a complexos orgânicos monoméricos, mas também a polímeros hidróxi (KAISER; ZECK, 1996) para um número expressivo das amostras analisadas, especialmente aquelas situadas acima da linha 1:1 da Figura 4.2. No entanto, não se pode descartar que isso também suceda para as demais amostras, fato já argumentado por Urrutia, Macías e García-Rodeja (1995).

García-Rodeja et al. (1986) e Urrutia, Macías e García-Rodeja (1995) comprovaram a ação do pirofosfato sobre formas inorgânicas de Al por meio de correlações entre extratores, tal como aquelas apresentadas na Figura 4.3. Nela se observase que a eficácia dos cloretos não tamponados diminui quando o reagente pirofosfato supostamente extrai outras formas que não unicamente Al unido à matéria orgânica, tal como demonstrado por Higashi (1983). Este autor mostrou por meio da co-extração do alumínio e do carbono de formas sintéticas de substâncias húmicas, que sua máxima capacidade complexante varia de 0,12 a 0,22. Utilizando-se o valor de 0,20 para a relação $Al_p/Corg$ (Urrutia; Macías e García-Rodeja, 1995) e multiplicando-se este valor por 100, tem-se a % de saturação do Al na matéria orgânica representada com linhas tracejadas nas Figuras 4.3 e 4.4. Acima deste valor é evidente uma redução paulatina da capacidade de extração dos cloretos não tamponados em relação ao pirofosfato, acentuando-se a valores superiores a 40 (linha tracejada das mesmas figuras), quando $LaCl_3$ e KCl apresentam as mais baixas eficiências extratoras (Figura 4.3). De fato, todas as amostras com saturação por Al no húmus ($(Al_p/Corg)*100$) superior a 20 e sobretudo, superior a 40, são predominantemente oriundas de horizontes espódicos de perfis bem drenados, Bs ou Bhs e de horizontes C (dados não mostrados). Nessas condições ambientais e horizontes que se identificou, no terceiro capítulo deste trabalho, a presença e condições adequadas à formação e manutenção de compostos inorgânicos amorfos de alumínio para um conjunto de perfis aqui estudados, os quais podem contribuir ao extrato pirofosfato, tal como relatado por vários autores (BASCOMB, 1968; MACKEAGUE; BRYDON; MILES, 1971; MACKEAGUE; SCHUPPLI, 1982; JARVIS, 1986; PAGE; KIMPE, 1989; PATERSON; CLARK; BIRNIE, 1993; KAISER; ZECK, 1996).

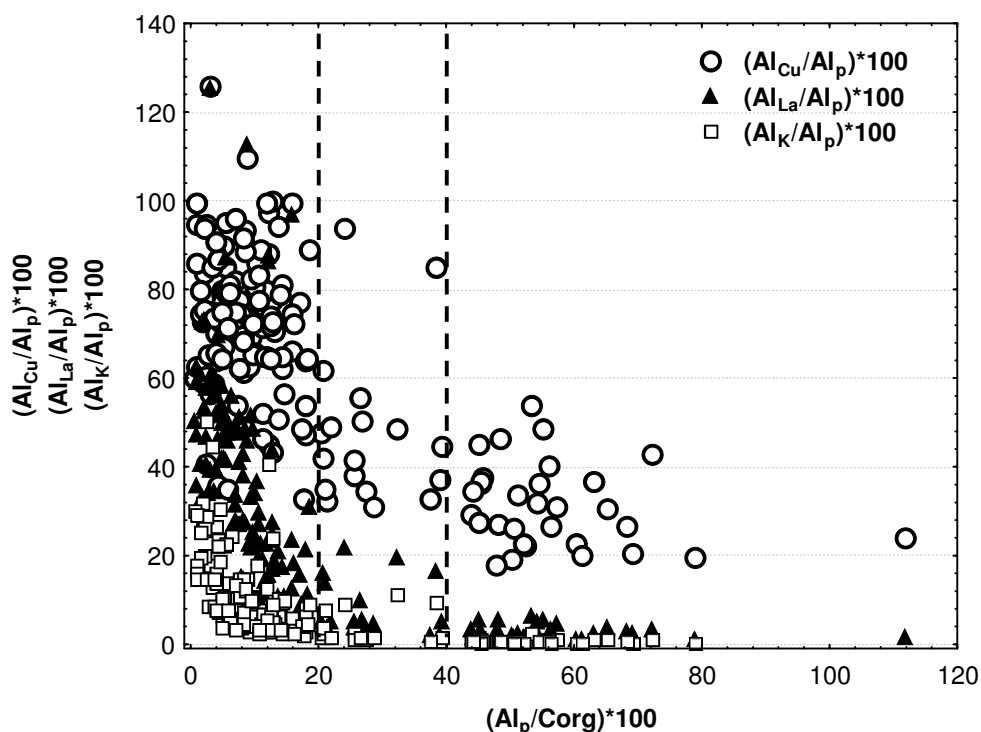


Figura 4.3 – Relação entre a saturação por Al extraído por pirofosfato no húmus dos solos estudados $((Al_p/Corg)*100)$ e a porcentagem de Al removido por $CuCl_2$, $LaCl_3$ e KCl em relação ao elemento no extrato pirofosfato $((Al_{Cu}/Al_p)*100)$; $(Al_{La}/Al_p)*100$ e $(Al_K/Al_p)*100$, respectivamente)

A presença de amorfos inorgânicos pode ser evidenciada pelo exame da Figura 4.4 que mostra a correlação entre $Al_p/Corg$ e as variáveis pH do solo (medido em água) e a relação Al_p/Al_o para as amostras aqui estudadas. Acima de 20 $((Al_p/Corg)*100)$ há um aumento do valor médio do pH e diminuição dos valores médios da relação Al_p/Al_o . As linhas tracejadas na horizontal delimitam os valores de 5 e 1, respectivamente para pH e Al_p/Al_o . Segundo Shoji e Fujiwara (1984) a acidez do solo controla a formação de complexos de Al e Fe-húmus, de tal forma que, a valores de pH inferiores a 4,9, alumínio forma complexos estáveis com a matéria orgânica do solo (SHOJI et al., 1982). Observa-se na Figura 4.4 que os valores médios de pH aproximam-se de 5 à medida que aumenta a relação $(Al_p/Corg)*100$, tornando-se mais evidente a valores superiores a 40. A isso se soma a redução da relação Al_p/Al_o abaixo de uma unidade a medida que aumenta os valores médios de pH, indicando que compostos inorgânicos amorfos estão presentes (CHILDS; PARFITT; LEE, 1983).

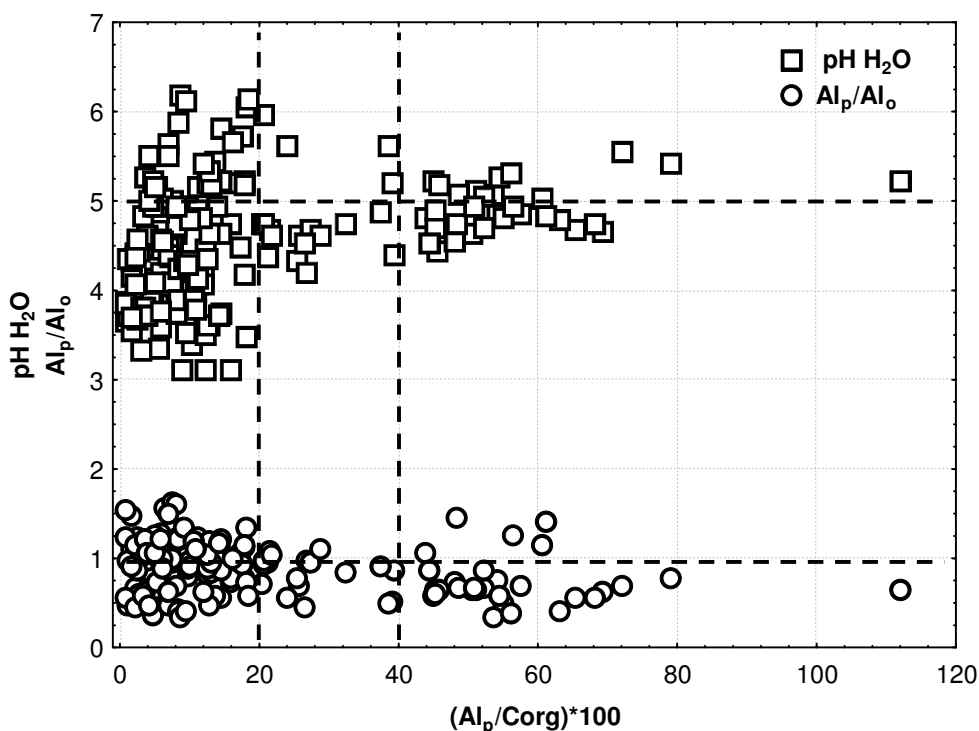


Figura 4.4 – Correlação entre $(Al_p/Corg)*100$ e as variáveis pH medido em água ($pH H_2O$) e Al_p/Al_0 . À medida que a saturação por Al no húmus ($Al_p/Corg$) se aproxima de 20 e 40, os valores de pH se aproximam de 5 e a relação Al_p/Al_0 tende para valores inferiores a 1, indicando a presença de compostos inorgânicos amorfos

A relação entre extratores e a variação dos valores de pH da Figura 4.4 sugerem a presença e condições favoráveis à formação e manutenção de complexos inorgânicos amorfos de Al em detrimento da completa complexação do elemento à matéria orgânica, além de fornecerem indícios da relativa especificidade ou adequabilidade dos extratores pirofosfato e oxalato a extração de formas orgânicas e não cristalinas de Al para os solos estudados, respectivamente, mesmo embora essas últimas formas possam também serem parcialmente extraídas pelo reagente pirofosfato (KAISER; ZECK, 1996). Essa adequabilidade do extrator pirofosfato é corroborada pelo exame da Figura 4.5.

A primeira e forte evidência da relação entre o pirofosfato e o Al organicamente unido vem do bom ajuste da curva quando se correlaciona Al_p e Corg, tal como se observa na Figura 4.5. No entanto, a relação entre Corg e Al_0 tem uma curva de pior ajuste ($r = 0,78^{***}$ para amostras com relação $(Al_p/Corg)*100$ entre 20 e 40; $r = 0,79^{***}$ para relação superior a 40; dados não mostrados), sugerindo que tais reagentes são adequados aos solos estudados pelo fato de proporcionarem relevantes tendências e relações na interpretação dos resultados das análises,

tal como já demonstrado no terceiro capítulo deste trabalho para as mesmas amostras e argumentado por MacKeague e Schuppli (1982). Essa adequabilidade nos permite genericamente afirmar que os reagentes pirofosfato e oxalato podem ser utilizados para estabelecer contundentes relações entre as formas orgânicas e inorgânicas amorfas de Al para os solos de restinga do litoral paulista, considerando-se a habilidade do primeiro para a extração das formas orgânicas (MACKEAGUE, 1967; CHILDS; PARFITT; LEE, 1983; FARMER; RUSSEL; SMITH, 1983; SHOJI; FUJIWARA, 1984) e do oxalato para aquelas amorfas (MACKEAGUE; DAY, 1966; McKEAGUE; BRYDON; MILES, 1971; PARFITT; HENMI, 1982; KODAMA; ROSS, 1991; GARCÍA-RODEJA, et al., 2004).

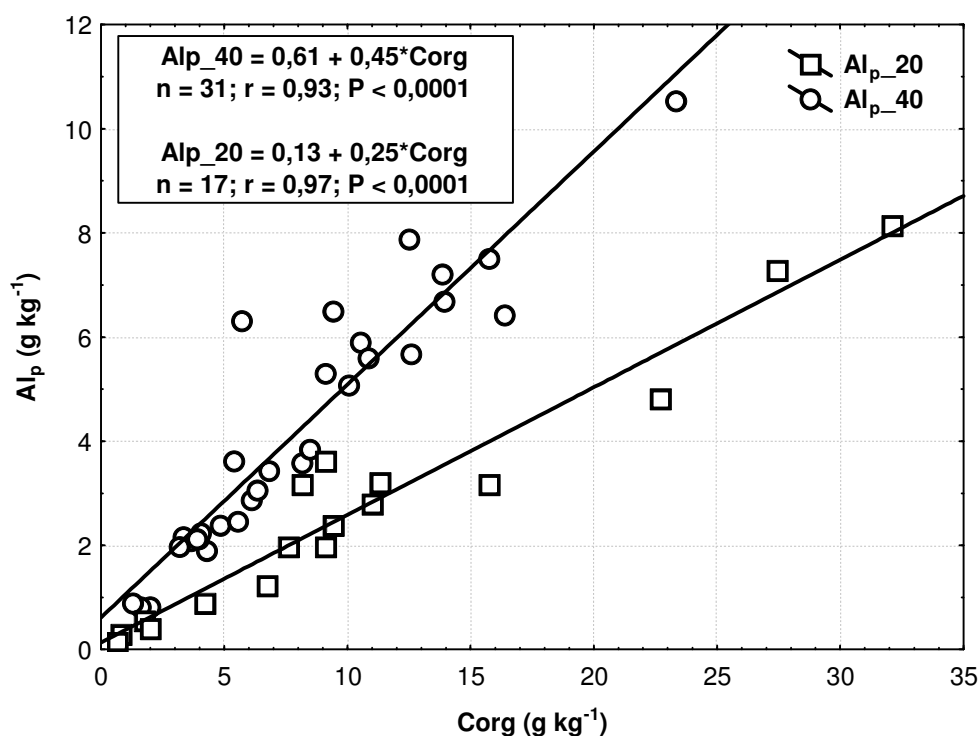


Figura 4.5 – Correlação entre carbono orgânico (Corg) e alumínio extraído por pirofosfato (Al_p) para o conjunto de amostras com relação $(Al_p/Corg) \cdot 100$ superior a 20. Alp_{20} e Alp_{40} se referem, respectivamente, às amostras com relação entre 20 e 40 e acima de 40

O aumento da saturação por Al no húmus das amostras representadas na Figura 4.3 se dá, em termos gerais, tanto pela diminuição dos conteúdos médios de carbono como pelo aumento do elemento no extrato pirofosfato, tal como pode ser evidenciado da Figura 4.6. Do mesmo modo, a mencionada redução da eficácia dos cloretos não tamponados em relação ao pirofosfato a valores de $(Al_p/Corg) \cdot 100$ superiores a 20 (mais evidente acima de 40; Figura 4.3) é consequência não

somente da elevação dos valores de Al_p , mas também devido à menor habilidade dos cloretos em extrair Al para esse conjunto de amostras, sobretudo se considerarmos os reagentes $LaCl_3$ e KCl e a relação $(Al_p/Corg)*100$ superior a 40. As Figuras 4.7abc mostram essa tendência. O $CuCl_2$, no entanto, tem outro comportamento. Sua habilidade de extração é ainda considerável a elevados valores de saturação por Al no húmus (Figuras 4.3 e 4.7a), havendo mesmo um aumento médio de sua capacidade extratora a valores de $(Al_p/Corg)*100$ acima de 40 comparativamente aqueles abaixo da suposta máxima capacidade de saturação por Al da matéria orgânica (20). Dois fatores podem ser co-responsáveis por tal comportamento: **(a)** a maior capacidade do $CuCl_2$ em liberar Al não acessível aos demais cloretos não tamponados (URRUTIA; MACÍAS; GARCÍA-RODEJA, 1995); e **(b)** sua habilidade em dissolver formas outras de Al que não unicamente àquelas complexadas à matéria orgânica do solo, tal como relatado por Juo e Kamprath (1979), Hargrove e Thomas (1984) e Soon (1993). Daí a maior dispersão e conteúdo de Al extraído com $CuCl_2$ em relação aos demais extratores a valor de $(Al/Corg)*100$ superior a 20, o que pode ser observado nas Figuras 4.3 e 4.7a.

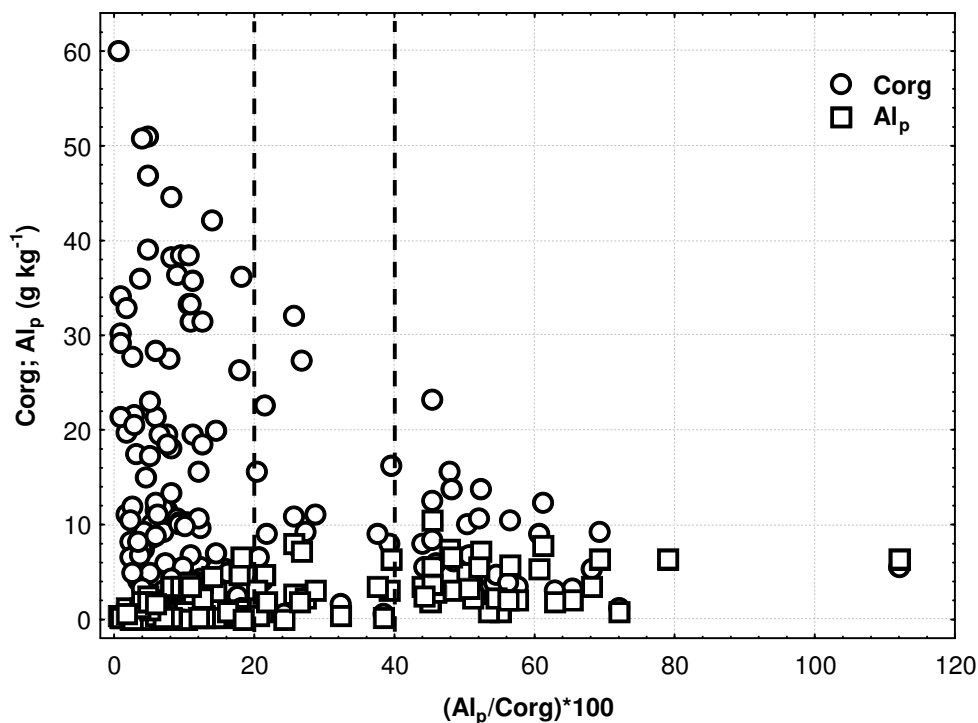


Figura 4.6 – Relação entre $Al_p/Corg$ e as variáveis $Corg$ e Al_p . A saturação do Al no húmus se dá concomitantemente pela diminuição do conteúdo de $Corg$ e aumento do elemento no extrato pirofosfato

Do exame da Figuras 4.7abc pode-se concluir que a interpretação da menor eficácia dos extratores não tamponados auferida da Figura 4.3 para valores de $(Al_p/Corg)*100$ superior a 20, originalmente sugerida por Urrutia, Macías e García-Rodeja (1995), pode ser conseqüência tanto da reduzida habilidade dos mesmos em dissolver compostos orgânicos de maior estabilidade para o conjunto de amostras aqui estudadas, sobretudo dos horizontes Bs e Bhs bem drenados e horizontes C, como pela reconhecida capacidade do pirofosfato de extrair formas inorgânicas de Al. A boa correlação entre Al_p e Corg para esse conjunto de amostras contempladas na Figura 4.5, bem como a evidência de que tais amostras reconhecidamente apresentam compostos inorgânicos amorfos de Al (Figura 4.4), ajudam a corroborar essa assertiva e somam-se na interpretação sobre a adequabilidade de todos os reagentes aqui utilizados na extração de diferentes formas de Al, o que também pode ser extraído das Figuras 4.8abc. Nelas, observa-se a relação entre a saturação por Al no húmus e seu grau de estabilidade.

García-Rodeja et al. (2004) seguindo as interpretações comumente utilizadas na literatura sobre reagentes seletivos e formas de Al, estabeleceram os seguintes parâmetros para avaliar a interação do elemento à matéria orgânica em ordem decrescente de estabilidade: Al_p-Al_{Cu} ; $Al_{Cu}-Al_{La}$ e $Al_{La}-Al_K$. Do exame das Figuras 4.8abc observa-se que as amostras com maior estabilidade da interação Al-húmus, representada pela porcentagem da diferença entre os extratores em relação ao de maior eficácia, encontram-se a valores de saturação por Al ($(Al_p/Corg)*100$) acima de 20, sendo mais evidente acima de 40, sobretudo para Al_p-Al_{Cu} e $Al_{Cu}-Al_{La}$. As referidas figuras mostram que há uma tendência de aumento médio da diferença entre extratores a valores de saturação de Al no húmus acima de 20, acentuando-se a valores acima de 40 quando observamos Al_p-Al_{Cu} e $Al_{Cu}-Al_{La}$. Assim, quanto maior a diferença entre extratores, maior a estabilidade da interação Al-húmus (URRUTIA; MACÍAS, GARCÍA-RODEJA, 1995) tendendo a aumentar concomitantemente à saturação do elemento no húmus, o que é evidente nas Figuras 4.8a e 4.8b. No entanto, a diferença $Al_{La}-Al_K$ (Figura 4.8c) não se mostra máxima a valores de saturação por Al no húmus superior a 20, o que está de acordo aos apontamentos de García-Rodeja et al. (2004), uma vez que essa diferença ($Al_{La}-Al_K$) representa compostos de menor estabilidade Al-húmus em relação as demais aqui analisadas (Al_p-Al_{Cu} e Al_{Cu} e Al_{La}), as quais foram máximas acima desse valor, corroborando a maior estabilidade da interação carbono-metal para alguns horizontes Bs, Bhs e C aqui estudados, predominantemente, os quais apresentam valores de saturação por Al no húmus superiores a 20.

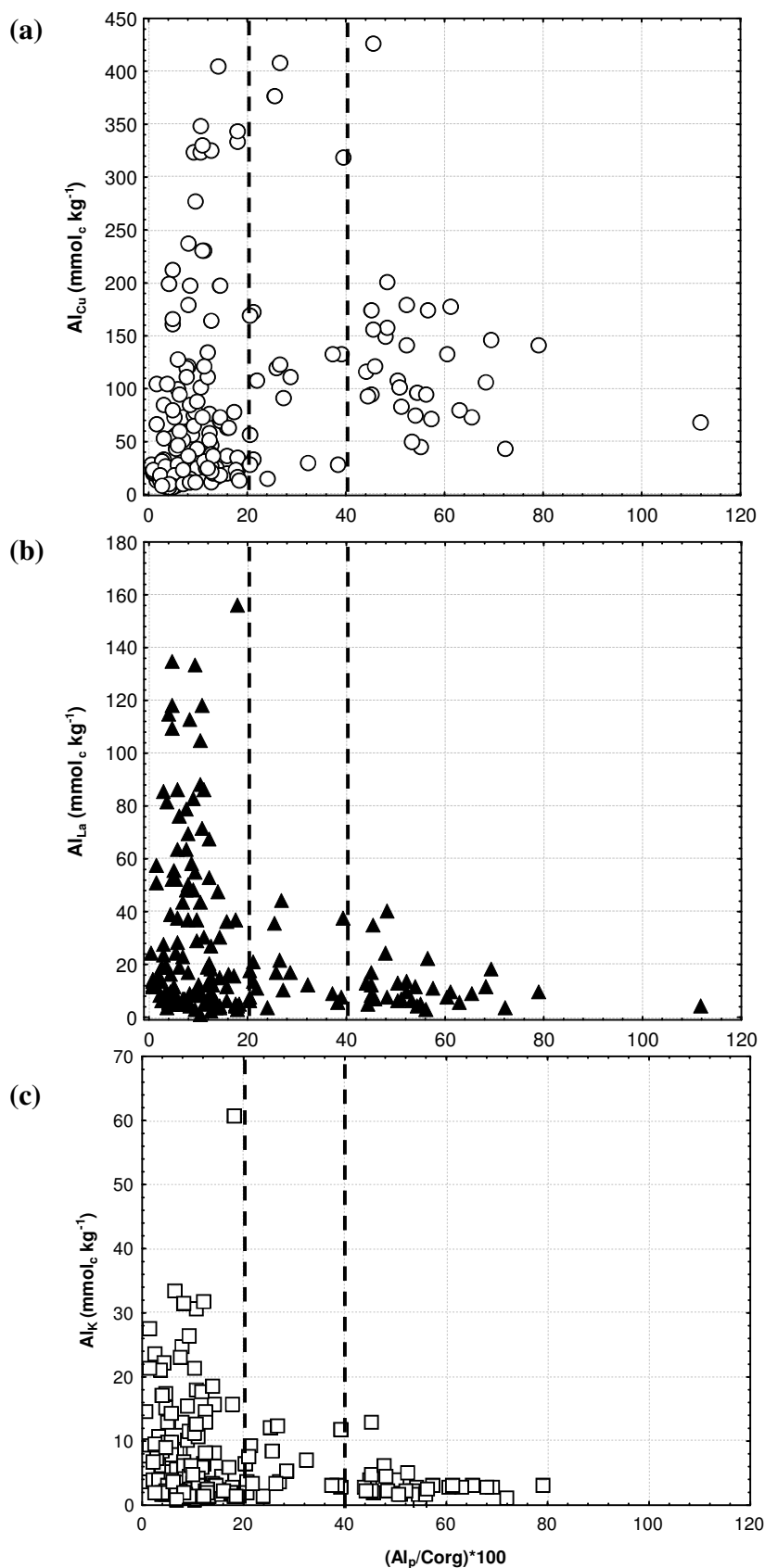


Figura 4.7 – Relação entre $(Al_p/Corg)*100$ e o conteúdo de Al extraído por $CuCl_2$ (a), Al_2Cl_3 (b) e KCl (c). A valores de $(Al_p/Corg)*100$ superiores a 20 há uma redução dos valores médios de Al extraído pelos diferentes extratores não tamponados, sobretudo para $LaCl_3$ e KCl , acentuando-se a valores acima de 40. $CuCl_2$, no entanto, mostra elevada capacidade extratora para um amplo limite de saturação por Al no húmus

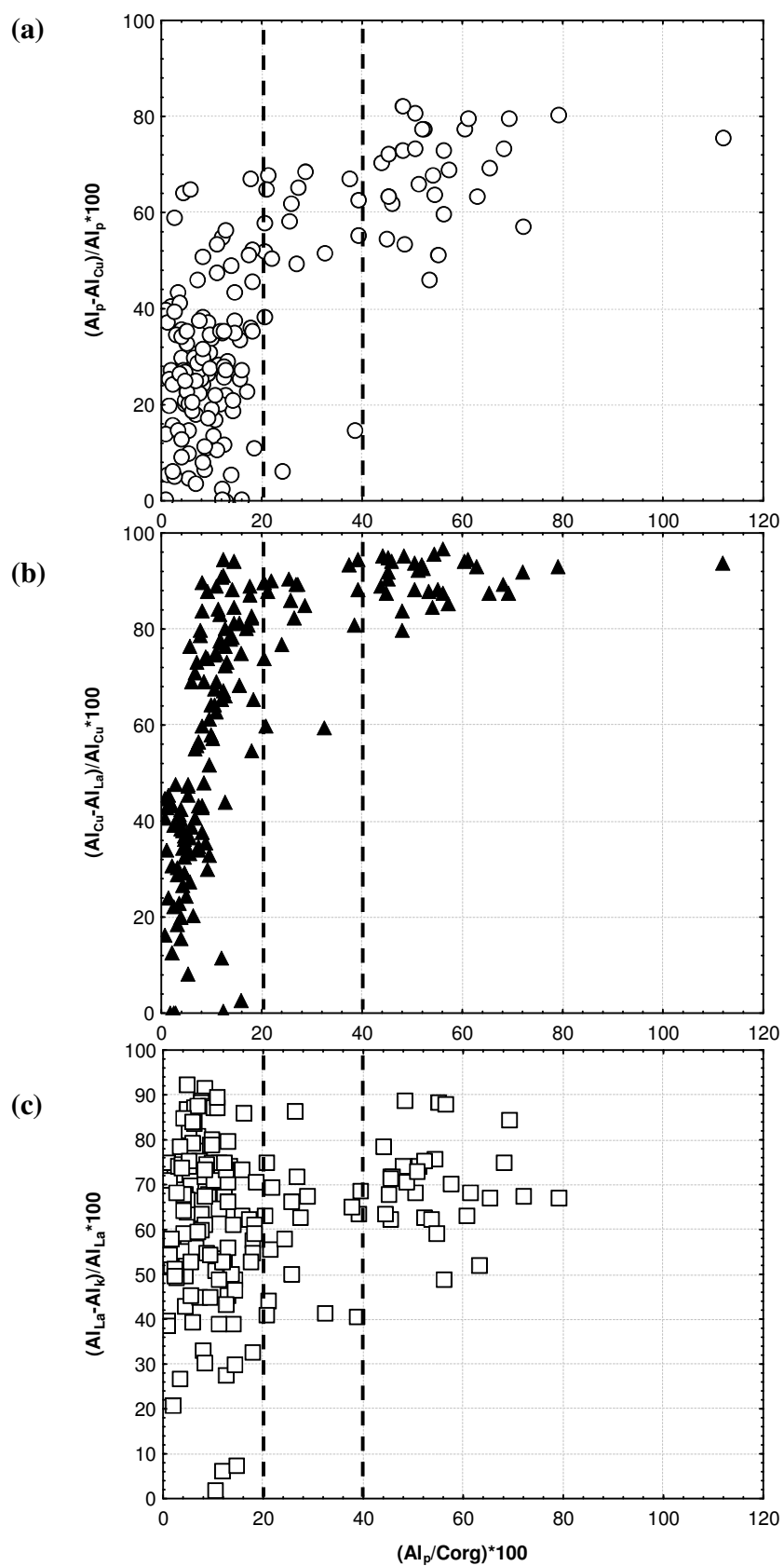


Figura 4.8 – Relação entre $(Al_p/Corg)*100$ e (a) $((Al_p - Al_{Cu}) / Al_p) * 100$, (b) $((Al_{Cu} - Al_{La}) / Al_{Cu}) * 100$ e (c) $((Al_{La} - Al_p) / Al_{La}) * 100$ para o conjunto de amostras com valores positivo ou nulo da diferença entre extratores

Urrutia, Macías e García-Rodeja (1995) também identificaram a presença de complexos Al-húmus mais lábeis em horizontes A, E e Bh de Espodosolos europeus comparativamente aos horizontes Bs e horizontes A de Andossolos. Daí a baixa eficácia do LaCl_3 e KCl a valores de saturação por Al no húmus superiores a 20, reduzindo concomitantemente ao aumento tanto da saturação (Figura 4.7bc) como da estabilidade (Figuras 4.8abc) da interação carbono-metal. Esses fatos se comprovam pela correlação da diferença entre extratores e a saturação por Al no húmus. As Figuras 4.9abc evidenciam que a fração de Al de maior estabilidade (Figura 4.9a) se encontra acima de 20 ($(\text{Al}/\text{Corg}) \cdot 100$), havendo uma redução dos valores médios da diferença à medida que reduz a estabilidade da interação Al-húmus (Figuras 4.9bc), o que é mais evidente para valores de saturação do elemento no húmus acima de 40.

As considerações e interpretações enunciadas acima e concernentes à estabilidade e o grau da interação do Al no húmus são inverossímeis se tanto o extrator pirofosfato como o CuCl_2 extraem significativas porções inorgânicas de Al, ou seja, se há inadequabilidade dos extratores para valores de saturação por Al no húmus superiores a 20. A Tabela 4.1 ajuda a esclarecer esse fato. O carbono orgânico (Corg) se relaciona significativamente com as variáveis $\text{Al}_p\text{-Al}_{\text{Cu}}$ ($r = 0,71^{***}$), $\text{Al}_{\text{Cu}}\text{-Al}_{\text{La}}$ ($r = 0,89^{***}$) e $\text{Al}_{\text{La}}\text{-Al}_{\text{K}}$ ($r = 0,74^{***}$), enquanto que apenas a fração especificamente extraída com pirofosfato ($\text{Al}_p\text{-Al}_{\text{Cu}}$) se relaciona ao Al presente na estrutura dos minerais amorfos ($\text{Al}_o\text{-Al}_p$; $r = 0,51^{***}$). Assim, os parâmetros estatísticos da Tabela 4.1 sugerem, para esse conjunto de amostras que reconhecidamente apresentam Al inorgânico não cristalino na sua composição, que tanto o CuCl_2 como, sobretudo, o LaCl_3 extraem fundamentalmente Al ligado à matéria orgânica, haja vista que o maior valor de r se deu para a relação $\text{Al}_{\text{Cu}}\text{-Al}_{\text{La}}$ e Corg ($r = 0,89^{***}$), havendo um decréscimo desse parâmetro quando se relaciona as formas inorgânicas não cristalinas ($\text{Al}_o\text{-Al}_p$) à estabilidade da interação Al-húmus, com valores não significativos a 1% de probabilidade para a relação entre $\text{Al}_o\text{-Al}_p$ e as variáveis $\text{Al}_{\text{Cu}}\text{-Al}_{\text{La}}$ ($r = 0,33$) e $\text{Al}_{\text{La}}\text{-Al}_{\text{K}}$ ($r = 0,27$). No entanto, o comportamento da fração mais estável de Al e especificamente extraída pelo pirofosfato ($\text{Al}_p\text{-Al}_{\text{Cu}}$) se mostra diferente. Como já mencionado, tal fração se relaciona significativamente tanto às formas inorgânicas não cristalinas ($\text{Al}_o\text{-Al}_p$) como ao Corg (Tabela 4.1), sugerindo que ambas as formas, tanto orgânicas como inorgânicas de Al, podem ser co-responsáveis pelo conteúdo do elemento especificamente extraído pelo pirofosfato ($\text{Al}_p\text{-Al}_{\text{Cu}}$), o que corrobora o enunciado acima de que a menor eficácia dos extratores não tamponados a valores de saturação por Al no húmus ($(\text{Al}_p/\text{Corg}) \cdot 100$) superior

a 20 (Figura 4.3) pode ser consequência tanto da reduzida habilidade dos mesmos em dissolver compostos orgânicos de maior estabilidade como da reconhecida capacidade do pirofosfato de extrair formas inorgânicos de Al. No entanto, observa-se na Figura 4.3 que quando maior o grau de saturação por Al no húmus, menor é a eficácia média dos extratores não tamponados, mesmo a valores acima de 20.

Tabela 4.1 – Coeficientes de correlação r e níveis de significância P do momento do produto Pearson para o conjunto de dados com valores de $(Al_p/Corg)*100$ iguais ou superiores a 20 e diferenças Al_o-Al_p positivas

Variáveis ¹	Al_p-Al_{Cu} ²	$Al_{Cu}-Al_{La}$ ³	$Al_{La}-Al_K$ ⁴
	coeficiente de correlação r / nível de significância P		
Al_o-Al_p	0,51 / 0,0006	0,33 / 0,04	0,27 / 0,09
Corg	0,71 / <0,0001	0,89 / < 0,0001	0,74 / <0,0001

¹ Al_o-Al_p = subtração entre o Al extraído com oxalato (Al_o) e o Al extraído por pirofosfato (Al_p), referindo-se ao elemento presente na estrutura dos minerais amorfos (GARCÍA-RODEJA et al., 2004); Corg = carbono orgânico

² Al_p-Al_{Cu} = Al extraído por pirofosfato (Al_p) menos o Al extraído por $CuCl_2$ (Al_{Cu}), ou seja, quantidade de Al especificamente extraída por pirofosfato;

³ $Al_{Cu}-Al_{La}$ = Al extraído por $CuCl_2$ (Al_{Cu}) menos o Al extraído por $LaCl_3$ (Al_{La}), ou seja, a fração do elemento especificamente extraída por $CuCl_2$;

⁴ $Al_{La}-Al_K$ = Al extraído por $LaCl_3$ (Al_{La}) menos o Al extraído por KCl (Al_K), ou seja, a fração do Al especificamente removida pelo La_2Cl_3

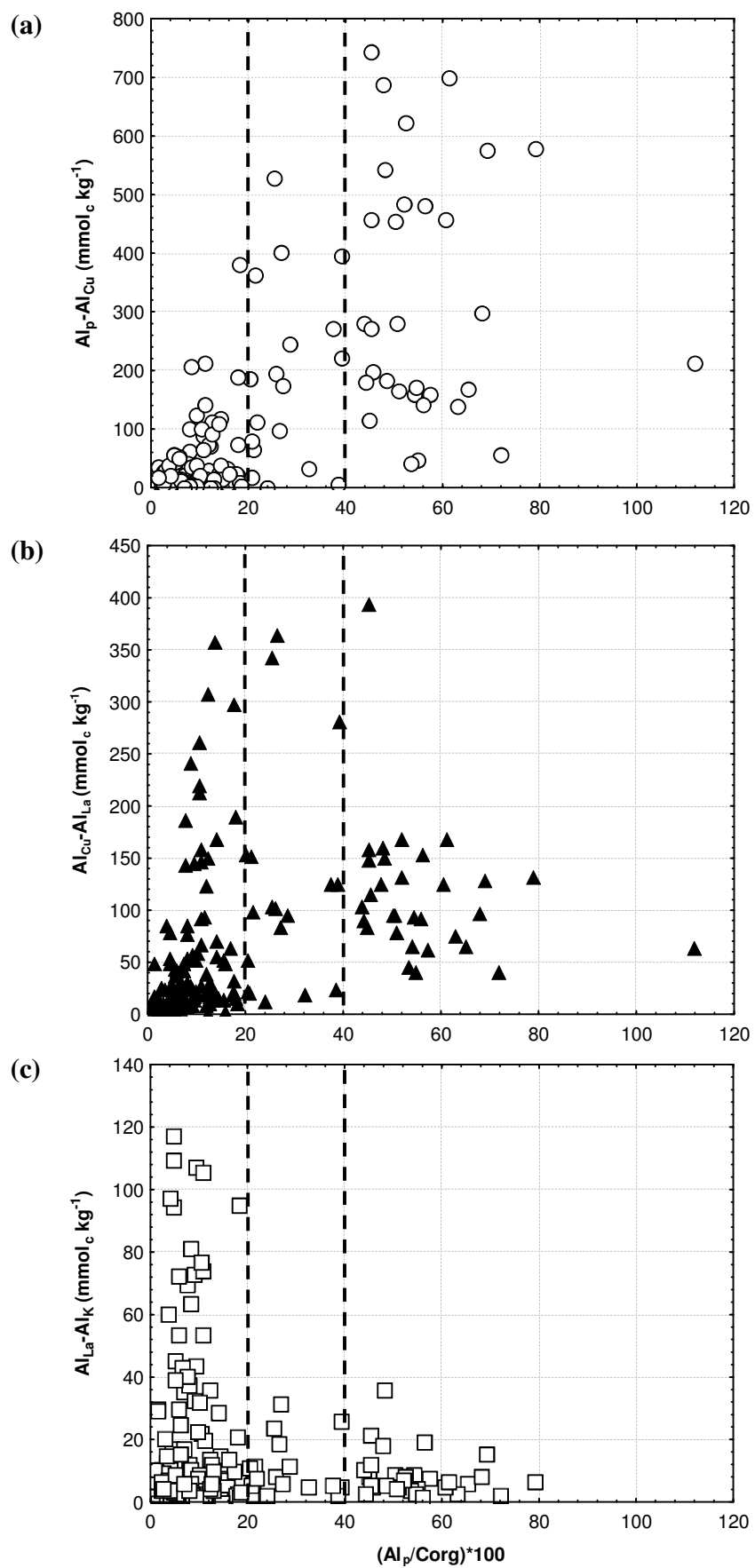


Figura 4.9 – Relação entre $(Al_p/Corg)*100$ e (a) Al_p-Al_{Cu} , (b) $Al_{Cu}-Al_{La}$ e (c) $Al_{La}-Al_K$

Dos resultados e discussões anteriores podemos constatar que: **(a)** há uma forte tendência de que quanto maior é a saturação por Al no húmus, maior é a estabilidade da interação do metal à matéria orgânica dos solos estudados; **(b)** a máxima capacidade complexante de 0,22 determinada pela co-extração de Al e Corg para formas sintéticas de substâncias húmicas (HIGASHI, 1983) parece não se reproduzir aqui. Diferenças na origem e no tipo de materiais húmicos e no pH dos solos podem combinar para alterar a habilidade complexante das substâncias húmicas, fato já constatado por Takahashi, Fukuoka e Dahlgren (1995), de tal forma que os solos aqui estudados aparentemente mostram a matéria orgânica de algumas amostras e horizontes com maior capacidade de saturação com metal, além de 0,22, sobretudo para determinados horizontes Bs e Bhs bem drenados e horizontes C; **(c)** alguns desses horizontes apresentaram o Al menos lábil ou a maior estabilidade da interação Al-húmus, bem como frações reconhecidamente inorgânicas não cristalinas do elemento; **(d)** possivelmente, a melhor drenagem e/ou a maior idade absoluta da matéria orgânica desses horizontes bem drenados Bs e Bhs, geralmente situados na base dos perfis mais velhos e também bem drenados (capítulo 2) favoreceram as condições e/ou o tempo necessários a maior interação e estabilização da união carbono-metal; **(e)** o extrator pirofosfato parece extrair outras formas que não somente Al unido à matéria orgânica, ao contrário do CuCl_2 , que parece ser mais específico para essa forma do elemento na maioria das amostras que reconhecidamente apresentam Al inorgânico; **(f)** no entanto, as interpretações enunciadas acima evidenciam a adequabilidade de todos os extratores aqui utilizados, inclusive do pirofosfato, por permitir estabelecer relações e interpretações contundentes quanto ao entendimento da química dos complexos Al-húmus dos solos de restinga aqui estudados. Assim, tais extratores, sobretudo o pirofosfato, o qual possivelmente carece de total seletividade, mostraram-se adequados e podem ser utilizados nos estudos e no entendimento dos processos envolvidos na gênese de Espodosolos do litoral paulista, fato já constatado no capítulo 3 deste trabalho para o reagente pirofosfato; **(g)** as diferentes idades e condições de formação dos solos aqui estudados, sobretudo relacionadas ao hidromorfismo e hidrologia nos perfis, que por sua vez favorecem ou não **(1)** a mobilização recente de compostos organometálicos em profundidade, rejuvenescendo os horizontes espódicos inferiores nos perfis bem drenados; **(2)** a atuação da atividade biológica, ausente nos saturados; **(3)** a manutenção da estabilidade estrutural e maior preservação dos perfis que permanecem saturados por água a maior parte do ano; **(4)** a quase completa remoção de horizontes consolidados (ortstein) em perfis

situados em relevo com alguma declividade e, portanto, com influência de fluxos hídricos laterais que drenam os solos.

Todos os fatores acima relatados (itens 1 a 4) são condicionadores da grande diversidade e variabilidade lateral e vertical dos perfis e horizontes B espódicos da área estudada (capítulo 2), esses últimos com diferente natureza dos grupos funcionais das substâncias húmicas, resultando no Al sendo retido com diferentes afinidades. A grande dispersão dos dados da Figura 4.9 é resultado dessa diversidade e natureza diferenciada das substâncias húmicas, a qual pode ser mais bem avaliada na Tabela 4.2. Nela foram selecionados quatro perfis, os quais são representativos das áreas estudadas e manifestam atributos morfológicos e químicos decorrentes da idade e condições a que foram formados. Os perfis P2 e P3 são bem drenados e distam 15 m entre si. Embora muito próximos, mostram grande variação dos atributos morfológicos (capítulo 2) e químicos (Tabela 4.2). Em comum tem as boas condições de drenagem e o subscrito “s” indicativo da presença de sexquíóxidos de ferro (EMBRAPA, 2006), bem como a presença de Al em componentes inorgânicos não cristalinos (capítulo 3). Essa última característica é facilmente observada em alguns horizontes, sobretudo naqueles Bhs do perfil P2 e Bs e Bsm do perfil P3, devido aos valores de pH próximos ou acima de 5, relação Al_p/Al_o abaixo de uma unidade e saturação por Al no húmus $((Al_p/Corg)*100)$ superior a 20 (Tabela 4.2).

Tabela 4.2 – Dados químicos referentes a perfis selecionados

(continua)

Hor.	Prof.	Corg	(Al _p / Corg)*100	Al _p /Al _o	pH	Al _p	Al _{Cu}	Al _{La}	Al _K	Al _p -Al _{Cu}	Al _{Cu} -Al _{La}	Al _{La} -Al _K
	cm	g kg ⁻¹				-----mmol _c kg ⁻¹ -----						
Perfil P2 – ESPODOSSOLO FERRIHUMILÚVICO Órtico espessarênico, A moderado, textura arenosa, acentuadamente drenado												
A1	0-13	26,09	2,82	1,04	3,8	81,67	53,33	27,89	7,21	28,33	25,45	20,68
A2	13-28	21,41	11,07	1,25	4,2	263,33	122,22	30,44	10,73	141,11	91,78	19,71
AE	28-63	8,81	27,23	0,96	4,7	266,67	92,35	10,00	3,70	174,32	82,35	6,30
E	35-82	1,89	12,71	1,20	5,4	26,67	11,60	2,32	1,02	15,06	9,28	1,30
EB	60-84	2,83	..	..	4,9	66,67	26,17	4,86	2,31	40,49	21,32	2,55
Bhs1	67-90	5,98	20,56	0,93	4,8	136,67	57,28	6,00	3,54	79,38	51,28	2,46
Bhs2	74-116	9,76	37,35	0,92	4,9	405,00	132,84	8,67	3,00	272,16	124,17	5,67
Bhs3	116-140	8,81	60,41	1,16	5,0	591,67	133,33	7,89	2,90	458,33	125,45	4,99
Bhs4	114-128	12,91	61,13	1,42	4,9	876,67	177,53	9,55	3,02	699,14	167,98	6,53
Bhs5	128-153	4,41	51,05	0,65	5,1	250,00	84,44	6,67	1,70	165,56	77,78	4,97
Bhs6	126-152	6,30	45,74	0,65	5,2	320,00	121,23	7,22	2,03	198,77	114,01	5,19
Bhs7	140-200	4,41	54,46	0,58	5,3	266,67	96,79	4,44	1,81	169,88	92,35	2,63
C1	161-180	1,25	72,04	0,69	5,6	100,00	42,96	3,41	1,10	57,04	39,55	2,31
C2	180-200	3,78	55,99	0,39	5,3	235,00	94,32	3,17	1,62	140,68	91,15	1,55
Perfil P3 – ESPODOSSOLO FERRIHUMILÚVICO Órtico dúrico, A moderado, textura arenosa, bem drenado												
A1	0-6	36,52	..	..	4,2	0,00	13,83	10,55	7,21	..	3,27	3,34
A2	6-13	13,33	..	..	4,4	0,00	4,20	2,73	2,61	..	1,46	0,12
EA	13-25	2,12	..	..	4,6	0,00	1,98	1,35	1,32	..	0,63	0,03
E1	25-71	0,61	..	..	5,7	0,00	0,00	0,00	0,00	..	..	..
E2	106-180	0,30	..	..	5,5	0,00	0,00	0,00	0,00	..	..	..
EB	94-113	1,21	..	..	5,3	0,00	4,20	2,40	1,62	..	1,80	0,78
BE1	71-82	8,78	5,29	1,00	5,2	51,67	43,95	24,00	7,24	7,72	19,95	16,76
BE2	73-91	18,17	8,03	0,98	4,6	161,67	122,47	69,66	5,89	39,20	52,81	63,77
Bh1	82-119	19,69	7,54	1,03	4,3	165,00	120,25	78,55	8,63	44,75	41,70	69,92
Bh2	107-125	11,51	7,43	0,96	4,5	95,00	73,58	48,55	5,59	21,42	25,03	42,96
Bh3	135-170	11,81	6,86	1,11	4,5	90,00	73,78	43,88	8,38	16,22	29,89	35,50
Bhm1	89-125	36,52	8,95	1,05	4,2	363,33	323,33	82,88	10,02	40,00	240,45	72,86

Tabela 4.2 – Dados químicos referentes a perfis selecionados

Hor.	Prof. cm	Corg g kg ⁻¹	(Al _p / Corg)*100	Al _p /Al _o	pH	(conclusão)						
						Al _p	Al _{Cu}	Al _{La}	Al _K	Al _p -Al _{Cu}	Al _{Cu} -Al _{La}	Al _{La} -Al _K
						-----mmol _c kg ⁻¹ -----						
Perfil P3 – ESPODOSSOLO FERRIHUMILÚVICO Órtico dúrico, A moderado, textura arenosa, bem drenado												
Bhm2	120-142	22,72	21,26	1,09	4,7	536,67	172,84	21,11	9,33	363,83	151,73	11,78
Bs1	107-125	5,45	15,68	0,98	4,8	95,00	62,96	11,89	4,39	32,04	51,08	7,50
Bs2	125-180	4,24	44,93	0,59	5,2	211,67	95,80	12,00	3,84	115,86	83,80	8,16
Bsm1	122-144	19,99	14,33	1,09	4,6	318,33	198,77	30,55	15,62	119,57	168,21	14,93
Bsm2	153-180	8,18	39,07	0,52	5,2	355,00	132,59	7,44	2,72	222,41	125,15	4,72
Bsm3	132-170	11,02	25,64	0,70	4,6	313,33	119,51	16,67	8,32	193,83	102,84	8,35
Bsm4	157-180	15,75	20,35	0,72	4,8	355,00	170,12	17,89	6,54	184,88	152,24	11,35
Plácico	..	35,89	11,11	1,04	4,1	443,33	231,85	85,99	0,00	211,48	145,86	85,99
Perfil P10 – ESPODOSSOLO HUMILÚVICO Hidromórfico espessarênico, A moderado, textura arenosa, mal drenado												
A	0-7	..	..	0,61	3,9	21,67	16,22	24,55	12,04	5,44	..	12,51
AE	7-11	20,46	..	..	4,1	0,00	8,15	6,78	9,71	..	1,37	..
EA	11-30	8,81	..	..	4,2	0,00	5,68	3,94	3,90	..	1,73	0,04
E	18-48	1,26	..	..	4,9	0,00	0,00	1,00	0,98	..	..	0,02
EB	35-74	1,57	..	..	4,7	0,00	2,96	2,63	1,89	..	0,33	0,74
BE	60-83	4,09	3,18	0,51	4,5	14,17	10,62	8,67	6,32	3,55	1,95	2,35
Bh1	83-103	15,11	4,37	3,14	3,9	73,33	53,33	39,22	22,32	20,00	14,12	16,90
Bh2	90-117	19,52	6,30	1,58	4,1	136,67	95,80	76,44	33,50	40,86	19,37	42,94
Bhm	117-150	18,57	7,43	1,64	4,1	153,33	111,36	63,44	22,99	41,98	47,92	40,45
Perfil P30 – ESPODOSSOLO HUMILÚVICO Órtico dúrico, A fraco, textura arenosa, imperfeitamente drenado												
O	0-10	..	..	1,10	...	108,50	105,19	59,33	30,30	3,31	45,86	29,03
A	10-18	33,50	..	..	4,1	0,00	2,72	1,56	4,40	..	1,16	..
E	18-40	2,78	..	..	4,9	0,00	0,00	0,00	0,00	..	..	..
Bhg	33-44	33,03	1,60	0,92	3,7	83,33	66,67	50,66	21,32	16,67	16,01	29,34
Bh	40-76	46,93	4,75	1,06	4,1	223,33	167,16	118,43	8,90	56,17	48,73	109,53
Bhm	58-105	42,30	13,99	1,17	3,7	513,33	404,89	47,44	18,43	108,44	357,45	29,01

Nota – Sinais convencionais utilizados:

.. Não se aplica dado numérico

... Dado numérico não disponível

A diferença de estabilidade da interação Al-matéria orgânica pode ser facilmente avaliada tanto ao longo de um mesmo perfil como entre perfis por meio das diferenças entre extratores. Comparando os perfis bem drenados, P2 e P3, o primeiro mostra os horizontes Bhs3 e Bhs4 com os maiores valores de Al_p-Al_{Cu} , respectivamente 458,33 e 699,14 $mmol_c\ kg^{-1}$ (Tabela 4.2). Como tal perfil apresenta remanescentes de horizontes ortstein em profundidade, o que associado às condições de relevo local foi interpretado no segundo capítulo deste trabalho como um Espodosolo mais bem desenvolvido no passado, o indicativo da presença de compostos de Al de maior estabilidade nesses poucos horizontes comparativamente aos dos demais perfis pode ser resultado da remoção dos compostos de Al mais lábeis e preservação daqueles de maior estabilidade química. No entanto, tais horizontes, juntamente com os horizontes C (perfil P2), são os que apresentam os maiores valores de saturação por Al no húmus observados, o que, juntamente com os valores de pH próximos a 5 (Tabela 4.2) e ausência de relação significativa entre Corg e Al_p (Tabela 4.3), sugerem tanto a presença de minerais inorgânicos não cristalinos como a falta de especificidade do pirofosfato para formas orgânicas de Al. A relação Al_p/Al_o inferior a 1 para a maioria desses horizontes Bhs e também C (perfil P2), as menores observadas (Tabela 4.2), confirmam esses resultados e revelam a importância de convergir evidências por meio de diferentes procedimentos analíticos e do comportamento geoquímico dos elementos no solo a fim de corretamente interpretar os resultados das técnicas de dissoluções seletivas e avaliar suas limitações, sobretudo quanto ao pirofosfato.

É provável que tanto o pirofosfato como, em menor proporção, o $CuCl_2$, removam significativas quantidades de Al inorgânico do perfil P2 ou de alguns de seus horizontes, haja vista a fraca correlação entre Corg e as variáveis Al_p e Al_{Cu} , enquanto que Al_o correlaciona-se significativamente com essas duas formas de Al (Tabela 4.3). Isso possivelmente ocorre devido a sua maior quantidade e/ou graus variados de cristalinidade dos seus componentes inorgânicos em relação aos demais horizontes e perfis aqui estudados. No entanto, as interpretações são mais confiáveis dentro do mesmo perfil ou mesmo entre perfis de uma mesma série de solos, já que esses, os horizontes de um perfil e os reagentes, terão potenciais e limitações semelhantes na análise de um elemento químico de interesse.

Tabela 4.3 – Nível de significância P e coeficiente de correlação r para a relação entre Corg e Al_o e as variáveis Al_p, Al_{Cu}, Al_{La}, Al_K e Al_o referentes aos perfis bem drenados P2 e P3

Variáveis	Al _p	Al _{Cu}	Al _{La}	Al _K	Al _o
coeficiente de correlação r / nível de significância P					
Perfil P2					
Corg	0,19 / 0,52	0,32 / 0,26	0,95 / <0,0001	0,89 / < 0,0001	-0,09 / 0,76
Al_o	0,83 / <0,0001	0,81 / <0,0001	-0,18 / 0,53	-0,20 / 0,48	..
Perfil P3					
Corg	0,50 / 0,08	0,88 / <0,0001	0,70 / 0,008	0,61 / 0,026	0,20 / 0,49
Al_o	0,85 / <0,0001	0,47 / 0,10	-0,41 / 0,16	-0,10 / 0,76	..

Nota – Sinais convencionais utilizados

.. Não se aplica dado numérico

Embora não específico, o pirofosfato auxiliou no estabelecimento de relações e interpretações quanto à presença de minerais não cristalinos (Al_p/Al_o) para a maioria dos horizontes do perfil P2, o que, associado à elevada saturação de Al no húmus ((Corg/Al_p)*100), muito acima de 20, garantem sua adequabilidade às formas de Al, pois esses parâmetros alertam para a grande possibilidade de fontes inorgânicas não cristalinas nos solos e horizontes, bem como a provável superestimativa do Al extraído com pirofosfato.

O perfil P3 é mais desenvolvido que o anterior, o que pode ser verificado pela presença de horizontes ortstein (Bhm e Bsm) e maiores conteúdos de Corg (Tabela 4.2) nos horizontes espódicos. Ao contrário do perfil P2, este mostra relações significativas entre Corg e Al_p (r = 0,50*) e Corg e Al_{Cu} (r = 0,88***). Embora exista, a correlação entre Corg e Al_p é fraca, fato que, associado tanto à significativa e mais forte correlação entre Al_p e Al_o (r = 0,85***), como as relações (Cor/Alp)*100 superiores a 20 e valores de pH próximos ou acima de 5, também sugerem a presença de Al na forma mineral inorgânica não cristalina em alguns horizontes, fato já constatado no capítulo 3 deste trabalho. No entanto, Al_{Cu} mostrou-se significativamente correlacionado ao Corg (r = 0,88***), mas não ao Al_o (Tabela 4.3), o que evidencia a maior adequabilidade tanto do pirofosfato, como e principalmente do CuCl₂ para as formas orgânicas de Al neste perfil, comparativamente ao P2. Possivelmente, a mineralogia (quantidade e/ou grau de cristalinidade) e a natureza da matéria orgânica (química e grau de humificação) diferenciadas entre os perfis condicionaram esses resultados. Esta última pode ser avaliada analisando-se a

diferença entre os extratores. Devido à maior estabilidade estrutural dos horizontes ortstein (Bhm e Bsm) é de se esperar maior estabilidade da interação Al-húmus em relação aos horizontes brandos, sobretudo considerando-se o horizonte Bh, o que de fato ocorre. Do exame da Tabela 4.2 observa-se que os horizontes Bh1, Bh2 e Bh3 do perfil P3 mostram os maiores valores para a diferença $Al_{La}-Al_K$, de menor estabilidade em relação às demais listadas na Tabela, enquanto que, naqueles consolidados Bhm e Bsm, tais valores são muito inferiores, tanto em relação aos dos horizontes Bh como, e principalmente, em relação às diferenças Al_p-Al_{Cu} e $Al_{Cu}-Al_{La}$; esses últimos reconhecidamente relacionados a maior estabilidade da interação Al-húmus (GARCÍA-RODEJA et al., 2004) e, conseqüentemente, a natureza menos lábil dos complexos orgânicos ali formados.

A tendência acima relatada também é observada no perfil P30, ou seja, valores superiores da fração mais lábil dos complexos Al-matéria orgânica ($Al_{La}-Al_K$) nos horizontes Bh comparativamente às mais estáveis e ao horizonte consolidado Bhm. Este último, em geral, apresenta os mais elevados conteúdos de Al_p e Al_{Cu} dos perfis, sobretudo naqueles mal drenados onde há uma tendência de sobreposição da fração $Al_{Cu}-Al_{La}$ em relação àquela que representa a interação mais estável do complexo Al-matéria orgânica (Al_p-Al_{Cu}). Esses fatos são observados nos dados da Tabela 4.2, incluindo o perfil P10. Este é de idade absoluta muito mais recente em relação ao Perfil P30 (capítulo 2), sugerindo que o tempo pode condicionar tanto ao maior acúmulo como à estabilidade do carbono nos Espodosolos, fato já constatado por Skjemstad et al. (1992) para Espodosolos sob dunas na Austrália. De fato isso é evidenciado na Tabela 4.2. Comparando os perfis P10 e P30 (Tabela 4.2), ambos de má drenagem, observam-se os maiores conteúdos de Corg nos horizontes espódicos do P30, bem como dos valores de Al_p , Al_{Cu} e das diferenças entre extratores que representam os complexos de maior estabilidade da interação Al-matéria orgânica (Al_p-Al_{Cu} ; $Al_{Cu}-Al_{La}$), sobretudo se analisarmos os horizontes Bhm de ambos os perfis. Ademais, a fração menos estável ou mais lábil de Al ($Al_{La}-Al_K$) é muito inferior às demais para o horizonte Bhm do perfil mais velho (P30), enquanto que o também designado horizonte Bhm do perfil P10, mais jovem, mostra as diferentes frações referentes à estabilidade da interação Al-matéria orgânica com valores muito próximos entre si, sugerindo que o tempo não foi suficiente para o desenvolvimento de uma matéria orgânica de maior estabilidade nesse horizonte, mais fortemente associada e floclada por Al, tal como o ocorrido para o perfil P30, mais antigo.

Do enunciado acima se aventa que à estabilidade da interação Al-húmus obtida por meio dos reagentes não tamponados e pirofosfato pode ser mais um critério a fim de avaliar, de maneira comparativa, o grau de desenvolvimento dos Espodossolos numa cronossequência, de tal forma que os mais antigos mostram a matéria orgânica mais fortemente associada ao Al e estável e, conseqüentemente, maior valor da diferença entre os extratores que representam a maior estabilidade da interação Al-húmus. No entanto, é provável que tal critério seja mais adequado aos horizontes consolidados ortstein por representarem uma mais velha situação fóssil. Schwartz (1988) e Pagé e Guillet (1991) já mencionaram que tais horizontes cimentados são fósseis e representam a chave para os estudos de evolução dos Espodossolos (SCHWARTZ, 1988), quer devido a pouca ou ausente atividade biológica, quer devido à ausência de migração de substâncias orgânicas solúveis aos mesmos uma vez que permanecem submersos no período em que tais substâncias são passíveis de serem produzidas e mobilizadas (PAGÉ; GUILLET, 1991), além de sua baixa porosidade total, dificultando ou mesmo impedindo a circulação das mesmas.

Ambos os perfis mal drenados mostram seus horizontes espódicos com baixos valores de pH, próximos ou inferiores a 4,00; relação Al_p/Al_o superiores a 1,00 para a maioria das amostras e saturação por Al no húmus ($(Corg/Al_p)*100$) sempre inferior a 20 (Tabela 4.2), sugerindo condições inadequadas à formação e, portanto, ausência ou ínfima quantidade de compostos inorgânicos não cristalinos, fato já constatado no terceiro capítulo deste trabalho para Espodossolos mal drenados da área; parâmetros esses que diferem contundentemente daqueles perfis bem drenados (perfis P2 e P3), onde as condições são favoráveis à formação e manutenção de tais compostos (capítulo 3), evidenciando a já constatada adequabilidade do extrator pirofosfato na diferenciação e estabelecimento de relações entre os horizontes e perfis dos solos de restinga estudados.

É provável que as relações entre os extratores aqui utilizados reflitam melhor as condições de formação dos horizontes e perfis mal drenados e sujeitos ao hidromorfismo temporário ou permanente dos horizontes espódicos comparativamente àqueles mal drenados devido à sua maior seletividade para os primeiros, de mineralogia mais simples (capítulo 3). No entanto, como salientamos anteriormente, relevantes e contundentes interpretações podem ser auferidas quando se convergem evidências morfológicas (cor e consistência) e químicas (pH, saturação por Al no húmus, Al_p/Al_o , Corg, diferença entre extratores) a fim de auxiliar na elucidação de processos, mineralogia, interação Al-matéria orgânica dos solos estudados, e mesmo na avaliação da

eficácia dos extratores. Algumas dessas interpretações parecem mais precisas quando realizadas para a mesma classe de solos ou mesmo e de maneira mais simples, para a mesma classe de drenagem se separarmos os perfis unicamente em bem e mal drenados, uma vez que esse atributo, classe de drenagem, influencia a maioria dos atributos dos Espodosolos da área estudada, define sua mineralogia (capítulo 2) e, conseqüentemente, a maior ou a menor eficácia e seletividade dos extratores.

4.2.2.2 Al Extraído com CuCl_2 (Al_{Cu})

Juo e Kamprath (1979) foram os primeiros a proporem o CuCl_2 0,5M como um extrator de Al não trocável reativo nos solos. A habilidade do Cu^{2+} para formar complexos relativamente fortes com a matéria orgânica do solo torna esse extrator potencialmente adequado à remoção de Al organicamente unido (SOON, 1993; JUO; KAMPRATH, 1979). No entanto, a eficiência do CuCl_2 na remoção de Al-húmus tem sido atribuída, sobretudo, ao baixo valor de pH da solução, normalmente 3,0 (HARGROVE; THOMAS, 1981; OATES; KAMPRATH, 1983; PONETTE; ANDRE ;DUFEY, 1996). Dada à importância do pH no controle do Al extraído por meio de sais não tamponados, Ponette, André e Dufey (1996) sugeriram que tanto o pH da mistura solo-solução extratora como do solo deveriam ser mencionados nas análises de rotina quando se estuda o elemento.

A Figura 4.10 mostra a relação entre o pH (medido em água e na solução de equilíbrio) e o conteúdo de Al extraído por CuCl_2 (Al_{Cu}). Pelo exame da figura observa-se que o Al_{Cu} tende a aumentar com o aumento do pH no extrato após o equilíbrio, fato também constatado por García-Rodeja et al. (2004) para solos vulcânicos europeus, enquanto o pH medido em água (pH H_2O) comporta-se inversamente. No entanto, a grande dispersão dos dados mostrada na Figura 4.10 indica que nem o pH do solo e nem o de equilíbrio são os únicos fatores que explicam a diferente eficácia do CuCl_2 na extração do Al dos solos estudados. De fato, Oates e Kamprath (1983a) e Ponette, Andre e Dufey (1996) encontraram que o efeito do pH da mistura solução salina e solo é muito menor em solos minerais, como os aqui analisados, comparativamente àqueles orgânicos. A natureza diferenciada das substâncias húmicas dos solos estudados, facilmente observada pela grande variação da diferença entre extratores dos horizontes de um mesmo perfil ou entre perfis, o que pode ser evidenciado da Tabela 4.2, resulta no Al sendo retido com diferentes afinidades

(TADASHI et al., 1995) e quantidades (STEVENSON, 1982; SKJEMSTAD, 1992), provavelmente em sítios específicos da matéria orgânica (PONETTE, ANDRE, DUFEY, 1996), imprimindo diferentes capacidades tampão aos horizontes dos perfis, de tal forma que a um mesmo valor de pH da solução de equilíbrio se tem valores diferenciados de Al_{Cu} para os variados horizontes dos perfis, tal como evidenciado na Figura 4.10. Maiores detalhes sobre os fatores que interferem na capacidade extratora do $CuCl_2$ são posteriormente apresentados.

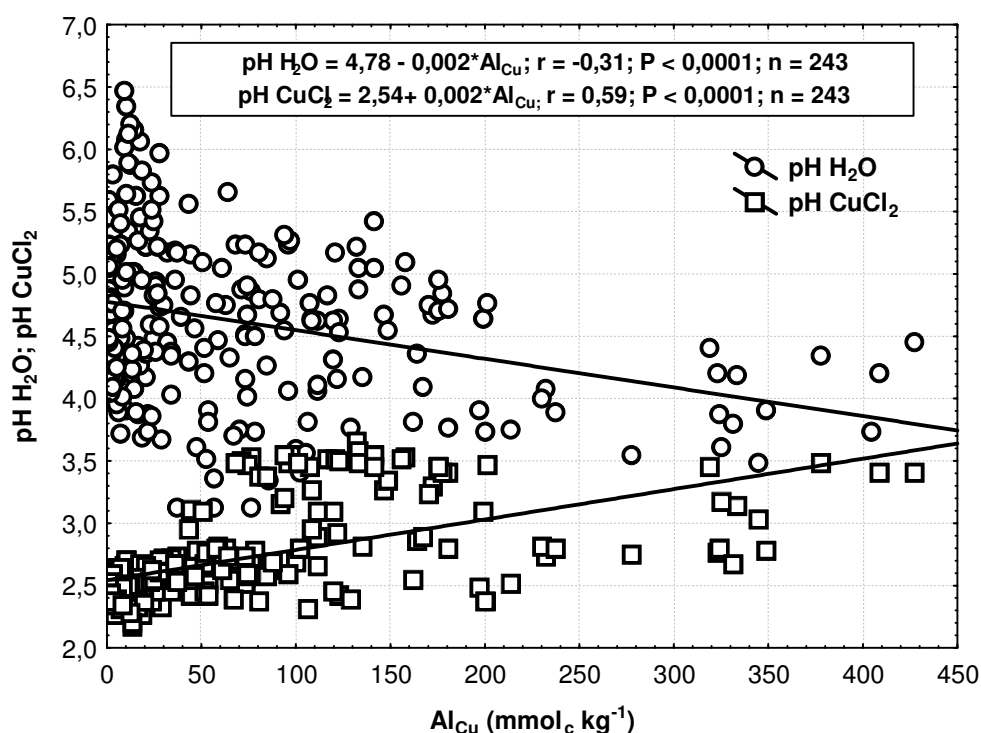


Figura 4.10 – Relação dos valores pH medido em água (pH H₂O) e na solução de equilíbrio (pH CuCl₂) com o Al extraído por CuCl₂ (Al_{Cu})

A primeira e forte evidência da capacidade dos cloretos não tamponados em extrair Al associado à matéria orgânica do solo vem da relação do Al_{Cu} com Corg ($r = 0,48^{***}$), mostrada na Figura 4.11. Uma melhor correlação entre essas variáveis foi reportada por Urrutia, Macías e García-Rodeja (1995) para solos ácidos da Galícia ($r = 0,74^{***}$) e García-Rodeja et al. (2004) para solos vulcânicos Europeus ($r = 0,85^{***}$). Apesar da correlação significativa (Figura 4.11), a dispersão dos dados é muito elevada, reflexo da: (a) grande diversidade e natureza diferenciada da matéria orgânica (química e grau de humificação) dos horizontes e perfis aqui analisados, possivelmente de maior variabilidade em relação àquelas reportadas por Urrutia, Macías e

García-Rodeja (1995) e García-Rodeja et al. (2004); **(b)** variabilidade tanto dos valores de pH como do conteúdo de Al a ser incorporado na matéria orgânica dos diversos horizontes e perfis dos solos, formados em diferentes períodos como resultado de processos pedogenéticos diferenciados (capítulo 2); **(c)** diversidade mineralógica como consequência da atuação dos processos de formação diferenciados ao longo dos horizontes e perfis estudados, sobretudo daqueles bem drenados (capítulo 3); e **(d)** ação diferenciada do CuCl_2 na extração do Al dos variados tipos e/ou graus de cristalinidade dos minerais de Al ali formados, tal como já comentado e evidenciado para um menor conjunto de dados (Tabela 4.3). Para o extrator pirofosfato a dispersão dos dados é ainda maior quando o relaciona ao Corg ($r = 0,31^{***}$; $n = 176$).

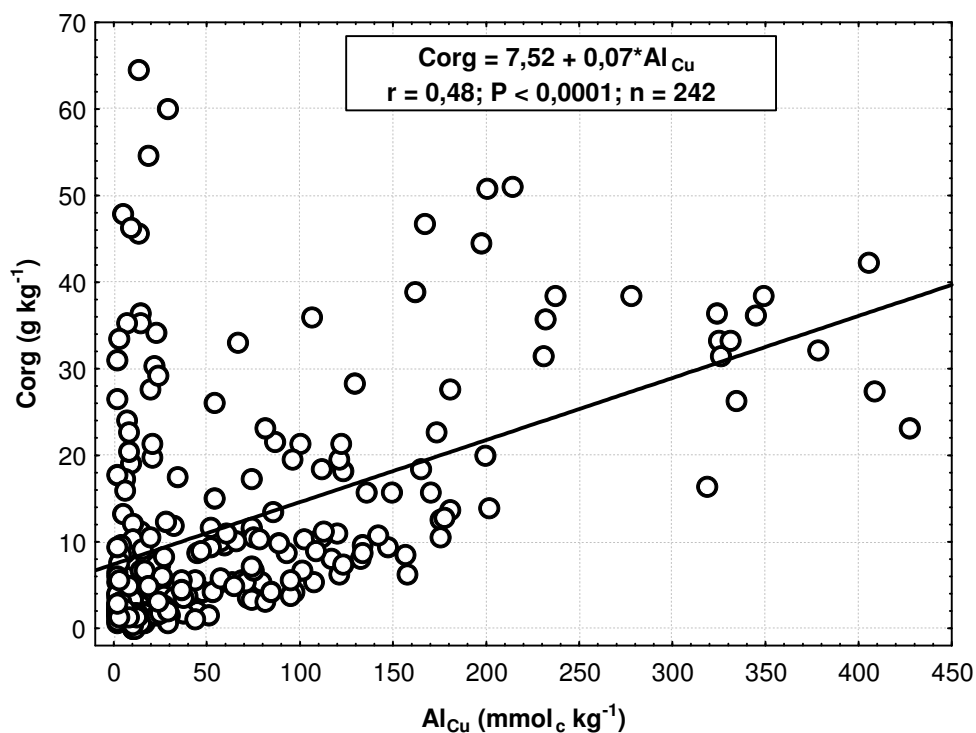


Figura 4.11 – Relação entre Al extraído por CuCl_2 (Al_{Cu}) e carbono orgânico (Corg) para o conjunto de horizontes e perfis estudados

A porcentagem de Al extraído pelo CuCl_2 em relação ao pirofosfato variou de 17,8 a 125,8%, com média de 63,6% ($n = 180$). Apenas duas amostras tiveram seus valores de Al no extrato CuCl_2 superior ao do pirofosfato. Estas se referem a horizontes BCg e 2Cg de um mesmo perfil (P8), os quais se encontram permanentemente submersos e apresentam baixos conteúdos de

carbono orgânico. No entanto, as diferenças entre extratores são pequenas ($5,12 \text{ mmol}_c \text{ kg}^{-1}$ para o horizonte BCg e $17,60 \text{ mmol}_c \text{ kg}^{-1}$ para o horizonte 2Cg), o que sugere similar capacidade de extração para ambos os métodos, possivelmente com ligeira contribuição do Al da fase mineral, fato também constatado e argumentado por García-Rodeja et al. (2004) para alguns horizontes C e superficiais de solos vulcânicos europeus, com baixos conteúdos de Corg. Dahlgren e Walker (1993) relataram valores de Al_{Cu} em relação ao Al_p variando de 50 a 80% para horizontes espódicos, o que difere consideravelmente daqueles aqui encontrados, 19 a 98% para os mesmos horizontes.

Em vista do exposto, pirofosfato extraiu mais Al que o CuCl_2 para a grande maioria das amostras, com diferenças variando entre 0,03 e $744,11 \text{ mmol}_c \text{ kg}^{-1}$. Em geral, os menores valores da diferença são encontrados nos horizontes superficiais e horizontes C quando presentes, enquanto os maiores, para os horizontes Bs, Bhs e Bhm. O máximo valor, $744,11 \text{ mmol}_c \text{ kg}^{-1}$, foi registrado no horizonte Bs de um perfil bem drenado (perfil P7, horizonte Bs6; capítulo 2), cujos dados químicos convergem para a presença de formas inorgânicas de Al ($\text{Al}_p/\text{Al}_o = 0,65$; $(\text{Al}_p/\text{Corg}) * 100 = 45,27$) e, portanto, uma provável ação do pirofosfato sobre tais formas. Outros autores, no entanto, também relataram as maiores diferenças entre os extratores e, conseqüentemente, a maior estabilidade dos complexos Al-húmus em horizontes Bs comparativamente aos Bh (URRUTIA, MACÍAS, GARCÍA-RODEJA, 1995), tal como encontramos aqui e já argumentado anteriormente.

Como regra geral, esses dados sugerem que as diferenças entre esses extratores podem ser interpretadas em termos da estabilidade dos complexos Al-húmus devido à coerência dos resultados: os horizontes com provável menor grau de evolução da matéria orgânica, A e C, mostram os menores valores da diferença, enquanto aqueles de maior estabilidade do húmus, Bs, Bhs e Bhm, os maiores valores comparativamente aos horizontes superficiais e Bh. No entanto, a convergência de evidências analíticas e morfológicas é um procedimento recomendado para adequadamente interpretar os resultados de dissoluções seletivas, com ênfase a estabilidade da interação Al-húmus, tal como mostrado e argumentado da Tabela 4.3 para um menor conjunto de dados.

O grau de saturação por Al no húmus, agora se utilizando da relação entre o Al extraído pelo CuCl_2 e o carbono orgânico ($(\text{Al}_{\text{Cu}}/\text{Corg}) * 100$), variou entre 0,04 a 32,73, com média de 6,70. A Figura 4.12 mostra a relação entre os graus de saturação do elemento calculados por

pirofosfato e CuCl_2 . Nota-se pela figura que a valores acima de 20, quando se utiliza pirofosfato, há um considerável aumento da dispersão dos dados, haja vista o melhor ajuste da curva quando se exclui tais dados ($r = 0,89^{***}$; $n = 121$) em relação ao conjunto total de amostras ($r = 0,77^{***}$; $n = 170$). Esse resultado, juntamente com a observação da Figura 4.13, ajuda a corroborar aqueles anteriores de que: **(a)** o valor de 20 parece indicar a máxima capacidade de saturação metálica no húmus para a maioria das amostras; **(b)** há uma redução da habilidade dos reagentes em dissolver Al à medida que se aumenta a saturação do elemento no húmus; **(c)** tanto o CuCl_2 como o pirofosfato dissolvem formas inorgânicas de Al, embora o segundo pareça ser bem mais efetivo na remoção de tais formas, tal como evidenciado e argumentado da Tabela 4.1.

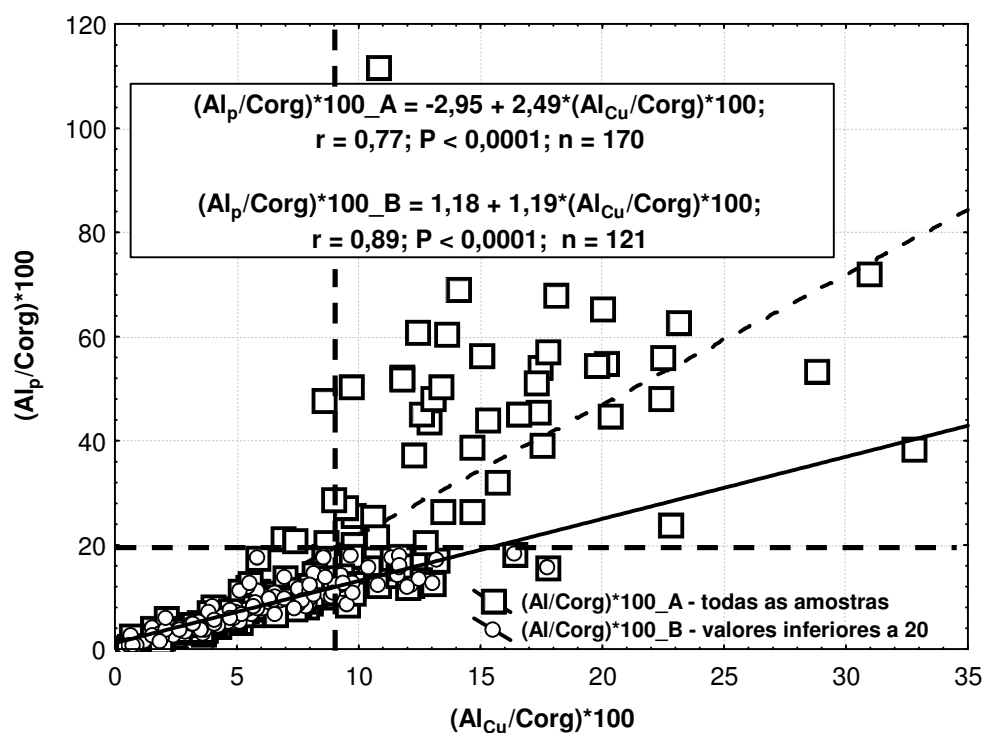


Figura 4.12 – Relação entre a saturação por Al no húmus medida por pirofosfato ($(Al_p/Corg)*100$) e aquela medida com CuCl_2 ($(Al_{Cu}/Corg)*100$). $(Al/Corg)*100_A$ refere-se a todo o conjunto de dados; $(Al/Corg)*100_B$ refere-se apenas as amostras com valores de $(Al_p/Corg)*100$ inferiores a 20. Linhas pontilhadas delimitam a provável máxima capacidade de saturação da matéria orgânica por Al, calculada tanto por pirofosfato como CuCl_2

A menor eficácia do CuCl_2 em relação ao pirofosfato e aos compostos de maior estabilidade da interação Al-húmus, bem como sua menor habilidade em dissolver materiais inorgânicos, devem contribuir para a maior dispersão dos dados a valores de saturação por Al no

húmus superiores a 20, tal como mostrado na Figura 4.12, a qual também possibilita uma correspondência desse mesmo valor àquele calculado pela relação $Al_{Cu}/Corg$. Do exame das Figuras 4.12 e 4.13 se obtém o valor próximo a nove para a suposta máxima saturação por Al no húmus para a maioria das amostras quando se utiliza o $CuCl_2$ como extrator. Acima desse valor há uma forte tendência a maior dispersão dos dados, como pode ser observado das referidas figuras, além de englobar a grande maioria das amostras cuja saturação por Al no húmus ultrapassa 20 unidades quando se utiliza pirofosfato no cálculo $((Al_p/Corg)*100)$.

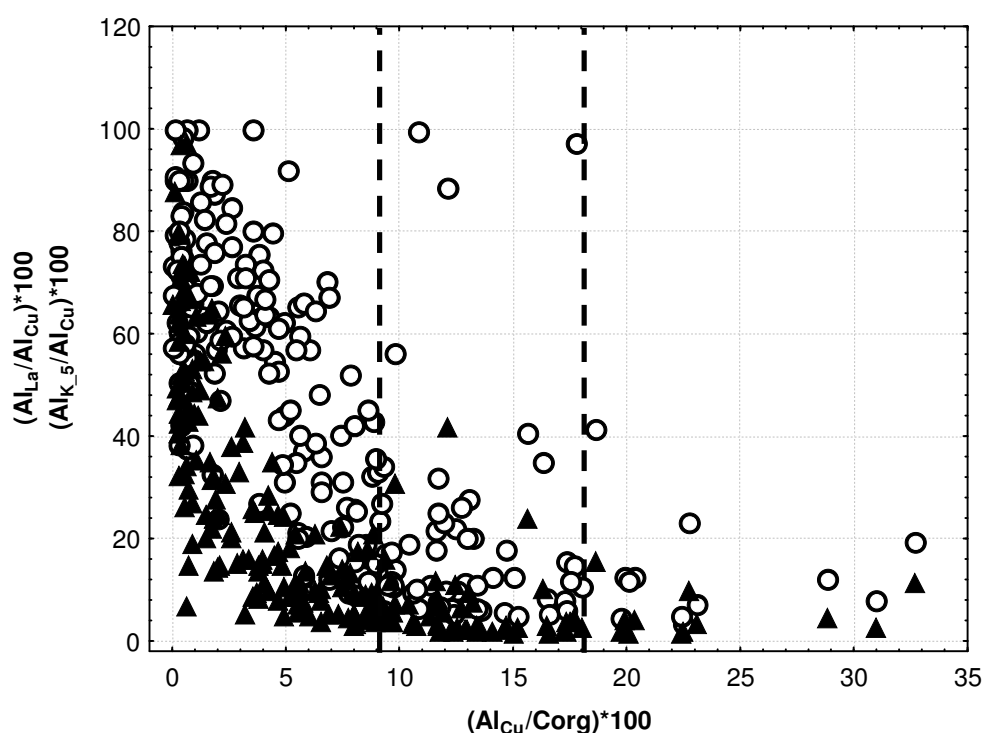


Figura 4.13 – Relação entre o grau de saturação por Al no húmus medido com $CuCl_2$ $((Al_{Cu}/Corg)*100)$ e a percentagem de Al extraído por $LaCl_3$ $((Al_{La}/Al_{Cu})*100)$ e KCl $((Al_{K}/Al_{Cu})*100)$ em relação ao $CuCl_2$ (Al_{Cu}) . À medida que se aumenta o grau de saturação por Al no húmus reduz a eficácia do La_2Cl_3 e KCl em relação ao $CuCl_2$

O valor de nove aqui sugerido por meio da observação visual, sobretudo da Figura 4.12, referindo-se ao cálculo da máxima saturação por Al do húmus, utilizando-se para tal o $CuCl_2$ como extrator, tem seu apoio nas Figuras 4.14abc. Pelo exame das mesmas observa-se que os maiores valores das diferenças entre aqueles que representam a maior estabilidade da interação Al-húmus $(Al_p-Al_{Cu}$ e $Al_{Cu}-Al_{La})$ se situam acima de nove ou próximo, onde também há uma maior dispersão dos dados, semelhante ao relatado ao analisarmos a Figura 4.9, referente ao

cálculo da saturação por Al, utilizando-se do pirofosfato. Contrariamente e também semelhante ao descrito para a Figura 4.9, os valores que representam a menor estabilidade A-húmus (Al_{La} - Al_K ; Figura 4.14c) são visivelmente reduzidos e menos dispersos abaixo daquele valor. Essas constatações sugerem similaridade entre os valores 20 e 9: enquanto o primeiro representa o valor dentro do limite estabelecido para o grau máximo de saturação por Al no húmus originalmente calculado pela co-extração do elemento e do carbono por pirofosfato de substâncias húmicas sintéticas (HIGASHI, 1983) e utilizado por Urrutia, Macías e García-Rodeja para solos ácidos da Galícia, o segundo foi aqui obtido se utilizando do Al extraído por $CuCl_2$ e do carbono orgânico, correlacionando-os aos valores obtidos por pirofosfato e carbono orgânico (Figura 4.12).

Outra similaridade entre ambas as formas de cálculo de saturação por Al e que confirma o valor de 9, vem do mais bem definido comportamento dos dados a valores dobrados de saturação por Al no húmus em relação ao suposto máximo, tal como pode ser observado das Figuras 4.9 ($(Al_p/Corg)*100$ de 40) e 4.14 ($(Al_{Cu}/Corg)*100$ de 18). No entanto, as Figuras 4.14abc mostram que tal comportamento é ainda mais bem definido para os valores acima de 18 ($(Al_{Cu}/Corg)*100$), comparativamente aqueles acima de 40 ($(Al_p/Corg)*100$); Figura 4.9), havendo tanto uma menor dispersão dos dados como uma tendência à diminuição da estabilidade média da interação Al-húmus das amostras à medida que aumenta a saturação por Al no húmus a valores superiores à 9 ($(Al_{Cu}/Corg)*100$). Possivelmente, esse comportamento mais bem definido quando se utiliza $CuCl_2$ está relacionado à menor especificidade do pirofosfato, ou seja, à maior capacidade desse último reagente em extrair formas inorgânicas de Al comparativamente ao $CuCl_2$. As Figuras 4.15 e 4.16 mostram esse fato e também confirmam a ação do $CuCl_2$ sobre tais formas inorgânicas, tal como já evidenciado anteriormente.

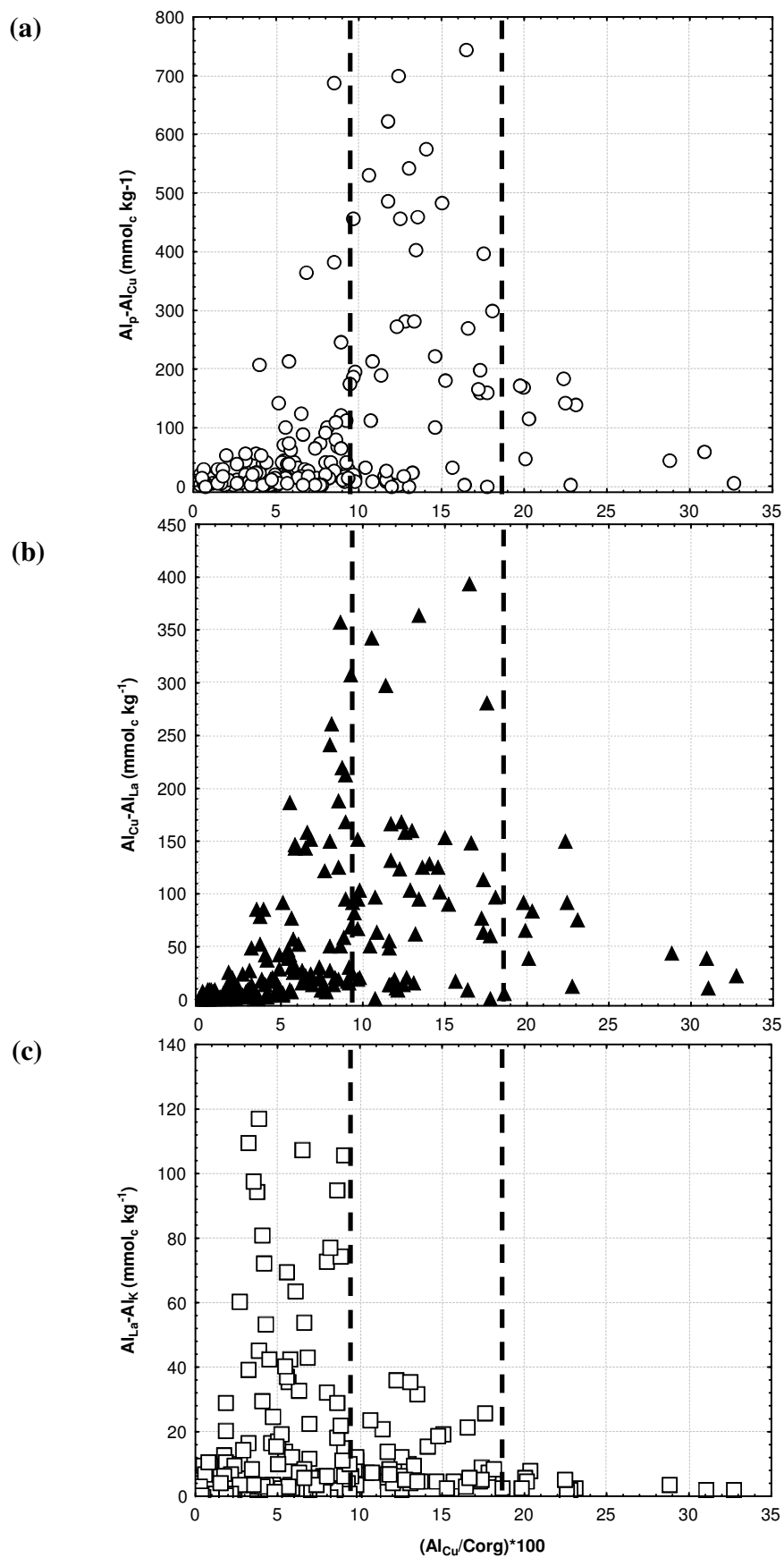


Figura 4.14 – Relação entre a saturação por Al no húmus, utilizando-se do reagente $CuCl_2$ para o cálculo da relação $(Al_{Cu}/C_{org}) \cdot 100$ e as seguintes diferenças entre extratores: (a) $Al_p - Al_{Cu}$; (b) $Al_{Cu} - Al_{La}$; (c) $Al_{La} - Al_K$. Considerou-se apenas valores positivos

Os maiores coeficiente de correlação r e nível de significância P para a relação entre as formas inorgânicas de Al não cristalino (Al_o-Al_p) e o teor do elemento extraído por pirofosfato ($r = 0,75^{**}$; Figura 4.15) e por $CuCl_2$ ($r = 0,67^*$; Figura 4.16) para um conjunto de amostras que reconhecidamente apresentam formas inorgânicas de Al (capítulo 3), como aquelas que mostram os maiores graus de saturação por Al no húmus aqui encontradas ($(Al_{Cu}/Corg)*100 > 18$) e baixos conteúdos de carbono orgânico (Figura 4.17), comprovam a falta de especificidade de ambos os extratores, com maior eficácia do pirofosfato para tais formas. No entanto, para essas mesmas amostras há uma forte correlação entre o Corg e o Al obtido tanto por $CuCl_2$ ($r = 0,98^{***}$), o que pode ser evidenciado da Figura 4.17, como por pirofosfato ($r = 0,96^{***}$), sugerindo que: **(a)** essa é a principal forma do elemento extraído por ambos os reagentes, mesmo quando formas inorgânicas não cristalinas estão presentes; **(b)** há uma maior e significativa similaridade quanto ao tipo de matéria orgânica para as amostras com relação $(Al_{Cu}/Corg)*100$ superior a 18 em relação às demais, tal como pode ser evidenciado pela dispersão dos dados da Figura 4.17, a qual é muito inferior para as primeiras ($(Al_{Cu}/Corg)*100 > 18$). De fato, essas compreendem apenas horizontes Bs, Bhs e C, todos bem drenados, enquanto que aquelas amostras com saturação por Al no húmus inferior a 18 ($(Al_{Cu}/Corg)*100$) englobam uma grande diversidade de tipos de horizontes (A, Bh, Bs, Bhm, Bsm, C, Cg e horizontes intermediários), de composição orgânica e mineral muito variados devido à diversidade dos processos de formação e das condições químicas atuais para estabilização e manutenção de tais compostos (capítulo 3); e **(c)** algumas dessas amostras com baixo conteúdo de carbono orgânico mostram capacidade de saturação por Al no húmus superior aquela encontrada por HIGASHI (1983) para formas sintéticas de substâncias húmicas, tal como comentado anteriormente.

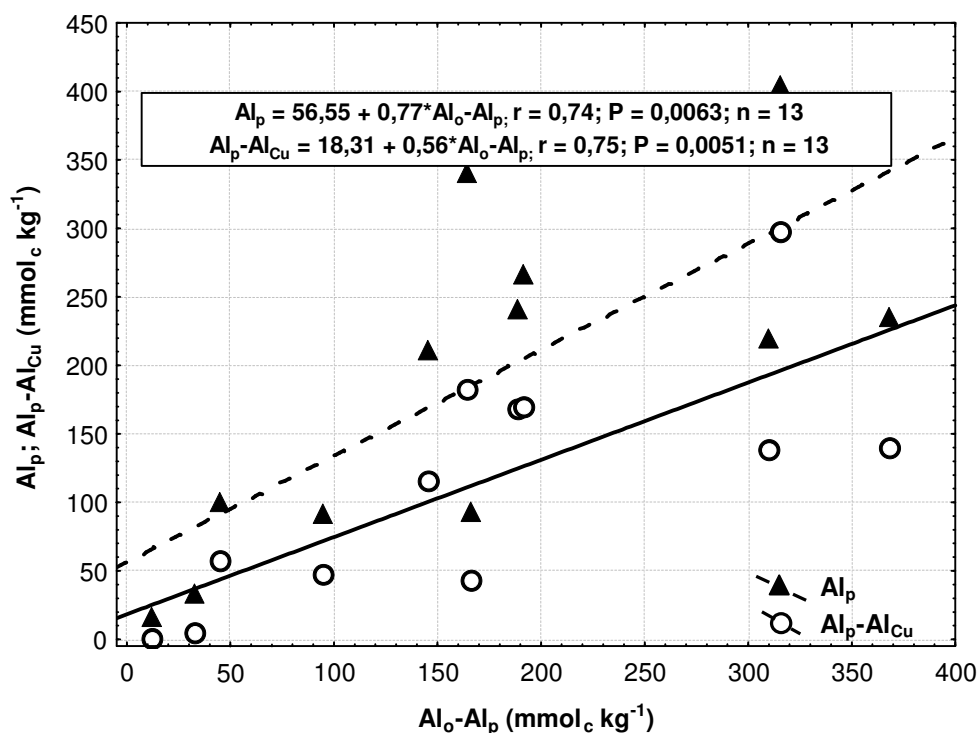


Figura 4.15 – Relação entre Al inorgânico não cristalino ($Al_o - Al_p$) e as variáveis Al extraído por pirofosfato (Al_p) e a fração extraída especificamente por pirofosfato, mas não por $CuCl_2$ ($Al_p - Al_{Cu}$). Consideraram-se apenas valores positivos para as diferenças $Al_o - Al_p$. Valores referentes às amostras com relação $(Al_{Cu}/Corg) \cdot 100$ iguais ou superiores a 18

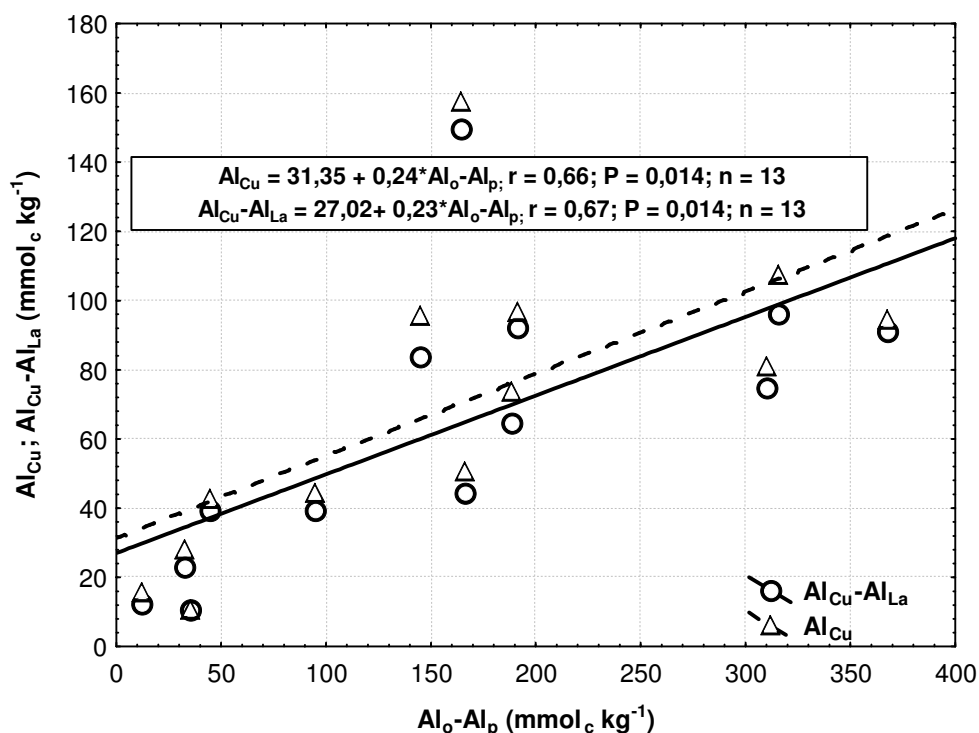


Figura 4.16 – Relação entre Al inorgânico não cristalino ($Al_o - Al_p$) e as variáveis Al extraído por $CuCl_2$ (Al_{Cu}) e a fração extraída especificamente por $CuCl_2$, mas não por La_2Cl_3 ($Al_{Cu} - Al_{La}$). Consideraram-se apenas valores positivos para as diferenças $Al_o - Al_p$. Valores referentes às amostras com relação $(Al_{Cu}/Corg) \cdot 100$ iguais ou superiores a 18

A Figura 4.15 também revela que com o aumento da quantidade de alumínio extraído de formas inorgânicas (Al_o-Al_p) há uma tendência a maior eficácia do pirofosfato em relação ao $CuCl_2$, uma vez que os valores de Al_p e Al_p-Al_{Cu} se tornam cada vez mais distantes à medida que se aumenta o conteúdo das formas inorgânicas; tendência essa não observada na Figura 4.16. Esta mostra que os valores de Al extraído por $CuCl_2$ se mantêm muito próximos aos teores do elemento especificamente extraídos por esse reagente, mas não por $LaCl_3$ ($Al_{Cu}-Al_{La}$), independente da quantidade de Al inorgânico. Essas tendências corroboram tanto (a) a capacidade diferenciada dos extratores em dissolver formas inorgânicas de Al, já que pirofosfato comprovadamente mostrou maior habilidade em relação ao $CuCl_2$, e o La_2Cl_3 não tem efeito sobre tais formas de Al (Figura 4.18), fato já constatado por Urrútia, Macías e García-Rodeja (1995), como (b) a exígua habilidade desse último para formas mais estáveis da interação Al-húmus (Figura 4.16), o que será melhor visualizado e discutido no item subsequente.

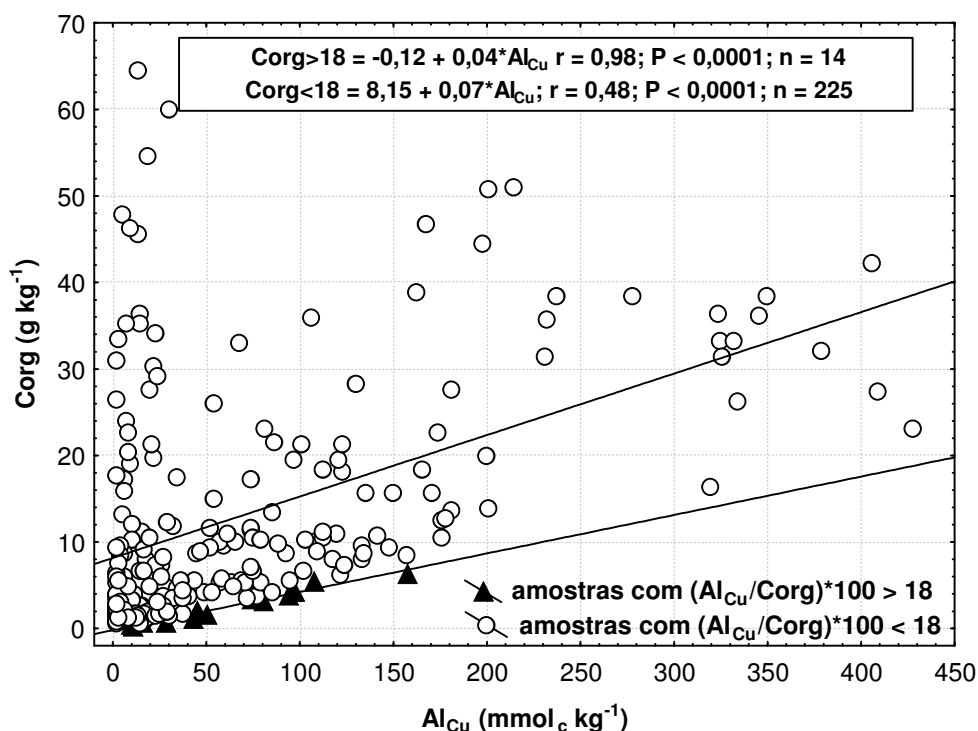


Figura 4.17 – Relação entre carbono orgânico (Corg) e Al extraído por $CuCl_2$ (Al_{Cu}). $Corg_{>18}$ refere-se ao teor de carbono orgânico das amostras que apresentam relação $(Al_{Cu}/Corg) * 100$ igual ou superior a 18; $Corg_{<18}$ às amostras com relação inferior a 18

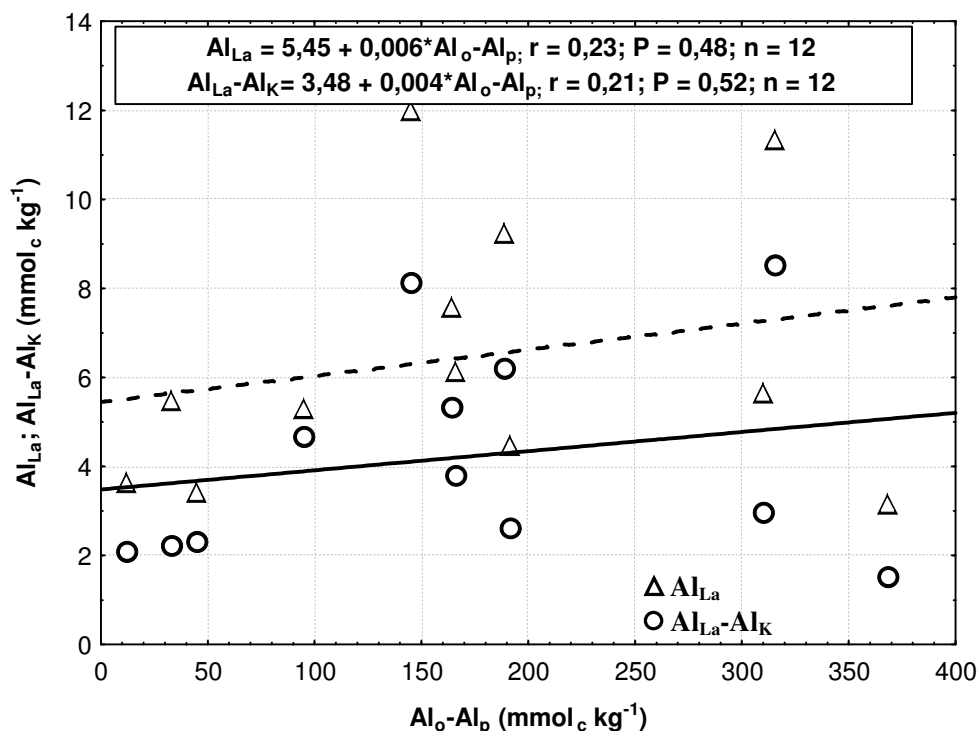


Figura 4.18 – Relação entre as formas inorgânicas de Al não cristalino ($Al_o - Al_p$) e os valores de Al extraído com $LaCl_3$ e aquele especificamente extraído por esse extrator, mas não por KCl ($Al_{La} - Al_K$). Valores referentes às amostras com relação $(Al_{Cu}/Corg) \cdot 100$ iguais ou superiores a 18. Consideraram-se apenas valores positivos para as diferenças $Al_o - Al_p$. Nota-se que não há relação entre as variáveis

4.2.2.3 Al Extraído com $LaCl_3$ (Al_{La})

Muitas soluções têm sido utilizadas para medir o Al extraível do solo. O sal mais comum utilizado é o KCl (OATES; KAMPRATH, 1983). Outros sais não tamponados de cloro também têm sido propostos como métodos alternativos para estimar a fração extraível do elemento, relacionados, sobretudo, a compostos orgânicos (GARCÍA-RODEJA et al., 2004). Dentre eles, os mais efetivos nos estudos do fracionamento do Al associado à matéria orgânica do solo são o $CuCl_2$ (JUO; KAMPRATH, 1979), já discutido anteriormente, e o $LaCl_3$, originalmente sugerido por Bloom, MacBride e Weaber (1979b). Esses diferentes sais de cloro, no entanto, extraem diferentes conteúdos de Al (OATES; KAMPRATH, 1983) relacionados à estabilidade do complexo Al-húmus (GARCÍA-RODEJA, et al., 2004): enquanto o $CuCl_2$ pode ser considerado um extrator válido para o Al complexado à matéria orgânica em complexos de estabilidade baixa a média (complexos de esfera interna), o $LaCl_3$ é mais efetivo para complexos de mínima estabilidade, aqueles de esfera externa (URRÚTIA; MACÍAS; GARCÍA-RODEJA; 1995), ou

seja, para espécies de Al menos hidroxiladas e polimerizadas, as quais podem representar o Al reativo em termos de troca iônica e acidez do solo, tal como argumentado por Hargrove e Thomas (1984).

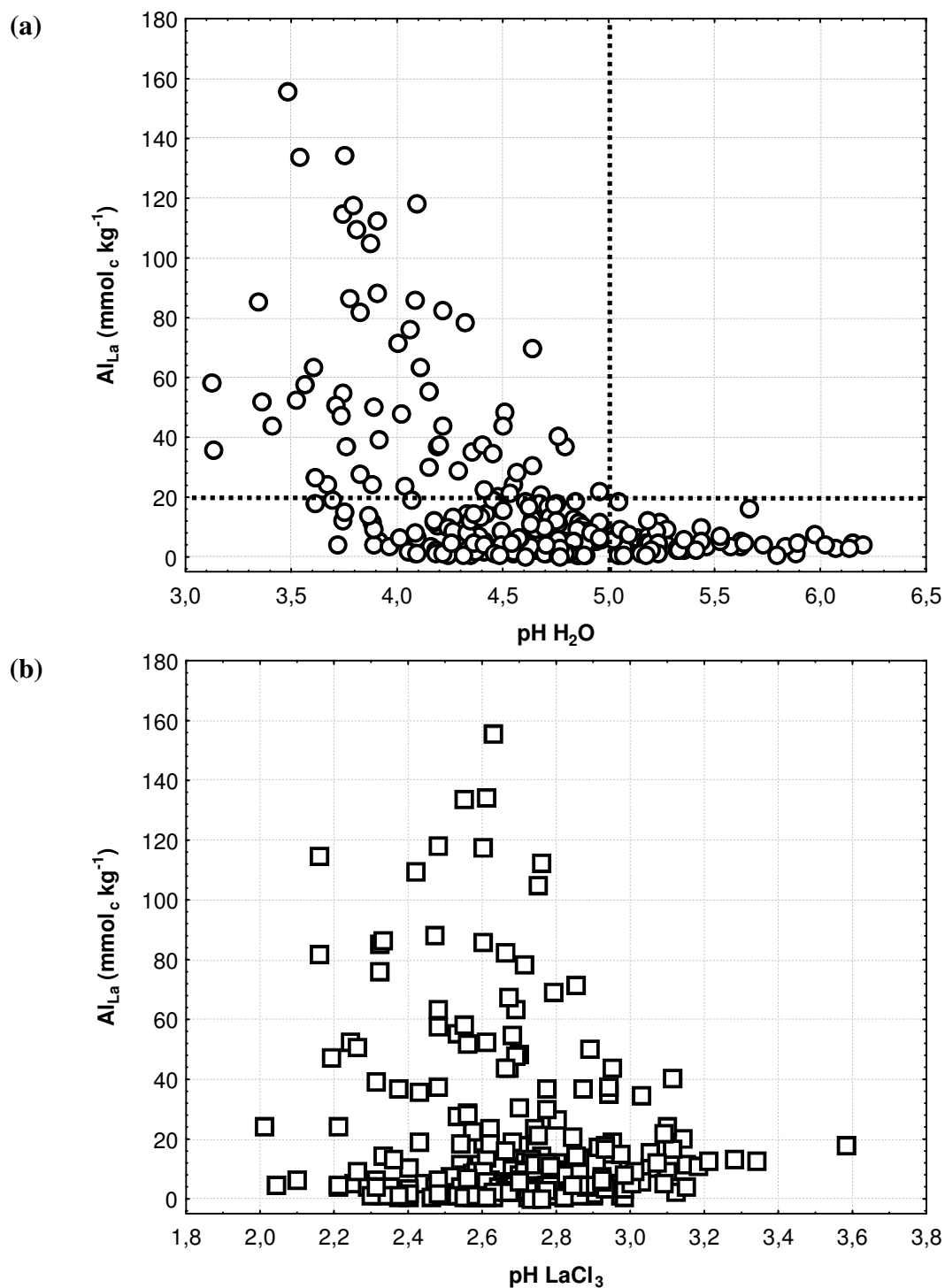


Figura 4.19 – Relação entre o Al extraído por LaCl_3 (Al_{La}) e os valores de pH medidos em água ($\text{pH H}_2\text{O}$) (a) e aquele medido na solução de equilíbrio (pH LaCl_3) (b). Linhas tracejadas mostram que a valor de pH superior a 5,0 os valores de Al_{La} não ultrapassam 20 mmol_c kg⁻¹

A quantidade de Al extraído por LaCl_3 decresceu com o aumento do pH medido em água (Figura 4.19a) e foi menor que $20 \text{ mmol}_c \text{ kg}^{-1}$ para valor de pH superior a 5,0. García-Rodeja et al. (2004), relacionando o pH medido em KCl com Al_{La} encontrou extrações inferiores a $20 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ a valores de pH superiores a 5,0. Para os solos aqui analisados isso se dá a pH (KCl) de 4,4 (dados não mostrados). A curva da Figura 4.19a (pH H_2O x Al_{La}) foi mais bem ajustada ($r = 0,61$; curva polinomial) em relação aquela observada para CuCl_2 (Figura 4.10; $r = -0,31^{***}$; pH H_2O x Al_{Cu}). Esse fato associado à menor dispersão dos dados quando se relaciona a CTC do solo (H+Al medidos a pH 7) ao Al removido por LaCl_3 comparativamente aos demais extratores, como pode ser evidenciado da Tabela 4.4, sugerem que Al_{La} é o que melhor se relaciona aos componentes responsáveis pelo desenvolvimento de cargas nos solos estudados e, portanto, é a fração mais lábil da interação Al-húmus, possivelmente regulando a atividade do elemento dissolvido nos Espodosolos sob vegetação de restinga do litoral paulista, o que está de acordo ao estabelecido por Oates e Kamprath (1983b) e Hargrove e Thomas (1984): enquanto os primeiros encontraram que LaCl_3 não somente removeu o mesmo conteúdo de Al que o KCl da fração argila, mas também aquele organicamente unido e que influencia na atividade do elemento na solução do solo, Hargrove e Thomas (1984) mostraram que LaCl_3 extraiu um conteúdo de Al que parece estar relacionado a acidez titulável (determinada condutimetricamente com $\text{Ca}(\text{OH})_2$) e, portanto, ao requerimento de calcário nos solos ácidos. A boa correlação entre CTC e Corg ($r = 0,86^{***}$ para todas as amostras e $r = 0,98^{***}$ para os horizontes B espódicos), já demonstrada no capítulo 2 deste trabalho para os solos da área, evidencia que essas cargas resultam predominantemente da matéria orgânica.

Os resultados acima relatados, no entanto, discordam daqueles encontrados por García-Rodeja et al. (2004). O autores determinaram que CuCl_2 foi que melhor correlacionou à CTC medida a pH 7 em horizontes ândicos, possivelmente devido ao maior conteúdo e tipo diferenciado de minerais não cristalinos (alofana e imogolita) naqueles solos em relação aos aqui estudados, os quais são solúveis em CuCl_2 , mas não em LaCl_3 , fato já comprovado anteriormente.

A Figura 4.19b mostra a grande dispersão dos dados e, portanto, a fraca correlação entre Al_{La} e o seu pH de equilíbrio ($r = 0,21$; curva polinomial), o que está de acordo ao relatado por Oates e Kamprath (1983a) e Bloom, McBride e Weaver (1979b). Os primeiros autores demonstraram que o Al removido pelo LaCl_3 foi linearmente relacionado ao pH de equilíbrio para solos orgânicos, mas não mudou apreciavelmente e teve um efeito mínimo para solos

minerais quando o pH da solução estava abaixo de 4,2. De fato, todos os horizontes dos solos aqui estudados são minerais e o pH da solução de equilíbrio esteve sempre abaixo de 4,2 (Figura 4.19), com valores mínimo e máximo de 2,01 e 3,58, respectivamente, e média de 2,70. Bloom, McBride e Weaver (1979b) explicaram essa fraca correlação entre as variáveis aqui consideradas. Os autores relataram que a efetividade da solução salina de LaCl_3 para a extração do Al é devido a afinidade do cátion do sal aos sítios de troca do solo e não devido ao seu pH, daí a fraca correlação observada entre o pH de equilíbrio e o Al extraído pelo LaCl_3 da Figura 4.19b.

Tabela 4.4 – Coeficiente de correlação r do momento do produto Pearson e número de amostras n para a relação linear entre CTC do solo e as seguintes variáveis: Al_p , Al_{Cu} , Al_{La} e Al_{K} . Valor de $P < 0,0001$ para todas as correlações. Nota-se o maior coeficiente para a relação entre CTC e Al_{La} tanto quando se analisa todas as amostras como somente os horizontes B espódicos

Variável	Al_p		Al_{Cu}		Al_{La}		Al_{K}	
	r	n	r	n	r	n	r	n
	todos os horizontes							
CTC	0,43	169	0,76	233	0,83	234	0,77	229
	horizontes B espódicos							
	0,40	103	0,77	105	0,86	100	0,69	103

As porcentagens do Al extraído com LaCl_3 em relação ao pirofosfato e CuCl_2 variaram de 1,1 até 125,5% (média de 29,4%) e de 3,4 até 151,5% (média de 46,2%), respectivamente, valores máximos e médios muito superiores aqueles relatados por Urrutia, Macías e García-Rodeja (1995) e García-Rodeja et al. (2004), evidenciando a presença de frações orgânicas de Al mais lábeis nos solos aqui estudados. Esses autores encontraram que LaCl_3 extraiu mais Al de horizontes B espódicos e menos de horizontes A de Andossolos devido à maior estabilidade dos complexos Al-húmus destes últimos.

A máxima eficácia do LaCl_3 para extrair Al associado à matéria orgânica (Al_p e Al_{Cu}) se dá, sobretudo, nos horizontes superficiais do tipo A, havendo uma tendência de sua redução em profundidade, naqueles horizontes de maior estabilidade da interação Al-húmus, tal como constatado anteriormente. Em termos gerais, a relação entre a eficácia do LaCl_3 na extração do Al e o tipo de horizonte dos solos estudados segue a ordem: $A > Bh > Bhm > Bsm/Bs/Bhs$ ou $A > Bh > Bhm/Bsm/Bs/Bhs$. Assim, as menores eficácias são observadas para horizontes Bs, Bhs, em alguns horizontes Bhm de determinados perfis, bem como em horizontes C com baixos

conteúdos de carbono (geralmente menor que 10g kg^{-1}) e bem drenados, os quais mostram a maior estabilidade da interação Al-húmus, tal como demonstrado na relação entre extratores. Esses resultados corroboram os já discutidos anteriormente e, em parte, aqueles relatados por Urrútia, Macías e García-Rodeja (1995). Segundo esses autores as menores eficácias do LaCl_3 se deram em Andossolos e, similar ao que encontramos aqui, em horizontes Bs e C com baixos conteúdos de carbono orgânico, onde o extrator somente extrai Al trocável. No entanto, tais horizontes aqui estudados (Bs e C, se bem drenados) comprovadamente apresentam formas inorgânicas de Al não cristalinos, os quais são solúveis em pirofosfato e CuCl_2 , mas não em LaCl_3 , reduzindo sua eficácia relativa aos extratores.

A Tabela 4.5 mostra dados selecionados de alguns perfis estudados, os quais corroboram as assertivas anteriores. Nela observa-se que a maioria dos horizontes C de perfis bem drenados (Perfis P1 e P5) apresentam valores de pH próximos a 5 e relação Al_p/Al_o inferior a uma unidade, indicativos de condições favoráveis (pH) e presença de minerais de Al não cristalinos (Al_p/Al_o). Nesses horizontes com baixo conteúdo de Corg, a eficácia do LaCl_3 em relação ao pirofosfato é baixa ($< 7\%$), possivelmente devido a uma conjugação de dois fatores: **(1)** habilidade deste último para formas inorgânicas de Al; e **(2)** maior estabilidade da interação Al-húmus de tais horizontes. Em horizontes C mal drenados, como aqueles do perfil P8 da Tabela 4.5, a eficácia do LaCl_3 para formas de Al é semelhante ou mesmo superior à do pirofosfato e CuCl_2 , indicativo da presença de formas lábeis da interação Al-húmus, condicionadas pelo hidromorfismo (GARCÍA-RODEJA et al., 2004). Nesses horizontes, os baixos valores de pH ($< 3,4$; Tabela 4.5) favorecem a interação Al-húmus em detrimento da formação de compostos inorgânicos de Al (SHOJI; FUJIWARA, 1984). Fato semelhante ocorreu em alguns poucos horizontes A (Perfil P10; Tabela 4.5). Embora bem drenados, a constante deposição de matéria orgânica fresca, pouco humificada, os baixos conteúdos de Al total (HARGROVE; THOMAS, 1984) e valores de pH (JARVIS, 1986), favorecem a formação de espécies de Al menos hidroxiladas e polimerizadas, as quais o LaCl_3 é muito efetivo na sua remoção, tal como argumentado por Hargrove e Thomas (1984), sobrepondo-se à capacidade extratora do pirofosfato e CuCl_2 . Esses autores também encontraram que o conteúdo de Al extraído por LaCl_3 foi o mesmo ou maior que aquele determinado por CuCl_2 em amostras onde o conteúdo total do elemento foi relativamente baixo ($4,5\text{ mmol kg}^{-1}$).

Os horizontes Bs e Bhs do perfil P8 permanecem inundados a maior parte do tempo ao longo dos anos e não mostram indícios de materiais inorgânicos não cristalinos, como pode ser concluído dos baixos valores de pH ($< 3,6$) e das relações Al_p/Al_o próximas a uma unidade. Seus valores de Al extraído por $LaCl_3$ em relação aos extratores pirofosfato e $CuCl_2$ são muito superiores aqueles dos perfis bem drenados (P5, P29 e P31), corroborando a manutenção de formas mais lábeis de Al sob condições de hidromorfismo, tal como relatado anteriormente para os horizontes C mal drenados. Nessas condições e horizontes, o provável efeito da redução da eficácia do $LaCl_3$ em relação ao pirofosfato e $CuCl_2$ não é consequência da presença de amorfos inorgânicos, já que estão virtualmente ausentes. As condições de hidromorfismo que desfavorecem a polimerização do Al e humificação da matéria orgânica, tal como relatado anteriormente, são responsáveis por tais resultados.

O conteúdo de Al extraído por $LaCl_3$ limitou entre 0,3 e 156 $mmol_c kg^{-1}$, não muito distante daqueles relatados por García-Rodeja et al. (2004) para solos vulcânicos europeus (0,2 a 190 $mmol_c kg^{-1}$). Há uma tendência de seu aumento com o conteúdo de carbono orgânico. A Tabela 4.6 mostra os coeficientes de correlação da curva de regressão linear entre o teor de carbono orgânico e de Al obtido pelos diferentes extratores aqui utilizados, considerando-se apenas os horizontes B espódicos. A menor dispersão dos dados se dá para $LaCl_3$ ($r=0,84^{***}$), possivelmente devido a ineficácia do extrator para formas inorgânicas de Al e a abundância do elemento em complexos de esfera externa para os horizontes espódicos aqui estudados e, portanto, de menor estabilidade da interação Al-húmus (URRUTIA; MACÍAS; GARCÍA-RODEJA, 1995).

Tabela 4.5 – Valores de Corg, de pH, da relação Al_p/Al_o e de Al extraído com $LaCl_3$, sua eficácia em relação ao pirofosfato ($(Al_{La}/Al_p)*100$) e ao $CuCl_2$ ($(Al_{La}/Al_{Cu})*100$) de perfis selecionados

(continua)

Hor.	Profundidade	Corg	pH	Al_p/Al_o	Al_{La}	$(Al_{La}/Al_p)*100$	$(Al_{La}/Al_{Cu})*100$
	cm	$g\ kg^{-1}$			$mmol_c\ kg^{-1}$	-----%-----	
Perfil P1 – NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico típico, A moderado, excessivamente drenado							
A1	0-8	19,83	4,2	1,49	11,67	33,33	56,24
A2	8-25	17,57	4,0	1,23	23,55	39,26	69,63
AC	25-38	9,69	4,5	0,99	20,33	15,64	34,74
C1	38-84	8,18	4,8	1,07	13,11	3,29	11,23
C2	84-140	3,94	4,9	0,77	11,78	4,98	15,49
C3	140-160	3,63	4,9	0,69	10,67	4,60	14,90
C4	160-175	3,33	4,7	0,56	9,22	3,82	12,49
C5	175-210	2,00	4,8	0,49	5,29	5,77	11,83
Plácico	180	9,39	4,2	0,63	18,33	2,54	12,50
Perfil P5 – ESPODOSSOLO FERRIHUMILÚVICO Órtico dúbico, A moderado, textura arenosa, bem drenado							
A1	0-12	19,08	4,7	..	8,00	79,99	89,98
A2	12-27	11,21	4,3	..	14,55	72,77	99,91
E	27-57	0,63	4,5	..	1,11	..	89,99
Bhg	57-75	10,70	4,0	1,09	48,22	45,92	64,45
Bh1	52-75	31,49	4,0	0,91	71,77	22,55	31,15
Bh2	63-80	33,37	3,9	1,15	105,10	26,95	32,42
Bh3	55-95	26,44	4,2	1,14	37,00	7,09	11,08
Bh4	126-150	32,11	4,4	0,78	35,55	3,92	9,41
Bh5	73-112	27,39	4,2	0,99	44,22	5,45	10,82
Bs1	78-101	12,59	4,7	0,66	17,00	2,69	9,70
Bs2	82-85	5,35	4,8	0,56	11,33	2,80	10,55
Bs3	95-126	10,07	4,6	0,65	12,67	2,25	11,71
Bs4	85-180	16,37	4,4	0,86	37,44	5,24	11,75
Bs5	130-150	3,15	4,8	0,42	5,67	2,58	7,02
Bs6	54-120	23,30	4,5	0,65	34,66	2,96	8,11
Bs7	155-180	13,85	4,7	0,68	13,44	1,67	7,45
C	54-112	1,57	5,1	0,36	6,11	6,55	12,13
Plácico	73	15,74	4,6	0,75	24,44	2,92	16,39
Perfil P8 – ESPODOSSOLO FERRIHUMILÚVICO Hidromórfico espessarênico, A moderado, textura arenosa, mal drenado							
A1	0-13	60,19	3,7	1,55	24,44	50,57	83,89
A2	13-23	12,28	3,9	..	5,11	47,17	50,48
EA1	17-29	5,67	4,3	..	2,76	..	61,99
EA2	29-36	5,04	4,6	..	3,57	..	60,18
Bh1	36-42	17,31	4,2	1,01	55,44	58,36	75,60
Bh2	42-82	21,41	3,6	1,20	63,55	45,94	63,55
Bhs	53-93	10,39	3,4	0,98	43,77	36,99	42,93
Bs	93-114	4,41	3,6	0,98	26,89	43,60	56,13
BCg	114-129	5,35	3,1	0,99	58,22	112,68	102,51
Cg1	129-150	10,07	3,4	0,73	52,33	87,21	91,74
2Cg2	150-170	21,72	3,3	0,68	85,77	125,52	99,82

Tabela 4.5 – Valores de Corg, de pH, da relação Al_p/Al_o e de Al extraído com $LaCl_3$, sua eficácia em relação ao pirofosfato ($(Al_{La}/Al_p)*100$) e ao $CuCl_2$ ($(Al_{La}/Al_{Cu})*100$) de perfis selecionados

Hor.	Profundidade	Corg	pH	Al_p/Al_o	Al_{La}	(conclusão)	
						$(Al_{La}/Al_p)*100$	$(Al_{La}/Al_{Cu})*100$
	cm	g kg ⁻¹			mmol _c kg ⁻¹	-----%-----	
Perfil P10 – ESPODOSSOLO HUMILÚVICO Hidromórfico espessarênico, A moderado, textura arenosa, mal drenado							
A	0-7	67,37	3,9	0,61	24,55	113,31	151,34
AE	7-11	20,46	4,1	..	6,78	..	83,17
EA	11-30	8,81	4,2	..	3,94	..	69,45
E	18-48	1,26	4,9	..	1,00	..	..
EB	35-74	1,57	4,7	..	2,63	..	88,87
BE	60-83	4,09	4,5	0,51	8,67	61,17	81,62
Bh1	83-103	15,11	3,9	3,14	39,22	53,48	73,53
Bh2	90-117	19,52	4,1	1,58	76,44	55,93	79,79
Bhm	117-150	18,57	4,1	1,64	63,44	41,37	56,97
Perfil P28 – ESPODOSSOLO FERRIHUMILÚVICO Órtico espessarênico, A fraco, textura arenosa, bem drenado							
A	0-21	5,71	4,1	..	1,67	..	74,99
E	21-126	0,93	5,0	..	..	..	..
Bhs1	54-73	11,27	4,6	1,10	16,78	4,68	15,00
Bhs2	65-88	10,50	5,0	1,27	22,00	3,35	12,53
Bhs3	60-108	13,89	4,8	1,47	40,44	5,44	20,15
Bhs4	77-177	10,81	5,1	0,87	9,44	1,51	6,69
Bhs5	111-200	6,33	5,1	0,67	7,55	2,22	4,80
Bhs6	134-160	8,49	4,9	0,62	8,11	1,90	5,19
Bhs7	150-200	6,79	5,0	0,68	6,33	1,66	6,27
Perfil P29 – ESPODOSSOLO HUMILÚVICO Órtico dúrico, A fraco, textura arenosa, imperfeitamente drenado							
A	0-14	64,52	...	..	9,33	..	72,69
E	14-60	2,16	4,9	..	..	..	..
Bh	47-70	36,12	3,8	1,22	81,77	56,72	77,20
Bhm1	60-87	50,94	3,7	1,06	114,88	52,22	57,50
Bhm2	87-104	18,52	4,4	1,06	14,67	5,75	8,92
Bs	104-115	9,11	4,6	1,05	11,00	5,00	10,15
Perfil P31 – ESPODOSSOLO FERRIHUMILÚVICO Órtico dúrico, A fraco, textura arenosa, imperfeitamente drenado							
A	0-10	22,85	4,7	..	4,00	..	50,62
E	10-18	2,01	4,9	..	..	..	..
Bh	18-40	28,40	3,8	1,21	86,44	47,93	66,93
Bhm	33-44	33,34	3,8	1,11	117,99	29,74	35,61
Bs1	40-76	5,56	4,5	0,87	4,67	1,71	4,96
Bs2	58-105	7,56	4,5	0,46	21,78	9,82	17,67

Nota – Sinais convencionais utilizados:

.. Não se aplica dado numérico

... Dado numérico não disponível

Dos enunciados acima se pode sugerir que a extração com LaCl_3 pode ser interpretada em termos da estabilidade dos complexos Al-húmus (GARCÍA-RODEJA et al., 2004) de tal forma que os horizontes Bs, Bhs, C (bem drenados), Bhm e Bsm mostram as menores eficácias do extrator para formas orgânicas de Al, enquanto que, em alguns desses horizontes, sobretudo Bs, Bhs e C, se encontrados sob condições freqüentes de hidromorfismo, o extrator tem sua eficácia aumentada devido à presença e manutenção de matéria orgânica menos condensada e formas de Al menos polimerizadas. Horizontes superficiais do tipo A geralmente mostram a matéria orgânica mais lábil de um perfil e, portanto, a maior eficácia relativa do LaCl_3 em relação ao pirofosfato e CuCl_2 (Tabela 4.5). As interações Al-húmus dos horizontes Bh são menos estáveis comparativamente aos demais horizontes espódicos de um perfil quando se analisa a eficácia do LaCl_3 para formas de Al. Esses dados estão de acordo aos encontrados por Urrutia, Macías e García-Rodeja (1995), tal como relatado anteriormente. Segundo os autores a máxima eficácia deste extrator para extrair Al organicamente unido se dá em horizontes A, E, Bh e solos com hidromorfismo onde os complexos de Al-húmus são particularmente lábeis. Em Andossolos e horizontes Bs de Espodossolos, o LaCl_3 extrai menos Al devido à grande estabilidade dos complexos de Al-húmus ali formados (URRUTIA; MACÍAS; GARCÍA-RODEJA, 1995).

Tabela 4.6 – Coeficiente de correlação r e número de amostras n para a relação entre o carbono orgânico (Corg) e as seguintes variáveis: Al_p , Al_{Cu} , Al_{La} e Al_{K} . Amostras referentes aos horizontes espódicos. Valor de $P < 0,0001$ para todas as correlações. Nota-se o maior coeficiente para a relação entre Corg e Al_{La}

Variável	Al_p		Al_{Cu}		Al_{La}		Al_{K}	
	r	n	r	n	r	n	r	n
Corg	0,36	106	0,67	108	0,88	105	0,62	106

4.2.2.4 Al Extraído com KCl (Al_{K}) e sua Comparação ao Al_{Cu} e Al_{La}

A extração com KCl 1M é método padrão para determinação de formas de Al trocável (SHUMAN, 1990; DAHLGREN; WALKER, 1994; TAKAHASHI; DAHLGREN, 1998) e, por isso, tem sido utilizado como um critério para predizer o requerimento de calcário em solos ácidos (OATES; KAMPRATH, 1983ab; HARGROVE; THOMAS, 1984; TAKAHASHI; DAHLGREN, 1998). O conteúdo do elemento extraído com tal extrator, no entanto, nem sempre reflete o Al trocável nos solos dominados por complexos Al-húmus (TAKAHASHI;

DAHLGREN, 1998). Oates e Kamprath (1983b) sugerem que há uma acidez diferente daquela extraída por KCl a qual reage com calcário, possivelmente relacionada ao Al unido à matéria orgânica do solo. Devido à ação do LaCl_3 sobre tais formas (BLOOM; MACBRIDE; WEAVER, 1979b), principalmente no que se refere aos complexos Al-húmus mais lábeis (URRÚTIA; MARCÍAS, GARCÍA-RODEJA, 1995), os quais podem representar o Al reativo em termos de troca iônica e acidez do solo (HARGROVE; THOMAS, 1984), os autores encontraram que tal extrator foi melhor que o KCl e CuCl_2 na predição do requerimento de calcário em solos com diferentes conteúdos de carbono orgânico. Esses resultados estão de acordo ao relatado anteriormente: a melhor correlação entre CTC e as diferentes formas de Al se deu para LaCl_3 (Tabela 4.4), indicando que Al_{La} é o que melhor relaciona aos componentes responsáveis pelo desenvolvimento de carga nos solos estudados, nos quais a CTC é predominantemente governada pela matéria orgânica. Possivelmente, a extração com KCl não inclui todo o Al reativo associado à matéria orgânica, fato já constatado por Hargrove e Thomas (1984) para solos com elevado conteúdo de Corg. Isso é confirmado pela melhor correlação entre Corg e as variáveis Al_{La} (Tabela 4.6; $r = 0,88^{***}$) e $\text{Al}_{\text{La}}-\text{Al}_{\text{K}}$ (Figura 4.20, $r = 0,84^{***}$), comparativamente aos demais extratores (Tabela 4.6).

Similar ao observado com o CuCl_2 (Figura 4.10) e LaCl_3 (Figura 4.19a), existe uma relação inversa entre o pH medido em água e o Al extraído, no caso com KCl 1M, como se pode observar da Figura 4.21a. O melhor ajuste das curvas, no entanto, se dá para esse extrator, quer relacionando o Al_{K} ao pH medido em água ($r = -0,69$; curva logarítmica; Figura 4.21a), quer relacionando-o à solução de equilíbrio ($r = -0,82$; curva logarítmica; Figura 4.21b). Esses resultados podem ser discutidos à luz da capacidade tampão dos reagentes aqui utilizados e afinidade dos cátions aos sítios de troca da matéria orgânica do solo: o CuCl_2 em comparação ao KCl e LaCl_3 , é tamponado. A solução de CuCl_2 é um ácido fraco (pH 3) e, portanto, é um eficiente agente tamponante, controlando e definindo o pH final da mistura solo-solução, tal como afirmam Oates e Kamprath (1983a).

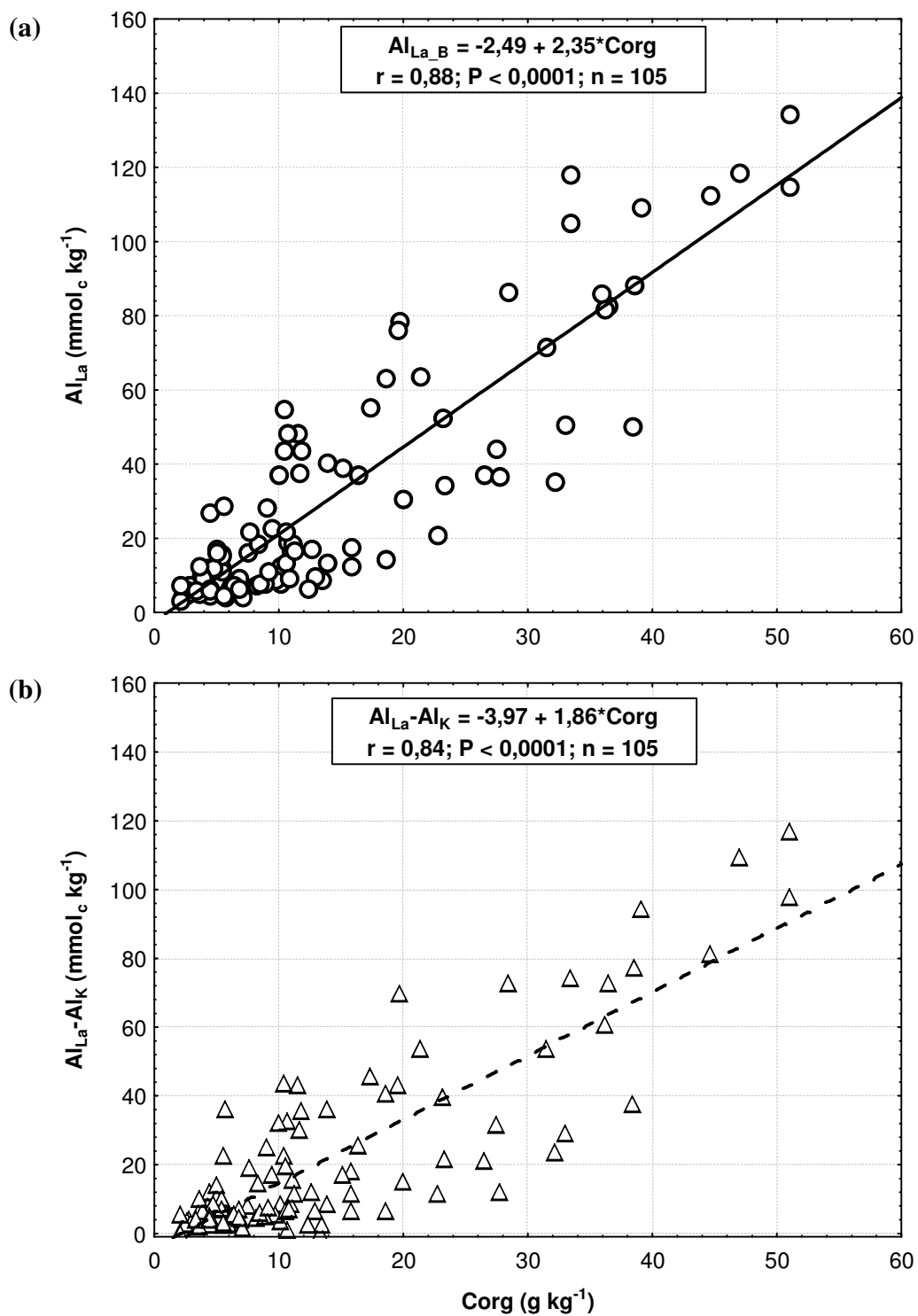


Figura 4.20 – Relação entre carbono orgânico (Corg) e as variáveis Al_{La} (a) e $Al_{La} - Al_K$ (b) para os horizontes B espódicos. Considerou-se apenas os valores positivos da diferença $Al_{La} - Al_K$

Ainda que a relação entre o pH de equilíbrio e o conteúdo de Al extraído com CuCl_2 da Figura 4.10 seja significativa, a dispersão dos dados é muito alta ($r = 0,59^{***}$), indicando que apenas o pH não explica a eficácia deste extrator para formas de Al nos solos estudados, fato já relatado anteriormente. Possivelmente, o poder de substituição do CuCl_2 também pode ser atribuído à forte afinidade dos íons Cu pelos sítios de troca orgânicos, tal como afirmam Hargrove e Thomas (1984). Por outro lado, o LaCl_3 tem seu efeito atribuído, sobretudo, a afinidade do cátion aos sítios de troca do solo (BLOOM; McBRIDE; WEAVER, 1979b), como já observado (Figura 4.19b), mesmo com os baixos valores de pH de equilíbrio (média de 2,70), mais próximos daqueles observados para o extrator CuCl_2 (valores mínimo, máximo e a média de 1,96; 3,66 e 2,68, respectivamente) comparativamente ao KCl (pH mínimo de 2,88; máximo de 6,13 e média de 4,59). Para esse último extrator parece que o pH da mistura de solução salina e solo no final da extração tem um efeito expressivo no conteúdo de Al extraído (Figura 4.21b; $r = -0,82$, curva logarítmica), fato também constatado por Ponette, Andre e Dufey (1996). No entanto, algum efeito do cátion é esperado, sobretudo a valores de pH no extrato de equilíbrio inferiores a 4,5. Pelo exame da Figura 4.21b nota-se que a maior dispersão dos dados e os maiores conteúdos de Al trocável se dão abaixo desse valor de pH, sugerindo que espécies de Al^{3+} podem estar presentes no complexo de troca, as quais são mais facilmente trocadas pelo potássio que espécies hidróxi ($\text{Al}(\text{OH})^{2+}$ e $\text{Al}(\text{OH})_{2+}$); estas predominam a pH superior a 4,5 e tendem a se polimerizar, tornando difícil de serem substituídas por um simples cátion de troca (JARVIS, 1986), sobretudo se monovalente, como o potássio (PONETTE; ANDRE; DUFÉY, 1996). De fato, valores de pH próximos ou acima de 5,0 correspondem ou (1) a horizontes com muito baixo a não detectáveis conteúdos de carbono orgânico ($< 6,00 \text{ g kg}^{-1}$), tais como horizontes E e intermediários (EA e EB), ou (2) a alguns horizontes C, Bhs e Bs bem drenados, predominantemente, também com baixos conteúdos de Corg ($< 14 \text{ g kg}^{-1}$; Figura 4.22c; Tabela 4.2). Enquanto os primeiros mostram os menores valores de Al obtido de todos os extratores para os solos aqui estudados, os B espódicos e C bem drenados supracitados tem seu baixo conteúdo de Al extraído por KCl devido à predominância de complexos Al-húmus menos lábeis, tal como relatado anteriormente. Esse resultado está de acordo à provável presença de polímeros de Al complexados à matéria orgânica, mais estáveis e pouco extraídos por soluções salinas dotadas de cátions monovalentes, já que tais íons interagem com grupos carboxílicos da matéria orgânica somente por meio de forças eletrostáticas (PONETTE; ANDRE; DUFÉY, 1996).

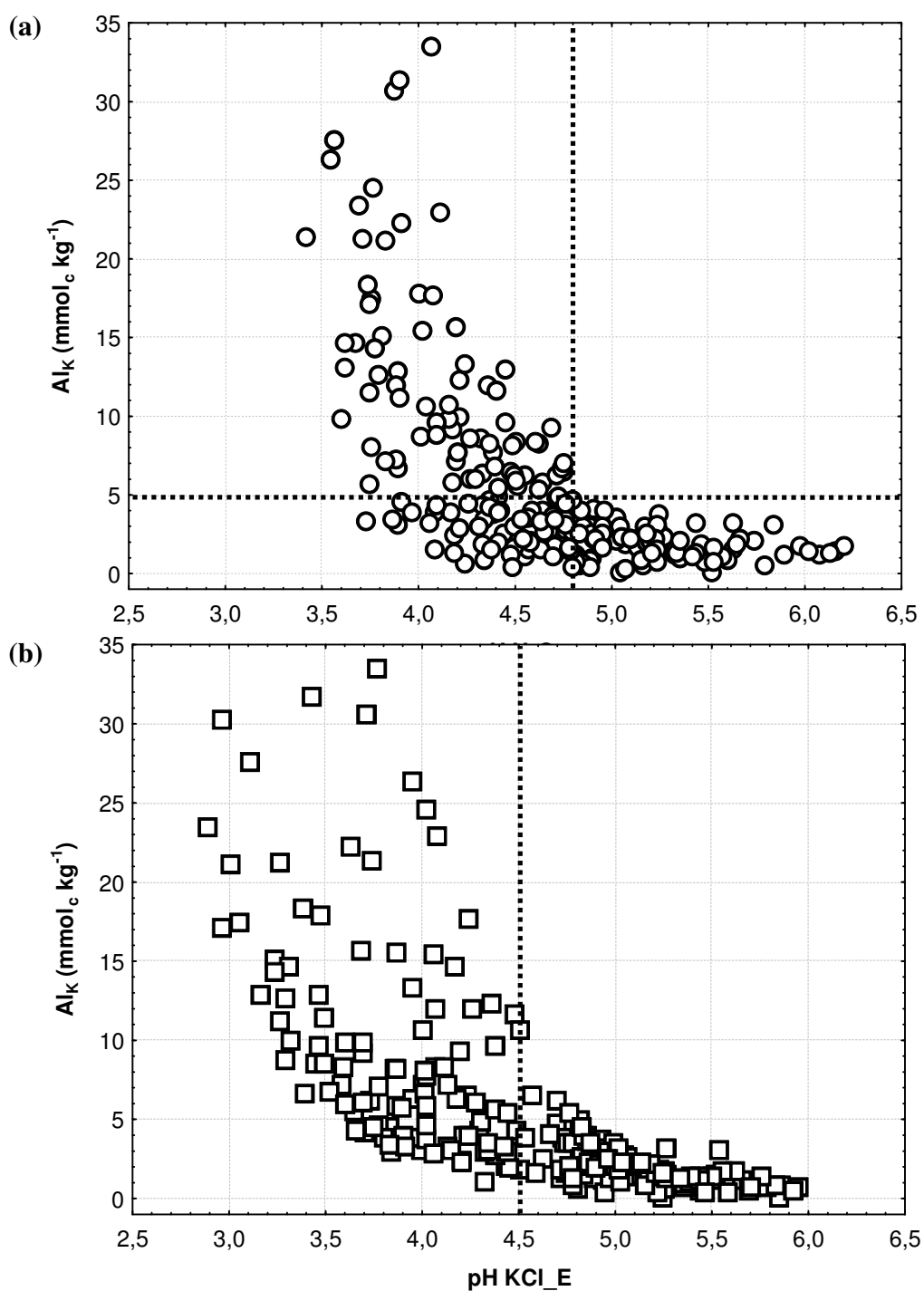


Figura 4.21 – Relação entre Al extraído com KCl 1M e os valores de pH medidos em água (pH_{H_2O}) (a) e em solução de equilíbrio (pH_{KCl_E}) (b). Linhas tracejadas indicam que a pH_{H_2O} acima de 4,8 a quantidade de Al extraído é muito baixa, inferior a $5 \text{ mmol}_c \text{ kg}^{-1}$, e que a dispersão dos dados aumenta consideravelmente a pH_{KCl_E} inferior a 4,5

A Figura 4.22 mostra a relação entre o carbono orgânico e o pH de equilíbrio obtido dos diferentes extratores e amostras. O melhor ajuste da curva se dá quando se analisa as soluções extraídas com KCl ($r = -0,78$; curva logarítmica; Figura 4.22c), sendo muito pior ajustada para os demais extratores ($r = -0,39$ para LaCl_3 , curva exponencial e $r = -0,25$ para CuCl_2 , curva polinomial). Do exame das Figuras 4.22abc pode-se, direta ou indiretamente, sugerir que: **(a)** a maior amplitude dos valores de pH KCl_E em relação aos de pH de equilíbrio dos demais extratores se deve ao seu menor poder tamponante. Assim, o pH da mistura solo-solução extratora, quando se utiliza o KCl, será fortemente influenciado pelo pH do solo. De fato, a relação entre o pH do solo medido em água e o pH de equilíbrio é significativa e a curva é mais bem ajustada quando se compara KCl ($\text{pH H}_2\text{O} \times \text{pH KCl}_E$; $r = 0,74^{***}$) ao LaCl_3 ($\text{pH H}_2\text{O} \times \text{pH LaCl}_3$; $r = 0,37^{***}$) e CuCl_2 ($\text{pH H}_2\text{O} \times \text{pH CuCl}_2$; $r = 0,06$), sendo este último, portanto, o reagente de maior capacidade tampão, tal como comentado anteriormente; **(b)** a matéria orgânica é fonte de acidez trocável para os solos estudados quando se utiliza extratores com baixa capacidade de tamponamento e, por conseguinte; **(c)** extratores considerados não tamponados, como os CuCl_2 e LaCl_3 , cuja efetividade na extração se deve à grande afinidade do cátion aos sítios de troca da matéria orgânica do solo, extraem acidez outras que não apenas as trocáveis por KCl 1M e suas capacidades de tamponamento são diferenciadas e consideravelmente superiores em relação a esse extrator; **(d)** quanto maior tanto a capacidade de tamponamento como a afinidade do cátion do extrator aos sítios de troca do solo, menor a relação entre o pH de equilíbrio e as variáveis Al (dos respectivos extratores) e Corg para os solos estudados, o que está de acordo a maior capacidade de extração, de tamponamento e afinidade do cátion aos sítios de troca do CuCl_2 em relação aos demais extratores não tamponados, também removendo espécies não reativas de Al, presumivelmente mais hidroxiladas e polimerizadas, de maior estabilidade dos complexos Al-húmus formados e que pouco ou não contribuem para a troca iônica ou acidez do solo. Tais espécies e seus sítios de ligação possivelmente são pouco influenciados, bem como pouco contribuem para o pH de equilíbrio. É provável que o poder complexante ou trocador do cátion do reagente se sobreponha ao efeito do pH de equilíbrio na extração das espécies mais estáveis de Al obtidas por CuCl_2 , sobretudo a valores de pH do solo próximos a 5,0. Nesse valor de pH, Schnitzer e Skinner (1965) encontraram que a ordem de retenção do metal aos grupos carboxílicos e fenólicos da matéria orgânica segue a ordem $\text{Fe} > \text{Al} = \text{Cu}$, enquanto a pH de 3,5, o Al tem maior capacidade de retenção em relação ao Cu ($\text{Fe} > \text{Al} > \text{Cu}$).

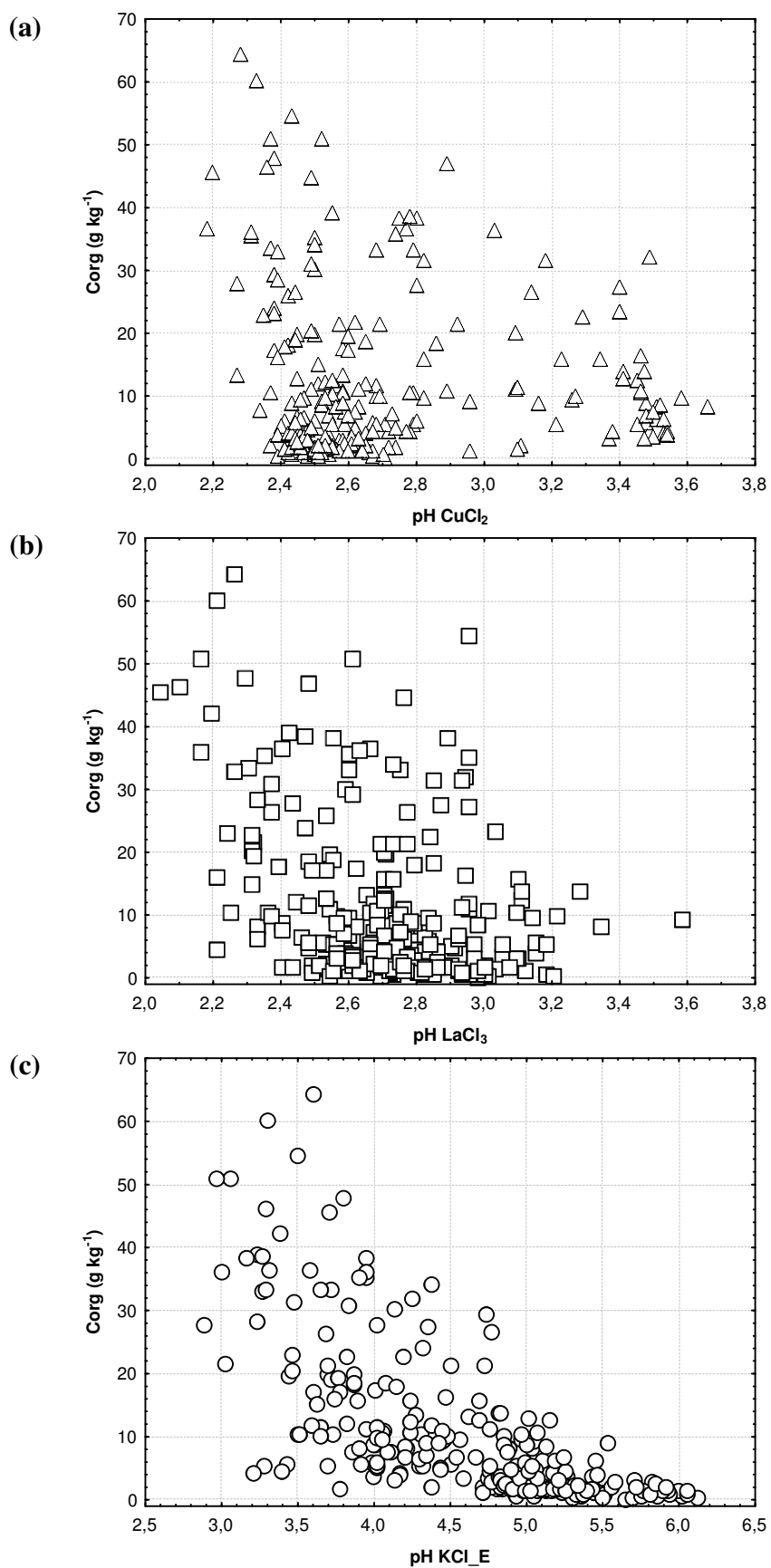


Figura 4.22 – Relação entre o carbono orgânico (Corg) e o pH de equilíbrio obtido com os extratores (a) CuCl_2 (pH CuCl_2), (b) LaCl_3 (pH LaCl_3) e (c) KCl (pH KCl_E) para todas as amostras aqui estudadas

Somente horizontes com pH (H₂O) inferiores a 4,8 e 4,5 tiveram, respectivamente, Al_K maior que 5 e 10 mmol_c kg⁻¹ (Figura 4.21a). Conteúdos de Al_K maiores que 30 mmol_c kg⁻¹ foram obtidos de poucos horizontes Bh muito ácidos (pH H₂O <4,1; Figura 4.21a), o que está de acordo ao caráter lábil do elemento nesses horizontes e seu maior conteúdo médio em relação aqueles superficiais, onde o Al também é lábil.

As Figuras 4.23abc mostram a relação entre o pH medido em água (pH H₂O) e os conteúdos de Al unidos à matéria orgânica a diferentes graus de estabilidade. Nota-se que há um deslocamento para faixas de pH cada vez mais baixas à medida que o Al torna-se mais lábil (Al_{La}-Al_K), evidenciando que tais espécies, provavelmente trocáveis, estão presentes e são as principais formas do elemento extraídas especificamente por LaCl₃ (Al_{La}-Al_K) na faixa de pH compreendida entre 3,4 e 4,4. Em contrapartida, aquelas de maior estabilidade da interação Al-húmus (Al_p-Al_{Cu}) se concentram a valores de pH mais elevados, situados na faixa entre 4,1 a 5,5 (Figura 4.23a), cujos conteúdos extraídos são os maiores aqui encontrados. No entanto, acima de pH 5,5 os valores de Al são baixos, inferiores a 50 mmol_c kg⁻¹, mesmo para as formas mais estáveis do elemento (Al_p-Al_{Cu}), correspondendo, sobretudo, a horizontes subsuperficiais do tipo C de perfis bem drenados, com baixos conteúdos de Corg (< 5 g kg⁻¹) e relação molar Al_p/Al_o inferior a 1, indicativo da presença de amorfos inorgânicos de Al.

Os dados da Figura 4.23 sugerem que o pH influencia na estabilidade da interação Al-húmus dos solos estudados, fato também constatado por García-Rodeja et al. (2004), de tal forma que horizontes extremamente ácidos (pH <4,0) mostram as formas mais lábeis de Al, possivelmente com o elemento unido à superfície da matéria orgânica por meio de forças eletrostáticas. Acima deste valor, espécies de Al em complexos orgânicos se tornam cada vez mais abundantes e predominam em algumas amostras a valores de pH entre 4,5 e 5,0 de tal forma que em condições mais alcalinas que pH 5,0, as formas mais lábeis (Al_{La}-Al_K; Figura 4.23c) e trocáveis do elemento (Al_K; Figura 4.21a) são muito baixas, aquém de 20 e 5 mmol_c kg⁻¹, respectivamente.

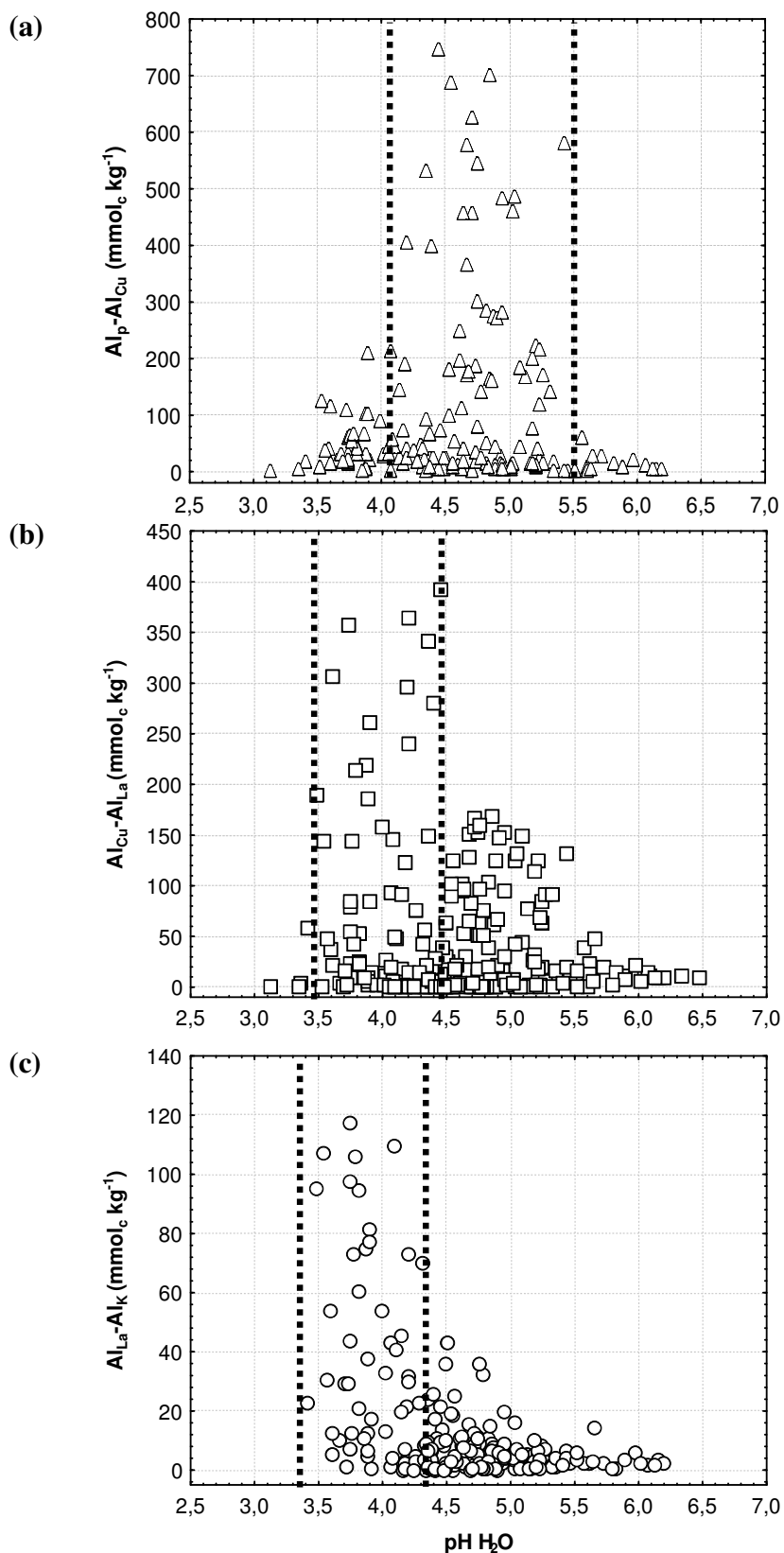


Figura 4.23 – Relação entre o pH medido em água (pH_{H_2O}) e as seguintes variáveis em ordem decrescente da estabilidade Al-húmus: (a) Al_p-Al_{Cu} ; (b) $Al_{Cu}-Al_{La}$, (c) $Al_{La}-Al_K$. Linhas tracejadas representam as faixas de pH que englobam, dentre outros valores, todos aqueles que representam no mínimo 50% do máximo valor de Al de cada diferença entre extractores. Utilizaram-se somente valores com diferenças positivas entre extractores

A grande variação da estabilidade da interação Al-húmus a valores de pH idênticos ou próximos (Figuras 4.23abc) sugerem que outros fatores são (co) responsáveis pela intensidade da interação, incluindo tipo e conteúdo de matéria orgânica do solo.

A Figura 4.24 mostra que há uma relação direta entre os compostos de maior e menor estabilidade da interação Al-húmus. No entanto, há duas tendências bem definidas: até aproximadamente $140 \text{ mmol}_c \text{ kg}^{-1}$ das formas orgânicas mais estáveis de Al ($\text{Al}_p\text{-Al}_{Cu}$), encontram-se os maiores conteúdos das espécies mais lábeis ($\text{Al}_{La}\text{-Al}_K$), a qual tende a aumentar consideravelmente com pequenas variações daquelas menos lábeis e estáveis. Acima daquele valor também há uma tendência de aumento das formas mais lábeis, porém com muito menores incrementos a grandes variações daquelas mais estáveis de Al unidas à matéria orgânica. Resultados semelhantes são observados quando se relaciona as formas trocáveis de Al (Al_K) com as mais estáveis ($\text{Al}_p\text{-Al}_{Cu}$; dados não mostrados). Essas relações entre as formas mais e menos lábeis mostram que o máximo da fração de Al especificamente extraída com LaCl_3 ($\text{Al}_{La}\text{-Al}_K$) e KCl (Al_K) não corresponde ao máximo daquela removida especificamente por pirofosfato ($\text{Al}_p\text{-Al}_{Cu}$) e corrobora os resultados apresentados Hargrove e Thomas (1981; 1984): segundo os autores, quanto maior o conteúdo de Al adsorvido ou complexado, maior o seu grau de hidroxilação.

A porcentagem de Al extraído por KCl em comparação ao Al_p foi de 0,3 a 63,0%, com média de 10,0%. Por outro lado, a fração de Al_{La} extraída por KCl foi bem mais elevada, como poderia se esperar, com valores mínimo e máximo e a média de, respectivamente, 7,5; 300,0 e 53,1%. Em alguns poucos horizontes superficiais A, AE, EA e E o reagente KCl foi mais efetivo na remoção de Al que o LaCl_3 , o que evidencia sua forma mais lábil nesses horizontes em relação aos B espódicos. Esses últimos tiveram os maiores conteúdos de Al_K removidos, com valores mínimos e máximos de 1,69 e $33,50 \text{ mmol}_c \text{ kg}^{-1}$, respectivamente, e média de $8,87 \text{ mmol}_c \text{ kg}^{-1}$, enquanto os horizontes superficiais do tipo A, os mesmos valores são inferiores, respectivamente 0,5; 23,5 e $5,98 \text{ mmol}_c \text{ kg}^{-1}$. Considerando todos os horizontes aqui estudados, os valores mínimos e máximos do Al_K foram de 0,10 e 33,50; com média de $5,81 \text{ mmol}_c \text{ kg}^{-1}$.

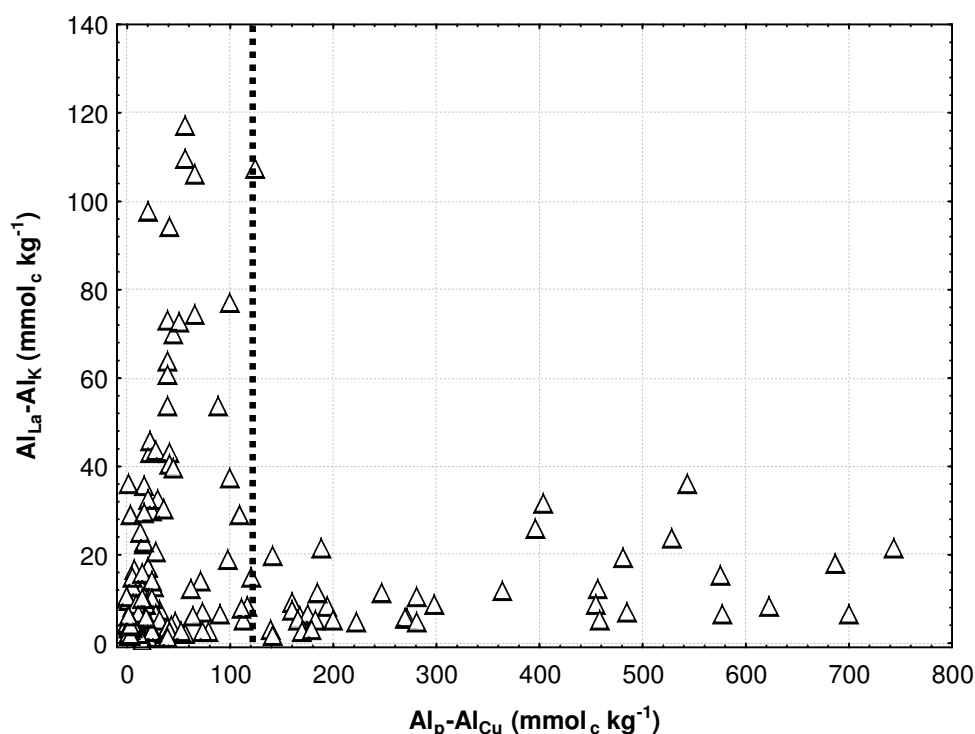


Figura 4.24 – Relação entre os conteúdos de Al com maior (Al_p-Al_{Cu}) e menor estabilidade ($Al_{La}-Al_K$) de sua interação com a matéria orgânica dos solos estudados. Linha tracejada representa o valor ($140 \text{ mmol}_c \text{ kg}^{-1}$) acima do qual há pequenos incrementos da fração especificamente extraída com $LaCl_3$ ($Al_{La}-Al_K$) em relação aquela especificamente extraída por pirofosfato (Al_p-Al_{Cu}). Utilizaram-se somente valores com diferenças positivas entre extratores

4.3 Conclusões

1. A quantidade de Al extraído segue aquela comumente descrita na literatura: $Al_p > Al_{Cu} > Al_{La} > Al_K$;
2. Todas as formas de Al aqui estudadas aumentaram com o conteúdo de carbono orgânico dos solos. No entanto, o Al_{La} mostrou a melhor correlação com essa variável, bem como à CTC do solo, indicando que, dos reagentes analisados, é o que melhor se relaciona aos componentes responsáveis pelo desenvolvimento de cargas nos solos estudados e, portanto, é a fração mais lábil e ativa da interação Al-húmus, a qual pode estar relacionada à capacidade tampão dos solos e à relação $pH-Al^{3+}$, possivelmente regulando a atividade do elemento dissolvido nos Espodosolos sob vegetação de restinga do litoral paulista;

3. CuCl_2 , reconhecidamente mais forte que o LaCl_3 e menos eficaz que o pirofosfato, extrai Al de complexos bastante estáveis, formas não ativas do elemento em termos de acidez do solo e troca iônica, fato já constatado por outros autores;
4. Ao contrário, a extração com KCl não inclui todo o Al reativo associado à matéria orgânica, tendo sua máxima eficácia a valores de pH do solo inferiores a 4,5 devido à maior presença de espécies de Al^{+3} na faixa de pH dos solos estudados;
5. Próximo e acima deste valor de pH predominam as espécies mais estáveis da interação Al-húmus, evidenciando que a acidez do solo controla sua formação e estabilidade, de tal forma que apenas a valores acima de 5,0 foram encontrados espécies de Al inorgânico não cristalino, sobretudo em horizontes Bs, Bhs e C bem drenados e com baixos conteúdos de carbono orgânico;
6. Tais horizontes mostram as formas mais estáveis de Al complexado à matéria orgânica, seguidos dos horizontes Bhm e, depois, Bh. Os horizontes superficiais do tipo A, em geral, mostram as formas mais lábeis do elemento;
7. O valor de 20, referindo-se a porcentagem de saturação de Al na matéria orgânica ($(\text{Al}_p/\text{Corg}) \cdot 100$), parece indicar sua máxima capacidade de saturação metálica para a maioria das amostras estudadas. Esse valor corresponde a 9 quando se utiliza o Al extraído com CuCl_2 para o cálculo da saturação por Al na matéria orgânica;
8. À medida que se aumenta a saturação do Al no húmus dos solos estudados há uma redução da habilidade dos reagentes em dissolver Al;
9. As frações do elemento aqui obtidas por dissoluções seletivas podem ser usadas para comparar horizontes ou solos, servindo como um índice para o estudo tanto da estabilidade dos complexos Al-húmus como do grau de desenvolvimento dos Espodosolos;
10. No entanto, para os solos estudados tanto o pirofosfato de sódio como o CuCl_2 careceram de especificidade. Esses reagentes removem frações outras de Al que aquelas unidas à matéria orgânica dos solos, sendo o pirofosfato que mais reagiu com as formas inorgânicas do elemento. A proporção que isso ocorre é difícil de se quantificar e possivelmente depende da quantidade, tipo e cristalinidade dos minerais de alumínio presentes;
11. A convergência de evidências morfológicas e químicas (pH, saturação por Al no húmus, Al_p/Al_o , Corg, diferença entre extratores não tamponados) aqui utilizada é uma prática recomendada a fim de auxiliar na elucidação dos processos, nos estudos de mineralogia e de interação Al-matéria orgânica dos solos estudados por meio de dissoluções seletivas, e mesmo na

avaliação da especificidade do reagente pirofosfato. Com isso, consegue-se avaliar a extensão da limitação dos métodos e a veracidade dos resultados alcançados.

Referências

AMEDEE, G.; PEECH, M. The significance of KCl-extractable Al (III) as an index to lime requirements of soils of the humid tropics. **Soil Science**, Philadelphia, v. 121, p. 227-233, 1976.

BACHE, B.W. Aluminium mobilization in soils and waters. **Journal of the Geological Society**, London, v. 143, p. 699-706, 1986.

BERGGREN, D.; MULDER, J. The role of organic matter in controlling aluminum solubility in acidic mineral soil horizons. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, Washington, v. 59, p. 4167-4180, 1995.

BASCOMB, C.L. Distribution of pyrophosphate-extractable iron and organic carbon in soils of various groups. **Journal of Soil Science**, Oxford, v. 19, p.251-268, 1968.

BLOOM, P.R.; MAcBRIDE, M.B.; WEAVER, R.M. Aluminum organic matter in acid soils: buffering and solution aluminum activity. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 43, p. 488-493, 1979a.

BLOOM, P.R.; MAcBRIDE, M.B.; WEAVER, R.M. Aluminum organic matter in acid soils: salt-extractable aluminum. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 43, p. 488-493, 1979b.

BUURMAN, P.; JONGMANS, A.G. Podzolisation and soil organic matter dynamics. **Geoderma**, Amsterdam, v. 125, p. 71-83, 2005.

BUURMAN, P.; LAGEN, B.; VELTHORST, E.J. **Manual of soil and water analysis**. Leiden: Backhuys Publishers Leiden, 1996. 314p.

CHILDS, C.W.; PARFITT, R.L.; LEE, R. Movement of aluminium as an inorganic complex in some podzolized soils, New Zealand. **Geoderma**, Amsterdam, v. 29, p.139-155, 1983.

CRONAN, C.S.; WALKER, W.J.; BLOOM, P.R. Predicting aqueous aluminium concentrations in natural waters. **Nature**, London, v. 324, p. 140-143, 1986.

DAHLGREN, R.A.; WALKER, W.J. Aluminum release rates from selected Spodosol Bs horizons: Effect of pH and solid-phase aluminum pools. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, Washington, v. 57, p. 57-66, 1993.

DAHLGREN, R.A.; WALKER, W.J. Solubility control of KCl extractable aluminum in soils with variable charge. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, Philadelphia, v. 25, p. 2201-2214, 1994.

DAHLGREN, R.A.; UGOLINI, F.C. Distribution and characterization of short-range-order minerals in Spodosols from the Washington Cascades. **Geoderma**, Amsterdam, v. 48, p. 391-413, 1991.

DRISCOLL; C.J.; van BREEMEN; N.; MULDER, J. Aluminum chemistry in a forested Spodosol. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 49, p. 437-444, 1985.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROCUPECUÁRIA (EMBRAPA). Centro Nacional de Pesquisa em Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2. ed. Brasília: EMBRAPA, Produção de informação; Rio de Janeiro: EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisa em Solos, 2006. 306p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROCUPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa em Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Rio de Janeiro, 1997. 212p.

FARMER, V.C.; RUSSEL, J.D.; BERROW, M.L. Imogolite and proto-imogolite allophone in spodic horizon: Evidence for a mobile aluminum silicate complex in podzol formation. **Journal of Soil Science**, Oxford, v. 31, p. 673-684, 1980.

GARCÍA-RODEJA, E.; SILVA, B.; GARCÍA, C.; MACÍAS, F. Propiedades de los suelos desarrollados sobre las anfibolitas de Santiago-Ponte Ulla. **Anales de Edafología y Agrobiología**, Madrid, v. 45, p. 1271-1297, 1986.

GARCÍA-RODEJA, E.; NÓVOA, J.C.; PONTEVEDRA, X.; MARTÍNEZ-CORTIZAS, A.; BUURMAN, P. Aluminium fractionation of European volcanic soils by selective dissolution techniques. **Catena**, Amsterdam, v. 56, p. 155-183, 2004.

GILLMAN, G.P.; SUMPTER, E.A. KCl-extractable aluminium in highly weathered soils. Is it exchangeable? **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, Philadelphia, v. 16, p. 561-568, 1985.

GOMES, F.H. **Gênese e classificação de solos sob vegetação de restinga na Ilha do Cardoso-SP**. 2005. 107p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

HARGROVE, W.L.; THOMAS, G.W. Extraction of aluminum-organic matter complexes. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 45, p. 151-153, 1981.

HARGROVE, W.L.; THOMAS, G.W. Extraction of aluminum-organic matter in relation to titratable acidity. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 48, p. 1458-1460, 1984.

HIGASHI, T. Characterisation of Al/Fe-humus complexes in dustrandeps through comparison with synthetic forms. **Geoderma**, Amsterdam, v. 31, p. 277-288, 1983.

HIGASHI, T.; De CONINCK, F.; GELAUDE, F. Characterization of some spodic horizons of the Campine (Belgium) with dithionite-citrate, pyrophosphate and sodium hydroxide-tetraborate. **Geoderma**, Amsterdam, v. 25, p. 131-142, 1981.

HIRADATE, S. Speciation of aluminum in soil environments. **Soil Science and Plant Nutrition**, Tokyo, v. 50, p. 303-314, 2004.

JARVIS, S.C. Forms of aluminium in some acid permanent grassland soils. **Journal of Soil Science**, Oxford, v. 37, p. 211-222, 1986.

JEANROY, E.; GUILLET, B. The occurrence of suspended ferruginous particles in pyrophosphate extracts of some soil horizons. **Geoderma**, Amsterdam, v. 26, p. 95-106, 1981

JUO, A.S.; KAMPRATH, E.J. Cooper chloride as an extractant for estimating the potentially reactive aluminium pool in acid soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 43, p. 35-38, 1979.

KAISER, K.; ZECH, W. Defects in estimation of aluminum in humus complexes of podzolic soils by pyrophosphate extraction. **Soil Science**, Philadelphia, v. 161, p. 452-458, 1996.

KODAMA, H.; ROSS, G.J. Tiron dissolution method used to remove and characterize inorganic components in soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 55, p. 1180-1186, 1991.

LEE, F.Y.; YUAN, T.L.; CARLISLE, V.W. Nature of cementing materials in ortstein horizons of selected Florida Spodosols: II. Soil properties and chemical form(s) of aluminum. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 52, p. 1796-1801, 1988.

LIN, C.L.; COLEMAN, M.T. The measurement of exchangeable aluminum in soils. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v. 24, p. 444-446, 1960.

LOPES, J.M; VITAL-TORRADO, P; COELHO, M.R.; MARTINS, V.M. Influência da idade nas substâncias húmicas de horizontes espódicos na planície costeira do Estado de São Paulo. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 16., 2008. Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: ESALQ, 2008. 1 CD-ROM.

McKEAGUE, JA. An evaluation of 0,1 M pyrophosphate and pyrophosphate-ditionithe in comparison with oxalate as extractants of the accumulation products in podzols and some other soils. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v. 46, p. 12-22, 1967.

McKEAGUE, J.A.; BRYDON, J.E.; MILES, N.M. Differentiation of forms of extractable iron and aluminum in soils. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v. 35, p. 33-38, 1971.

MAcKEAGUE, J.A.; SCHUPPLI, P.A. Changes in concentration of iron and aluminum in pyrophosphate extracts of soil and composition of sediment resulting from ultracentrifugation in relation to spodic horizon criteria. **Soil Science**, Philadelphia, v. 134, p. 265-270, 1982.

MARTINS, S.E.; ROSSI, L.; SAMPAIO, P.S.P.; MAGENTA, M.A.G. Caracterização florística de comunidades vegetais de restinga em Bertiooga, SP, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, Porto Alegre, v. 22, p. 249-274, 2008.

OATES, K.M.; KAMPRATH, E.J. Soil acidity and liming: I. Effect of the extracting solution cation and pH on the removal of aluminum from acid soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 47, p. 686-689, 1983a.

OATES, K.M.; KAMPRATH, E.J. Soil acidity and liming: II. Evaluation of using aluminum extracted by various chloride salts for determining lime requirements. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 47, p. 690-692, 1983b.

OLIVEIRA, J.B.; JACOMINE, P.K.T.; CAMARGO, M.N. **Classes gerais de solos do Brasil: guia auxiliar para seu reconhecimento**. 2.ed. Jaboticabal: FUNEP, 1992. 201p.

PAGE, C.R.; KIMPE, C.R. Dissolution des composés ferrugineux et alumineux des horizons B podzoliques de sols du Québec par de dithionite-citrate, l'oxalate, le pyrophosphate et le tetraborate. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v. 69, p. 451-459, 1989.

PARFITT, R.L.; HENMI, T. Comparison of an oxalate-extraction method and an infrared spectroscopic method for determining allophane in soil clays. **Soil Science and Plant Nutrition**, Tokyo, v. 28, p. 183-190, 1980.

PATERSON, E.; CLARK, L.; BIRNIE, C. Sequential selective dissolution of iron, aluminium, and silicon from soils. **Communication in Soil Science and Plant Analysis**, Philadelphia, v. 24, p. 2015-2023, 1993.

PONETTE, Q.; ANDRE, D.; DUFEY, J.E. Chemical significance of aluminium extracted from three horizons of an acid forest soil, using chloride salt solutions. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v. 47, p. 89-95, 1996.

RAIJ, B. van; ANDRADE, J. C. de; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001. 285p.

SANTOS, R.D.; LEMOS, R.C.; SANTOS, H.G.; KER, J.C.; ANJOS, L.H.C. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 5. ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005. 100p.

SAUER, D.; SPONAGEL, H.; SOMMER, M.; GIANI, L.; JAHN, R.; STAHR, K. Review article – Podzol: Soil of the year 2007 – A review on its genesis, occurrence, and functions. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, Weinheim, v. 170, p. 581-597, 2007.

SCHNITZER, N.; SKINNER, S.I.M. Organic-metallic interactions in soils: 4. Carboxyl and hydroxyl groups in organic matter and metal retention. **Soil Science**, Philadelphia, v. 99, p. 278-285, 1965.

SETZER, J. **Atlas climático e ecológico do Estado de São Paulo**. São Paulo: Centrais Elétricas de São Paulo, 1966. 61p

SHOJI, S.; FUJIWARA, Y. Active aluminum and iron in the humus horizons of Andosols from northeastern Japan: their forms, properties and significance in clay weathering. **Soil Science**, Philadelphia, v. 137, p. 216-226, 1984.

SHOJI, S.; FUJIWARA, Y.; YAMADA, I.; SAIGUSA, M. Chemistry and clay mineralogy of Ando soils, Brown forest soils, and Podzolic soils formed from recent Towada ashes, Northeastern Japan. **Soil Science**, Philadelphia, v. 133, p. 69-86, 1982.

SHUMAN, L.M. Comparison of exchangeable Al, extractable Al, and Al in soil fractions. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v. 70, p. 263-275, 1990.

SKJEMSTAD, J.O. Genesis of podzols on coastal dunes in southern queensland. III. The role of aluminium-organic complexes in profile development. **Australian Journal and Soil Research**, Melbourne, v. 30, p. 645-665, 1992.

SKJEMSTAD, J.O.; WATERS, A.G.; HANNA, J.V.; OADES, J.M. Genesis of Podzols on Coastal Dunes in Southern Queensland. II. Nature of the organic fraction as seen by ¹³C nuclear magnetic resonance spectroscopy. **Australian Journal and Soil Research**, Melbourne, v. 30, p. 615-644, 1992.

SOON, Y.K. Fractionation of extractable aluminum in acid soils: a review and a proposed procedure. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, Philadelphia, v. 24, p. 1683-1708, 1993.

STEVENSON, F.J. **Humus chemistry: genesis, composition and reactions**. New York: Wiley, 1982. 443p.

SUGUIO, K.; MARTIN, L. Quaternary marine formations of the State of São Paulo and southern Rio de Janeiro. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON COASTAL EVOLUTION IN THE QUATERNARY. 1978, São Paulo. **Anais...São Paulo: IGCB/IG-USP; SBG, 1978. 55p.** (Special publication, 1).

SUGUIO, K.; TATUMI, S.H.; KOWATA, E.A. The Comprida Island inactive dune ridges and their possible significance for the island evolution during the Holocene, State of São Paulo, Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciência**, São Paulo, v. 71, p. 623-630, 1999.

TAKAHASHI, T.; DAHLGREN, R.A. Possible control of aluminum solubility by 1M KCl treatment in some soils dominated by aluminum-humus complexes. **Soil Science and Plant Nutrition**, Tokyo, v. 44, p. 43-51, 1998.

TAKAHASHI, T.; FUKUOKA, T.; DAHLGREN, R.A. Aluminum solubility and release from soil horizons dominated by aluminum-humus complexes. **Soil Science and Plant Nutrition**, Tokyo, v. 41, p. 119-131, 1995.

URRUTIA, M.; MACÍAS, F.; GARCÍA-RODEJA, E. Evaluación del CuCl_2 y del LaCl_3 como extractantes de aluminio en suelos ácidos de Galicia. **Nova Acta Científica Compostelana (Biología)**, Santiago de Compostela, v. 5, p. 173-182, 1995.

van BREEMEN, N.; BUURMAN, P. **Soil Formation**. 2nd ed. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2002. 404p.

WADA, S.I. Critical evaluation of 1M KCl-extraction method for determining exchangeable Al ions in variable charge soils. **Soil Science and Plant Nutrition**, Tokyo, v. 33, p. 153-160, 1987.

5 CARACTERIZAÇÃO E GÊNESE DE ESPODOSSOLOS DA PLANCIE COSTEIRA DO ESTADO DE SÃO PAULO: IV. MICROMORFOLOGIA DOS HORIZONTES ESPÓDICOS

Resumo

A micromorfologia de horizontes espódicos selecionados de quatro locais do litoral paulista (Bertioga, Ilha de Cananéia, Ilha do Cardoso e Ilha Comprida) foi investigada. Essa técnica possibilitou caracterizar morfologicamente as diferentes formas da matéria orgânica e, juntamente com dados macromorfológicos, químicos e granulométricos de oito perfis de solos representativos dos ambientes costeiros de restinga do Estado de São Paulo, procurou-se discutir os mecanismos envolvidos na gênese dos horizontes espódicos e Espodossolos desses ambientes. A presença de revestimentos orgânicos monomórficos na superfície dos constituintes grossos da maioria dos horizontes analisados (distribuição relativa $g/f_{2\mu m}$ quitônica), bem como o preenchimento quase completo da porosidade entre grãos (distribuição relativa $g/f_{2\mu m}$ porfírica) de alguns horizontes cimentados e brandos, são evidências de que a clássica teoria da mobilização, transporte e precipitação de complexos organo-metálicos é válida para os solos estudados. Os dados químicos evidenciaram que o alumínio é o principal metal envolvido. No entanto, matéria orgânica polimórfica (pelotas fecais na forma de agregados e acumulações) e/ou resíduos vegetais em diferentes estádios de decomposição, foram as principais pedofeições observadas em horizontes espódicos mal drenados e sotopostos a horizontes hísticos. Nesses, a decomposição pela mesofauna e microbiológica das raízes *in situ* é, portanto, um importante mecanismo de acumulação de matéria orgânica em profundidade e formação dos horizontes espódicos. A atuação das raízes na formação desses horizontes, no entanto, vai além da sua decomposição: a fábrica e as feições da matéria orgânica de um horizonte cimentado, incluindo remanescentes radiculares, parecem indicar que as raízes podem atuar na imobilização da matéria orgânica por meio de seu mecanismo de absorção seletiva. Nesse processo, a solução do solo rica em carbono orgânico complexado é absorvida seletivamente pelas raízes, segregando o carbono complexado em sua superfície e no entorno das mesmas, absorvendo água e nutrientes. A atuação continuada desse processo leva à precipitação da matéria orgânica iluviada e segregada por meio de sua desidratação, a qual é condicionada pela própria absorção radicular. Outros mecanismos de imobilização parecem atuar nos solos estudados: (a) filtração físico-mecânica nos poros do solo devido às mudanças abruptas no tamanho dos mesmos, imposta pela estratificação natural dos sedimentos, com empacotamentos localmente mais densos; (b) aumento do pH com a profundidade, conduzindo à precipitação da matéria orgânica iluviada quando seu ponto isoelétrico é alcançado; e (c) efeito da incorporação adicional de cátions, sobretudo de alumínio, durante a iluviação de complexos organo-metálicos no perfil. Processos envolvidos na formação e diferenciação dos horizontes espódicos estudados (Bs, plácico e ortstein) são também discutidos.

Palavras-chave: Matéria orgânica monomórfica; Matéria orgânica polimórfica; Mecanismos de (i)-mobilização de complexos organo-metálicos; Ortstein; Restinga

Characterization and genesis of Spodosols on the São Paulo State sandy coastal plain: IV. Spodic horizons micromorphology

Abstract

The micromorphology of spodic horizon selected in four sites from the coastal plain of the State of São Paulo (Bertioga, Ilha de Cananéia, Ilha do Cardoso e Ilha Comprida) was investigated. This technique allowed the morphological characterization of different organic matter forms together with macromorphology, chemical and particle size data to investigate the main pedogenetical processes responsible for spodic horizon formation of eight representative soil profiles of the São Paulo coastal plain. The occurrence of organic monomorphic coatings on coarse grains in most of the studied horizons (related distribution $c/f_{2\mu\text{m}}$ chitonic) as well as the total filling of voids between grains (related distribution $c/f_{2\mu\text{m}}$ porphyric) in some cemented and friable horizons are evidences of the classic theory of metal-organic complexes mobilization, transport and precipitation in the studied soils. The chemical data presented Al as the main metal responsible for podzolization process. However, the polymorphic organic matter (fecal pellets as aggregates and accumulations) and/or transformed or non plant remains were the most important pedofeatures observed in poorly-drained spodic horizons and below to histic horizons. In these poorly-drained spodic horizons decay of roots by mesofauna and microorganisms *in situ* are thus an important mechanisms of organic matter accumulation in the deepest B horizons. However, there are other ways in which the roots operate in the genesis of B horizon: the organic matter features of a cemented horizon, included root remains indicated that roots, can operated in the organic matter immobilization through selective absorption mechanisms. Concerning this process, the soil solution with high metal-organic complexes contents is selectively absorbed by the roots. This leads to segregation of metal-organic complexes on the top and around the roots while water and nutrients are being absorbed. The continuity of this process leads to precipitation of illuviated and segregated organic matter by its dehydration, which is favored by the absorption root. Others mechanisms of immobilization appear to occur in the studied soils: (a) mechanical filtering in soil pores due to abrupt changes in its sizes formed by layered sediments; (b) precipitation as pH increases in deeper horizons leading to organic matter precipitation when its isoelectrical points is reached; (c) effect of additional cations, especially Al, incorporated in the organic matter complexes during its translocation. Processes related to formation and differentiation of spodic horizons studied are discussed as well.

Keywords: Monomorphic organic matter; Polymorphic organic matter; Metal-organic complexes i-(mobilization) mechanisms; Ortstein, Restinga vegetation

5.1 Introdução

Muitos solos têm na matéria orgânica seu principal componente e agente de formação, cujos processos pedogenéticos ainda são muito pouco entendidos (BUURMAN; JONGMANS; NIEROP, 2008). Nesses, a matéria orgânica é constituída por uma grande diversidade de resíduos de plantas, de animais e microbiológicos em diferentes estádios de decomposição (BARDY et al., 2008). Os Espodosolos ou Podzóis pertencem a esse grupo de solos; são mais comuns em climas úmidos, desenvolvendo-se sob materiais de origem preferencialmente permeáveis e sob diversos tipos de vegetação que, em geral, produzem uma serapilheira ácida, lentamente degradável e pobre em nutrientes (SAUER et al., 2007).

A fauna e os fungos do solo desempenham um papel chave na quebra da matéria orgânica dos diferentes tipos de solos, os quais, juntamente com a sua iluviação ao longo do perfil, são particularmente importantes na formação dos Espodosolos (PHILLIPS, FIRZPATRICK, 1999). Em tais solos, a matéria orgânica pode ser derivada de duas fontes: iluviação e reciclagem de raízes (BUURMAN; JONGMANS; NIEROP, 2008). A micromorfologia é capaz de distingui-las (DE CONINCK, 1980; DE CONINCK et al., 1974), permitindo a separação de várias fontes, formas e estádios de decomposição das mesmas, as quais auxiliam a interpretação dos dados químicos (BUURMAN et al., 2005) de perfis e horizontes dos solos.

Bardy et al. (2008) argumentam que nos Espodosolos boreais, temperados e, em menor extensão, nos tropicais, as estruturas da matéria orgânica têm sido investigadas sob diferentes escalas de observação. Na escala microscópica os autores ressaltam que o exame de lâminas delgadas proporciona a descrição morfológica da matéria orgânica e sua relação com outros constituintes do solo. Com essas informações, os mecanismos de mobilização e subsequente imobilização de compostos organo-metálicos na formação dos Espodosolos podem ser testados por meio do exame micromorfológico de feições dos horizontes B espódicos, tal como afirma De Coninck (1980) em seu clássico trabalho sobre a gênese de horizontes espódicos.

Tendo-se em vista que as principais teorias correntes sobre os processos de podzolização dizem respeito, sobretudo, ao transporte, (i)-mobilização e precipitação de compostos organo-metálicos na formação dos horizontes espódicos e Espodosolo, bem como a contribuição de raízes por meio de sua decomposição *in situ* (DE CONINCK, 1980; PHILLIPS; FITZPATRICK, 1999; BUURMAN; JONGMANS, 2005), a micromorfologia é uma ferramenta valiosa na

elucidação dos mecanismos de podzolização uma vez que possibilita uma nítida e visual distinção das duas formas de matéria orgânica típicas dos horizontes espódicos, já enunciadas acima: matéria orgânica iluvial e aquela proveniente da decomposição de raízes *in situ*, as quais dificilmente seriam identificadas por outras técnicas. No jargão micromorfológico, tais formas são denominadas de matéria orgânica monomórfica e matéria orgânica polimórfica, respectivamente; termos originalmente introduzidos por De Coninck et al. (1974) e amplamente utilizados nas mais recentes publicações que abordam o tema (como exemplo, PHILLIPS; FITZPATRICK, 1999; BUURMAN; JONGMANS, 2005; BUURMAN et al., 2005; BARDY et al., 2008; BUURMAN; JONGMANS; NIEROP, 2008).

A partir de estudos micromorfológicos detalhados De Coninck (1980) concluiu que tanto o material monomórfico como o polimórfico são formados por soluções coloidais. No entanto, este último tipo adicionalmente contém resíduos de raízes e hifas, bem como uma mistura biológica desses materiais (BULLOCK et al., 1985). O autor argumenta que na natureza os horizontes espódicos variam de friáveis, com muitas raízes se bem drenados, a cimentados com poucas raízes, fato também constatado por Pagé e Guillet (1991). Nos primeiros predominam pelotas polimórficas e agregados, ao passo que organans ou revestimentos (coatings) monomórficos prevalecem nos horizontes cimentados (DE CONINCK, 1980; PAGÉ; GUILLET, 1991). Nos revestimentos são comuns feições consistentes com a presença de compostos organo-metálicos imobilizados no estado gel, como pode ser observado pelo forte fendilhamento poligonal dos revestimentos que circundam os grãos, indicativo da transição desse estado gel para o sólido. Tais revestimentos contêm muito mais Al ou Al mais Fe, e ausente ou muito menos Si em relação aos materiais polimórficos (DE CONINCK, 1980). O tempo de residência médio da matéria orgânica nos revestimentos monomórficos dos horizontes cimentados é consideravelmente superior ao dos horizontes espódicos friáveis (DE CONINCK, 1980; PAGÉ; GUILLET, 1991).

Buurman et al. (2005), estudando Espodossolos boreais, identificaram que os horizontes B espódicos continham variadas contribuições de matéria orgânica transportada (carbono orgânico dissolvido) e formadas localmente (raízes). As primeiras dominavam nos horizontes mais profundos, livres de raízes e inundados, ao passo que as raízes e microrganismos contribuíram significativamente para a química daqueles mais próximos à superfície.

O material orgânico polimórfico, por outro lado, resultado da decomposição de resíduos orgânicos pela mesofauna, tais como raízes (BUURMAN; JONGMANS, 2005), frequentemente contém resíduos de parede celular, usual e significativamente transformados e cobertos com uma espessa película de substâncias orgânicas, conforme salientam Bullock et al. (1985). Onde ocorrem, esses últimos autores recomendam que tais resíduos devam ser identificados e separadamente descritos, embora o reconhecimento dos componentes orgânicos seja frequentemente difícil. Em muitos casos é possível reconhecê-los micromorfológicamente por meio da presença de estruturas celulares, as quais, se não visíveis sob luz transmitida, estruturas de parede celular podem, às vezes, serem vista sob luz polarizada e se mostram birrefringentes (BULLOCK et al., 1985).

Tendo-se em vista que a literatura micromorfológica sobre os Espodossolos tropicais é bastante escassa (BUURMAN; JONGMANS, 2005), que a matéria orgânica pode se apresentar com uma grande variedade de formas sob a óptica micromorfológica (BULLOCK et al., 1985), que os Espodossolos sob vegetação de restinga brasileiros são poucos estudados (GOMES, 2005) e que vários aspectos fundamentais da podzolização ainda continuam pouco ou não entendidos (HEES; LUNDSTRÖM; GIESLER, 2000), o presente trabalho lança mão da análise micromorfológica de um conjunto de perfis de Espodossolos representativos do litoral do Estado de São Paulo, a fim de caracterizá-los, sobretudo as diferentes feições dos horizontes espódicos, e auxiliar na elucidação dos mecanismos envolvidos na sua gênese.

5.2 Desenvolvimento

5.2.1 Material e Métodos

5.2.1.1 Meio Físico

Os solos estudados correspondem aos descritos no capítulo 2 deste trabalho e coletados nos municípios de Bertioga (perfis P3, P6, P9 e P10) e Cananéia (Ilha de Cananéia; perfis P29 e P30), bem como aqueles descritos e coletados por GOMES (2005) na Ilha do Cardoso (perfis C14, H13 e J14), município de Cananéia. A Figura 5.1 mostra a localização dos locais supracitados no estado de São Paulo.

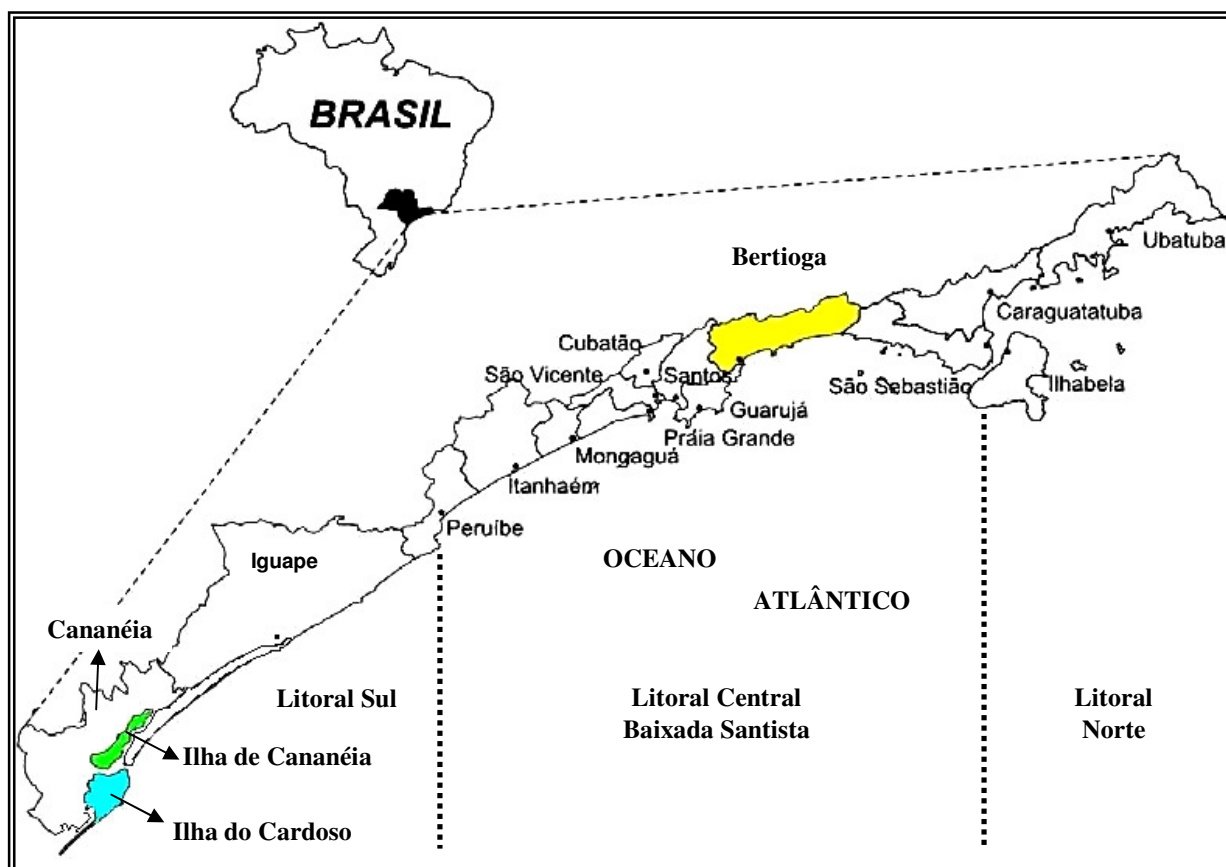


Figura 5.1 – Mapa mostrando a localização dos locais amostrados no litoral do Estado de São Paulo

O clima do litoral do Estado de São Paulo é do tipo Af, caracterizado como tropical úmido ou super-úmido, com chuvas distribuídas durante todo o ano, conforme classificação climática de Köppen (SETZER, 1966). Segundo dados climatológicos da estação meteorológica do DAEE em Bertioga ($24^{\circ} 45,6'S$ e $46^{\circ} 04,2'W$), obtidos entre 1941 e 1970, a temperatura e precipitação médias anuais são, respectivamente, $24,8^{\circ} C$ e 3.200 mm anuais, sendo considerada uma das regiões mais úmidas do Brasil (MARTINS et al., 2008). Dados coletados no biênio de 1990-1991 na Ilha do Cardoso, em altitudes inferiores a 200 metros, revelaram que a média das temperaturas mínimas esteve em torno de $19^{\circ} C$ e a média das máximas ao redor de $27^{\circ} C$. A precipitação média anual registrada nesse local e período se manteve entre 1800 e 2000 mm (MELO; MANTOVANI, 1994).

A geologia dos locais estudados é composta por sedimentos arenosos quaternários de origem marinha (PETRI; FÚLFARO, 1970; SUGUIO; MARTIN, 1978). Neles se desenvolveram

uma vegetação genericamente denominada de vegetação de restinga, característica das zonas costeiras (SUGUIO; TESSLER, 1984), cujos solos predominantes pertencem às classes dos Espodossolos e Neossolos Quartzarênicos (OLIVEIRA; JACOMIME; CAMARGO, 1992), sendo que muitas vezes esses últimos apresentam incipiente processo de podzolização (GOMES, 2005). Organossolos formados em posição de entre-cordões foram descritos e amostrados por Gomes (2005) na Ilha do Cardoso.

5.2.1.2 Análises Micromorfológicas

Para os estudos micromorfológicos, amostras indeformadas da transição entre horizontes e de sua parte central foram obtidas no campo, utilizando-se para tal de caixas de cartolina com dimensões de 12x7x4 cm. As amostras foram impregnadas com resina de poliéster, cortadas e confeccionadas as lâminas delgadas (7,6x5 cm) de acordo com o procedimento descrito por Castro et al. (2003). As lâminas foram analisadas em microscópio petrográfico dotado de luz polarizada e descritas segundo Bullock et al. (1985), sendo as formas de húmus classificadas conforme De Coninck et al. (1974).

5.2.1.3 Análises Laboratoriais

No laboratório, as amostras de solo foram secas ao ar, destorroadas com um martelo de borracha, quando necessário, e passadas em peneira n.º10 (malha de 2 mm), obtendo a fração terra fina seca ao ar, onde foram realizadas as análises químicas e granulométrica. Esta última determinada segundo o método do densímetro (EMBRAPA, 1997). O pH foi determinado em água (potenciômetro), utilizando para tal relação solo:solução 1:2,5 após agitação e repouso de 1 hora. Os conteúdos de carbono orgânico (C) e de alumínio trocável (Al^{3+}), bem como a capacidade de troca de cátions (T) foram obtidos segundo EMBRAPA (1997). Esta última (T) corresponde à soma dos cátions Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e Na^+ , juntamente com $H^+ + Al^{3+}$. Ca^{2+} ; Mg^{2+} e Al^{3+} foram extraídos com solução de KCl 1 M; K^+ e Na^+ com H_2SO_4 0,0125 M + HCl 0,05 M; $H^+ + Al^{3+}$ com acetato de cálcio 0,5 M a pH 7,0. Os teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} foram determinados por espectroscopia de absorção atômica; K^+ e Na^+ por fotometria de chama; Al^{3+} e $H^+ + Al^{3+}$ por titulometria. Outros valores calculados são: soma de bases (SB) que corresponde à soma dos

valores de Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e Na^+ ; saturação por bases (V), calculado pela equação $\text{SB} \times 100 / \text{T}$ e saturação por alumínio (m), obtida pela equação $\text{Al}^{3+} \times 100 / \text{SB} + \text{Al}^{3+}$ (EMBRAPA, 1997).

Os seguintes procedimentos foram utilizados para extração seletiva do alumínio e ferro:

a) Extração dos elementos com oxalato ácido de amônio de acordo com Buurman, Lagen e Velthorst (1996): relação solo:solução de 1:50, agitando por 4 horas no escuro. A suspensão foi centrifugada por 15 minutos a 2.500 rpm, com quatro gotas de “superfloc”, após o que filtrou-se o sobrenadante utilizando-se para isso papel de filtro lavado em ácido (7 a 11 μm de tamanho de poro). Os símbolos Al_o e Fe_o doravante mencionados correspondem aos valores do alumínio (Al_o) e Fe (Fe_o) extraídos por oxalato;

b) Extração dos elementos com pirofosfato de sódio 0,1 M (pH 10; Al_p): relação solo:solução 1:100, agitando por 16 horas (BUURMAN; LAGEN; VELTHORST, 1996). Após adição de quatro gotas de “superfloc” procedeu-se a centrifugação e filtragem de acordo aos procedimentos descritos no item (a). Os símbolos Al_p e Fe_p utilizados nesse trabalho correspondem aos valores de alumínio (Al_p) e ferro (Fe_p) extraídos com o pirofosfato de sódio;

c) Extração do ferro com ditionito-citrato de sódio (DC): relação solo:solução 1:125, agitando por 16 horas, segundo metodologia proposta por Holmgren (1967). Os procedimentos seguintes foram semelhantes aos acima relatados. O símbolo Fe_d aqui utilizado se refere ao conteúdo de ferro (Fe_d) obtido por ditionito-citrato;

Os elementos nos extratos foram determinados por espectroscopia de absorção atômica. Os resultados apresentados para ambos representam a média das análises realizadas em duplicata que diferiram entre si em menos que 10%.

5.2.2 Resultados e Discussão

5.2.2.1 Macromorfologia

A classificação, os horizontes e a descrição dos atributos morfológicos de interesse dos solos aqui analisados são apresentados na Tabela 5.1.

5.2.2.1.1 Bertioiga

Os solos da cronosseqüência de Bertioiga variam de bem a imperfeitamente drenados. Dos perfis aqui estudados o P3 é o mais antigo e melhor drenado dos solos da cronosseqüência (capítulo 2), mostrando grande variabilidade espacial, tanto vertical como lateral, de seus horizontes e atributos morfológicos, sobretudo cor e consistência: horizontes E, espódicos friáveis (Bh e Bs) e cimentados (Bhm; Bsm, plácico) se distribuem irregularmente ao longo do perfil, geralmente com transições abrupta e descontínua, raramente paralelos à superfície do terreno. Os horizontes Bs e Bsm manifestam-se somente a profundidades superiores a 100 cm e os pans cimentados são contínuos, mas desconexos e com padrão de distribuição totalmente aleatório no perfil, atravessando vários subhorizontes, fato já constatado por McKeague, Schnitzer e Heringa (1967), que os designou de horizontes convolados por alterarem seu sentido de horizontal à vertical em poucos centímetros em relação à superfície, tal como encontramos aqui; de tons negro e avermelhado, em geral, estão associados às transições entre os horizontes espódicos, mas também ocorrem nos horizontes Bs, onde mostram espessura variada, não ultrapassando 0,8 cm. A coloração do horizonte Bs2 é atribuída predominantemente à matéria orgânica do solo, com alguma contribuição dos oxidróxidos de ferro (dados não mostrados).

O perfil P3 não acumula água mesmo no período chuvoso. Apesar de sua grande variabilidade espacial, parcialmente atribuída pela ação de raízes (capítulo 2), o enraizamento neste perfil é dominante somente nos horizontes superficiais do tipo A e raras são as raízes nos horizontes espódicos. A continuidade e cimentação dos horizontes plácicos e espódicos possivelmente impedem ou dificultam a penetração radicular.

O perfil P6 é que apresenta maior espessura do horizonte E. Situa-se no topo de um cordão de restinga remanescente e descontínuo na paisagem, único observado na área e mais elevado aproximadamente 5 m em relação às áreas adjacentes. Caracteriza-se pelo início dos horizontes espódicos abaixo de 150 cm de profundidade e transição descontínua entre os mesmos, havendo predominância daqueles cimentados dentro da seção examinada, os quais são muito duros quando secos, o que confere ao perfil baixa permeabilidade à água da chuva abaixo de 150 cm de profundidade. No entanto, devido aos fluxos laterais, raramente permanece inundado por grandes períodos de tempo. As raízes são ausentes nos horizontes espódicos, quer devido à profundidade de ocorrência, quer devido à cimentação dos mesmos.

Dos solos aqui estudados, as menores espessuras dos horizontes E e espódicos cimentados (Bhm) foram observadas no perfil P9 (Tabela 5.1). O lençol freático neste perfil permanece a 150 cm de profundidade no período seco e próximo à superfície no período úmido após chuvas de elevada intensidade e duração. No entanto, drena rapidamente depois de cessada. Assim, juntamente com o perfil P10, ambos apresentam grande oscilação do lençol freático ao longo do ano. Raízes finas foram observadas até a profundidade de descrição do perfil (130 cm), inclusive no horizonte cimentado Bhm, de consistência muito firme (Tabela 5.1), quantitativamente descritas como poucas e localmente comuns. O horizonte E mostra padrão variegado de cores devido à presença de raízes vivas e em decomposição.

O perfil P10, distante 350 m do P9 e mais próximo à praia, desenvolveu-se nos sedimentos mais jovens aqui estudados, tal como evidenciado no capítulo 2 deste trabalho. O horizonte E é também de pequena espessura (30 cm), semelhante ao descrito para o perfil P9, mostrando padrão de cores com mosqueados abundantes e provenientes da decomposição de raízes. Sotoposto a esse horizonte, os B espódicos mudam de consistência juntamente com a profundidade, de tal forma que o mais superficial, Bh1, é de consistência úmida firme, graduando para firme com volumes muito firmes no Bh2, sem padrão de distribuição característico. O horizonte Bhm também apresenta variação de consistência distribuída de maneira aleatória ao longo do mesmo, descrita no campo como muito firme e, localmente, extremamente firme. As raízes observadas em campo foram descritas como poucas e finas nos horizontes Bh1 e Bh2 e ausentes no Bhm. No Bh2 se concentram nos volumes mais brandos, de consistência firme. Os horizontes espódicos são mais escuros em relação aos do perfil P9, com mais baixos valor e cromas, sugerindo conteúdo e/ou tipo diferenciado de matéria orgânica entre os perfis.

5.2.2.1.2 Cananéia

A idade dos sedimentos e o tempo de residência médio da matéria orgânica dos horizontes cimentados dos perfis de Cananéia são superiores aqueles de Bertioiga, tal como verificado no capítulo 2 deste trabalho. O perfil P29 tem como característica mais marcante a presença de estratificações planas e paralelas à superfície do terreno, de espessuras que variam de 0,1 a 1 cm, distribuídas por todos os horizontes espódicos. No entanto, são maiores e mais abundantes no horizonte Bhm2, de consistência úmida mais branda em relação ao horizonte Bhm1 superposto.

Tais estratificações estão ausentes no perfil P30. Este apresenta seus horizontes Bh e Bhm de maior resistência à penetração à faca dentre todos aqui analisados, de consistência úmida firme e localmente muito firme no Bh e extremamente firme por todo o horizonte Bhm. Ambos os perfis acumulam água de chuva sobre os horizontes espódicos. No entanto, encontram-se bem drenados durante a maior parte do ano até a profundidade coletada, possivelmente devido à drenagem lateral acima dos horizontes cimentados e/ou à descontinuidade lateral dos mesmos. Raízes finas e em pequena quantidade foram observadas nos horizontes Bh, as quais estavam ausentes nos horizontes Bhm.

5.2.2.1.3 Ilha do Cardoso

Gomes (2005) definiu dois grupos de Espodossolos e horizontes espódicos na Ilha do Cardoso em função das suas características morfológicas, presença e tipos de horizontes. O primeiro grupo é representado por Espodossolos dotados de horizontes hísticos (perfil H13) e Organossolos cujos horizontes espódicos estão sotopostos ao hístico (perfil J14); ambos fortemente influenciados pela hidromorfia. Tais solos acumularam horizontes orgânicos de espessuras variadas dependendo das condições de microrrelevo local, de tal forma que pequenas depressões, possivelmente relacionadas aos entre-cordões praias, remodelados pela dinâmica geomorfológica regional, favoreceram a manutenção permanente de água nos perfis e, conseqüentemente, a lenta decomposição, forte acumulação orgânica e desenvolvimento de horizontes hísticos, cuja máxima expressão é aqui evidenciada no perfil J14. O processo de acumulação de matéria orgânica é, provavelmente, independente, assíncrono e mais hodierno em relação à gênese dos horizontes espódicos. Além da presença de horizonte hístico, esse grupo de solos morfologicamente se caracteriza ou pela ausência (perfil J14) ou pela menor espessura do horizonte E (perfil H13); este mais escuro em relação ao dos demais solos aqui estudados (menos influenciados pelas condições de hidromorfismo), quer devido à presença freqüente do lençol freático próximo à superfície, quer devido à maior ocorrência de raízes no horizonte, pigmentando-o com tons escurecidos.

O outro grupo de solos, separados devido a serem menos influenciados pelas condições de hidromorfismo, é aqui representado pelo perfil C14. Ao contrário do grupo anterior, este possivelmente está relacionado às cristas praias, cujo relevo foi remodelado pela dinâmica

geomorfológica costeira atual, tal como argumentado anteriormente. Além dos horizontes E mais espessos e mais claros em relação ao dos primeiro grupo, horizontes Bs estão presentes. Gomes (2005) argumenta que, em termos gerais, a ocorrência de horizonte hístico nos solos sob vegetação de restinga da Ilha de Cananéia está relacionada à maior espessura dos horizontes Bhs sotopostos e menor espessura ou ausência de horizontes Bs.

Tabela 5.1 – Dados morfológicos selecionados e classificação dos perfis estudados

(continua)

Hor. ¹	Profundidade (cm)	Cor úmida (Munsell)	Estrutura ²		Grau de transição entre horizontes	Consistência úmida ³	Cimentação
			Tipo	Grau			
BERTIOGA - Perfil P3 – ESPODOSSOLO FERRIHUMILÚVICO Órtico dúrico, A moderado, textura arenosa, bem drenado							
A1	0-6	5YR 3/1	gran./g. simples	fraca	plana/clara	solta	não
A2	6-13	5YR 4/1-5YR 8/1	gran./g. simples	fraca	plana/clara	solta	não
EA	13-25	5YR 6/1	ausente	g.simples	plana e clara	solta	não
E1	25-71	5YR 8/1	ausente	g.simples	plana/clara	solta	não
E2	106-180	5YR 6/1	ausente	g.simples	descontínua/abrupta	solta	não
EB	94-113	5YR 5/1	ausente	g.simples	descontínua/abrupta	solta	não
BE1	71-82	5YR 5/1-5YR 3/1	ausente	maciça	descontínua/clara	solta a muito friável	não
BE2	73-91	5YR 3/1-5YR 4/1	ausente	maciça	descontínua/ondulada	muito friável	não
Bh1	82-119	5YR 3/1	ausente	maciça	descontínua/abrupta	firme	não
Bh2	107-125	5YR 3/2	ausente	maciça	descontínua/abrupta	muito friável	não
Bh3	135-170	5YR 3/2	ausente	maciça	..	friável a firme	não
Bhm1	89-125	5YR 2,5/2	ausente	maciça	ondulada/abrupta	extr. firme	fortemente
Bhm2	120-142	5YR 3/1	ausente	maciça	descontínua/abrupta	extr. firme	fortemente
Bs1	107-125	7,5YR 4/2	ausente	maciça	descontínua/abrupta	firme	não
Bs2	125-180	10YR 5/6	ausente	maciça	..	friável	não
Bsm1	122-144	5YR 4/3	ausente	maciça	descontínua/abrupta	muito firme	fortemente
Bsm2	153-180	5YR 4/3-5YR 4/3	ausente	maciça	plana/abrupta	muito firme	fortemente
Bsm3	132-170	7,5YR 5/4	ausente	maciça	descontínua/abrupta	muito firme	fortemente
Bsm4	157-180	5YR 4/3	ausente	maciça	descontínua/abrupta	firme a muito firme	fracamente
Plácico	..	5YR 3/1	ausente	maciça	..	extr. Firme	extr.

Tabela 5.1 – Dados morfológicos selecionados e classificação dos perfis estudados

Hor. ¹	Profundidade (cm)	Cor úmida (Munsell)	Unidade Estrutural ²		Grau de transição entre horizontes	Consistência úmida ³	Cimentação
			Tipo	Grau			
BERTIOGA - Perfil P6 – ESPODOSSOLO HUMILÚVICO Órtico espessarênico, A moderado, textura arenosa, imperfeitamente drenado							
A	0-15	5YR 6/1	gran./g. simples	fraca	plana/clara	solta	não
AE	15-41	5YR 6/1	gran./g. simples	fraca	plana/clara	solta	não
EA	41-71	5YR 7/1	ausente	g. simples	plana e difusa	solta	não
E	71-153	5YR 8/1	ausente	g. simples	plana/abrupta	solta	não
Bhg	153-156	5YR 5/1-10YR 3/1	ausente	maciça	plana/clara	friável a firme	não
Bh1	156-165	5YR 2,5/1	ausente	maciça	descontínua/abrupta	firme	não
Bhm1	156-205	5YR 2,5/1	ausente	maciça	descontínua/abrupta	muito firme e firme	fracamente
Bhm2	158-205+	5YR 2,5/1	ausente	maciça	descontínua/clara	muito firme	fortemente
Bh2	165-205+	5YR ¾	ausente	maciça	..	friável e muito firme	fortemente
BERTIOGA - Perfil P9 – ESPODOSSOLO HUMILÚVICO Hidromórfico dúrico, A moderado, textura arenosa, muito mal drenado							
O	0-7	5YR 2,5/1	..	..	plana/abrupta	muito friável	não
A	7-12	5YR 3/1	gran.	fraca	plana/abrupta	muito friável	não
AE	12-17	5YR 4/2-5YR 5/1	gran./g. simples	fraca	plana/clara	solta	não
E	17-(27-32)	5YR 6/1-5YR 5/1	ausente	g. simples	ondulada/abrupta	solta	não
BE	(27-32)-(37-40)	5YR 3/1-5YR 5/1	ausente	maciça	ondulada/abrupta	friável a firme	não
Bh1	(37-40)-(46-53)	5YR 3/1	ausente	maciça	ondulada/abrupta	firme	não
Bhm	(46-53)-89	5YR 2,5/2-5YR 3/2	ausente	maciça	ondulada/clara	muito firme	fortemente
Bh2	89-106+	5YR ¾	ausente	maciça	plana/gradual	friável a firme	não
Bh3	106-130+	5YR 4/4	ausente	maciça	..	friável a firme	não
BERTIOGA - Perfil P10 – ESPODOSSOLO HUMILÚVICO Hidromórfico espessarênico, A moderado, textura arenosa, mal drenado							
A	0-7	5YR 2,5/1	gran.	fraca	plana/abrupta	muito friável	não
AE	7-11	5YR 3/1-5YR 6/1	gran./g. simples	fraca	plana/abrupta	muito friável	não
EA	11-(18-30)	5YR 4/2-5YR 6/1	ausente	g. simples	ondulada/clara	solta	não
E	(18-30)-(35-48)	5YR 6/1	ausente	g. simples	ondulada/abrupta	solta	não
EB	(35-48)-74	5YR 5/1-5YR 6/1	ausente	g. simples	plana/clara	solta	não
BE	(60-74)-83	5YR 4/1	ausente	g. simples	plana/abrupta	muito friável	não
Bh1	83-(90-103)	5YR 2,5/1	ausente	maciça	plana/abrupta	firme	não
Bh2	(90-103)-117	5YR 2,5/1	ausente	maciça	plana/clara	firme a muito firme	fracamente
Bhm	117-150+	5YR 2,5/1	ausente	maciça	..	muito firme/extr. firme	fraca/fortemente

Tabela 5.1 – Dados morfológicos selecionados e classificação dos perfis estudados

Hor. ¹	Profundidade (cm)	Cor úmida (Munsell)	Unidade Estrutural ²		Grau de transição entre horizontes	Consistência úmida ³	Cimentação
			Tipo	Grau			
CANANÉIA - Perfil P29 – ESPODOSSOLO HUMILÚVICO Órtico dúrico, A fraco, textura arenosa, imperfeitamente drenado							
A	0-14	7,5YR 3/1	gran.	fraca	plana/abrupta	muito friável	não
E	14-(47-60)	7,5YR 7/1	ausente	g. simples	ondulada/clara	solta	não
Bh	(47-60)-(60-70)	10YR 2/1	ausente	maciça	ondulada/clara	firme	não
Bhm1	(60-70)-87	10YR 2/1	ausente	maciça	plana/abrupta	extr. firme	fortemente
Bhm2	87-104	7,5YR 2,5/2	ausente	maciça	plana/abrupta	muito firme	fortemente
Bs	104-115+	10YR 5/6	ausente	maciça	..	firme	não
CANANÉIA - Perfil P30 – ESPODOSSOLO HUMILÚVICO Órtico dúrico, A fraco, textura arenosa, imperfeitamente drenado							
A	0-10	7,5YR 3/1	gran.	fraca	plana/clara	muito friável	não
E	10-18	7,5YR 7/1-7,5YR 7/2	ausente	g. simples	plana/abrupta	solta	não
Bhg	18-(33-40)	7,5YR 4/1-10YR 2/1	ausente	maciça	ondulada/abrupta	firme	não
Bh	(33-40)-(40-44)	7,5YR 2/1	ausente	maciça	ondulada/clara	firme e muito firme	fracamente
Bhm	(40-44)-(58-76)	5YR 2,5/2	ausente	maciça	..	extr. firme	fortemente
ILHA DO CARDOSO – Perfil C14 – ESPODOSSOLO FERRIHUMILÚVICO Hidromórfico típico, A moderado, textura arenosa, moderadamente drenado							
A	0-15	10YR 3/2	ausente	g. simples	plana/clara	solta	não
AE	15-20	10YR 5/1	ausente	g. simples	plana/gradual	solta	não
E	20-50	10YR 7/1	ausente	g. simples	ondulada/abrupta	solta	não
Bhs1	50-58	10YR 2/1	ausente	g. simples	plana/clara	muito friável	não
Bhs2	58-75	10YR 2/1	ausente	maciça	plana/gradual	firme/muito firme	fracamente
Bhs3	75-100	10YR 3/3	ausente	maciça	plana/gradual	firme/muito firme	fracamente
Bs1	100-120	10YR 4/4	ausente	g. simples	plana/gradual	solta	Não
Bs2	120-160	10YR 4/4	ausente	g. simples	plana/gradual	solta	Não
Bs3	160-180	10YR 5/4	ausente	g. simples	plana/gradual	solta	Não
Bs4	180-210	10YR 4/3	ausente	g. simples	plana/clara	solta	Não
C	210-125	10YR 5/4	ausente	g. simples	..	solta	Não

Tabela 5.1 – Dados morfológicos selecionados e classificação dos perfis estudados

Hor. ¹	Profundidade (cm)	Cor úmida (Munsell)	Unidade Estrutural ²		Grau de transição entre horizontes	Consistência úmida ³	(conclusão)
			Tipo	Grau			Cimentação
ILHA DO CARDOSO – Perfil H13 – ESPODOSSOLO FERRIHUMILÚVICO Hidromórfico hístico, textura arenosa, mal drenado							
Ho	0-10	5YR 3/1	..	maciça	plana e clara	..	Não
HD	10-20	10YR 4/1	ausente	maciça	plana e clara	..	Não
E	20-38	10YR 7/2	ausente	g. simples	ondulada e abrupta	solta	Não
Bhsj1	38-55	10YR 3/2	ausente	maciça	plana e gradual	firme	Fracamente
Bhsj2	55-75	10YR 4/3	ausente	g. simples	plana e gradual	muito friável	Não
Bhsj3	75-130	10YR 4/3	ausente	g. simples	plana e gradual	muito friável	Não
Cgj	130-165	10YR 6/2	ausente	g. simples	..	solta	Não
ILHA DO CARDOSO – Perfil J14 – ORGANOSSOLO TIOMÓRFICO Sáprico espódico, muito mal drenado							
Hd1	0-20	5YR 2,5/1	ausente	maciça	plana e gradual	..	..
Hd2	20-50	5YR 2,5/1	ausente	maciça	plana e gradual	..	..
Hd3	50-60	7,5YR 2,5/2	ausente	maciça	plana e gradual	..	..
Hd4	60-70	5YR 2,5/1	ausente	maciça	plana e clara	..	..
Bhsj1	70-100	5YR 2/1	ausente	g. simples	plana e gradual	firme	Fracamente
Bhsj2	100-130	5YR 2/1	ausente	g. simples	..	muito friável	Não

Nota – Sinais convencionais utilizados:

.. Não se aplica

¹Hor. = Horizonte

²gra. = granular; g. simples = grãos simples

³extr. = extremamente

5.2.2.1.4 Comparação Morfológica e Ambiental dos Solos e Áreas Estudados

Em termos gerais, os solos da Ilha do Cardoso são fortemente influenciados pelas condições atuais de hidromorfismo, o que lhes imprime condições favoráveis ao desenvolvimento de horizontes hísticos e organossolos (perfis H13 e J14), ausentes em Bertioga e Cananéia. Como atributos mais marcantes, os solos desses dois ambientes são melhor drenados em relação aos da Ilha do Cardoso e manifestam horizontes cimentados em todos os perfis aqui estudados, sugerindo maior idade e/ou condições diferenciadas de pedogênese. De fato, a idade dos sedimentos analisados no segundo capítulo deste trabalho e referendo aos solos de Bertioga e Cananéia, é bem superior àquela ao radiocarbono obtida de um tronco enterrado encontrado e analisado por Gomes (2005) na Ilha do Cardoso, sugerindo que o tempo é um dos fatores responsáveis pela gênese dos horizontes cimentados.

O perfil P3 de Bertioga é o mais bem drenado de todos aqui analisados. Esse fato, associado à sua maior idade e condições geomorfológicas locais diferenciadas, propiciaram o desenvolvimento de solos com uma grande variabilidade lateral e vertical de seus horizontes (capítulo 2), com presença de horizontes Bs, Bsm e plácico, os quais se manifestam no P3 e estão ausentes nos demais perfis estudados em Bertioga e Cananéia. Os perfis P9 e P10, mais jovens, mostram seus horizontes contínuos no perfil, predominantemente paralelos à superfície do terreno, evidenciando que foram formados sob condições de acentuado hidromorfismo (BUURMAN et al., 2005).

5.2.2.2 Micromorfologia

A Tabela 5.2 mostra as principais observações micromorfológicas de horizontes selecionados dos perfis estudados. Ênfase será dada às feições relativas à matéria orgânica devido aos processos de podzolização nos ambientes arenosos de restinga carecerem dos denominados “mecanismos de inicialização” na formação de Espodossolos, tal como relatado por Andriess (1968/1969). Tal mecanismo se refere à destruição dos minerais primários intemperizáveis pela matéria orgânica quelante, o qual está ausente ou é pouco significativo na gênese de horizontes espódicos e Espodossolos dos ambientes de restinga. Assim, as transformações mineralógicas são

insignificantes no processo de podzolização nesses ambientes, dominado pela dinâmica da matéria orgânica e, conseqüentemente, não se mostraram presentes nas lâminas estudadas.

A morfologia da matéria orgânica dos solos estudados varia substancialmente de acordo com o tipo de horizonte, sua consistência e as condições hidrológicas a que são submetidos. As mais relevantes feições micromorfológicas de interesse à caracterização e à gênese dos horizontes espódicos são descritas e mostradas a seguir para cada perfil estudado, agrupando-os de acordo com as similaridades (macro e micromorfológicas) ou proximidade geográfica e, conseqüentemente, quanto aos processos de formação envolvidos.

Tabela 5.2 – Principais características micromorfológicas dos horizontes e solos estudados

(continua)

Horizonte	Prof. ¹	Distribuição relativa g/f _{2μm} predominante ²	Tipo de poros predominante	Porosidade	Resíduos de raízes	Matéria orgânica monomórfica	Matéria orgânica polimórfica
BERTIOGA - Perfil P3 – ESPODOSSOLO FERRIHUMILÚVICO Órtico dúbico, A moderado, textura arenosa, bem drenado							
Bh1	82-119	porfírica	..	–	–	++++	–
Bhm1	89-125	porfírica-quitônica-gefúrica	cavidades	+++	–	++++	–
Bhm2	120-142	porfírica-quitônica-enáulica	cavidades	++	–	++++	+
Bs2	125-180	complexa, predominando gefúrica e mônica	cavidades e empacotamento	++++	–	+++	–
BERTIOGA - Perfil P6 – ESPODOSSOLO HUMILÚVICO Órtico espessarênico, A moderado, textura arenosa, imperfeitamente drenado							
Bhm1	156-205	porfírica-quitônica-gefúrica	cavidades	+	–	++++	–
BERTIOGA - Perfil P9 – ESPODOSSOLO HUMILÚVICO Hidromórfico dúbico, A moderado, textura arenosa, muito mal drenado							
Bhm	46-89	quitônica-gefúrica, localmente enáulica e porfírica	cavidades	++	++	++++	–
BERTIOGA - Perfil P10 – ESPODOSSOLO HUMILÚVICO Hidromórfico espessarênico, A moderado, textura arenosa, mal drenado							
Bh1	83-103	quitônica, localmente gefúrica	cavidades	+++	+	++++	–
Bh2	90-117	quitônica, localmente gefúrica	cavidades	++	++	++++	–
Bhm	117-150	quitônica, localmente gefúrica	cavidades	++	–	++++	–
CANANÉIA - Perfil P29 – ESPODOSSOLO HUMILÚVICO Órtico dúbico, A fraco, textura arenosa, imperfeitamente drenado							
Bhm2	87-104	quitônica; localmente porfírica e gefúrica	cavidades	+	–	++++	–
CANANÉIA - Perfil P30 – ESPODOSSOLO HUMILÚVICO Órtico dúbico, A fraco, textura arenosa, imperfeitamente drenado							
Bhm	40-76	quitônica, localmente gefúrica e enáulica	cavidades	++	+	++++	–
ILHA DO CARDOSO – Perfil C14 – ESPODOSSOLO FERRIHUMILÚVICO Hidromórfico típico, A moderado, textura arenosa, moderadamente drenado							
A	0-15	Mônica-gefúrica	empacotamento e cavidades	++++	+++	–	++++
AE	15-20	Mônica-gefúrica	empacotamento e cavidades	++++	++	–	++++
E	20-50	mônica	empacotamento	++++	+	–	–
Bhs1	50-58	porfírica, localmente gefúrica e quitônica	cavidades	+++	++	++++	–
Bhs2	58-75	quitônica, localmente gefúrica	cavidades	++	–	++++	–
Bhs3	75-100	quitônica, localmente gefúrica	cavidades	++	–	++++	–
Bs2	120-160	quitônica-gefúrica	empacotamento e cavidades	++++	+	+++	–

Tabela 5.2 – Principais características micromorfológicas dos horizontes e solos estudados

							(conclusão)
Horizonte	Prof. ¹	Distribuição relativa g/f _{2μm} predominante ²	Tipo de poros predominante	Porosidade	Resíduos de raízes	Matéria orgânica monomórfica	Matéria orgânica polimórfica
ILHA DO CARDOSO – Perfil H13 – ESPODOSSOLO FERRIHUMILÚVICO Hidromórfico hístico, textura arenosa, mal drenado							
E	20-38	quitônica, localmente gefúrica, enáulica e mônica	empacotamento	++++	++	++	+++
Bhsj1	38-55	quitônica-gefúrica, localmente enáulica	cavidades	+++	+++	+	+++
Bhsj2	55-75	quitônica-gefúrica, localmente enáulica, porfírica e mônica	cavidades	+++	++++	+	++++
ILHA DO CARDOSO – Perfil J14 – ORGANOSSOLO TIOMÓRFICO Sáprico espódico, muito mal drenado							
Bhsj1	70-100	quitônica-gefúrica	cavidades	+++	+++	+	+++
Bhjs2	100-130	gefúrica, localmente chitônica e enáulica	cavidades	+++	++++	–	++++

Nota – Sinais convencionais utilizados:

–, ausente; +, muito pouco; ++, pouco; +++, comum; +++++, abundante

¹Prof. = Profundidade

²Distribuição relativa g/f_{2μm} = Distribuição relativa grossos/finos cuja dimensão que os separa é de 2μm (BULLOCK et al., 1985)

5.2.2.2.1 Micromorfologia dos Solos de Bertioga

5.2.2.2.1.1 Micromorfologia dos Perfis P3 e P6

A matéria orgânica dos horizontes espódicos estudados dos perfis P3 e P6 é exclusivamente do tipo amorfa (DE CONINCK et al, 1974) uma vez que foi completamente transformada, não se identificando tanto estruturas celulares como formas originais de remanescentes de plantas, sobretudo de raízes. Muitos campos observados nas lâminas dos horizontes espódicos mostram revestimentos preenchendo quase que completamente o sistema poroso, fato já observado por McKeague e Wang (1980) em horizontes ortstein formados em materiais de origem essencialmente arenosos do Canadá, tais como encontramos aqui. Em decorrência, nesses campos o padrão de distribuição relativa dos constituintes grossos e finos (distribuição relativa $g/f_{2\mu m}$) é do tipo porfírico (BULLOCK et al., 1985). No entanto, diferentes tipos básicos de distribuição relativa $g/f_{2\mu m}$ podem ser observados no plano das lâminas dos horizontes B espódicos, a maioria deles contendo fases intermediárias entre dois ou três tipos (Tabela 5.2), os quais estão associados aos processos de formação e evolução dos horizontes, como veremos a seguir. A Figura 5.2 mostra os principais tipos morfológicos da matéria orgânica dos horizontes espódicos brando e cimentado estudados.

O horizonte Bh1, o mais próximo à superfície, mostra seus constituintes finos de coloração uniforme, bruno escuro à negro, cuja fábrica é praticamente destituída de espaço poroso, o que lhe confere uma distribuição relativa $g/f_{2\mu m}$ porfírica (Figuras 5.2ab). A matéria orgânica deste horizonte é do tipo monomórfica uma vez que apresenta uma massa contínua, relativamente uniforme quanto à cor e densidade (DE CONINCK et al., 1974). Por outro lado, os horizontes cimentados, aqui representados pelo Bhm1 e Bhm2, manifestam outras características micromorfológicas (Tabela 5.2). Sua distribuição relativa $g/f_{2\mu m}$ é composta, havendo o desenvolvimento de porosidade, predominantemente do tipo cavitária policôncava. Os poros, no entanto, encontram-se majoritariamente preenchidos por um constituinte fino e orgânico de tons negro, bruno-avermelhado-escuro e bruno-avermelhado-claro.

As Figuras 5.2cdf referem-se ao horizonte Bhm1. Nelas observa-se que toda porosidade cavitária ainda detém parte do constituinte orgânico fino, os quais, por sua vez, são predominantemente escuros na parte central, de tons negros ou bruno-avermelhado-escuros,

transicionando-se, de maneira difusa, para colorações cada vez mais claras, avermelhadas e vivas nas extremidades. O desenvolvimento de tons mais claros também se dá no sentido da borda para o centro dos constituintes orgânicos finos ou mesmo no sentido contrário, do centro para as bordas, evoluindo, em todos os casos, para a formação de microfissuras, com posterior desprendimento e separação desses constituintes em unidades menores. A matéria orgânica nesse horizonte é do tipo monomórfica (DE CONINCK et al., 1974).

A micromorfologia do horizonte Bhm2 (perfil P3) difere sutilmente dos horizontes espódicos sobrepostos e já descritos (Tabela 5.2). Sua característica mais marcante é a presença de uma estrutura microagregada intergrãos, o que lhe confere uma distribuição relativa enáulica (BULLOCK et al., 1985) a essa porção da lâmina. As Figuras 5.2fg mostram que a fábrica predominante desse horizonte é do tipo composta, porfírica-chitônica, localmente enáulica, e que os constituintes finos, incluindo os microagregados, têm sua coloração graduando difusamente de tons mais escuros no centro para mais claros nas bordas. Algumas porções mais escuras dos constituintes finos, de coloração negra ou bruno-avermelhada-escura, estão separadas por aquelas mais claras, bruno-avermelhada-clara, sendo comum diferentes tons de vermelho nessas porções mais claras, inclusive daqueles mais escuros, formando um mosaico difuso de tons e cores. Os microagregados, em geral, não estão individualizados, mas se mostram unidos um ao outro ou à matriz fina por meio de pontes, as quais são de tonalidades mais claras. Algumas faces desses microagregados, aquelas que não apresentam pontes de conexão entre os finos, são visível e perfeitamente encaixadas ao material fino adjacente (Figura 5.2g). Devido à forma dessa porção da lâmina com predomínio de microagregados intergrãos, sua matéria orgânica é do tipo polimórfica. De Coninck et al. (1974) a assim denominou por apresentarem uma massa descontínua, formada pela justaposição de elementos polimórficos de formas globular e limites abruptos ou difusos, causados pelas diferenças de cores e densidade. No entanto, matéria orgânica monomórfica predomina no plano da lâmina deste horizonte.

Os horizontes Bs são significativamente diferenciados dos demais espódicos acima relatados (Bh e Bhm), quer quimicamente, quer macro e micromorfologicamente. Sob esta última óptica, um padrão de distribuição relativa $g/f_{2\mu m}$ composto, ora do tipo gefúrica-quitônica (Figura 5.2h), ora somente gefúrica ou mônica, sendo essas últimas predominantes no horizonte e cujos materiais finos são de coloração predominantemente bruno-amarelados. Tanto as pontes de finos unindo os grãos de quartzo (distribuição relativa g/f gefúrica) como as exíguas e delgadas

películas envolvendo-os total ou parcialmente (distribuição relativa $g/f_{2\mu m}$ quitônica) são isotrópicas sob luz polarizada, diferindo dos revestimentos de Fe anisotrópicos descritos por Buurman, Jongmans e Nierop (2008) em horizontes Bs de Espodosolos boreais. A presença de delgados pans cimentados (horizonte plácico) altera o padrão de constituintes do solo neste horizonte: uma distribuição relativa porfírica é encontrada nesses domínios cimentados, ora de coloração bruno-avermelhado-escuro e bruno-avermelhado (Figura 5.2i), ora bruno-amarelado (Figura 5.2j), cujas diferenças de cores possivelmente estão relacionadas à maior ou menor presença e tipo de oxidróxidos de ferro e de matéria orgânica e, conseqüentemente, ao grau de cimentação do pan.

Os horizontes cimentados do perfil P6 diferem daqueles do perfil P1 em basicamente dois aspectos, sobretudo quantitativos: **(1)** menor porosidade total, restando maior conteúdo de material fino nos mesmos; **(2)** este último com padrão mais homogêneo de cores, predominantemente negro e bruno-avermelhado-escuro, embora variações dessas para colorações mais claras e vivas nas bordas também são observadas nos constituintes orgânicos finos, bem como o descoramento de sua porção central, ambos seguidos de forte microfissuração e separação desses constituintes finos em unidades menores. As Figuras 5.2klm evidenciam os padrões acima relatados e que o húmus monomórfico foi o único encontrado.

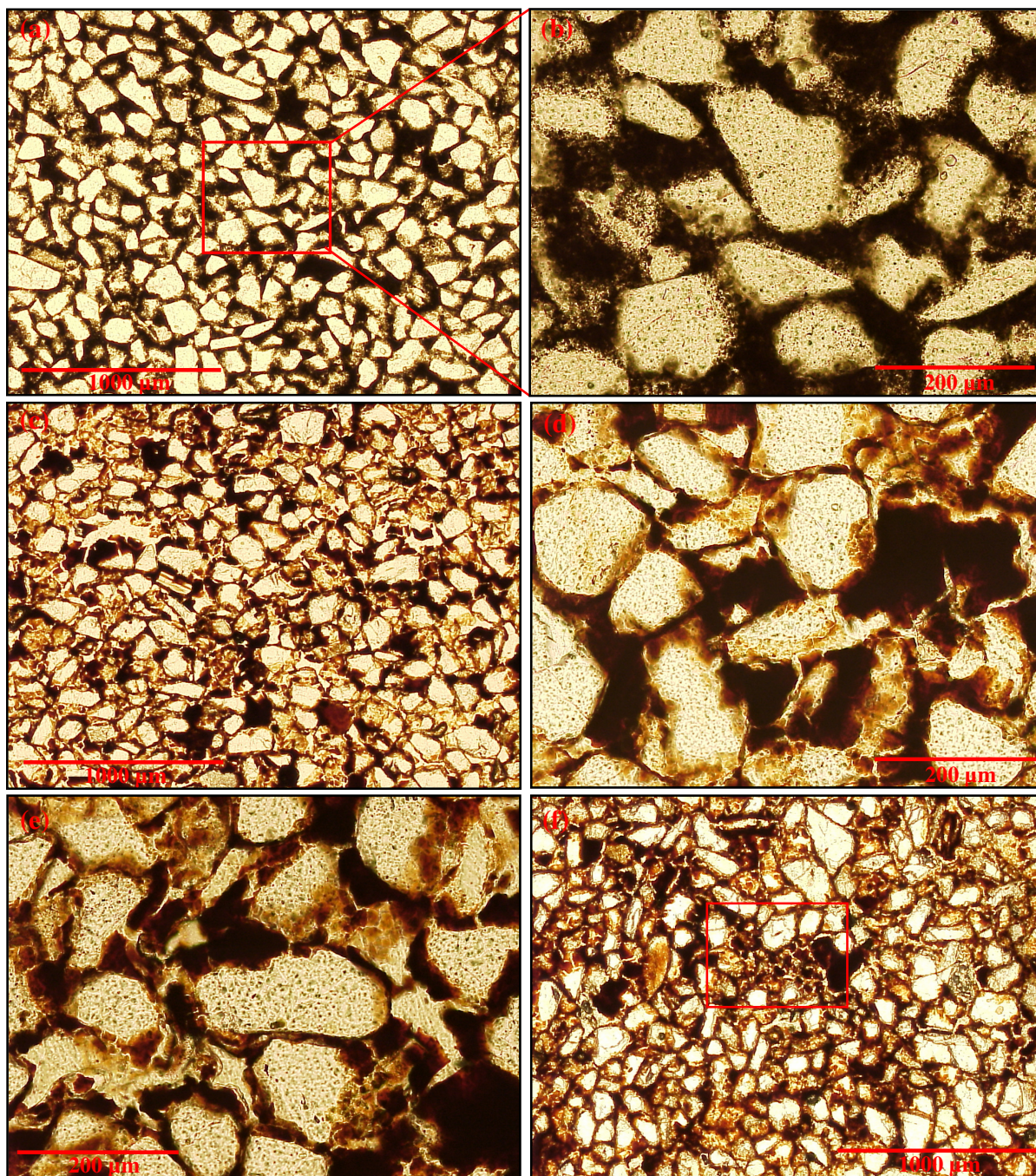


Figura 5.2 – Fotomicrografias mostrando: (a) horizonte Bh1 (perfil P3) com matéria orgânica exclusivamente monomórfica preenchendo totalmente a porosidade (distribuição relativa $g/f_{2\mu m}$ porfírica); (b) detalhe da fotomicrografia anterior; (c) fábrica característica do horizonte Bhm1 (perfil P3); distribuição relativa $g/f_{2\mu m}$ complexa. Notar desenvolvimento de porosidade; (d) Detalhe do horizonte Bhm1 com sua porosidade cavitária policôncava sendo formada pela decomposição do material fino que outrora preenchia totalmente a porosidade. Notar bordas mais claras e fendilhamento das maiores concentrações de finos com sua separação em unidades menores. Feições de incipiente despodzolização do perfil; (e) similar a fotomicrografia anterior, com distribuição relativa $g/f_{2\mu m}$ complexa, quitônica-gefúrica; (f) horizonte Bhm2 (perfil P3). Pequena porosidade e desenvolvimento de microagregados de natureza físico-química

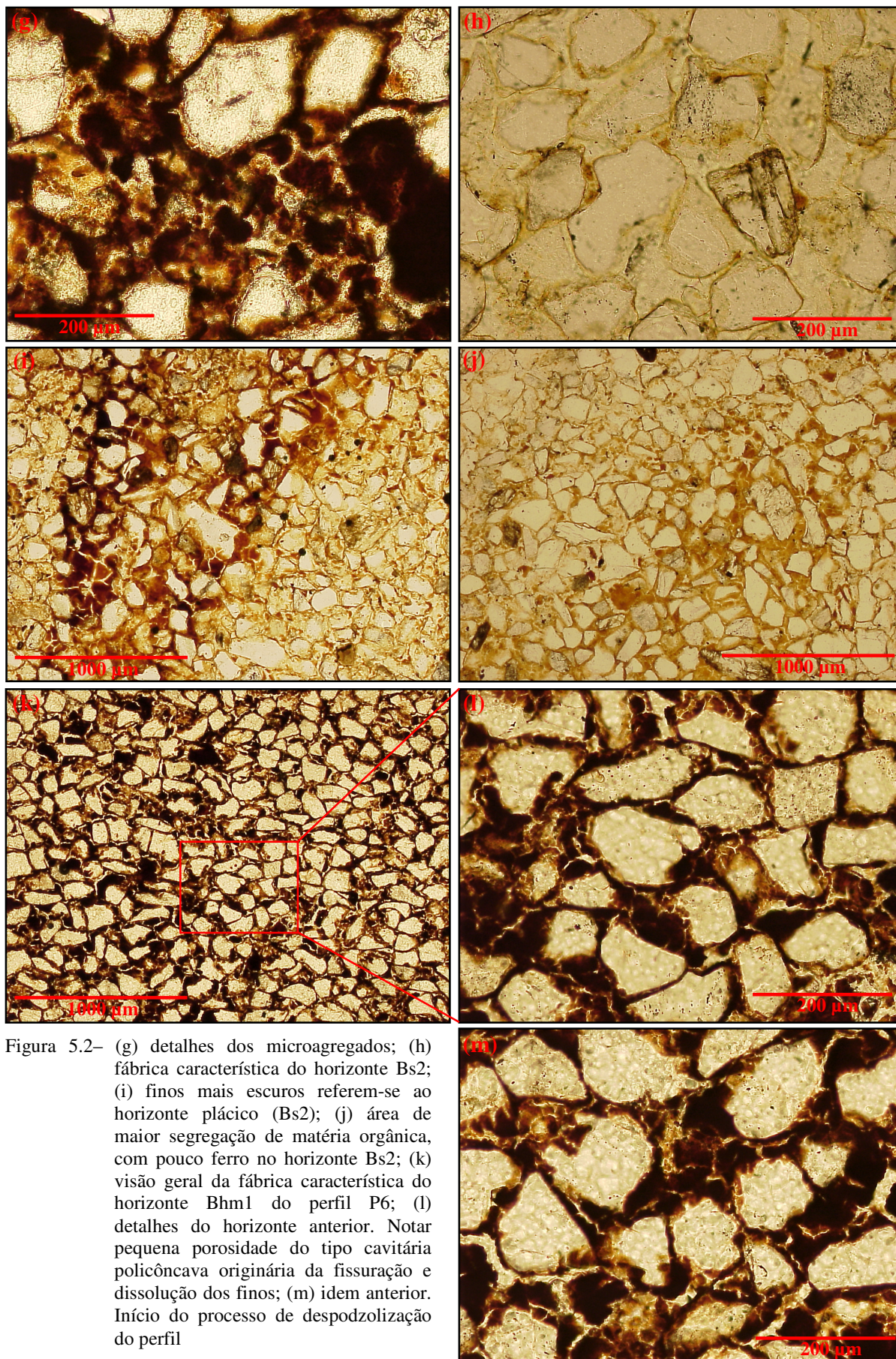


Figura 5.2– (g) detalhes dos microagregados; (h) fábrica característica do horizonte Bs2; (i) finos mais escuros referem-se ao horizonte plácico (Bs2); (j) área de maior segregação de matéria orgânica, com pouco ferro no horizonte Bs2; (k) visão geral da fábrica característica do horizonte Bhm1 do perfil P6; (l) detalhes do horizonte anterior. Notar pequena porosidade do tipo cavitária policôncava originária da fissuração e dissolução dos finos; (m) idem anterior. Início do processo de despodzolização do perfil

5.2.2.2.1.2 Interpretação Micromorfológica dos Horizontes Espódicos dos Perfis P3 e P6

A ausência de remanescentes vegetais, sobretudo de raízes e a presença de húmus predominantemente monomórfico nos horizontes espódicos, indicam a mobilização, iluviação e precipitação da matéria orgânica na sua formação (DE CONINCK et al., 1974; DE CONINCK, 1980; BUURMAN et al., 2005). No entanto, os padrões micromorfológicos acima relatados e relacionados aos horizontes cimentados de ambos os perfis convergem para a conclusão de que tais horizontes se encontram em estágio incipiente de decomposição: o material fino está progressivamente sendo removido do espaço intergranular por meio da dissolução dos constituintes orgânicos, originando uma porosidade cavitária policôncava. A descoloração desses constituintes finos com posterior fissuração e sua separação em unidades menores, tal como observado em todos os horizontes cimentados dos perfis estudados, parecem indicar a ação de processos (físico-químicos?) na alteração da constituição, fragmentação e remoção da matéria orgânica do espaço intergrãos e geração de porosidade, outrora totalmente preenchida por material orgânico fino; este mobilizado dos horizontes superficiais na forma de complexos organometálicos, redistribuído em profundidade e acumulado/precipitado nos horizontes espódicos. A porosidade gerada nos horizontes cimentados, por sua vez, intensifica o fluxo hídrico e a renovação freqüente da água intersticial em contato com um material orgânico de superfície específica cada vez maior, favorecendo sua oxidação/decomposição, até a completa remoção dos constituintes finos orgânicos. Sua presença constante nos poros, de variada coloração e densidade, sugere estágio incipiente de decomposição. Os horizontes cimentados do perfil P3, no entanto, mostram-se mais evoluídos: sua maior porosidade e variação de cor e densidade dos constituintes finos em relação ao perfil P6 convergem para um estágio mais avançado de decomposição.

Buurman et al. (2005) salientam que o abaixamento do lençol freático tem influência profunda na dinâmica da matéria orgânica dos solos formados em condições de hidromorfismo acentuado. É de se supor que os horizontes espódicos cimentados aqui estudados tiveram sua gênese relacionada à elevada atividade de água no sistema, fato já relatado por vários autores (ANDRIESSE, 1968/1969; WANG; BEKE; MACKEAGUE, 1978; DE CONINCK, 1980; MACKEAGUE; WANG, 1980; LEE; YUAN; CARLISLE, 1988a) e que as condições químicas e hidrológicas atuais divergem daquelas de sua formação, levando-o a instabilidade de sua matéria

orgânica. De Coninck (1980) e Le, Yuan e Carlisle (1988) consideram que a desidratação de compostos organo-metálicos polimerizados e hidratados é responsável pela redução da resistência da cimentação em tais horizontes. Daí o fato do perfil P3, mas bem drenado de todos aqui analisados, mostrar sua matéria orgânica em estágio ligeiramente mais avançado de decomposição.

Apesar da ocorrência comum de forte fissuração dos constituintes finos ser considerado um fenômeno natural nos horizontes cimentados de Espodosolos (FITZPATRICK, 1993), frequentemente interpretado como feições de dissecação da matéria orgânica no estado gel e fortemente hidratada (DE CONINCK, 1980; BUURMAN; JONGMANS, 2005), os aqui descritos não apresentaram tal morfologia. A formação de microfissuras nos horizontes cimentados estudados é pouco expressiva e parece suceder a descoloração do material orgânico fino, possivelmente por processos químicos. O dégradé de cores da borda para o centro dos constituintes orgânicos intergrãos ou mesmo o surgimento de cores mais vivas no interior desses constituintes, seguidos da formação de microfissuras, parecem corroborar a atuação de processos químicos, os quais podem ser sucedidos por aqueles físicos relacionados à contração dessa matéria orgânica modificada e com diferente capacidade de (re) hidratação em relação ao seu entorno. Esse mecanismo possivelmente é responsável pela formação da matéria orgânica polimórfica aqui descrita no perfil P3 (Figuras 5.2fg), embora De Coninck et al. (1974), Phillips e Fitzpatrick (1999), Buurman et al. (2005), Buurman e Jongmans (2005), Buurman, Jongmans e Nierop (2008) afirmem que tal tipo é resultado da decomposição de raízes e outros resíduos vegetais, mas sem sua solubilização ou translocação na fase líquida (DE CONINCK, 1980). A interpretação aqui auferida para a origem da matéria orgânica polimórfica, sendo resultado, portanto, da fragmentação da monomórfica, vai ao encontro dos estudos desenvolvidos por Val Legaz e Herrero (1981) nos Espodosolos do noroeste da Espanha. A perfeita acomodação dos microagregados com a matriz fina circundante, bem como o dégradé de cores a eles relacionados, juntamente com a ausência de remanescentes de raízes ou de plantas nas proximidades e em todos os horizontes espódicos dos perfis P3 e P6 estudados, convergem para a interpretação de que a matéria orgânica polimórfica aqui descrita está relacionada aos mecanismos já enunciados acima: decomposição com posterior fragmentação da matéria orgânica monomórfica por processos físicos-químicos e geração de porosidade cavitária nos espaços intergrãos, outrora totalmente preenchido pela matéria orgânica iluvial.

A morfologia diferenciada da matéria orgânica do horizonte espódico brando em relação ao cimentado, também observado em outros perfis de Cananéia (dados não mostrados), sugere tipos e condições diferenciadas de formação da matéria orgânica. Possivelmente, os horizontes espódicos brancos sotopostos aos cimentados foram originados em função das condições hidrológicas impostas pelos horizontes cimentados, fato já relatado por Andriessse (1968/1969) e Buurman et al. (2005), as quais ainda estão em conformidade à hidrologia atual do perfil, favorecendo a preservação desses horizontes e, conseqüentemente, da matéria orgânica no espaço intergrãos. Esta se mostra monomórfica, formando uma massa contínua, de coloração e densidade uniformes (DE CONINCK et al., 1974), preenchendo totalmente o espaço intergrãos. A transição entre os horizontes brando e cimentado estudados é abrupta (Tabela 5.1). Isso presumivelmente indica que carbono orgânico dissolvido foi transportado verticalmente e depositados no topo do horizonte consolidado, dando origem ao horizonte Bh brando que se desenvolveu de baixo para cima no perfil, fato já relatado por Andriessse (1968/1969). A presença de transições descontínuas e a grande variabilidade lateral e vertical dos horizontes do perfil P3, mais antigo de Bertioiga (capítulo 2), sugere que o tempo possibilitou a remodelagem e conseqüente atuação do relevo e, provavelmente, da vegetação (raízes), os quais, por sua vez, definiram as condições hidrológicas responsáveis pelo desenvolvimento do perfil, tal como encontramos hoje na paisagem.

Os horizontes Bs do perfil P3 é química (Tabela 5.3), macro (Tabela 5.1) e micromorfológicamente (Figuras 5.2hij) diferenciado dos demais espódicos aqui estudados, tal como relatado anteriormente. Macromorfológicamente é caracterizado pela coloração amarelada (Tabela 5.1) e presença de delgados e exíguos horizontes plácicos que convolam em poucos centímetros e em relação à superfície. Sob a óptica micromorfológica, os domínios representativos gefúricos revelam muito baixo conteúdo de constituintes finos, inferior a 1% do plano da lâmina, de coloração brunada e bruno-amarelada (Figura 5.2h), cuja composição possivelmente está relacionada à presença de matéria orgânica, com pouco ferro (Tabela 5.3). É provável que este último elemento se concentre nos horizontes plácicos, juntamente com o maior conteúdo de matéria orgânica observado no horizonte Bs2.

A gênese dos horizontes Bs e do plácico nele presente, possivelmente é extemporânea e mais recente que a dos horizontes espódicos sobrepostos. É provável que sua formação esteja relacionada ao rebaixamento do lençol freático e mobilização do ferro ferroso (Fe^{2+}) dissolvido nas águas de drenagem, com posterior precipitação (Fe^{3+}) na zona de vadosa, a qual se

encontrava oscilando no então horizonte C e abaixo dos horizontes espódicos já formados. No entanto, o conteúdo do elemento precipitado foi muito baixo devido (1) ao também pequeno conteúdo de Fe^{2+} nas águas de drenagem e no lençol freático, e/ou (2) à elevada macroporosidade, inerente a esses materiais essencialmente arenosos e de granulometria bem selecionada, ocasionando a inadequação do potencial de oxirredução à precipitação do ferro ferroso em massa. No entanto, em alguns microssítios é provável que a porosidade de empacotamento ou as condições locais, incluindo o desenvolvimento de pequenas raízes, propiciaram esses potenciais de oxirredução adequados à precipitação de pequenos conteúdos de ferro. Nesses microssítios, o carbono orgânico dissolvido, mobilizado dos horizontes espódicos sobrepostos, foi adsorvido nos oxidróxidos recém precipitados, cujo mecanismo foi demonstrado por Jardine, Weber e McCarthy (1989), originando os delgados e convolados horizontes plácicos em que seus constituintes finos são majoritariamente orgânicos, com pouco ferro. A coloração mais escura nas bordas deste horizonte, tal como pode ser observada na Figura 5.2i, sugere maior concentração de constituintes finos, possivelmente relacionados à maior segregação do ferro e, conseqüentemente, de matéria orgânica adsorvida nos oxidróxidos então recém formados. Os delgados e isotrópicos revestimentos de alguns constituintes grossos (Figura 5.2i) parecem indicar alguma iluviação e precipitação de matéria orgânica e de ferro (BUURMAN; JONGMANS; NIEROP, 2008).

5.2.2.2.1.3 Micromorfologia dos Perfis P9 e P10

Os principais tipos morfológicos (DE CONINCK et al., 1974) encontrados nos horizontes espódicos desses perfis são:

a) resíduos de plantas em diferentes estádios de decomposição, com reconhecíveis ou não estruturas celulares. Nos resíduos ditos transformados não se consegue reconhecer alguma estrutura original da célula, as quais são visíveis somente nos não transformados;

b) matéria orgânica amorfa, sem visíveis estruturas de plantas ou fungos, exclusivamente do tipo monomórfica, formando uma massa contínua de cor e densidade uniformes.

O horizonte Bhm do perfil P9 foi que mostrou maior atividade biológica, relacionada à presença de tecidos vegetais. A ocorrência destes, juntamente com o material fino denso e do entorno a eles relacionado (Figura 5.3e), ocupam aproximadamente 30% do plano da lâmina

deste horizonte. A fábrica representativa (70% do plano da lâmina) é mostrada na Figura 5.3a. Nela se observa uma distribuição relativa $c/f_{2\mu m}$ predominantemente quitônica, com o material grosso total ou parcialmente circundando pelo material fino e de coloração bruno-avermelhado e bruno-avermelhado-escuro, fato também constatado por Kaczorek et al. (2004) em horizontes ortstein na Alemanha. Tendências locais gefúrica e enáulica são comuns, algumas vezes predominando em determinados campos da lâmina. Tal matéria orgânica é do tipo monomórfica (DE CONINCK et al., 1974).

Os resíduos de plantas não transformados mostram, dependendo da seção de corte, células buliformes e alongadas (TWISS, 1992), isotrópicas e com material orgânico bruno-avermelhado-escuro sempre presente nas suas bordas ou, em determinados locais, sobrepondo as mesmas. As Figuras 5.3bcdef mostram esses detalhes. Pelo exame das mesmas se observa um material fino e negro ou bruno-avermelhado-escuro circundando os remanescentes vegetais, totalmente isotrópico e de coloração e densidade homogêneas. Em muitas locais, esse constituinte fino escuro se encontra completamente contínuo e adentrando uma fábrica de domínios porfíricos, em que os grãos de quartzo estão embebidos na densa matriz orgânica. Fendas de contração são comuns na matriz fina, sobretudo quando ocupa os poros de maior dimensão da fábrica. Resíduos de plantas transformados e completamente humificados podem ser observados na Figura 5.3g.

O horizonte Bh2 do perfil P10 é o que apresentou a maior frequência de resíduos de plantas do perfil, exclusivamente não transformados (Figura 5.3f), os quais, associados à matriz fina e escura do entorno, com distribuição relativa $g/f_{2\mu m}$ porfírica, ocupam aproximadamente 20% do plano da lâmina. A Figura 5.3h mostra a fábrica representativa deste horizonte, com distribuição relativa $g/f_{2\mu m}$ predominantemente quitônica, localmente com tendência gefúrica, a qual não difere significativamente daquela observada nos horizontes Bh1 (fotomicrografia não mostrada) e Bhm (Tabela 5.2) do mesmo perfil. Este último horizonte, no entanto, não apresentou remanescentes de plantas, tanto em nível macro como microscópico (Tabela 5.2). Sua matéria orgânica é exclusivamente monomórfica (Figura 5.3i).

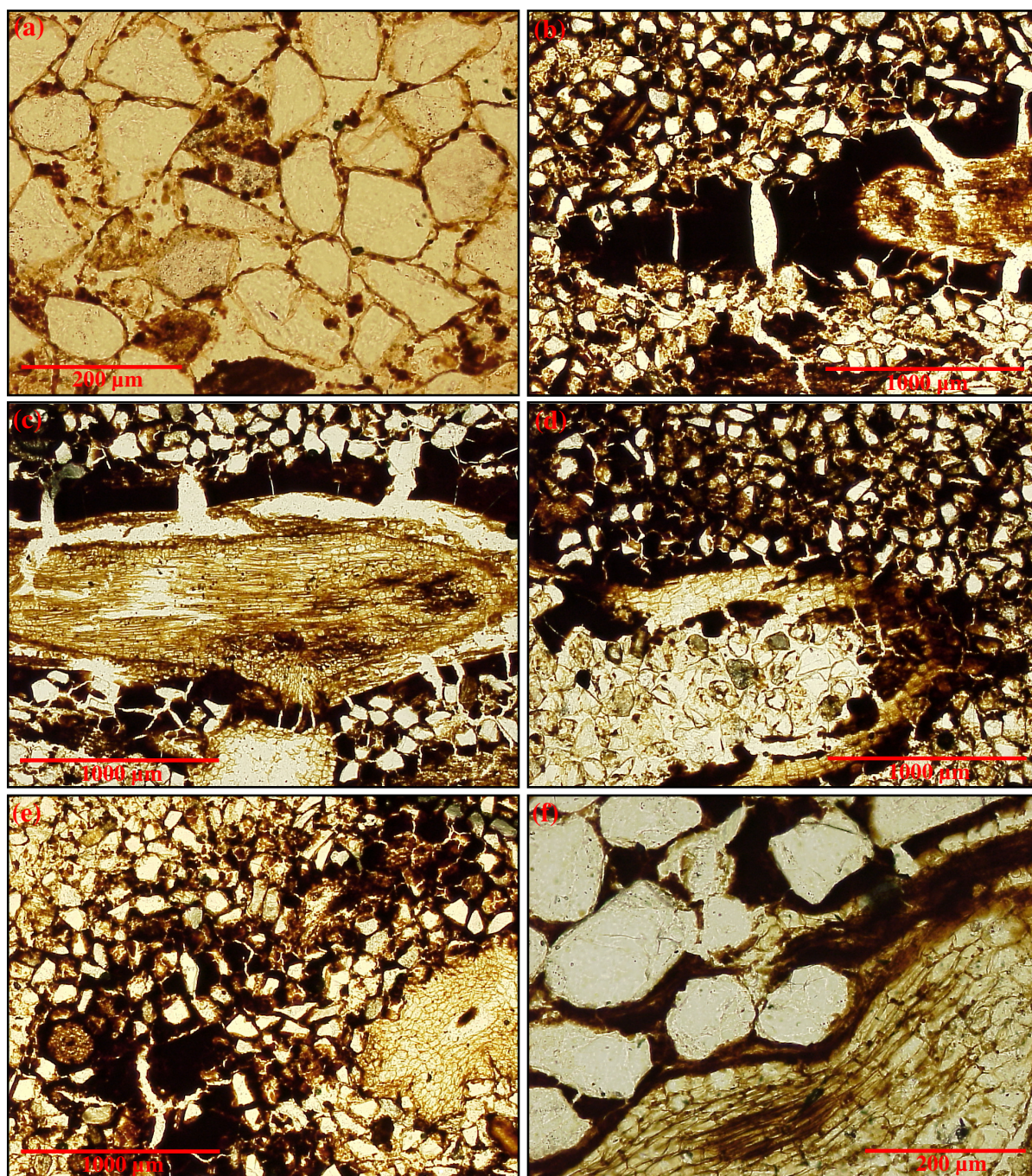


Figura 5.3 – Fotomicrografias mostrando: (a) fábrica representativa do horizonte Bhm do perfil P9 (distribuição $g/f_{2\mu m}$ quitônica-gefúrica); (b) resíduo de raiz (estrutura articulada silicosa; P9; Bhm). Em maior aumento se observa células buliformes nas extremidades meristemáticas e alongadas no restante da estrutura. Presença de matéria orgânica em tais células indica que a raiz não está totalmente decomposta; (c) resíduo de raiz (P9; Bhm), com finos isotrópicos e uniformes, indicando iluviação de matéria orgânica e deposição no entorno da raiz; (d) resíduo de raiz com distribuição relativa porfírica ao seu redor e presença de constituintes grossos no seu interior (P9); (e) segregação de matéria orgânica no entorno da raiz (P9; Bhm); (f) resíduo radicular do perfil P10, horizonte Bh2; distribuição relativa porfírica no seu entorno

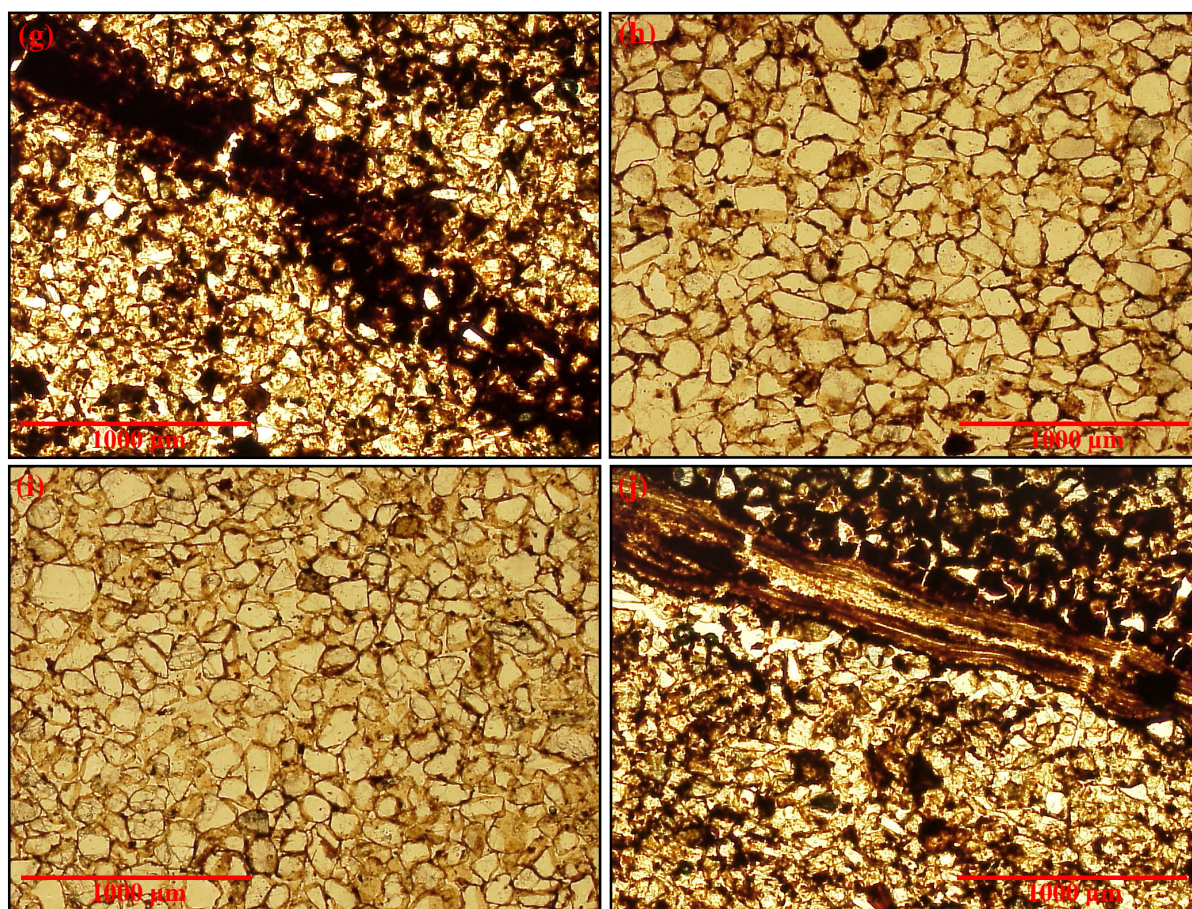


Figura 5.3 – (g) dois resíduos vegetais do horizonte Bhm do perfil P9 em diferentes estádios de decomposição. O da esquerda, menos decomposto ainda mostra remanescentes de células vegetais no seu entorno. O da direita, totalmente transformado e com quartzo entremeado na matriz fina; (h) fábrica representativa do horizonte Bh2 do perfil P10; distribuição relativa $g/f_{2\mu m}$ quitônica com tendências locais gefúricas; (i) fábrica representativa do horizonte Bhm, perfil P10; micromorfologicamente semelhante ao do perfil Bh2 sobreposto, exceto pela presença de remanescentes radiculares neste último, ausente no Bhm; (j) resíduo de raiz do horizonte Bhm, perfil P9 com maior concentração de constituintes finos orgânicos na porção mais próxima à superfície, numa fábrica de distribuição relativa $g/f_{2\mu m}$ porfírica, abaixo da raiz, a distribuição relativa é quitônica-gefúrica-enáulica

5.2.2.2.1.4 Interpretação Micromorfológica dos Horizontes Espódicos dos Perfis P9 e P10

Os resíduos de plantas são exclusivamente de raízes, possivelmente de gramíneas, devido à predominância de células alongadas e buliformes (Figuras 5.3bc), inseridas numa estrutura articulada silicosa de morfologia característica (TWISS, 1992). A presença de matéria orgânica isotrópica entre todas as células da estrutura articulada, bem como acima de alguns conjuntos das mesmas, indicam que a estrutura está se decompondo e evoluindo para a completa silicificação (TWISS, 1992), já que a celulose parece ter sido totalmente transformada, sobretudo da parede celular, a qual é quase sempre promotora de birrefringência (BULLOCK et al., 1985). As células buliformes estão relacionadas à ponta das raízes e, portanto, ao tecido meristemático responsável pelo crescimento da mesma. As alongadas, ao restante do tecido vegetal (Figura 5.3c).

O desenvolvimento de raízes em horizontes espódicos cimentados e, conseqüentemente, sua decomposição *in situ*, não é um fenômeno previsível. De Coninck (1980), comparando horizontes espódicos brandos e cimentados, encontrou que as características da matéria orgânica neles presente indicaram a operação de dois maiores processos:

(1) iluviação e acumulação de compostos organo-metálicos de elevadas acidez, carga e forte características hidrofílicas, responsáveis pela formação de organans, revestimentos monomórficos e cimentação;

(2) atividade biológica, responsável pela consistência solta e formação de pelotas fecais, agregados e pedotúbulos com matéria orgânica do tipo polimórfica, a qual contém resíduos de plantas não transformadas, ácidos húmicos e humina, de baixa acidez e carga. O autor complementa que após a formação do horizonte cimentado, o desenvolvimento de raízes ocorre preferencialmente nos horizontes espódicos brandos sotopostos, a qual favorece a atividade biológica e a formação de unidades polimórficas, tanto provindas pela decomposição das raízes, como da própria matéria orgânica monomórfica. Esta última predomina em todos os horizontes cimentados aqui estudados na forma de revestimentos na superfície dos grãos (distribuição relativa $g/f_{2\mu m}$ quitônica), sendo exclusiva no Bhm do perfil P10.

Os revestimentos monomórficos comprovadamente estão relacionados à iluviação de matéria orgânica (DE CONINCK et al, 1974; DE CONINCK, 1980; PHILLIPS; FITSPATRICK, 1999; BUURMAN et al., 2005; BUURMAN; JONGMANS; NIEROP, 2008) e sua imobilização na superfície dos constituintes grossos e poros, sendo este, portanto, o principal mecanismo de

formação dos horizontes espódicos acima relatados e estudados. No entanto, alguma contribuição da decomposição de raízes para a formação dos horizontes cimentados e brandos pode ser especulada, quer pela presença de resíduos de plantas, quer pela proeminente matriz fina e escura que os circunda (Figura 5.3e) ou os acompanha (Figura 5.3b), cuja origem não é conclusiva, bem como não se consegue elucidá-la plenamente com os resultados obtidos e os procedimentos analíticos aqui utilizados. Algumas especulações e teorias, no entanto, podem ser auferidas:

(1) a presença da matriz fina, densa, escura e porfírica exclusivamente associada à ocorrência de remanescentes não transformados de raízes, evidencia que ambos, raízes e matriz fina densa, estão intimamente relacionados quanto às suas origens;

(2) a predominância dessa matriz fina e densa acima das raízes quando essas se encontram aproximadamente na horizontal (Figura 5.3j) ou mesmo ocupando perfeitamente seu entorno quando na vertical (Figura 5.3e), intimamente entremeada aos constituintes grossos e em perfeita continuidade ao material vegetal (Figuras 5.3bde), sugerem mobilização de matéria orgânica dos horizontes sotopostos e deposição preferencial nas zonas de desenvolvimento de raízes;

(3) possivelmente, essa deposição preferencial pode ter ocorrido devido à atividade das mesmas, funcionando como uma bomba de absorção de água e nutrientes, a qual veicula carbono orgânico dissolvido, provindo dos horizontes sotopostos na forma de complexos organo-metálicos, segregando-o e precipitando-o na superfície das raízes durante o processo de absorção seletiva;

(4) a maior atividade da extremidade meristemática pode ter sido a responsável pela morfologia da matéria orgânica mostrada na Figura 5.3b. É evidente na figura a maior concentração do material orgânico na borda meristemática da raiz, acompanhando perfeitamente sua morfologia;

(5) o espaço poroso gerado e ocupado pela matriz densa e escura no entorno da maioria das raízes aqui observadas (Figuras 5.3cd), bem como na extremidade das mesmas (Figura 5.3b), pode ser oriundo do próprio crescimento/morte da raiz, a qual foi parcialmente decomposta e/ou retrocedeu durante o processo de decomposição/desidratação;

(6) essa teoria da raiz como a responsável pela imobilização da matéria orgânica iluvial, sugerida pela observação de suas feições na escala micromorfológica, vai ao encontro daquela argumentada por De Coninck (1980). Segundo o autor, um dos processos de imobilização da matéria orgânica eluvial é a sua dissecação, resultando num aumento da concentração de íons, contração da dupla camada difusa e expulsão da água dos poros no interior das partículas

orgânicas, ocasionando sua polimerização e formação de agregados grandes, inicialmente em estado gel, evoluindo para o sólido juntamente com a desidratação;

(7) tal desidratação e concentração iônica responsáveis pela imobilização da matéria orgânica iluviada podem perfeitamente ser orquestrados pela atividade biológica, sobretudo de raízes durante sua absorção seletiva de água e nutrientes, conduzindo à precipitação do carbono orgânico iluvial já segregado no seu entorno;

(8) a absorção radicular faz com que o volume de solo do seu entorno seque mais rapidamente em relação aos locais livres da ação de raízes, o que favorece a precipitação do carbono iluvial no seu entorno;

A gênese de horizontes espódicos cimentados ainda não é totalmente entendida (KACZOREK et al., 2004). A maioria dos trabalhos considera que o Al-húmus translocado na forma de complexos é essencial para a gênese do ortstein (DE CONINCK, 1980; MACKeAGUE; WANG, 1980; MACHARDY; ROBERTSON, 1983; KOOPMAN, 1988; LEE; YUAN; CARLISLE, 1988ab; KACZOREK et al., 2004) e que se necessita de um período de dissecação para seu endurecimento (ANDRIESSE, 1968/1969; DE CONINCK, 1980; BRONICK et al., 2004; KACZOREK et al., 2004). Portanto, processos físico-químicos parecem estar relacionados à gênese do ortstein, primeiro (químico) com a mobilização de matéria orgânica complexada com Al, fato constatado aqui pelos revestimentos no entorno dos materiais grossos (distribuição relativa $g/f_{2\mu m}$ quitônica), típicos de iluviação de matéria orgânica, a qual se mostra com elevada saturação por Al (Tabela 5.3); segundo pela dissecação (física), a qual pode ser promovida ou intensificada pelas raízes, nos microssítios de seu entorno. Portanto, a presença de raízes (determinados tipos de raízes?) é um fator que concorre para a cimentação dos horizontes espódicos, conforme argumentado acima, ao contrário do que argumentam De Coninck (1980) e van Breemen e Buurman (2002).

É provável que ciclos freqüentes e curtos de umedecimento e secagem sejam mais eficazes que o completo dessecamento do perfil na formação do ortstein, tal como ocorrem nos perfis P9 e P10, devido à oscilação do lençol freático promover condições mais adequadas de (a) umidade ao longo do ano à produção e mobilização do carbono orgânico dissolvido; (b) atividade radicular, absorvendo mais água no período de menor disponibilidade da mesma, intensificando a secagem do solo, segregação do carbono orgânico dissolvido e sua desidratação, precipitando-o na superfície e entorno das raízes ativas; (c) suprimento de Al do lençol freático (FARMER;

SKJEMSTAD; THOMPSON, 1983), promovendo a imobilização dos complexos organometálicos provindos da superfície que se tornam saturados no elemento em contato com a água freática e precipitam (DE CONINCK 1980), quer na superfície dos constituintes grossos (Figura 5.3h), quer na porosidade, preenchendo-a totalmente (Figura 5.2f).

A ausência de resíduos de plantas não transformados nos horizontes espódicos dos perfis P3 e P6 e sua influência na formação desses horizontes pode estar relacionada às mudanças que ocorrem com a melhoria de drenagem (BUURMAN et al., 2005), considerando-se que tais perfis foram formados sob condições de hidromorfismo acentuado. Essas mudanças podem ser devidas às alterações na microbiota e condições químicas (pH) do meio com o rebaixamento definitivo do lençol freático, induzindo a completa decomposição dos remanescentes vegetais, re-solubilização e remobilização da matéria orgânica. A baixa ou mesmo a nula atividade da fauna, condicionada, sobretudo, pela pobreza dos substratos orgânico e mineral, impossibilita a formação de matéria orgânica polimórfica nos horizontes espódicos dos perfis P9 e P10. A morfologia típica de matéria orgânica monomórfica no entorno das raízes desses perfis (Figuras 5.3bcde), caracterizada por uma massa contínua de cor e densidade relativamente uniformes, tal como argumentado por De Coninck et al. (1974), converge para a origem iluvial dessa matéria orgânica, corroborando um dos mecanismos acima relatados: precipitação da matéria orgânica pela absorção seletiva da raiz e sua precipitação no entorno da mesma. No entanto, a ausência da atividade faunística acima mencionada, pode definir o aspecto monomórfico da matéria orgânica próxima a raiz, decomposta *in situ* nos horizontes espódicos, mas não explica a distribuição relativa $g/f_{2\mu m}$ porfírica no entorno das mesmas, com os constituintes finos intimamente entremeados aos grossos (Figuras 5.3bd).

A ausência de constituintes finos com descolorações, tal como observado naqueles mais bem drenados (perfis P3 e P6), indicativos da despodzolização, sugerem que o hidromorfismo condiciona a preservação dos horizontes espódicos e Espodossolos.

5.2.2.2 Micromorfologia e Interpretação dos Solos de Cananéia (Perfis P29 e P30)

A micromorfologia desses perfis apresenta mais semelhanças do que peculiaridades em relação aos anteriores. A peculiaridade mais marcante é mostrada na Figura 5.4a, referente ao perfil P29. Nela se observa que minerais pesados estão alinhados, formando estratificações

oriundas da dinâmica sedimentar marinha, fato já evidenciado nas observações macromorfológicas. Tais minerais estão distribuídos por toda a lâmina, ora mais adensados e alinhados (Figura 5.4a), ora dispersos na fábrica predominantemente quitônica (Figura 5.4b). Quando alinhados e empacotados atuam como uma barreira mecânica à iluviação do carbono orgânico dissolvido, tal como pode ser evidenciado da Figura 5.4a, contribuindo para a imobilização da matéria orgânica e formação do horizonte espódico. Sempre acima dos minerais pesados, empacotados e alinhados, a fábrica é porfírica, com a matriz fina preenchendo praticamente todo o espaço poroso. No plano da lâmina, essa matriz porfírica localizada acima das estratificações tem espessura média de 1cm; abaixo, a fábrica é predominantemente quitônica (Figura 5.4a), evidenciando que a barreira mecânica imposta pelo empacotamento de grãos impede a passagem apenas de parte do carbono orgânico dissolvido; o que passa se deposita na superfície dos constituintes grossos numa fábrica característica de iluviação e precipitação de matéria orgânica na formação do horizonte espódico (DE CONINCK, 1980; PHILLIPS; FTIZPATRICK, 1999; BUURMAN et al., 2005; BUURMAN; JONGMANS; NIEROP, 2008). Matéria orgânica monomórfica é única nesse horizonte.

O perfil P30, por outro lado, não apresenta estratificações e sua matéria orgânica mostra remanescentes vegetais e matéria orgânica monomórfica. A micromorfologia característica do seu horizonte Bhm é mostrada na Figura 5.4c. Nota-se pelo exame da mesma que tal horizonte está se desmantelando. Isso é evidenciado pelo desmoronamento da fábrica original, originando uma porosidade cavitária que se inicia e se funde basicamente por dois processos, que possivelmente atuam concomitantemente: **(1)** penetração e decomposição radicular, favorecendo o fluxo hídrico preferencial (Figura 5.4c); e **(2)** decomposição da matéria orgânica (Figura 5.4d), evidenciado pelo dégradé de suas cores e densidade, com presença de microfissuras, separando os constituintes orgânicos em unidades menores que outrora preenchiam totalmente o espaço poroso. A porosidade cavitária policôncava e os constituintes finos orgânicos de variada cor e densidade da Figura 5.4d, bem acomodados em relação ao material fino adjacente e a maioria interconectados entre si, sugerem a decomposição da matéria orgânica e geração da porosidade, a qual, por sua vez, favorece o fluxo hídrico preferencial, acelerando o processo. A penetração radicular pode ser um dos mecanismos que desencadeia o desmantelamento dos horizontes ortstein e espódicos nesses solos, os mais antigos aqui estudados, os quais se encontram bem drenados na maior parte do ano.

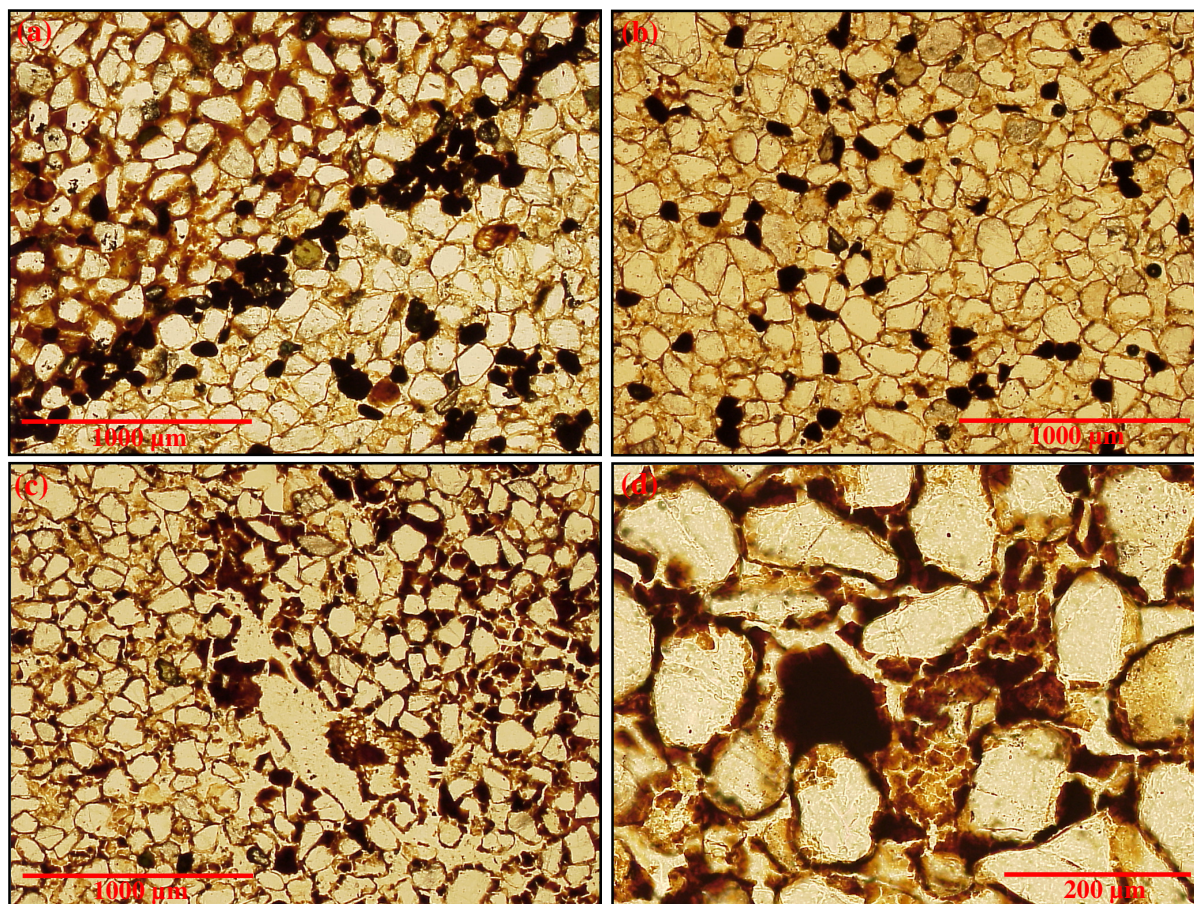


Figura 5.4 – Fotomicrografias dos perfis 29 e 30 mostrando: (a) concentração de minerais pesados no horizonte Bhm2 do perfil 29, típicos da dinâmica sedimentar marinha. O alinhamento e adensamento reduzem considerável e abruptamente a porosidade, levando à imobilização físico-mecânica da matéria orgânica iluvial. Distribuição relativa $g/f_{2\mu m}$ porfírica acima dos pesados alinhados e quitônica abaixo; (b) fábrica característica desse horizonte, com pesados dispersos na matriz predominantemente quitônica; (c) remanescente de raiz no horizonte Bhm do perfil P30 gerando uma porosidade cavitária com a sua decomposição, a qual favorece o fluxo preferencial de água e início do processo de desmantelamento do horizonte; (d) detalhe do horizonte anterior evidenciando a porosidade cavitária policôncava e a matriz fina com variadas cor e densidade, sugerindo decomposição da matéria orgânica (despodzolização incipiente) e geração da porosidade, outrora totalmente preenchida pela matéria orgânica iluviada

5.2.2.2.3 Micromorfologia dos Solos da Ilha do Cardoso

5.2.2.2.3.1 Micromorfologia e Interpretação do Perfil C14

A morfologia da matéria orgânica deste perfil varia com a profundidade: resíduos de plantas com diferentes graus de decomposição se localizam apenas nos horizontes superficiais A, AE e no topo do exíguo horizonte espódico mais superficial (Bhs1). Matéria orgânica amorfa, no entanto, predominantemente monomórfica (DE CONINCK et al., 1974), é dominante nos horizontes espódicos. Aquela polimórfica é única nos horizontes superficiais A e AE, tal como pode ser evidenciado pela Figura 5.5a, onde resíduos de raízes estão intimamente associados ao constituinte orgânico já decomposto e escuro, formando agregados milimétricos (grânulos fortemente desenvolvidos) e subarredondados, que vão se escasseando em profundidade, até desaparecerem totalmente no horizonte E (Tabela 5.2). O contato desses agregados com a fábrica circundante se dá por uma porosidade mais acentuada em todo seu entorno, sugerindo: (1) sua estabilidade estrutural, condicionada pela matéria orgânica polimórfica; (2) fluxos hídricos preferenciais no entorno dos agregados estáveis, responsáveis pela maior porosidade do seu entorno.

A transição E-Bhs1 difere das demais (fotomicrografias não mostradas) pela presença de constituintes grossos na fração silte no topo do horizonte Bhs1 (Figuras 5.5bcde), manifestando-se por aproximadamente 1,5 cm a partir da transição, que se dá abruptamente, semelhante ao observado no campo (Tabela 5.1). Possivelmente, sua presença está relacionada à mobilização (conjunta?) de matéria orgânica e quartzo na fração silte, provindos do horizonte eluvial.

A distribuição relativa $g/f_{2\mu m}$ mônica no horizonte E, converte-se em gefúrica na transição para o Bhs1 e posteriormente para porfírica (Figura 5.5b) em um curto espaço, menor que 0,5 mm. Onde há constituintes finos nessa transição, há também aqueles grossos na fração silte. À medida que se aprofunda neste horizonte, até a profundidade de 1,5cm a partir da transição E-Bhs1, a matriz grossa na fração silte se torna mais abundante, como pode se observar nas Figuras 5.5cde. Migração de carvão na fração silte, eluviando do horizonte superficial A e se depositando no B espódico sotoposto, já foi proposto por Buurman, Jongmans e Nierop (2008) como um mecanismo de translocação dessas partículas em Espodosolos boreais.

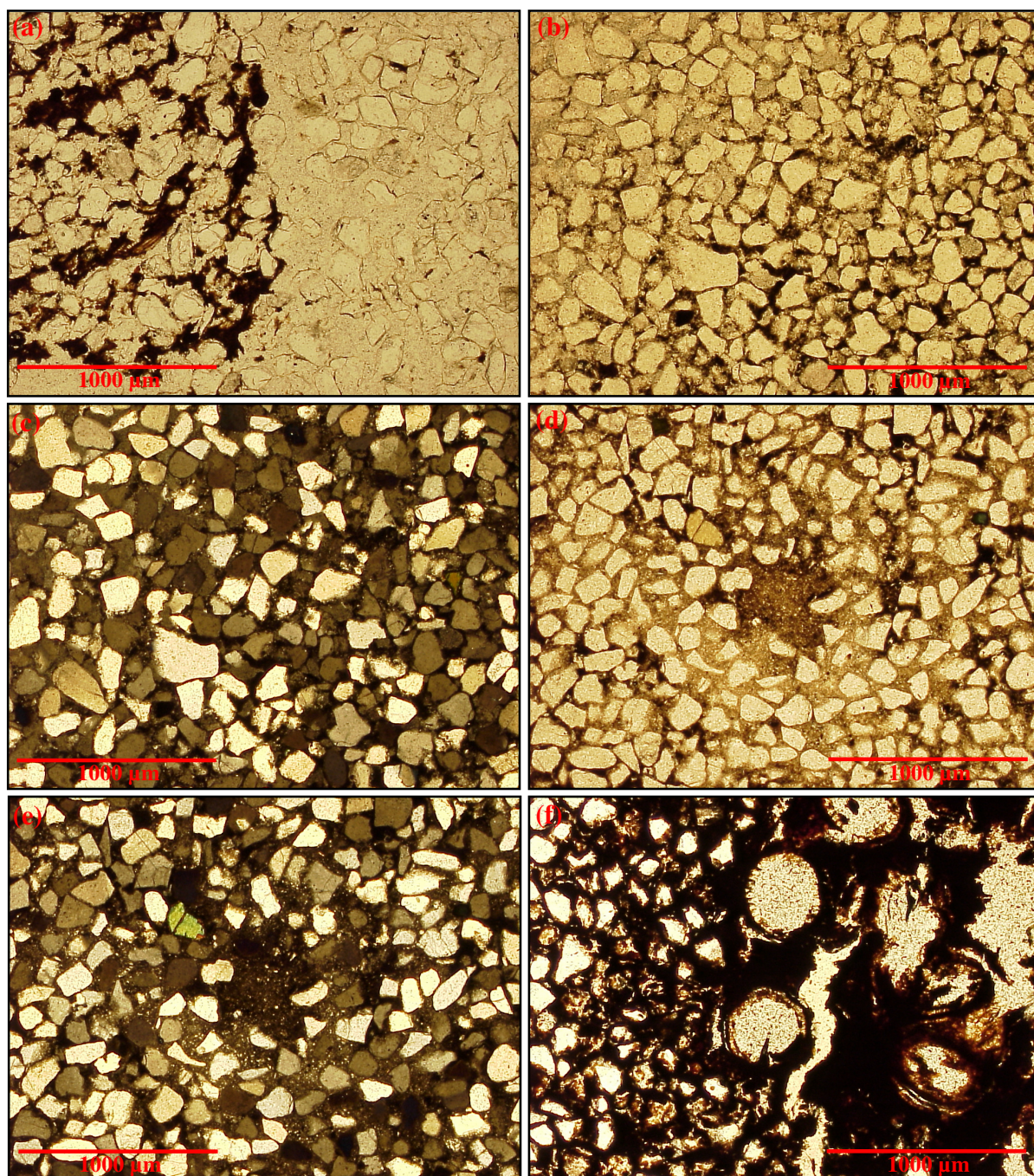


Figura 5.5 – Fotomicrografias do perfil C14 mostrando: (a) horizonte AE com matéria orgânica polimórfica e resíduos de raízes intimamente associados, formando grânulos subarredondados que vão se escasseando em profundidade até desaparecerem no horizonte E sotoposto; (b) transição E-BhS1. A transição se dá abruptamente, tal como observado no campo. Em menos de 1mm a matriz mônica do horizonte E modifica-se para gefúrica e porfírica, esta última típica do horizonte BhS1 sotoposto ao E; (c) luz polarizada da fotomicrografia anterior com quartzo na fração silte disperso na matriz fina; (d) o conteúdo da fração silte aumenta com a profundidade no horizonte BhS1; este de distribuição relativa $g/f_{2\mu m}$ porfírica e matéria orgânica exclusivamente monomórfica; (e) luz polarizada da fotomicrografia anterior evidenciando a birrefringência promovida pelo quartzo na fração silte; (f) resíduo de raízes na base do exíguo horizonte BhS1 com matéria orgânica monomórfica no seu entorno de distribuição relativa $g/f_{2\mu m}$ porfírica

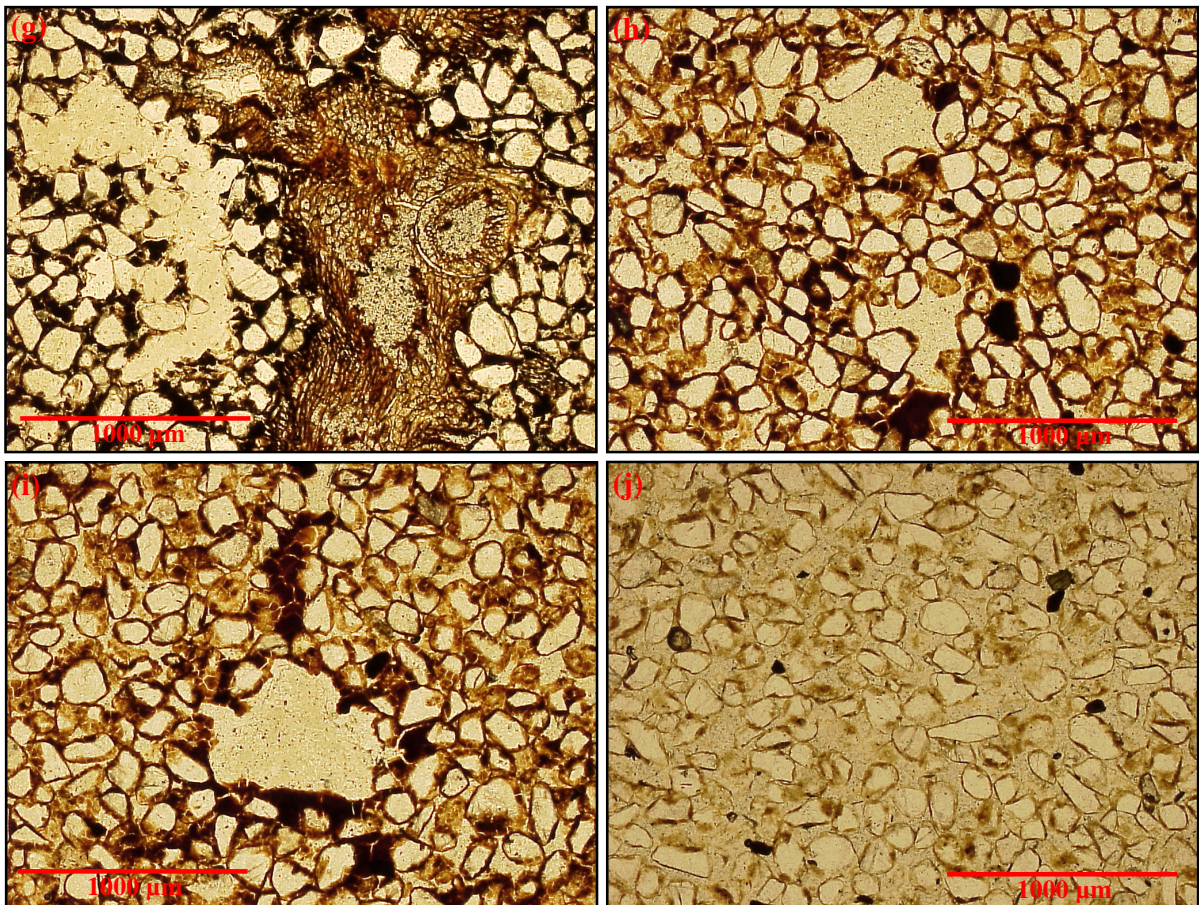


Figura 5.5 – (g) resíduo de raiz (estrutura articulada silicosa) e desenvolvimento de uma macroporosidade cavitária na base do exíguo horizonte Bhs1 que se funde conduzindo ao dismantelamento da matriz, originalmente porfírica, convertendo-se em gefúrica e chitônica; (h) macroporosidade cavitária do horizonte Bhs2 possivelmente oriunda da decomposição radicular. Revestimentos monomórficos mais espessos aparecem predominantemente na base da porosidade, evidenciando sua origem iluvial; (i) macroporosidade cavitária do horizonte Bhs3 com revestimento monomórfico em toda a parede do poro e, semelhante ao horizonte sobreposto, de maior espessura na sua base. O preenchimento parcial com matéria orgânica (cor e densidade homogêneas) da porosidade imediatamente acima daquela central desta figura, juntamente com a maior espessura do revestimento na base do poro, evidenciam que o material orgânico é monomórfico e foi iluviado dos horizontes sotopostos; (j) fábrica característica do horizonte Bs2. Poucos constituintes finos distribuídos numa matriz de distribuição relativa $g/f_{2\mu m}$ quitônica-gefúrica, com finos revestimentos monomórficos de iluviação

Imediatamente abaixo da zona de concentração de silte há um forte desenvolvimento de raízes, acompanhada pela presença de constituintes finos predominantemente negros e de uma fábrica com distribuição relativa $g/f_{2\mu m}$ porfírica ou gefúrica-quitônica, esta última de elevada porosidade (Figuras 5.5fg). Possivelmente, a transição E-Bhs1 está relacionada a condições de hidromorfismo freqüente devido à descontinuidade dos poros (Figura 5.5ab), dificultando o desenvolvimento radicular que é estimulado na zona imediatamente abaixo da transição, mais aerada. Os constituintes finos apresentam cor, forma e densidade homogêneos, sugerindo matéria orgânica do tipo monomórfica (DE CONINCK et al., 1974), eluviada dos horizontes sotopostos e imobilizada no contato com as raízes, tal como argumentado anteriormente. A maior porosidade (Figura 5.5g) pode estar relacionada à decomposição de raízes e fluxos turbulentos abaixo zona de grande acúmulo de água no perfil, aparentemente ocasionando o colapso da fábrica porfírica pela remoção dos constituintes finos.

Os horizontes espódicos e cimentados sotopostos, Bhs2 e Bhs3, caracterizam-se pela completa ausência de resíduos vegetais, desenvolvimento de uma distribuição relativa $g/f_{2\mu m}$ predominantemente chitônica, característica de matéria orgânica iluviada na formação dos horizontes espódicos (DE CONINCK, 1980) e de uma freqüente porosidade cavitária. Os poros de maior dimensão (macroporos) podem ou não estar revestidos com material fino orgânico monomórfico de maior espessura em relação aos dos constituintes grossos, total (Figura 5.5i) ou parcialmente preenchidos (Figura 5.5h), típicos de iluviação (BULLOCK et al., 1985). Por outro lado, os horizontes Bs mostram menor proporção de constituintes finos em relação aos espódicos sobrepostos, uma porosidade dominante (microporosidade) ora de empacotamento simples, ora cavitária policôncava e uma distribuição relativa $g/f_{2\mu m}$ quitônica, com finos revestimentos isotrópicos circundando total ou parcialmente o material grosso, localmente gefúrica, (Figura 5.5j), sugerindo iluviação de matéria orgânica, possivelmente complexada com Al (Tabela 5.3).

A micromorfologia desse perfil sugere que a e-iluviação de matéria orgânica é o principal mecanismo de formação dos horizontes eluvial e espódicos. As raízes pouco participam de sua gênese e parecem atuar predominantemente no topo do horizonte B, alguns milímetros abaixo da transição E-Bhs1, devido às condições serem mais adequadas ao seu desenvolvimento. Sua presença, no entanto, parece contribuir, direta ou indiretamente, ora para a concentração de material fino, negro e orgânico na formação do horizonte espódico (Figura 5.5f), ora para seu desmantelamento (Figura 5.5g), favorecendo o desenvolvimento de uma forte macroporosidade

cavitária devido à sua decomposição e, conseqüentemente, de um fluxo hídrico preferencial responsável pela remoção do material orgânico.

A e-iluviação de matéria orgânica (complexada por metais) e de constituintes grossos na fração silte parece ter sido ativa neste perfil, com o quartzo nessa fração depositando-se no primeiro 1,5 cm da transição E-B espódico. Se há transporte de partículas nessa dimensão, mesmo a curtas distâncias, é especulável que material orgânico particulado também possa migrar nesses solos inertes em carga, fato já argumentado por Andriessse (1968/1969). É também passível de especulação que a oscilação do lençol freático promova o perfeito acomodamento dos constituintes grossos, mesmo se bem selecionados como a maioria dos solos aqui estudados, reduzindo sensivelmente a porosidade em relação às camadas sobrepostas, favorecendo, com isso, a imobilização mecânica da matéria orgânica eluviada, tal como observamos no perfil P29. Esse acomodamento de constituintes grossos e redução da porosidade pode ser um dos fatores condicionadores da cimentação dos horizontes ortstein pela íntima aproximação de seus constituintes. Similaridades químicas e micromorfológicas entre horizontes brandos e cimentados num mesmo perfil de Espodossolo já foram relatadas por vários autores, tal como pode ser verificado nos trabalhos de MacKeague e Wang (1980) e McHardy e Robertson (1983), embora Bronick, Mokma e Boyd (2004) encontraram que quanto mais complexos de Al-húmus e Fe-húmus acumulam nos horizontes Bhs e Bs, esses tendem a se tornar mais cimentados, formando ortstein.

MacKeague e Wang (1980) argumentam que três condições devem ser satisfeitas para ocorrer à cimentação: (a) o material cimentando deve estar associado à matriz grossa; (b) deve ocorrer como uma fase contínua; e (c) deve ter considerável resistência. Brandon et al. (1977) salientam que essa resistência pode ser favorecida tanto pelo maior suprimento de complexos organo-metálicos aos revestimentos, espessando-os, como pelo completo preenchimento dos vazios entre grãos. A micromorfologia aqui observada mostra que os horizontes espódicos brandos sobrepostos aos cimentados (Figuras 5.2ab; 5.5de) podem ter distribuição relativa $g/f_{2\mu m}$ porfírica, com a porosidade totalmente preenchida pelo material orgânico, ou mesmo uma fábrica muito similar ao cimentado, predominantemente quitônica, tal como observado no perfil P10 (Figuras 5.3hi), diferindo pela presença de resíduos radiculares no horizonte espódico brando sobreposto (Figura 5.3f).

Possivelmente, as condições favoráveis ao desenvolvimento da cimentação nos horizontes espódicos das áreas de restinga paulista estão relacionadas à presença de raízes, às condições de umedecimento e secagem condicionadas pelo lençol freático, que por sua vez interfere no acomodamento, empacotamento e porosidade dos constituintes grossos, favorecendo o íntimo contato entre as partículas do solo, cujos constituintes finos, predominantemente complexos Al-húmus (Tabela 5.3), funcionam como agentes cimentantes. O tempo pode ser um fator chave na cimentação e formação dos horizontes ortstein pelo fato de possibilitar a manifestação das condições adequadas à sua formação, incluindo às modificações estruturais na matéria orgânica, quiçá necessárias ao seu efeito cimentante.

5.2.2.3.2 Micromorfologia e Interpretação dos Perfis H13 e J14

O hidromorfismo e, sobretudo, a presença de horizontes orgânicos influenciam sobremaneira os horizontes espódicos sotopostos: quanto mais espessos e sujeitos ao hidromorfismo permanente, maior é a participação de raízes na sua formação. Os principais tipos morfológicos da matéria orgânica nos horizontes minerais desses perfis são:

a) resíduos de raízes em diferentes estádios de decomposição, com reconhecíveis estruturas celulares;

b) matéria orgânica amorfa, sem visíveis estruturas de plantas ou fungos, a qual pode ser de três tipos: (i) estrutura polimórfica do tipo agregados, formada de pelotas fecais transformadas com limites claros entre as unidades; (ii) estruturas polimórfica e monomórfica na forma de revestimentos; (iii) estrutura polimórfica do tipo acumulações, oriundas das transformações microbiológicas e coalescência das pelotas fecais, sem limites distintos entre as unidades.

O horizonte E do perfil H13 ainda apresenta considerável proporção de material orgânico, indicando que não foi totalmente formado. Resíduos de raízes, matéria orgânica polimórfica resultado da decomposição das mesmas, além de finos revestimentos monomórficos e polimórficos podem ser observados neste horizonte (Figura 5.6a). Sua distribuição relativa $g/f_{2\mu m}$ é do tipo quitônica e localmente gefúrica, enáulica ou mônica.

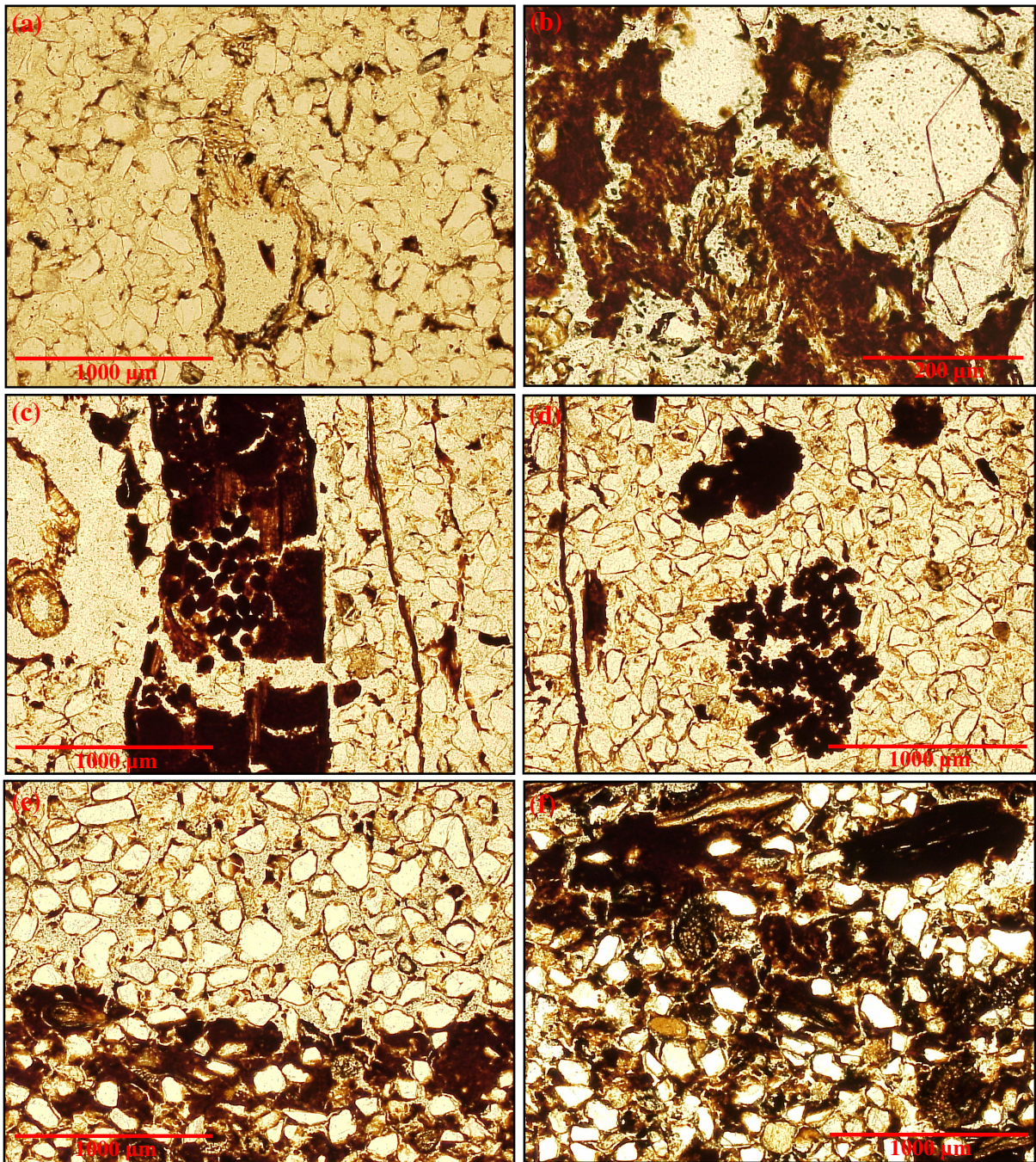


Figura 5.6 – Fotomicrografias dos perfil H13 e J14 mostrando: (a) resíduos de raízes e matéria orgânica predominantemente polimórfica no horizonte E do perfil H13. No entanto, finos revestimentos de cor e densidades homogêneas envolvem total ou parcialmente a maioria dos grãos, sugerindo matéria orgânica monomórfica iluvial; (b) resíduo de raiz e material orgânico já bem decomposto no horizonte Bhsj1, perfil H13; (c) pelotas fecais na forma de agregados (DE CONINCK et al., 1974) no interior de uma raiz em diferentes estádios de decomposição (Bhsj2, perfil H13); (d) pelotas fecais transformadas e coalescidas pela atividade microbiológica (BULLOCK et al., 1985) do mesmo horizonte anterior, originando uma morfologia denominada de acumulação (DE CONINCK et al., 1974). Notar finos revestimentos predominantemente uniformes em cor e densidade nos constituintes grossos, típicos de iluviação; (e) remanescentes radiculares na base do horizonte Bhsj2 (perfil H13) intimamente associados à matéria orgânica polimórfica de diferentes cores e densidades e paralelos à superfície do terreno, indicando decomposição radicular; (f) idem anterior, mais próximo à base do horizonte supracitado

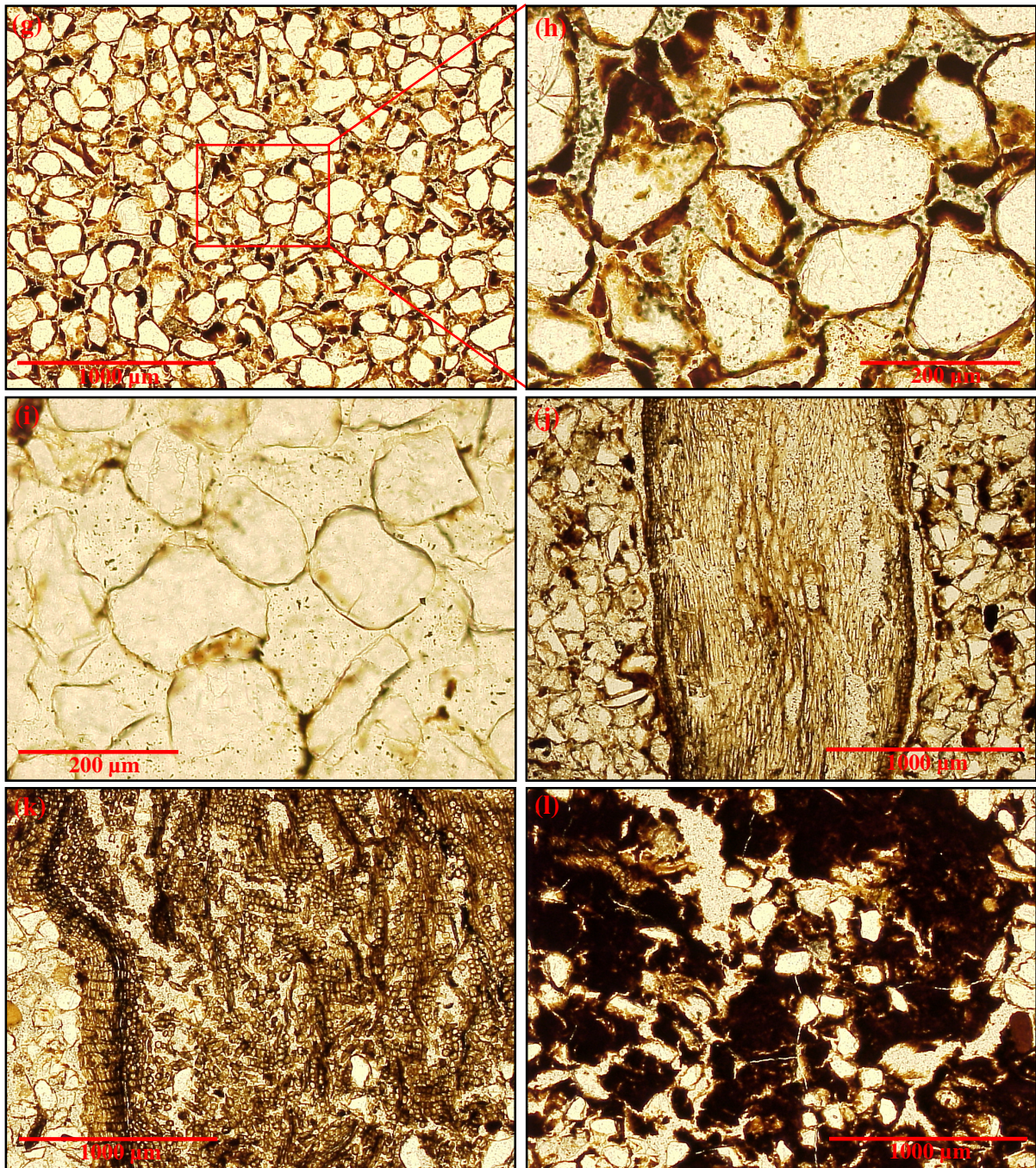


Figura 5.6 – Fotomicrografias dos perfil H13 e J14 mostrando: (g) faixa do horizonte Bhsj2, perfil H13, visualmente identificada na lâmina pela coloração escura; porção média do horizonte com predominância de revestimentos de diferentes cores, espessuras e densidades, possivelmente polimórficos; distribuição relativa $g/f_{2\mu m}$ quitônica-gefúrica-enáulica; (h) detalhes da matriz do horizonte anterior. Notar revestimentos de diferentes cores, espessuras e densidades, possivelmente polimórficos; (i) parte superior do horizonte Bhsj2 do perfil H13. Notar baixo conteúdo de finos, presença de grossos desprovidos de revestimentos e insertos numa matriz mônica-gefúrica; (j) e (k) resíduos vegetais que são abundantes nos horizontes Bhsj1 (J) e Bhsj2 (k). As diferentes estruturas celulares indicam espécies diferenciadas; (l) resíduos vegetais intimamente associados a constituintes finos, negros e orgânicos em avançado estágio de decomposição (horizonte Bhsj2; perfil J14)

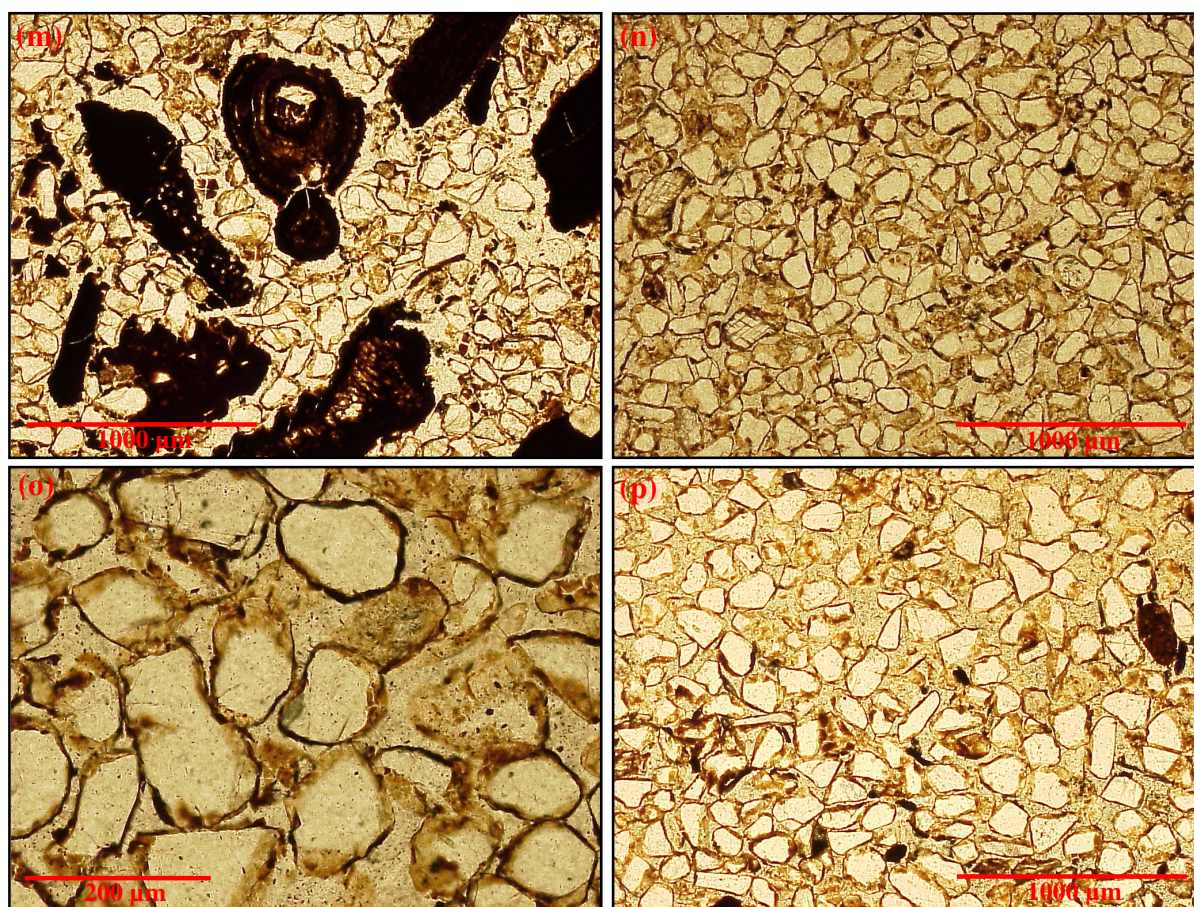


Figura 5.6 – (m) fragmentos de raízes em diferentes estádios de decomposição na parte inferior do horizonte Bhsj1, perfil J14; os menos decompostos ainda mostram células vegetais intimamente associadas à matéria orgânica amorfa; os mais decompostos têm quartzo no seu interior e ausência de células vegetais; (n) parte superior do horizonte anterior de menor atividade radicular em relação a porção inferior do mesmo e ao horizonte mais profundo Bhsj2. Notar revestimentos mais uniformes em cor, densidade e espessura em relação aos da Figura 5.5g. Possivelmente de origem iluvial; distribuição relativa $g/t_{2\mu m}$ quitônica-gefúrica; (o) detalhe dos revestimentos e fábrica da porção superior do horizonte Bhsj1, perfil J14; (p) horizonte Bhj1 do perfil H13. Notar diferença de porosidade entre a parte superior e inferior da fotomicrografia. Tal diferença pode ser um fator favorável à segregação e precipitação da matéria orgânica e formação dos horizontes espódicos

Resíduos de plantas em diferentes estádios de decomposição predominam nos horizontes espódicos, aumentando em profundidade de tal forma que ocupam mais de 50% da fábrica dos horizontes mais profundos de ambos os perfis. As Figuras 5.6bcdef mostram os tipos de matéria orgânica e a fábrica característicos dos horizontes espódicos do perfil H13. A presença de pelotas fecais na forma de agregados (Figura 5.6c) e acumulações (Figura 5.6d) são resultados da decomposição de raízes pela mesofauna no caso dos agregados (DE CONINCK et al., 1974; PHILLIPS; FITZPATRIK, 1999), com atuação microbiológica originando as acumulações (BUURMAN et al., 2005), ambas estimuladas pela abundância de resíduos orgânicos nos horizontes hísticos e espódicos. Sua profundidade de ocorrência (70cm) indica que o horizonte espódico mais profundo, Bhsj2, encontra-se bem drenado por algum período durante o ano. Observando-se a olho nu a lâmina deste horizonte, sua base é formada por faixas horizontais aproximadamente paralelas e de diferentes tonalidades: as mais escuras se intercalam com as mais claras, ambas com espessuras que variam de 0,8 a 2,5cm. Dentre as escuras, as de menor croma se localiza próxima à base do horizonte e está relacionada ao desenvolvimento e decomposição de raízes que cresceram aproximadamente paralelas à superfície do terreno, tal como pode ser observado nas Figuras 5.6ef, onde estruturas celulares de plantas ainda estão visíveis e insertas numa matriz de tonalidades bruno-avermelhada-escura, bruno-escura e negra, de diferentes densidades, evidenciando decomposição de matéria orgânica *in situ*. Segundo Bullock et al. (1985), o material orgânico polimórfico freqüentemente contém resíduos de parede celular, em geral altamente transformados e cobertos com uma espessa crosta de substâncias orgânicas, tal como evidenciado nas referidas figuras. Por outro lado, as faixas escuras mais distantes da base do horizonte Bhsj2 se caracterizam pela presença exclusiva de constituintes amorfos orgânicos, formando uma fábrica com distribuição relativa $g/f_{2\mu m}$ complexa, do tipo quitônica-gefúrica-enáulica (Figuras 5.6gh)

Os enunciados acima evidenciam que o principal mecanismo de formação dos horizontes espódicos e Espodosolos sujeitos ao hidromorfismo freqüente e com horizontes hísticos em superfície é decomposição de raízes *in situ*. No entanto, revestimentos estão presentes nos constituintes grossos (Figuras 5.6de). São polimórficos segundo a definição de De Coninck et al. (1974). As Figuras 5.6gh já mostram detalhes dos revestimentos característicos dos horizontes espódicos, com diferentes cores, densidades e espessuras. Possivelmente estão relacionados a

remanescentes de raízes totalmente decompostas que aderiram aos constituintes grossos por meio de forças eletrostáticas e/ou a solubilização dessas raízes e sua mobilização na fase líquida a curtas distâncias, precipitando na superfície da matriz grossa. A relação dos revestimentos ditos polimórficos às raízes é corroborada pela ausência dos mesmos na parte superior do horizonte Bhsj2 (faixa clara), onde há pouca ou nula presença de raízes e de seus produtos de decomposição (Figura 5.6i; distribuição relativa $g/f_{2\mu m}$ mônica-gefúrica).

O perfil J14 não apresenta matéria orgânica proveniente da ação da mesofauna (agregados e acumulações), possivelmente devido ao hidromorfismo acentuado durante a maior parte do ano. Os remanescentes vegetais são muito dominantes (>70%) no plano da lâmina do horizonte mais profundo (Bhsj2), com estruturas celulares bem preservadas (Figuras 5.6jk) e matéria orgânica amorfa e escura intimamente associada a células vegetais (Figura 5.6lm), denotando seu estágio avançado de decomposição. Uma fábrica exclusivamente quitônica-gefúrica pode ser observada no topo do horizonte Bhsj1, formando revestimentos mais uniformes em cor, densidade e espessura em relação aos descritos no perfil H13 (Figuras 5.6no). Possivelmente são monomórficos em sua maioria, oriundos da translocação da matéria orgânica dissolvida e precipitada na superfície da matriz grossa (DE CONINCK, 1980). No entanto, a grande participação de raízes em diferentes estádios de decomposição, sobretudo no horizonte espódico mais profundo, torna evidente que a sua decomposição *in situ* é o principal mecanismo responsável pela formação desses horizontes que se encontram submersos a maior parte do ano e estão sotopostos a horizontes hísticos. Revestimentos monomórficos estão ausentes no horizonte Bhsj2 do perfil J14.

5.2.2.3 Química, Granulometria e Considerações sobre a Gênese dos Horizontes Espódicos e Espodossolos Estudados

A Tabela 5.3 mostra a granulometria e os atributos químicos de interesse dos solos estudados. Pelo exame da mesma são evidentes algumas características e propriedades típicas dos ambientes de restinga, muitas delas já descritas e observadas por outros autores (GOMES et al., 1998; ROSSI, 1999; GOMES, 2005; MOREIRA, 2007): textura essencialmente arenosa, baixos valores de Soma (SB) e Saturação por Bases (V), dominância de solos extremamente a fortemente ácidos, capacidade de troca de cátions (T) altamente dependente da matéria orgânica

e saturada com Al trocável, sobretudo nos horizontes espódicos. Esses atributos refletem a influência tanto do material de origem como do processo pedogenético predominante nesses ambientes: a podzolização. Enquanto o primeiro, originalmente quartzoso e com baixos conteúdos de minerais facilmente intemperizáveis, imprime a pobreza em nutrientes e a textura arenosa aos solos, praticamente destituídos de argila e predominância da fração areia fina e muito fina bem selecionada (VILLWOCK, 2005), os atributos mais marcantes relativos à podzolização são o expressivo acúmulo de carbono orgânico e Al em profundidade, típicos dos Espodossolos. No entanto, algumas peculiaridades são facilmente observadas entre solos e ambientes estudados, predominantemente condicionadas pelo material de origem e condições de drenagem a que estão e foram submetidos.

Os horizontes espódicos da Ilha do Cardoso são os de mais baixos valores de pH (perfis H13 e J14) devido à influência do material de origem subjacente aos depósitos arenosos, ricos em enxofre oxidado (GOMES, 2005). No entanto, esses baixos valores, inferiores a 3,5 na maioria dos horizontes espódicos dos perfis H13 e J14, não limitaram o desenvolvimento radicular, atuação da mesofauna (Figura 5.6c) e atividade biológica (Figura 5.6d) na sua formação, tal como evidenciado nas observações micromorfológicas. Possivelmente, espécies e organismos especializados e adaptados a esses ambientes sujeitos ao hidromorfismo frequente podem ter contribuído para a gênese dos horizontes espódicos e Espodossolos da Ilha do Cardoso, estimulados pelos elevados teores de carbono e soma de bases dos horizontes hísticos (Tabela 5.3), os maiores aqui observados. Embora menos expressos, esses últimos atributos (Tabela 5.3) também devem ter concorrido para o desenvolvimento radicular e formação do horizonte ortstein do perfil P9 (Figuras 5.3bc). Pelo exame da morfologia das células dos resíduos vegetais ainda preservados entre os perfis P9 (Figuras 5.3bc) e H13 (Figuras 5.6jk), pode-se sugerir a participação de diferentes espécies vegetais, específicas para cada ambiente e condições edáficas, atuando de maneira distinta na formação dos horizontes espódicos.

Das observações micromorfológicas acima relatadas se pode especular que, no perfil P9, as raízes contribuem de maneira indireta à podzolização, funcionando como uma bomba e filtro de água, carreando consigo carbono orgânico dissolvido e/ou particulado. A absorção seletiva das raízes faz com que a água e nutrientes sejam absorvidos e o material orgânico segregue na superfície das mesmas, precipitando ao seu redor na forma de uma massa negra uniforme e orgânica após desidratação (DE CONINCK, 1980), a qual é estimulada pela própria absorção

radicular, tal como sugere as Figuras 5.3bcde. Por outro lado, a presença de fragmentos de tecidos vegetais intimamente relacionados ao material orgânico amorfo (Figuras 5.6ef), este de diferentes cores e densidades, indicam a atuação direta das raízes por meio de sua decomposição (BUURMAN et al., 2005), fornecendo matéria orgânica ao desenvolvimento dos horizontes espódicos. No entanto, a presença comum de revestimentos monomórficos nos horizontes espódicos dos perfis (Perfis P9, H13 e J14), inclusive naqueles de intensa atividade biológica proveniente de raízes (Figuras 5.3a; 5.6o), evidenciam que a iluviação da matéria orgânica é o principal mecanismo de formação da maioria dos Espodossolos (DE CONINCK et al., 1974; DE CONINCK, 1980; PHILLIPS; FITZPATRICK, 1999; BUURMAN et al., 2005; BUURMAN; JONGMANS; NIEROP, 2008) e horizontes espódicos aqui estudados, originando-os às expensas dos horizontes eluviais e decomposição da serapilheira.

Alguns mecanismos de (i)-mobilização de matéria orgânica podem ser aqui especulados em função dos dados químicos (Tabela 5.3), de observações de campo e dos inúmeros trabalhos desenvolvidos sobre gênese de Espodossolos boreais. A formação e o transporte de complexos de ácidos orgânicos não saturados com Al em solução (complexos Al-húmus; LUMDSTRÖM; van BREEMEN; BAIN; 2000) parece ser o principal mecanismo de mobilização de matéria orgânica, tendo-se em vista os elevados conteúdos extraídos do elemento nos solos estudados com os diferentes procedimentos seletivos, sobretudo dos horizontes espódicos (Tabela 5.3). A relação Al_o/Al_p com valores médios próximos a 1,0 (média de 1,0; valores mínimo e máximo de 0,3 e 1,9, respectivamente; Tabela 5.3) indicam que complexos Al-húmus são dominantes, embora formas inorgânicas do elemento estejam presentes, sobretudo nos horizontes Bs e Bsm. Isso é evidenciado pela referida relação superior a uma unidade nesses horizontes, os quais são caracterizados pelos maiores valores de pH do perfil, próximos a 5, além do baixo conteúdo de carbono orgânico, os quais favorecem a interação alumínio-compostos inorgânicos e sua precipitação na forma de minerais de baixa cristalinidade, fato já constatado nos capítulos 3 e 4 deste trabalho. Se foram formados “*in situ*” (BUURMAN; van REEUWIJK, 1984) ou transportados na forma de substância coloidais inorgânicas (FARMER; RUSSEL; BERROW, 1980; FARMER, 1982) não foi possível de se avaliar no presente trabalho. No entanto, algumas especulações podem ser auferidas sobre a cronologia envolvida na formação dos horizontes espódicos, com ênfase aqueles aqui identificados como Bs. Observando-se as paisagens atuais sob domínio das restingas, dois aspectos relevantes convergem para a especulação de que tais

horizontes são os mais jovens dos perfis onde ocorrem: (1) o lençol freático elevado é uma constante na maioria dos ambientes de restinga onde predominam os Espodosolos, sendo esses possivelmente formados e dependentes das condições de hidromorfismo temporário, fato já relatado por van Breemen e Buurman (2002) ao se referirem à gênese dos Espodosolos tropicais; e (2) somente os perfis melhor drenados aqui estudados mostraram horizontes do tipo Bs. Assim, supõe-se que sua formação suceda aquela dos espódicos mais escuros e sotopostos, dominados por complexos Al-húmus, após abaixamento definitivo do lençol freático. Este condiciona as condições oxi-redutoras e o exíguo suprimento de ferro que precipita na zona de vadosa então oscilante nos horizontes C, de mais elevados valores de pH, favorecendo a precipitação do Fe (WU; CHEN; 2005) como oxidróxidos de baixa cristalinidade. A elevada relação Fe_p/Fe_d nos solos estudados, próximo a uma unidade (Tabela 5.3), pode estar relacionada à peptização do elemento pelo pirofosfato de sódio, superestimando a quantidade de ferro aqui determinado e associado à matéria orgânica (Fe_p), tal como relatado por Higashi, De Coninck e Gelaude (1981), Jeanroy e Guillet (1981) e Parfitt e Childs (1988). Os maiores conteúdos do elemento são observados nos solos da Ilha do Cardoso, seja no horizonte mais profundo C_{gj} do perfil H13, seja nos horizontes hísticos mais superficiais, indicando que tanto a reciclagem como o lençol freático podem fornecer o ferro ao sistema. A Tabela 5.3 mostra que os teores de Fe_o são sempre inferiores ao de Fe_d e, em alguns casos, os valores são próximos (exemplo, horizontes Bs do perfil C14), sugerindo que formas amorfas do elemento predominam (FARMER; RUSSEL; SMITH, 1983), as quais podem contribuir para o extrato pirofosfato (PARFITT; CHILDS, 1988) e imobilizar a matéria orgânica iluviada (JARDINE; WEBER; McCARTHY, 1989).

Diferentes mecanismos têm sido propostos para a imobilização do Al e Fe iluviados e complexados à matéria orgânica dos solos (LUMDSTRÖM; van BREEMEN; BAIN, 2000). Dos resultados aqui encontrados, quatro podem ter sido os responsáveis pela imobilização dos complexos orgânicos de Al nos solos estudados, dos quais dois ou mais podem ter atuado isolada ou conjuntamente num mesmo perfil: (1) efeito da filtração físico-mecânica nos poros do solo devido às mudanças abruptas no tamanho dos mesmos imposta pelo acamamento compacto e natural dos sedimentos, tal como relatado por Wiechmann (1975) apud Sauer et al. (2007). A observação Figura 5.4a torna evidente esse efeito da imobilização da matéria orgânica pela redução do espaço poroso, o qual é oriundo da deposição seletiva e orientação de minerais pesados de menor dimensão em relação aos dominantes (quartzo), promovendo uma redução

abrupta e significativa da porosidade. Embora menos expressivos, as diferenças de porosidade nos sedimentos (Figura 5.6p) pode também atuar na precipitação da matéria orgânica iluviada devido à redução da permeabilidade, tal como relatado por De Coninck (1980) e Buurman e van Reeuwijk (1984), bem como favorecer a cimentação dos horizontes espódicos pela íntima associação e continuidade entre as fases envolvidas (McKEAGUE; WANG; 1980); (2) efeito do aumento do pH com a profundidade, diferente daquele em que os complexos organo-metálicos foram mobilizados (DE CONINCK, 1980; GUSTAFSSON et al., 1995), conduzindo à precipitação da matéria orgânica iluviada devido ao seu ponto isoelétrico ter sido alcançado (MATTSON; LÖNNERMARK, 1939 apud LUMDSTRÖM, van BREEMEN; BAIN, 2000). Quando presentes nos perfis, valores de pH próximos ou acima de 5 são comuns nos horizontes C sotopostos aos espódicos para a maioria dos solos estudados no capítulo 2 deste trabalho; (3) efeito filtrante e seletivo das raízes, precipitando a matéria orgânica iluviada no seu entorno após absorção seletiva da água e nutrientes, condutora dos complexos organo-metálicos solúveis, tal como argumentado anteriormente; e (4) efeito da incorporação adicional de cátions durante a iluviação de complexos organo-metálicos no perfil (MACKEAGUE; ROSS; GAMBLE, 1978 apud SAUER et al., 2007; DE CONINCK, 1980). Com isso, a relação metal/carbono aumenta à medida que os complexos migram no perfil, o que leva à precipitação pela formação de agregados maiores originados da neutralização das cargas e polimerização da matéria orgânica iluviada (DE CONINCK, 1980). O aumento da relação metal/carbono em profundidade (Tabela 5.3) parece indicar que tal mecanismo é ativo em todos os perfis estudados. Os maiores valores da relação são observados nos horizontes Bs e Bsm, parcial e possivelmente devido a ação do pirofosfato sobre formas inorgânicas de alumínio, tal como argumentado no capítulo 4 deste trabalho e evidenciado por Kaiser e Zech (1996). De fato, Higashi, De Coninck e Gelaude (1981) afirmaram que parece impossível que a matéria orgânica do solo possa unir a íons metálicos numa relação metal/carbono superior a 0,12. A relação de metais extraídos pelo pirofosfato em relação ao carbono orgânico ($Al_p + Fe_p / C$) excedeu o valor de 0,12 em todas as amostras de horizontes espódicos Bs e Bsm aqui estudados (Tabela 5.3). O conteúdo total de carbono orgânico nessas amostras não é suficiente para complexar Fe e Al extraídos pelo pirofosfato. Isso sugere que esse extrator remove formas minerais de Al e/ou Fe. Interpretação similar pode ser observada nos trabalhos de Childs, Parfitt e Lee (1983) e Lee, Yuan e Carlisle (1988). Os autores evidenciaram que os metais presentes em amostras de horizontes espódicos, sobretudo Al,

excedia a capacidade da matéria orgânica em complexar o cátion. Assim, outras formas do elemento, que não exclusivamente aquela associada à matéria orgânica, estavam presentes naqueles horizontes, tal como encontramos aqui nos horizontes Bs e Bsm, que comprovadamente apresentaram formas inorgânicas de Al.

Tabela 5.3 – Dados químicos e granulométricos dos perfis estudados

(continua)

Hor. ¹	Prof. ²	Granulometria ³				C	pH	SB	Al ³⁺	T	V	m	Fe _d	Fe _o	Fe _p	Al _o	Al _p	Fe _p / Fe _d ⁴	Al _o / Al _p ⁵	Me/ C ⁶	
		AG	AF	Silte	Arg																
cm		-----g kg ⁻¹ -----				---cmol _c kg ⁻¹ ---			---%---	-----g kg ⁻¹ -----											
BERTIOGA - Perfil P3 – ESPODOSSOLO FERRIHUMILÚVICO Órtico, A moderado, textura arenosa, bem drenado																					
A1	0-6	24	846	90	40	36,52	4,2	2,8	0,4	12,9	22	12	0,22	0,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,3	0,0	0,002
A2	6-13	48	908	24	20	13,33	4,4	1,0	0,8	4,1	25	42	0,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,000	
EA	13-25	28	942	10	20	2,12	4,6	1,0	0,0	1,7	57	14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,000	
E1	25-71	16	956	8	20	0,61	5,7	1,0	0,0	1,1	98	1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,000	
E2	106-180	92	882	6	20	0,30	5,5	1,0	0,0	1,0	100	2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,000	
EB	94-113	74	900	6	20	1,21	5,3	1,0	0,0	1,8	56	9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,000	
BE1	71-82	56	726	138	80	8,78	5,2	1,3	1,0	6,8	20	42	0,00	0,00	0,00	0,47	0,47	0,0	1,0	0,053	
BE2	73-91	80	718	142	60	18,17	4,6	1,1	2,3	13,0	8	69	0,00	0,00	0,00	1,49	1,46	0,0	1,0	0,080	
Bh1	82-119	98	840	42	20	19,69	4,3	1,0	2,5	13,4	8	71	0,00	0,00	0,00	1,45	1,49	0,0	1,0	0,075	
Bh2	107-125	84	870	26	20	11,51	4,5	1,0	1,7	9,2	11	63	0,00	0,00	0,00	0,89	0,86	0,0	1,0	0,074	
Bh3	135-170	...	...	...	...	11,81	4,5	1,0	1,9	8,6	12	65	0,00	0,00	0,00	0,73	0,81	0,0	0,9	0,069
Bhm1	89-125	98	806	76	20	36,52	4,2	1,0	4,0	24,2	4	80	0,00	0,00	0,00	3,11	3,27	0,0	0,9	0,090	
Bhm2	120-142	92	778	70	60	22,72	4,7	0,9	1,9	16,7	5	68	0,00	0,00	0,00	4,44	4,83	0,0	0,9	0,213	
Bs1	107-125	108	864	8	20	5,45	4,8	1,0	0,7	5,7	17	41	0,00	0,00	0,00	0,87	0,86	0,0	1,0	0,157	
Bs2	125-180	86	876	18	20	4,24	5,2	0,8	0,4	5,5	15	31	0,16	0,12	0,10	3,21	1,91	0,6	1,7	0,473	
Bsm1	122-144	92	816	72	20	19,99	4,6	1,0	2,4	14,9	7	70	0,09	0,00	0,00	2,64	2,87	0,5	0,9	0,146	
Bsm2	153-180	72	868	40	20	8,18	5,2	1,0	0,4	8,2	12	30	0,09	0,00	0,00	6,17	3,20	0,0	1,9	0,391	
Bsm3	132-170	106	834	40	20	11,02	4,6	1,2	0,8	11,5	10	40	0,00	0,00	0,00	4,05	2,82	0,0	1,4	0,256	
Bsm4	157-180	78	860	42	20	15,75	4,8	0,9	1,4	12,3	8	61	0,19	0,19	0,14	4,45	3,20	0,7	1,4	0,212	
Plácico	..	...	...	...	...	35,89	4,1	1,0	4,0	25,8	4	81	0,24	0,19	0,19	3,83	3,99	0,8	1,0	0,116

Tabela 5.3 – Dados químicos e granulométricos dos perfis estudados

Hor. ¹	Prof. ²	Granulometria ³				C	pH	SB	Al ³⁺	T	V	m	Fe _d	Fe _o	Fe _p	Al _o	Al _p	Fe _p /Fe _d ⁴	Al _o /Al _p ⁵	Me/C ⁶
		AG	AF	Silte	Arg															
		cm	g kg ⁻¹			cmol _c kg ⁻¹			%		g kg ⁻¹									
BERTIOGA - Perfil P6 – ESPODOSSOLO HUMILÚVICO Órtico espessarênico, A moderado, textura arenosa, acentuadamente/imperfeitamente drenado																				
A	0-15	54	894	32	20	5,35	4,6	0,4	0,0	2,3	16	25	0,14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,000
AE	15-41	50	924	6	20	1,89	4,2	0,4	0,0	1,4	30	14	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,000
EA	41-71	46	926	8	20	1,26	4,6	0,3	0,0	0,4	72	11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,000
E	71-153	26	950	4	20	1,30	5,5	0,3	0,0	0,4	72	3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,000
Bhg	153-156	8	808	104	80	7,56	4,5	0,7	0,7	5,4	13	49	0,00	0,00	0,00	0,29	0,32	0,0	0,9	0,042
Bh1	156-165	10	800	110	80	39,04	3,8	1,6	4,2	24,5	6	72	0,00	0,00	0,00	1,79	1,83	0,0	1,0	0,047
Bhm1	156-205	16	848	96	40	51,00	3,8	0,5	5,0	31,7	2	91	0,00	0,00	0,00	2,38	2,43	0,0	1,0	0,048
Bhm2	158-205	30	874	76	20	38,41	3,9	0,5	3,7	22,8	2	88	0,00	0,00	0,00	2,75	3,03	0,0	0,9	0,079
Bh2	165-205	46	900	34	20	15,74	4,2	0,4	1,8	12,7	3	83	0,00	0,00	0,00	1,75	1,87	0,0	0,9	0,119
BERTIOGA - Perfil P9 – ESPODOSSOLO HUMILÚVICO Hidromórfico dúbico, A moderado, textura arenosa, muito mal drenado																				
O	0-7	...	...	...	...	79,96	3,6	8,6	6,4	98,0	9	42	1,14	0,84	0,84	1,15	1,28	0,7	0,9	0,027
A	7-12	...	...	...	...	17,00	3,7	2,6	4,2	58,0	5	62	0,17	0,15	0,15	0,34	0,42	0,9	0,8	0,034
AE	12-17	12	842	126	20	29,59	3,9	0,4	1,3	10,4	4	74	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,000
E	17-32	2	976	12	10	4,41	4,7	0,6	0,0	1,0	59	28	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,000
BE	27-40	2	958	30	10	7,56	4,6	0,2	1,3	4,3	4	87	0,00	0,00	0,00	0,29	0,29	0,0	1,0	0,038
Bh1	37-53	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Bhm	46-89	4	920	56	20	27,70	3,8	0,8	4,5	19,3	4	85	0,11	0,00	0,00	1,91	2,18	0,0	0,9	0,079
Bh2	89-106	16	924	50	10	10,70	4,1	0,1	2,6	11,1	1	95	0,00	0,00	0,00	1,26	1,26	0,0	1,0	0,118
Bh3	106-130	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
BERTIOGA - Perfil P10 – ESPODOSSOLO HUMILÚVICO Hidromórfico espessarênico, A moderado, textura arenosa, mal drenado																				
A	0-7	40	684	216	60	67,37	3,9	1,9	2,6	17,9	11	57	0,50	0,36	0,25	0,32	0,20	0,5	1,6	0,007
AE	7-11	34	894	52	20	20,46	4,1	0,7	2,4	9,6	7	77	0,08	0,00	0,00	0,26	0,00	0,0	0,0	0,000
EA	11-30	8	958	24	10	8,81	4,2	0,3	0,7	3,4	8	70	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,000
E	18-48	6	980	4	10	1,26	4,9	0,4	1,4	0,6	62	79	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,103
EB	35-74	12	970	8	10	1,57	4,7	0,6	1,6	1,7	33	74	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,000
BE	60-83	10	978	2	10	4,09	4,5	0,1	0,8	3,1	5	84	0,14	0,00	0,00	0,26	0,13	0,0	2,0	0,032
Bh1	83-103	28	920	42	10	15,11	3,9	0,2	4,3	12,2	1	97	0,00	0,00	0,00	0,21	0,66	0,0	0,3	0,044
Bh2	90-117	28	934	28	10	19,52	4,1	0,1	4,5	17,4	0	99	0,12	0,00	0,00	0,78	1,23	0,0	0,6	0,063
Bhm	117-150	22	930	28	20	18,57	4,1	0,1	4,7	12,0	0	99	0,00	0,00	0,00	0,84	1,38	0,0	0,6	0,074

Tabela 5.3 – Dados químicos e granulométricos dos perfis estudados

(continuação)

Hor. ¹	Prof. ²	Granulometria ³				C	pH	SB	Al ³⁺	T	V	m	Fe _d	Fe _o	Fe _p	Al _o	Al _p	Fe _p /Fe _d ⁴	Al _o /Al _p ⁵	Me/C ⁶
		AG	AF	Silte	Arg															
		-----g kg ⁻¹ -----				---cmol _c kg ⁻¹ ---				----%----		-----g kg ⁻¹ -----								
CANANÉIA - Perfil P29 – ESPODOSSOLO HUMILÚVICO Órtico dúrico, A fraco, textura arenosa, imperfeitamente drenado																				
A	0-14	24	734	202	40	64,52	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0	0,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,000
E	14-60	6	962	22	10	2,16	4,9	0,6	0,0	0,9	63	6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,000
Bh	47-70	8	854	98	40	36,12	3,8	1,4	3,4	21,4	7	71	0,00	0,00	0,00	1,06	1,30	0,0	0,8	0,036
Bhm1	60-87	10	860	90	40	50,94	3,7	0,8	5,0	28,7	3	87	0,00	0,00	0,00	1,87	1,98	0,0	0,9	0,039
Bhm2	87-104	16	908	56	20	18,52	4,4	0,2	...	12,8	1	...	0,00	0,00	0,00	2,17	2,30	0,0	0,9	0,124
Bs	104-115	40	920	20	20	9,11	4,6	0,1	...	8,1	2	...	0,00	0,00	0,00	1,88	1,98	0,0	0,9	0,217
CANANÉIA - Perfil P30 – ESPODOSSOLO HUMILÚVICO Órtico dúrico, A fraco, textura arenosa, imperfeitamente drenado																				
O	10-0	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	1,49	0,71	0,33	0,89	0,98	0,2	0,9	...
A	0-10	26	798	156	20	33,50	4,1	0,5	0,5	6,3	8	51	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,000
E	10-18	2	962	26	10	2,78	4,9	0,4	0,0	0,9	39	8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,000
Bhg	18-40	4	770	146	80	33,03	3,7	0,3	2,9	17,0	2	90	0,08	0,00	0,00	0,82	0,75	0,0	1,1	0,023
Bh	33-44	16	780	124	80	46,93	3,7	0,6	4,7	26,0	2	89	0,00	0,00	0,00	1,89	2,01	0,0	0,9	0,043
Bhm	40-76	4	870	86	40	42,30	4,1	0,5	1,4	27,1	2	72	0,00	0,00	0,00	3,95	4,62	0,0	0,9	0,109
ILHA DO CARDOSO – Perfil C14 – ESPODOSSOLO FERRIHUMILÚVICO Hidromórfico típico, A moderado, textura arenosa, moderadamente drenado																				
A	0-15	10	950	0	40	35,8	4,3	2,3	8,5	18,5	12	79	0,15	0,00	0,08	0,19	0,17	0,5	1,1	0,007
AE	15-20	0	980	0	20	2,21	4,3	0,3	2,2	4,6	7	87	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,6	2,9	0,022
E	20-50	0	980	10	10	0,32	5,0	0,5	0,6	1,7	29	55	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	2,3	0,069
Bhs1	50-58	0	920	0	80	37,38	4,0	0,7	19,6	35,7	2	97	0,06	0,00	0,08	1,48	1,92	1,3	0,8	0,053
Bhs2	58-75	0	910	0	90	64,21	4,0	1,1	33,4	61,9	2	97	0,15	0,00	0,00	4,38	5,04	0,3	0,9	0,079
Bhs3	75-100	0	920	10	70	17,49	4,8	0,9	10,1	19,7	4	92	0,86	0,53	0,52	5,60	4,96	0,6	1,1	0,313
Bs1	100-120	0	910	30	60	9,78	4,8	1,2	5,0	10,5	12	80	0,66	0,56	0,64	4,58	3,54	1,0	1,3	0,427
Bs2	120-160	0	930	20	50	6,72	5,0	0,7	4,4	8,7	8	87	0,62	0,47	0,51	3,06	2,18	0,8	1,4	0,400
Bs3	160-180	0	940	10	50	4,27	4,6	1,2	3,6	8,0	15	75	0,38	0,37	0,48	2,17	1,68	1,3	1,3	0,507
Bs4	180-210	10	890	60	40	3,60	4,0	0,2	0,8	1,7	12	80	0,29	0,15	0,24	2,15	1,20	0,8	1,8	0,401
C	210-125	30	870	40	60	1,62	4,2	0,2	0,7	2,2	10	77	0,22	0,07	0,14	1,24	0,67	0,6	1,8	0,501

Tabela 5.3 – Dados químicos e granulométricos dos perfis estudados

Hor. ¹	Prof. ²	Granulometria ³				C	pH	SB	Al ³⁺	T	V	m	Fe _d	Fe _o	Fe _p	Al _o	Al _p	(conclusão)		
		AG	AF	Silte	Arg													Fe _p /Fe _d ⁴	Al _o /Al _p ⁵	Me/C ⁶
cm		g kg ⁻¹				cmol _c kg ⁻¹				%		g kg ⁻¹								
ILHA DO CARDOSO – Perfil H13 – ESPODOSSOLO FERRIHUMILÚVICO Hidromórfico hístico, textura arenosa, mal drenado																				
Ho	0-10	...	...	...	319,20	3,8	12	62,9	134,0	9	84	0,94	0,52	0,46	0,77	1,14	0,5	0,7	0,005	
Hd	10-20	...	...	...	241,40	4,0	3,0	52,6	105,3	3	95	0,21	0,10	0,16	0,43	0,68	0,7	0,6	0,003	
E	20-38	10	960	0	30	4,68	4,2	0,7	9,0	17,7	4	93	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,2	0,0	0,009
Bhsj1	38-55	0	970	0	30	30,29	4,3	0,5	1,3	2,9	16	73	0,13	0,00	0,11	1,20	1,34	0,9	0,9	0,048
Bhsj2	55-75	0	960	0	40	15,50	3,3	0,4	13,3	23,7	2	97	0,36	0,19	0,25	0,88	1,00	0,7	0,9	0,081
Bhsj3	75-130	10	940	10	40	8,84	3,2	0,6	9,1	15,8	4	94	0,46	0,33	0,42	0,91	0,93	0,9	1,0	0,153
Cgj	130-165	0	900	60	40	2,01	3,3	0,2	8,0	12,5	2	97	1,01	0,78	0,71	0,47	0,26	0,7	1,8	0,482
ILHA DO CARDOSO – Perfil J14 – ORGANOSSOLO TIOMÓRFICO Sáprico espódico, muito mal drenado																				
Hd1	0-20	...	...	...	387,04	3,7	6,7	87,6	176,6	4	93	0,44	0,38	0,29	1,30	1,62	0,7	0,8	0,005	
Hd2	20-50	...	...	...	442,03	3,8	5,9	78,6	158,1	4	93	0,37	0,30	0,24	0,94	1,16	0,7	0,8	0,003	
Hd3	50-60	...	...	...	416,96	3,9	2,4	41,9	82,7	3	95	0,15	0,08	0,10	0,49	0,68	0,7	0,7	0,002	
Hd4	60-70	...	...	...	206,03	3,7	1,4	48,4	92,7	2	97	0,09	0,04	0,06	2,23	3,00	0,7	0,7	0,015	
Bhsj1	70-100	0	970	0	30	16,12	3,1	0,3	13,4	22,0	2	98	0,58	0,46	0,59	1,06	1,30	1,0	0,8	0,118
Bhsj2	100-130	0	940	0	60	20,61	3,2	0,7	16,1	27,0	3	96	0,83	0,79	0,70	1,72	1,72	0,8	1,0	0,117

Nota – Sinais convencionais utilizados:

... Dado numérico não disponível

.. Não se aplica

¹ Hor. = Horizonte

² Prof. = Profundidade

³ AG = grossa (0,25 a 2 mm); AF = fina (0,05-0,25 mm); Arg = argila (<0,002 mm)

⁴ Fe_p/Fe_d = relação entre os teores de ferro extraídos com pirofosfato (Fe_p) e ditionito-citrato (Fe_d)

⁵ Al_o/Al_p = relação entre os teores de alumínio extraídos com oxalato (Al_o) e pirofosfato (Al_p)

⁶ Me/C = relação Al_p+Fe_p / carbono orgânico

5.3 Conclusões

1. A micromorfologia, suportada pela química, indicou que a matéria orgânica da maioria dos horizontes espódicos estudados é dominada por material iluvial, corroborando o trabalho de Buurman e Jongmans (2005). Segundo os autores, a lenta dinâmica da matéria orgânica que ocorre nos materiais parentais pobres em nutrientes e sujeitos a condições de hidromorfismo, favorece sua acumulação no horizonte B e uma maior abundância de revestimentos derivados de carbono orgânico iluviado. Tais condições são típicas dos Espodossolos tropicais e da maioria dos solos aqui estudados;
2. A micromorfologia também evidenciou que a decomposição de raízes é o principal mecanismo de acumulação de carbono em horizontes espódicos sotopostos aos hísticos, em solos sujeitos a fortes condições hidromorfismo. Nesses solos (Espodossolos e Organossolos) a participação de raízes aumentou com a profundidade dos horizontes espódicos. Tais resultados divergem do trabalho supracitado. Buurman e Jongmans (2005) encontraram evidências micromorfológicas de que o principal mecanismo de acumulação de matéria orgânica em horizontes B espódicos mal drenados foi a sua mobilização, transporte e precipitação durante o processo de podzolização, enquanto que, nos bem drenados, a decomposição de raízes foi a responsável pela acumulação da matéria orgânica em profundidade;
3. A presença de horizontes hísticos sotopostos aos espódicos, cuja gênese aparentemente é independente, assíncrona e mais hodierna em relação à dos espódicos, propiciou as condições adequadas ao desenvolvimento radicular, atividade da mesofauna e microbiológica nos horizontes pobres, mal drenados e minerais sotopostos, acumulando matéria orgânica e originando os horizontes espódicos. Nesses, a clássica teoria podzolização, a qual envolve a mobilização, o transporte e a precipitação de matéria orgânica iluvial, foi também evidenciada nas observações micromorfológicas: revestimentos orgânicos monomórficos estavam presentes, típicos de iluviação, aclarando que os dois processos, queluviação e decomposição de raízes, são efetivos na formação desses horizontes;
4. A participação de raízes, no entanto, vai além do clássico modelo de sua decomposição na formação dos horizontes espódicos e Espodossolos. A micromorfologia, com ênfase aos tipos e fábrica característica das áreas sob influência de raízes de um horizonte cimentado (perfil P9), convergiu para a seguinte interpretação sobre um possível e inédito mecanismo de podzolização:

as raízes reconhecidamente funcionam como uma bomba seletiva, absorvendo água e nutrientes, a qual pode veicular carbono orgânico dissolvido. A absorção seletiva da água e nutrientes faz com que o carbono dissolvido segregue no seu entorno durante a atividade radicular. A continuidade do processo conduz à desidratação do material orgânico segregado e sua precipitação devido à secagem preferencial do entorno das raízes (absorção) em relação às demais áreas do solo livres da interferência radicular;

5. Além desse mecanismo de imobilização, cuja relevância necessita de maiores investigações, três outros podem estar relacionados à deposição de matéria orgânica iluvial nos solos estudados: (a) efeito de filtragem físico-mecânica nos poros do solo devido às mudanças abruptas no tamanho dos mesmos, imposta pela estratificação natural dos sedimentos com empacotamentos localmente mais densos; (b) efeito do aumento do pH com a profundidade, conduzindo à precipitação da matéria orgânica iluviada quando seu ponto isoelétrico é alcançado; e (c) efeito da incorporação adicional de cátions, sobretudo de alumínio, durante a iluviação de complexos organo-metálicos no perfil.

Referências

ANDRIESSE, J.P. A study of the environment and characteristics of tropical podzols in Sarawak (east-Malaysia). **Geoderma**, Amsterdam, v. 2, p. 201-227, 1968/1969.

BARDY, M.; FRITSCH, E.; DERENNE, S.; ALLARD, T.; NASCIMENTO, N.R.; BUENO, G.T. Micromorphology and spectroscopic characteristics of organic matter in waterlogged podzols of the upper Amazon basin. **Geoderma**, Amsterdam, v. 145, p. 222-230, 2008.

BRANDON, C.E.; BUOL, S.W.; GAMBLE, E.E.; POPE, R.A. Spodic horizon brittleness in Leon (Aeric Haplaquod) soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 41, p. 951-954, 1977.

BRONICK, C.J.; MOKMA, D.L.; LI, H.; BOYD, S.A. Recementation of Crushed Ortstein by Blueberry Leaf Extract. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 68, p. 558-561, 2004.

BULLOCK, P.; FEDOROFF, N.; JONGERIUS, A.; STOOPS, G.; TURSINA, T. **Handbook for soil thin section description**. Albrighton: Waine Research Publication, 1985. 152p.

BUURMAN, P.; JONGMANS, A.G. Podzolisation and soil organic matter dynamics. **Geoderma**, Amsterdam, v. 125, p. 171-183, 2005.

BUURMAN, P.; JONGMANS, A.G.; NIEROP, K.G.J. Comparison of Michigan and Dutch podzolized soils: organic matter characterization by micromorphology and pyrolysis-GC/MS. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 72, p. 1344-1356, 2008.

BUURMAN, P.; LAGEN, B.; VELTHORST, E.J. **Manual of soil and water analysis**. Leiden: Backhuys Publishers Leiden, 1996. 314p.

BUURMAN, P.; van BERGEN, P.F.; JONGMANS, A.G.; MEIJER, E.L.; DURAN, B.; van LAGEN, B. Spatial and temporal variation in podzol organic matter studied by pyrolysis-gas chromatography/mass spectrometry and micromorphology. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v. 56, p. 253-270, 2005.

BUURMAN, P.; van REEUWIJK, L.P. Proto-imogolite and the process of Podzol formation: a critical note. **Journal of Soil Science**, Tokyo, v. 35, p. 447-452, 1984.

CASTRO, S.S.; COOPER, M.; SANTOS, M.R.; VIDAL-TORRADO, P. Micromorfologia do solo: bases e aplicações. In: CURI, N.; MARQUES, J.J.; GUILHERME, L.R.G.; LIMA, J.M.; LOPES, A.S.; ALVAREZ, V.H. (Ed.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do solo, 2003. v.3. p. 107-164.

CHILDS, C.W.; PARFITT, R.L.; LEE, R. Movement of aluminium as an inorganic complex in some podzolized soils, New Zealand. **Geoderma**, Amsterdam, v. 29, p.139-155, 1983.

DE CONINCK, F. Major mechanisms in formation of spodic horizons. **Geoderma**, Amsterdam, v. 24, p. 101-126, 1980.

DE CONINCK, F.; RIGHI, D.; MAUCORPS, J.; ROBIN, A.M. Origin and micromorphology nomenclature of organic matter in sandy spodosols. In: RUTHEFORD, G.K. (Ed.). **Soil microscopy**. Ontario: Limestone Press, 1974. p. 263-273.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa em Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. 212p.

FARMER, V.C. Significance of the presence of allophane and imogolite in podzol Bs horizons for podzolization mechanisms: a review. **Soil Science and Plant Nutrition**, Tokyo, v. 28, p. 571-582, 1982.

FARMER, V.C.; RUSSEL, J.D.; BERROW, M.L. Imogolite and proto-imogolite allophane in spodic horizons: evidence for a mobile aluminium silicate complex in Podzol formation. **Journal of Soil Science**, Oxford, v. 31, p. 673-684, 1980.

FARMER, V.C.; RUSSEL, J.D.; SMITH, B.F.L. Extraction of inorganic forms of translocated Al, Fe and Si from a podzol Bs horizon. **Journal of Soil Science**, Oxford, v. 34, p. 571-576, 1983.

FARMER, V.C.; SKJEMSTAD, J.O.; THOMPSON, C.H. Genesis of humus B horizons in hydromorphic humus podzols. **Nature**, London, v. 304, p. 342-344, 1983

FITZPATRICK, E.A. **Soil microscopy and micromorphology**. Chichester: John Wiley, 1993. 304p.

GOMES, F.H. **Gênese e classificação de solos sob vegetação de restinga na Ilha do Cardoso-SP**. 2005. 107p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

GOMES, J.B.V.; RESENDE, M.; REZENDE, S.B.; SÁ-MENDONÇA, E. de. Solos de três áreas de restinga. I. Morfologia, caracterização e classificação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 33, p. 1907-1919, 1998.

GUSTAFSSON, J.P.; BATTACHARYA, P.; BAIN, D.C.; FRASER, A.R.; McHARDY, W.J. Podzolisation mechanisms and the synthesis of imogolite in northern Scandinavia. **Geoderma**, Amsterdam, v. 66, p. 167-184, 1995.

HEES, P.A.W.; LUNDSTRÖM, U.S.; GIESLER, R. Low molecular weight organic acids and their Al complexes in soil solution-composition, distribution and seasonal variation in three podzolized soils. **Geoderma**, Amsterdam, v. 94, p. 173-200, 2000.

HIGASHI, T.; DE CONINCK, F.; GELAUDE, F. Characterization of some spodic horizons of the Campine (Belgium) with dithionite-citrate, pyrophosphate and sodium hydroxide-tetraborate. **Geoderma**, Amsterdam, v. 25, p. 131-142, 1981.

HOLGREN, G.G.S. A rapid citrate-dithionite extractable iron procedure. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v. 31, p. 210-211, 1967.

JARDINE, P.M.; WEBER, N.L.; MCCARTHY, J.F. Mechanisms of dissolved organic carbon adsorption on soil. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 53, p. 1378-1385, 1989.

JEANROY, E.; GUILLET, B. The occurrence of suspended ferruginous particles in pyrophosphate extracts of some soil horizons. **Geoderma**, Amsterdam, v. 26, p. 95-106, 1981

KACZOREK, D.; SOMMER, M.; ANDRUSCHKEWITSCH, L.; OKTABÁ, L.; CZERWINSKI, Z.; STAHR, K. A comparative micromorphological and chemical study of “Raseneisenstein” (bog iron ore) and “Orstein”. **Geoderma**, Amsterdam, v. 121, p. 83-94, 2004.

KAISER, K.; ZECH, W. Defects in estimation of aluminum in humus complexes of podzolic soils by pyrophosphate extraction. **Soil Science**, Philadelphia, v. 161, p. 452-458, 1996.

KOOPMAN, G.J. “Waterhard”: a hard brown layer in sand below peat, The Netherlands. **Geoderma**, Amsterdam, v. 42, p. 147-157, 1988.

LEE, F.Y.; YUAN, T.L.; CARLISLE, V.W. Nature of cementing materials in ortstein horizons of selected Florida Spodosols: I. Constituents of cementing materials. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 52, p. 1411-1418, 1988a.

LEE, F.Y.; YUAN, T.L.; CARLISLE, V.W. Nature of cementing materials in ortstein horizons of selected Florida Spodosols: II. Soil properties and chemical forms of aluminium. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 52, p. 1796-1801, 1988b.

LUMDSTRÖM, U.S.; van BREEMEN, N.; BAIN, D. The podzolization process. A review. **Geoderma**, Amsterdam, v. 94, p. 91-107, 2000.

MARTINS, S.E.; ROSSI, L.; SAMPAIO, P.S.P.; MAGENTA, M.A.G. Caracterização florística de comunidades vegetais de restinga em Bertiooga, SP, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, Porto Alegre, v. 22, p. 249-274, 2008.

MELO, M.R.F.; MANTOVANI, W. Composição florística e estrutura fitossociológica da mata atlântica de encosta na Ilha do Cardoso (Cananéia, SP, Brasil). **Boletim do Instituto de Botânica**, São Paulo, v. 9, p. 107-158, 1994.

MOREIRA, M.G. **Associações entre os solos, os ambientes sedimentares quaternários e as fitofisionomias da planície costeira e baixa encosta nas bacias dos rios Itaguapé e Guaratuba (Bertiooga-SP)**. 2007. 157p. Dissertação (Mestrado em Biodiversidade e Meio Ambiente) – Instituto de Botânica da Secretaria de Estado do Meio Ambiente, 2007.

MAcHARDY, W.J.; ROBERTSON, L. An optical, scanning electron microscopic and microanalytical study of cementation in some podzols. **Geoderma**, Amsterdam, v. 30, p. 161-170, 1983.

MAcKEAGUE, J.A.; WANG, C. Micromorphology and energy dispersive analysis of ortstein horizons of podzolic soils from New Brunswick and Nova Scotia, Canada. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v. 60, p. 9-21, 1980.

OLIVEIRA, J.B.; JACOMINE, P.K.T.; CAMARGO, M.N. **Classes gerais de solos do Brasil: guia auxiliar para seu reconhecimento**. 2.ed. Jaboticabal: FUNEP, 1992. 201p.

PAGÉ, F.; GUILLET, B. Formation of loose and cemented B horizons in Podzolic soils: evaluation of biological actions from micromorphological features, C/N values and ¹⁴C datings. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v. 71, p. 485-494, 1991.

PARFITT, R.L.; CHILDS, C.W. Estimation of forms of Fe and Al: a review, and analysis of contrasting soils by dissolution and Mossbauer methods. **Australian Journal of Soil Research**, Melbourne, v. 26, p. 121-144, 1988.

PETRI, S.; FÚLFARO, V.J. Nota sobre a geologia e terraços marinhos da Ilha do Cardoso. **Notícias Geomorfológicas**, Campinas, v. 10, p. 21-31, 1970.

- PHILLIPS, D.H.; FITZPATRICK, E.A. Biological influences on the morphology and micromorphology of selected Podzols (Spodosols) and Cambisols (Inceptisols) from the eastern United States and north-east Scotland. **Geoderma**, Amsterdam, v. 90, p. 327-364, 1999.
- ROSSI, M. **Fatores formadores da paisagem litorânea: A bacia do Guaratuba, São Paulo, Brasil**. 1999. 168p. Tese (Doutorado em Geografia Física) – Faculdade de Filosofia, Licenciatura, Ciências e Letras, Universidade de São Paulo, São Paulo. 1999.
- SAUER, D.; SPONAGEL, H.; SOMMER, M.; GIANI, L.; JAHN, R.; STAHR, K. Review article – Podzol: Soil of the year 2007 – A review on its genesis, occurrence, and functions. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, Weinheim, v. 170, p.581-597, 2007.
- SETZER, J. **Atlas climático e ecológico do Estado de São Paulo**. São Paulo: Centrais Elétricas de São Paulo, 1966. 61p
- SUGUIO, K.; MARTIN, L. Formações quaternárias marinhas do litoral paulista e sul fluminense. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON COASTAL EVOLUTION IN THE QUATERNARY, 1978, São Paulo. **Anais...**São Paulo: IGCB/IG-USP; SBG, 1978. 55p. Special Publication (1).
- SUGUIO, K.; TESSLER, M.G. Planícies de cordões litorâneos quaternários do Brasil: origem e nomenclatura. In: LACERDA, L.D.; ARAÚJO, D.S.D.; CERQUEIRA, R.; TURQ, B. **Restingas: origem, estrutura e processos**. Niterói: CEUFF, 1984. p. 15-26.
- TWISS, P.C. Predicted world distribution of C₃ and C₄ grass phytoliths. In: RAPP, G.J.; MULHOLLAND, S.C. (Ed.). **Phytolith systematics. Emerging issues. Advances in archaeological and museum science**. New York: Plenum Press, 1992. v.1. p. 113-128.
- VAL LEGAZ, R. M.; HERRERO, J.I. Suelos podsólicos y podsoles de la Sierra de Urbasa. 2. Mineralogía de las arcillas, micromorfología y génesis. **Anales de Edafología y Agrobiología**, Madrid, v. 40, p. 395-409, 1981.
- van BREEMEN, N.; BUURMAN, P. **Soil Formation**. 2nd ed. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2002. 404p.
- VILLWOCK, J.A.; LESSA, G.C.; SUGUIO, K.; ANGULO, R.J.; DILLENBURG, S.R. Geologia e geomorfologia de regiões costeiras. In: SOUZA, C.R.G., C.R.G.; SUGUIO, K.; OLIVEIRA, A.M.S.; OLIVEIRA, P.E. (Ed.). **Quaternário do Brasil**. Ribeirão Preto: Holos, 2005. cap. 5, p. 94-113.
- WANG, C.; BEKE, G.J.; MACKEAGUE, J. A. Site characteristics, morphology and physical properties of selected ortstein soils from the Maritime provinces. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v. 58, p. 405-420, 1978.
- WU, S.P.; CHEN, Z, S. Characteristics and genesis of Inceptisols with placic horizons in the subalpine forest soils of Taiwan. **Geoderma**, Amsterdam, v. 125, p. 331-341, 2005.

APÊNDICE

APÊNDICE – Descrição Morfológica e Classificação dos Solos

DESCRIÇÃO GERAL

PERFIL – P1

DATA – 29/09/2006

CLASSIFICAÇÃO (SiBCS, 2006) – NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico típico, A moderado, excessivamente drenado

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS – Perfil localizado próximo ao pesqueiro Lagoa do Robalo, à aproximadamente 60 m do Rio Itapanhaú, Município de Bertioga, São Paulo. Coordenadas: Zona 23, Latitude sul: 383.330 km e Longitude oeste: 7.364.836 km

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL – perfil descrito em relevo plano (3 % de declive), sob vegetação de floresta alta de restinga

LITOLOGIA – sedimentos arenosos marinhos

PERÍODO – Pleistoceno – Quaternário Marinho

MATERIAL ORIGINÁRIO – sedimentos arenosos marinhos

PEDREGOSIDADE – ausente

ROCHOSIDADE – ausente

RELEVO LOCAL – plano

REGIONAL – plano

EROSÃO – ausente

DRENAGEM – excessivamente drenado

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – floresta alta de restinga

USO ATUAL – sem uso

CLIMA – Af

DESCRITO E COLETADO POR – Maurício Rizzato Coelho e Vanda Moreira Martins

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

- A1 0-8 cm, cinzento (5YR 5/1, úmido); areia; fraca pequena e média granular e grãos simples; solta, não plástica e não pegajosa; transição plana e clara.
- A2 8-25 cm, cinzento-escuro (5YR 4/1, úmido); areia; fraca muito pequena e pequena blocos subangulares que se desfazem em grãos simples; muito friável, não plástica e não pegajosa; transição plana e gradual.
- AC 25-38 cm, cinzento-avermelhado-escuro (5YR 4/2, úmido); areia; fraca média e pequena granular que se desfaz em grãos simples; muito friável, não plástica e não pegajosa; transição plana e clara.
- CA 38-(84-94) cm, bruno-avermelhado-escuro (10YR 4/6, úmido); areia; fraca, média e grande, blocos superangulares que se desfazem em grãos simples; muito friável, não plástica e não pegajosa; transição ondulada e difusa.
- C1 (84-94)-140 cm, bruno-amarelado-claro (10YR 6/4); areia; maciça que se desfaz em grãos simples; solta, não plástica e não pegajosa; transição plana e gradual.
- C2 140-160 cm, amarelo-brunado (10YR 6/6, úmido); areia; fraca grande e média blocos subangulares que se desfazem em grãos simples; muito friável e localmente firme nos locais onde há remanescente de B espódico; não plástica e não pegajosa; transição plana e gradual.
- C3 160-175 cm, amarelo-brunado (10YR 6/8, úmido); areia; grãos simples; solta, não plástica e não pegajosa; transição plana e abrupta.
- C4 175-210 cm+, amarelo-brunado (10YR 6/6, úmido); areia; grãos simples; solta, não plástica e não pegajosa.

RAÍZES - Abundantes finas, comuns médias e raras grandes nos horizontes A1 e A2; comuns finas e poucas médias no AC; comuns finas no horizonte C1; poucas finas no CA, C2 e C3 e ausente no horizonte C4.

OBSERVAÇÕES – O horizonte C3 apresenta remanescentes de horizonte B espódico, provavelmente de ortstein. Neste mesmo horizonte são encontradas estratificações descontínuas de horizonte plácico, de coloração avermelhada e amarelada. Sua espessura varia de 2 a 5 cm.

DESCRIÇÃO GERAL

PERFIL – P2

DATA – 29/09/2006

CLASSIFICAÇÃO (SiBCS, 2006) – ESPODOSSOLO FERRIHUMILÚVICO Órtico espessarênico, A moderado, textura arenosa, acentuadamente drenado

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS – Município de Bertiooga, São Paulo. Coordenadas: Zona 23, Latitude sul: 383.338 km e Longitude oeste: 7.364.831 km

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL – Perfil descrito a aproximadamente 8 metros do anterior com declive de aproximadamente 6% pendendo para o rio Itapanhaú, sob vegetação de floresta alta de restinga

LITOLOGIA – sedimentos arenosos marinhos

PERÍODO – Pleistoceno – Quaternário Marinho

MATERIAL ORIGINÁRIO – sedimentos arenosos marinhos

PEDREGOSIDADE – ausente

ROCHOSIDADE – ausente

RELEVO LOCAL – plano

REGIONAL – plano

EROSÃO – ausente

DRENAGEM – acentuadamente drenado

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – floresta alta de restinga

USO ATUAL – sem uso

CLIMA – Af

DESCRITO E COLETADO POR – Maurício Rizzato Coelho e Vanda Moreira Martins

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

- | | |
|------|--|
| A1 | 0-13 cm, cinzento muito escuro (5YR 3/1, úmida); areia; fraca pequena e média granular e grãos simples; solta, não plástica e não pegajosa; transição plana e clara. |
| A2 | 13-28 cm, cinzento (5YR 6/1, úmida); areia; fraca muito pequena granular e grãos simples; solta, não plástica e não pegajosa; transição plana e clara. |
| AE | 28-(35-63) cm, bruno (10YR 5/3, úmida); mosqueado abundante pequeno distinto cinzento-claro (5YR 7/1); areia; fraca média e pequena blocos que se desfazem em grãos simples; muito friável, não plástica e não pegajosa; transição ondulada e clara. |
| E | (35-63)-(60-82) cm, cinzento-claro (5YR 7/1, úmida), mosqueado abundante pequeno difuso cinzento-rosado (5YR 6/2, úmida); areia; grãos simples; solta, não plástica e não pegajosa; transição ondulada e abrupta. |
| EB | (60-82)-(67-84) cm, bruno (10YR 5/3, úmida), mosqueado abundante pequeno proeminente branco (5YR 8/1); areia; fraca média e pequena blocos que se desfazem em grãos simples; muito friável, não plástica e não pegajosa; transição ondulada e abrupta. |
| Bhs1 | (67-84)-(74-90) cm, bruno (10YR 5/3, úmida); areia; maciça; muito friável, não plástica e não pegajosa; transição ondulada e clara. |
| Bhs2 | (74-90)-116 cm, bruno-amarelado (10YR 5/4, úmida); areia; maciça; muito friável, não plástica e não pegajosa; transição plana e gradual. |
| Bhs3 | 116-(127-140) cm, bruno (7,5YR 5/4, úmida); areia; maciça; muito friável, não plástica e não pegajosa; transição descontínua e clara. |
| Bhs4 | 114-128 cm, bruno-amarelado-escuro (10YR 4/4, úmida); areia; maciça; firme, não plástica e não pegajosa; transição descontínua e clara. |
| Bhs5 | 128-153 cm, bruno-amarelado-claro (10YR 6/4, úmida); presença de fragmentos de ortstein de consistência úmida muito firme; areia; maciça; solta, não plástica e não pegajosa; transição descontínua e abrupta. |
| Bhs6 | 126-152 cm, bruno-amarelado (10YR 5/4, úmida) mosqueados comuns pequenos e médios distintos cinzento-claros (5YR 7/1); areia; maciça que se desfaz em grãos simples; muito friável, não plástica e não pegajosa; transição descontínua e abrupta. |
| Bhs7 | 140-200 cm, bruno-amarelado (10YR 5/4, úmida); presença de fragmentos de ortstein de consistência úmida muito firme; areia; maciça que se desfaz em grãos simples; muito friável, não |

- C1 plástica e não pegajosa; transição descontínua e abrupta.
161-180 cm, bruno muito claro-acinzentado (10YR 7/3, úmida); areia; grãos simples; solta, não plástica e não pegajosa; transição plana e clara.
- C2 180-200⁺ cm, bruno-amarelado-claro (10YR 6/4, úmida), presença de fragmentos do horizonte plácico, firme, bruno (10YR 5/3, úmida); areia; solta, não plástica e não pegajosa.

RAÍZES - abundantes finas, fasciculadas e médias A1 e A2; comuns finas e poucas médias no AE; poucas finas no E ao Bh6; raras finas no horizonte C1 e Bh7.

OBSERVAÇÕES – Presença de remanescentes do horizonte ortstein nos horizontes Bh5 e Bh7. Nível do lençol freático ocorrendo a 350 cm de profundidade.

DESCRIÇÃO GERAL

PERFIL – P3

DATA – 08/06/2006

CLASSIFICAÇÃO (SiBCS, 2006) – ESPODOSSOLO FERRIHUMILÚVICO Órtico dúrico, A moderado, textura arenosa, bem drenado

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS – Próximo ao pesqueiro Lagoa do Robalo, Município de Bertioga, São Paulo. Coordenadas: Zona 23, Latitude sul: 383.341 km e Longitude oeste: 7.364.797 km

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL – perfil descrito em superfície convexa, com ausência de cordões e relevo plano (2% de declive), sob floresta alta de restinga em fase de regeneração

LITOLOGIA – sedimentos arenosos marinhos

PERÍODO – Pleistoceno – Quaternário Marinho

MATERIAL ORIGINÁRIO – sedimentos arenosos marinhos

PEDREGOSIDADE – ausente

ROCHOSIDADE – ausente

RELEVO LOCAL – plano

REGIONAL – plano

EROSÃO – ausente

DRENAGEM – bem drenado

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – floresta alta de restinga

USO ATUAL – sem uso

CLIMA – Af

DESCRITO E COLETADO POR – Maurício Rizzato Coelho e Vanda Moreira Martins

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

- | | |
|------|--|
| A1 | 0-6 cm, bruno cinzento muito escuro (5YR 3/1, úmido); areia; fraca muito pequena e pequena granular que se desfaz em grãos simples; solta, não plástica e não pegajosa; transição plana e clara. |
| A2 | 6-13cm, coloração variegada, úmida, composta de cinzento-escuro (5YR 4/1) e branco (5YR 8/1); areia; fraca pequena e média granular e grãos simples; solta, não plástica e não pegajosa; transição plana e clara. |
| EA | 13-25 cm, cinza-brunado (5YR 6/1, úmido); areia; grãos simples; solta, não plástica e não pegajosa; transição plana e clara. |
| E1 | 25-71 cm, branco (5YR 8/1, úmido); areia; grãos simples; solta, não plástica e não pegajosa; transição plana e clara. |
| BE1 | 71-82 cm, coloração variegada, úmida, composta de cinzento (5YR 5/1) e cinzento muito escuro (5YR 3/1); areia; maciça; solta a muito friável, não plástica e não pegajosa; transição descontínua e clara. |
| BE2 | 73-91 cm, coloração variegada, úmida, composta de cinzento muito escuro (5YR 3/1, úmida) e cinzento (5YR 6/1, úmida); areia; maciça; muito friável, não plástica e não pegajosa; transição descontínua e ondulada. |
| EB | 94-113 cm, cinzento (5YR 5/1, úmida); areia; grãos simples; solta, não plástica e não pegajosa; transição descontínua e abrupta. |
| Bh1 | 82-119 cm, cinzento (5YR 3/1, úmido); areia; maciça; firme, não plástica e não pegajosa; transição descontínua e abrupta. |
| Bhm1 | 89-125 cm, bruno-avermelhado-escuro (5YR 2,5/2, úmido); areia; maciça; extremamente firme, não plástica e não pegajosa; transição ondulada e abrupta. |
| E2 | 106-180 cm, cinzento (5YR 6/1, úmido); areia; grãos simples; solta, não plástica e não pegajosa; transição descontínua e abrupta. |
| Bh2 | 107-125 cm, bruno-avermelhado-escuro (5YR 3/2, úmido); areia; maciça; muito friável, não plástica e não pegajosa; transição descontínua e abrupta. |

- Bs1 107-125 cm, bruno (7,5YR 4/2, úmido); areia; maciça; firme, não plástica e não pegajosa; transição descontínua e abrupta.
- Bhm2 120 –142, cinzento-muito-escuro (5YR 3/1, úmido); areia; maciça; extremamente firme, não plástica e não pegajosa; transição descontínua e abrupta.
- Bs2 125-180 cm, bruno-amarelado (10YR 5/6, úmida); areia; maciça; friável, não plástica e não pegajosa; transição descontínua e abrupta; presença de horizontes plácicos convolados (menor que 2 cm de espessura), de coloração bruno (5YR 4/4, úmido) e consistência úmida firme, bem espaçados entre si e ocupando menos que 5% do horizonte
- Bsm1 122-144 cm, bruno-avermelhado (5YR 4/3, úmido); areia; maciça; muito firme, não plástica e não pegajosa; transição descontínua e abrupta.
- Bsm2 153-180 cm, coloração variegada, úmida, composta de bruno-avermelhado (5YR 4/3) e bruno-avermelhado-escuro (5YR 3/3); areia; maciça; muito firme, não plástica e não pegajosa; transição plana e abrupta.
- Bsm3 132-170 cm, bruno (7,5YR 5/4, úmida); areia; maciça; muito firme, não plástica e não pegajosa; transição descontínua e abrupta.
- Bsm4 157-180 cm, bruno-avermelhado (5YR 4/3, úmida); areia; maciça; firme a muito firme, não plástica e não pegajosa; transição descontínua e abrupta; presença de estratificações estreitas (menor que 1 cm), contínuas e paralelas, distribuídas por todo o horizonte, de coloração bruno-escuro (5YR 3/1, úmido) e consistência úmida firme, bem espaçadas entre si e ocupando menos que 2% do horizonte.
- Bh3 135 –170 cm+, bruno-avermelhado-escuro (5YR 3/2, úmida); areia; maciça; friável a firme, não plástica e não pegajosa.

RAÍZES - Fasciculadas, abundantes, finas e médias, poucas grossas nos horizontes A1 e A2; poucas finas e raras médias no EA; raras finas nos horizontes E1, BE1; BE2 e Bh1; ausente nos demais horizontes.

OBSERVAÇÕES – perfil descrito e coletado em trincheira. Presença de aproximadamente 5 cm de serrapilheira (horizonte O), com restos vegetais em diferentes estádios de decomposição. A transição do horizonte E1 para o Bh se dá por uma estreita camada acinzentada de redução, descontínua com espessura média de 2cm..

DESCRIÇÃO GERAL

PERFIL – P4

DATA – 11/08/2006

CLASSIFICAÇÃO (SiBCS, 2006) – ESPODOSSOLO FERRIHUMILÚVICO Hidromórfico dúrico, A moderado, textura arenosa, imperfeitamente drenado

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS – Município de Bertiooga, São Paulo. Coordenadas: Zona 23, Latitude sul: 384.524 km e Longitude oeste: 7.364.581 km

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL – perfil descrito a aproximadamente 25 m do perfil P2, em pendente suave (6%) em direção ao mar. Poucos metros abaixo deste perfil aparece uma área permanentemente inundada, dominada por Neossolos Quartzarênicos e Gleissolos de textura média. Vegetação: floresta alta de restinga

LITOLOGIA – sedimentos arenosos marinhos

PERÍODO – Pleistoceno – Quaternário Marinho

MATERIAL ORIGINÁRIO – sedimentos arenosos marinhos

PEDREGOSIDADE – ausente

ROCHOSIDADE – ausente

RELEVO LOCAL – plano

REGIONAL – plano

EROSÃO – ausente

DRENAGEM – imperfeitamente drenado

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – floresta alta de restinga

USO ATUAL – sem uso

CLIMA – Af

DESCRITO E COLETADO POR – Maurício Rizzato Coelho e Vanda Moreira Martins

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

A	0-18 cm, cinzento-escuro (7,5YR 4/1, úmida); areia; fraca pequena blocos subangulares que se desfazem em grãos simples; solta, não plástica e não pegajosa; transição plana e gradual.
AE	18-26 cm, coloração variegada, úmida, composta de cinza (5YR 5/1) e cinzento- escuro (5YR 4/1); areia; grãos simples; solta, não plástica e não pegajosa; transição plana e clara.
EA	26-37 cm, cinzento (5YR 6/1), mosqueado pouco pequeno distinto cinzento muito escuro (5YR 3/1); areia; grão simples; solta, não plástica e não pegajosa; transição plana e clara.
E	37-50 cm, cinzento-claro (5YR 7/1, úmida); areia; grãos simples; solta, não plástica e não pegajosa; transição plana e clara.
EB	50-59 cm, coloração variegada, úmida, composta de cinzento (5YR 5/1) e cinzento- escuro (5YR 4/1); areia; grão simples; solta, não plástica e não pegajosa; transição plana e abrupta.
Bh	59-(72-82) cm, cinzento muito escuro (5YR 3/1, úmida); areia; maciça; firme, não plástica e não pegajosa; transição ondulada e abrupta.
Bhm1	95-137 cm, preto-avermelhado (2,5YR 2/1, úmida); areia; maciça; extremamente duro, extremamente firme, não plástica e não pegajosa; transição descontínua e abrupta.
Bhm2	113-150 cm, preto (5YR 2,5/1, úmida); areia franca; maciça; extremamente duro, extremamente firme, não plástica e não pegajosa; transição descontínua e abrupta.
Bs	130-160 cm+, bruno (7,5 YR 5/4, úmida); areia franca; maciça; muito friável, não plástica e não pegajosa, transição descontínua e abrupta.
Bhs1	(73-82)-134 cm, cinzento-escuro (10YR 4/1, úmida); areia; maciça; muito friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e gradual.
Bhs2	134-160+, bruno (10YR 4/3, úmida); areia; maciça; muito friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa.

RAÍZES - abundantes finas e poucas médias no horizonte A1; comuns finas e poucas médias no A2; poucas finas no AE; raras finas no EA, E, Bh; ausente nos demais horizontes.

OBSERVAÇÕES – Nível do lençol freático ocorrendo a 170 cm de profundidade. Presença de mica (muscovita) nos horizontes Bhm1 e Bhm2.

DESCRIÇÃO GERAL

PERFIL – P5

DATA – 08/06/2006

CLASSIFICAÇÃO (SiBCS, 2006) – ESPODOSSOLO FERRIHUMILÚVICO Órtico dúrico, A moderado, textura arenosa, bem drenado

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS – Município de Bertiooga, São Paulo. Coordenadas: Zona 23, Latitude sul: 384.562 km e Longitude oeste: 7.364.623 km

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL – perfil descrito em barranco, na borda de um cordão de restinga próximo à Rodovia Rio-Santos. Cobertura vegetal sobre o perfil: floresta alta de restinga alterada

LITOLOGIA – sedimentos arenosos marinhos

PERÍODO – Pleistoceno – Quaternário Marinho.

MATERIAL ORIGINÁRIO – sedimentos arenosos marinhos

PEDREGOSIDADE – ausente

ROCHOSIDADE – ausente

RELEVO LOCAL – plano

REGIONAL – plano

EROSÃO – ausente

DRENAGEM – bem drenado

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – floresta alta de restinga

USO ATUAL – sem uso

CLIMA – Af

DESCRITO E COLETADO POR – Maurício Rizzato Coelho e Vanda Moreira Martins.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

A1	0-12 cm, cinzento (5YR 5/1, úmida); areia; fraca pequena e média granular e grãos simples; solta, não plástica e não pegajosa; transição plana e clara.
A2	12-27 cm, cinzento (5YR 5/1, úmida); fraca pequena e média blocos subangulares e grãos simples; solta, não plástica e não pegajosa; transição plana e clara.
E	25-57 cm, branco (10YR 8/1, úmida); areia; grãos simples; solta, não plástica e não pegajosa; transição ondulada e abrupta.
Bhg	47-57 cm, coloração variegada, úmida, composta de cinzento (10YR 6/1), branco (10YR 8/1) e bruno-avermelhado-escuro (5YR 3/2); areia; maciça; firme, não plástica e não pegajosa; transição ondulada e abrupta.
Bh1	52-75 cm, coloração variegada, úmida, composta de cinzento muito escuro (5YR 3/1) e bruno-avermelhado-escuro (5YR 3/2); areia franca; maciça; friável a firme, não plástica e não pegajosa; transição descontínua e abrupta.
Bh2	63-80 cm, bruno-avermelhado-escuro (5YR 3/2, úmida); areia franca; maciça; firme, não plástica e não pegajosa; transição descontínua e abrupta.
Bh3	55-95 cm, coloração variegada, úmida, composta de bruno-avermelhado-escuro (5YR 3/3) e bruno-avermelhado (5YR 4/4); areia franca; maciça; friável a firme, não plástica e não pegajosa; transição ondulada e clara.
Bh4	126-150 cm, bruno-avermelhado-escuro (5YR 3/2, úmida); areia franca; maciça; friável, não plástica e não pegajosa; transição descontínua abrupta.
Bh5	73-112 cm, coloração variegada, úmida, composta de bruno-avermelhado-escuro (5YR 3/3) e bruno-avermelhado (5YR 4/3); areia; maciça; firme a muito firme, não plástica e não pegajosa; transição descontínua abrupta.
Bs1	78-101 cm, bruno-amarelado (10YR 5/6, úmida); areia franca; presença de horizontes plácico convolado de consistência firme, cor bruno-forte (7,5YR 4/6), espessura média de 2 cm; friável, firme a extremamente firmes; transição, descontínua abrupta.
Bs2	82-85 cm, coloração variegada, úmida, composta de bruno-amarelado-claro (10YR 6/4), bruno (7,5YR 4/4 e 10YR 5/3), bruno-avermelhado-escuro (5YR 3/2); areia; maciça; friável, não plástica e não pegajosa; transição ondulada e difusa.
Bs3	95-126 cm, coloração variegada, úmida, composta de amarelo-brunado (10YR 6/6) e bruno-

- amarelado-escuro (10YR 4/6); areia; maciça; friável, não plástica e não pegajosa; transição abrupta e descontínua.
- Bs4 85-180 cm, coloração variegada, úmida, composta de bruno-avermelhado (5YR 4/3), vermelho-amarelado (5YR 4/6) e bruno-avermelhado-escuro (5YR 3/2); areia franca; maciça; friável, não plástica e não pegajosa; transição descontínua e abrupta.
- Bs5 130-150 cm, coloração variegada, úmida, composta de bruno-amarelado (10YR 5/4), bruno (10YR 5/3); areia; maciça; friável, não plástica e não pegajosa; transição descontínua e abrupta.
- Bs6 54-120 cm, coloração variegada, úmida, composta de amarelo-brunado (10YR 6/6), bruno-amarelado (10YR 5/4) e bruno-amarelado-escuro (7,5YR 3/4); areia franca; maciça; firme, não plástica e não pegajosa; transição abrupta e descontínua.
- Bs7 155-180 cm, bruno (10YR 4/3, úmida); areia; maciça; friável, não plástica e não pegajosa; presença de estratificações bruno-amarelado (10YR 5/6) e amarelo-brunado (10YR 6/6), firme a muito firme; transição abrupta e descontínua.
- C 54-112 cm, cinzento-rosado (7,5 YR 7/2, úmida); areia; grão simples; solta, não plástica e não pegajosa.

RAÍZES - Abundantes finas, comuns médias e grossas no horizonte A1; comuns finas, poucas médias e grossas no A2; poucas finas e médias, raras grossas no horizonte E; raras finas no horizonte Bhg; poucas finas no horizonte Bh1; comuns finas no Bh2; poucas finas nos horizontes Bh3, Bh4 e Bh5; raras finas nos horizontes Bs1, Bs2 e Bs3; ausente nos demais

OBSERVAÇÕES – Horizonte E apresenta feições de desmantelamento do horizonte Bh. Horizontes plácicos aparecem e convolam desde a profundidade de 54 até 112 cm. Nível do lençol freático está abaixo de 200 cm de profundidade.

DESCRIÇÃO GERAL

PERFIL – P6

DATA – 10/06/2006

CLASSIFICAÇÃO (SiBCS, 2006) – ESPODOSSOLO HUMILÚVICO Órtico espessarênico, A moderado, textura arenosa, acentuadamente/imperfeitamente drenado

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS – Município de Bertiooga, São Paulo. Coordenadas: Zona 23, Latitude sul: 384.524 km e Longitude oeste: 7.364.581km

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL – perfil descrito no topo de um cordão litorâneo com diferença de nível de aproximadamente 5 metros em relação ao seu entorno. Cobertura vegetal sobre o perfil: floresta alta de restinga

LITOLOGIA – sedimentos arenosos marinhos

PERÍODO – Pleistoceno – Quaternário Marinho

MATERIAL ORIGINÁRIO – sedimentos arenosos marinhos

PEDREGOSIDADE – ausente

ROCHOSIDADE – ausente

RELEVO LOCAL – plano

REGIONAL – plano

EROSÃO – ausente

DRENAGEM – acentuadamente/imperfeitamente drenado

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – floresta alta de restinga

USO ATUAL – sem uso

CLIMA – Af

DESCRITO E COLETADO POR – Maurício Rizzato Coelho e Vanda Moreira Martins

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

- A 0-15 cm, cinzento (5YR 6/1, úmido); areia; fraca pequena e média granular e grãos simples; solta, não plástica e não pegajosa; transição plana e clara.
- AE 15-41 cm, cinzento (5YR 6/1, úmido), mosqueado abundante pequeno e médio difuso cinzento-avermelhado-escuro (5YR 4/2, úmido); areia; fraca pequena e média granular e grãos simples; solta, não plástica e não pegajosa; transição plana e clara.
- EA 41-71 cm, cinzento-claro (5YR 7/1, úmido); areia; grãos simples; solta, não plástica e não pegajosa; transição plana e difusa.
- E 71-153 cm, branco (5YR 8/1, úmido), mosqueado pouco médio e grande difuso bruno-avermelhado (5YR 5/3, úmido); areia; grãos simples; solta, não plástica e não pegajosa; transição plana e abrupta.
- Bhg 153-156 cm, coloração variegada, úmida, composta de cinzento (5YR 5/1 e 10YR 5/1) e cinzento muito escuro (10YR 3/1); areia; maciça; friável a firme, não plástica e não pegajosa; transição plana e clara.
- Bh1 156-165 cm, preto (5YR 2,5/1, úmido); areia; maciça; firme, não plástica e não pegajosa; transição descontínua e abrupta.
- Bh2 165-205 cm, bruno-avermelhado-escuro (5YR 3/4, úmido); areia; maciça; friável e localmente muito firme; não plástica e não pegajosa; transição descontínua e abrupta.
- Bhm1 156-205 cm, preto (5YR 2,5/1, úmido); areia; maciça; muito firme e localmente firme e extremamente firme, não plástica e não pegajosa; transição descontínua e clara.
- Bhm2 158-205 cm, preto (5YR 2,5/1, úmido); areia; maciça; muito firme e localmente extremamente firme, não plástica e não pegajosa.
- RAÍZES** - abundantes finas, comuns médias e raras grossas no horizonte A; comuns fins, raras médias e grossas no AE; comuns finas, poucas médias e grossas no horizonte EA; poucas finas e médias no E; raras finas nos horizontes Bhg e Bh1; ausente nos demais.

OBSERVAÇÕES – Nível do lençol freático ocorrendo a 210 cm de profundidade.

DESCRIÇÃO GERAL

PERFIL – P7

DATA – 18/06/2006

CLASSIFICAÇÃO (SiBCS, 2006) – ESPODOSSOLO FERRIHUMILÚVICO Hidromórfico espessarênico, A moderado, textura arenosa, mal drenado

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS – Município de Bertiooga, São Paulo. Coordenadas: Zona 23, Latitude sul: 384.525 km e Longitude oeste: 7.364.584 km.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL – perfil descrito a poucos metros (10m) da base cordão onde foi descrito o perfil P6. Cobertura vegetal sobre o perfil: floresta alta de restinga

LITOLOGIA – sedimentos arenosos marinhos

PERÍODO – Holoceno – Quaternário Marinho

MATERIAL ORIGINÁRIO – sedimentos arenosos marinhos

PEDREGOSIDADE – ausente

ROCHOSIDADE – ausente

RELEVO LOCAL – plano

REGIONAL – plano

EROSÃO – ausente

DRENAGEM – mal drenado

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – floresta alta de restinga

USO ATUAL – sem uso

CLIMA – Af

DESCRITO E COLETADO POR – Maurício Rizzato Coelho e Vanda Moreira Martins.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

A1	0-8 cm, cinzento muito escuro (5YR 3/1, úmida); areia; fraca pequena e muito pequena granular; solta, não plástica e não pegajosa; transição plana e abrupta.
A2	8-13 cm, cinzento muito escuro (5YR 3/1, úmida); areia; fraca média e pequena granular; solta, não plástica e não pegajosa; transição plana e clara.
AE1	13-19 cm, coloração variegada, úmida, composta de cinzento-escuro (5YR 4/1) e cinzento (5YR 6/1); fraca média e pequena blocos subangulares; muito friável, não plástica e não pegajosa; transição plana e clara.
AE2	19-26 cm, coloração variegada, úmida, composta de cinzento-escuro (5YR 4/1) e cinzento (5YR 6/1); areia; maciça que se desfaz em grãos simples; solta, não plástica e não pegajosa; transição plana e clara.
Bh1	26-37 cm, coloração variegada, úmida, composta de cinzento muito escuro (5YR 3/1) e bruno-avermelhado-escuro (5YR 3/2); areia; maciça; muito friável, não plástica e não pegajosa; transição plana e clara.
Bh2	37-59 cm, coloração variegada, úmida, composta de bruno-escuro (7,5YR 3/2) e bruno (7,5YR 4/2), mosqueado abundante médio e grande proeminente cinzento muito escuro (5YR 3/1); areia; maciça; friável e firme, não plástica e não pegajosa; transição plana e gradual.
Bs	58-74 cm, bruno-amarelado (10YR 5/4, úmida), mosqueado abundante médio e grande distinto bruno-acinzentado-escuro (10YR 4/2); areia; maciça; friável, não plástica e não pegajosa; transição plana e abrupta.
BCg	74-84 cm, coloração variegada, úmida, composta de bruno-amarelado-escuro (5YR 5/3), bruno (10YR 5/3) e cinzento-avermelhado-escuro (5YR 4/2); areia; maciça; friável, não plástica e não pegajosa; transição plana e clara.
Cg	84-100 cm+, cinzento (5YR 5/1, úmida), areia; não plástica e não pegajosa.

RAÍZES - Raízes abundantes finas e médias, poucas grossas nos horizontes A1 e A2; abundantes finas, comuns médias no horizonte AE1; comuns finas, poucas médias no horizonte AE2, Bh1, Bh2 e Bs; comuns finas e médias no BCg; ausente no Cg.

OBSERVAÇÕES – Nível do lençol freático ocorrendo a 80 cm de profundidade. Abaixo do horizonte BCg há várias camadas arenosas intercaladas com argilosas, a camada argilosa apresenta fragmentos de tronco de árvores.

DESCRIÇÃO GERAL

PERFIL – P8

DATA – 15/06/2006

CLASSIFICAÇÃO (SiBCS, 2006) – ESPODOSSOLO FERRIHUMILÚVICO Hidromórfico espessarênico, A moderado, textura arenosa, mal drenado.

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS – Município de Bertiooga, São Paulo. Perfil descrito a 5 m acima do P7. Coordenadas: Zona 23, Latitude sul: 384.525 km e Longitude oeste: 7.364.585 km

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL – perfil descrito a 5 metros do anterior em direção à praia. Vegetação sobre o perfil: floresta alta de restinga

LITOLOGIA – sedimentos arenosos marinhos

PERÍODO – Holoceno – Quaternário Marinho

MATERIAL ORIGINÁRIO – sedimentos arenosos marinhos

PEDREGOSIDADE – ausente

ROCHOSIDADE – ausente

RELEVO LOCAL – plano

REGIONAL – plano

EROSÃO – ausente

DRENAGEM – imperfeitamente drenado

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – floresta alta de restinga

USO ATUAL – sem uso

CLIMA – Af

DESCRITO E COLETADO POR – Maurício Rizzato Coelho e Vanda Moreira Martins

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

- | | |
|------|---|
| A1 | 0-13 cm, coloração variegada, úmida, composta de preto (5YR 2,5/1) e cinzento (5YR 6/1); areia; fraca média e pequena granular e grãos simples; friável, ligeiramente plástica e não pegajosa; transição plana e clara. |
| A2 | 13-(17-23) cm, coloração variegada, úmida, composta de cinzento muito escuro (5YR 3/1) e cinzento (5YR 6/1); areia; fraca muito pequena e pequena granular e grãos simples; muito friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição ondulada e clara. |
| EA1 | (17-23)-29 cm, coloração variegada, úmida, composta de cinzento (5YR 5/1) e cinzento-claro (5YR 7/1); areia; fraca, pequena e média blocos subangulares que se desfazem em grãos simples; muito friável, não plástica e não pegajosa; transição plana e clara. |
| EA2 | 29-36 cm, cinzento (5YR 5/1, úmido), mosqueado abundante médio difuso cinzento-escuro (5YR 4/1, úmido); areia; fraca pequena e média blocos subangulares que se desfazem em grãos simples; muito friável, não plástica e não pegajosa; transição plana e abrupta. |
| Bh1 | 36-42 cm, cinzento muito escuro (5YR 3/1, úmido); areia; maciça; friável a firme, não plástica e não pegajosa; transição plana e abrupta. |
| Bh2 | 42-(53-82) cm, cinzento muito escuro (5YR 3/1, úmido); areia; maciça; friável a firme, não plástica e não pegajosa; transição ondulada e abrupta. |
| Bhs | (53-82)-93 cm, bruno-avermelhado (5YR 4/3, úmido); mosqueado abundante pequeno distinto preto (5YR 2,5/1, úmido); areia; maciça; firme a friável, não plástica e não pegajosa; transição plana e clara. |
| Bs | 93-114 cm, bruno-avermelhado (5YR 5/4, úmido); mosqueado comum pequeno difuso bruno-avermelhado (5YR 4/3, úmido); areia; maciça; friável, não plástica e não pegajosa; transição plana e clara. |
| BCg | 114-129 cm, coloração variegada, úmida, composta de bruno-amarelado (10YR 5/4, úmido), cinzento (10YR 5/1) e cinzento-escuro (10YR 4/1); areia; maciça; friável, não plástica e não pegajosa, transição plana e clara. |
| Cg1 | 129-150 cm, cinzento (7,5YR 5/1); areia; maciça que se desfaz em grãos simples; solta, não plástica e não pegajosa, transição plana e clara. |
| 2Cg2 | 150-170 cm+, cinza-escuro (7,5YR 4/1); franco-argilo-arenosa; não descrito devido ao excesso de água no perfil. |

RAÍZES - Fasciculadas, abundantes, finas e médias, poucas grossas nos horizontes A1 e A2; abundantes finas e médias no EA1; comuns finas e poucas médias no EA2; comuns finas e poucas médias nos horizontes Bh1 e Bh2; poucas finas no Bhs, Bs e BCg.

OBSERVAÇÕES – perfil descrito encharcado, com o nível do lençol freático ocorrendo a 1,40 m de profundidade. Horizonte 2Cg2 com abundantes fragmentos de troncos de árvores em bom estado de preservação.

DESCRIÇÃO GERAL

PERFIL – P9

DATA – 17/06/2006

CLASSIFICAÇÃO (SiBCS, 2006) – ESPODOSSOLO HUMILÚVICO Hidromórfico dúrico, A moderado, textura arenosa, muito mal drenado.

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS – Município de Bertiooga, São Paulo. Coordenadas: Zona 23, Latitude sul: 384.923 km e Longitude oeste: 7.364.281 km

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL – Perfil descrito a aproximadamente 800m do anterior, em relevo plano (<1%) pendendo suavemente para o mar. Cobertura vegetal sobre o perfil: floresta alta de restinga

LITOLOGIA – sedimentos arenosos marinhos

PERÍODO – Pleistoceno – Quaternário Marinho

MATERIAL ORIGINÁRIO – sedimentos arenosos marinhos

PEDREGOSIDADE – ausente

ROCHOSIDADE – ausente

RELEVO LOCAL – plano

REGIONAL – plano

EROSÃO – ausente

DRENAGEM – muito mal drenado

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – floresta alta de restinga

USO ATUAL – sem uso

CLIMA – Af

DESCRITO E COLETADO POR – Maurício Rizzato Coelho e Vanda Moreira Martins

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

- O 0-7 cm, preto (5YR 2,5/1, úmida); orgânica; moderada pequena e média granular; muito friável, não plástica e não pegajosa; transição plana e abrupta.
- A 7-12 cm, cinzento muito escuro (5YR 3/1, úmida); areia; fraca pequena e muito pequena granular; muito friável, não plástica e não pegajosa; transição plana e abrupta.
- AE 12-17 cm, coloração variegada, úmida, composta de cinzento-avermelhado-escuro (5YR 4/2), cinzento (5YR 5/1), bruno-avermelhado-escuro (5YR 3/2); areia; fraca muito pequena granular e grãos simples; solta, não plástica e não pegajosa; transição plana e clara.
- E 17-(27-32) cm, coloração variegada, úmida, composta de cinzento (5YR 6/1 e 5YR 5/1); areia; grãos simples; solta, não plástica e não pegajosa; transição ondulada e abrupta.
- BE (27-32)-(37-40) cm, coloração variegada, úmida, composta de cinzento muito escuro (5YR 3/1), cinzento (5YR 5/1); areia; maciça; friável a firme, não plástica e não pegajosa; transição ondulada e abrupta.
- Bh1 (37-40)-(46-53) cm, cinzento muito escuro (5YR 3/1, úmida), com estratificações descontínuas distribuídas por todo o horizonte, de espessura média de 8 mm, preto (5YR 2,5/1, úmida) e de consistência úmida muito firme; areia; maciça; firme, não plástica e não pegajosa; transição ondulada e abrupta.
- Bhm (46-53)-89 cm, coloração variegada, úmida, composta de bruno-avermelhado-escuro (5YR 2,5/2 e 5YR 3/2); areia; maciça; muito firme, não plástica e não pegajosa; transição ondulada e clara.
- Bh2 89-106 cm, bruno-avermelhado-escuro (5YR 3/4, úmida); areia; maciça; friável a firme, não plástica e não pegajosa; transição plana e gradual.
- Bh3 106-130⁺, bruno-avermelhado (5YR 4/4, úmida); areia; maciça; friável a firme, não plástica e não pegajosa.
- RAÍZES** - abundantes finas e médias e poucas grossas nos horizontes O e A; comuns finas, poucas médias no AE; poucas finas no E, BE e Bh1; poucas finas e localmente comuns no horizonte Bhm; poucas finas e médias no Bh2; poucas finas no Bh3.

OBSERVAÇÕES – Lençol freático ocorrendo a 140 cm de profundidade.

DESCRIÇÃO GERAL

PERFIL – P10

DATA – 19/06/2006

CLASSIFICAÇÃO (SiBCS, 2006) – ESPODOSSOLO HUMILÚVICO Hidromórfico espessarênico, A moderado, textura arenosa, mal drenado

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS – Município de Bertiooga, São Paulo. Coordenadas: Zona 23, Latitude sul: 385.023 km e Longitude oeste: 7.363.714 km

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL – Perfil descrito em relevo plano (1 % de declive) sob vegetação de floresta de alta de restinga

LITOLOGIA – sedimentos arenosos marinhos

PERÍODO – Holoceno – Quaternário Marinho

MATERIAL ORIGINÁRIO – sedimentos arenosos marinhos

PEDREGOSIDADE – ausente

ROCHOSIDADE – ausente

RELEVO LOCAL – plano

REGIONAL – plano

EROSÃO – ausente

DRENAGEM – mal drenado

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – floresta alta de restinga

USO ATUAL – sem uso

CLIMA – Af

DESCRITO E COLETADO POR – Maurício Rizzato Coelho e Vanda Moreira Martins

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

A	0-7 cm, preto (5YR 2,5/1, úmido); areia; fraca, média e pequena granular; muito friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e abrupta.
AE	7-11 cm, coloração variegada, úmida, composta de cinzento muito escuro (5YR 3/1) e cinzento (5YR 6/1, úmido); areia; fraca pequena e média granular que se desfaz em grãos simples; muito friável, não plástica e não pegajosa; transição plana e abrupta.
EA	11-(18-30) cm, coloração variegada, úmida, composta de cinzento-avermelhado-escuro (5YR 4/2) e cinzento (5YR 6/1); areia; grãos simples; solta, não plástica e não pegajosa; transição ondulada e clara.
E	(18-30)-(35-48) cm, cinzento (5YR 6/1, úmida), mosqueado abundante médio e grande difuso cinzento-escuro (5YR 4/1, úmida); areia; grãos simples; solta, não plástica e não pegajosa; transição ondulada e abrupta.
EB	(35-48)-74 cm, coloração variegada, úmida, composta de cinzento (5YR 5/1 e 5YR 6/1); areia; grãos simples; solta, não plástica e não pegajosa; transição plana e clara.
BE	74-83 cm, cinzento-escuro (5YR 4/1, úmido), mosqueado pouco médio e grande difuso cinzento (5YR 6/1, úmido); areia; grãos simples; muito friável, não plástica e não pegajosa; transição plana e abrupta.
Bh1	83-103 cm, preto (5YR 2,5/1, úmido); areia; maciça; firme, não plástica e não pegajosa; transição plana e abrupta.
Bh2	103-117 cm, preto (5YR 2,5/1, úmido); areia; maciça; firme e localmente muito firme, não plástica e não pegajosa; transição plana e clara.
Bhm	117-150 cm+, preto (5YR 2,5/1, úmido); areia; maciça; muito firme e localmente extremamente firme, não plástica e não pegajosa.

RAÍZES - Abundantes finas, comuns médias e grossas no horizonte A; comuns finas e poucas médias no AE; poucas finas e médias no horizonte EA; poucas finas no E, EB e BE; Bh1 e Bh2; ausente no Bhm.

OBSERVAÇÕES – Os horizontes EA, E, EB e BE apresentam halos arredondados de coloração mais clara em relação à matriz, de diferentes diâmetros, desde 0,5cm até 7cm, possivelmente relacionados a atividade de microrganismos, dismantelando o horizonte, transformando-o em horizonte E.

DESCRIÇÃO GERAL

PERFIL – P11

DATA – 30/06/2006

CLASSIFICAÇÃO (SiBCS, 2006) – ESPODOSSOLO HUMILÚVICO Hidromórfico espessarênico, A moderado, textura arenosa, mal drenado

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS – Município de Bertiooga, São Paulo. Coordenadas: Zona 23, Latitude sul: 387.663 km e Longitude oeste: 7.365.241 km

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL – descrito sob cobertura vegetal de floresta alta de restinga, em relevo plano (2 % de declive). Perfil situado na transição entre os sedimentos holocênicos e pleistocênicos

LITOLOGIA – sedimentos arenosos marinhos

PERÍODO – transição pleistoceno/holoceno – Quaternário Marinho

MATERIAL ORIGINÁRIO – sedimentos arenosos marinhos

PEDREGOSIDADE – ausente

ROCHOSIDADE – ausente

RELEVO LOCAL – plano

REGIONAL – plano

EROSÃO – ausente

DRENAGEM – mal drenado

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – floresta alta de restinga

USO ATUAL – sem uso

CLIMA – Af

DESCRITO E COLETADO POR – Maurício Rizzato Coelho e Vanda Moreira Martins.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

- | | |
|-----|---|
| A | 0-14 cm, cinzento (10YR 6/1, úmida), mosqueado abundante médio e pequeno proeminente bruno-escuro (7,5YR 3/2, úmida); areia; fraca pequena granular e grãos simples; muito friável, não plástica e não pegajosa; transição plana e clara. |
| EA | 14-(29-35) cm, bruno-escuro (7,5YR 6/2, úmida), mosqueado comum médio distinto branco (5YR 8/1, úmida); areia; grãos simples, solta; não plástica e não pegajosa; transição ondulada e clara. |
| E1 | (29-35)-(53-71) cm, branco (5YR 8/1, úmida), mosqueado abundante pequeno e médio difuso cinzento-claro (5YR 7/1, úmida); areia; grãos simples, solta; não plástica e não pegajosa; transição ondulada e abrupta. |
| E2 | (53-71)-(84-100) cm, cinzento (5YR 6/1, úmida), mosqueado abundante médio difuso cinzento (5YR 5/1, úmida); areia; grãos simples; solta, não plástica e não pegajosa; transição ondulada e clara. |
| E3 | (84-100)-112 cm, cinzento (5YR 6/1, úmida), mosqueado abundante grande difuso cinzento (5YR 5/1, úmida) e cinzento-escuro (5YR 4/1, úmida); areia; grãos simples; solta, não plástica e não pegajosa; transição plana e clara. |
| EB | 112-122 cm, cinzento-avermelhado-escuro (5YR 4/2, úmida); areia; grãos simples; solta, não plástica e não pegajosa; transição plana e abrupta. |
| Bh1 | 122-140 cm, bruno-avermelhado-escuro (5YR 3/2, úmida); areia; maciça; friável, não plástica e não pegajosa; transição plana e abrupta. |
| Bh2 | 140-160 cm+, cinzento (5YR 3/1); areia; maciça; firme, não plástica e não pegajosa. |

RAÍZES - abundantes finas e médias, poucas grossas no horizonte A; poucas finas e médias nos horizontes EA, E1 e E2; ausente nos demais horizontes.

OBSERVAÇÕES - Lençol freático aflorando a 115 cm de profundidade.

DESCRIÇÃO GERAL

PERFIL – P12

DATA – 01/07/2006

CLASSIFICAÇÃO (SiBCS, 2006) – NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Hidromórfico típico, A moderado, muito mal drenado

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS – Município de Bertiooga, São Paulo. Coordenadas: Zona 23, Latitude sul: 387.720 km e Longitude oeste: 7.365.158 km

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL – perfil descrito em relevo plano (1 % de declive), sob vegetação de floresta baixa de restinga úmida

LITOLOGIA – sedimentos arenosos marinhos

PERÍODO – Holoceno– Quaternário Marinho

MATERIAL ORIGINÁRIO – sedimentos arenosos marinhos

PEDREGOSIDADE – ausente

ROCHOSIDADE – ausente

RELEVO LOCAL – plano

REGIONAL – plano

EROSÃO – ausente

DRENAGEM – muito mal drenado

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – floresta baixa de restinga

USO ATUAL – sem uso

CLIMA – Af

DESCRITO E COLETADO POR – Maurício Rizzato Coelho e Vanda Moreira Martins

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

- | | |
|-----------------|--|
| A1 | 0-8 cm, cinzento-escuro (5YR 4/1, úmida); areia; fraca, muito pequena e pequena, granular e grãos simples; solta, não plástica e não pegajosa; transição plana e abrupta. |
| A2 | 8-24 cm, coloração variegada, úmida, composta de cinzento-avermelhado-escuro (5YR 4/2) e cinzento-avermelhado (5YR 6/2); areia; fraca pequena e média granular e grãos simples; muito friável, não plástica e não pegajosa; transição plana e abrupta. |
| AE | 24-30 cm, coloração variegada, úmida, composta de cinzento-avermelhado (5YR 6/2), cinzento-avermelhado-escuro (5YR 4/2) e vermelho-amarelado (5YR 5/6); areia; fraca pequena e média blocos subangulares e grãos simples; solta, não plástica e não pegajosa; transição plana e abrupta. |
| C | 30-48 cm, coloração variegada, úmida, composta de bruno-amarelado-claro (2,5Y 6/4 e 2,5Y 6/3), bruno-avermelhado e (5YR 5/6) amarelo-avermelhado (5YR 6/6); areia; maciça que se desfaz em fraca, média e pequena blocos subangulares e grãos simples; muito friável e localmente firme, não plástica e não pegajosa; transição plana e gradual. |
| Cg1 | 48-83 cm, coloração variegada, úmida, composta de bruno (7,5YR 5/4) e cinzento-brunado-claro (2,5Y 6/2); areia; maciça que se desfaz em fraca grande blocos subangulares e grãos simples; friável e localmente firme, não plástica e não pegajosa; transição plana e gradual. |
| Cg2 | 83-110 cm+, cinzento (5Y 6/1, úmida); areia; não descrito devido ao excesso de água na trincheira. |
| RAÍZES - | Abundantes finas e comuns médias no A1; abundantes finas, comuns médias e poucas grossas no A2; comuns finas e poucas médias no AE; poucas finas e raras médias nos horizontes C e Cg1; ausente no Cg2. |

OBSERVAÇÕES – Perfil descrito em condições de elevada umidade, com o lençol freático aflorando a 90 cm de profundidade. Os mosqueados se referem a segregações de ferro de consistência mais firme em relação à matriz.

DESCRIÇÃO GERAL

PERFIL – P13

DATA – 29/06/2006

CLASSIFICAÇÃO (SiBCS, 2006) – NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Hidromórfico típico, A moderado, mal drenado

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS – Município de Bertiooga, São Paulo. Coordenadas: Zona 23, Latitude sul: 387.897 km e Longitude oeste: 7.364.636 km

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL – perfil descrito nas proximidades da praia, sob cobertura vegetal de escrube, em relevo plano (2 % de declive), mas mais elevado que a paisagem à montante

LITOLOGIA – sedimentos arenosos marinhos

PERÍODO – Holoceno – Quaternário Marinho

MATERIAL ORIGINÁRIO – sedimentos arenosos marinhos

PEDREGOSIDADE – ausente

ROCHOSIDADE – ausente

RELEVO LOCAL – plano

REGIONAL – plano

EROSÃO – ausente

DRENAGEM – mal drenado

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – escrube

USO ATUAL – sem uso

CLIMA – Af

DESCRITO E COLETADO POR – Maurício Rizzato Coelho e Vanda Moreira Martins

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

- | | |
|----|--|
| A1 | 0-7 cm, bruno-acinzentado (5YR 4/2, úmido); areia; fraca muito pequena e pequena, granular e grãos simples; solto, não plástica e não pegajosa; transição plana e abrupta. |
| A2 | 7-15 cm, coloração variegada, úmida, composta de cinzento-avermelhado-escuro (5YR 4/2) e cinzento (5YR 6/1, úmido); areia; fraca média e pequena blocos subangulares e grãos simples; muito friável, não plástica e não pegajosa; transição plana e abrupta. |
| C1 | 15-(57-63) cm, coloração variegada, úmida, composta de amarelo-brunado (10YR 6/6), bruno-amarelado-claro (10YR 6/4) e cinzento-brunado-claro (10YR 6/2); areia; maciça que se desfaz em grãos simples; muito friável, não plástica e não pegajosa; transição ondulada e clara. |
| C2 | (57-63)-(73-82) cm, bruno-acinzentado (10YR 5/2, úmido); areia; maciça que se desfaz em grãos simples; muito friável, não plástica e não pegajosa; transição descontínua e clara. |
| Cg | 73-82 cm, cinzento (5Y 5/1, úmido), mosqueados abundantes médios e grandes proeminentes bruno-amarelado-escuro (5YR 4/6, úmido); areia; maciça; friável a firme, não plástica e não pegajosa; transição descontínua e clara. |
| C3 | 73-94 cm, bruno (10YR 5/3, úmido); mosqueado comum pequeno e médio distinto cinzento (7,5YR 6/1, úmido); areia; maciça; muito friável, não plástica e não pegajosa; transição descontínua e clara. |
| C4 | 94-110 cm, bruno-acinzentado (10YR 5/2, úmido); areia; maciça; muito friável, não plástica e não pegajosa. |

RAÍZES - Abundantes finas, comuns médias e poucas grossas nos horizontes A1 e A2; poucas finas e raras médias nos horizontes C1 e C2; comuns finas no Cg; raras finas no C3; ausente no horizonte C4.

OBSERVAÇÕES – Lençol freático a 120 cm de profundidade, dificultando o aprofundamento do perfil para descrição e coleta de amostras.

DESCRIÇÃO GERAL

PERFIL – P14

DATA – 12/08/2006

CLASSIFICAÇÃO (SiBCS, 2006) – ESPODOSSOLO FERRIHUMILÚVICO Órtico espessarênico, A moderado, textura arenosa, moderadamente drenado

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS – Município de Bertioga, São Paulo. Coordenadas: Zona 23, Latitude sul: 400.571 km e Longitude oeste: 7.369.473 km

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL – perfil descrito a poucos metros de uma falésia do Rio Itararé. Bacia de Itararé, Bertioga. Cobertura vegetal sobre o perfil: floresta alta de restinga

LITOLOGIA – Sedimentos arenosos marinhos

PERÍODO – Holoceno – Quaternário Marinho

MATERIAL ORIGINÁRIO – sedimentos arenosos marinhos

PEDREGOSIDADE – ausente

ROCHOSIDADE – ausente

RELEVO LOCAL – plano

REGIONAL – plano

EROSÃO – ausente

DRENAGEM – moderadamente drenado

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – floresta alta de restinga

USO ATUAL – sem uso

CLIMA – Af

DESCRITO E COLETADO POR – Maurício Rizzato Coelho e Vanda Moreira Martins.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

- A1 0-12 cm, cinzento (5YR 6/1, úmida); areia; grãos simples; solta, não plástica e não pegajosa; transição plana e clara.
- A2 12-22 cm, cinzento (5YR 5/1, úmida); areia; fraca muito pequena granular e grãos simples; solta, não plástica e não pegajosa; transição plana e clara.
- AE 22-30 cm, cinzento (5YR 6/1, úmida); areia; grãos simples; solta, não plástica e não pegajosa; transição plana e clara.
- E 30-(43-59) cm, cinzento-claro (5YR 7/1, úmida); areia; grãos simples; solta, não plástica e não pegajosa; transição ondulada e abrupta.
- Bh (43-59)-(56-71) cm, cinzento-avermelhado-escuro (5YR 4/2, úmida), mosqueado pouco proeminente médio cinzento (5YR 6/1); areia; fraca grande e média blocos subangulares que se desfazem em grãos simples; muito friável, não plástica e não pegajosa; transição ondulada e clara.
- Bs1 (56-71)-(65-81) cm, coloração variegada, úmida, composta de bruno-forte (7,5YR 5/6) e bruno (7,5YR 5/4); areia; maciça que se desfaz em grão simples; firme a friável, não plástica e não pegajosa; transição ondulada e clara.
- Bs2 (65-81)-(84-110) cm, coloração variegada, úmida, composta de amarelo-avermelhado (7,5YR 6/6) e bruno-forte (7,5YR 5/6); areia; maciça que se desfaz em grãos simples; muito friável e firme no local de cor bruno-forte, não plástica e não pegajosa; transição ondulada e gradual.
- C1 (84-110)-(115-124) cm, bruno-claro (10YR 6/4, úmida); areia; maciça que se desfaz em grãos simples; solta, não plástica e não pegajosa; transição ondulada e difusa.
- C2 (115-124)-135⁺ cm, coloração variegada, úmida, composta de bruno-claro (10YR 6/3, 10YR 6/4, úmida); areia; maciça que se desfaz em grãos simples; solta, não plástica e não pegajosa; transição ondulada e difusa.

RAÍZES - abundantes finas e comuns médias e poucas grossas no horizonte A1 e A2; abundantes finas e poucas médias no AE; comuns finas no E; comuns finas e poucas médias Bh e Bs1; poucas finas no Bs2 e C1 e raras finas no C2.

OBSERVAÇÕES – Nível do lençol freático ocorrendo a 130 cm de profundidade.

DESCRIÇÃO GERAL

PERFIL – P15

DATA – 12/08/2006

CLASSIFICAÇÃO (SiBCS, 2006) – ESPODOSSOLO HUMILÚVICO Hiperespesso espessarênico, A moderado, excessivamente drenado

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS – Município de Bertioga, São Paulo. Coordenadas: Zona 23, Latitude sul: 400.994 km e Longitude oeste: 7.369.968 km

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL – perfil descrito em área plana a 10 metros da falésia do rio Itararé, Bacia do Rio Itararé, Bertioga. Cobertura vegetal sobre o perfil: floresta alta de restinga

LITOLOGIA – sedimentos arenosos marinhos

PERÍODO – Holoceno – Quaternário Marinho

MATERIAL ORIGINÁRIO – sedimentos arenosos marinhos

PEDREGOSIDADE – ausente

ROCHOSIDADE – ausente

RELEVO LOCAL – plano

REGIONAL – plano

EROSÃO – ausente

DRENAGEM – excessivamente drenado

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – floresta alta de restinga

USO ATUAL – sem uso

CLIMA – Af

DESCRITO E COLETADO POR – Maurício Rizzato Coelho e Vanda Moreira Martins

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

A	0-20 cm, coloração variegada, úmida, composta de cinzento-escuro (5YR 4/1) e cinzento (5YR 6/1); areia; fraca pequena e muito pequena e granular; solta, não plástica e não pegajosa; transição plana e clara.
EA	20-40 cm, cinza (5YR 6/1, úmida); areia; grãos simples; solta, não plástica e não pegajosa; transição plana e gradual.
E1	40-60 cm, cinzento-claro (5YR 7/1, úmida); areia; grãos simples; solta, não plástica e não pegajosa; transição plana e difusa.
E2	60-160 cm, branco (5YR 8/1, úmida); areia; grãos simples; solta, não plástica e não pegajosa; transição plana e clara.
E3	160-215 cm, branco (5YR 8/1, úmida); presença de lamelas plano-paralelas e contínuas de cor escura distribuídas por todo o horizonte; areia; grãos simples; não plástica e não pegajosa.
EB	215-305 cm, cinzenta-rosado (7,5YR 6/2); coletado com trado.
Bh1	305-340 cm, bruno-avermelhado-escuro (5YR 3/2, úmida); coletado com trado.
Bhm	340-360 cm, preto (5YR 2,5/1, úmida); coletado com trado;
Bh2	360-400 cm, bruno-avermelhado-escuro (5YR 3/2, úmida), coletado com trado.

RAÍZES - Raízes comuns finas e médias, poucas grossas no horizonte A; comuns finas e poucas médias no EA; poucas finas no E1; raras finas nos horizontes E2; ausente nos demais

OBSERVAÇÕES – Nível do lençol freático ocorrendo a mais de 400 cm de profundidade.

DESCRIÇÃO GERAL

PERFIL – P16

DATA – 13/08/2006

CLASSIFICAÇÃO (SiBCS, 2006) – ESPODOSSOLO FERRIHUMILÚVICO Órtico espessarênico, A moderado, textura arenosa, fortemente drenado

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS – Município de Bertioga, São Paulo. Coordenadas: Zona 23, Latitude sul: 401.023 km e Longitude oeste: 7.369.925 km

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL – perfil descrito no barranco da falésia do rio Itararé, na Bacia do Itararé, Bertioga. Cobertura vegetal sobre o perfil: floresta alta de restinga

LITOLOGIA – sedimentos arenosos marinhos

PERÍODO – Holoceno – Quaternário Marinho

MATERIAL ORIGINÁRIO – sedimentos arenosos marinhos

PEDREGOSIDADE – ausente

ROCHOSIDADE – ausente

RELEVO LOCAL – plano

REGIONAL – plano

EROSÃO – ausente

DRENAGEM – fortemente drenado

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – floresta alta de restinga

USO ATUAL – sem uso

CLIMA – Af

DESCRITO E COLETADO POR – Maurício Rizzato Coelho e Vanda Moreira Martins

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

- A 0-20 cm, cinzento (5YR 5/1, úmida); areia; granular fraca pequena e grãos simples; solta, não plástica e não pegajosa; transição plana e clara.
- AE 20-32 cm, cinzento (5YR 6/1, úmida); areia; grãos simples; solta, não plástica e não pegajosa; transição plana e clara.
- E1 32-77 cm, cinzento-claro (5YR 7/1, úmida); areia; grãos simples; solta, não plástica e não pegajosa; transição plana e clara.
- E2 77-(90-97) cm, cinzento (5YR 6/1, úmida); areia; grãos simples; solta, não plástica e não pegajosa; transição ondulada e abrupta.
- Bh1 (90-97)-121 cm, cinzento (5YR 5/1, úmida); areia; maciça que se desfaz em grãos simples; muito friável, não plástica e não pegajosa; transição plana e gradual.
- Bh2 121-(134-170) cm, cinzento-avermelhado (5YR 5/2, úmida); apresenta lamelas plano-paralelas e manchas circulares de cor cinzento (5YR 6/1, úmida); areia; maciça que se desfaz em grãos simples; solta, não plástica e não pegajosa; transição descontínua e gradual.
- Bh3 (134-170)-193 cm, bruno-avermelhado-escuro (5YR 3/3, úmida); apresenta manchas circulares de cor bruno (7,5YR 5/4, úmida) e cinzento (5YR 6/1, úmida); areia; maciça; firme a friável, não plástica e não pegajosa; transição plana e gradual.
- Bh4 193-253 cm, bruno-escuro (5YR 3/4, úmida); areia; maciça; firme a friável, não plástica e não pegajosa; transição plana e clara a abrupta.
- Bs 253-300* cm, bruno (7,5YR 5/4, úmida); areia; maciça; firme a friável, não plástica e não pegajosa; transição ondulada e difusa.

RAÍZES - abundantes finas e comuns médias no horizonte A; comuns finas e médias no AE; poucas finas no E1; raras finas no E; ausente nos demais horizontes.

OBSERVAÇÕES – Manchas circulares nos horizontes Bh22 ao Bh3 dizem respeito à atividade de microrganismos.

DESCRIÇÃO GERAL

PERFIL – P17

DATA – 25/10/2006

CLASSIFICAÇÃO (SiBCS, 2006) – ESPODOSSOLO FERRIHUMILÚVICO Órtico espessarênico, A moderado, textura arenosa, moderadamente drenado

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS – Município de Ilha Comprida, São Paulo.

Coordenadas: Zona 23, Latitude sul: 211.361 km e Longitude oeste: 7.236.517 km

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL – perfil descrito no barranco voltado para o Mar de Cananéia . Cobertura vegetal sobre o perfil: floresta alta de restinga

LITOLOGIA – sedimentos arenosos marinhos

PERÍODO – Pleistoceno – Quaternário Marinho

MATERIAL ORIGINÁRIO – sedimentos arenosos marinhos

PEDREGOSIDADE – ausente

ROCHOSIDADE – ausente

RELEVO LOCAL – plano

REGIONAL – plano

EROSÃO – ausente

DRENAGEM – moderadamente drenado

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – floresta alta de restinga

USO ATUAL – sem uso

CLIMA – Af

DESCRITO E COLETADO POR – Maurício Rizzato Coelho e Vanda Moreira Martins

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

A	0-30 cm, cinzento (5YR 5/1, úmida); areia; granular fraca pequena e grãos simples; solta, não plástica e não pegajosa; transição plana e clara.
EA	30-52 cm, cinzento (5YR 6/1, úmida); areia; grãos simples; solta, não plástica e não pegajosa; transição plana e clara.
E1	52-88 cm, cinzento-claro (5YR 7/1, úmida); areia; grãos simples; solta, não plástica e não pegajosa; transição plana e clara.
E2	88-115 cm, cinzento (5YR 6/1, úmida); areia; grãos simples; solta, não plástica e não pegajosa; transição ondulada e abrupta.
BE	115-130 cm, cinzento (5YR 5/1, úmida); areia; maciça que se desfaz em grãos simples; muito friável, não plástica e não pegajosa; transição plana e gradual.
Bh	130-243 cm, bruno muito escuro (10YR 2/2, úmida); areia; maciça; firme e localmente muito firme a extremamente firme, não plástica e não pegajosa; transição descontínua e gradual.
Bs	243-485 cm, bruno-amarelado (10YR 5/6, úmida); areia; maciça; firme a friável, não plástica e não pegajosa; transição plana e difusa.
C	485-500 cm+, bruno-amarelado-claro (10YR 6/4, úmida); areia; maciça; firme a friável, não plástica e não pegajosa.

RAÍZES - abundantes finas e comuns médias no horizonte A e EA; comuns finas e médias no E1; poucas finas no E2; raras no BE; ausente nos demais horizontes.

OBSERVAÇÕES – Presença de tubos de caliquiros sp no horizonte Bs.

DESCRIÇÃO GERAL

PERFIL – P18

DATA – 18/10/2006

CLASSIFICAÇÃO (SiBCS, 2006) – ESPODOSSOLO HUMILÚVICO Hidromórfico espessarênico, A fraco, textura arenosa, imperfeitamente drenado

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS – Município de Ilha Comprida, São Paulo.

Coordenadas: Zona 23, Latitude sul: 211.544 km e Longitude oeste: 7.236.278 km

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL – perfil descrito a 250 m do barranco do Mar de Cananéia, em relevo plano. Cobertura vegetal sobre o perfil: floresta alta de restinga

LITOLOGIA – sedimentos arenosos marinhos

PERÍODO – Holoceno – Quaternário Marinho

MATERIAL ORIGINÁRIO – sedimentos arenosos marinhos

PEDREGOSIDADE – ausente

ROCHOSIDADE – ausente

RELEVO LOCAL – plano

REGIONAL – plano

EROSÃO – ausente

DRENAGEM – imperfeitamente drenado

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – floresta alta de restinga

USO ATUAL – sem uso

CLIMA – Super-úmido, com pouco ou nenhum déficit de água, mesotérmico, com calor bem distribuído o ano todo
DESCRITO E COLETADO POR – Maurício Rizzato Coelho e Vanda Moreira Martins

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

- A 0-12 cm, cinzento (7,5YR 6/1, úmida), mosqueado abundante pequeno e médio proeminente preto (7,5YR 2,5/1); areia; fraca média e pequena granular e grãos simples; solta, não plástica e não pegajosa; transição plana e clara.
- AE 12-24 cm, cinzento (7,5YR 5/1, úmida); areia; grãos simples; solta, não plástica e não pegajosa; transição plana e clara.
- EB 24-(27-44) cm, bruno (7,5YR 4/2, úmida); areia; grãos simples; solta, não plástica e não pegajosa; transição ondulada e clara.
- Bh1 (27-44)-(37-50) cm, bruno (7,5YR 4/2, úmida); areia; maciça que se desfaz em grãos simples; muito friável, não plástica e não pegajosa; transição ondulada e clara.
- Bh2 (37-50)-66 cm, bruno (7,5YR 4/3, úmida); areia; maciça que se desfaz em grãos simples; muito friável, não plástica e não pegajosa; transição plana e abrupta.
- Bh3 66-69 cm, cinzento muito escuro (10YR 3/1, úmida); areia; maciça; friável, não plástica e não pegajosa; transição plana e abrupta.
- CB 69-76 cm, bruno (10YR 5/4, úmida); estratificação plano-paralela de minerais pesados de cor preta (10YR 2/1); areia; maciça que se desfaz em grãos simples; muito friável, não plástica e não pegajosa; transição plana e abrupta.
- C 76-125⁺ cm, bruno-amarelado-claro (10YR 6/4, úmida); areia; maciça que se desfaz em grãos simples; muito friável, não plástica e não pegajosa.

RAÍZES - Comuns finas e poucas médias no horizonte A; poucas finas e raras médias no AE; raras finas no EB, Bh1, Bh2, Bh3 e CB; ausente no horizonte C.

OBSERVAÇÕES – Nível do lençol freático a 125 cm de profundidade.

DESCRIÇÃO GERAL

PERFIL – P19

DATA – 19/10/2006

CLASSIFICAÇÃO (SiBCS, 2006) – ESPODOSSOLO HUMILÚVICO Órtico espessarênico, A fraco, textura arenosa, moderadamente drenado

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS – Município de Ilha Comprida, São Paulo.

Coordenadas: Zona 23, Latitude sul: 211.803 km e Longitude oeste: 7.236.023 km

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL – perfil distante 340 m do anterior, no sentido Mar de Cananéia/Oceano Atlântico. Cobertura vegetal sobre o perfil: floresta alta de restinga

LITOLOGIA – Sedimentos arenosos marinhos

PERÍODO – Holoceno – Quaternário Marinho

MATERIAL ORIGINÁRIO – sedimentos arenosos marinhos

PEDREGOSIDADE – ausente

ROCHOSIDADE – ausente

RELEVO LOCAL – plano

REGIONAL – plano

EROSÃO – ausente

DRENAGEM – moderadamente drenado

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – floresta baixa de restinga

USO ATUAL – sem uso

CLIMA – Af

DESCRITO E COLETADO POR – Maurício Rizzato Coelho e Vanda Moreira Martins

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

- | | |
|-----|---|
| A | 0-13 cm, cinzento-escuro (7,5YR 4/1, úmida); areia; fraca média granular e grãos simples; solta, não plástica e não pegajosa; transição plana e clara. |
| AE | 13-25 cm, cinzento (7,5YR 5/1, úmida); areia; grãos simples; solta, não plástica e não pegajosa; transição plana e clara. |
| E1 | 25-40 cm, cinzento-claro (5YR 7/1, úmida); areia; grãos simples; solta, não plástica e não pegajosa; transição plana e gradual. |
| E2 | 40-61 cm, cinzento-claro (2,5Y 7/1, úmida); areia; grãos simples; solta, não plástica e não pegajosa; transição plana e clara. |
| E3 | 61-(68-74) cm, cinzento-claro (2,5Y 7/1, úmida), presença de lamelas descontínuas de 1-2 mm de espessura de cor escura distribuídas por todo o horizonte; areia; grãos simples; solta, não plástica e não pegajosa; transição ondulada e abrupta. |
| Bh1 | (68-74)-105 cm, cinza-muito-escuro (7,5YR 3/1, úmida), presença de lamelas bruno-muito-escuro (10YR 2/2) de 2 cm de espessura e manchas cinzento-claro (10YR 7/1) arredondadas de 5 cm de diâmetro; areia; maciça; muito friável, não plástica e não pegajosa; transição plana e clara. |
| Bh2 | 105-117 cm, preto (10YR 2/1, úmida); areia; maciça; friável, não plástica e não pegajosa; transição plana e abrupta. |
| Bh3 | 117-130 ⁺ cm, bruno-escuro (7,5YR 3/2, úmida); areia; maciça; firme, não plástica e não pegajosa. |
- RAÍZES** - Comuns finas e poucas médias nos horizontes A e AE; poucas finas no E1; raras finas no E2 e E3; ausente nos demais horizontes.

OBSERVAÇÕES – Nível do lençol freático a 130 cm de profundidade.

DESCRIÇÃO GERAL

PERFIL – P20

DATA – 19/10/2006

CLASSIFICAÇÃO (SiBCS, 2006) – ESPODOSSOLO HUMILÚVICO Hidromórfico espessarênico, A fraco, textura arenosa, mal drenado

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS – Município de Ilha Comprida, São Paulo.

Coordenadas: Zona 23, Latitude sul: 212.091 km e Longitude oeste: 7.235.796 km

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL – perfil descrito em área plana, distante 300m do perfil P19. Este perfil está a poucos metros de uma extensa área permanentemente inundada. Cobertura vegetal sobre o perfil: floresta alta de restinga

LITOLOGIA – sedimentos arenosos marinhos

PERÍODO – Holoceno – Quaternário Marinho

MATERIAL ORIGINÁRIO – sedimentos arenosos marinhos

PEDREGOSIDADE – ausente

ROCHOSIDADE – ausente

RELEVO LOCAL – plano

REGIONAL – plano

EROSÃO – ausente

DRENAGEM – mal drenado

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – floresta alta de restinga

USO ATUAL – sem uso

CLIMA – Af

DESCRITO E COLETADO POR – Maurício Rizzato Coelho e Vanda Moreira Martins

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

- A 0-13 cm, cinzento (7,5YR 6/1, úmida); areia; fraca pequena granular e grãos simples; solta, não plástica e não pegajosa; transição plana e clara.
- EA 13-37 cm, cinzento-claro (7,5YR 7/1, úmida); areia; grãos simples; solta, não plástica e não pegajosa; transição plana e gradual.
- E 37-85 cm, cinzento-claro (10YR 7/1, úmida), mosqueado comum médio e pequeno proeminente bruno-avermelhado-escuro (5YR 3/2); areia; grãos simples; solta, não plástica e não pegajosa; transição plana e gradual.
- BE 85-110 cm, bruno-acinzentado (2,5Y 5/2, úmida); areia, grãos simples, solta, não plástica e não pegajosa, transição plana e clara.
- Bh 110-140⁺ cm, cinzento-claro (2,5Y 7/1, úmida); areia; grãos simples; solta, não plástica.

RAÍZES - Abundantes finas e poucas médias no horizonte A; poucas finas no EA; raras finas no E; ausente nos demais horizontes.

OBSERVAÇÕES – Nível do lençol freático a 80 cm de profundidade.

DESCRIÇÃO GERAL

PERFIL – P21

DATA – 20/10/2006

CLASSIFICAÇÃO (SiBCS, 2006) – ESPODOSSOLO FERRIHUMILÚVICO Órtico espessarênico, A moderado, textura arenosa, bem drenado

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS – Município de Ilha Comprida, São Paulo.

Coordenadas: Zona 23, Latitude sul: 212.077 km e Longitude oeste: 7.235.756 km

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL – perfil descrito no topo de um cordão de restinga com diferença de nível de aproximadamente 1 metro em relação ao seu entorno. Cobertura vegetal sobre o perfil: floresta baixa de restinga

LITOLOGIA – sedimentos arenosos marinhos

PERÍODO – Holoceno – Quaternário Marinho

MATERIAL ORIGINÁRIO – sedimentos arenosos marinhos

PEDREGOSIDADE – ausente

ROCHOSIDADE – ausente

RELEVO LOCAL – plano

REGIONAL – plano

EROSÃO – ausente

DRENAGEM – bem drenado

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – floresta baixa de restinga

USO ATUAL – sem uso

CLIMA – Af

DESCRITO E COLETADO POR – Maurício Rizzato Coelho e Vanda Moreira Martins

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

- A1 0-18 cm, cinzento-escuro (7,5YR 4/1, úmida); areia; fraca média pequena granular e grãos simples; solta, não plástica e não pegajosa; transição plana e clara.
- A2 18-31 cm, cinzento (7,5YR 5/1, úmida); areia; grãos simples; solta, não plástica e não pegajosa; transição plana e clara.
- EA 31-47 cm, cinzento (7,5YR 6/1, úmida), mosqueado abundante pequeno e médio difuso cinzento-escuro (7,5YR 4/1); areia; grãos simples; solta, não plástica e não pegajosa; transição plana e gradual.
- E 47-(70-135) cm, cinzento-claro (7,5YR 7/1, úmida); areia; grãos simples; solta, não plástica e não pegajosa; transição ondulada e abrupta.
- Bh (70-100)-(73-136) cm, coloração variegada, úmida, composta de bruno-escuro (7,5YR 3/3 e 7,5YR 3/4); areia; maciça; friável a firme, não plástica e não pegajosa; transição ondulada e abrupta.
- Bs1 (73-150) cm, coloração variegada, úmida, composta de bruno (7,5YR 4/4) e bruno-forte (10YR 4/4); areia; maciça; friável, não plástica e não pegajosa; transição descontínua e abrupta.
- Bs2 (73-136)-(92-152) cm, coloração variegada, úmida, composta de bruno (7,5YR 4/4) e bruno-forte (10YR 4/6), mosqueado pouco médio e grande bruno-amarelado-claro (10YR 6/4); areia; maciça; friável a firme, não plástica e não pegajosa; transição ondulada e abrupta.
- Bs3 (92-152)-(126-168) cm, coloração variegada, úmida, composta de amarelo-brunado (10YR 6/6) e bruno-claro-acinzentado (10YR 6/3), mosqueado pouco médio e grande bruno-amarelado-claro (10YR 6/4); areia; maciça; friável a firme, não plástica e não pegajosa; transição ondulada e abrupta.
- CB (126-168)-(155-170) cm, coloração variegada, úmida, composta de amarelo-claro-acinzentado (2,5Y 7/3) e amarelo (10YR 7/6); areia; grãos simples; solta, não plástica e não pegajosa; transição ondulada e abrupta.
- C 170-180⁺ cm, cinza-brunado-claro (10YR 6/2, úmida); areia; grãos simples; solta, não plástica e não pegajosa.

RAÍZES - Abundantes finas, comuns médias e poucas grossas no horizonte A1; comuns finas, poucas médias e grossas no A2; poucas finas e médias nos horizontes EA e E; poucas finas no Bh e Bs1; raras finas nos horizontes Bs2, Bs3 e CB; ausente no C.

OBSERVAÇÕES – Nível do lençol freático a 220 cm de profundidade.

DESCRIÇÃO GERAL

PERFIL – P22

DATA – 21/10/2006

CLASSIFICAÇÃO (SiBCS, 2006) – ESPODOSSOLO HUMILÚVICO Órtico espessarênico, A fraco, textura arenosa, imperfeitamente drenado

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS – Município de Ilha Comprida, São Paulo.

Coordenadas: Zona 23, Latitude sul: 212.078 km e Longitude oeste: 7.235.756 km

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL – perfil descrito no entre-cordão, distante aproximadamente 10m do anterior. Cobertura vegetal sobre o perfil: floresta baixa de restinga

LITOLOGIA – sedimentos arenosos marinhos

PERÍODO – Holoceno – Quaternário Marinho

MATERIAL ORIGINÁRIO – sedimentos arenosos marinhos

PEDREGOSIDADE – ausente

ROCHOSIDADE – ausente

RELEVO LOCAL – plano

REGIONAL – plano

EROSÃO – ausente

DRENAGEM – imperfeitamente drenado

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – floresta baixa de restinga

USO ATUAL – sem uso

CLIMA – Af

DESCRITO E COLETADO POR – Maurício Rizzato Coelho e Vanda Moreira Martins

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

A	0-18 cm, cinzento muito escuro (7,5YR 3/1, úmida); areia; moderada média e pequena granular e grãos simples; solta, não plástica e não pegajosa; transição plana e abrupta.
EA	18-28 cm, cinzento (7,5YR 5/1, úmida); areia; grãos simples; solta, não plástica e não pegajosa; transição plana e clara.
E1	28-57 cm, cinzento-claro (10YR 7/1, úmida), mosqueado comum médio e grande difuso cinzento (10YR 6/1); areia; grãos simples; solta, não plástica e não pegajosa; transição plana e clara.
E2	57-(64-88) cm, cinzento-claro (10YR 7/2, úmida), mosqueado pouco médio e proeminente bruno (7,5YR 4/2); areia; grãos simples; solta, não plástica e não pegajosa; transição ondulada e abrupta.
EB	(64-88)-(67-91) cm, coloração variegada, úmida, composta de bruno (7,5YR 4/2) e bruno-escuro (7,5YR 3/2); areia; grãos simples; solta, não plástica e não pegajosa; transição ondulada e abrupta.
Bh1	(67-91)-(107-119) cm, coloração variegada, úmida, composta de cinza muito escuro (7,5YR 3/1), bruno (7,5YR 4/2) e preto (10YR 2/1); areia; maciça; friável a firme, não plástica e não pegajosa; transição ondulada e abrupta.
Bh2	(107-119)-118 cm, coloração variegada, úmida, composta de bruno (10YR 4/3) e bruno-escuro (10YR 3/3); areia; maciça; friável a firme, não plástica e não pegajosa; transição plana e clara.
C	118-130 ⁺ cm, bruno (10YR 5/3, úmida); areia; maciça; solta, não plástica e não pegajosa.

RAÍZES - Abundantes finas, poucas médias e grossas no horizonte A; poucas finas, médias e grossas no EA; poucas finas no E1; raras finas no E2; poucas finas no EB e raras finas nos horizontes Bh1 e Bh2; ausente no horizonte C.

OBSERVAÇÕES – Nível do lençol freático a 130 cm de profundidade.

DESCRIÇÃO GERAL

PERFIL – P23

DATA – 21/10/2006

CLASSIFICAÇÃO (SiBCS, 2006) – ESPODOSSOLO FERRILÚVICO Órtico espessarênico, A fraco, textura arenosa, bem drenado

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS – Município de Ilha Comprida, São Paulo.

Coordenadas: Zona 23, Latitude sul: 212.794 km e Longitude oeste: 7.234.980 km

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL – perfil descrito na crista de um cordão de restinga, em relevo plano (2 % de declive), sob floresta baixa de restinga

LITOLOGIA – sedimentos arenosos marinhos

PERÍODO – Holoceno – Quaternário Marinho

MATERIAL ORIGINÁRIO – sedimentos arenosos marinhos

PEDREGOSIDADE – ausente

ROCHOSIDADE – ausente

RELEVO LOCAL – plano

REGIONAL – plano

EROSÃO – ausente

DRENAGEM – bem drenado

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – floresta baixa de restinga

USO ATUAL – sem uso

CLIMA – Af

DESCRITO E COLETADO POR – Maurício Rizzato Coelho e Vanda Moreira Martins

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

- A 0-22 cm, cinzento (7,5YR 5/1, úmido); areia; fraca média e pequena granular e grãos simples; solta, não plástica e não pegajosa; transição ondulada e clara.
- E1 22-(56-72) cm, cinzento- claro (7,5YR 7/1, úmido); areia; grãos simples; solta, não plástica e não pegajosa; transição ondulada e clara.
- EB (56-72)-(76-101) cm, bruno (7,5YR 5/2, úmido); areia; grãos simples; solta, não plástica e não pegajosa; transição ondulada e abrupta.
- Bh (76-101)-(94-123) cm, coloração variegada, úmida, composta de bruno (7,5YR 4/4), bruno-escuro (7,5YR 4/6) e cinzento -claro (7,5YR 7/1); areia; maciça, firme e localmente friável, não plástica e não pegajosa; transição ondulada e abrupta.
- E2 (94-123)-(129-141) cm, cinzento-claro (7,5YR 7/1, úmido), mosqueado comum pequeno e médio proeminente amarelo-avermelhado (10YR 6/6, úmido); areia; grãos simples; solta, não plástica e não pegajosa; transição ondulada e clara.
- C1 (129-141)-160 cm, bruno-claro (10YR 6/3, úmido), mosqueado abundante médio e grande difuso bruno (10YR, 5/3, úmido); areia; grãos simples; solta, não plástica e não pegajosa; transição plana e gradual.
- C2 160-186 cm, bruno (10YR 5/4, úmido), mosqueado comum médio e grande difuso bruno (10YR 4/4, úmido); areia; maciça; muito friável, não plástica e não pegajosa; transição plana e abrupta.
- C3 186-200 cm+, coloração variegada, úmida, composta de bruno (7,5YR 5/3) e preto (7,5YR 2,5/1); areia; maciça; friável, não plástica e não pegajosa.

RAÍZES - Comuns finas, poucas médias e grossas nos horizontes A e E1; poucas finas no EB e Bh; raras finas nos horizontes E2 e C1; ausente nos demais horizontes.

OBSERVAÇÕES – Lençol freático aflorando a 2,10 m de profundidade. O horizonte Bh está visivelmente se desmantelando: apresenta-se descontínuo na forma de manchas de Bh dispersas numa matriz de horizonte mais claro (horizonte E). Na base do horizonte C1 ocorre estratificação de minerais pesados. Esta estratificação se torna menos expressiva no horizonte C2 e aumenta significativamente no C3, de tal forma que este é totalmente formado por estratos de quartzo intercalados aqueles de minerais pesados.

DESCRIÇÃO GERAL

PERFIL – P24

DATA – 23/10/2006

CLASSIFICAÇÃO (SiBCS, 2006) – ESPODOSSOLO FERRILÚVICO Órtico espessarênico, A fraco, textura arenosa, fortemente drenado

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS – Município de Ilha Comprida, São Paulo.

Coordenadas: Zona 23, Latitude sul: 212.029 km e Longitude oeste: 7.234.785 km

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL – perfil descrito no topo de um cordão de restinga imediatamente após o entre-cordão do perfil P23, com diferença de nível de aproximadamente 1,5 m em relação ao seu entorno Cobertura vegetal sobre o perfil: floresta baixa de restinga

LITOLOGIA – sedimentos arenosos marinhos

PERÍODO – Holoceno – Quaternário Marinho

MATERIAL ORIGINÁRIO – sedimentos arenosos marinhos

PEDREGOSIDADE – ausente

ROCHOSIDADE – ausente

RELEVO LOCAL – plano

REGIONAL – plano

EROSÃO – ausente

DRENAGEM – fortemente drenado

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – floresta baixa de restinga

USO ATUAL – sem uso

CLIMA – Af

DESCRITO E COLETADO POR – Maurício Rizzato Coelho e Vanda Moreira Martins

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

- A 0-18 cm, cinzento (7,5YR 5/1, úmida); areia; fraca média e pequena granular e grãos simples; solta, não plástica e não pegajosa; transição plana e clara.
- AE 18-32 cm, cinzento (7,5YR 6/1, úmida); areia; grãos simples; solta, não plástica e não pegajosa; transição plana e clara.
- E 32-(66-78) cm, cinza-claro (7,5YR 7/1, úmida) mosqueado pequeno e médio difuso cinza (7,5YR 6/1); areia; grãos simples; solta, não plástica e não pegajosa; transição ondulada e clara.
- EB (66-78)-(70-88) cm, bruno-claro-acinzentado (10YR 6/3, úmida); areia; grãos simples; solta, não plástica e não pegajosa; transição ondulada e abrupta.
- Bs1 (70-88)-(84-95) cm, coloração variegada, úmida, composta de bruno (7,5YR 4/4), bruno-amarelado (10YR 5/6) e bruno (10YR 5/3); areia; maciça; firme, não plástica e não pegajosa; transição ondulada e clara.
- Bs2 (84-95)-(112-144) cm, coloração variegada, úmida, composta de bruno-amarelado (10YR 5/6), vermelho-claro (2,5YR 6/6) e bruno muito claro-acinzentado (10YR 7/4); areia; maciça; friável a firme, não plástica e não pegajosa; transição ondulada e abrupta.
- C1 (112-144)-(143-160) cm, coloração variegada, úmida, composta de bruno (10YR 4/3) e bruno-escuro (10YR 3/3); areia; grãos simples; solta, muito friável, não plástica e não pegajosa; transição ondulada e gradual.
- C2 (143-160)-180⁺ cm, cinzento-claro (10YR 7/2, úmida); areia; maciça que se desfazem em grãos simples; friável, não plástica e não pegajosa; transição descontínua e abrupta.

RAÍZES - Abundantes finas, poucas médias e grossas no horizonte A; comuns finas no AE; poucas finas e raras grossas no E; raras finas no EB, Bs1 e Bs2; ausente nos demais horizontes.

OBSERVAÇÕES – Nível do lençol freático ocorrendo a aproximadamente 200 cm de profundidade. Horizonte EB apresenta remanescente de Bh de consistência mais firme. Horizonte Bs1, Bs2, C1 e C2 apresentam estratificações plano-paralelas e contínuas de minerais pesados.

DESCRIÇÃO GERAL

PERFIL – P25

DATA – 23/10/2006

CLASSIFICAÇÃO (SiBCS, 2006) – ESPODOSSOLO HUMILÚVICO Órtico espessarênico, A moderado, textura arenosa, fortemente drenado

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS – Município de Ilha Comprida, São Paulo.

Coordenadas: Zona 23, Latitude sul: 212.820 km e Longitude oeste: 7.234.722 km

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL – perfil descrito após os cordões litorâneos, em área plana (2% de declive), antecedendo a duna do perfil P26, sob floresta baixa de restinga

LITOLOGIA – sedimentos arenosos marinhos

PERÍODO – Holoceno – Quaternário Marinho

MATERIAL ORIGINÁRIO – sedimentos arenosos marinhos

PEDREGOSIDADE – ausente

ROCHOSIDADE – ausente

RELEVO LOCAL – plano

REGIONAL – plano

EROSÃO – ausente

DRENAGEM – fortemente drenado

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – floresta baixa de restinga

USO ATUAL – sem uso

CLIMA – Af

DESCRITO E COLETADO POR – Maurício Rizzato Coelho e Vanda Moreira Martins

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

- | | |
|----|--|
| A1 | 0-14 cm, cinzento (10YR 6/1, úmida); areia; fraca média e pequena granular e grãos simples; solta, não plástica e não pegajosa; transição plana e clara. |
| A2 | 14-33 cm, bruno-acinzentado (10YR 5/2, úmida); areia; grãos simples; solta, não plástica e não pegajosa; transição plana e clara. |
| Bh | 33-65 cm, bruno-claro-acinzentado (7,5YR 4/2, úmida); areia; grãos simples; solta, não plástica e não pegajosa; transição plana e abrupta. |
| C1 | 65-103 cm, coloração variegada, úmida, composta de bruno-amarelado-claro (10YR 6/4), bruno (10YR 5/3); areia; grãos simples; solta, não plástica e não pegajosa; transição plana e difusa. |
| C2 | 103-138 cm, bruno muito claro-acinzentado (10YR 7/4, úmida); areia; maciça que se desfaz em grãos simples; muito friável, não plástica e não pegajosa; transição plana e difusa. |
| C3 | 138-201 cm, bruno muito claro-acinzentado (10YR 7/3, úmida); areia; maciça que se desfaz em grãos simples; solta, muito friável, não plástica e não pegajosa; transição plana e gradual. |
| C4 | 201-216 ⁺ cm, cinzento-claro (10YR 7/2, úmida); areia; grãos simples; solta, não plástica e não pegajosa. |

RAÍZES - Comuns finas e poucas médias nos horizontes A1, A2 e Bh; comuns finas no C1; poucas finas no C2; ausente nos demais horizontes.

OBSERVAÇÕES – Nível do lençol freático ocorrendo abaixo de 300 cm de profundidade. Estratificações plano-paralelas de minerais pesados se iniciam no horizonte C2, aumentando em quantidade com a profundidade.

DESCRIÇÃO GERAL

PERFIL – P26

DATA – 24/09/2006

CLASSIFICAÇÃO (SiBCS, 2006) –NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico típico, A moderado, excessivamente drenado

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS – Primeira duna próximo à praia, Município de Ilha Comprida, São Paulo. Coordenadas: Zona 23, Latitude sul: 212.849 km e Longitude oeste: 7.234.721 km

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL – perfil descrito no topo da primeira duna próxima à praia, em relevo plano no topo curto da duna (1 % de declive), sob vegetação de escrube

LITOLOGIA – Sedimentos arenosos marinhos

PERÍODO – Holoceno – Quaternário Marinho

MATERIAL ORIGINÁRIO – sedimentos arenosos marinhos

PEDREGOSIDADE – ausente

ROCHOSIDADE – ausente

RELEVO LOCAL – plano

REGIONAL – plano

EROSÃO – ausente

DRENAGEM – excessivamente drenado

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Escrube

USO ATUAL – sem uso

CLIMA – Af

DESCRITO E COLETADO POR – Maurício Rizzato Coelho e Vanda Moreira Martins

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

- A 0-(11-27) cm, bruno (7,5YR 5/2, úmido); areia; fraca pequena e média granular e grãos simples; solta, não plástica e não pegajosa; transição ondulada e clara.
- AC (11-27)-45 cm, bruno (10YR 5/3, úmido); areia; grãos simples; solta, não plástica e não pegajosa; transição plana e clara.
- C1 45-70 cm, cinzento-claro (10YR 7/1, úmido); areia; grãos simples; solta, não plástica e não pegajosa; transição plana e abrupta.
- C2 70-128 cm, bruno-amarelo-claro (10YR 6/4, úmido); areia; maciça que se desfaz em grãos simples; muito friável, não plástica e não pegajosa; transição plana e difusa.
- C3 128-210 cm+, vermelho-claro-acinzentado (2,5YR 7/2, úmido); areia; grãos simples; muito friável, não plástica e não pegajosa.

RAÍZES - Abundantes finas e médias, comuns grossas no horizonte A; comuns finas no AC; poucas finas no C1; raras nos horizontes C2 e C3.

OBSERVAÇÕES – Estratificação de minerais pesados no horizonte C2 e sotopostos.

DESCRIÇÃO GERAL

PERFIL – P27

DATA – 26/10/2006

CLASSIFICAÇÃO (SiBCS, 2006) – ESPODOSSOLO HUMILÚVICO Órtico dúrico, A fraco, textura arenosa, imperfeitamente drenado

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS – Condomínio Agrosolar, situado a 4 metros da falésia do Mar de Cananéia, município de Cananéia, São Paulo. Coordenadas: Zona 23, Latitude sul: 206.972 km e Longitude oeste: 7.235.865 km

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL – perfil descrito em relevo plano (1 % de declive), sob vegetação de floresta baixa de restinga alterada

LITOLOGIA – sedimentos arenosos marinhos

PERÍODO – Pleistoceno – Quaternário Marinho.

MATERIAL ORIGINÁRIO – Sedimentos arenosos marinhos

PEDREGOSIDADE – ausente

ROCHOSIDADE – ausente

RELEVO LOCAL – plano

REGIONAL – plano

EROSÃO – ausente

DRENAGEM – imperfeitamente drenado

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – floresta alta de restinga

USO ATUAL – sem uso

CLIMA – Af

DESCRITO E COLETADO POR – Maurício Rizzato Coelho e Vanda Moreira Martins

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

A	0-18 cm, cinzento-escuro (7,5YR 4/1, úmido); areia; fraca pequena granular que se desfaz em grãos simples; solta, não plástica e não pegajosa; transição plana e clara.
EA	18-29 cm, cinzento(7,5YR 6/1, úmida); areia; grãos simples; solta, não plástica e não pegajosa; transição plana e clara.
E	29-(84-94) cm, branco, cinzento-claro (7,5YR 7/1, úmida); areia; grãos simples; solta, não plástica e não pegajosa; transição ondulada e clara.
EB	(84-94)-(90-109) cm, cinzento (7,5YR 6/1); areia; maciça; muito friável, não plástica e não pegajosa; transição ondulada e abrupta.
Bh	(90-109)-(99-115) cm, cinzento muito escuro (7,5YR 3/1, úmido); areia; maciça; muito firme, não plástica e não pegajosa; transição ondulada e abrupta.
Bhm	(99-115)-160 cm+, coloração variegada, úmida, composta de preto (10YR 2/1) e bruno-escuro (10YR 3/2 e 10YR 3/3); areia; maciça; extremamente firme, não plástica e não pegajosa

RAÍZES - Abundantes finas e poucas médias no horizonte A; poucas finas no EA; raras finas nos horizontes E e EB; ausentes nos demais.

DESCRIÇÃO GERAL

PERFIL – P28

DATA – 27/10/2006

CLASSIFICAÇÃO (SiBCS, 2006) – ESPODOSSOLO FERRIHUMILÚVICO Órtico espessarênico, A fraco, textura arenosa, bem drenado

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS – Condomínio Agrosolar, município de Cananéia, São Paulo. Coordenadas: Zona 23, Latitude sul: 206.862 km e Longitude oeste: 7.236.165 km

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL – perfil descrito em relevo plano (1 % de declive), sob vegetação de floresta baixa de restinga alterada

LITOLOGIA – sedimentos arenosos marinhos

PERÍODO – Pleistoceno – Quaternário Marinho

MATERIAL ORIGINÁRIO – sedimentos arenosos marinhos

PEDREGOSIDADE – ausente

ROCHOSIDADE – ausente

RELEVO LOCAL – plano

REGIONAL – plano

EROSÃO – ausente

DRENAGEM – bem drenado

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – floresta alta de restinga

USO ATUAL – sem uso

CLIMA – Af

DESCRITO E COLETADO POR – Maurício Rizzato Coelho e Vanda Moreira Martins

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

A	0-21 cm, cinzento (10YR 5/1, úmido); areia; fraca pequena granular que se desfaz em grãos simples; solta, não plástica e não pegajosa; transição plana e clara.
E	18-(54-126) cm, cinzento-claro (7,5YR 7/1, úmido); areia; grãos simples; solta, não plástica e não pegajosa; transição descontínua e abrupta.
Bhs1	(54-62)-(65-73) cm, bruno (10YR 4/3, úmida); areia; maciça; firme e localmente muito firme, não plástica e não pegajosa; transição descontínua e abrupta.
Bhs2	(65-73)-(77-88) cm, bruno-amarelado-escuro (10YR 4/4, úmida); areia; maciça; firme a friável, não plástica e não pegajosa; transição descontínua e abrupta.
Bhs3	(60-68)-108 cm, coloração variegada, úmida, composta de bruno-escuro (7,5YR 3/2) e bruno (10YR 5/3); areia; maciça; firme e localmente muito firme, não plástica e não pegajosa; transição descontínua e abrupta.
Bhs4	(77-109)-(111-177) cm, bruno muito escuro (7,5YR 2,5/2); areia; maciça; friável a firme, não plástica e não pegajosa; transição descontínua e abrupta.
Bhs5	(111-177)-200 cm, (10YR 2/1) e bruno-escuro (10YR 7/6); areia; maciça; muito friável, não plástica e não pegajosa; transição descontínua e clara.
Bhs6	134-160 cm, bruno-amarelado (10YR 5/4); areia; maciça; muito friável, não plástica e não pegajosa; descontínua e abrupta;
Bhs7	150-200 cm+, bruno-amarelado (10YR 5/5); areia; maciça; firme a muito firme, não plástica e não pegajosa.

RAÍZES - Comuns finas e poucas médias e grossas no horizonte A; poucas finas e grossas no E; poucas finas nos horizontes Bhs1 e Bhs2; ausentes nos demais horizontes.

DESCRIÇÃO GERAL

PERFIL – P29

DATA – 28/10/2006

CLASSIFICAÇÃO (SiBCS, 2006) – ESPODOSSOLO HUMILÚVICO Órtico dúrico, A fraco, textura arenosa, imperfeitamente drenado

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS – Condomínio Agrosolar, município de Cananéia, São Paulo. Coordenadas: Zona 23, Latitude sul: 206.318 km e Longitude oeste: 7.236.043 km

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL – perfil descrito em relevo plano (1 % de declive), sob vegetação de floresta baixa de restinga alterada

LITOLOGIA – sedimentos arenosos marinhos

PERÍODO – Pleistoceno – Quaternário Marinho

MATERIAL ORIGINÁRIO – sedimentos arenosos marinhos

PEDREGOSIDADE – ausente

ROCHOSIDADE – ausente

RELEVO LOCAL – plano

REGIONAL – plano

EROSÃO – ausente

DRENAGEM – mal drenado

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – floresta alta de restinga

USO ATUAL – sem uso

CLIMA – Af

DESCRITO E COLETADO POR – Maurício Rizzato Coelho e Vanda Moreira Martins

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

- A 0-14 cm, cinzento muito escuro (7,5YR 3/1, úmido); areia; fraca pequena e média granular que se desfaz em grãos simples; muito friável, não plástica e não pegajosa; transição plana e abrupta.
- E 14-(47-60) cm, cinzento-claro (7,5YR 7/1, úmido), mosqueado abundante pequeno e médio difuso cinzento (7,5YR 5/1, úmido); areia; grãos simples; solta, não plástica e não pegajosa; transição ondulada e abrupta.
- Bh (47-60)-(60-70) cm, preto (10YR 2/1, úmido); areia; maciça; firme, não plástica e não pegajosa; transição ondulada e clara.
- Bhm1 (60-70)-87 cm, coloração variegada, úmida, composta de preto (10YR 2/1) e bruno muito escuro (7,5YR 2,5/2); areia; maciça; extremamente firme, não plástica e não pegajosa; transição plana e abrupta.
- Bhm2 87-104 cm, bruno-escuro (7,5YR 3/3, úmido); areia; maciça; muito firme, não plástica e não pegajosa; transição plana e abrupta.
- Bs 104-115 cm, bruno-amarelado (10YR 5/6, úmido); areia; maciça; firme, não plástica e não pegajosa.

RAÍZES - Abundantes finas e poucas médias no horizonte A; poucas finas no E e Bh; ausentes nos demais horizontes.

OBSERVAÇÕES – Estratificações plano-paralelas de minerais pesados nos horizontes espódicos, melhor expressas no horizonte Bhm2.

DESCRIÇÃO GERAL

PERFIL – P30

DATA – 30/10/2006

CLASSIFICAÇÃO – ESPODOSSOLO HUMILÚVICO Órtico dúrico, A fraco, textura arenosa, imperfeitamente drenado

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS – Condomínio Agrosolar, município de Cananéia, São Paulo. Coordenadas: Zona 23, Latitude sul: 206.083 km e Longitude oeste: 7.236.262 km

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL – perfil descrito em relevo plano (1 % de declive), sob vegetação de floresta alta de restinga alterada

LITOLOGIA – sedimentos arenosos marinhos

PERÍODO – Pleistoceno – Quaternário Marinho

MATERIAL ORIGINÁRIO – sedimentos arenosos marinhos

PEDREGOSIDADE – ausente

ROCHOSIDADE – ausente

RELEVO LOCAL – plano

REGIONAL – plano

EROSÃO – ausente

DRENAGEM – imperfeitamente drenado

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – floresta alta de restinga

USO ATUAL – sem uso

CLIMA – Af

DESCRITO E COLETADO POR – Maurício Rizzato Coelho e Vanda Moreira Martins

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

- | | |
|-----|---|
| A | 0-10 cm, cinzento muito escuro (7,5YR 3/1, úmido); areia; moderada pequena e média granular que se desfaz em grãos simples; muito friável, não plástica e não pegajosa; transição plana e clara. |
| E | 10-18 cm, coloração variegada, úmida, composta de cinzento-claro (7,5YR 7/1) e cinzento-rosado (7,5YR 7/2); areia; grãos simples; solta, não plástica e não pegajosa; transição plana e abrupta. |
| Bhg | (33-40)-(40-44) cm, coloração variegada, úmida, composta de cinzento-escuro (7,5YR 4/1) e preto (10YR 2,5/1, úmido); areia; maciça; firme, não plástica e não pegajosa; transição ondulada e abrupta. |
| Bh | (40-44)-(58-76) cm, preto (7,5YR 2,5/1, úmido); areia; maciça; firme e localmente muito firme, não plástica e não pegajosa; transição ondulada e clara. |
| Bhm | (58-76)-105 cm+, bruno-avermelhado-escuro (5YR 2,5/2, úmido); areia; maciça; extremamente firme, não plástica e não pegajosa. |

RAÍZES - Comuns finas e poucas médias no horizonte A; poucas finas no E e Bhg; ausentes no Bhm.

DESCRIÇÃO GERAL

PERFIL – P31

DATA – 31/10/2006

CLASSIFICAÇÃO (SiBCS, 2006) – ESPODOSSOLO FERRIHUMILÚVICO Órtico dúrico, A fraco, textura arenosa, imperfeitamente drenado

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS – Condomínio Agrosolar, município de Cananéia, São Paulo. Coordenadas: Zona 23, Latitude sul: 206.083 km e Longitude oeste: 7.236.264 km

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL – perfil descrito em relevo plano (0 % de declive), situado a 2 metros do barrando do Mar de Cubatão, sob floresta alta de restinga alterada

LITOLOGIA – Sedimentos arenosos marinhos

PERÍODO – Pleistoceno – Quaternário Marinho

MATERIAL ORIGINÁRIO – sedimentos arenosos marinhos

PEDREGOSIDADE – ausente

ROCHOSIDADE – ausente

RELEVO LOCAL – plano

REGIONAL – plano

EROSÃO – ausente

DRENAGEM – imperfeitamente drenado

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – floresta alta de restinga

USO ATUAL – sem uso

CLIMA – Af

DESCRITO E COLETADO POR – Maurício Rizzato Coelho e Vanda Moreira Martins

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

A	0-23 cm, cinzento (7,5YR 5/1, úmido); areia; fraca, muito pequena granular que se desfaz em grãos simples; muito friável, não plástica e não pegajosa; transição plana e clara.
E	23-(45-55) cm, cinzento-claro (10YR 7/1, úmida); areia; grãos simples; solta, não plástica e não pegajosa; transição ondulada e abrupta.
Bh	(45-55)-(65-87) cm, preto (7,5YR 2,5/1, úmido); areia; maciça; firme, não plástica e não pegajosa; transição descontínua e clara.
Bhm	(65-87)-140 cm, preto (10YR 2/1, úmido); areia; maciça; extremamente firme, não plástica e não pegajosa; transição plana e abrupta.
Bs1	140-290 cm+, amarelo-brunado (10YR 6/6, úmido); areia; maciça; muito firme, não plástica e não pegajosa; transição plana e clara;
Bs2	290-500 cm+, amarelo (10YR 7/6, úmido); areia; maciça; friável a firme, não plástica e não pegajosa.

RAÍZES - Comuns finas e poucas médias no horizonte A; poucas finas no E e Bh; ausentes nos demais.