

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

**Gênese e classificação de solos sob vegetação de restinga na Ilha do Cardoso-SP**

**Felipe Haenel Gomes**

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

**Piracicaba  
2005**



Felipe Haenel Gomes  
Engenheiro Agrônomo

**Gênese e classificação de solos sob vegetação de restinga na Ilha do Cardoso-SP**

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**  
**2005**

**DEDICO**

*Aos meus pais, Olivo e Cristina, pelo apoio,  
carinho e compreensão*

**OFEREÇO**

*À minha família, Patrícia, Luan e Flora,  
que fazem cada momento mais alegre.*

## **Agradecimentos**

À Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – Esalq/USP através do Departamento de Solos e Nutrição de Plantas e do Programa de Pós-graduação de Solos e Nutrição de Plantas, pela oportunidade, confiança e apoio.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela bolsa concedida no país e ao estágio no exterior (Doutorado Sanduíche) através do convênio CAPES-MECD 054/03, entre a Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” e Universidade de Santiago de Compostela.

À Fundação de amparo à pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pelo financiamento ao projeto: Biota – diversidade, dinâmica e conservação em florestas do Estado de São Paulo: 40 ha de parcelas permanentes. Processo 1999/ 09635-0.

Ao pessoal do projeto Biota, especialmente à Mariana, Alzira, Natália e ao Prof. Ricardo Ribeiro Rodrigues pelo apoio e ao Prof. Igo Lepsh pelas dicas.

À Universidade de Santiago de Compostela – “Departamento de Edafología e Química Agrícola”, pelo apoio e infra-estrutura na realização das atividades laboratoriais.

Ao Instituto Oceanográfico, em especial aos funcionários da base de Cananéia, Heloísa e Humberto, pelo apoio durante os trabalhos de campo.

Ao Instituto Florestal, especialmente aos funcionários Lair e Renato, pelo apoio nos trabalhos de campo.

Aos funcionários da Esalq: Dorival, Nancy, Luis Silva, Moisés, Valter, Beth, Martinha, Jaqueline, Karina, Marta, Cristina pelo apoio nos serviços realizados.

Ao Prof. Pablo Vidal-Torrado pela orientação, ensinamentos, confiança, apoio, e amizade.

Ao Prof. Xosé Luis Otero Pérez (Universidade de Santiago de Compostela), pela colaboração, apoio, amizade e companheirismo e à Esther, pelo apoio e amizade.

Ao Prof. Felipe Macias (Universidade de Santiago de Compostela), pelas dicas e apoio, os quais foram fundamentais na realização deste trabalho.

Aos Profs. Miguel Cooper, Moyses Tessler, Alexandre Demattê, Célia Regina, Luis Alleoni, Michel Mahiques, Takashi Muraoka e Luiz Pessenda pela oportunidade e contribuição à minha formação.

Ao Prof. Peter Buurman, pelas dicas, ensinamentos e viagem ao campo.

Ao Prof. João Carlos Ker, pela amizade, ensinamentos e confiança em me conduzir na formação em pedologia.

Àqueles que me ajudaram em minha formação em Viçosa, especialmente à Cristiane, Aninha e Walder.

Aos amigos: Roberta, Thomas, Renata, Pietra, Mateus, Deco, Laura, Alex, Pakinha, Simone, Flávio e Joyce, pelo apoio e carinho.

Ao Olivo e à Kika, pela amizade.

Ao Tiago, Flávia e Valdomiro e Sarah, grandes amigos, pelo companheirismo e valiosa amizade em todo o doutorado.

À Marta Molina e Kuek pela amizade e ajuda na coleta.

Aos meus amigos “de Viçosa”, em especial ao Nel, Mai, Lucas, Mirreile, Gabi, Marcelera, Markin, Márcia, Perílson, Luciana, Tutu, Lídia, Camilla, Lize, Léo, Rô, Zé, Chupeta, Alê, André, Vinícius, Nara, Felipe, Cacá, Pedro, Taty, Meubles, Clotilde, Roberto, Janela, Leila, Viviane, Hugo, Cíntia, Brener, Fábio.

Aos amigos da Esalq: Aline, Camila, Koitado, Ingrato, Cindy, Dolorice, Fernando Perobelli, Fernando Zambrosi, Flávia, Herdjania, Jonas, Josiane, Juliano, Lilocca, Mara, Marcio Soares, Mauricio Coelho, Elaine, Álvaro, Mirian, Vanda, Virginia e Suzana pela amizade e pelos momentos agradáveis.

Aos amigos da Universidade de Santiago de Compostela, especialmente à Esther, Lídia, Salva, Maria, Edgar, Luis, Eladio, Maite, Chus e Petra, Carmela, Nue, Juanca, Carmen, Eva Penteadó, Javi, Naty, Javi 10, Eva Bujan, Jesus, Roberto, pela ajuda e companheirismo durante minha estada em Santiago de Compostela.

Aos amigos cervantinos, especialmente ao Lilo, Bolhas e Gian.

Ao amigo Felipe Simas, pela ajuda na elaboração dos abstracts.

Aos amigos da Associação Pedagógica Novalis, pelo companherismo em especial aos funcionários do Jardim de Infância Alecrim, pela tranqüilidade proporcionada para a realização de meu trabalho.

À Graça, Marcílio, Leticia e Marcilin pela amizade.

À Fátima, Dinha e Débora, pela ajuda.

A todos aqueles, que por acaso tenha esquecido e, que contribuíram e me incentivaram para a realização deste trabalho.

A Deus, pela força.

**MUITO OBRIGADO!**

## SUMÁRIO

|  |    |
|--|----|
| RESUMO.....  | 9  |
| ABSTRACT.....  | 10 |
| 1 INTRODUÇÃO.....  | 11 |
| Referências.....   | 14 |
| 2 CARACTERIZAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS SOB VEGETAÇÃO DE RESTINGA NA ILHA DO CARDOSO-SP.....         | 16 |
| Resumo.....  | 16 |
| Abstract.....  | 17 |
| 2.1 Introdução.....  | 18 |
| 2.2 Desenvolvimento.....   | 19 |
| 2.2.1 Material e Métodos.....  | 19 |
| 2.2.1.1 Meio Físico.....   | 19 |
| 2.2.1.2 Análise estrutural.....  | 21 |
| 2.2.1.3 Análises laboratoriais.....  | 21 |
| 2.2.2 Resultados.....  | 23 |
| 2.2.3 Discussão.....   | 34 |
| 2.2.3.1 Distribuição dos solos.....  | 34 |
| 2.2.3.2 Características químicas e físicas.....  | 35 |
| 2.2.3.3 Hidromorfia e podzolização.....  | 37 |
| 2.2.3.4 Classificação.....   | 38 |
| 2.2.3.5 Materiais sulfídricos.....   | 40 |
| 2.2.3.6 Considerações finais.....  | 40 |
| 2.3 Conclusões.....  | 41 |
| Referências.....   | 42 |
| 3 DINÂMICA DO FERRO E DO ALUMÍNIO EM SOLOS SOB VEGETAÇÃO DE RESTINGA NA ILHA DO CARDOSO-SP.....        | 47 |
| Resumo.....  | 47 |
| Abstract.....  | 48 |
| 3.1 Introdução.....  | 49 |
| 3.2 Desenvolvimento.....   | 51 |
| 3.2.1 Material e Métodos.....  | 51 |
| 3.2.1.1 Meio físico.....   | 51 |
| 3.2.1.2 Amostragem.....  | 52 |
| 3.2.1.3 Análises laboratoriais.....  | 52 |
| 3.2.2 Resultados.....  | 53 |
| 3.2.3 Discussão.....   | 62 |
| 3.3 Conclusões.....  | 65 |
| Referências.....   | 66 |
| 4 MINERALOGIA DAS FRAÇÕES ARGILA E SILTE DE SOLOS SOB VEGETAÇÃO DE RESTINGA NA ILHA DO CARDOSO-SP..... | 69 |
| Resumo.....  | 69 |
| Abstract.....  | 70 |
| 4.1 Introdução.....  | 71 |
| 4.2 Desenvolvimento.....   | 73 |



|                                   |    |
|-----------------------------------|----|
| 4.2.1 Material e Métodos.....     | 73 |
| 4.2.1.1 Escolha dos perfis.....   | 74 |
| 4.2.1.2 Preparo das amostras..... | 74 |
| 4.2.2 Resultados.....             | 75 |
| 4.2.2.1 Fração silte.....         | 75 |
| 4.2.2.2 Fração argila.....        | 77 |
| 4.2.3 Discussão.....              | 80 |
| 4.3 Conclusões.....               | 82 |
| Referências.....                  | 83 |
| ANEXOS.....                       | 87 |

## RESUMO

### Gênese e classificação de solos sob vegetação de restinga na Ilha do Cardoso-SP

A vegetação de restinga é uma formação típica que ocorre na costa brasileira em materiais de origem quartzosos e pobres em nutrientes. O principal processo pedogenético que ocorre nos solos sob essa vegetação é a podzolização, sendo os Espodosolos e os Neossolos com podzolização incipiente os solos mais comumente encontrados. A podzolização é frequentemente estudada em regiões de clima frio, sendo escassos os estudos dos mesmos em clima tropical e desenvolvidos sobre sedimentos marinhos quartzosos. Foram coletados e descritos morfologicamente nove perfis de solos sob vegetação de restinga na Ilha do Cardoso-SP com o objetivo de caracterizá-los em sua química, física, morfologia, mineralogia e estudar a dinâmica do Fe e do Al nestes solos com o intuito não só de se compreender melhor a gênese dos mesmos como para contribuir com o aprimoramento do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS). Os resultados mostraram solos hidromórficos, arenosos, muito ácidos, com teores variáveis de matéria orgânica e fases não cristalinas Al e Fe, sendo que o Al é o metal que participa mais efetivamente do processo de podzolização, o qual é altamente dependente da hidromorfia. Este fato é evidenciado pela microtopografia, que exerce papel importante na distribuição dos solos. Foi identificada pirita em alguns horizontes (2Cgj), os quais apresentam características distintas em relação aos demais, tais como textura mais fina e presença de esmectita. Este material de origem influencia até os horizontes espódicos, reduzindo o pH bruscamente na determinação da TFSA (terra fina seca ao ar), devido à influência indireta promovida pelo lençol freático. Nos horizontes espódicos, os principais minerais encontrados foram o feldspato e o quartzo na fração silte e a caulinita e o quartzo na fração argila, evidenciando uma assembléia mineralógica mais pobre em relação a outros Espodosolos de clima frio e até mesmo em relação a outros da costa brasileira. Isso ocorre devido principalmente ao próprio material de origem ser muito pobre em minerais primários intemperizáveis. O SiBCS mostrou falhas na classificação da ordem Espodosolos a partir do 2º nível categórico (subordem), principalmente no que diz respeito ao acúmulo de Fe no horizonte espódico. Sugere-se a inserção da denominação “tíônico” no quarto nível categórico, devido à possibilidade da ocorrência de solos tiomórficos, se forem drenados, bem como a adoção de um critério químico na distinção das subordens dos Espodosolos. As relações Carbono/Metal evidenciaram a baixa participação do Fe, sendo o Al o responsável pela precipitação química do complexo organometálico. Os Espodosolos estudados são holocênicos e a podzolização é dependente da hidromorfia. A presença de sulfetos de ferro afeta parte dos solos estudados e pode coincidir com horizontes espódicos.

Palavras-chave: Podzol, Espodosolo, podzolização, vegetação de restinga, solos tiomórficos, minerais primários em solos, caulinita, extrações seletivas.

## ABSTRACT

### **Genesis and classification of soils under restinga vegetation at Ilha do Cardoso-SP**

Restinga vegetation is a typical formation that occurs in Brazilian coast, on quartzitic, sandy poor parent material. The main pedogenic process that occurs in soils under this vegetation is the podzolization, being the Spodosols and Quartzipsamments, with incipient podzolization, the most common soils. Podzolization is frequently studied in regions of cold climate, with a lack of studies in tropical climate and quartzitic material. Nine soil profiles under restinga vegetation at Ilha do Cardoso, São Paulo State, had been sampled and morphologically described with the objective to proceed chemical, physical, morphological and mineralogical characterization and study Fe and Al dynamics in these soil with the aim of better comprehend its genesis, as well as contribute to an improvement of the Brazilian System of Soil Classification (SiBCS). The results had shown aquic, sandy, very acid soils with variable contents of organic matter and Al and Fe non crystalline phases. Al appears to be the metal that participate more effectively on podzolization process, which is highly dependent on aquic conditions. Being so, microtopography plays an important role in soil distribution. Pyrite and smectite was also identified in clay horizons (2Cg<sub>j</sub>) related to a distinct parent material. This material also influences spodic horizon chemistry generating low pH values in dried samples due to water table effects. Spodic horizons are mainly constitute by feldspar and quartz, in the silt fraction, and kaolinite and quartz, in the clay fraction, evidencing a poor mineralogical assembly in relation to other Spodosols of cold climate and even to those of Brazilian coast. This mainly occurs due to parent material which presents few weatherable primary minerals. SiBCS showed imperfections in the classification of Spodosols from 2<sup>nd</sup> categorical level (suborder), mainly because the absence of a chemical criteria for Fe accumulation in spodic horizon. We suggest the insertion of "thionic " denomination in the 4<sup>th</sup> categorical level because of the possible formation of acid sulphate soils in response to drainage, as well as the adoption of a chemical criteria in the distinction of suborders of Spodosols. Carbon/Metal ratios had evidenced low participation of Fe, being Al responsible for chemical precipitation of organo-metallic complex. Our Spodosols are holocenic and podzolization process depends on aquic conditions. Presence of iron sulfides affects some of the studied soils and also coincide with spodic horizons.

Keywords: Podzol, Spodosol, podzolization, restinga vegetation, potencial acid sulphate soils, primary minerals in soils, kaolinite, selective extractions

## 1 INTRODUÇÃO

De acordo com a revisão de Suguio & Tessler (1984), a denominação “restinga” é freqüentemente utilizada para designar desde vários tipos de depósitos litorâneos quanto outras feições costeiras e até mesmo a vegetação. Neste último caso, designaria uma vegetação arbustivo-arbórea características de zonas costeiras. Eles sugerem a substituição desta denominação por palavras de significado mais restrito e preciso, de conotação genética, tais como: cordões arenosos, praias barreiras, barras, esporões e tômbolos (Figura 1.1). Restingas sucessivas podem ser formadas de modo paralelo e, quando incorporadas à área continental, dão origem às chamadas “planícies de restingas” (CHRISTOFOLETTI, 1980).

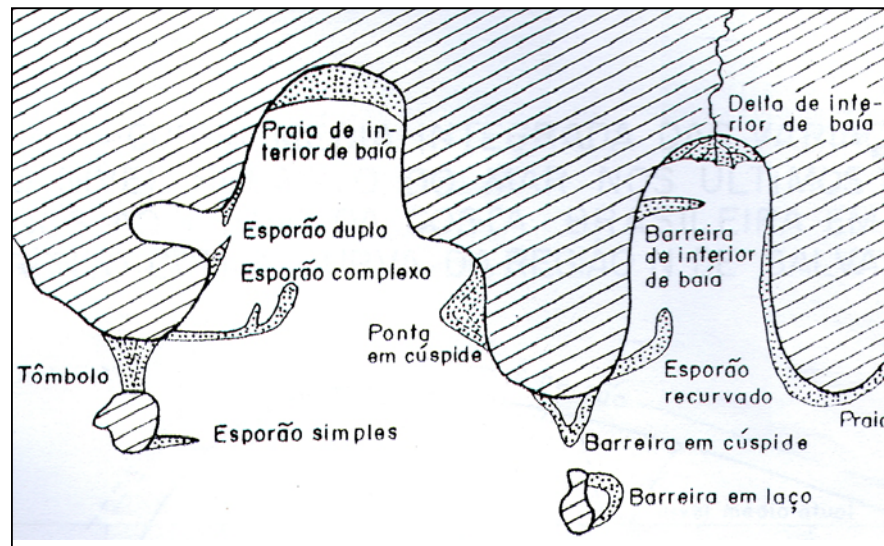


Figura 1.1 – Exemplos de depósitos arenosos associados a costas recortadas (extraído de SUGUIO & TESSLER, 1984)

Os diferentes tipos de vegetação ocorrentes nas restingas brasileiras variam desde formações herbáceas, passando por formações arbustivas, chegando a florestas cujo dossel não ultrapassa 20 metros de altura. Caracterizam-se como um conjunto de ecossistemas variados fitofisionomicamente, refletindo assim diferenças geomórficas, pedológicas e climáticas, além de diferentes etapas sucessionais. (SILVA, 1999). Souza et al. (1997) correlacionaram os diferentes tipos vegetacionais com os substratos geológicos presentes no litoral paulista (Figura 1.2). Neste trabalho, por se tratar da denominação vegetacional, o termo utilizado será “vegetação de restinga”.

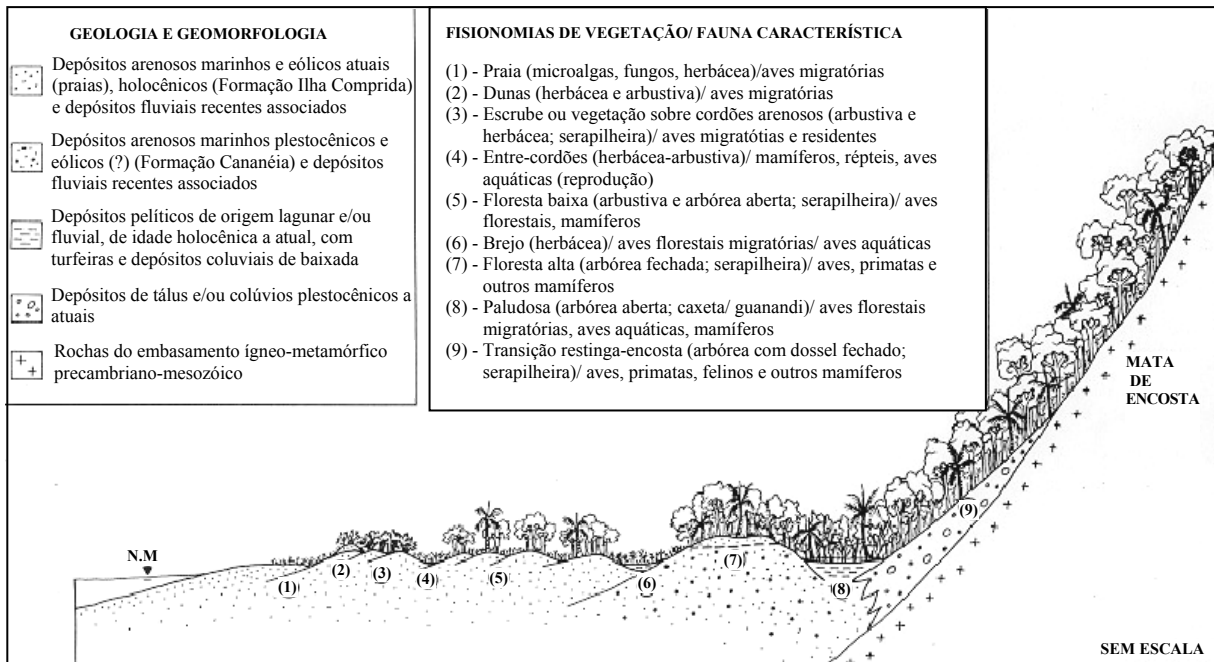


Figura 1.2 – Distribuição de fisionomias de “vegetação de restinga” e substrato geológico associado, para o litoral paulista (extraído de SOUZA et al., 1997)

Na Ilha do Cardoso, a vegetação de restinga é variada, ocorrendo uma variedade de depósitos arenosos quaternários, compostos de areia fina a muito fina e bem selecionada (Figura 1.3). Na metade norte, nordeste e sudeste da ilha a região montanhosa passa repentinamente para planícies litorâneas de cristas praias, essencialmente arenosas, as quais atingem de 3 a 4 metros nas áreas relacionadas à Transgressão Santos e 5 a 6 metros nas áreas relacionadas à Transgressão Cananéia (SUGUIO, 1993).

Os solos sob restinga englobam aqueles classificados como Podzóis (Espodosolos) e Areias Quartzosas Marinhas (Neossolos Quartzarênicos). Os Espodosolos são solos minerais, com seqüência de horizontes A-E-Bh e/ou Bs ou Bhs-C. São, na grande maioria, arenosos, sendo raras as citações de outras classes texturais. Quimicamente, são ácidos e muito pobres, com a soma de bases raramente ultrapassando  $1 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ , mesmo na camada superficial. As Areias Quartzosas Marinhas são solos minerais de seqüência de horizontes A-C, sendo a principal diferença a ausência de horizonte espódico (OLIVEIRA et al., 1992). A principal fonte de nutrientes destes solos é o *spray* marinho (ARAÚJO & LACERDA, 1987; LEÃO & DOMINGUEZ, 2000).

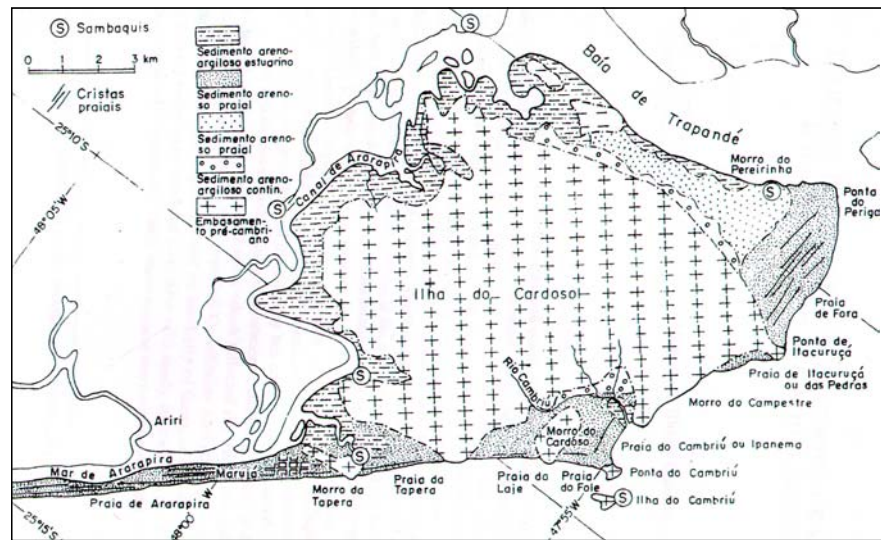


Figura 1.3 – Esboço geológico-geomorfológico da Ilha do Cardoso (extraído de SUGUIO, 1993)

Os Espodosolos são solos comuns em climas mais frios, sendo encontrados com frequência sob vegetação de coníferas e ericáceas no norte do hemisfério norte (LUNDSTRÖM et al., 2000). Neste caso, a vegetação e o clima frio e úmido dão condições para a ocorrência do processo de podzolização e consequentemente a formação de Espodosolos. São solos relativamente bem estudados nestes casos. Porém, no caso dos Espodosolos que ocorrem sob materiais de origem essencialmente arenosos em climas tropical e subtropical, ainda são escassos os estudos acerca da gênese dos mesmos.

Esta tese busca uma maior compreensão do processo de podzolização em condições subtropicais litorâneas. O local de estudo é a Ilha do Cardoso, em uma parcela permanente do projeto: *Diversidade, dinâmica e conservação em florestas do estado de São Paulo: 40 ha de parcelas permanentes* (BIOTA-FAPESP).

Para tanto, tem a estrutura dividida em capítulos, sendo o capítulo 2 uma caracterização físico-químico-morfológica dos solos estudados (9 perfis), com o objetivo de contribuir com o aprimoramento do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 1999) seja propondo novas classes, seja propondo critérios para uma definição mais clara dos diferentes atributos atribuído aos Espodosolos. O capítulo 2 é um estudo da química do ferro e do alumínio, utilizando-se de extrações seletivas e totais, onde o objetivo é estudar a dinâmica do ferro e do alumínio para um melhor entendimento da gênese destes solos e a efetividade das extrações seletivas utilizadas. No capítulo 3, foi realizado um estudo da mineralogia das frações argila e silte, com o objetivo de compreender melhor a gênese dos solos estudados.

## Referências

ARAÚJO, D. S. D.; LACERDA, L. D. de. A natureza das restingas. **Ciência Hoje**, Rio de Janeiro, v.6, p. 42-48, 1987.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2. ed. São Paulo: Edgar Blücher, 1980. 188p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de Solos**. Brasília: Embrapa, Produção de informação; Rio de Janeiro: EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1999. 412p.

LEÃO, Z. M. A. N.; DOMINGUEZ, J. M. L. Tropical coast of Brazil. **Marine Pollution Bulletin**, Oxford, v.41, p. 112-122, 2000.

LUNDSTRÖM, U.S.; VAN BREEMEN, N.; BAIN, D.C. The podzolization process. A review. **Geoderma**, Amsterdam, v. 94, n.2, p. 91-107, 2000

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.

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: 10 abril 2002.

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.

SUGUIO, K. A Ilha do Cardoso no contexto geomorfológico do Litoral Sul-Paulista da Província Costeira. In: SIMPÓSIO DE ECOSSISTEMAS DA COSTA BRASILEIRA, 3., 1993. Serra Negra. **Anais...** Serra Negra: ACIESP, 1993. p. 154-171.

SUGUIO, K.; TESSLER, M.G. Planícies de cordões litorâneos quartenários do Brasil: origem e nomeclatura. 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 CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS SOB VEGETAÇÃO DE RESTINGA NA ILHA DO CARDOSO– SP**

### **Resumo**

#### **Solos sob vegetação de restinga na Ilha do Cardoso-SP: caracterização e classificação**

A vegetação de restinga é uma formação típica que ocorre na costa brasileira em materiais de origem quartzosos e pobres em nutrientes. Seus solos são pouco estudados, ocorrendo principalmente os Espodossolos ou mesmo outras classes de solos que apresentam, contudo, o processo de podzolização. Neste trabalho foram estudados solos sob vegetação de restinga na Ilha do Cardoso-SP com o objetivo de fornecer subsídios para um melhor entendimento de sua gênese e contribuir para o aprimoramento do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS). Para isso, realizou-se uma caracterização físico-química e morfológica detalhada destes solos. Os resultados mostraram solos hidromórficos, arenosos, muito ácidos, com teores variáveis de matéria orgânica, sendo a podzolização o principal processo pedogenético presente. A presença de materiais sulfídricos também ocorre, em consequência da influência de material subjacente diferenciado, não guardando relação com a podzolização. Os principais fatores que influenciaram a distribuição dos solos foram a idade de estabilização do material de origem e a microtopografia, que reflete a influência do lençol freático. A podzolização é diretamente influenciada pela hidromorfia, sendo este o fator decisivo na gênese do horizonte espódico. O SiBCS mostrou falhas na classificação da ordem Espodossolos a partir do 2º nível categórico (subordem), principalmente no que diz respeito ao acúmulo de Fe no horizonte espódico. Os Espodossolos estudados são holocênicos e a podzolização é dependente da hidromorfia. Como a presença de sulfetos pode afetar parte dos solos estudados, se drenados, gerando solos tiomórficos, sugere-se a inserção da denominação “tiônico” no 4º nível categórico desta ordem, além da adoção de um critério químico na distinção das subordens.

Palavras-chave: podzolização, podzol, Espodossolo, solos tiomórficos, vegetação de restinga.

## Abstract

### **Soils under restinga vegetation at Ilha do Cardoso-SP: characterization and classification**

The restinga vegetation is a typical formation that occurs along the Brazilian coast on quartzitic, sandy, nutrient-poor parent material. Its soils are not very well studied, occurring mainly Spodosols. Soils under restinga vegetation at Ilha do Cardoso-SP were studied in order to understand better their genesis and to improve the Brazilian Soil Classification System (SiBCS). For this, a physical, chemical and detailed morphological characterization was carried out. The results evidence aquic, sandy, very acid soils with variable organic matter content, in which podzolization is the main pedogenic process. Sulfidic materials also occur due to the influence of different iron sulphide-bearing underlying materials, not related to podzolization. The main factors that affect soil distribution are: (i) age of parent material; and (ii) microtopography, which reflects the influence of the water table. Podzolization is directly influenced by the aquic condition, which is determinant for the genesis of the spodic horizon. The SiBCS shows imperfections in the classification of the Spodosols order at the 2<sup>nd</sup> categorical level (suborder), mainly in relation to the accumulation of iron in the spodic horizon. The Spodosols here studied are holocenic and the podzolization is dependent of aquic conditions. Chemical criteria in the suborder definition of the SiBCS should be defined and the “thionic” qualifier at 4<sup>th</sup> categorical level should be included due to the possibility of formation of acid sulphate soils at artificially drained areas.

Keywords: podzolization, podzol, spodosols, acid sulphate soils, restinga vegetation.

## 2.1 Introdução

De acordo com Suguio & Tessler (1984), a denominação “restinga” é empregada na literatura brasileira com diferentes acepções, podendo ser usada tanto para designar vários tipos de depósitos litorâneos quanto outras feições costeiras e até mesmo a vegetação. Neste último caso, designaria uma vegetação arbustivo-arbórea característica de zonas costeiras. Os diferentes tipos de vegetação ocorrentes nas restingas brasileiras variam desde formações herbáceas, passando por formações arbustivas, chegando a florestas cujo dossel não ultrapassa 20 metros de altura (SILVA, 1999). Neste trabalho, será utilizado o termo “vegetação de restinga”.

Os solos sob vegetação de restinga são arenosos, quimicamente pobres, tendo como principal fonte de nutrientes o *spray* marinho (ARAÚJO & LACERDA, 1987; LEÃO & DOMINGUEZ, 2000). Trabalhos realizados na costa brasileira mostram que sob essa vegetação, as principais classes de solos encontradas são os Espodossolos e os Neossolos Quartzarênicos (MOURA FILHO, 1998; GOMES et al., 1998; ROSSI, 1999), sendo que muitas vezes este último apresenta um incipiente processo de podzolização, levando-o a apresentar características intermediárias para Espodossolo.

Os Espodossolos (antigamente denominados Podzóis) são solos minerais, com seqüência de horizontes A-E-Bh e/ou Bs e/ou Bhs-C. São, na maioria arenosos, sendo raras as citações de outras classes texturais. Os Neossolos Quartzarênicos (antigas Areias Quartzozas) são solos minerais de seqüência de horizontes A-C, e diferem dos anteriores pela ausência de horizonte espódico. Sua localização em relação aos Espodossolos é de maior proximidade ao mar, imediatamente após as praias, enquanto aqueles predominam em posições mais afastadas do mar, correspondentes às planícies costeiras denominadas “restingas” (OLIVEIRA et al., 1992).

Em geral, os Espodossolos são encontrados mais freqüentemente em regiões sob clima boreal e vegetação de coníferas do Hemisfério Norte (CHESWORTH & MACÍAS, 1985; COURCHESNE & HENDERSHOT, 1997; LUNDSTRÖM et al., 2000; VAN BREEMEN & BUURMAN, 2002). Fora desse clima, ocorrem em materiais de origem quartzosos e pobres, tanto sob clima temperado como tropical (VAN BREEMEN & BUURMAN, 2002). Os que ocorrem em planícies arenosas sob clima tropical são similares morfologicamente àqueles encontrados nas regiões temperadas, no entanto, sua gênese não é necessariamente igual (ANDRIESSE, 1969).

Os Espodossolos tropicais são tipicamente hidromórficos, freqüentemente muito profundos, chegando a formar os Podzóis gigantes. Matéria orgânica dissolvida (DOC) e Al são dominantes nos horizontes B destes solos, sendo que a DOC contém apreciáveis teores de polissacarídeos, os quais não são precipitados via complexação com metais, sendo grande parte da matéria orgânica precipitada fisicamente. Aliado a isso, os baixos teores de Fe nestes ambientes hidromórficos reduzem a precipitação química (VAN BREEMEN & BUURMAN, 2002).

No Brasil, estudos sobre Espodossolos não são comuns, tendo destaque os estudos em solos localizados na Amazônia que ocorrem em transições Espossolo-Latossolo (LUCAS et al, 1987; BRAVARD & RIGHI, 1989; DUBROEUCQ & VOLKOFF, 1998; MAFRA et al., 2002). Em regiões costeiras, Gomes et al. (1998) estudaram restingas na região norte do Rio de Janeiro, encontrando Espodossolos e Neossolos Quartzarênicos intermediários para Espodossolo, assim como Moura Filho (1998) em solos na costa alagoana.

A escassez de estudos sobre Espodossolos no Brasil levou esta ordem a ser uma das menos estruturadas no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS). Utiliza-se de critérios derivados da *World reference base for soil resources* (FAO, 1994) e da *Soil Taxonomy* (ESTADOS UNIDOS, 1994).

Este trabalho tem como objetivo realizar uma caracterização física/química e morfológica de solos sob vegetação de restinga, a fim de compreender os fatores que influem em sua gênese, bem como dar subsídios para o aprimoramento da ordem Espodossolos no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.

## **2.2 Desenvolvimento**

### **2.2.1 Material e Métodos**

#### **2.2.1.1 Meio Físico**

A área em estudo está localizada na porção nordeste da Ilha do Cardoso (Figura 2.1), em uma parcela de 10 hectares sob vegetação de restinga incluída no projeto “BIOTA - parcelas permanentes”, inserida no Parque Estadual da Ilha do Cardoso.

A geologia da Ilha do Cardoso é composta basicamente por rochas cristalinas pré-cambrianas com sedimentos quaternários de origem marinha em suas bordas (PETRI & FÚLFARO, 1970). Estes sedimentos são predominantemente holocênicos, relacionados à Transgressão Santos e são compostos de areia fina e muito fina bem selecionada (SUGUIO & MARTIN, 1978), situando-se nas partes externas expostas ao mar aberto, enquanto que nas porções internas e protegidas predominam depósitos estuarinos de natureza areno-argilosa. Por outro lado, na porção norte da ilha foi preservado um importante testemunho de depósitos arenosos pleistocênicos relacionados à Transgressão Cananéia (SUGUIO, 1993).

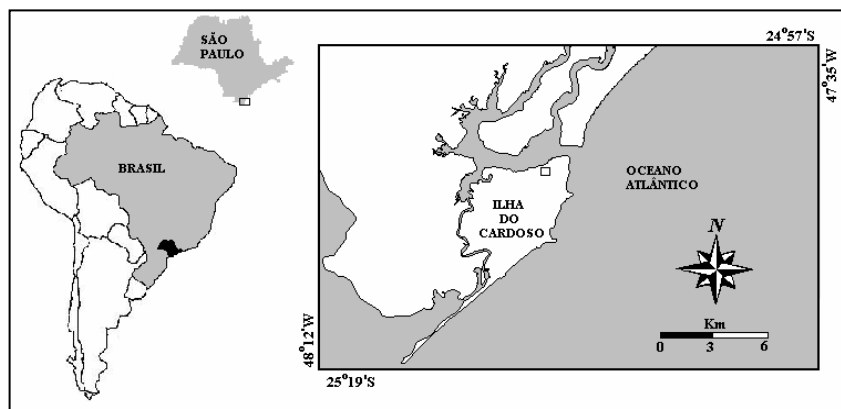


Figura 2.1 – Localização da área estudada

Segundo Melo & Mantovani (1994), dados coletados no biênio 1990-1991 em altitudes mais baixas que 200 metros revelaram que a média das temperaturas mínimas está em torno de 19° C e a média das máximas em torno de 27° C e a precipitação média anual entre 1800-2000 mm com clima tipo Af segundo o modelo de classificação climática de Köppen.

O mapa de solos ultradetalhado da parcela estudada (Figura 2.2) mostra quatro unidades de mapeamento diferentes. De uma forma geral, ocorrem os Neossolos Quartzarênicos na porção norte e Espodossolos Ferrocárbicos e Organossolos Tiomórficos no restante da parcela. A ocorrência dos Neossolos próximos à atual linha de costa estaria relacionado à menor idade do material de origem, enquanto que os Espodossolos e Organossolos ocorrem em cotas ligeiramente mais elevadas, com pedogênese mais evidente. Foi impossível separar algumas unidades de mapeamento, apesar do detalhe do mapa, devido à complexidade da ocorrência dos mesmos (GOMES et al., 2005). A versão completa do mapa de solos encontra-se no Anexo B.

### 2.2.1.2 Análise estrutural

Com base no mapa de solos, foram traçadas duas transeções (H e 14) procurando abranger todas as classes de solos encontradas na parcela onde foram realizadas as análises estruturais conforme a técnica de Boulet et al. (1982), descrevendo-se a morfologia de 20 em 20 metros, além das trincheiras, e aumentando o número de descrições entre os pontos quando necessário. Devido às condições de encharcamento da maior parte da área, foi utilizado a tradagem com um tudo de PVC envolvendo o trado, evitando-se assim, o desmoronamento de material. Fotos com detalhes da amostragem podem ser visualizadas no Anexo C.

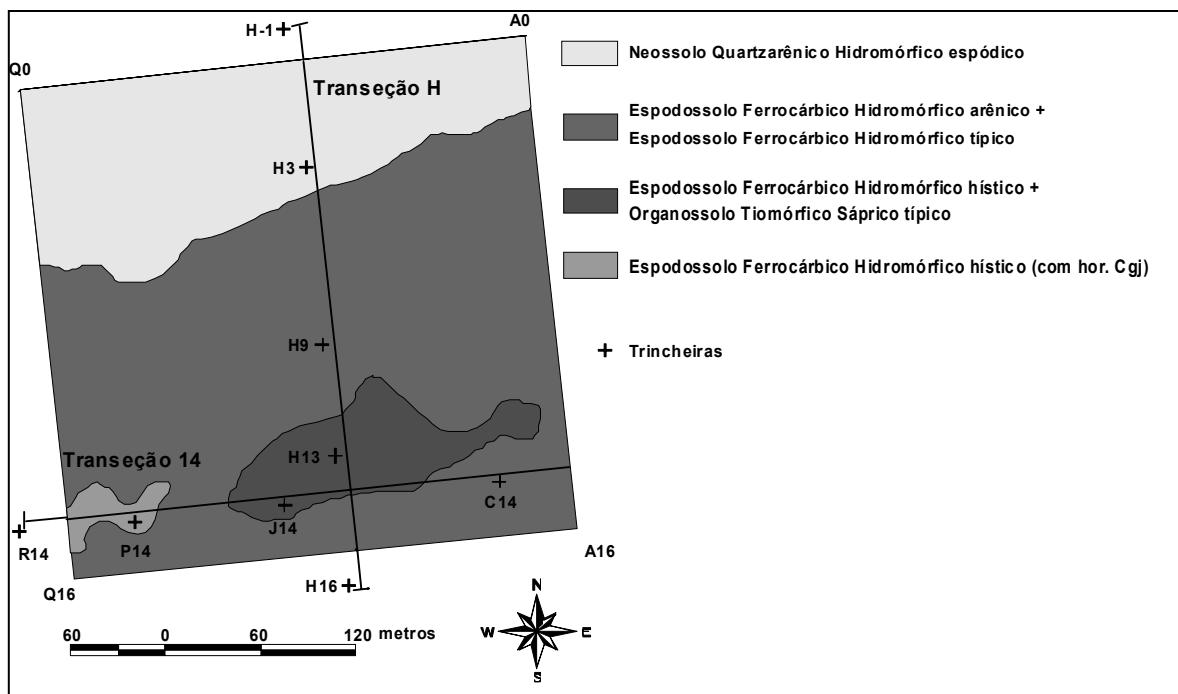


Figura 2 – Mapa de solos indicando a localização das transeções e trincheiras amostradas. Ao norte ocorre a presença dos Neossolos Quartzarênicos. A linha que divide estes com os restantes ocorre em uma antiga crista praial onde há uma pequena elevação de cerca de 1 metro. Na porção oeste ocorre uma ligeira depressão, onde aparece o horizonte glei oriundo de material de origem diferenciado, o qual aparece também no perfil H16

### 2.2.1.3 Análises laboratoriais

Foram escolhidos e analisados 9 perfis representativos das duas transeções, conforme a Figura 2. A descrição morfológica e a determinação dos horizontes foram realizadas de acordo com o descrito por Santos et al. (2005).

Foram coletadas amostras dos horizontes para a caracterização física e química. As análises químicas e físicas foram feitas na TFSA (terra fina seca ao ar). A análise granulométrica foi realizada pelo método da dispersão utilizando hidróxido de sódio  $0,1 \text{ mol L}^{-1}$  de acordo com a Embrapa (1997). Alguns horizontes apresentaram comportamento típico de solos potencialmente tiomórficos, tais como pH muito baixo na TFSA e odor típico de compostos reduzidos de enxofre no campo. Devido a isso, para confirmar a presença de sulfetos foi realizada a MEV (microscopia eletrônica de varredura) na fração densa (densidade  $> 2,89$ ) da TFSA de um desses horizontes (2Cgj2 do perfil H16) através do microscópio eletrônico LEO 4354 VP. Complementando a MEV, foi realizada a espectroscopia de energia dispersiva (EDS) na amostra, com microsonda OXFORD modelo ISIS 300.

Os cátions  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{Al}^{3+}$  foram extraídos com solução  $\text{KCl } 1 \text{ mol L}^{-1}$ . A extração da H+Al foi realizada com solução de acetato de cálcio  $0,5 \text{ mol L}^{-1}$  a pH 7,0. Os teores de P,  $\text{Na}^+$  e  $\text{K}^+$  foram extraídos com solução de  $\text{H}_2\text{SO}_4 0,0125 \text{ mol L}^{-1} + \text{HCl } 0,05 \text{ mol L}^{-1}$ . Os teores de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  foram determinados por espectroscopia de absorção atômica,  $\text{K}^+$  e  $\text{Na}^+$  por fotometria de chama, e  $\text{Al}^{3+}$  e  $\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$  por titulometria. O pH foi determinado em água, na proporção (peso) 1:2,5 após agitação e repouso de 1 hora, através de potenciômetro. Todos esses procedimentos foram realizados de acordo com Embrapa (1997). O conteúdo de carbono orgânico total e o de S total foram determinados em analisadores elementares, sendo o Leco CNH-1000 para o carbono e o Leco 100 S-C 144DR para o S total.

A determinação de sulfato solúvel ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) foi realizada por cromatografia iônica de alta resolução, utilizando-se um equipamento Dionex. Foi utilizada a solução de equilíbrio, que é obtida através da relação solo:água 1:20, homogeneizando duas vezes ao dia, durante 5 dias, e extraíndo o sobrenadante por filtração.

As seguintes extrações seletivas foram realizadas:

-extração com oxalato de amônio, foi feita de acordo com Buurman (1996), na ausência de luz, com determinação de Fe e Al por espectroscopia de absorção atômica. A determinação da densidade ótica no extrato ( $\text{DO}_{\text{ox}}$ ) do mesmo, tendo o branco como referência, foi feita em colorímetro no comprimento de onda a 430 nm, como recomendado para Espodossolos na *Soil Taxonomy* (ESTADOS UNIDOS, 1999);

-extração com ditionito-citrato de sódio sendo determinado por espectrofotometria de absorção atômica (BUURMAN, 1996);

Foi realizado também o ataque sulfúrico de acordo com Embrapa (1997), conforme recomendação de Santos et al. (2003) nos horizontes com teores mais elevados de Fe e Al, utilizando-se de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1:1, sendo o Fe determinado por espectroscopia de absorção atômica e o Al através de complexometria com CDTA.

A solução do solo foi obtida utilizando-se de um lisímetro de tensão com cápsula porosa, submetido a pressão negativa. Após a coleta, a solução foi armazenada em local refrigerado (4°C), determinando-se o pH no dia seguinte.

Para um estudo da idade de estabilização do material de origem, datou-se pela técnica do <sup>14</sup>C duas amostras de material vegetal de acordo com Pessenda & Camargo (1991), sendo uma raiz morta no perfil H9, a 180 cm de profundidade e um tronco caído no perfil H3 a 40 cm de profundidade.

### **2.2.2 Resultados**

A caracterização morfológica dos solos (Tabela 2.1) evidenciou a ocorrência de cores mais escuras (horizonte espódico) em profundidade, com ou sem presença de horizonte E, na maioria dos solos (Figura 2.3). A transição entre os horizontes espódicos e os suprajacentes é geralmente ondulada e abrupta ou clara. Apenas os perfis H-1 e H3 não apresentaram horizonte espódico, embora no perfil H3 ocorra um horizonte E (eluvial) delgado. Entre os perfis que apresentaram o horizonte espódico, apenas o Organossolo (perfil J14) não apresenta horizonte E. Nos Espodossolos, este horizonte apresenta variadas espessuras, desde 8 cm (perfil H13) até 67 cm (perfil H9). As descrições morfológicas completas encontram-se no anexo A.

Os horizontes espódicos apresentam coloração mais escura no topo, que geralmente torna-se mais brunada, com cores mais vivas, em profundidade. Não apresentam unidades estruturais definidas, sendo o grau da estrutura descrito como grãos simples (não coerente) ou maciça (coerente), quando cimentados. Apenas alguns horizontes superficiais mais ricos em matéria orgânica, apresentam unidade estrutural granular fortemente desenvolvida.



Tabela 2.1 – Dados morfológicos dos perfis estudados

| Horizonte  | Profundidade<br>(metros) | Cor predominante  |            | Unidade<br>Estrutural | Grau <sup>1</sup> | Consistência<br>Molhada <sup>2</sup> | Cimentação |
|--|--------------------------|-------------------|------------|-----------------------|-------------------|--------------------------------------|------------|
|  |                          | seca              | úmida      |                       |                   |                                      |            |
|  |                          | -----Munsell----- |            |                       |                   |                                      |            |
| <b>H-1 – Neossolo Quartzarênico Hidromórfico espódico</b>  |                          |                   |            |                       |                   |                                      |            |
| A  | 0-0,20                   | 7,5YR 6/1         | 5 YR 3/1   | ausente               | g. simples        | n. pl. e n. peg.                     | não        |
| C1   | 0,20-0,55                | 7,5YR 8/1         | 5 YR 6/1   | ausente               | g. simples        | n. pl. e n. peg.                     | não        |
| C2   | 0,55-0,75                | 7,5YR 6/1         | 7,5 YR 3/1 | ausente               | g. simples        | n. pl. e n. peg.                     | não        |
| C3   | 0,75-0,85                | 7,5YR 6/1         | 7,5 YR 3/2 | ausente               | g. simples        | n. pl. e n. peg.                     | não        |
| C4   | 0,85-1,05+               | 10YR 5/4          | 10 YR 2/2  | ausente               | g. simples        | n. pl. e n. peg.                     | não        |
| <b>H3 – Neossolo Quartzarênico Hidromórfico espódico</b>   |                          |                   |            |                       |                   |                                      |            |
| A  | 0-0,18                   | 10YR 3/2          | 10YR 2/1   | granular              | forte             | lig. pl. e lig. peg.                 | não        |
| E  | 0,18-0,21                | 7,5YR 6/1         | 10YR 4/2   | ausente               | g. simples        | n. pl. e n. peg.                     | não        |
| C1   | 0,21-0,45                | 10YR 6/4          | 10 YR 3/4  | ausente               | g. simples        | n. pl. e n. peg.                     | não        |
| Cg2  | 0,45-0,65                | 10YR 5/2          | 10YR 4/2   | ausente               | g. simples        | n. pl. e n. peg.                     | não        |
| Cg3  | 0,65-1,00                | 10YR 5/3          | 10YR 3/2   | ausente               | g. simples        | n. pl. e n. peg.                     | não        |
| Cgj4   | 1,00-1,30                | 10YR 6/3          | 10YR 4/2   | ausente               | g. simples        | n. pl. e n. peg.                     | não        |
| Cgj5   | 1,30-1,50                | 10YR 6/2          | 10YR 4/2   | ausente               | g. simples        | n. pl. e n. peg.                     | não        |
| Cgj6   | 1,50-1,80                | 10YR 6/1          | 10YR 5/1   | ausente               | g. simples        | n. pl. e n. peg.                     | não        |
| Cgj7   | 1,80-2,10                | 10YR 4/2          | 10YR 3/2   | ausente               | g. simples        | n. pl. e n. peg.                     | não        |
| <b>H9 - Espodossolo Ferrocárbico Hidromórfico arênico</b>  |                          |                   |            |                       |                   |                                      |            |
| A  | 0-0,20                   | 10YR 5/1          | 10 YR 4/1  | ausente               | g. simples        | n. pl. e n. peg.                     | não        |
| AE   | 0,20-0,28                | 10YR 6/1          | 10YR 4/1   | ausente               | g. simples        | n. pl. e n. peg.                     | não        |
| E1   | 0,28-0,41                | 7,5YR 7/1         | 10 YR 5/1  | ausente               | g. simples        | n. pl. e n. peg.                     | não        |
| E2   | 0,41-0,95                | 7,5YR 8/1         | 10 YR 7/1  | ausente               | g. simples        | n. pl. e n. peg.                     | não        |
| Bhs1   | 0,95-1,03                | 10YR 3/2          | 10 YR 3/1  | ausente               | g. simples        | n. pl. e n. peg.                     | não        |
| Bhsj2  | 1,03-1,35(1,30-1,40)     | 10YR 4/2          | 10 YR 2/2  | ausente               | g. simples        | n. pl. e n. peg.                     | não        |
| Bhsj3  | 1,35-1,80                | 10YR 5/3          | 10 YR 4/2  | ausente               | g. simples        | n. pl. e n. peg.                     | não        |
| Bhsj4  | 1,80-2,10                | 10YR 5/2          | 10 YR 2/1  | ausente               | g. simples        | n. pl. e n. peg.                     | não        |
| Bhsj5  | 2,10-2,50                | 10YR 4/2          | 10 YR 3/2  | ausente               | g. simples        | n. pl. e n. peg.                     | não        |
| Bhsj6  | 2,50-2,80                | 10YR 4/2          | 10 YR 2/1  | ausente               | g. simples        | n. pl. e n. peg.                     | não        |
| <b>H13 – Espodossolo Ferrocárbico Hidromórfico hístico</b> |                          |                   |            |                       |                   |                                      |            |
| Ho   | 0-0,10                   | 5YR 3/1           | 5YR 2,5/1  | fibras                | -                 | n. pl. e n. peg.                     | não        |
| Hd   | 0,10-0,28                | 10YR 4/1          | 5YR 2,5/1  | ausente               | maciça            | pl. e peg.                           | não        |
| E  | 0,28-0,38                | 10YR 7/2          | 10YR 5/2   | ausente               | g. simples        | n. pl. e n. peg.                     | não        |
| Bhsj1  | 0,38-0,55                | 10YR 3/2          | 10YR 2/1   | ausente               | maciça            | n. pl. e n. peg.                     | fracamente |
| Bhsj2  | 0,55-0,75                | 10YR 4/3          | 10YR 2/2   | ausente               | g. simples        | n. pl. e n. peg.                     | não        |
| Bhsj3  | 0,75-1,30                | 10YR 4/3          | 10YR 3/4   | ausente               | g. simples        | n. pl. e n. peg.                     | não        |
| Cgj  | 1,30-1,65                | 10YR 6/2          | 10YR 4/2   | ausente               | g. simples        | n. pl. e n. peg.                     | não        |
| <b>H16 - Espodossolo Ferrocárbico Hidromórfico típico</b>  |                          |                   |            |                       |                   |                                      |            |
| A  | 0-0,10                   | 10YR 3/1          | 10YR 2/1   | granular              | forte             | lig. pl. e lig. peg.                 | não        |
| AE   | 0,10-0,15                | 10YR 6/1          | 10YR 4/1   | ausente               | g. simples        | n. pl. e n. peg.                     | não        |
| E  | 0,15-0,23                | 10YR 6/1          | 10YR 4/2   | ausente               | g. simples        | n. pl. e n. peg.                     | não        |
| Bhs1   | 0,23-0,40                | 10YR 4/2          | 10YR 3/1   | ausente               | g. simples        | n. pl. e n. peg.                     | não        |
| Bhsj2  | 0,40-0,54                | 10YR 3/2          | 10YR 2/2   | ausente               | g. simples        | n. pl. e n. peg.                     | não        |
| Bhsj3  | 0,54-0,62                | 10YR 2/2          | 10YR 3/2   | ausente               | g. simples        | n. pl. e n. peg.                     | não        |
| 2Cgj1  | 0,62-0,80                | 2,5Y 3/1          | G1 3/10Y   | ausente               | maciça            | lig. pl. e peg.                      | não        |
| 2Cgj2  | 0,80-1,60+               | G1 4/10Y          | G1 2,5/10Y | ausente               | maciça            | pl. e peg.                           | não        |

Tabela 2.1 – Dados morfológicos dos perfis estudados

| Horizonte  | Profundidade<br>(metros) | Cor predominante  |             | Unidade<br>Estrutural | Grau <sup>2</sup> | Consistência<br>Molhada <sup>3</sup> | (conclusão)  |
|--|--------------------------|-------------------|-------------|-----------------------|-------------------|--------------------------------------|--------------|
|  |                          | seca              | úmida       |                       |                   |                                      | Cimentação   |
|  |                          | -----Munsell----- |             |                       |                   |                                      |              |
| <b>C14 - Espodossolo Ferrocárbico Hidromórfico típico</b>  |                          |                   |             |                       |                   |                                      |              |
| A  | 0-0,15                   | 10YR 4/1          | 10YR 3/2    | ausente               | g. simples        | n. pl. e n. peg.                     | não          |
| AE   | 0,15-0,20                | 10YR 7/1          | 10YR 5/1    | ausente               | g. simples        | n. pl. e n. peg.                     | não          |
| E  | 0,20-0,50                | 10YR 8/1          | 10YR 7/1    | ausente               | g. simples        | n. pl. e n. peg.                     | não          |
| Bhs1   | 0,50-0,58                | 10YR 4/2          | 10YR 2/1    | ausente               | g. simples        | n. pl. e n. peg.                     | não          |
| Bhs2   | 0,58-0,75                | 10YR 3/2          | 10YR 2/1    | ausente               | maciça            | n. pl. e n. peg.                     | fortemente   |
| Bhs3   | 0,75-1,00                | 10YR 4/3          | 10YR 3/3    | ausente               | maciça            | n. pl. e n. peg.                     | fortemente   |
| Bs1  | 1,00-1,20                | 10YR 5/3          | 10YR 4/4    | ausente               | g. simples        | n. pl. e n. peg.                     | não          |
| Bs2  | 1,20-1,60                | 2,5Y 6/6          | 10YR 4/4    | ausente               | g. simples        | n. pl. e n. peg.                     | não          |
| Bs3  | 1,60-1,80                | 2,5Y 6/4          | 10YR 5/4    | ausente               | g. simples        | n. pl. e n. peg.                     | não          |
| Bs4  | 1,80-2,10                | 10YR 5/3          | 10YR 4/3    | ausente               | g. simples        | n. pl. e n. peg.                     | não          |
| C  | 2,10-2,40                | 10YR 6/3          | 10YR 5/4    | ausente               | g. simples        | n. pl. e n. peg.                     | não          |
| <b>J14 – J14 – Organossolo Tiomórfico Sáprico típico</b>   |                          |                   |             |                       |                   |                                      |              |
| Hd1  | 0-0,20                   | 5YR 3/1           | 5YR 2,5/1   | ausente               | maciça            | pl. e peg.                           | não          |
| Hd2  | 0,20-0,50                | 5YR 3/1           | 5YR 2,5/1   | ausente               | maciça            | pl. e peg.                           | não          |
| Hd3  | 0,50-0,60                | 2,5YR 4/3         | 7,5YR 2,5/2 | ausente               | maciça            | pl. e peg.                           | não          |
| Hd4  | 0,60-0,70                | 7,5YR 2,5/1       | 5YR 2,5/1   | ausente               | maciça            | pl. e peg.                           | não          |
| Bhsj1  | 0,70-1,00                | 7,5YR 3/3         | 10YR 2/1    | ausente               | g. simples        | n. pl. e n. peg.                     | fracamente   |
| Bhsj2  | 1,00-1,30+               | 10YR 5/2          | 10YR 2/1    | ausente               | g. simples        | n. pl. e n. peg.                     | não          |
| <b>P14 - Espodossolo Ferrocárbico Hidromórfico hístico</b> |                          |                   |             |                       |                   |                                      |              |
| Ho   | 0-0,12                   | 5YR 3/2           | 5YR 2,5/2   | fibras                | -                 | n. pl. e n. peg.                     | não          |
| Hd   | 0,12-0,22                | 10YR 3/1          | 10YR 2/1    | ausente               | maciça            | lig. pl. e lig. peg.                 | não          |
| E1   | 0,22-0,40                | 10YR 7/1          | 10YR 5/1    | ausente               | g. simples        | n. pl. e n. peg.                     | não          |
| E2   | 0,40-0,60                | 10YR 5/2          | 10YR 3/2    | ausente               | g. simples        | n. pl. e n. peg.                     | não          |
| Bhsj1  | 0,60-0,95                | 10YR 4/3          | 10YR 3/3    | ausente               | g. simples        | n. pl. e n. peg.                     | não          |
| Bhsj2  | 0,95-1,03                | 10YR 4/4          | 10YR 2/2    | ausente               | maciça            | n. pl. e n. peg.                     | fortemente   |
| 2Cgj   | 1,03-1,40+               | G1 5/10Y          | G1 3/10 Y   | ausente               | maciça            | lig. pl. e lig. peg.                 | não          |
| <b>R14 - Espodossolo Ferrocárbico Hidromórfico hístico</b> |                          |                   |             |                       |                   |                                      |              |
| Ho   | 0-0,07                   | 5YR 3/2           | 5YR 2,5/2   | fibras                | -                 | n. pl. e n. peg.                     | não          |
| A  | 0,07-0,14                | 10YR 6/1          | 10YR 3/2    | ausente               | g. simples        | n. pl. e n. peg.                     | não          |
| E  | 0,14-0,23                | 10YR 6/2          | 10YR 3/2    | ausente               | g. simples        | n. pl. e n. peg.                     | não          |
| Bhsj1  | 0,23-0,30                | 10YR 4/2          | 10YR 2/1    | ausente               | g. simples        | n. pl. e n. peg.                     | não          |
| Bhsmj2   | 0,30-0,45                | 10YR 2/2          | 10YR 2/1    | ausente               | maciça            | n. pl. e n. peg.                     | extremamente |
| Cgj  | 0,45-0,60+               | 10YR 6/1          | 10YR 4/1    | ausente               | g. simples        | n. pl. e n. peg.                     | não          |

<sup>1</sup> g. simples = grãos simples<sup>2</sup> n. pl. = não plástico; n. peg. = não pegajosa; lig. pl. = ligeiramente plástico; lig. peg. = ligeiramente pegajosa; pl = plástico; peg. = pegajosa

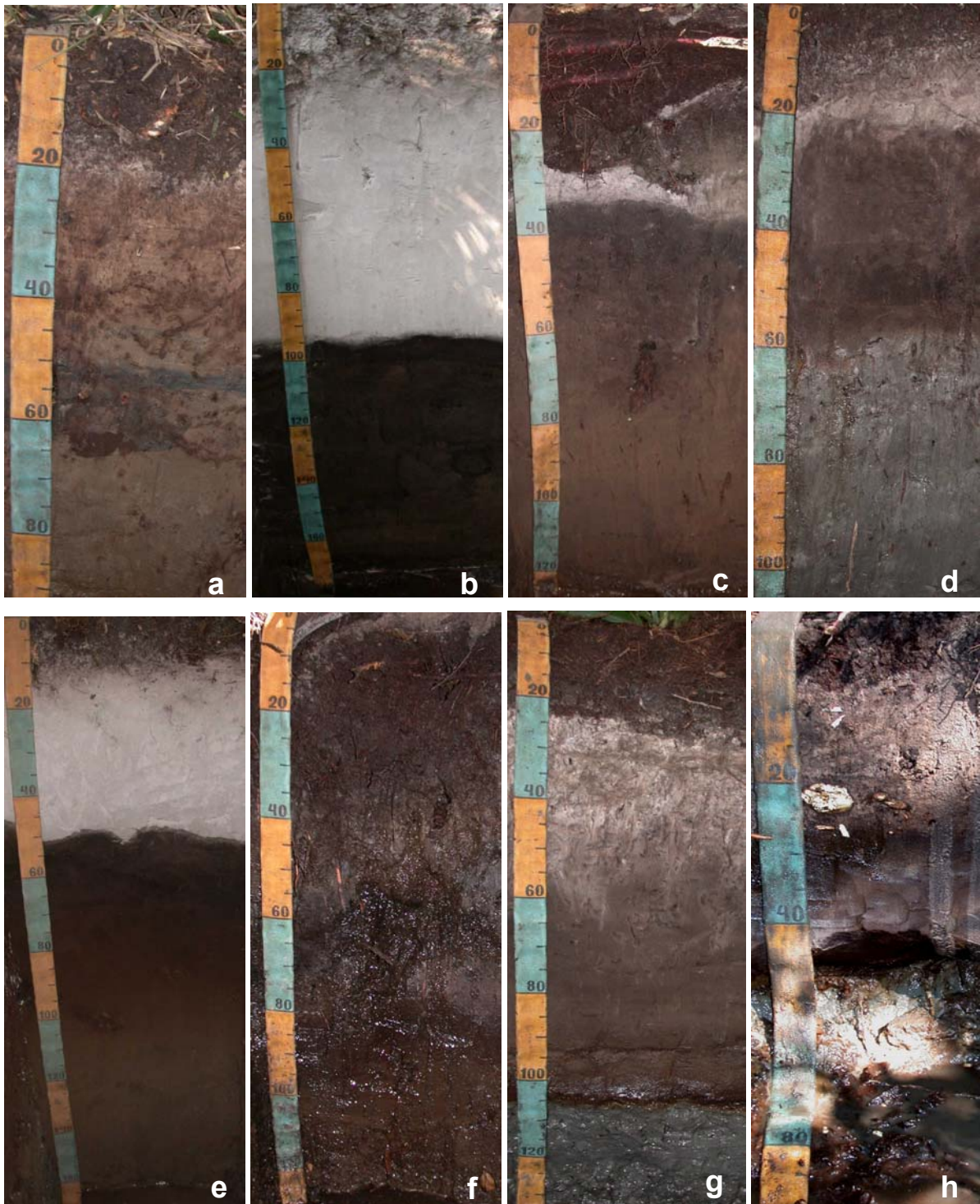


Figura 2.3 – Fotos dos perfis estudados evidenciando a variação de horizontes. Na transeção H, o perfil H3 (a) não apresenta horizonte espódico, o perfil H9 (b) possui o horizonte E mais espesso, o perfil H13 (c) um horizonte H sobre o horizonte E e o perfil H16 (d) apresenta o horizonte 2Cgj com descontinuidade evidente. Na transeção 14, o perfil C14 (e) é o que apresenta o horizonte E mais espesso, o perfil J14 (f) possui um horizonte hístico até os 70 cm, o perfil P14 (g) apresenta horizonte 2Cgj e o perfil R14, já na transição para o manguezal, possui um *ortstein* (30- 45 cm), e mostra a erosão do material mais solto (grãos simples) sob o mesmo, que permanece, dada sua dureza

Os horizontes glei (2Cgj) e hístico (H) são os que apresentam consistência (quando molhada) de maior plasticidade e pegajosidade. Quanto à cimentação, ocorrem desde horizontes espódicos não cimentados até extremamente cimentado, geralmente no topo deste.

A análise estrutural da transeção H (Figura 2.4) apresenta 2 trechos distintos. Um até o perfil H3, de cota mais baixa e sem o desenvolvimento do horizonte espódico, onde a datação do material vegetal (tronco enterrado a 50 cm de profundidade –anexo C) na trincheira do perfil H3 mostrou que o mesmo tinha idade de  $1500 \pm 60$  anos AP (antes do presente). E o segundo trecho, em cota mais elevada, apresenta o desenvolvimento deste horizonte, com espessuras e denominações variadas (Bhs ou Bs - dependendo da cor), chegando a apresentar endurecimento fraco (perfil H13).

A datação do material vegetal (raiz morta a 180 cm de profundidade) no perfil H9, mostrou uma idade de  $4690 \pm 80$ anos AP. Neste trecho, mais adiante, apresenta também, em uma condição de pequeno abaciamento, um acúmulo de matéria orgânica em superfície, originando o horizonte hístico (H13). A espessura do horizonte E também é variada, sendo mais espesso onde apresenta maior elevação (antigas cristas praias, como o perfil H9). No final da transeção, em posição mais baixa, ocorre um horizonte 2Cgj.

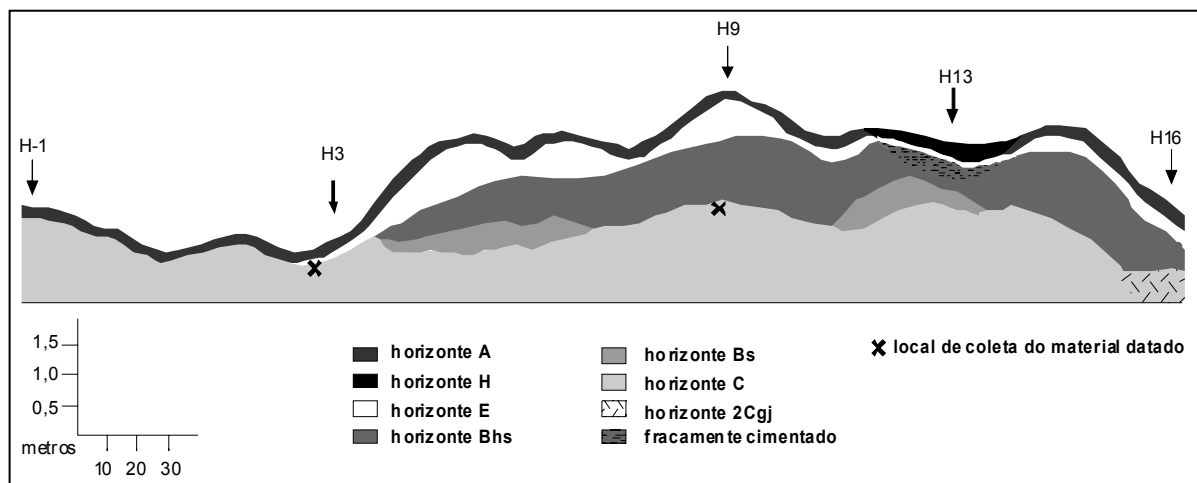


Figura 2.4 – Análise estrutural da transeção H

A transeção 14 (Figura 2.5) apresenta o horizonte espódico em toda sua extensão, sendo que na porção intermediária ocorre um horizonte hístico espesso, chegando a 70 cm. No trecho final, próximo ao manguezal (perfil R14), este horizonte volta a aparecer, porém em menor espessura. A cimentação ocorre em grande parte do horizonte espódico na transeção, sendo

variável de fracamente a extremamente cimentado. O horizonte E apresenta comportamento semelhante ao observado na transeção H, variando de acordo com a microtopografia.

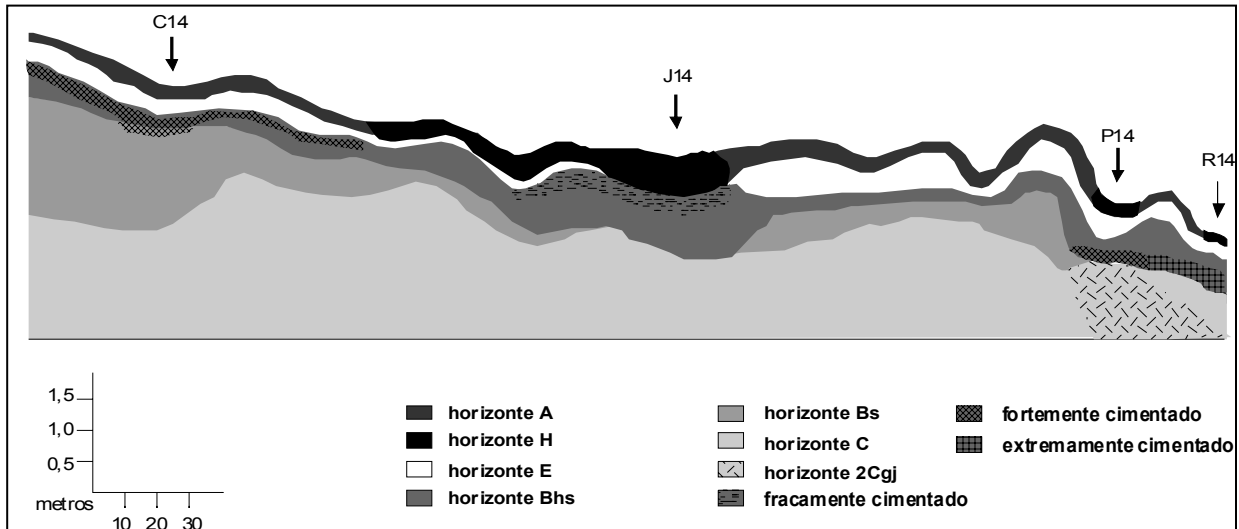


Figura 2.5 – Análise estrutural da transeção 14

Nas duas transeções, a ocorrência de horizonte hístico implica em maior espessura do Bhs sob o mesmo e menor espessura ou ausência do horizonte Bs.

Em relação à granulometria (tabela 2.2), são solos arenosos, com predominância da fração areia fina. Em profundidade alguns solos apresentaram textura mais fina, notadamente o perfil H16 (horizontes 2Cgj1 e 2Cgj2). Também é notado um ligeiro incremento nos teores de argila nos horizontes espódicos e mesmo nos horizontes C (a partir do hor. C3) dos Neossolos Quartzarênicos.

A caracterização química (Tabela 2.3) mostrou solos variando de fortemente a extremamente ácidos (EMBRAPA, 1999), com os valores de pH obtidos na TFSA diminuindo em profundidade. Os teores de S aumentaram sensivelmente em profundidade nos perfis H16, P14 e H3, acompanhado de um decréscimo dos valores de pH. Mesmo em outros perfis, como o J14, R14, H9 e H13, onde os teores de S em profundidade não aumentaram tanto, o pH diminuiu em mais de uma unidade. Os teores de  $\text{SO}_4^{=}$  seguem tendência semelhante aos de S, sendo mais elevados também onde os valores de pH são mais baixos. Os valores de pH obtidos na solução do solo apresentam uma tendência de serem mais elevados que os obtidos na TFSA, principalmente em profundidade. A CTC é altamente dependente da matéria orgânica e possui elevados teores de Al trocável. A relação C/N dos horizontes superficiais apresentou um valor mínimo de 16,4, chegando a valores maiores que 50 em alguns horizontes hísticos.

Tabela 2.2 – Granulometria dos solos estudados

| Horizonte  | Profundidade<br>(metros) | Areia |     |     |     |     | Silte | Argila | Classe textural       |
|--|--------------------------|-------|-----|-----|-----|-----|-------|--------|-----------------------|
|  |                          | MG    | G   | M   | F   | MF  |       |        |                       |
| (continua)   |                          |       |     |     |     |     |       |        |                       |
| -----g kg <sup>-1</sup> -----                              |                          |       |     |     |     |     |       |        |                       |
| <b>H-1 – Neossolo Quartzarênico Hidromórfico espódico</b>  |                          |       |     |     |     |     |       |        |                       |
| A  | 0-0,20                   | 0     | 0   | 20  | 920 | 20  | 0     | 40     | Areia                 |
| C1   | 0,20-0,55                | 0     | 0   | 30  | 960 | 10  | 0     | 0      | Areia                 |
| C2   | 0,55-0,75                | 0     | 0   | 30  | 940 | 30  | 0     | 0      | Areia                 |
| C3   | 0,75-0,85                | 0     | 0   | 20  | 940 | 20  | 0     | 20     | Areia                 |
| C4   | 0,85-1,05+               | 0     | 0   | 10  | 930 | 20  | 0     | 40     | Areia                 |
| <b>H3 – Neossolo Quartzarênico Hidromórfico espódico</b>   |                          |       |     |     |     |     |       |        |                       |
| A  | 0-0,18                   | 0     | 0   | 80  | 770 | 60  | 40    | 50     | Areia                 |
| E  | 0,18-0,21                | 0     | 0   | 40  | 910 | 20  | 10    | 20     | Areia                 |
| C1   | 0,21-0,45                | 0     | 0   | 10  | 940 | 30  | 0     | 20     | Areia                 |
| Cg2  | 0,45-0,65                | 0     | 0   | 10  | 880 | 70  | 30    | 10     | Areia                 |
| Cg3  | 0,65-1,00                | 0     | 0   | 0   | 900 | 50  | 20    | 30     | Areia                 |
| Cgj4   | 1,00-1,30                | 0     | 0   | 10  | 800 | 40  | 100   | 50     | Areia franca          |
| Cgj5   | 1,30-1,50                | 0     | 0   | 0   | 880 | 40  | 40    | 40     | Areia                 |
| Cgj6   | 1,50-1,80                | 0     | 0   | 0   | 880 | 40  | 20    | 60     | Areia                 |
| Cgj7   | 1,80-2,10                | 0     | 0   | 0   | 850 | 50  | 20    | 80     | Areia                 |
| <b>H9 – Espodossolo Ferrocárbico Hidromórfico arênico</b>  |                          |       |     |     |     |     |       |        |                       |
| A  | 0-0,20                   | 0     | 0   | 10  | 950 | 10  | 0     | 30     | Areia                 |
| AE   | 0,20-0,28                | 0     | 0   | 10  | 960 | 10  | 0     | 20     | Areia                 |
| E1   | 0,28-0,41                | 0     | 0   | 10  | 960 | 10  | 0     | 20     | Areia                 |
| E2   | 0,41-0,95                | 0     | 0   | 0   | 970 | 10  | 0     | 20     | Areia                 |
| Bhs1   | 0,95-1,03                | 0     | 0   | 0   | 920 | 20  | 10    | 50     | Areia                 |
| Bhsj2  | 1,03-1,35 (1,30-1,40)    | 0     | 0   | 0   | 920 | 30  | 10    | 40     | Areia                 |
| Bhsj3  | 1,35-1,80                | 0     | 0   | 0   | 930 | 30  | 10    | 30     | Areia                 |
| Bhsj4  | 1,80-2,10                | 0     | 0   | 20  | 790 | 10  | 120   | 60     | Areia franca          |
| Bhsj5  | 2,10-2,50                | 0     | 0   | 110 | 790 | 20  | 40    | 40     | Areia                 |
| Bhsj6  | 2,50-2,80                | 0     | 0   | 10  | 890 | 20  | 20    | 60     | Areia                 |
| <b>H13 – Espodossolo Ferrocárbico Hidromórfico hístico</b> |                          |       |     |     |     |     |       |        |                       |
| Ho   | 0-0,10                   | ...   | ... | ... | ... | ... | ...   | ...    | ...                   |
| Hd   | 0,10-0,28                | ...   | ... | ... | ... | ... | ...   | ...    | ...                   |
| E  | 0,28-0,38                | 0     | 0   | 10  | 940 | 20  | 0     | 30     | Areia                 |
| Bhsj1  | 0,38-0,55                | 0     | 0   | 0   | 940 | 30  | 0     | 30     | Areia                 |
| Bhsj2  | 0,55-0,75                | 0     | 0   | 0   | 930 | 30  | 0     | 40     | Areia                 |
| Bhsj3  | 0,75-1,30                | 0     | 0   | 10  | 890 | 50  | 10    | 40     | Areia                 |
| Cgj  | 1,30-1,65                | 0     | 0   | 0   | 860 | 40  | 60    | 40     | Areia                 |
| <b>H16 – Espodossolo Ferrocárbico Hidromórfico típico</b>  |                          |       |     |     |     |     |       |        |                       |
| A  | 0-0,10                   | 0     | 0   | 10  | 910 | 40  | 0     | 40     | Areia                 |
| AE   | 0,10-0,15                | 0     | 0   | 10  | 930 | 30  | 0     | 30     | Areia                 |
| E  | 0,15-0,23                | 0     | 0   | 0   | 950 | 20  | 0     | 30     | Areia                 |
| Bhs1   | 0,23-0,40                | 0     | 0   | 0   | 950 | 20  | 0     | 30     | Areia                 |
| Bhsj2  | 0,40-0,54                | 0     | 0   | 0   | 930 | 20  | 0     | 50     | Areia                 |
| Bhsj3  | 0,54-0,62                | 0     | 0   | 0   | 920 | 20  | 10    | 50     | Areia                 |
| 2Cgj1  | 0,62-0,80                | 0     | 0   | 0   | 490 | 60  | 130   | 320    | Franco-argilo-arenosa |
| 2Cgj2  | 0,80-1,60+               | 0     | 0   | 0   | 310 | 80  | 160   | 450    | Argila                |

Tabela 2.2 – Granulometria dos solos estudados

(conclusão)

| Horizonte  | Profundidade<br>metros | Areia |     |     |     |     | Silte | Argila | Classe textural |
|--|------------------------|-------|-----|-----|-----|-----|-------|--------|-----------------|
|  |                        | MG    | G   | M   | F   | MF  |       |        |                 |
| <b>C14 – Espodossolo Ferrocárbico Hidromórfico típico</b>  |                        |       |     |     |     |     |       |        |                 |
| A  | 0-0,15                 | 0     | 0   | 10  | 910 | 40  | 0     | 40     | Areia           |
| AE   | 0,15-0,20              | 0     | 0   | 0   | 930 | 50  | 0     | 20     | Areia           |
| E  | 0,20-0,50              | 0     | 0   | 0   | 930 | 50  | 10    | 10     | Areia           |
| Bhs1   | 0,50-0,58              | 0     | 0   | 0   | 860 | 60  | 0     | 80     | Areia           |
| Bhs2   | 0,58-0,75              | 0     | 0   | 0   | 860 | 50  | 0     | 90     | Areia           |
| Bhs3   | 0,75-1,00              | 0     | 0   | 0   | 890 | 30  | 10    | 70     | Areia           |
| Bs1  | 1,00-1,20              | 0     | 0   | 0   | 880 | 30  | 30    | 60     | Areia           |
| Bs2  | 1,20-1,60              | 0     | 0   | 0   | 890 | 40  | 20    | 50     | Areia           |
| Bs3  | 1,60-1,80              | 0     | 0   | 0   | 900 | 40  | 10    | 50     | Areia           |
| Bs4  | 1,80-2,10              | 0     | 0   | 10  | 860 | 30  | 60    | 40     | Areia           |
| C  | 2,10-2,40              | 0     | 0   | 30  | 850 | 20  | 40    | 60     | Areia           |
| <b>J14 – Organossolo Tiomórfico Sáprico típico</b>         |                        |       |     |     |     |     |       |        |                 |
| Hd1  | 0-0,20                 | ...   | ... | ... | ... | ... | ...   | ...    | ...             |
| Hd2  | 0,20-0,50              | ...   | ... | ... | ... | ... | ...   | ...    | ...             |
| Hd3  | 0,50-0,60              | ...   | ... | ... | ... | ... | ...   | ...    | ...             |
| Hd4  | 0,60-0,70              | ...   | ... | ... | ... | ... | ...   | ...    | ...             |
| Bhsj1  | 0,70-1,00              | 0     | 0   | 0   | 940 | 30  | 0     | 30     | Areia           |
| Bhsj2  | 1,00-1,30+             | 0     | 0   | 0   | 880 | 60  | 0     | 60     | Areia           |
| <b>P14 – Espodossolo Ferrocárbico Hídromórfico hístico</b> |                        |       |     |     |     |     |       |        |                 |
| Ho   | 0-0,12                 | ...   | ... | ... | ... | ... | ...   | ...    | ...             |
| Hd   | 0,12-0,22              | ...   | ... | ... | ... | ... | ...   | ...    | ...             |
| E1   | 0,22-0,40              | 0     | 0   | 10  | 930 | 30  | 0     | 30     | Areia           |
| E2   | 0,40-0,60              | 0     | 0   | 0   | 960 | 20  | 0     | 20     | Areia           |
| Bhsj1  | 0,60-0,95              | 0     | 0   | 0   | 930 | 20  | 20    | 30     | Areia           |
| Bhsj2  | 0,95-1,03              | 0     | 0   | 10  | 950 | 10  | 0     | 30     | Areia           |
| 2Cgj   | 1,03-1,40+             | 0     | 0   | 10  | 690 | 70  | 100   | 130    | Areia franca    |
| <b>R14 – Espodossolo Ferrocárbico Hídromórfico hístico</b> |                        |       |     |     |     |     |       |        |                 |
| Ho   | 0-0,07                 | ...   | ... | ... | ... | ... | ...   | ...    | ...             |
| A  | 0,07-0,14              | 0     | 0   | 10  | 920 | 40  | 0     | 30     | Areia           |
| E  | 0,14-0,23              | 0     | 0   | 0   | 930 | 30  | 10    | 30     | Areia           |
| Bhsj1  | 0,23-0,30              | 0     | 0   | 0   | 930 | 30  | 0     | 40     | Areia           |
| Bhsmj2   | 0,30-0,45              | 0     | 0   | 60  | 890 | 10  | 0     | 40     | Areia           |
| Cgj  | 0,45-0,60+             | 0     | 0   | 0   | 890 | 40  | 0     | 70     | Areia           |

Nota – Sinais convencionais utilizados:  
... Dado numérico não disponível.

<sup>1</sup> MG = muito grossa (1-2 mm); G = grossa (0,5-1,0 mm); M = média (0,25-0,50 mm); F = fina (0,10-0,25 mm); MF = muito fina (0,05-0,10 mm)

Tabela 2.3 – Dados químicos dos solos estudados

(continua)

| Hor.  | Profundidade<br>(cm)  | pH  | pH <sub>s</sub> <sup>1</sup> | SB   | Al <sup>3+</sup> | T    | v   | m                           | C    | N    | S                           | SO <sub>4</sub> <sup>=</sup> | Fe <sub>o</sub> <sup>2</sup>    | Fe <sub>d</sub> <sup>3</sup> | Fe <sub>s</sub> <sup>4</sup> | Al <sub>o</sub> <sup>2</sup> | Al <sub>d</sub> <sup>3</sup> | Al <sub>s</sub> <sup>4</sup> | C/N  | DO <sub>ox</sub> <sup>5</sup> |  |
|---|-----------------------|-----|------------------------------|--|------------------|------|-----|-----------------------------|------|------|-----------------------------|------------------------------|---------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------|-------------------------------|--|
|   |                       |     |                              | --- cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> --- | ---%---          |      |     | ---dag kg <sup>-1</sup> --- |      |      | --- dag L <sup>-1</sup> --- |                              | -----dag kg <sup>-1</sup> ----- |                              |                              |                              |                              |                              |      |                               |  |
| <b>H-1 – Neossolo Quartzarênico Hidromórfico espódico</b> |                       |     |                              |  |                  |      |     |                             |      |      |                             |                              |                                 |                              |                              |                              |                              |                              |      |                               |  |
| A   | 0-0,20                | 4,6 | ...                          | 1,0  | 4,3              | 9,0  | 11  | 82                          | 2,06 | 0,12 | 0,01                        | <0,01                        | <0,01                           | 0,01                         | ...                          | 0,01                         | 0,01                         | ...                          | 17,2 | 0,00                          |  |
| C1  | 0,20-0,55             | 4,4 | ...                          | 0,6  | 0,4              | 1,2  | 50  | 37                          | 0,10 | 0,05 | 0,00                        | <0,01                        | <0,01                           | 0,01                         | ...                          | 0,01                         | <0,01                        | ...                          | 2,0  | 0,00                          |  |
| C2  | 0,55-0,75             | 4,7 | ...                          | 0,5  | 1,1              | 2,6  | 21  | 68                          | 0,13 | 0,06 | 0,00                        | <0,01                        | <0,01                           | 0,01                         | ...                          | 0,01                         | 0,01                         | ...                          | 2,2  | 0,02                          |  |
| C3  | 0,75-0,85             | 4,6 | ...                          | 0,6  | 0,7              | 1,8  | 34  | 55                          | 0,17 | 0,05 | 0,00                        | <0,01                        | <0,01                           | 0,01                         | ...                          | 0,01                         | 0,01                         | ...                          | 3,4  | 0,06                          |  |
| C4  | 0,85-1,05+            | 4,5 | ...                          | 0,6  | 3,9              | 7,7  | 8   | 87                          | 0,51 | 0,06 | 0,01                        | <0,01                        | <0,01                           | 0,01                         | ...                          | 0,05                         | 0,06                         | ...                          | 8,5  | 0,24                          |  |
| <b>H3 – Neossolo Quartzarênico Hidromórfico espódico</b>  |                       |     |                              |  |                  |      |     |                             |      |      |                             |                              |                                 |                              |                              |                              |                              |                              |      |                               |  |
| A   | 0-0,18                | 4,1 | ...                          | 3,3  | 20,7             | 43,0 | 8   | 86                          | 7,24 | 0,39 | 0,69                        | 0,01                         | 0,05                            | 0,06                         | ...                          | 0,06                         | 0,05                         | ...                          | 18,6 | 0,03                          |  |
| E   | 0,18-0,21             | 4,2 | ...                          | 0,7  | 1,7              | 3,6  | 19  | 72                          | 0,47 | 0,05 | 0,01                        | <0,01                        | <0,01                           | 0,01                         | ...                          | 0,02                         | 0,01                         | ...                          | 9,4  | 0,02                          |  |
| C1  | 0,21-0,45             | 4,5 | 5,5                          | 0,7  | 4,7              | 9,2  | 7   | 88                          | 0,70 | 0,06 | 0,01                        | <0,01                        | <0,01                           | 0,01                         | ...                          | 0,07                         | 0,08                         | ...                          | 11,7 | 0,26                          |  |
| Cg2   | 0,45-0,65             | 4,6 | 5,8                          | 0,5  | 2,4              | 4,8  | 10  | 83                          | 0,45 | 0,05 | 0,01                        | <0,01                        | <0,01                           | 0,01                         | ...                          | 0,04                         | 0,06                         | ...                          | 9,0  | 0,14                          |  |
| Cg3   | 0,65-1,00             | 3,7 | 5,7                          | 0,9  | 4,6              | 8,5  | 10  | 84                          | 0,53 | 0,06 | 0,04                        | 0,06                         | 0,01                            | 0,03                         | ...                          | 0,05                         | 0,08                         | ...                          | 8,8  | 0,19                          |  |
| Cgj4  | 1,00-1,30             | 3,5 | 5,9                          | 1,5  | 3,0              | 5,5  | 28  | 66                          | 0,53 | 0,07 | 0,08                        | 0,14                         | 0,02                            | 0,03                         | ...                          | 0,05                         | 0,04                         | ...                          | 7,6  | 0,08                          |  |
| Cgj5  | 1,30-1,50             | 3,3 | ...                          | 0,5  | 4,0              | 6,0  | 8   | 89                          | 0,23 | 0,05 | 0,07                        | 0,15                         | 0,03                            | 0,04                         | ...                          | 0,05                         | 0,03                         | ...                          | 4,6  | 0,07                          |  |
| Cgj6  | 1,50-1,80             | 3,1 | ...                          | 1,7  | 4,0              | 6,7  | 26  | 70                          | 0,22 | 0,04 | 0,25                        | 0,43                         | 0,08                            | 0,10                         | ...                          | 0,05                         | 0,04                         | ...                          | 5,5  | 0,00                          |  |
| Cgj7  | 1,80-2,10             | 2,9 | ...                          | 3,9  | 8,0              | 13,9 | 28  | 67                          | 0,90 | 0,09 | 0,53                        | 0,62                         | 0,12                            | 0,17                         | ...                          | 0,06                         | 0,04                         | ...                          | 10,0 | 0,01                          |  |
| <b>H9 - Espodossolo Ferrocárbico Hidromórfico arênico</b> |                       |     |                              |  |                  |      |     |                             |      |      |                             |                              |                                 |                              |                              |                              |                              |                              |      |                               |  |
| A   | 0-0,20                | 4,7 | 6,0                          | 1,4  | 4,7              | 10,3 | 13  | 77                          | 1,64 | 0,10 | 0,01                        | <0,01                        | <0,01                           | 0,01                         | ...                          | <0,01                        | 0,01                         | ...                          | 16,4 | 0,00                          |  |
| AE  | 0,20-0,28             | 4,6 | ...                          | 0,8  | 0,8              | 2,1  | 36  | 49                          | 0,29 | 0,07 | <0,01                       | <0,01                        | <0,01                           | 0,01                         | ...                          | <0,01                        | <0,01                        | ...                          | 4,1  | 0,00                          |  |
| E1  | 0,28-0,41             | 4,8 | ...                          | 0,3  | 0,4              | 1,0  | 26  | 61                          | 0,08 | 0,02 | <0,01                       | <0,01                        | <0,01                           | <0,01                        | ...                          | <0,01                        | <0,01                        | ...                          | 4,0  | 0,00                          |  |
| E2  | 0,41-0,95             | 5,0 | 4,7                          | 0,5  | 0,0              | 0,5  | 100 | 0                           | 0,03 | 0,02 | <0,01                       | <0,01                        | <0,01                           | 0,01                         | ...                          | <0,01                        | <0,01                        | ...                          | 1,5  | 0,00                          |  |
| Bhs1  | 0,95-1,03             | 4,2 | 4,8                          | 0,8  | 16,7             | 31,1 | 3   | 96                          | 2,86 | 0,11 | 0,05                        | <0,01                        | <0,01                           | 0,01                         | 0,08                         | 0,16                         | 0,20                         | 0,52                         | 26,0 | 0,32                          |  |
| Bhsj2   | 1,03-1,35 (1,30-1,40) | 3,4 | 5,1                          | 0,5  | 9,1              | 15,8 | 3   | 95                          | 1,71 | 0,08 | 0,09                        | 0,09                         | 0,02                            | 0,03                         | 0,17                         | 0,10                         | 0,12                         | 0,33                         | 21,4 | 0,19                          |  |
| Bhsj3   | 1,35-1,80             | 3,4 | ...                          | 0,5  | 8,5              | 14,9 | 4   | 94                          | 0,90 | 0,05 | 0,11                        | 0,14                         | 0,03                            | 0,04                         | 0,38                         | 0,08                         | 0,09                         | 0,42                         | 18,0 | 0,26                          |  |
| Bhsj4   | 1,80-2,10             | 2,9 | ...                          | 0,3  | 2,8              | 5,8  | 5   | 90                          | 0,70 | 0,08 | 0,06                        | 0,13                         | 0,02                            | 0,03                         | ...                          | 0,04                         | 0,03                         | ...                          | 8,8  | 0,05                          |  |
| Bhsj5   | 2,10-2,50             | 2,8 | ...                          | 0,2  | 2,0              | 4,2  | 5   | 90                          | 0,50 | 0,06 | 0,03                        | 0,03                         | 0,01                            | 0,02                         | ...                          | 0,03                         | 0,01                         | ...                          | 8,3  | 0,02                          |  |
| Bhsj6   | 2,50-2,80             | 2,9 | ...                          | 0,2  | 2,4              | 6,2  | 3   | 92                          | 1,01 | 0,05 | 0,06                        | 0,08                         | 0,01                            | 0,02                         | ...                          | 0,05                         | 0,04                         | ...                          | 20,2 | 0,03                          |  |



Tabela 2.3 – Dados químicos dos solos estudados

(continua)

| Hor.  | Profundidade<br>(cm) | pH  | pH <sub>ss</sub> <sup>1</sup> | SB   | Al <sup>3+</sup> | T           | v                               | m                              | C                               | N    | S     | SO <sub>4</sub> <sup>=</sup> | Fe <sub>o</sub> <sup>2</sup> | Fe <sub>d</sub> <sup>3</sup> | Fe <sub>s</sub> <sup>4</sup> | Al <sub>o</sub> <sup>2</sup> | Al <sub>d</sub> <sup>3</sup> | Al <sub>s</sub> <sup>4</sup> | C/N  | DO <sub>ox</sub> <sup>5</sup> |  |
|---|----------------------|-----|-------------------------------|--|------------------|-------------|---------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|------|-------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------|-------------------------------|--|
|   |                      |     |                               | --- cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> --- | ---              | -----%----- | -----dag kg <sup>-1</sup> ----- | -----dag L <sup>-1</sup> ----- | -----dag kg <sup>-1</sup> ----- |      |       |                              |                              |                              |                              |                              |                              |                              |      |                               |  |
| <b>H13 – Espodosolo Ferrocárbico Hidromórfico hístico</b> |                      |     |                               |  |                  |             |                                 |                                |                                 |      |       |                              |                              |                              |                              |                              |                              |                              |      |                               |  |
| Ho  | 0-0,10               | 3,8 | ...                           | 12,0                                       | 62,9             | 134,0       | 9                               | 84                             | 31,90                           | 1,53 | 0,26  | <0,01                        | 0,05                         | 0,09                         | ...                          | 0,08                         | 0,11                         | ...                          | 20,8 | 0,02                          |  |
| Hd  | 0,10-0,28            | 4,0 | ...                           | 3,0  | 52,6             | 105,3       | 2                               | 95                             | 24,10                           | 0,54 | 0,12  | 0,01                         | 0,01                         | 0,02                         | ...                          | 0,04                         | 0,04                         | ...                          | 44,6 | 0,02                          |  |
| E   | 0,28-0,38            | 4,3 | ...                           | 0,5  | 1,3              | 2,9         | 16                              | 73                             | 0,47                            | 0,05 | 0,06  | <0,01                        | <0,01                        | <0,01                        | ...                          | <0,01                        | <0,01                        | ...                          | 9,4  | 0,00                          |  |
| Bhsj1   | 0,38-0,55            | 3,3 | ...                           | 0,4  | 13,3             | 23,7        | 2                               | 97                             | 3,03                            | 0,09 | 0,12  | 0,04                         | <0,01                        | 0,01                         | ...                          | 0,12                         | 0,14                         | ...                          | 33,7 | 0,15                          |  |
| Bhsj2   | 0,55-0,75            | 3,2 | ...                           | 0,6  | 9,1              | 15,8        | 4                               | 94                             | 1,55                            | 0,04 | 0,11  | 0,10                         | 0,02                         | 0,04                         | ...                          | 0,09                         | 0,14                         | ...                          | 38,8 | 0,27                          |  |
| Bhsj3   | 0,75-1,30            | 3,3 | ...                           | 0,2  | 8,0              | 12,5        | 2                               | 97                             | 0,88                            | 0,05 | 0,09  | 0,14                         | 0,03                         | 0,05                         | 0,15                         | 0,09                         | 0,11                         | 0,47                         | 17,6 | 0,34                          |  |
| Cgj   | 1,30-1,65            | 3,1 | ...                           | 0,6  | 7,0              | 6,6         | 9                               | 92                             | 0,20                            | 0,06 | 0,17  | 0,37                         | 0,08                         | 0,10                         | ...                          | 0,05                         | 0,04                         | ...                          | 3,3  | 0,01                          |  |
| <b>H16 - Espodosolo Ferrocárbico Hidromórfico típico</b>  |                      |     |                               |  |                  |             |                                 |                                |                                 |      |       |                              |                              |                              |                              |                              |                              |                              |      |                               |  |
| A   | 0-0,10               | 4,1 | ...                           | 3,0  | 13,8             | 29,4        | 10                              | 82                             | 6,77                            | 0,39 | 0,06  | 0,03                         | 0,02                         | 0,04                         | ...                          | 0,02                         | 0,02                         | ...                          | 17,4 | 0,01                          |  |
| AE  | 0,10-0,15            | 4,1 | 5,5                           | 0,5  | 2,6              | 5,2         | 10                              | 84                             | 0,97                            | 0,07 | 0,01  | <0,01                        | <0,01                        | 0,01                         | ...                          | <0,01                        | <0,01                        | ...                          | 13,9 | 0,00                          |  |
| E   | 0,15-0,23            | 3,9 | ...                           | 0,3  | 1,2              | 2,3         | 15                              | 77                             | 0,37                            | 0,03 | 0,01  | <0,01                        | <0,01                        | 0,01                         | ...                          | <0,01                        | <0,01                        | ...                          | 12,3 | 0,00                          |  |
| Bhs1  | 0,23-0,40            | 4,1 | 5,2                           | 0,6  | 7,9              | 14,8        | 4                               | 93                             | 1,58                            | 0,08 | 0,04  | <0,01                        | <0,01                        | 0,01                         | ...                          | 0,05                         | 0,06                         | ...                          | 19,8 | 0,03                          |  |
| Bhsj2   | 0,40-0,54            | 3,0 | ...                           | 0,7  | 13,7             | 23,0        | 3                               | 95                             | 1,89                            | 0,09 | 0,15  | 0,21                         | 0,06                         | 0,07                         | 0,17                         | 0,09                         | 0,14                         | 0,31                         | 21,0 | 0,23                          |  |
| Bhsj3   | 0,54-0,62            | 2,4 | ...                           | 0,4  | 28,9             | 39,3        | 1                               | 99                             | 1,64                            | 0,08 | 0,49  | 1,31                         | 0,31                         | 0,32                         | 0,47                         | 0,12                         | 0,17                         | 0,44                         | 20,5 | 0,40                          |  |
| 2Cgj1   | 0,62-0,80            | 3,0 | 5,3                           | 2,1  | 30,0             | 42,1        | 5                               | 94                             | 4,16                            | 0,17 | 1,11  | 1,36                         | 0,37                         | 0,42                         | ...                          | 0,29                         | 0,28                         | ...                          | 24,5 | 0,14                          |  |
| 2Cgj2   | 0,80-1,60+           | 2,9 | 5,7                           | 10,6                                       | 24,1             | 43,6        | 24                              | 69                             | 2,87                            | 0,15 | 1,20  | 1,05                         | 0,46                         | 0,47                         | ...                          | 0,14                         | 0,12                         | ...                          | 19,1 | 0,04                          |  |
| <b>C14 - Espodosolo Ferrocárbico Hidromórfico típico</b>  |                      |     |                               |  |                  |             |                                 |                                |                                 |      |       |                              |                              |                              |                              |                              |                              |                              |      |                               |  |
| A   | 0-0,15               | 4,3 | ...                           | 2,3  | 8,5              | 18,5        | 12                              | 79                             | 3,58                            | 0,19 | 0,03  | 0,01                         | <0,01                        | 0,02                         | ...                          | 0,02                         | 0,01                         | ...                          | 18,8 | 0,00                          |  |
| AE  | 0,15-0,20            | 4,3 | 5,7                           | 0,3  | 2,2              | 4,6         | 7                               | 87                             | 0,22                            | 0,03 | <0,01 | <0,01                        | <0,01                        | <0,01                        | ...                          | <0,01                        | <0,01                        | ...                          | 7,3  | 0,00                          |  |
| E   | 0,20-0,50            | 5,0 | 4,8                           | 0,5  | 0,6              | 1,7         | 29                              | 55                             | 0,03                            | 0,03 | <0,01 | <0,01                        | <0,01                        | <0,01                        | ...                          | <0,01                        | <0,01                        | ...                          | 1,0  | 0,00                          |  |
| Bhs1  | 0,50-0,58            | 4,0 | ...                           | 0,7  | 19,6             | 35,7        | 2                               | 97                             | 3,74                            | 0,14 | 0,07  | <0,01                        | <0,01                        | 0,01                         | ...                          | 0,15                         | 0,18                         | ...                          | 26,7 | 0,11                          |  |
| Bhs2  | 0,58-0,75            | 4,0 | 5,1                           | 1,1  | 33,4             | 61,9        | 2                               | 97                             | 6,42                            | 0,19 | 0,15  | 0,01                         | <0,01                        | 0,02                         | ...                          | 0,44                         | 0,56                         | ...                          | 33,8 | 0,71                          |  |
| Bhs3  | 0,75-1,00            | 4,8 | 5,3                           | 0,9  | 10,1             | 19,7        | 4                               | 92                             | 1,75                            | 0,08 | 0,04  | <0,01                        | 0,05                         | 0,09                         | 0,21                         | 0,56                         | 0,78                         | 1,11                         | 21,9 | 0,63                          |  |
| Bs1   | 1,00-1,20            | 4,8 | ...                           | 1,2  | 5,0              | 10,5        | 12                              | 80                             | 0,98                            | 0,08 | 0,02  | <0,01                        | 0,06                         | 0,07                         | 0,27                         | 0,46                         | 0,29                         | 0,89                         | 12,3 | 0,22                          |  |
| Bs2   | 1,20-1,60            | 5,0 | ...                           | 0,7  | 4,4              | 8,7         | 8                               | 87                             | 0,67                            | 0,08 | 0,01  | <0,01                        | 0,05                         | 0,06                         | 0,30                         | 0,31                         | 0,34                         | 0,83                         | 8,4  | 0,16                          |  |
| Bs3   | 1,60-1,80            | 4,6 | ...                           | 1,2  | 3,6              | 8,0         | 15                              | 75                             | 0,43                            | 0,06 | 0,01  | <0,01                        | 0,04                         | 0,04                         | ...                          | 0,22                         | 0,17                         | ...                          | 7,2  | 0,09                          |  |
| Bs4   | 1,80-2,10            | 4,0 | ...                           | 0,2  | 0,8              | 1,7         | 12                              | 80                             | 0,36                            | 0,04 | 0,03  | 0,04                         | 0,02                         | 0,03                         | ...                          | 0,22                         | 0,21                         | ...                          | 9,0  | 0,10                          |  |
| C   | 2,10-2,40            | 4,2 | ...                           | 0,2  | 0,7              | 2,2         | 10                              | 77                             | 0,16                            | 0,05 | 0,01  | 0,02                         | 0,01                         | 0,02                         | ...                          | 0,12                         | 0,14                         | ...                          | 3,2  | 0,03                          |  |

Tabela 2.3 – Dados químicos dos solos estudados

| Hor.   | Profundidade<br>(cm) | pH  | pH <sub>ss</sub> <sup>1</sup> | SB   | Al <sup>3+</sup>                           | T         | v                                | m  | C     | N                   | S    | SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>     | Fe <sub>o</sub> <sup>2</sup> | Fe <sub>d</sub> <sup>3</sup> | Fe <sub>s</sub> <sup>4</sup> | Al <sub>o</sub> <sup>2</sup> | Al <sub>d</sub> <sup>3</sup> | Al <sub>s</sub> <sup>4</sup> | (conclusão) |                               |  |
|--|----------------------|-----|-------------------------------|------|--|-----------|----------------------------------|----|-------|---------------------|------|----------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|-------------|-------------------------------|--|
|  |                      |     |                               |      |  |           |                                  |    |       |                     |      |                                  |                              |                              |                              |                              |                              |                              | C/N         | DO <sub>ox</sub> <sup>5</sup> |  |
|  |                      |     |                               |      | --- cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> --- | --- % --- | ----- dag kg <sup>-1</sup> ----- |    |       | dag L <sup>-1</sup> |      | ----- dag kg <sup>-1</sup> ----- |                              |                              |                              |                              |                              |                              |             |                               |  |
| <b>J14 – Organossolo Tiomórfico Sáprico típico</b>         |                      |     |                               |      |  |           |                                  |    |       |                     |      |                                  |                              |                              |                              |                              |                              |                              |             |                               |  |
| Hd1  | 0-0,20               | 3,7 | ...                           | 6,7  | 87,6                                       | 176,6     | 4                                | 93 | 38,70 | 1,57                | 0,32 | 0,03                             | 0,04                         | 0,04                         | ...                          | 0,13                         | 0,14                         | ...                          | 24,6        | 0,01                          |  |
| Hd2  | 0,20-0,50            | 3,8 | ...                           | 5,9  | 78,6                                       | 158,1     | 4                                | 93 | 44,20 | 1,21                | 0,26 | 0,03                             | 0,03                         | 0,04                         | ...                          | 0,09                         | 0,10                         | ...                          | 36,5        | 0,00                          |  |
| Hd3  | 0,50-0,60            | 3,9 | ...                           | 2,4  | 41,9                                       | 82,7      | 3                                | 95 | 41,70 | 0,64                | 0,26 | 0,01                             | 0,01                         | 0,02                         | ...                          | 0,05                         | 0,06                         | ...                          | 65,2        | 0,09                          |  |
| Hd4  | 0,60-0,70            | 3,7 | 3,5                           | 1,4  | 48,4                                       | 92,7      | 2                                | 97 | 20,60 | 0,36                | 0,53 | 0,01                             | <0,01                        | 0,01                         | ...                          | 0,22                         | 0,26                         | ...                          | 57,2        | 0,05                          |  |
| Bhsj1  | 0,70-1,00            | 3,1 | ...                           | 0,3  | 13,4                                       | 22,0      | 2                                | 98 | 1,61  | 0,07                | 0,15 | 0,19                             | 0,05                         | 0,06                         | ...                          | 0,11                         | 0,14                         | ...                          | 23,0        | 0,42                          |  |
| Bhsj2  | 1,00-1,30+           | 3,2 | ...                           | 0,7  | 16,1                                       | 27,0      | 3                                | 96 | 2,06  | 0,08                | 0,28 | 0,25                             | 0,08                         | 0,08                         | ...                          | 0,17                         | 0,19                         | ...                          | 25,8        | 0,29                          |  |
| <b>P14 - Espodossolo Ferrocárbico Hidromórfico hístico</b> |                      |     |                               |      |  |           |                                  |    |       |                     |      |                                  |                              |                              |                              |                              |                              |                              |             |                               |  |
| Ho   | 0-0,12               | 4,2 | ...                           | 1,2  | 63,1                                       | 124,8     | 1                                | 96 | 24,80 | 1,39                | 0,18 | 0,04                             | 0,05                         | 0,08                         | ...                          | 0,05                         | 0,05                         | ...                          | 17,8        | 0,02                          |  |
| Hd   | 0,12-0,22            | 3,8 | 4,6                           | 3,0  | 31,6                                       | 62,9      | 5                                | 91 | 12,10 | 0,54                | 0,08 | 0,01                             | 0,02                         | 0,03                         | ...                          | 0,04                         | 0,04                         | ...                          | 22,4        | 0,01                          |  |
| E1   | 0,22-0,40            | 4,2 | ...                           | 0,3  | 2,1  | 4,0       | 7                                | 88 | 0,50  | 0,07                | 0,01 | <0,01                            | <0,01                        | <0,01                        | ...                          | 0,02                         | 0,01                         | ...                          | 7,1         | 0,02                          |  |
| E2   | 0,40-0,60            | 4,0 | 5,6                           | 0,6  | 4,1  | 8,0       | 7                                | 88 | 0,69  | 0,05                | 0,02 | 0,01                             | <0,01                        | 0,01                         | ...                          | 0,05                         | 0,05                         | ...                          | 13,8        | 0,06                          |  |
| Bhsj1  | 0,60-0,95            | 3,3 | 5,8                           | 0,3  | 7,3  | 10,8      | 3                                | 96 | 0,75  | 0,05                | 0,13 | 0,21                             | 0,05                         | 0,07                         | ...                          | 0,07                         | 0,08                         | ...                          | 15,0        | 0,21                          |  |
| Bhsj2  | 0,95-1,03            | 3,4 | 5,8                           | 0,5  | 8,8  | 13,7      | 4                                | 94 | 0,67  | 0,05                | 0,22 | 0,28                             | 0,08                         | 0,10                         | ...                          | 0,14                         | 0,12                         | ...                          | 13,4        | 0,27                          |  |
| 2Cgj   | 1,03-1,40+           | 3,2 | ...                           | 5,2  | 6,3  | 13,6      | 38                               | 55 | 0,90  | 0,08                | 0,65 | 0,53                             | 0,12                         | 0,11                         | ...                          | 0,06                         | 0,03                         | ...                          | 11,3        | 0,01                          |  |
| <b>R14 - Espodossolo Ferrocárbico Hidromórfico hístico</b> |                      |     |                               |      |  |           |                                  |    |       |                     |      |                                  |                              |                              |                              |                              |                              |                              |             |                               |  |
| Ho   | 0-0,07               | 4,1 | ...                           | 51,4 | 51,5                                       | 153,5     | 34                               | 50 | 29,90 | 1,26                | 0,66 | 0,28                             | 0,04                         | 0,04                         | ...                          | 0,15                         | 0,13                         | ...                          | 23,7        | 0,02                          |  |
| A  | 0,07-0,14            | 4,2 | ...                           | 10,1 | 3,5  | 16,9      | 60                               | 26 | 1,18  | 0,05                | 0,07 | 0,06                             | <0,01                        | 0,01                         | ...                          | 0,02                         | 0,01                         | ...                          | 23,6        | 0,00                          |  |
| E  | 0,14-0,23            | 4,2 | ...                           | 11,6 | 2,2  | 15,7      | 74                               | 16 | 0,54  | 0,05                | 0,06 | 0,11                             | <0,01                        | 0,02                         | ...                          | 0,02                         | 0,01                         | ...                          | 10,8        | 0,01                          |  |
| Bhsj1  | 0,23-0,30            | 2,8 | ...                           | 9,1  | 8,2  | 21,4      | 43                               | 47 | 0,71  | 0,06                | 0,33 | 0,47                             | 0,10                         | 0,12                         | 0,36                         | 0,05                         | 0,06                         | 0,28                         | 11,8        | 0,13                          |  |
| Bhsmj2   | 0,30-0,45            | 3,1 | ...                           | 2,2  | 14,0                                       | 23,5      | 10                               | 86 | 1,45  | 0,07                | 0,23 | 0,30                             | 0,17                         | 0,17                         | 0,30                         | 0,37                         | 0,23                         | 0,56                         | 20,7        | 0,58                          |  |
| Cgj  | 0,45-0,60+           | 3,9 | ...                           | 12,9 | 3,4  | 18,1      | 71                               | 21 | 0,27  | 0,07                | 0,30 | 0,31                             | 0,06                         | 0,10                         | ...                          | 0,07                         | 0,05                         | ...                          | 3,9         | 0,03                          |  |

Nota – Sinais convencionais utilizados:

... Dado numérico não disponível.

<sup>1</sup>pH<sub>ss</sub> = pH obtido da solução do solo extraída *in situ*

<sup>2</sup>Fe<sub>o</sub> e Al<sub>o</sub> = Fe e Al extraídos pelo oxalato

<sup>2</sup>Fe<sub>d</sub> e Al<sub>d</sub> = Fe e Al extraídos pelo ditionito-citrato

<sup>3</sup>Fe<sub>s</sub> e Al<sub>s</sub> = Fe e Al extraídos pelo ataque sulfúrico

<sup>4</sup>DO<sub>ox</sub> = densidade ótica obtida no extrato do oxalato a 430 nm

Os teores de Fe e Al nas extrações seletivas mostraram um acúmulo destes elementos em subsuperfície e a predominância do Al em relação ao Fe (Capítulo 2). Os valores de  $DO_{ox}$  apresentaram aumento em subsuperfície, tanto nos Neossolos como nos horizontes espódicos, com os maiores valores no topo destes horizontes, decrescendo em seguida

A microscopia eletrônica de varredura (MEV) mostrou, nos horizontes 2Cgj, a presença de piritas, evidenciadas pela espectroscopia de energia dispersiva (EDS), na forma “framboidal” (Figura 2.6), já em processo de oxidação.

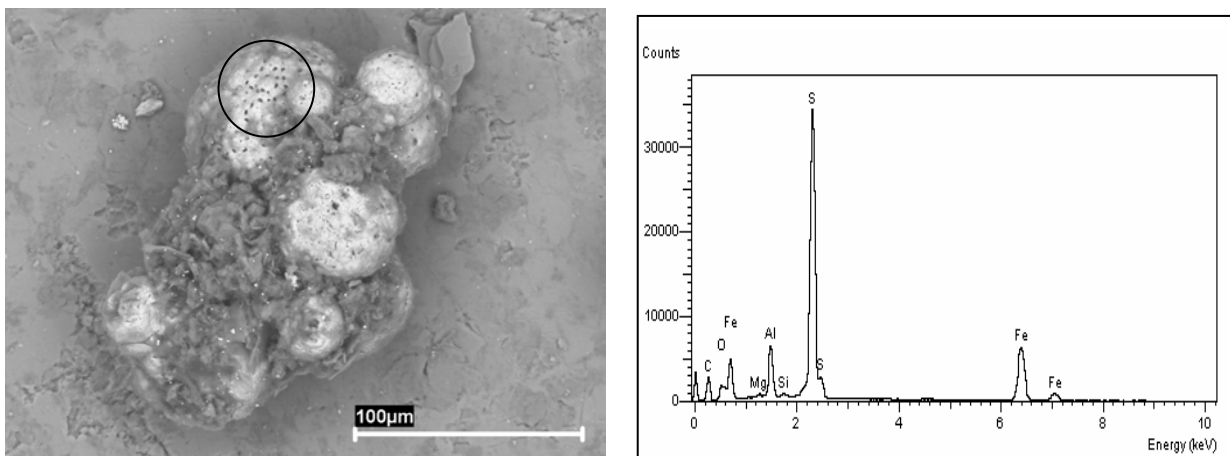


Figura 6 – Microscopia eletrônica de varredura e espectroscopia de energia dispersiva (EDS) de uma pirita do perfil H16 em estado avançado de oxidação, evidenciado pelos espaços vazios (círculo) e ausência de cristais bem definidos

## 2.2.3 Discussão

### 2.2.3.1 Distribuição dos Solos

Os perfis H-1 e H3 (Figura 2.3a) são os mais próximos ao mar e conseqüentemente mais jovens. Apresentam algumas evidências da podzolização em profundidade, como um ligeiro escurecimento e valores ligeiramente mais elevados de Fe e Al nas extrações seletivas e nos valores obtidos na  $DO_{ox}$ . Porém, não chegam a formar o horizonte espódico, sendo intermediários entre Neossolo Quartzarênico e Espodossolo, e por isso são classificados como Neossolo Quartzarênico Hidromórfico espódico. O perfil H3 é sensivelmente mais desenvolvido que o H-1, apresentando já um delgado horizonte E. Este horizonte está acima do tronco caído datado em

1500 anos AP pelo  $^{14}\text{C}$ , o que evidencia o desenvolvimento deste horizonte após a queda do mesmo, pelo processo de podzolização.

Nos perfis localizados mais afastados do mar a podzolização é mais intensa e evidente. A estabilização do material sedimentado é pouco superior a 4690 anos AP, o que pode-se concluir com a datação em uma raiz morta do perfil H9, sendo contemporâneo ao nível máximo da Transgressão Santos, de cerca de 5000 anos AP (SUGUIO & MARTIN, 1978), permitindo esse maior desenvolvimento. A coloração do horizonte espódico apresenta, via de regra, valores e cromas baixos, principalmente no topo deste, tendendo a aumentar em profundidade, chegando a originar horizontes Bs. Porém esse aumento não é acompanhado por aumentos expressivos no teor de Fe e/ou Al.

### **2.2.3.2 Características químicas e físicas**

Os solos são arenosos, com predominância da fração areia fina devido ao próprio material de origem, composto essencialmente de areia fina a muito fina bem selecionada (SUGUIO, 1993, VILLWOCK, 2005). O material de textura mais fina que ocorre em dois perfis (horizontes 2Cgj dos perfis H16 e P14) é provavelmente fundo de canal ou baía que foram cobertos por sedimentos arenosos com a elevação do nível do mar (SUGUIO & MARTIN, 1978). Corrobora com essa hipótese a ocorrência de pirita (Figura 2.6) neste horizonte glei, mineral que é formado somente sob condições redutoras e com fonte de sulfato (água do mar) e Fe (sedimentos de origem continental), o que ocorre nestas situações (DENT, 1986). Além disso, a forma framboidal da pirita é outro indicativo, já que é típica de ambientes marinhos rasos (GIBLIN, 1988). O fato destas piritas apresentarem indícios de degradação indica que já não estão mais em condições estáveis.

Os Neossolos Quartzarênicos apresentam um ligeiro incremento nos teores de argila em profundidade, o que pode ser atribuído à mistura com material de textura mais fina, também de origem diferenciada como no caso do material dos perfis H16 e P14, porém não chegando a apresentar um horizonte com descontinuidade no material de origem (2Cgj). O decréscimo do pH e aumento dos teores de S no perfil H3 corroboram com essa hipótese.

Os baixos valores de pH de solos sob vegetação de restinga são comuns, visto que os solos se desenvolvem sob sedimentos arenosos originalmente pobres em bases. Cabe ressaltar, no

entanto, que comparando-se a outros Espodosolos descritos na costa do Estado de São Paulo (BRASIL, 1960; ROSSI, 2001) e do Brasil (GOMES, 1998; MOURA FILHO, 1998, GOMES, 2002), os solos da Ilha do Cardoso apresentaram valores ainda mais baixos de pH, o que indica que o material de origem subjacente aos depósitos praias arenosos, que aparece em menor profundidade nos perfis H16 e P14, está ocorrendo sob todos os solos, influenciando os horizontes espódicos. Os valores mais baixos de pH da TFSA em relação aos da solução do solo, e os teores de S total e  $\text{SO}_4^{=}$  mais elevados em profundidade na maioria dos solos, aliados ao cheiro característico de sulfetos no momento da coleta, confirmam essa hipótese. É importante observar que a maioria destes solos são essencialmente arenosos, não apresentando capacidade tampão, e qualquer quantidade de sulfetos neste material afeta a acidez fortemente.

Segundo Andriess (1969) o material de origem pobre em nutrientes exerce papel fundamental na gênese de Espodosolos de regiões tropicais, induzindo o crescimento de espécies vegetais que produzem uma liteira pobre em bases e com relação C/N elevada. Os horizontes A e H dos solos estudados apresentaram relações elevadas, maiores que 16, chegando a valores maiores que 60 no Organossolo (perfil J14) (Tabela 2.3). Havlin et al. (2005) indicam que a relação C/N de aproximadamente 20 é o limiar entre a imobilização e a mineralização, o que indica que nos solos estudados, a mineralização é mínima ou não ocorre. O horizonte E tende a apresentar valores de pH mais elevados que os demais horizontes, por serem lavados e pobres em material orgânico, provável maior fonte de acidez destes solos (GOMES et al., 1998). O cátion dominante no complexo de troca é o Al, resultando em solos álicos. A capacidade de troca catiônica (T) varia muito, acompanhando os teores de carbono orgânico, já que este é o responsável pela mesma nestes solos, compostos basicamente por areias que pouco contribuem com o valor T (ROSSI, 2001), evidenciando a constituição orgânica da fração coloidal destes solos.

Quatro solos apresentaram teores de carbono elevados em superfície, apresentando horizontes de constituição predominantemente orgânica (horizonte hístico). O perfil J14, com 70 cm deste horizonte, foi o único classificado como solo orgânico, sendo denominado Organossolo Tiomórfico Sáprico típico pelo SiBCS (EMBRAPA, 1999). Os perfis H16, P14 e R14, por apresentarem menos de 40 cm de horizonte hístico, foram classificados como Espodosolo Ferrocárbico Hidromórfico hístico. Estes solos ocorrem em áreas abaciadas da planície litorânea

(ROSSI, 2001) sendo o que o perfil R14 ocorre já na transição entre a vegetação de restinga e o manguezal.

### **2.2.3.3 Hidromorfia e podzolização**

Nos solos estudados, a hidromorfia ocorre sempre em conjunto com a podzolização, o que mascara as feições redoximórficas devido às colorações “espódicas” (EVANS & MOKMA, 1996). Estes são os processos pedogenéticos dominantes na gênese destes solos e ocorrem em conjunto, sendo a podzolização dependente da hidromorfia. Andriess (1969) já postulava que Espodossolos em regiões tropicais úmidas, mal drenados e sobre materiais de origem pobres, apesar da semelhança morfológica com Espodossolos de regiões mais frias, tinham outro mecanismo de formação, no qual a hidromorfia era fundamental no processo, devido à falta de drenagem impedindo a água rica em material orgânico solúvel de sair do sistema. Uma evidência disto é o maior desenvolvimento do horizonte E nos locais mais elevados (antigas cristas praias) e menor desenvolvimento deste horizonte nas zonas mais baixas (Figuras 2.4 e 2.5), onde a saturação é mais permanente e conseqüentemente o horizonte espódico está mais próximo à superfície. Nestes locais, mais baixos ocorre o horizonte hístico e o horizonte E, além de mais delgado, possui cor mais escura, com valores mais baixos, indicando uma maior influência do lençol freático neste horizonte. Segundo Evans & Monkma (1996) o horizonte E é o que mais reflete a influência da flutuação do lençol freático, sendo o limite onde ocorre tanto eluviação quanto iluviação, sendo que a atual quantidade de constituintes iluviados é pequena. Sendo assim, um horizonte E mais claro indica uma menor presença de material eluviado/iluviado, devido à menor oscilação do lençol.

Para os Espodossolos podemos então definir 2 tipos em função das características morfológicas. O primeiro apresenta hidromorfia mais acentuada, com formação de horizonte hístico, sendo representado pelos perfis H13, P14 e R14, além do perfil H16, que apesar de não chegar a formar horizonte hístico, apresenta o horizonte 2Cgj e teores elevados de carbono no horizonte A. O segundo é representado pelos perfis C14 e H9, com hidromorfia menos acentuada. Assim, o primeiro tipo apresenta horizonte E mais delgado, cores com valores e cromas mais baixos, devido à maior presença do lençol freático neste horizonte. O segundo padrão seria

representado pelos perfis H9 e C14, em posições um pouco mais elevadas, com horizontes E mais claros e limite abrupto para o horizonte espódico.

#### 2.2.3.4 Classificação

O perfil H9 (Figura 3b), que ocorre em uma pequena elevação, correspondente à uma antiga crista praial, é o que apresenta maior espessura de horizonte E, corroborando a hipótese de que o lençol freático exerce papel decisivo na profundidade da ocorrência do horizonte espódico. Este perfil foi classificado como Espodossolo Ferrocárbico Hidromórfico arênico devido à essa espessura. O perfil C14 (Figura 2.3e) também apresenta um horizonte E bem desenvolvido, embora menos espesso, e apesar de apresentar um horizonte endurecido, o mesmo não chegou a *ortstein* pois não apresentou-se extremamente cimentado, sendo então classificado como Espodossolo Ferrocárbico Hidromórfico típico. O grau de cimentação do horizonte espódico é outro critério que necessita de rediscussão, já que horizontes fortemente cimentado, os quais certamente são classificados como *ortstein*, dada suas limitações de permeabilidade e resistência não entram na definição do mesmo pelo SiBCS, que determina que este horizonte deve possuir o sufixo “m”, que segundo Santos et al. (2005) só pode ser atribuído a horizontes extremamente cimentados.

O perfil H16 (Figura 2.3d), apesar de não possuir horizonte hístico, apresenta um horizonte superficial relativamente rico em matéria orgânica e um horizonte glei com presença de pirita a 62 cm de profundidade. Foi classificado como Espodossolo Ferrocárbico Hidromórfico típico, embora justificasse a inclusão de uma denominação que indique a possibilidade de acidificação deste solo quando drenados, como será discutido adiante. O perfil R14, apesar de apresentar *ortstein*, não foi classificado como “dúrico” no 4º nível categórico devido à precedência da denominação “hístico”. Na atualização, foi proposta a inserção desta característica juntamente com “hístico”, já que a dureza do material merece ser contemplada, dada sua interferência no comportamento do solo.

Apesar de não apresentarem valores elevados de Fe em todas as extrações e devido à dubiedade do SiBCS (1999), onde para ser classificado como horizonte Bhs ou Bs não se utiliza critérios químicos quantitativos, todos os Espodossolos foram classificados como Espodossolo Ferrocárbico. No caso do horizonte Bs, apenas o valor e croma (ambos maiores ou iguais a 3)

podem determinar se este horizonte é Bs. O perfil C14 ilustra bem esse problema, mostrando horizontes com teores muito baixos em Fe (horizontes Bs3 e Bs4) chegando a  $0,02 \text{ dag Kg}^{-1}$  de Fe extraído pelo ditionito e  $0,01 \text{ dag kg}^{-1}$  extraído pelo oxalato foram classificados como Bs. Considerou-se que, além do critério de cor, ocorreu acúmulo de Fe em profundidade, apesar dos valores muito baixos.

Na atualização proposta por Santos et al. (2003), ficam mais claras as diferentes designações de horizontes espódicos. A Tabela 2.4 mostra a classificação dos Espodossolos segundo o atual SiBCS e a proposta de atualização. Esta proposta, apesar de definir de forma mais precisa os horizontes Bh, Bs e Bhs, ainda apresenta problemas no que diz respeito ao critério a ser utilizado na definição de cada um deles. Nas definições destes horizontes, são levadas em consideração duas características: cor e teor de Fe e Al extraídos pelo ataque sulfúrico, sem precisar qual dos dois critérios (químico ou morfológico) tem precedência na determinação do horizonte. Sendo assim, apesar dos perfis H13 e C14 apresentarem um horizonte espódico com teores menores de Fe em relação ao Al, foram considerados como “Ferrihumilúvico”, já que pela atualização de Santos et al (2003), para ser considerado Bh (e portanto Espodossolo Humilúvico), devem apresentar valor  $< 4$  e croma  $< 3$ . Se considerássemos o teor de Fe a Al extraídos pelo ataque sulfúrico como o critério precedente, a denominação seria Espodossolo Humilúvico, já que os compostos de Al predominam sobre os de Fe.

Tabela 2.4 – Classificação dos Espodossolos segundo o SiBCS (1999) e a atualização proposta por Santos et al. (2003)

| Solo | SiBCS(1999)                                     | Santos et al. (2003)   |
|------|---|--|
| H9   | Espodossolo Ferrocárbico Hidromórfico arênico   | Espodossolo Humilúvico Hidromórfico arênico                  |
| H13  | Espodossolo Ferrocárbico Hidromórfico histórico | Espodossolo Ferrihumilúvico Hidromórfico histórico tiônico   |
| H16  | Espodossolo Ferrocárbico Hidromórfico típico    | Espodossolo Humilúvico Hidromórfico tiônico                  |
| C14  | Espodossolo Ferrocárbico Hidromórfico típico    | Espodossolo Ferrihumilúvico Hidromórfico típico              |
| P14  | Espodossolo Ferrocárbico Hidromórfico histórico | Espodossolo Humilúvico Hidromórfico histórico tiônico        |
| R14  | Espodossolo Ferrocárbico Hidromórfico histórico | Espodossolo Humilúvico Hidromórfico histórico dúrico tiônico |

Os valores da densidade ótica do extrato do oxalato foram condizentes com os esperados pela classificação norte-americana como um dos requisitos, não excludente, para identificação de material espódico (ESTADOS UNIDOS, 1999), apresentando valores  $>0,25$  ou pelo menos o dobro em relação ao horizonte suprajacente. Porém outro critério, também não excludente, no qual a  $\%Al_0$  somado a  $\frac{1}{2} \%Fe_0$  deve ser maior ou igual a  $0,50$  ocorreu para apenas um horizonte.



Ao que tudo indica, os parâmetros químicos utilizados na classificação americana não parecem adequados aos Espodossolos da costa brasileira, fato observado também por Moura Filho (1998).

#### **2.2.3.5 Materiais sulfídricos**

A possível presença de materiais sulfídricos não está prevista na ordem Espodossolos no SiBCS. Por esse motivo, na classificação atualizada (Tabela 4), foi adicionada no 4º nível categórico do perfil H16, em substituição ao “típico” seguindo a recomendação de Santos et al. (2003), a denominação “tiônico”. No caso dos perfis H13 e P14, por apresentarem horizonte hístico, foram classificados como “hístico tiônico” no 4º nível categórico e o perfil R14, “dúrico hístico tiônico”. Os demais solos, por apresentarem materiais sulfídricos apresentaram abaixo dos 100 cm, não levaram essa denominação. Outro caminho que poderá ser usado futuramente pelo SiBCS seria usar alguma denominação que indique a descontinuidade no material de origem do solo, evitando-se assim utilizar uma denominação de processos não relacionados pedogeneticamente..

#### **2.2.3.6 Considerações finais**

Os solos encontrados apresentam o processo de podzolização em diferentes estádios, que estão relacionados principalmente à estabilização do sedimento arenoso a partir da instalação da vegetação. Entre os Espodossolos, a microtopografia exerce papel fundamental na morfologia e conseqüentemente na classificação dos solos. Os que estão em posições mais abaciadas apresentam menor espessura de horizonte E e maiores teores de matéria orgânica na superfície, chegando a formar Organossolos, enquanto que os que estão em posições mais elevadas apresentam horizonte E mais espesso e com tons mais claros. Isso ocorre devido à hidromorfia, que exerce papel fundamental na gênese destes solos, impedindo a saída da água rica em matéria orgânica dissolvida do sistema.

A atualização de Santos et al. (2003) melhorou os critérios de definição do horizonte espódico, porém apresenta ainda algumas carências, que devem ser sanadas apenas com a realização de mais estudos de correlação de Espodossolos no país.

### 2.3 Conclusões

- Os Espodossolos estudados são holocênicos, sendo formados após a estabilização dos sedimentos da deposição regressiva da Transgressão Santos;
- A podzolização está intimamente ligada à oscilação do lençol freático;
- O SiBCS deve adotar um critério químico quantitativo (relativo e/ou absoluto) para denotar a presença de Fe no horizonte espódico, deve determinar a precedência deste critério ao critério de cor, deve inserir a denominação “tiônico” no 4º nível categórico para a ordem Espodossolos e, pelas sérias limitações à penetração que oferece, sugere-se ampliar a definição de *ortstein* de extremamente para fortemente cimentado
- A ocorrência de materiais sulfídricos nestes solos está relacionada ao material subjacente aos depósitos de cordões arenosos, que é mais fino, rico em sulfetos e depositado previamente em situação de fundo de canal. Esta influência se dá de forma direta (horizontes 2Cgj dos perfis H16 e P14) ou pela oscilação do lençol freático, trazendo sulfetos aos horizontes arenosos, os quais têm baixa capacidade tampão.

## Referências

ANDRIESSE, J.P. Study of the environmental and characteristics of tropical podzols in Sarawak (East-Malasia). **Geoderma**, Amsterdam, v. 2, p.201-227, 1969.

ARAÚJO, D. S. D.; LACERDA, L. D. de. A natureza das restingas. **Ciência Hoje**, Rio de Janeiro, v.6, p. 42-48, 1987.

BOULET, R; CHAUVEL, A.; HUMBEL, F.X.; LUCAS, Y. Analyse structurale et cartographie en pédologie I – Prise en compte de l'organisation bidimensionnelle de la couverture pédologique: les études de toposequences et leurs principaux apports à la connaissance des sols. **Cashier ORSTOM. Série Pédologie**, Montpellier, v. 19, p. 309-321, 1982.

BRASIL. Ministério da Agricultura. Centro Nacional de ensino e pesquisas agronômicas. Serviço nacional de pesquisas agronômicas. Comissão de solos. **Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado de São Paulo**: contribuição à carta de solos do Brasil. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura, 1960. 634p.(Boletim 12).

BRAVARD, S.; RIGHI, D. Geochemical differences in an oxisol-spodosol toposequence of Amazonia (Brazil). **Geoderma**, Amsterdam, v. 44, p.29-42, 1989.

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

CHESWORTH, W.; MACIAS, F. pe, pH and podzolization. **American Journal of Science**, New Haven , v. 285, p.128- 146, 1985.

COURCHESNE, F.; HENDERSHOT, W. H. La genèse des podzols. **Géographie physique et Quaternaire**, Montreal, v.51, p. 235-250, 1997.

DENT, D. **Acid sulphate soils**: a baseline for research and development. Wageningen: International Institute for land reclamation and improvement, 1986. 203p.

DUBROUECQ, D.; VOLKOFF, B. From Oxisols to Spodosols and Histosols: evolution of the soil mantles in the Rio Negro basin (Amazonia). **Catena**, Amsterdam, v. 32, p. 245-280, 1998.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de Solos**. Brasília: Embrapa, Produção de informação; Rio de Janeiro: EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1999. 412p.

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

ESTADOS UNIDOS. Department of Agriculture. Soil Survey Division. Soil Conservation Service. Soil Survey Staff. **Soil Taxonomy**: a basic sistem of soil classification for making and interpreting soils surveys. 2<sup>nd</sup> ed. Washington: USDA, 1999. 869p.

ESTADOS UNIDOS. Department of Agriculture. Soil Survey Division. Soil Consevation Service. Soil Survey Staff. **Keys to soil taxonomy**. 6<sup>th</sup> ed. Washington: USDA, 1994. 306p.

EVANS, C.V.; MOKMA, D.L. Sandy wet Spodosols: water tables, chemistry, and pedon partioning. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 60, p. 1495-1501, 1996.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **World reference base for soil resources**: draft. Paris: UNESCO, 1994. 161p.

GIBLIN, A.E. Pyrite formation in marshes during early diagenesis. **Geomicrobiology Journal**, London, v. 6, p. 77-97, 1988.

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

GOMES, F.H. **Caracterização de solos de manguezais e de restinga no município de Ilhéus-Bahia**. 2002. 96p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2002.

GOMES, F.H.; VIDAL-TORRADO, P. Mapa ultradetalhado de Solos da parcela sob restinga do projeto “parcelas permanentes” do BIOTA. In: SIMPÓSIO INTERNO DO PROJETO: DIVERSIDADE, DINÂMICA E CONSERVAÇÃO EM FLORESTAS DE SÃO PAULO: 40 HA DE PARCELAS PERMANENTES, 3., 2005, Piracicaba, **Resumos...** Piracicaba: USP, ESALQ, 2005. Resumo 7.

HAVLIN, J.L.; TISDALE, S.L.; BEATON, J.D.; NELSON, W.L. **Soil fertility and fertilizers: an introduction to nutrient management**. 7<sup>th</sup> ed. Upple Side River: Pearson Educator, 2005. 515p .

LEÃO, Z. M. A. N.; DOMINGUEZ, J. M. L. Tropical coast of Brazil. **Marine Pollution Bulletin**, Oxford, v.41, p. 112-122, 2000.

LUCAS, Y.; BOULET, A., CHAUVEL, A., VEILLON, L. Systèmes sols ferralitiques-podzols em région amazonienne. In: RIGHI, D; CHAUVEL, A. (Ed.). **Podzols et podzolisation**. Paris: Institute Nacional de la Recherche Agronomique, 1987. cap. 5. p. 53-65.

LUNDSTRÖM, U.S.; VAN BREEMEN, N.; BAIN, D.C. The podzolization process. A review. **Geoderma**, Amsterdam, v. 94, n.2, p. 91-107, 2000.

MAFRA, A. L.; MIKLÓS, A.A.W.; VOLKOFF, B.; MELFI, A.J. Pedogênese numa seqüência Latossolo- Espodossolo na região do Alto Rio Negro, Amazonas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, n.2, p.381-394, 2002.

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.

MOURA FILHO, G. **Caracterização e uso de solos arenosos associados à foz do rio São Francisco, no litoral sul de Alagoas**. 1998. 169p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 1998.

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.

PESSENDA, L.C.R; CAMARGO, P.B. Datação radiocarbônica de amostras de interesse arqueológico e geológico por espectroscopia de cintilação líquida de baixa radiação de fundo. **Química Nova**, São Paulo, v. 4, p.98-103, 1991.

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.

ROSSI, M. **Fatores formadores da paisagem litorânea: A bacia do Guaratuba, São Paulo – Brasil.** 1999. 159p. Tese (Doutorado em Geografia Física) Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo. 1999.

ROSSI, M.; QUEIROZ NETO, J.P. Os solos como indicadores das relações entre sedimentos continentais e marinhos na planície costeira: rio Guaratuba (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, p.113-120, 2001.

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.

SANTOS, H.G.; COELHO, M.R.; ANJOS, L.H.; JACOMINE, P.K.T.; OLIVEIRA, V.A., LUMBRERAS, J.F.; OLIVEIRA, J.B.; CARVALHO, A.P., FASOLO, P.J. **Propostas de revisão e atualização do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, EMBRAPA, 2003. 56p.

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: 10 abril 2002.

SUGUIO, K. A Ilha do Cardoso no contexto geomorfológico do Litoral Sul-Paulista da Província Costeira. In: SIMPÓSIO DE ECOSSISTEMAS DA COSTA BRASILEIRA, 3., 1993. Serra Negra. **Anais...** Serra Negra: ACIESP, 1993. p. 154-171.

SUGUIO, K.; MARTIN, L. Formações Quaternárias marinhas do litoral paulista e sul fluminense. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON COASTAL EVOLUTION IN THE QUATERNARY, 1., 1978, São Paulo. **Anais...** São Paulo: IGUSP, 1978. 55 p.

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.

VAN BREEMEN, N., BUURMAN, P. **Soil Formation.** 2<sup>nd</sup> ed. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2002. 404 p.

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., SUGUIO, K.; OLIVEIRA,  
A.M.S.; OLIVEIRA, P.E. (Ed.). **Quaternário do Brasil**. Ribeirão Preto: Holos, 2005. cap. 5, p.  
94-113.

### **3 DINÂMICA DO FERRO E DO ALUMÍNIO EM SOLOS SOB VEGETAÇÃO DE RESTINGA NA ILHA DO CARDOSO– SP**

#### **Resumo**

#### **Solos sob vegetação de restinga na Ilha do Cardoso– SP: dinâmica do ferro e do alumínio**

A vegetação de restinga ocorre ao longo da costa brasileira, sob material de origem quartzoso e pobre em nutrientes. O principal processo pedogenético que ocorre nos solos sob essa vegetação é a podzolização, sendo os Espodossolos e os Neossolos com podzolização incipiente os solos mais comumente encontrados. As técnicas de dissolução seletiva são muito usadas nos estudos desses solos, sendo seus resultados utilizados até mesmo como critérios para sua classificação. O objetivo deste trabalho é investigar a dinâmica de Fe e Al através dessas técnicas e a efetividade das mesmas, bem como estudar o processo de podzolização. Os resultados mostraram que as extrações de Fe e Al praticamente não apresentaram diferenças, indicando a ocorrência predominante de fases não cristalinas. O ditionito-citrato chegou a extrair um pouco mais em alguns horizontes, sugerindo a presença, ainda que muito pequena, de fases mais cristalinas nos mesmos. A extração com pirofosfato não extraiu somente o Fe ligado à matéria orgânica, extraindo valores mais elevados que os obtidos com o oxalato. As relações Carbono/Metal evidenciaram a baixa participação do Fe na podzolização, sendo o Al o responsável pela precipitação química do complexo organo-metálico. A precipitação física pode estar ocorrendo juntamente, devido ao lençol freático elevado. A podzolização nestes solos está ligada à oscilação do lençol freático. Mesmo nos solos que ainda não desenvolveram estes horizontes é possível identificar a presença da podzolização, que é o processo mais evidente nestes solos.

Palavras chave: Podzol, Espodossolo, podzolização, extrações seletivas, vegetação de restinga



## **Abstract**

### **Soils under restinga vegetation at Ilha do Cardoso-SP: iron and aluminum dynamics**

The restinga vegetation occurs along the Brazilian coast on quartzitic, sandy, nutrient-poor parent material. Podzolization is the main pedogenic process in restinga soils. Spodosols and Quartzipsamments with incipient podzolization are the most common soils. Selective dissolution techniques are commonly used to study these soils and are used as classifying criteria. The objective of this work is to investigate the dynamics of Fe and Al through these techniques and evaluate their effectiveness in the study of the podzolization process. The extractions of Fe and Al presented practically no difference, indicating the predominant occurrence of non-crystalline phases. The dithionite-citrate seems to extract a little bit more in some horizons, suggesting the presence, even small, of crystalline phases. The pyrophosphate extraction did not extract only the organic-bound Fe, extracting values greater than those of oxalate. The Carbon/Metal ratios suggest low participation of Fe. Therefore, it seems that Al is the main responsible for the chemical precipitation of the organic-metallic complex. Physical precipitation may occur simultaneously, due to the high water table. Podzolization in these soils is heavily influenced by water table oscillation. Even in those soils that don't have the spodic horizon, it is possible to identify the presence of podzolization, that is the most significant process in these soils.

Keywords: Podzol, Spodosol, podzolization, selective dissolution, restinga vegetation

### 3.1 Introdução

O termo restinga, como descrito na revisão de Suguio & Tessler (1984), pode ser utilizado tanto para designar vários tipos de depósitos litorâneos, quanto para outras feições costeiras. O emprego no sentido botânico designaria uma vegetação arbustivo-arbórea características de zonas costeiras (vegetação ou mata de restinga). Ocorrem revestindo praias, dunas e planícies de cordões arenosos formados em razão da progradação da linha de costa (LEÃO & DOMINGUEZ, 2000).

As principais classes de solos encontradas em trabalhos realizados na costa brasileira são os Espodossolos e os Neossolos Quartzarênicos (MOURA FILHO, 1998, GOMES et al., 1998a), sendo que muitas vezes este último apresenta um incipiente processo de podzolização, levando-o a apresentar características intermediárias para Espodossolo.

Os Espodossolos são caracterizados pela presença do horizonte espódico, onde se acumulam misturas de material amorfo com matéria orgânica e Al, acompanhado ou não de Fe (ESTADOS UNIDOS, 1999). São solos que ocorrem em regiões úmidas, predominantemente em climas boreais, sob vegetação florestal, e em menor frequência, em regiões de climas menos severos, sobre materiais de origem silicosos (BUURMAN, 1984; LUNDSTRÖM, 2000a). Nas regiões tropicais úmidas, ocorrem em materiais de origem quartzosos muito pobres (OLIVEIRA et al., 1992; LUNDSTRÖM, 2000b).

O processo pedogenético predominante nos Espodossolos é a podzolização, o qual é estudado há mais de um século (LUNDSTRÖM et al., 2000c). Assim pode-se assumir que sua gênese, suas propriedades e sua distribuição são bem conhecidas. Entretanto, publicações recentes não corroboram esta afirmação, mostrando que até algumas opiniões tradicionais devem ser revistas (STÜTZER, 1998). Além disto, a maioria destes estudos foram realizados com solos do hemisfério norte, principalmente em zonas sob florestas boreais e clima úmido, onde é o processo de formação de solo predominante (LUNDSTRÖM et al., 2000b). Sendo assim, são poucos os estudos de podzolização em regiões tropicais e subtropicais se compararmos com aqueles de clima mais frio.

Segundo Lundström et al. (2000a, 2000b), são duas as teorias de podzolização que prevalecem, as quais diferem basicamente no mecanismo de imobilização do Al e do Fe no

horizonte B. Entretanto, é geralmente aceito que o Fe e o Al migram do horizonte E para o B na forma de complexos orgânicos, os quais precipitam a uma determinada relação carbono/metálico, formando o horizonte espódico. Em ambientes com lençol freático elevado, o enriquecimento de Fe não ocorre, provavelmente devido a este elemento estar na forma reduzida. Anderson et al (1982) sugeriram a possibilidade de migração de Fe, Al e Si na forma de complexos inorgânicos, positivamente carregados, com a matéria orgânica coloidal precipitando após entrar em contato com estes complexos, formando então o horizonte Bh. Esta hipótese foi refutada por Buurman & Van Reeuwijk (1984), que demonstraram que géis de Si-Fe-Al não são estáveis em ambientes com ácidos orgânicos complexantes, e atribuíram a presença de aluminossilicatos pobremente cristalizados no horizonte B, como a imogolita, à neo-formação a partir do sílica iluvial junto a espécies de Al liberadas do complexo orgânico pela atividade microbiana.

De acordo com Van Breemen & Buurman (2002), os baixos teores de Fe diminuem a precipitação química da matéria orgânica, dominadas por Al e matéria orgânica dissolvida (DOC), a qual possui apreciáveis teores de polissacarídeos, que não são precipitados via complexação com metais, sendo grande parte da matéria orgânica precipitada fisicamente.

As técnicas de dissolução seletiva consistem em uma das formas mais utilizadas para estudar e classificar Espodossolos (McKEAGUE et al., 1983; MOKMA, 1983; PARFITT & CHILDS, 1988; PAGÉ & DE KIMPE, 1989; KAISER & ZECH, 1996). A própria identificação do horizonte espódico é baseada na combinação de critérios químicos e morfológicos (DE CONINK, 1980). Os critérios químicos para a definição de horizonte espódico têm variado junto com a busca de um extrator eficiente de materiais amorfos para estes horizontes. Os extratores mais comuns são o ditionito-citrato, o oxalato de amônio e o pirofosfato de sódio, sendo o oxalato para formas minerais pouco cristalinas e o pirofosfato para a fração ligada à matéria orgânica (MOKMA, 1983). O critério químico baseado na extração com o pirofosfato de sódio já foi utilizado para identificar o horizonte espódico, mas esta extração não apresentou boa seletividade para Al e Fe ligados à matéria orgânica em Espodossolos (PAGÉ & DE KIMPE, 1989; SKJEMSTAD et al., 1992; KAISER & ZECH, 1996) e foi abandonada na *Soil Taxonomy* e na *World Reference Base for Soil Resources*, sendo trocado pela extração com oxalato, baseado em que este extrai a maior parte do Fe e Al envolvidos na podzolização (VAN RANST et al., 1997).

O objetivo deste trabalho é investigar a dinâmica de Fe e Al através de técnicas de dissolução seletiva e a efetividade das mesmas, bem como estudar o processo de podzolização em Espodosolos, Neossolos e Organossolos na região tropical úmida, em particular na planície costeira do sul do estado de SP.

## 3.2 Desenvolvimento

### 3.2.1 Material e métodos

#### 3.2.1.1 Meio Físico

A área em estudo está localizada na porção nordeste da ilha do Cardoso (Figura 3.1), em uma parcela de 10 hectares sob vegetação de restinga incluída no projeto “BIOTA - parcelas permanentes”, pertencente ao parque estadual da Ilha do Cardoso e está descrita no capítulo 2.

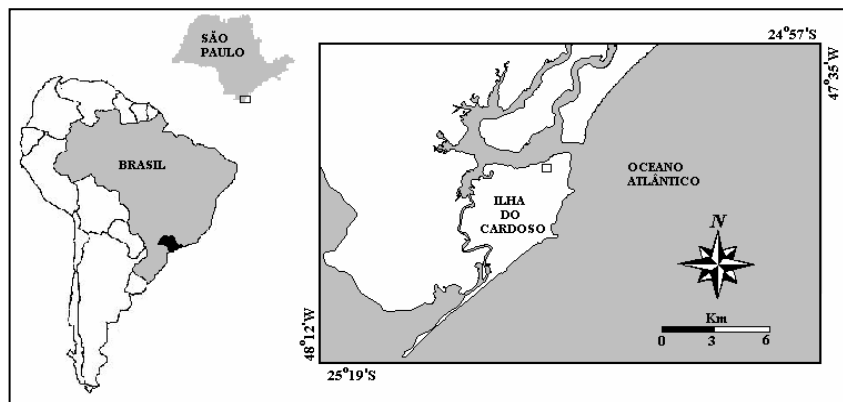


Figura 3.1- Localização da área de amostragem

O mapa de solos da parcela estudada (Figura 3.2) mostra quatro unidades de mapeamento diferentes. Ocorrem os Neossolos Quartzarênicos na porção norte e Espodosolos Ferrocárbicos e Organossolos Tiomórficos no restante da parcela. A ocorrência dos Neossolos próximos à atual linha de costa estaria relacionado à menor idade do material de origem, enquanto que os

Espodosolos e Organossolos ocorrem em cotas ligeiramente mais elevadas, com pedogênese mais evidente (Capítulo 2).

### 3.2.1.2 Amostragem

Foram traçadas duas transeções perpendiculares (3. 2). A transeção H começa próximo ao mar (perfil H-1) e segue na direção sul (perfil H16) e a transeção 14, paralela à linha de costa começa no perfil C14 e segue em direção ao manguezal adjacente à mata de restinga (perfil R14). Foram coletados 9 solos, sendo 6 Espodosolos Ferrocárbicos, 2 Neossolos Quartzarênicos e 1 Organossolo Tiomórfico.

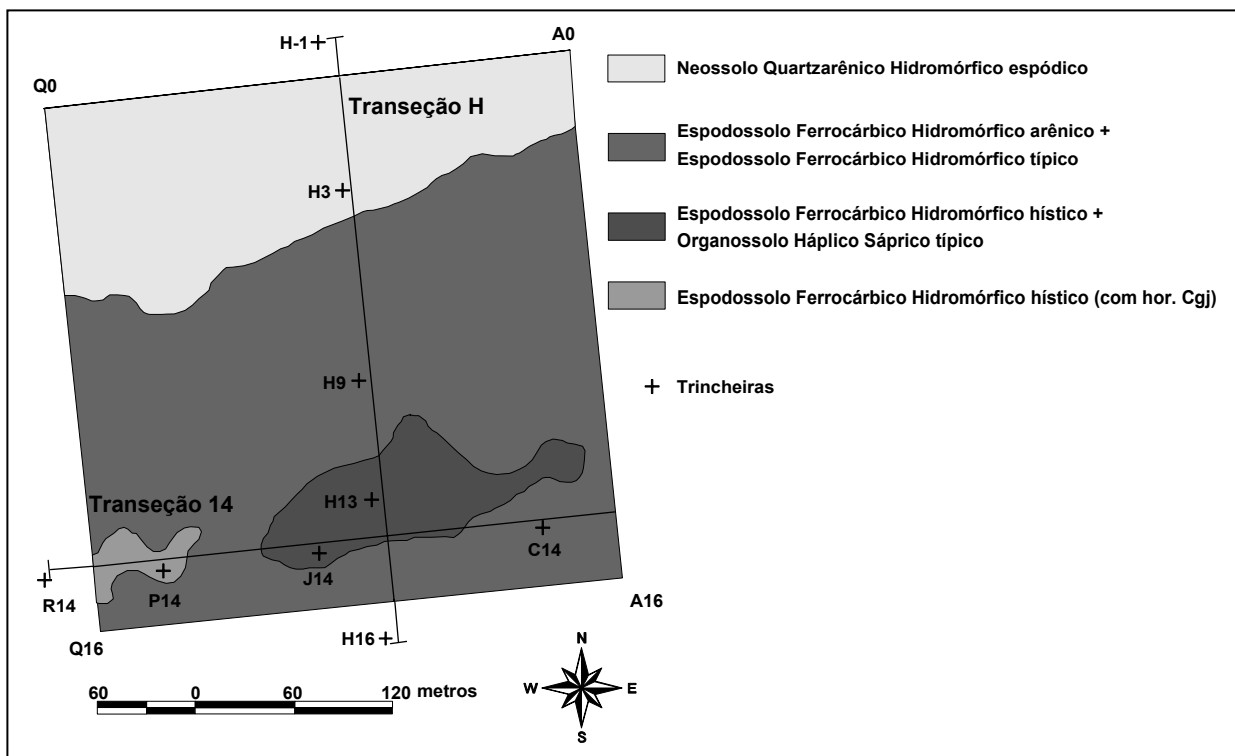


Figura 3.2 – Esquema de amostragem na parcela

### 3.2.1.3 Análises laboratoriais

As análises foram realizadas em amostras de TFSA (terra fina seca ao ar) moídas finamente. O C total foi determinado utilizando o analisador elementar Leco CNH-1000 e o Fe e

Al totais obtidos através da digestão com mistura de HF+HNO<sub>3</sub>+HCL concentrados submetidos à irradiação em forno microondas.

A extração com oxalato de amônio- ácido oxálico 0,2 M a pH 3,0 foi realizada na relação solo/solução de 1:100, agitando-se 4 horas no escuro. A suspensão foi centrifugada (15 min.) com 3 gotas de “superfloc” a 2500 rpm (BUURMAN et al., 1996).

A extração com pirofosfato de sódio 0,1M a pH 10,0 foi realizada na relação solo/solução 1:100, agitando a amostra por 16 horas. A suspensão foi centrifugada (15 min.) com 3 gotas de “superfloc” (exceto para a determinação de carbono) a 2500 rpm e o sobrenadante filtrado a 0,45 µm (BUURMAN et al., 1996). A determinação do C no extrato do pirofosfato (C<sub>p</sub>) foi feita por titulação com sulfato ferroso amoniacal após digestão de alíquota com H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentrado.

A extração com ditionito-citrato de sódio 0,2 M foi realizada na relação solo/solução 1:62,5, agitadas por 16 horas. A suspensão foi centrifugada (15 min.) com 3 gotas de “superfloc” a 2500 rpm (BUURMAN et al., 1996).

Por fim, foi realizada a extração com citrato de sódio 0,2 M – ascorbato de sódio 0,05 M a 6,0, com relação solo/solução 1:50, agitadas por 16 horas. A suspensão foi centrifugada (15min.) a 2500 rpm (REYES & TORRENT, 1997).

A determinação de Fe e Al, tanto no ataque total como nas extrações seletivas foi realizada por espectroscopia de absorção atômica

### 3.2.2 Resultados

Houve uma clara tendência de aumento em subsuperfície de Fe e Al em todas as extrações seletivas realizadas (Figuras 3.3 e 3.4), sendo mais claro nos solos mais afastados da linha de costa atual, onde ocorrem os horizontes espódicos.

Os teores de Fe foram muito baixos nas extrações seletivas, menores do que 0,2 dag kg<sup>-1</sup>, exceto no horizonte Bhsj3 do perfil H16, que está sobre um horizonte com descontinuidade do material de origem (2Cgj) e mais rico em Fe. Em relação às formas de Fe, os teores obtidos foram próximos em todas as extrações seletivas, tendo o ditionito-citrato de sódio (DC) uma ligeira tendência de extração mais efetiva deste elemento (Fe<sub>d</sub>). O pirofosfato (de sódio) apresentou muitas vezes valores próximos ao DC e mais elevados do que os de oxalato (de amônio) e de CA (citrato-ascorbato de sódio).

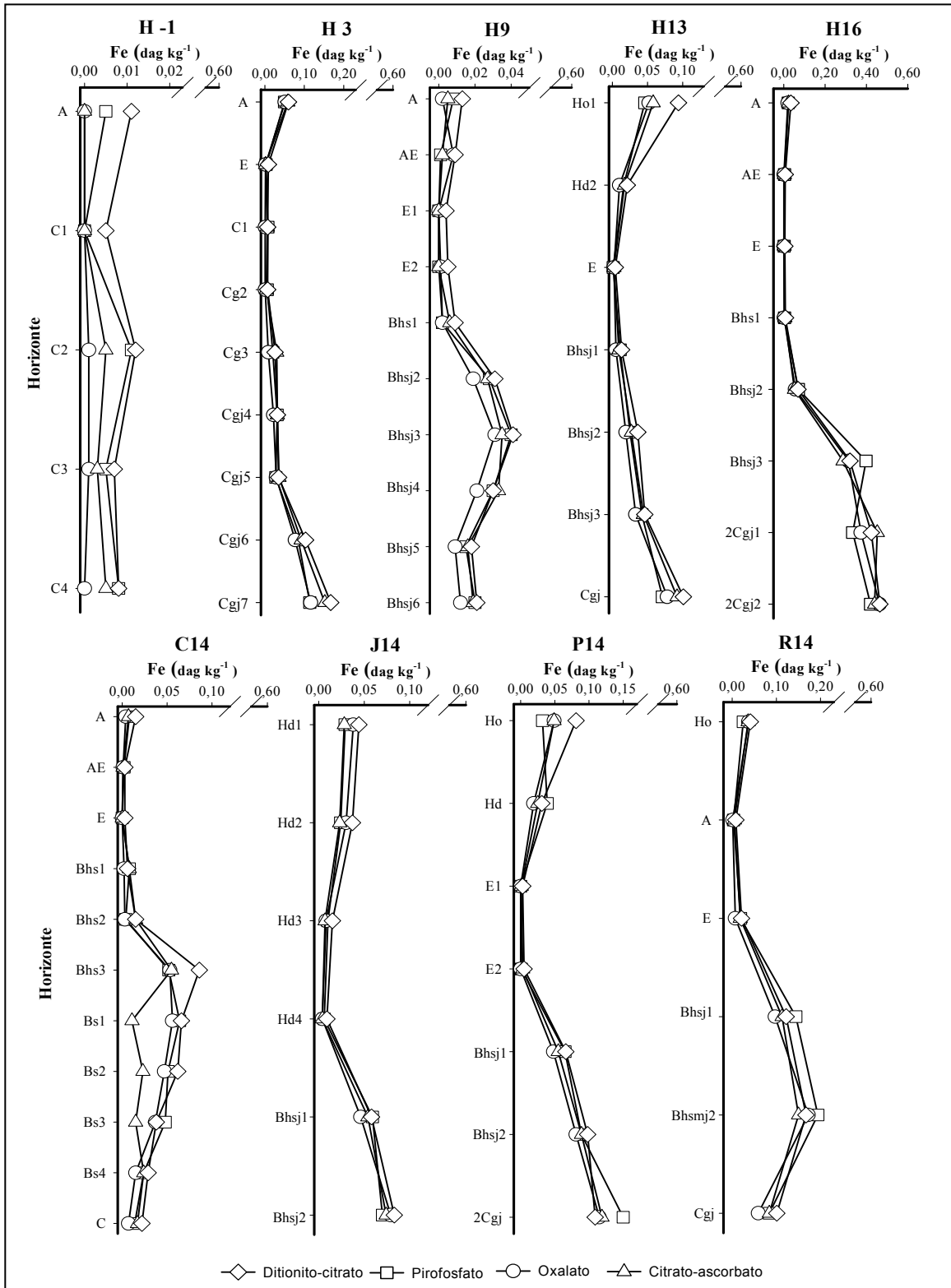
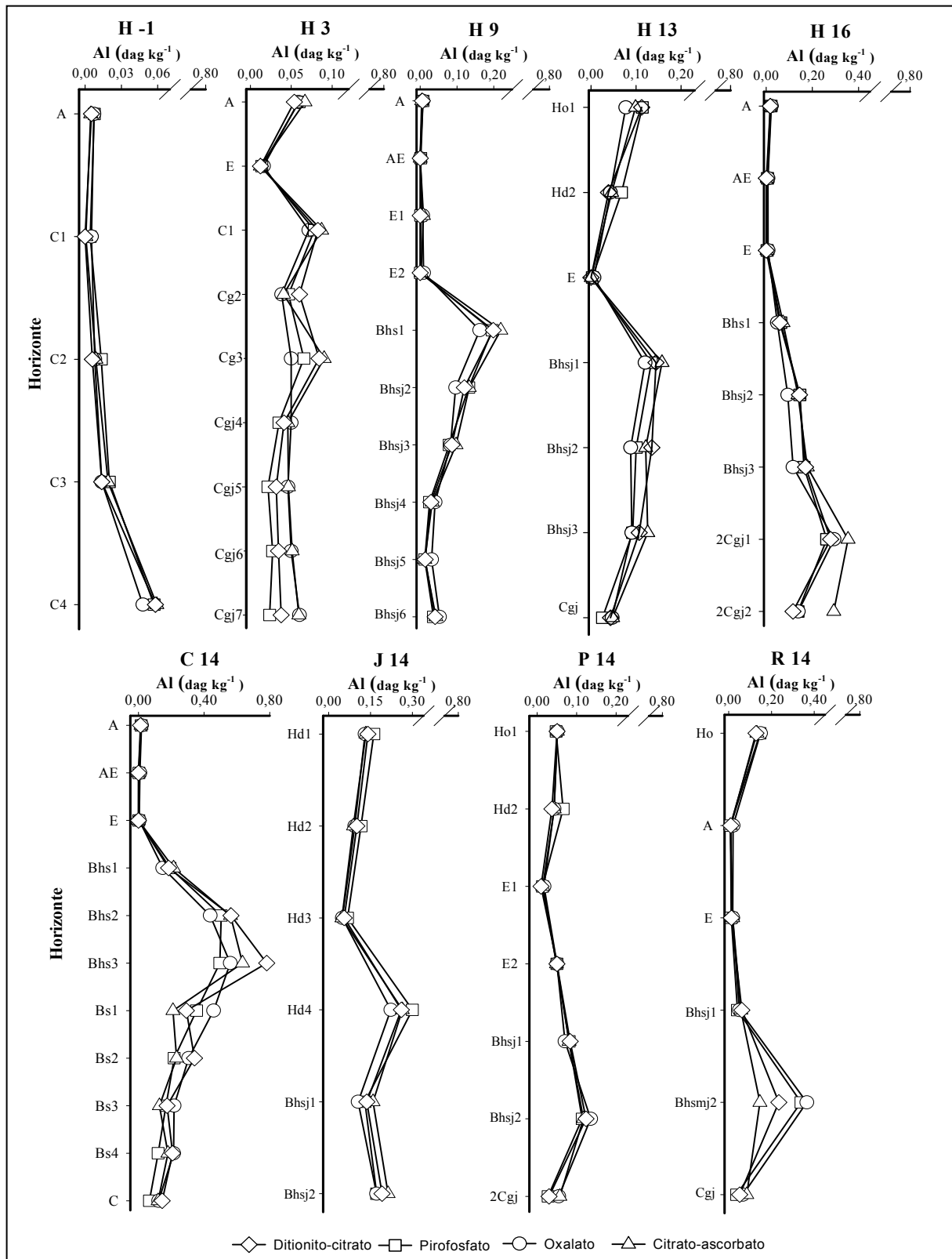


Figura 3.3 – Gráficos das extrações de Fe com ditionito-citrato ( $Fe_{ac}$ ), pirofosfato de sódio ( $Fe_p$ ), oxalato de amônio ( $Fe_o$ ) e citrato-ascorbato de sódio ( $Fe_{ca}$ ) dos solos estudados, evidenciando o acúmulo do elemento em subsuperfície, embora com teores muito reduzidos e domínio das formas de baixo grau de cristalização



3. 4 – Gráficos das extrações de Al com ditionito-citrato ( $\text{Al}_{\text{dc}}$ ), pirofosfato de sódio ( $\text{Al}_{\text{p}}$ ), oxalato de amônio ( $\text{Al}_{\text{o}}$ ) e citrato-ascorbato de sódio ( $\text{Al}_{\text{ca}}$ ) e dos solos estudados, evidenciando o acúmulo nos horizontes subsuperficiais e principalmente no topo do horizonte espódico



O Al apresentou teores relativamente mais elevados, chegando a  $0,8 \text{ dag kg}^{-1}$  na extração com DC ( $\text{Al}_d$ ) do horizonte Bhs3 do perfil C14. No que diz respeito às diferentes extrações, apresentou comportamento semelhante ao Fe, com valores muito próximos entre si. Porém, neste caso, o CA apresentou teores semelhante aos obtidos no DC, chegando até mesmo a superá-lo.

De uma maneira geral, o Al apresenta os maiores teores no topo do horizonte espódico, decrescendo em seguida, enquanto que o Fe atinge seus maiores valores abaixo disso. No caso do ataque total (Figura 3.5), apenas nos Neossolos Quartzarênicos o  $\text{Fe}_t$  (Fe total) chega a superar o  $\text{Al}_t$  (Al total), sendo no perfil H-1 em todos os horizontes e no perfil H3 apenas no horizonte Cg2, que, assim como o horizonte C2 do perfil H-1, apresenta estratificações de minerais pesados.

Os horizontes 2Cgj dos perfis H16 e P14 apresentaram teores mais elevados de Fe e Al em relação aos horizontes suprajacentes, tanto nas extrações seletivas como na total, devido à própria descontinuidade do material de origem, apresentando textura mais fina e presença de materiais sulfídricos, como a pirita (capítulo 2), e não devem ser considerados na discussão sobre a podzolização.

Os teores de C apresentaram tendências semelhantes em profundidade (Figura 3.6), com os maiores valores de C ocorrendo geralmente no topo do horizonte espódico. Os teores de C extraídos com pirofosfato ( $\text{C}_p$ ) nestes horizontes apresentam valores muito próximos aos da determinação total ( $\text{C}_t$ ), evidenciado pela elevada proporção do  $\text{C}_p$  em relação ao  $\text{C}_t$ , próximos a 100% (Tabela 1). Por outro lado, nos horizontes superficiais (A e H), os valores de  $\text{C}_p$  não chegam a 30% do total.

Na extração com o pirofosfato, os teores Fe ( $\text{Fe}_p$ ) não apresentaram correlação com os de  $\text{C}_p$  ( $r = -0,05533$ ;  $P = 0,65156$ ), considerando todos os horizontes, considerando apenas os horizontes arenosos ( $r = 0,12073$ ;  $P = 0,371$ ) e mesmo considerando apenas os horizontes espódicos ( $r = -0,08622$ ,  $P = 0,67535$ ).

No caso do Al, os teores de Al extraídos pelo pirofosfato ( $\text{Al}_p$ ) apresentaram a melhor correlação considerando apenas os horizontes arenosos ( $r = 0,70758$ ;  $P < 0,0001$ ), em seguida considerando apenas os horizontes espódicos ( $r = 0,57177$ ;  $P = 0,00228$ ) e a pior correlação considerando todos os horizontes ( $r = 0,50697$ ;  $P < 0,0001$ ).

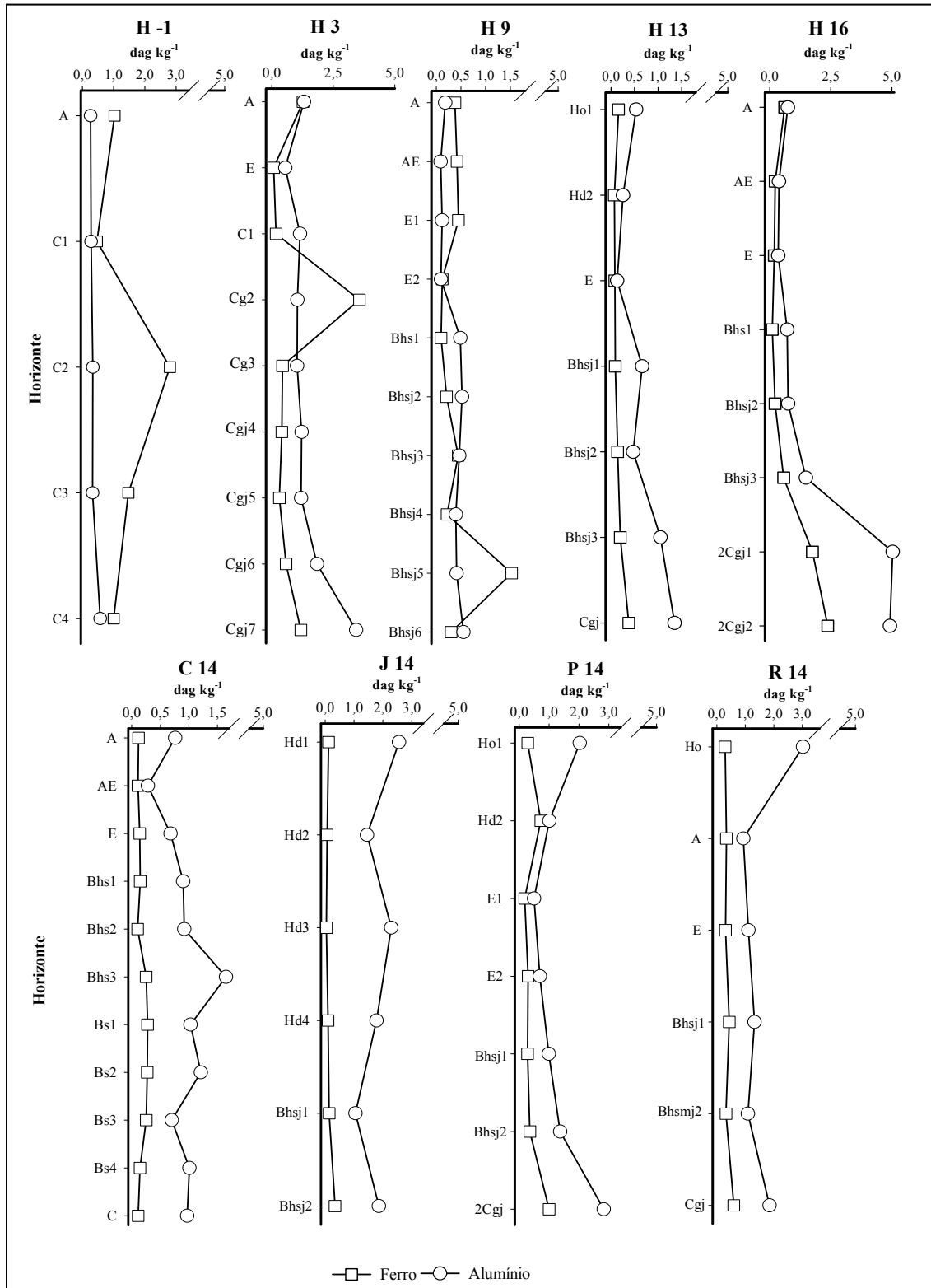


Figura 3.5 – Teores de Fe ( $\text{Fe}_t$ ) e Al ( $\text{Al}_t$ ) totais, obtidos pela digestão das amostras com HF, HCl e  $\text{HNO}_3$ . Nos perfis H-1 e H3 nota-se um aumento nos teores de  $\text{Fe}_t$ , devido à presença de estratificações de minerais pesados. No perfil H16, os horizontes 2Cgj, com maiores teores de argila e presença de pirita (capítulo 2), apresentam teores mais elevados de Fe e Al

Em relação aos teores de  $Fe_t$ , o  $Fe_p$  apresentou sua maior participação nos horizontes espódicos, sendo que na maioria das vezes o topo do horizonte espódico apresenta os valores mais baixos da participação de  $Fe_p$ , que aumenta em seguida e depois decresce (Tabela 3.1). O  $Al_p$  também apresentou sua maior participação em relação ao  $Al_t$  nos horizontes espódicos, porém não apresentou tendência de maiores valores no topo do mesmo.

A relação  $C_p/(Fe_p + Al_p)$  (C/Me) nos horizontes espódicos variou desde valores menores que 1 (horizontes Bs3 e Bs5 do perfil C14) até maiores do que 15 (horizonte Bhs1 do perfil H16). Considerando apenas as relações  $C_p/Fe_p$  e  $C_p/Al_p$  pode-se perceber que a primeira é geralmente muito mais elevada no início do horizonte espódico, diminuindo em seguida, enquanto que a relação  $C_p/Al_p$  é mais constante ao longo do horizonte espódico. Comparações com horizontes não espódicos podem ser problemáticas, pois segundo Buurman (1985), os baixos teores tanto de Fe e Al como de C, bem como resquícios de material iluvial de quando o horizonte espódico era mais elevado levam à imprecisões.

O Fe extraído pelo CA ( $Fe_c$ ) apresentou a melhor correlação com o Fe extraído pelo oxalato ( $Fe_o$ ) ( $r = 0,98417$ ;  $P < 0,0001$ ) em todos os horizontes. O Al extraído pelo CA ( $Al_c$ ) também apresentou correlação com o Al extraído pelo oxalato ( $Al_o$ ) ( $r = 0,83098$ ;  $P < 0,0001$ ).

A participação dos teores de  $Fe_c$  e  $Fe_o$  nos teores totais, assim como para o pirofosfato e o ditionito, apresentaram os maiores valores nos horizontes espódicos e a mesma tendência, isso é, as formas de Fe associadas a todos os extratores apresentaram o mesmo comportamento, com maiores valores nos subhorizontes intermediários do horizonte espódico.

As elevadas relações  $Fe_o/Fe_d$  indicam baixo grau de cristalinidade dos compostos de Fe. Ocorre uma tendência de menores valores no topo do horizonte espódico, aumentando em seguida, o que pode ser devido a um maior teor de compostos mais cristalinos de Fe no topo deste horizonte.

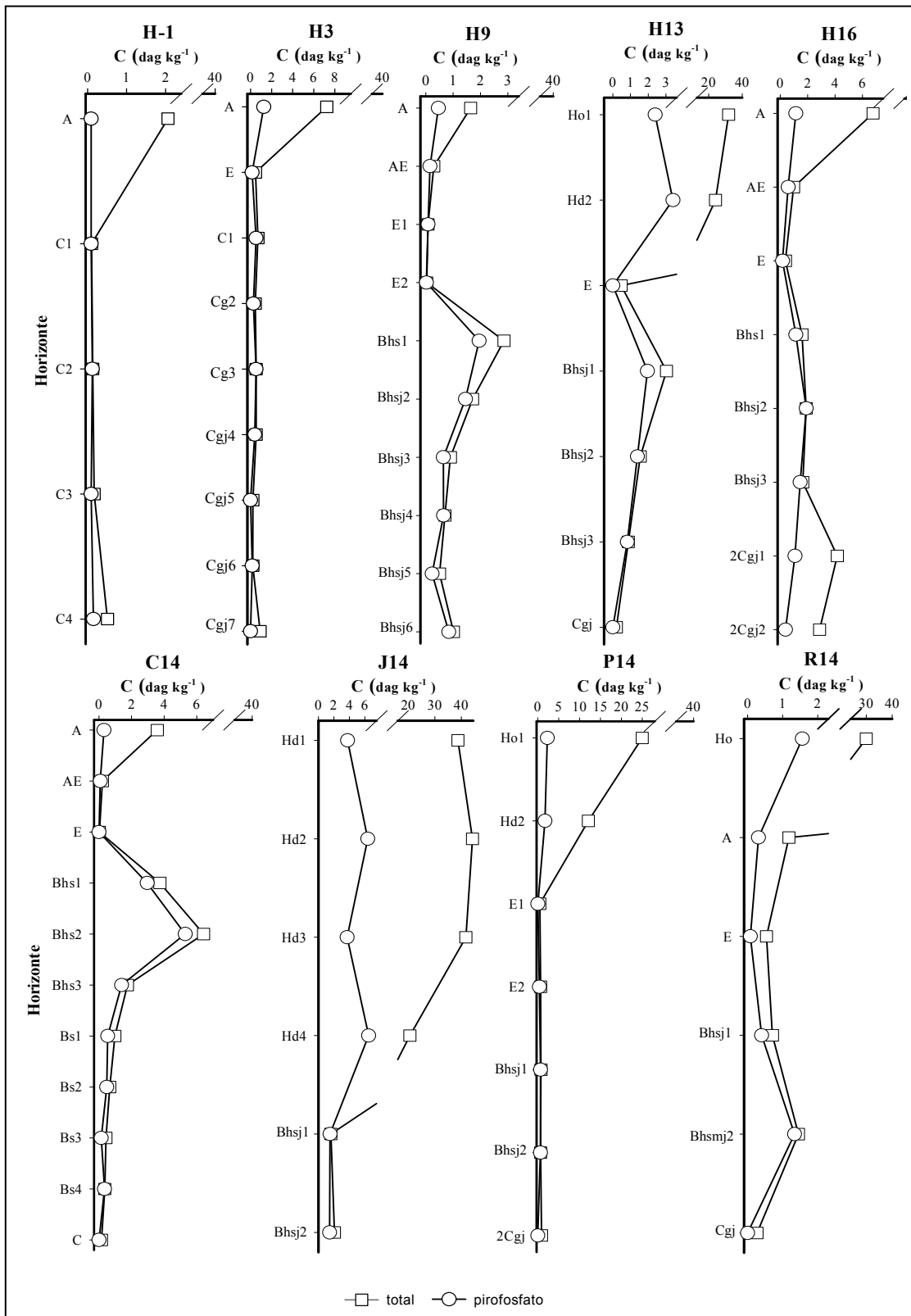


Figura 3.6 – Gráfico dos teores totais de C ( $C_t$ ) e obtido pela extração com pirofosfato ( $C_p$ ) mostrando a diferença entre eles principalmente nos horizontes superficiais

Tabela 3.1 - Porcentagem de Fe, Al e C das extrações seletivas em relação aos teores totais e relação Fe<sub>o</sub>/Fe<sub>d</sub>, C/Me, C<sub>p</sub>/Fe<sub>p</sub> e C<sub>p</sub>/Al<sub>p</sub> dos solos estudados

|  |                       |                  |                 |                 |                  |                  |                 |                 |                  |                |                   |                                 |                                 | (continua)                       |
|--|-----------------------|------------------|-----------------|-----------------|------------------|------------------|-----------------|-----------------|------------------|----------------|-------------------|---------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|
| Hor.   | Prof.                 | Fe <sub>dc</sub> | Fe <sub>p</sub> | Fe <sub>o</sub> | Fe <sub>ca</sub> | Al <sub>dc</sub> | Al <sub>p</sub> | Al <sub>o</sub> | Al <sub>ca</sub> | C <sub>p</sub> | C/Me <sup>1</sup> | C <sub>p</sub> /Al <sub>p</sub> | C <sub>p</sub> /Fe <sub>p</sub> | Fe <sub>o</sub> /Fe <sub>d</sub> |
|  | (metros)              | -----%-----      |                 |                 |                  |                  |                 |                 |                  |                |                   |                                 |                                 |                                  |
| <b>H-1 – Neossolo Quartzarênico Hidromórfico espódico</b>  |                       |                  |                 |                 |                  |                  |                 |                 |                  |                |                   |                                 |                                 |                                  |
| A  | 0-0,20                | 1,1              | 0,5             | 0,0             | 0,0              | 1,9              | 3,1             | 2,7             | 1,9              | 4,4            | 6,9               | 11,3                            | 18,0                            | 0,00                             |
| C1   | 0,20-0,55             | 1,1              | 0,0             | 0,0             | 0,0              | 0,0              | 1,4             | 1,8             | 0,4              | 90,0           | 22,5              | 22,5                            | ..                              | 0,00                             |
| C2   | 0,55-0,75             | 0,4              | 0,4             | 0,0             | 0,2              | 1,8              | 3,8             | 2,4             | 2,6              | 92,3           | 5,0               | 9,2                             | 10,9                            | 0,08                             |
| C3   | 0,75-0,85             | 0,5              | 0,3             | 0,1             | 0,2              | 4,2              | 6,1             | 4,2             | 5,8              | 52,9           | 3,6               | 4,5                             | 18,0                            | 0,14                             |
| C4   | 0,85-1,05+            | 0,8              | 0,8             | 0,0             | 0,5              | 10,2             | 10,0            | 8,4             | 10,4             | 29,4           | 2,3               | 2,6                             | 18,8                            | 0,00                             |
| <b>H3 – Neossolo Quartzarênico Hidromórfico espódico</b>   |                       |                  |                 |                 |                  |                  |                 |                 |                  |                |                   |                                 |                                 |                                  |
| A  | 0-0,18                | 4,7              | 3,9             | 4,0             | 4,6              | 4,1              | 4,6             | 4,5             | 5,1              | 17,4           | 11,5              | 21,0                            | 25,2                            | 0,85                             |
| E  | 0,18-0,21             | 11,3             | 3,8             | 2,5             | 2,5              | 2,2              | 2,5             | 2,9             | 2,2              | 31,9           | 8,8               | 10,7                            | 50,0                            | 0,22                             |
| C1   | 0,21-0,45             | 3,9              | 4,4             | 0,6             | 3,3              | 7,2              | 6,8             | 6,3             | 7,6              | 74,3           | 6,1               | 6,7                             | 65,0                            | 0,14                             |
| C2   | 0,45-0,65             | 0,2              | 0,2             | 0,0             | 0,1              | 5,8              | 4,5             | 3,7             | 3,9              | 60,0           | 5,1               | 5,7                             | 45,0                            | 0,14                             |
| C3   | 0,65-1,00             | 5,9              | 4,5             | 2,0             | 6,8              | 8,2              | 6,3             | 4,9             | 8,7              | 98,1           | 6,1               | 8,0                             | 26,0                            | 0,35                             |
| Cj4  | 1,00-1,30             | 7,8              | 7,6             | 5,4             | 7,8              | 3,4              | 2,9             | 4,1             | 3,8              | 75,5           | 6,1               | 11,4                            | 12,9                            | 0,69                             |
| Cj5  | 1,30-1,50             | 11,3             | 9,0             | 9,4             | 11,6             | 2,7              | 1,8             | 3,9             | 3,9              | 0,0            | 0,0               | 0,0                             | 0,0                             | 0,83                             |
| Cj6  | 1,50-1,80             | 17,8             | 14,7            | 13,3            | 15,9             | 1,9              | 1,5             | 2,7             | 2,8              | 72,7           | 1,4               | 5,9                             | 1,9                             | 0,75                             |
| Cj7  | 1,80-2,10             | 14,2             | 9,7             | 9,8             | 12,9             | 1,1              | 0,7             | 1,7             | 1,7              | 0,0            | 0,0               | 0,0                             | 0,0                             | 0,69                             |
| <b>H9 – Espodossolo Ferrocárbico Hidromórfico arênico</b>  |                       |                  |                 |                 |                  |                  |                 |                 |                  |                |                   |                                 |                                 |                                  |
| A  | 0-0,20                | 3,4              | 2,1             | 0,5             | 1,3              | 3,3              | 4,4             | 4,4             | 2,2              | 28,0           | 28,8              | 57,5                            | 57,5                            | 0,15                             |
| AE   | 0,20-0,28             | 2,1              | 0,2             | 1,9             | 0,5              | 0,0              | 1,1             | 0,0             | 0,0              | 51,7           | 75,0              | 150,0                           | 150,0                           | 0,89                             |
| E1   | 0,28-0,41             | 0,9              | 0,0             | 0,0             | 0,0              | 0,0              | 0,8             | 5,8             | 7,5              | 100,0          | 80,0              | 80,0                            | ..                              | 0,00                             |
| E2   | 0,41-0,95             | 4,2              | 0,0             | 0,8             | 0,0              | 0,0              | 1,1             | 10,0            | 2,2              | 266,7          | 80,0              | 80,0                            | ..                              | 0,20                             |
| Bhs1   | 0,95-1,03             | 9,0              | 2,0             | 2,0             | 6,0              | 40,6             | 40,0            | 33,1            | 44,7             | 68,2           | 9,9               | 9,9                             | 975,0                           | 0,22                             |
| Bhsj2  | 1,03-1,35 (1,30-1,40) | 14,8             | 13,3            | 9,0             | 12,9             | 23,1             | 25,4            | 18,5            | 25,8             | 84,8           | 9,1               | 11,0                            | 51,8                            | 0,61                             |
| Bhsj3  | 1,35-1,80             | 9,3              | 9,1             | 7,0             | 8,0              | 18,7             | 17,2            | 18,0            | 21,3             | 71,1           | 5,4               | 8,1                             | 16,0                            | 0,76                             |
| Bhsj4  | 1,80-2,10             | 13,6             | 13,6            | 9,5             | 15,0             | 7,3              | 6,3             | 10,3            | 8,3              | 92,9           | 11,8              | 26,0                            | 21,7                            | 0,70                             |
| Bhsj5  | 2,10-2,50             | 1,2              | 1,0             | 0,6             | 1,0              | 3,4              | 3,2             | 7,6             | 3,2              | 46,0           | 8,2               | 17,7                            | 15,3                            | 0,50                             |
| Bhsj6  | 2,50-2,80             | 7,0              | 6,7             | 4,0             | 6,3              | 7,5              | 6,5             | 9,6             | 7,6              | 83,2           | 15,0              | 23,3                            | 42,0                            | 0,57                             |
| <b>H13 – Espodossolo Ferrocárbico Hidromórfico hístico</b> |                       |                  |                 |                 |                  |                  |                 |                 |                  |                |                   |                                 |                                 |                                  |
| Ho   | 0-0,10                | 58,8             | 28,8            | 32,5            | 36,3             | 21,3             | 21,5            | 14,5            | 18,7             | 7,5            | 14,9              | 21,0                            | 52,0                            | 0,55                             |
| Hd   | 0,10-0,28             | 30,0             | 22,9            | 14,3            | 24,3             | 15,0             | 26,2            | 16,5            | 17,7             | 14,1           | 40,5              | 50,0                            | 212,5                           | 0,48                             |
| E  | 0,28-0,38             | 5,0              | 1,3             | 2,5             | 2,5              | 0,0              | 2,3             | 5,4             | 0,8              | 0,0            | 0,0               | 0,0                             | 0,0                             | 0,50                             |
| Bhsj1  | 0,38-0,55             | 14,4             | 12,2            | 5,6             | 10,0             | 21,8             | 20,3            | 18,2            | 23,9             | 64,7           | 13,5              | 14,6                            | 178,2                           | 0,38                             |
| Bhsj2  | 0,55-0,75             | 25,7             | 17,9            | 13,6            | 19,3             | 28,7             | 21,3            | 18,7            | 26,0             | 89,7           | 11,1              | 13,9                            | 55,6                            | 0,53                             |
| Bhsj3  | 0,75-1,30             | 23,0             | 21,0            | 16,5            | 22,0             | 10,2             | 8,9             | 8,7             | 12,0             | 93,2           | 6,1               | 8,8                             | 19,5                            | 0,72                             |
| Cj   | 1,30-1,65             | 26,6             | 18,7            | 20,5            | 24,2             | 3,2              | 1,9             | 3,5             | 3,6              | 0,0            | 0,0               | 0,0                             | 0,0                             | 0,77                             |
| <b>H16 – Espodossolo Ferrocárbico Hidromórfico típico</b>  |                       |                  |                 |                 |                  |                  |                 |                 |                  |                |                   |                                 |                                 |                                  |
| A  | 0-0,10                | 5,7              | 3,6             | 3,3             | 3,8              | 2,4              | 2,8             | 3,0             | 2,4              | 16,7           | 26,3              | 53,8                            | 51,4                            | 0,57                             |
| AE   | 0,10-0,15             | 3,2              | 1,8             | 0,5             | 1,4              | 0,3              | 1,6             | 2,1             | 1,3              | 58,8           | 57,0              | 95,0                            | 142,5                           | 0,14                             |
| E  | 0,15-0,23             | 2,8              | 1,1             | 0,6             | 1,1              | 0,3              | 1,1             | 2,3             | 1,1              | 43,2           | 26,7              | 40,0                            | 80,0                            | 0,20                             |
| Bhs1   | 0,23-0,40             | 8,0              | 4,0             | 2,0             | 5,0              | 8,5              | 8,9             | 6,9             | 10,3             | 71,5           | 16,9              | 17,9                            | 282,5                           | 0,25                             |
| Bhsj2  | 0,40-0,54             | 31,4             | 32,3            | 25,5            | 23,6             | 19,2             | 19,5            | 12,5            | 18,4             | 100,0          | 8,7               | 12,9                            | 26,6                            | 0,81                             |
| Bhsj3  | 0,54-0,62             | 56,3             | 69,8            | 54,9            | 50,4             | 11,6             | 11,1            | 7,9             | 12,1             | 88,4           | 2,6               | 8,8                             | 3,6                             | 0,98                             |
| 2Cgj1  | 0,62-0,80             | 24,2             | 19,1            | 21,4            | 25,9             | 5,5              | 5,2             | 5,8             | 7,0              | 25,7           | 1,8               | 4,1                             | 3,2                             | 0,88                             |
| 2Cgj2  | 0,80-1,60+            | 19,6             | 17,7            | 19,5            | 18,6             | 2,4              | 2,8             | 2,8             | 6,0              | 13,2           | 0,7               | 2,8                             | 0,9                             | 1,00                             |

Tabela 3.1 - Porcentagem de Fe, Al e C das extrações seletivas em relação aos teores totais e relação  $Fe_o/Fe_d$ ,  $C/Me$ ,  $C_p/Fe_p$  e  $C_p/Al_p$  dos solos estudados

| Hor.   | Prof.<br>(metros) | (conclusão) |        |        |           |           |        |        |           |       |          |            |            |             |  |
|--|-------------------|-------------|--------|--------|-----------|-----------|--------|--------|-----------|-------|----------|------------|------------|-------------|--|
|  |                   | $Fe_{dc}$   | $Fe_p$ | $Fe_o$ | $Fe_{ca}$ | $Al_{dc}$ | $Al_p$ | $Al_o$ | $Al_{ca}$ | $C_p$ | $C/Me^1$ | $C_p/Al_p$ | $C_p/Fe_p$ | $Fe_o/Fe_d$ |  |
| -----%-----  |                   |             |        |        |           |           |        |        |           |       |          |            |            |             |  |
| <b>C14 – Espodossolo Ferrocárbico Hidromórfico típico</b>  |                   |             |        |        |           |           |        |        |           |       |          |            |            |             |  |
| A  | 0-0,15            | 12,5        | 6,7    | 3,3    | 5,8       | 1,6       | 2,2    | 2,5    | 2,0       | 8,7   | 12,4     | 18,2       | 38,8       | 0,27        |  |
| AE   | 0,15-0,20         | 2,7         | 1,8    | 0,9    | 0,9       | 0,0       | 1,1    | 2,9    | 0,4       | 36,4  | 16,0     | 26,7       | 40,0       | 0,33        |  |
| E  | 0,20-0,50         | 2,1         | 0,0    | 0,0    | 0,0       | 0,0       | 0,3    | 0,7    | 0,0       | 0,0   | 0,0      | 0,0        | ..         | 0,00        |  |
| Bhs1   | 0,50-0,58         | 4,0         | 5,3    | 1,3    | 5,3       | 20,4      | 21,3   | 16,4   | 23,9      | 79,1  | 14,8     | 15,4       | 370,0      | 0,33        |  |
| Bhs2   | 0,58-0,75         | 15,0        | 4,0    | 3,0    | 15,0      | 61,3      | 54,8   | 47,6   | 61,0      | 82,4  | 10,4     | 10,5       | 1322,5     | 0,20        |  |
| Bhs3   | 0,75-1,00         | 34,4        | 20,8   | 21,2   | 22,0      | 47,4      | 30,1   | 33,9   | 38,5      | 79,4  | 2,5      | 2,8        | 26,7       | 0,62        |  |
| Bs1  | 1,00-1,20         | 23,6        | 22,9   | 20,0   | 3,9       | 28,4      | 34,4   | 44,5   | 20,4      | 60,2  | 1,4      | 1,7        | 9,2        | 0,85        |  |
| Bs2  | 1,20-1,60         | 23,0        | 18,9   | 17,4   | 8,5       | 28,2      | 18,0   | 25,3   | 19,3      | 79,1  | 2,0      | 2,4        | 10,4       | 0,76        |  |
| Bs3  | 1,60-1,80         | 15,2        | 19,2   | 14,8   | 6,0       | 24,9      | 24,0   | 31,0   | 18,3      | 37,2  | 0,7      | 1,0        | 3,3        | 0,97        |  |
| Bs4  | 1,80-2,10         | 20,7        | 17,1   | 10,7   | 17,1      | 20,6      | 11,9   | 21,3   | 17,8      | 94,4  | 2,4      | 2,8        | 14,2       | 0,52        |  |
| Bs5  | 2,10-2,40         | 20,0        | 12,7   | 6,4    | 15,5      | 14,8      | 6,9    | 12,8   | 12,4      | 0,0   | 0,0      | 0,0        | 0,0        | 0,32        |  |
| <b>J14 – Organossolo Tiomórfico Sáprico típico</b>         |                   |             |        |        |           |           |        |        |           |       |          |            |            |             |  |
| Hd1  | 0-0,20            | 36,7        | 24,2   | 31,7   | 23,3      | 5,5       | 6,3    | 5,1    | 5,2       | 10,7  | 21,7     | 25,6       | 142,8      | 0,86        |  |
| Hd2  | 0,20-0,50         | 52,9        | 34,3   | 42,9   | 32,9      | 7,0       | 8,0    | 6,5    | 6,1       | 15,8  | 50,0     | 60,3       | 291,7      | 0,81        |  |
| Hd3  | 0,50-0,60         | 37,5        | 25,0   | 20,0   | 17,5      | 2,4       | 3,0    | 2,1    | 2,1       | 9,8   | 52,3     | 60,0       | 408,0      | 0,53        |  |
| Hd4  | 0,60-0,70         | 9,0         | 6,0    | 4,0    | 4,0       | 14,7      | 16,9   | 12,5   | 14,8      | 34,6  | 23,3     | 23,8       | 1188,3     | 0,44        |  |
| Bhsj1  | 0,70-1,00         | 41,4        | 42,1   | 32,9   | 38,6      | 13,0      | 12,4   | 10,1   | 15,1      | 102,5 | 8,7      | 12,7       | 28,0       | 0,79        |  |
| Bhsj2  | 1,00-1,30+        | 24,4        | 20,6   | 23,2   | 21,8      | 10,3      | 9,2    | 9,2    | 11,5      | 77,2  | 6,6      | 9,2        | 22,7       | 0,95        |  |
| <b>P14 – Espodossolo Ferrocárbico Hidromórfico hístico</b> |                   |             |        |        |           |           |        |        |           |       |          |            |            |             |  |
| Ho   | 0-0,12            | 27,9        | 11,0   | 16,9   | 16,9      | 2,5       | 2,4    | 2,5    | 2,5       | 10,2  | 31,5     | 52,5       | 78,8       | 0,60        |  |
| Hd   | 0,12-0,22         | 4,2         | 5,3    | 2,6    | 3,4       | 3,8       | 6,5    | 4,3    | 4,3       | 15,7  | 18,1     | 28,8       | 48,7       | 0,61        |  |
| E1   | 0,22-0,40         | 1,6         | 0,0    | 0,0    | 0,5       | 2,0       | 2,8    | 3,4    | 2,8       | 6,0   | 2,1      | 2,1        | ..         | 0,00        |  |
| E2   | 0,40-0,60         | 1,7         | 0,3    | 0,0    | 1,0       | 7,2       | 7,2    | 7,2    | 7,1       | 58,0  | 7,8      | 8,0        | 400,0      | 0,00        |  |
| Bhsj1  | 0,60-0,95         | 23,6        | 23,2   | 17,1   | 19,6      | 8,5       | 8,2    | 7,1    | 8,2       | 96,0  | 4,9      | 8,9        | 11,1       | 0,73        |  |
| Bhsj2  | 0,95-1,03         | 27,2        | 24,7   | 22,5   | 24,7      | 9,1       | 8,3    | 9,9    | 8,5       | 101,5 | 3,4      | 6,0        | 7,6        | 0,83        |  |
| 2Cgj   | 1,03-1,40+        | 10,9        | 15,0   | 11,5   | 11,9      | 1,1       | 1,0    | 1,9    | 2,0       | 0,0   | 0,0      | 0,0        | 0,0        | 1,06        |  |
| <b>R14 – Espodossolo Ferrocárbico Hidromórfico hístico</b> |                   |             |        |        |           |           |        |        |           |       |          |            |            |             |  |
| Ho   | 0-0,07            | 14,1        | 8,6    | 12,8   | 12,4      | 4,2       | 4,8    | 4,9    | 4,4       | 5,7   | 10,0     | 11,7       | 68,4       | 0,90        |  |
| A  | 0,07-0,14         | 2,4         | 0,9    | 0,3    | 1,5       | 1,1       | 0,9    | 2,2    | 0,9       | 28,8  | 30,9     | 42,5       | 113,3      | 0,13        |  |
| E  | 0,14-0,23         | 7,0         | 6,3    | 2,3    | 6,0       | 1,1       | 1,1    | 1,7    | 1,7       | 16,7  | 2,9      | 7,5        | 4,7        | 0,33        |  |
| Bhsj1  | 0,23-0,30         | 27,7        | 32,7   | 22,0   | 25,7      | 4,6       | 3,1    | 3,8    | 4,3       | 56,3  | 2,2      | 9,8        | 2,8        | 0,80        |  |
| Bhsmj2   | 0,30-0,45         | 52,2        | 60,6   | 53,8   | 46,9      | 21,5      | 31,0   | 33,5   | 13,4      | 92,4  | 2,5      | 4,0        | 6,9        | 1,03        |  |
| Cj   | 0,45-0,60+        | 17,1        | 14,2   | 10,0   | 14,2      | 2,8       | 2,0    | 3,6    | 4,5       | 0,0   | 0,0      | 0,0        | 0,0        | 0,58        |  |

Nota – Sinal convencional utilizado:  
.. Não se aplica dado numérico

<sup>1</sup> Me=Fe<sub>p</sub>+Al<sub>p</sub>

### 3.2.3 Discussão

As extrações seletivas evidenciaram a presença do processo de podzolização em todos os solos, variando na ocorrência e grau de desenvolvimento do horizonte espódico. A semelhança nos teores obtidos nas extrações seletivas pode ser atribuída ao fato de praticamente todo o Fe e Al presentes estarem em formas pouco cristalinas. Alguns horizontes espódicos apresentaram ligeiro aumento nas extrações pelo DC (horizontes Bhs3 e Bs2 do perfil C14), sugerindo alguma presença de Fe e Al ligados a fases mais cristalinas (Figuras 3.3 e 3.4). Porém, cabe ressaltar que os valores foram, no geral, muito baixos, podendo às vezes essa diferença ser atribuída a variações oriundas de erro do método ou equipamento utilizado, principalmente no caso do Fe, que apresentou os menores valores.

Apesar de os valores muito próximos entre as extrações supostamente indicarem uma fase orgânica mais expressiva, o  $Fe_p$  presente nestes horizontes não pode ser interpretado por aquele ligado à fração orgânica, assim como o  $Al_p$ . Segundo diversos autores, a extração com o pirofosfato, pode levar a valores quase iguais aos de DC e maiores que os de oxalato (JEANROY & GUILLET, 1981; PARFITT & CHILDS, 1988; PAGÉ & DE KIMPE, 1989; SKJEMSTAD et al., 1992; KAISER & ZECH, 1996), não sendo, portanto, um bom extrator para se referir a Fe ou Al associados à complexos orgânicos, o que foi evidenciado pela ausência de correlação entre o  $Fe_p$  com o  $C_p$  para os solos estudados. Porém, no caso do  $Al_p$ , este se correlacionou bem com o  $C_p$ , principalmente quando se considera apenas os horizontes arenosos, sendo, portanto, um bom indicativo de que o processo de iluviação é dominado por matéria orgânica e Al para estes solos, enquanto que a dinâmica do Fe parece mais ligada aos processos redox.

Problemas na extração com pirofosfato são conhecidos e foram citados por diversos autores, tais como o efeito de partículas ferruginosas em solução (JEANROY & GUILLET, 1981; PARFITT & CHILDS, 1988; KAISER & ZECH, 1996) e a peptidização de parte do Fe inorgânico com baixo grau de cristalinidade (SKJEMSTAD et al., 1992). Para o Al, estes mesmos autores sugerem que o oxalato não seria apto a extrair o Al de complexos orgânicos solúveis em meio ácido.

Apesar dos Espodossolos estudados apresentarem horizontes Bhs e até Bs, o que indicaria acúmulo de Fe, eles foram assim designados devido principalmente ao critério de cor (capítulo 2), pois apresentaram baixos teores de Fe. Isto deve-se, além do material de origem ser

essencialmente quartzoso, à hipótese de que a maior parte do Fe pode ter sido removida devido às condições redutoras (FARMER et al., 1983), assim como os encontrados por Gomes et al. (1998b). As únicas fontes de Fe seriam os horizontes 2Cgj dos perfis H16 e P14, e principalmente os minerais pesados presentes em estratificações dos perfis H-1 e H3. Esta hipótese é evidenciada pelo fato de que nestes perfis, mais próximos ao mar, e teoricamente mais recentes, com menor tempo sob condições hidromórficas, e conseqüentemente redutoras, os teores de  $Fe_t$  chegam a ser mais elevados que os de  $Al_t$  (Figura 3.5). Nos Espodossolos e no Organossolo, o  $Fe_t$  apresenta valores muito baixos, enquanto que o  $Al_t$ , que não é afetado pela hidromorfia, apresenta valores sensivelmente mais elevados.

O CA se mostrou um bom extrator para as fases pouco cristalinas de minerais de Fe para os solos estudados, apresentando boa correlação com o oxalato, extraindo menos Fe que o pirofosfato na maioria dos solos. Para o Al, extraiu quantidades semelhantes às do DC. Porém, devido à semelhança entre todos os extratores utilizados, não se pode chegar a uma conclusão para a eficácia do CA para a determinação de fases pouco cristalinas de Fe e Al.

Os valores das relações C/Me evidenciaram a participação do Al, em detrimento do Fe, no processo de podzolização, ocorrendo valores da relação  $C_p/Fe_p$  muito superiores aos da relação  $C_p/Al_p$ . Ou seja, a precipitação química dos complexos organo-metálicos é promovida principalmente pelo Al. Apesar de não ser possível definir um valor específico da relação C/Me no qual ocorre a precipitação desses complexos (BUURMAN, 1985), trabalhos realizados em Espodossolos hidromórficos, mostram uma variação de 10 a 28 nessa relação, o que indica que os valores de C/Me menores que 17 identificados nos horizontes espódicos é uma forte evidência de que está ocorrendo a precipitação química dos compostos organo-metálicos em todos eles. Alguns chegaram a valores inferiores a 10, um grau de precipitação ainda mais elevado, virtualmente imobilizando o complexo. Não se pode, contudo, desconsiderar a influência do material mais fino diferenciado e relativamente mais ricos em metais em profundidade, que pode estar diminuindo essa relação. A precipitação ocorre mesmo com grande fonte de complexos organo-metálicos insaturados, que é indicado pelas elevadas relações C/Me nos horizontes superficiais, principalmente nos horizontes hísticos. A precipitação física, citada por Van Breemen & Buurman (2002) como co-responsável pela formação de horizontes espódicos sob condições hidromórficas, pobres em Fe, ocorre com a adsorção de colóides orgânicos insaturados às superfícies dos complexos organo-metálicos previamente precipitados.



Os perfis H-1 e H3 apresentaram relações C/Me baixas em praticamente todo perfil, o que indica que, embora apresente baixos teores, todo Fe e Al presente nestes solos estão complexados. Aquele mais afastado da linha de costa (perfil H3) apresentou as maiores evidências da podzolização, com teores mais elevados de Fe e Al obtidos pelas extrações seletivas nos horizontes subsuperficiais. No entanto, nenhum dos dois solos apresentaram horizonte espódico (capítulo 2). Os teores de carbono ativo, extraído pelo pirofosfato ( $C_p$ ), mostram poucas evidências de podzolização, com valores muito baixos e um leve aumento nos horizontes subsuperficiais (Figura 3.6).

Os perfis C14 e H9 são Espodosolos que, apesar de hidromórficos apresentam menor influência do lençol freático (capítulo 2). Nos dois perfis os teores de  $C_p$  e  $C_t$  são elevados e muito próximos entre si nos horizontes espódicos, evidenciando iluviação significativa de matéria orgânica. Vale mencionar que no perfil C14 ocorre o horizonte Bhs2, fortemente cimentado onde se extraiu maiores teores de carbono, indicando que essa cimentação seja promovida pela matéria orgânica em conjunto com o Al.

No caso dos solos com presença de horizonte hístico (perfis H13, J14, P14 e R14), os teores de  $C_p$  não indicam tão claramente o processo de podzolização. Isto ocorre devido aos elevados teores de carbono, chegando a valores de  $C_t$  superiores a  $40 \text{ dag kg}^{-1}$  e influenciando na presença de  $C_p$  em superfície. Porém, através da relação  $C_p/C_t$  (Tabela 3.1) podemos observar que em subsuperfície os teores de  $C_p$  estão próximos aos  $C_t$ , indicando que praticamente o carbono aí presente é o ativo.

O perfil H16, apesar do forte hidromorfismo, não chegou a apresentar horizonte H, mas apresenta um horizonte A rico em matéria orgânica e horizonte glei (2Cgj), oriundo de material de origem diferente, com presença de material sulfídrico. De acordo com o capítulo 2, a presença de pirita ( $\text{FeS}_2$ ) em processo de oxidação indicam que não estão mais em condições estáveis. A degradação dessas piritas explicam os elevados teores de Fe verificados pelas extrações seletivas no horizonte Bhsj3 em relação aos suprajacentes, que seria oriundo da influência do lençol freático.

### 3.3 Conclusões

- Todos os solos apresentaram formas pouco cristalinas tanto de Fe como de Al.
- O pirofosfato não é um bom extrator de Fe ligado à fração orgânica para Espodosolos arenosos sob vegetação de restinga, mesmo após filtração do extrato a 0,45  $\mu\text{m}$ .
- O processo pedogenético predominante na maioria dos solos estudados é a podzolização, sendo o Al o metal que participa do processo, promovendo a precipitação química, a qual é acentuada devido à presença de lençol freático elevado, via precipitação física.
- Mesmo nos solos em que o material de origem foi depositado mais recentemente, onde a ausência de processo levou a classificá-los como Neossolos, a podzolização já ocorre, sendo o processo mais evidente.

## Referências

BUURMAN, P. Editor's comments on paper 1- The Podzol concept. In: \_\_\_\_\_. **Podzols**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1984. chap. 1, p.8-11.

BUURMAN, P. Carbon/ sesquioxide ratios in organic complexes and the transition albic-spodic horizon. **Journal of Soil Science**, Oxford, v. 36, p. 355-260, 1985.

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

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

DE CONINCK, F. Major mechanisms in formation of spodic horizons. **Geoderma**, Amsterdam, v. 24, p. 101-128, 1980.

ESTADOS UNIDOS. Department of Agriculture. Soil Survey Division. Soil Conservation Service. Soil Survey Staff. **Soil Taxonomy**: a basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. 2<sup>nd</sup> ed. Washington: USDA, 1999. 869 p.

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.

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

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

JEANROY, E.; GUILLET, E. The occurrence of suspended ferruginous particles in pyrophosphate extracts of some soil horizons. **Geoderma**, Amsterdam, v. 26, p. 95-105. 1981.

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

LEÃO, Z. M. A. N.; DOMINGUEZ, J. M. L. Tropical coast of Brazil. **Marine Pollution Bulletin**, Oxford, v.41, p. 112-122, 2000.

LUNDSTRÖM, U.S.; VAN BREEMEN, N.; BAIN, D.C.; VAN HEES, P.A.W.; GIESLER, R.; GUSTAFSSON, J.P.; ILVESNIESMI, H.; KARLTUN, E.; MELKERUD, P.A.; OLSSON, M.; RIISE, G.; WAHLBERG, O.; BERGELIN, A.; BISHOP, K.; FINLAY, R.; JONGMANS, A.G.; MAGNUSSON, T.; MANNERKOSKI, H.; NORDGREN, A.; NYBERG, L.; STARR, M.; TAU STRAND, 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, 2000a.

LUNDSTRÖM, U.S.; VAN BREEMEN, N.; BAIN, D.C. The podzolization process. A review. **Geoderma**, Amsterdam, v. 94, n.2, p. 91-107, 2000b.

LUNDSTRÖM, U.S.; VAN BREEMEN, N.; BAIN, D.C. The podzolization process: Preface. **Geoderma**, Amsterdam, v. 94, p. 5-6, 2000c.

McKEAGUE, J.A.; WANG, C.; COEN, G.M.; DE KIMPE, C.R.; LAVERDIERE, L.; EVANS, L.J.; KLOOSTERMAN, B.; GREEN, A.J. Testing chemical criteria for spodic horizons on podzolic soils in Canada. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 47, p. 1052-1054, 1983.

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

MOURA FILHO, G. **Caracterização e uso de solos arenosos associados à foz do rio São Francisco, no litoral sul de Alagoas**. 1998. 169p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 1998.

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

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

REYES, I., TORRENT, J. Citrate-ascorbate as a highly selective extractant for poorly crystalline oxides. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.61, p. 1647-1654, 1997.

SKJEMSTAD, J.O.; FITZPATRICK, R.W.; ZARCINAS, B.A., THOMPSON, C.H. Genesis of podzols on coastal dunes in Southern Queensland II. Geochemistry and forms of elements as deduced from various soil extraction procedures. **Australian Journal of Soil Research**, Melbourne, v. 30, p. 593-613, 1992.

STÜTZER, A. **A bibliography of the literature on Podzols/Spodosols 1976-1996**. Vornlocher: Vornlocher Publishing House, 1998. 83p. Disponível em: <<http://www.geographie.uni-erlangen.de/astuetzer/podsole/podzol.pdf>>. Acesso em 10 oct 2002.

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.

VAN BREEMEN, N., BUURMAN, P. **Soil Formation**. 2<sup>nd</sup> ed. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2002. 404 p.

VAN RANST, E.; STOOPS, G.; GALLETZ, 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.

#### **4 MINERALOGIA DAS FRAÇÕES ARGILA E SILTE DE SOLOS SOB VEGETAÇÃO DE RESTINGA NA ILHA DO CARDOSO-SP**

##### **Resumo**

##### **Mineralogia das frações argila e silte de solos sob vegetação de restinga na Ilha do Cardoso - SP**

A vegetação de restinga é uma formação típica que ocorre na costa brasileira em materiais de origem quartzosos e pobre em nutrientes. Os solos que ocorrem nestes ambientes são principalmente os Espodossolos e os Neossolos Quartzarênicos com presença incipiente do processo de podzolização. A podzolização é freqüentemente estudada em regiões de clima frio, sendo escassos os estudos mineralógicos dos mesmos em clima tropical e material de origem quartzoso. Neste trabalho foram estudados solos sob vegetação de restinga na Ilha do Cardoso-SP com o objetivo de se identificar a assembléia mineralógica da fração silte e argila dos mesmos no intuito de dar subsídios para um melhor entendimento de sua gênese. Os principais minerais encontrados na fração argila foram quartzo e a caulinita, e o feldspato e o quartzo na fração silte, o que indica que nestes solos a assembléia mineralógica é relativamente mais intemperizada em relação aos encontrados sob clima mais frio, e mesmo em relação a outros solos estudados no litoral brasileiro, devido ao próprio material de origem, pobre em minerais primários intemperizáveis e à migração de complexos organo-metálicos insaturados, o que aumenta seu poder de dissolução. Em alguns horizontes (2Cgj) foram identificadas esmectitas as quais podem ser herdadas ou neoformadas e sua gênese é dissociada da podzolização

Palavras-chave: Podzol, Espodossolo, podzolização, minerais primários em solos, caulinita.

## **Abstract**

### **Mineralogy of the silt and clay fractions of soils under restinga vegetation at Ilha do Cardoso – SP**

The restinga vegetation is a typical formation that occurs along the Brazilian coast on quartzitic, sandy, nutrient-poor parent material. Podzolization is the main pedogenic process in restinga soils and Spodosols and Quartzipsamments with incipient podzolization are the most common soils. Podzolization is frequently studied in cold climate regions and mineralogical studies of Spodosols under tropical climate on quartzitic parent material are less abundant. In this work, soils under restinga vegetation at Ilha do Cardoso- SP were studied with the objective to identify the mineralogical assemblies of the silt and clay fractions and to provide a better understanding of their genesis. Quartz and kaolinite are the main minerals for the clay fraction while feldspars and quartz prevail in the silt fraction. This indicates that the mineralogical assembly of the restinga soils from Ilha do Cardoso is poor in relation to that observed for soils under colder climates and for other soils along the Brazilian coast. This is mainly due to the parent material which is very poor in weatherable primary minerals. In some horizons (2Cgj) smectites have been identified which can be inherited or neoformed, and its genesis keeps no relation with podzolization.

Keywords: Podzol, Spodosol, podzolization, primary minerals, soils, kaolinite

#### 4.1 Introdução

Denomina-se vegetação de restinga uma variedade de formações vegetacionais, desde herbáceas, passando por formações arbustivas, chegando a florestas cujo dossel não ultrapassa 20 metros de altura (SILVA, 1999). Os solos que ocorrem mais comumente sob essa vegetação são Espodosolos e os Neossolos Quartzarênicos (MOURA FILHO, 1998; GOMES et al., 1998; ROSSI, 1999), sendo que muitas vezes este último apresenta um incipiente processo de podzolização.

Os Espodosolos são caracterizados pela presença do horizonte espódico, onde se acumulam misturas de complexos organo-metálicos, acompanhado ou não de oxihidróxidos de Fe e Al e aluminossilicatos de diferentes grau de cristalinidade (imogolita, alofana, haloisita, caulinita e vermiculitas com hidróxi entre camadas) (ESTADOS UNIDOS, 1999; EMBRAPA, 1999). São solos que ocorrem em regiões úmidas, predominantemente em climas boreais, sob vegetação florestal, e em menor frequência, em regiões de climas menos severos, sobre materiais de origem silicosos (BUURMAN, 1984a; LUNDSTRÖM, 2000a). Nas regiões tropicais úmidas, ocorrem em materiais de origem quartzosos muito pobres (OLIVEIRA et al., 1992; LUNDSTRÖM, 2000b).

A podzolização é o processo que consiste na translocação de material orgânico e Al, acompanhado ou não de Fe, dos horizontes superficiais, para o horizonte subsuperficial, formando o horizonte espódico. Anderson et al. (1982) introduziu uma nova hipótese, sugerindo a possibilidade de migração de Fe, Al e Si na forma de complexos inorgânicos (proto-imogolitas), positivamente carregados. A matéria orgânica coloidal precipitaria depois, ao entrar em contato com estes complexos, formando então o horizonte Bh. Esta hipótese foi refutada por Buurman & Van Reeuwijk (1984), que atribuíram a presença de aluminossilicatos pobremente cristalizados no horizonte B, como a imogolita, à neo-formação a partir do Si iluvial junto a espécies de Al liberadas do complexo orgânico pela atividade microbiana.

Segundo Lundström et al. (2000a) são duas as principais teorias sobre mecanismos da podzolização que prevalecem, as quais diferem no mecanismo de imobilização de Al e Fe no horizonte B. Contudo, é geralmente aceito que o Fe e o Al migram na forma de compostos orgânicos. A primeira teoria, da adsorção/precipitação, (PETERSEN, 1976) envolve ácidos orgânicos de peso molecular mais elevado que dissolvem Fe e Al de minerais nos horizontes



superficiais, formando complexos organo-metálicos móveis, que, devido à adição contínua de metais, precipitam a uma determinada relação C/Metal (BUURMAN, 1985), formando o horizonte espódico. A segunda teoria, da biodegradação, envolve ácidos orgânicos de baixo peso molecular, os quais são decompostos microbiologicamente durante a migração, liberando Al e Fe, que precipitam na forma de ITM (materiais do tipo da imogolita) e ferridrita no horizonte B (LUNDSTRÖM et al, 1995).

Segundo Van Breemen & Buurman (2002), a podzolização afeta profundamente os minerais, tanto primários como secundários, ocorrendo um enriquecimento relativo de minerais mais resistentes ao intemperismo (quartzo, zircônio e anatásio, dentre outros), enquanto que os minerais mais susceptíveis são intemperizados e desaparecem do sistema. A fração argila consistiria em alofana e imogolita, ou de filossilicatos formados por intemperismo *in situ*.

Guillet et al. (1975), em Espodossolos franceses, identificaram na fração argila caulinita e quartzo, além de grande proporção de argilominerais interstratificados não expansíveis em relação aos expansíveis. A distribuição e natureza desses argilominerais indicam que a caulinita, oriunda do material de origem, não parece ter sua cristalinidade afetada. Já as argilas micáceas, se transformam em vermiculitas e até mesmo em esmectitas, as quais tendem a desaparecer dos horizontes superficiais e são acumuladas, por iluviação seletiva, nos horizontes espódicos, especialmente nos horizontes Bh. Johnson & McBride (1989) em Espodossolos norte-americanos, encontraram caulinita, vermiculita com hidróxi entre camadas e esmectita com hidróxi entre camadas nos horizontes E e minerais não cristalinos ou paracristalinos nos horizontes B e C, os quais foram identificados como ITM, além de ferridrita e goethita microcristalina. Gustafsson et al. (1999), na Suécia, encontrou na maioria dos horizontes espódicos imogolita, alofana e vermiculitas interstratificadas, provavelmente formadas durante o processo de podzolização. Alguns horizontes apresentaram caulinita e/ou gibbsita, sendo estes herdados do material de origem. Melkerud et al. (2000), em Espodossolos desenvolvidos sobre depósitos glaciais do quaternário encontraram principalmente vermiculita, ilita, caulinita, clorita, quartzo, anfíbólio e feldspato na fração argila. Concluem que a mineralogia desta fração reflete o processo de podzolização, sendo que os minerais mais susceptíveis ao intemperismo e presentes no material de origem, como a biotita, clorita e hornblenda estão ausentes no horizonte eluvial, onde domina a vermiculita.

Estudando a assembléia mineralógica de Espodosolos com diferentes níveis de hidromorfia, Haile-Mariam & Mokma (1995), encontraram, na fração silte, principalmente quartzo e em menor proporção feldspato. Na fração argila, as hidroseqüências estudadas indicam que ocorreu a transformação de muscovita em vermiculita nos horizontes B e de vermiculita em esmectita nos horizontes E, onde é o mineral dominante nesta fração. O intemperismo destes minerais parece ser retardado pelo lençol freático.

No Brasil, Gomes (1995), em Espodosolos sob vegetação de restingas fluminenses encontrou quartzo, feldspatos, caulinita, mica, gibbsita e vermiculita com hidróxi entre camadas na fração silte. Já, Moura Filho (1998), em Espodosolos sob restinga da costa alagoana constatou a presença de quartzo, caulinita, feldspatos e mica na mesma fração. No entanto, ele ressalta que a composição mineralógica destes solos é muito variável, até mesmo no próprio perfil. Na fração argila, encontrou caulinita, quartzo, mica, clorita e feldspato-K. Gomes (1995) encontrou nessa fração quartzo, caulinita, mica, gibbsita, vermiculita com hidróxi entre camadas e esmectita interestratificada. Na Bahia, Gomes (2002) também em Espodosolos sob vegetação de restinga, encontrou caulinita, quartzo, mica e esmectita.

Este trabalho tem o intuito de identificar os minerais presentes na fração argila e silte de solos sob vegetação de restinga na Ilha do Cardoso-SP, com o intuito de dar subsídios para um melhor entendimento da gênese dos mesmos.

## **4.2 Desenvolvimento**

### **4.2.1 Material e métodos**

Os solos estudados estão localizados na porção nordeste da Ilha do Cardoso (Figura 4.1), em uma parcela de 10 hectares sob vegetação de restinga incluída no projeto “BIOTA - parcelas permanentes”, pertencente ao parque estadual da Ilha do Cardoso e está descrita no capítulo 2.

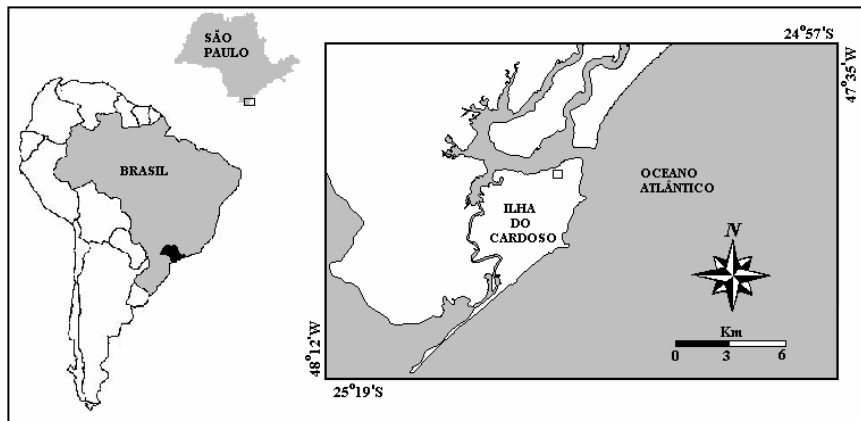


Figura 4.1 Localização da área do estudo

#### 4.2.1.1. Escolha dos perfis

A partir dos teores de argila obtidos (capítulo 2), foram selecionados alguns horizontes para extração da fração argila para a caracterização mineralógica através da difratometria de raios-X. Dessa forma, foi obtida esta fração para 16 horizontes, os quais foram analisados e escolheu-se, ao final, os 9 horizontes mais representativos. São eles: perfil H3 (horizontes Cg3 e Cgj7), perfil H9 (horizonte Bhs1), perfil H16 (horizontes Bhsj3 e 2Cgj), perfil C14 (horizontes Bhs1 e Bhs2) perfil J14 (horizonte Bhsj1) e perfil P14 (horizonte 2Cgj).

#### 4.2.1.2 Preparo das amostras

As amostras de solos foram submetidas a tratamentos para eliminação da matéria orgânica e lavagem de sais solúveis. Posteriormente as frações areia, silte e argila foram separadas por peneiramento úmido, sendo silte e argila separados entre si por decantação (Jackson, 1969).

O preparo das amostras foi realizado em lâminas de vidro na forma de agregados orientados no caso das argilas, e na forma de pó não orientado para o silte. Foram saturadas amostras de argila com  $K^+$  à temperatura ambiente (K25) e após aquecimento a  $350^\circ\text{C}$  (K350) e  $550^\circ\text{C}$  (K550) durante 3 horas. Foi também realizada a saturação com  $Mg^{2+}$  e também solvatadas em etileno-glicol (MgEG).

A identificação mineralógica foi realizada por difração de raios-X através de um difratômetro Philips PW 1130, empregando tensão de 40 KV e corrente de 40mA, usando a radiação Cu-K $\alpha$  ao passo de 0,02 °2 $\theta$  na velocidade de 1 passo s<sup>-1</sup>. As amostras de argilas orientadas foram processadas na faixa de 3 a 65° 2 $\theta$ , enquanto as amostras na forma de pó não orientado de argila e silte no intervalo de 3 a 70° 2 $\theta$ .

Foi também realizado estudos de mineralogia através da microscopia eletrônica de varredura (MEV), utilizando um microscópio eletrônico LEO 4354 VP na fração densa (d >2,89) da TFSA (terra fina seca ao ar) dos horizontes 2Cgj devido à ocorrência de piritas (capítulo 2), que é destruída com o tratamento com peróxido de hidrogênio.

## **4.2.2 Resultados**

### **4.2.2.1 Fração Silte**

Na fração silte (figura 4.2), o quartzo e o feldspato foram os únicos minerais identificados em todos os horizontes estudados, com os picos de 0,426; 0,334 e 0,237 nm para o quartzo e nas regiões de 0,403 a 0,405; 0,374 a 0,378 e 0,317 a 0,322 para o feldspato. Os horizontes Bhs dos perfis H9 e C14 foram os únicos onde não foi identificada mica. Nos demais perfis, ela foi identificada através dos picos em 1,00; 0,50 e 0,334 nm. O mesmo ocorre com a caulinita, identificada praticamente nos mesmos horizontes onde ocorre a mica, excetuando o horizonte Bhs do perfil H9, que apresenta um pico muito sutil, de baixa intensidade, indicando que pode haver traços deste mineral. Para a identificação da caulinita, foi utilizado os picos de 0,712 e 0,356 nm.

A microscopia eletrônica de varredura realizada na fração densa (d > 2,89) da TFSA mostrou a presença de pirita na fração silte do horizonte 2Cgj do perfil H16 (figura 4.3). É possível identificar também piritas degradadas na fração areia com silicatos incrustados. Na difratometria de raios-X não foi possível identificar a presença deste mineral, provavelmente devido a ele ser destruído com o tratamento com peróxido de hidrogênio.

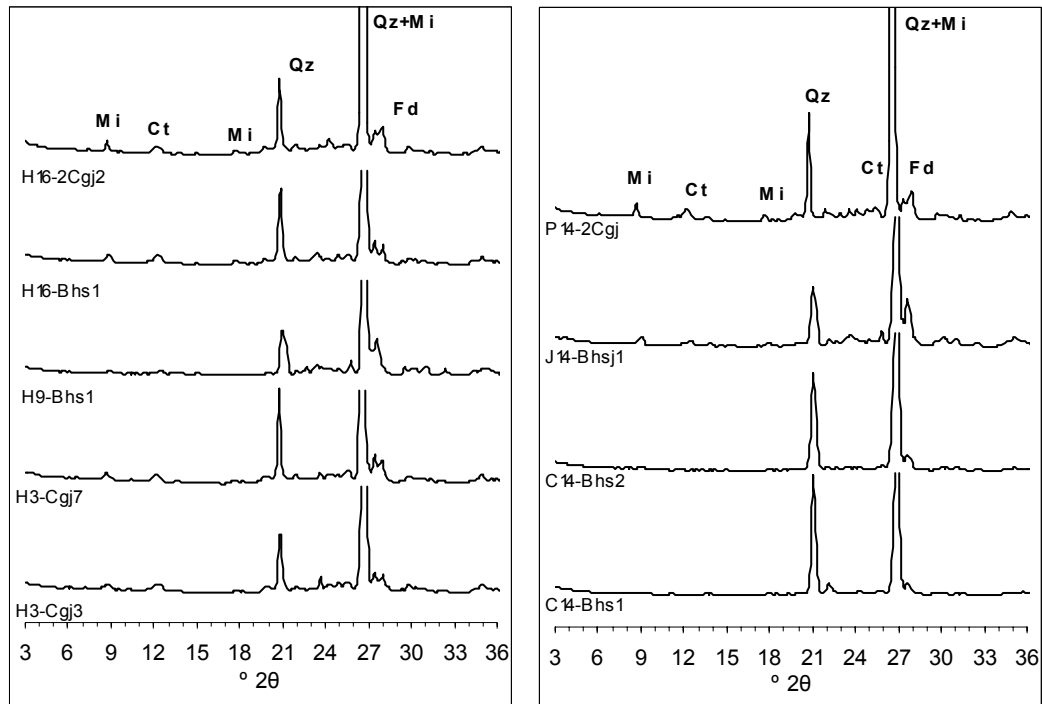


Figura 4.2 – difratogramas da fração silte dos solos estudados. Ct= caulinita, Mi= mica, Qz= quartzo, Gb= gibbsita, Es= esmectita

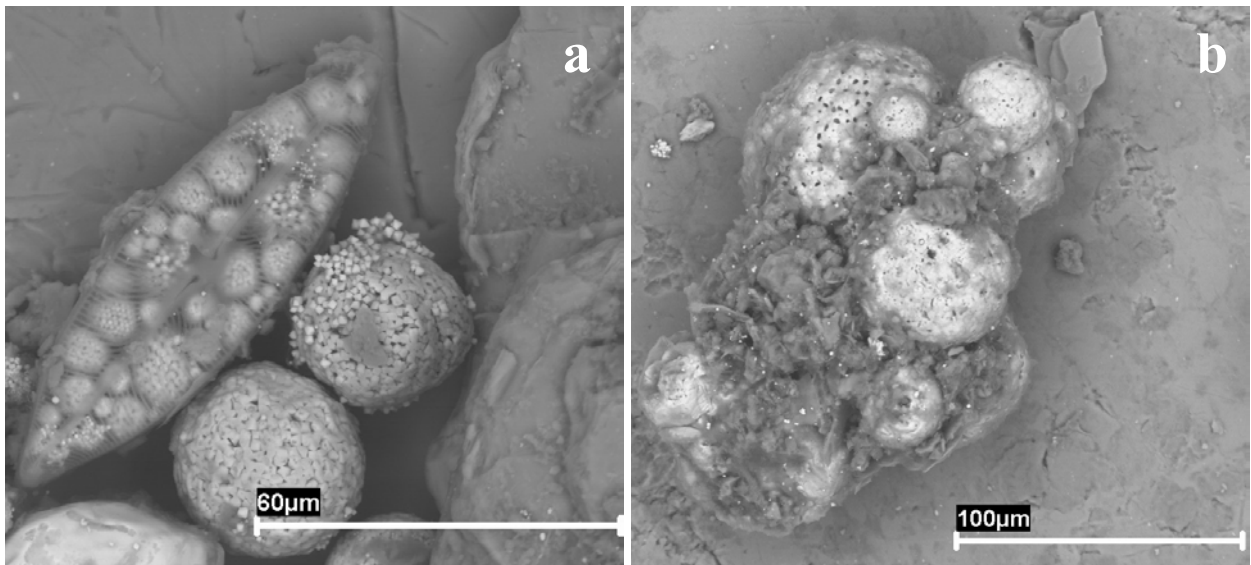


Figura 4.3– microscopia eletrônica de varredura (MEV) de piritas na fração silte do horizonte 2Cgj2 do perfil H16, mostrando um exoesqueleto de diatomácea preenchido com o mineral (a) e outra, em processo de oxidação com silicatos incrustados ao redor (b)

#### 4.2.2.2 Fração argila

Os minerais comuns a todos os horizontes na fração argila foram o quartzo, identificado nos picos de 0,426; 0,334 e 0,237 nm e a caulinita, através dos picos de 0,712 e 0,356 nm, os quais colapsam ao serem submetidos à temperatura de 550°C (figuras 4.4, 4.5 e 4.6). Nos horizontes Bhs1 e Bhs2 do perfil C14, destaca-se a presença de vermiculita, identificada no pico de 1,40 nm, o qual não expande ao ser saturado com etileno-glicol (EG) e colapsa a 550°C e a ausência de mica, identificada nos picos de 1,00; 0,50 e 0,334 nm nos outros perfis. Outro mineral 2:1 que foi identificado foi a esmectita, nos horizontes 2Cgj dos perfis H16 e P14, com o pico de 1,40 nm que expande para 1,68 ao saturar a amostra com EG. Este mineral ocorre também no perfil H3, nos horizontes Cg3 e Cgj7. A gibbsita ocorre nos perfis H3, H9, J14 no P14, sendo identificada no pico de 0,483 nm, colapsando à temperatura de 350° C.

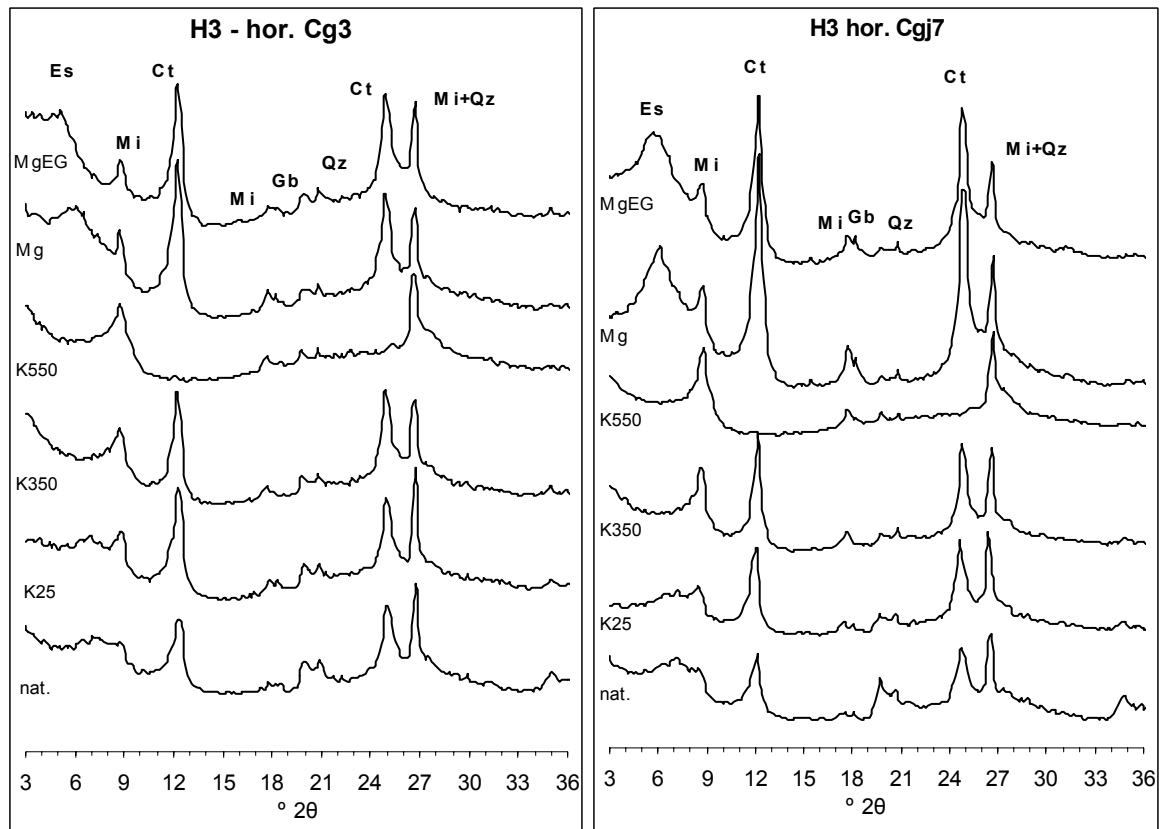


Figura 4.4 – difratogramas da fração argila dos horizontes Cg3 e Cgj7 dos perfil H3. Ct= caulinita, Mi= mica, Qz= quartzo, Gb= gibbsita, Es= esmectita

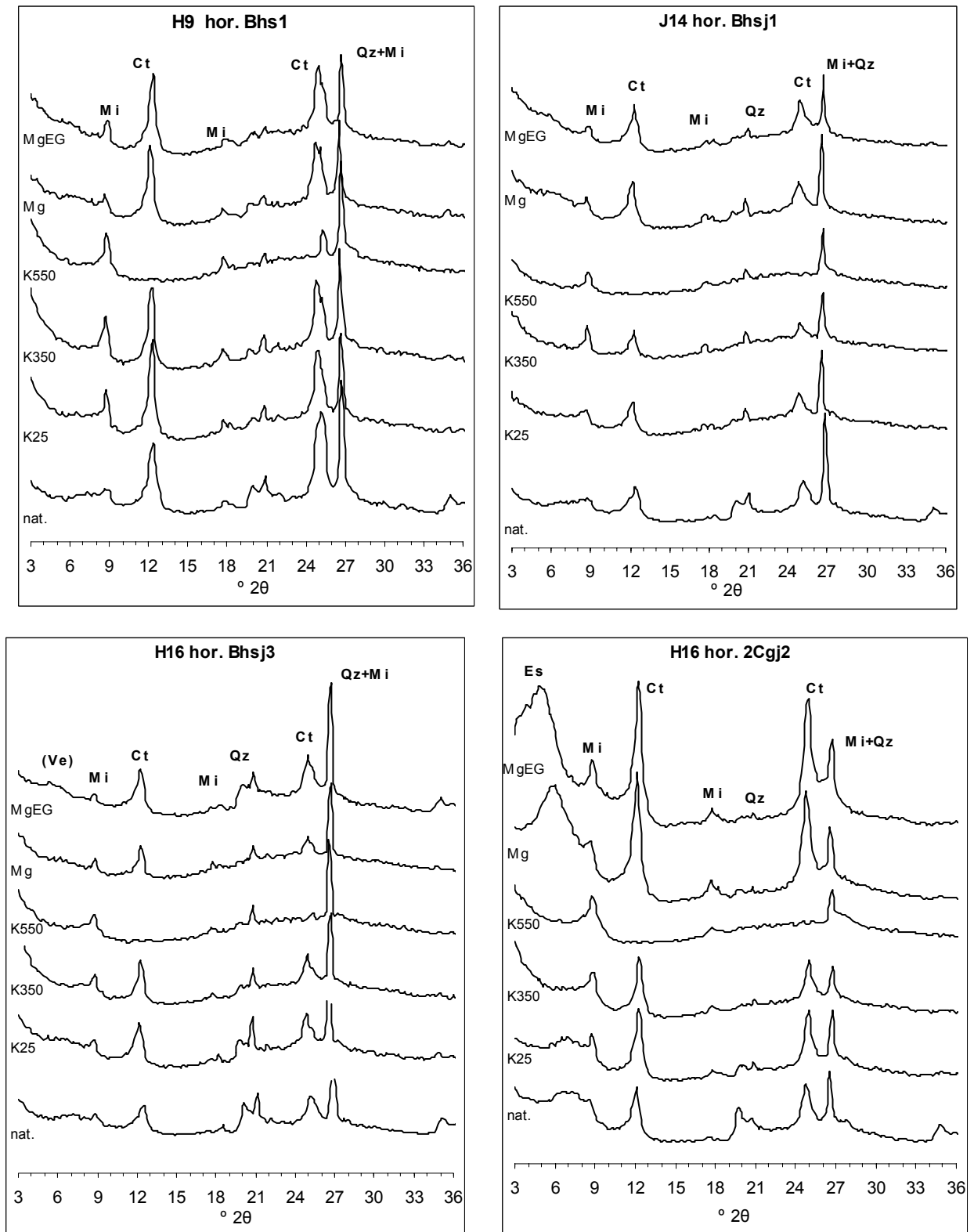


Figura 4.5 – difratogramas da fração argila do horizonte Bhs1 do perfil H9, horizonte Bhsj1 do perfil J14 e dos horizontes Bhsj3 e 2Cgj2 do perfil H16. Ct= caulinita, Mi= mica, Qz= quartzo, Gb= gibbsita, Es= esmerectita, Ve= vermiculita

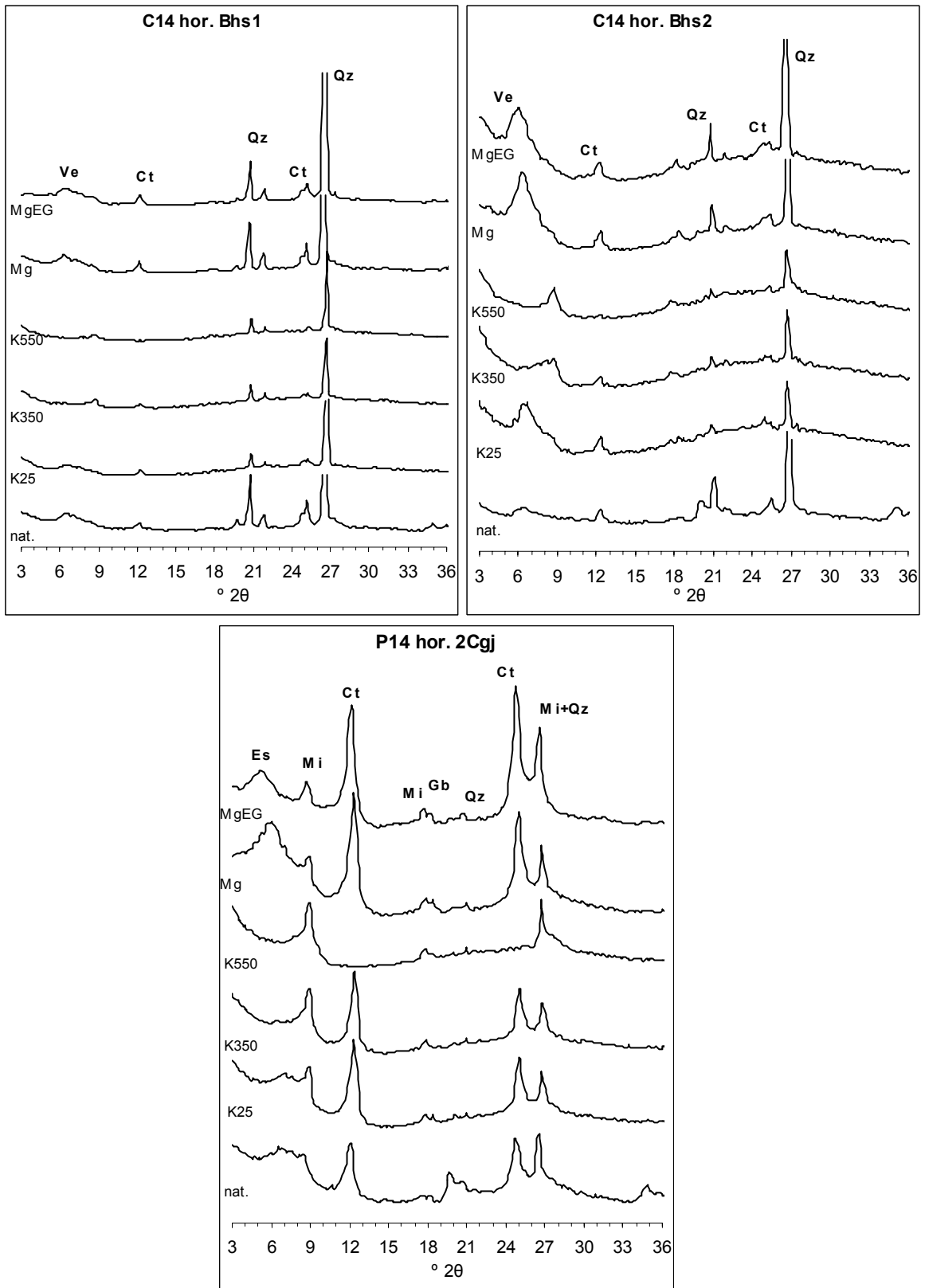


Figura 4.6 – difratogramas dos horizontes Bhs1 e Bhs2 do perfil C14 e do horizonte 2Cgj do perfil P14. Ct= caulinita, Mi= mica, Qz= quartzo, Gb= gibbsita, Es= esmectita, Ve= vermiculita



### 4.2.3 Discussão

De uma forma geral, os minerais encontrados, tanto na fração silte como argila, correspondem àqueles encontrados em outros estudos em solos sob vegetação de restinga no Brasil. As principais diferenças são a ausência de vermiculita com hidróxi entre camadas descritas por Gomes (1995) nas restingas do estado do Rio de Janeiro e de clorita, identificadas por Moura Filho (1998) na costa alagoana.

Na fração silte, foram identificados quartzo e feldspatos em todos os solos. A ocorrência de diferentes faixas de picos de feldspatos podem indicar a presença tanto de feldspatos potássicos como de plagioclásios. Estes minerais foram provavelmente herdados do intemperismo de rochas cristalinas da Serra do Mar ou de areias reliquias dos sedimentos arenosos costeiros retrabalhados durante os últimos eventos transgressivos holocênicos.

Nos perfis H9 e C14 não foi identificada a presença de mica na fração silte, provavelmente devido a ocorrência de condições não favoráveis à sua estabilidade nesta fração, já que o material de origem é o mesmo, ocorrendo na fração argila apenas no perfil H9. Destes dois perfis, no C14 não foi identificado mica nem mesmo na fração argila, ocorrendo, contudo a vermiculita, que pode estar indicando uma possível transformação de mica em vermiculita, principalmente no horizonte Bhs2. De acordo com o capítulo 2, esses dois perfis, embora hidromórficos, são os que têm menor influência do lençol freático dentre os solos estudados, o que provavelmente pode influenciar na maior intensidade do intemperismo.

A presença de quartzo na fração argila em todos os horizontes é comum em Espodosolos, sendo reportada por diversos autores estudando desde solos sob clima frio, sob diferentes materiais de origem, até aquele que ocorre em sedimentos arenosos, típicos de regiões tropicais (GUILLET et al., 1975; JOHNSON & McBRIDE, 1989; HE, 1998; GUSTAFSSON et al., 1999; GOMES, 1995; MOURA FILHO, 1998; MELKERUD et al, 2000; GOMES, 2002). Segundo Mc Keague et al. (1983), é comum a presença deste mineral em Espodosolos de clima temperado desenvolvidos no Quaternário. Drees et al. (1992) , citaram a ocorrência de quartzo na fração argila, sendo restrita à fração argila grossa (0,2 a 2  $\mu\text{m}$ ).

A caulinita ocorre em todos os solos na fração argila, fato comum em Espodosolos de clima tropical e subtropical, onde o intemperismo é mais intenso, podendo ser o mineral dominante (VAN BREEMEN & BUURMAN, 2002). De acordo com Kämpf e Curi (2003) a

caulinita pode ser formada a partir de diversos minerais, a exemplo neste estudo poderia ser a partir dos feldspatos, os quais ocorrem na fração silte. E também, já seria herdada dos solos das áreas do entorno, que são essencialmente cauliníticos e gibbsíticos (SAKAI & LEPSCH, 1984). A presença de caulinita na fração silte, possivelmente trata-se de caulinita pseudoamorfa originada da intemperização de biotita (KRETZSCHMAR et al., 1997; JOLICOEUR et al., 2000) ou da muscovita (MUGGLER, 1998).

A esmectita foi identificada nos perfis H16, P14 e H3, que pode ser de origem alóctone ou neoformada, não tendo nenhuma relação com o processo de podzolização. Neoformação de esmectitas neste ambiente seria possível através da oxidação de pirita, formando nontronita ou esmectita férrica, desde que haja disponibilidade de Si e Al (FERNÁNDEZ-CALIANI et al., 2004). A degradação da pirita (capítulo 2) e a presença de diatomáceas nos horizontes onde ocorre a esmectita (figura 4.3) pode apoiar essa hipótese. Mas não podemos deixar de ressaltar outra possível origem, marinha, já que este horizonte corresponde a um nível estratigráfico inferior de textura mais fina, com argilas depositadas em um pretérito fundo de canal ou de baía, sobre os quais as areias holocênicas foram depositadas. A origem continental deve ser descartada, já que é rara a presença de solos com presença de esmectita no entorno da planície (SAKAI & LEPSCH, 1984). No caso do perfil H3, onde não foi identificado a presença de horizonte 2Cgj, a esmectita pode estar ocorrendo devido à transformação a partir da mica, com a contribuição de  $Fe^{3+}$  da oxidação da pirita que, apesar de não identificada por DRX, deve estar ocorrendo em horizontes mais profundos, influenciando os horizontes suprajacentes.

A presença de gibbsita se deu principalmente nos horizontes 2Cgj. O perfil H3 também apresenta este mineral, sendo mais um indício de influência de material de origem relacionado aos horizontes 2Cgj. Este mineral também pode ter sido herdado a partir de solos das áreas do entorno, como comentado anteriormente para a caulinita. No capítulo 2, dados químicos, como o abaixamento do pH determinado na TFSA e o aumento dos teores de enxofre, e o conteúdo de argila e silte, que aumentam em profundidade neste perfil, corroboram essa hipótese.

Mesmo com a forte influência do lençol freático, a pobreza inicial do material de origem, o qual sofreu retrabalhamentos nos dois últimos eventos transgressivos (SUGUIO & MARTIN, 1978) gera solos com uma assembléia mineralógica menos diversificada que as daqueles de regiões temperadas e até mesmo de outros estudos realizados sob vegetação de restinga no Brasil. A composição mineralógica da fração silte em relação à fração argila é um bom indício de que os

poucos minerais menos resistentes que ocorrem nesta fração, como o feldspato e a mica, estão dando lugar a caulinita e vermiculita.

A predominância de fases não cristalinas ocorre em todos os solos estudados, como descrito no capítulo 3, com as extrações de ditionito-citrato (DC) obtendo valores próximos aos das extrações com oxalato de amônio e pirofosfato de sódio. Porém, cabe ressaltar que os valores extraídos de sílica pelas dissoluções seletivas (dados não demonstrados) foram abaixo do limite de detecção pelos métodos utilizados em todos os horizontes espódicos, mesmo no extrato sem diluição, eliminando ou diminuindo substancialmente a possibilidade de ocorrência de silicatos mal cristalizados, como as proto-imogolitas e a alofana nestes horizontes. Para um estudo mais pormenorizado das fases amorfas que ocorrem nestes solos deve-se utilizar, em adição à difração de raios-X, técnicas mais sofisticadas, como a espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier para as fases contendo Al e espectroscopia de Mössbauer para as fases contendo Fe.

#### **4.3 Conclusões**

- Os horizontes espódicos apresentaram o quartzo e a caulinita como os principais minerais da fração argila e o quartzo e o feldspato na fração silte.
- A esmectita presente nos horizontes 2Cgj tem duas origens possíveis: neoformação de nontronita ou esmectitas férricas à partir da oxidação da pirita e/ou herança do material de origem marinha e não tem relação com o processo de podzolização.
- O intenso intemperismo, aliado à pobreza do material de origem, gera solos com assembléia mineralógica menos diversificada em relação aos Espodosolos de clima temperado.

## Referências

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

BUURMAN, P. Editor's comments on paper 1- The Podzol concept. In: \_\_\_\_\_. **Podzols**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1984a. chap. 1, p.8-11.

BUURMAN, P. Carbon/ sesquioxide ratios in organic complexes and the transition albic-spodic horizon. **Journal of Soil Science**, Oxford, v. 36, p. 355-260, 1985.

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

DREES, L.R.; WILDING, L.P.; SMECK, N.E.; SENKAYI, A.L. Silica in soils: Quartz and disordered Silica Polymorphs. In: DIXON, J.B.; WEED, S.B. **Minerals in soil environments**. 2<sup>nd</sup> ed. Madison: SSSA, 1989. p. 913-974.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de Solos**. Brasília: Embrapa, Produção de informação; Rio de Janeiro: EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1999. 412p.

ESTADOS UNIDOS. Department of Agriculture. Soil Survey Division. Soil Conservation Service. Soil Survey Staff. **Soil Taxonomy**: a basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. 2<sup>nd</sup> ed. Washington: USDA, 1999. 869 p.

FERNANDEZ-CALIANI, J.C.; CRESPO, E.; RODAS, M.; BARRENECHEA, J.F.; LUQUE, F.J. Formation of nontronite from oxidative dissolution of pyrite disseminated in precambrian felsic metavolcanics of the southern iberian massif (Spain). **Clays and Clay Minerals**, New York, v.52, p.106-114, 2004.

GOMES, F.H. **Caracterização de solos de manguezais e de restinga no município de Ilhéus-Bahia**. 2002. 96p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2002.

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

GOMES, J. B. V. **Caracterização, gênese e uso de solos de três sítios de restinga sob diferentes coberturas vegetais no Estado do Rio de Janeiro**. 1995. 158p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 1995.

GUILLET, B.; ROUILLER, J.; SOUCHIER, B. Podzolization and clay migration in spodosols of eastern France. **Geoderma**, Amsterdam, v. 14, p. 223-245, 1975.

GUSTAFSSON, J. P., BHATTACHARYA, P., KARLTUN, E. Mineralogy of poorly crystalline aluminum phases in the B horizon of Podzols in southern Sweden. **Applied Geochemistry**, Oxford, v. 14, p.707-718, 1999.

HAILE-MARIAM, S.; MOKMA, D.L. Mineralogy of two sandy spodosol hydrosequences in Michigan. **Soil Survey Horizons**, Madison, v.36, p. 117-162, 1995.

HE, J.Z., GILKES, R.J., DIMMOCK, G.M. Mineralogical properties of sandy podzols on the Swan Coastal Plain, south-west Australia, and the effects of drying on their phosphate sorption characteristics. **Australian Journal of Soil Science**, Collingwood, v. 36, p.395-409, 1998.

JACKSON, M.L. **Soil chemical analysis – Advanced course**. Madison: Department of Soil Science, University of Wisconsin, 1969. 895p.

JOHNSON, M.G., MCBRIDE, M.B. Mineralogical and chemical characteristics of Adirondack spodosols: evidence for para- and noncrystalline aluminosilicate minerals. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.56, p. 482-490,1989.

JOLICOEUR, S.; ILDEFONSE, P.; BOUCHARD, M. Kaolinite and Gibbsite Weathering of Biotite within Saprolites and Soils of Central Virginia. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 64, p.1118–1129, 2000.

KÄMPF, N.; CURI, N. Argilominerais em solos brasileiros. In: RESENDE, M.; CURI, N.; KER, J.C.; REZENDE, S.B. **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. v.3, cap. 1, p. 1-54.

KRETZSCHMAR, R.; ROBARGE, W.P.; MOOZEGAR, A.; VEPRASKAS, M.J. Biotite alteration to halloysite and kaolinite in soil-saprolite profiles developed from mica schist and granite gneiss. **Geoderma**, Amsterdam, v. 75, p. 155-170, 1997.

LUNDSTRÖM, U.S., VAN BREEMEN, N., JONGMANS, A.G. Evidence for microbial decomposition of organic acids during podzolization. **European Journal of Soil Science**, Oxford v. 46, p. 489-496, 1995.

LUNDSTRÖM, U.S.; VAN BREEMEN, N.; BAIN, D.C.; VAN HEES, P.A.W.; GIESLER, R.; GUSTAFSSON, J.P.; ILVESNIESMI, H.; KARLTUN, E.; MELKERUD, P.A.; OLSSON, M.; RIISE, G.; WAHLBERG, O.; BERGELIN, A.; BISHOP, K.; FINLAY, R.; JONGMANS, A.G.; MAGNUSSON, T.; MANNERKOSKI, H.; NORDGREN, A.; NYBERG, L.; STARR, M.; TAU STRAND, 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, 2000a.

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

McKEAGUE, J.A.; DeCONINCK, F.; FRANZMEIER, D. P. Spodosols. In: WILDING, L.P.; SMECK, N.E.; HALL, G.F. **Pedogenesis and soil taxonomy. II The soil orders**. Amsterdam: Elsevier, 1983. chap. 2, p.217-252.

MELKERUD, P.A.; BAIN, D.C.; JONGMANS, A.G.; TARVAINEN, T. Chemical, mineralogical and morphological characterization of three podzols developed on glacial deposits in Northern Europe. **Geoderma**, Amsterdam, v. 94, p.125-148, 2000.

MOURA FILHO, G. **Caracterização e uso de solos arenosos associados à foz do rio São Francisco, no litoral sul de Alagoas**. 1998. 169p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 1998.

MUGGLER, C.C. **Polygenetic Oxysols on Tertiary surfaces, Minas Gerais, Brazil. Soil genesis and landscape development**. 1998. 186p. Tese (Doutorado) - Wageningen University, Wageningen. 1998.

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.

PETERSEN, L. **Podzols and Podzolization**. 1976. 293p. Thesis (PhD in Agricultural Sciences) - Royal Veterinary and Agricultural University, Copenhagen. 1976.

ROSSI, M. **Fatores formadores da paisagem litorânea: A bacia do Guaratuba, São Paulo – Brasil**. 1999. 159p. Tese (Doutorado em Geografia Física) Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo. 1999.

SAKAI, E.; LEPSCH, I.F. **Levantamento pedológico detalhado da estação experimental de Pariqüera Açú**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1984. 56 p. (Boletim técnico, 83).

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: 10 abril 2002.

SUGUIO, K.; MARTIN, L. Formações Quaternárias marinhas do litoral paulista e sul fluminense. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON COASTAL EVOLUTION IN THE QUATERNARY, 1., 1978, São Paulo. **Anais...** São Paulo: IGUSP, 1978. 55 p.

VAN BREEMEN, N., BUURMAN, P. **Soil Formation**. 2<sup>nd</sup> ed. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2002. 404 p.

**ANEXOS**



## ANEXO A- DESCRIÇÕES MORFOLÓGICAS

### DESCRIÇÃO GERAL

#### PERFIL H-1

DATA- 01/02/2003

CLASSIFICAÇÃO- Neossolo Quartzarênico Hidromórfico espódico

CLASSIFICAÇÃO AMERICANA - Aquodic Quartzipsamment

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS- Próximo à parcela do projeto “parcelas permanentes” do BIOTA, caminhando 40 metros em direção ao mar, à partir da estaca correspondente à subparcela H1. Ilha do Cardoso, Cananéia, SP.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL- Descrito e coletado em trincheira, em uma pequena elevação, correspondente a uma antiga crista praial, a 8 metros do mar, sob vegetação natural.

ALTITUDE- 1 metro.

LITOLOGIA- Sedimentos arenosos holocênicos.

FORMAÇÃO GEOLÓGICA- Sedimentos arenosos holocênicos.

PERÍODO- Holoceno.

MATERIAL ORIGINÁRIO- Sedimentos arenosos holocênicos.

PEDREGOSIDADE- Não pedregoso.

ROCHOSIDADE- Não rochoso.

RELEVO LOCAL- Plano.

RELEVO REGIONAL- Plano e suave ondulado com escarpas da Serra do Mar.

EROSÃO- Não aparente.

DRENAGEM- Imperfeitamente drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA- Floresta hidrófila de restinga.

USO ATUAL- Reserva da vegetação nativa.

CLIMA- Af, da classificação de Köppen.

DESCRITO E COLETADO POR- Felipe Haenel Gomes e Bruno Gherardi.

## DESCRIBÇÃO MORFOLÓGICA

- A 0-20 cm, cinzento muito escuro (5YR 3/1, úmido) e cinzento (7,5YR 6/1, seco); arenosa; grãos simples e forte média e pequena granular; solta, não plástica e não pegajosa; transição plana e clara.
- C1 20-55 cm, cinzento (5YR 6/1, úmido) e branco (7,5YR 8/1, seco); arenosa; grãos simples; solta; não plástica e não pegajosa; transição clara e plana.
- C2 55-75 cm, cinzento muito escuro (7,5YR 3/1, úmido) e cinzento (7,5YR 6/1, seco); arenosa; grãos simples; solta; não plástico e não pegajoso; transição plana e clara.
- C3 75-85 cm, bruno-escuro (7,5YR 3/2, úmido) e cinzento (7,5YR 6/1, seco); arenosa; grãos simples; solta; não plástico e não pegajoso; transição plana e clara.
- C4 85-105 cm+, bruno muito escuro (10YR 2/2, úmido), bruno-amarelado (10YR 5/4, seco); arenosa; grãos simples; solta; não plástico e não pegajoso.

RAÍZES - Abundantes em A e freqüentes em E

OBSERVAÇÕES - Presença abundante de estratificações acinzentadas escuras (minerais pesados) no horizonte C2

## DESCRIBÇÃO GERAL

PERFIL H3

DATA- 23/08/2003

CLASSIFICAÇÃO- Neossolo Quartzarênico Hidromórfico espódico.

CLASSIFICAÇÃO AMERICANA- Aquodic Quartzipsamment.

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS- subparcela H3 da parcela do projeto “parcelas permanentes” do BIOTA, Ilha do Cardoso, Cananéia-SP.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL- Descrito e coletado em trincheira, em uma depressão, antes de uma pequena elevação, considerando-se o sentido contrário ao mar, sob vegetação natural

ALTITUDE- 1 metro.

LITOLOGIA- Sedimentos arenosos holocênicos.

FORMAÇÃO GEOLÓGICA- Sedimentos arenosos holocênicos.

PERÍODO- Holoceno.

MATERIAL ORIGINÁRIO- Sedimentos arenosos holocênicos

PEDREGOSIDADE- Não pedregoso

ROCHOSIDADE- Não rochoso

RELEVO LOCAL- Plano.

RELEVO REGIONAL- Plano e suave ondulado com escarpas da Serra do Mar.

EROSÃO- Não aparente

DRENAGEM- Muito mal drenado

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA- Floresta hidrófila de restinga

USO ATUAL- Reserva da vegetação nativa

CLIMA- Af, da classificação de Köppen.

DESCRITO E COLETADO POR- Felipe H. Gomes, Bruno Gherardi, Marta Molina.

## DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

- A 0-18 cm, preto (10 YR 2/1, úmido) e bruno-acinzentado muito-escuro (10YR 3/2, seco); areno-orgânica; forte pequena granular e grãos simples; macia; friável; ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso, transição ondulada e clara.
- E 18-21 cm, bruno-acinzentado-escuro (10YR 4/2, úmido) com manchas bruno muito escuro (10YR 2/2, úmido) e cinzento (7,5YR 6/1, seco); arenosa; grãos simples; solta; não plástico e não pegajoso, transição ondulada e clara.
- C1 21-45 cm, bruno-amarelado-escuro (10YR 3/4, úmido) e bruno-amarelado-claro (10 YR 6/4); arenosa; grãos simples; solta; não plástico e não pegajoso; transição plana e gradual.
- Cg2 45-65 cm, bruno-acinzentado-escuro (10YR 4/2, úmido) e bruno-acinzentado (10YR 5/2, seco); arenosa; grãos simples; solta; não plástico e não pegajoso; transição ondulada e gradual.
- Cg3 65-100cm, bruno-acinzentado muito-escuro, (10YR 3/2) e bruno (10 YR 5/3, seco); arenoso; grãos simples; não plástico e não pegajoso.
- Cgj4 100-130cm, bruno-avermelhado-escuro, (10YR 4/2, úmido) e bruno-claro-acinzentado (10 YR 6/3, seco); arenoso; grãos simples; não plástico e não pegajoso.
- Cgj5 130-150cm, bruno-acinzentado-escuro, (10YR 4/2, úmido) e cinzento-brunado-claro (10YR 6/2, seco); arenoso; grãos simples; não plástico e não pegajoso.
- Cgj6 150-180cm, cinzento (10YR 5/1, úmido) e cinzento (10 YR 6/1, seco); arenoso; grãos simples; não plástico e não pegajoso.
- Cgj7 180-210cm, bruno-acinzentado-muito-escuro (10YR 3/2) e bruno-acinzentado-escuro (10 YR 4/2); franco-arenosa; ligeiramente plástico e não pegajoso.

RAÍZES - Abundantes no A, freqüentes no E, comuns nos C

OBSERVAÇÕES - Fragmentos de raiz no horizonte C1 com cor bruno-muito-escuro (10YR 2/2)

- Presença de estratificações cinzentas -muito-escuras (2,5Y 3/1, úmido)
- Tronco caído datado de 1500 anos (<sup>14</sup>C) a uma profundidade de 40 cm.
- Raízes apodrecendo no horizonte Cg3.
- Horizontes Cgj4, Cgj5, Cgj6 e Cgj7 coletados por tradagem,
- Forte cheiro de enxofre

## DESCRIÇÃO GERAL

PERFIL H9

DATA- 23/08/2003

CLASSIFICAÇÃO- Espodossolo Ferrocárbico Hidromórfico arênico

CLASSIFICAÇÃO AMERICANA- Arenic Alorthod.

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS- subparcela H9 da parcela do projeto “parcelas permanentes” do BIOTA, Ilha do Cardoso, Cananéia-SP.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL- Descrito e coletado em trincheira, em uma pequena elevação, correspondente a antiga crista praial, sob vegetação natural

ALTITUDE- 3 metros.

LITOLOGIA- Sedimentos arenosos holocênicos.

FORMAÇÃO GEOLÓGICA- Sedimentos arenosos holocênicos.

PERÍODO- Holoceno.

MATERIAL ORIGINÁRIO- Sedimentos arenosos holocênicos

PEDREGOSIDADE- Não pedregoso

ROCHOSIDADE- Não rochoso

RELEVO LOCAL- Plano.

RELEVO REGIONAL- Plano e suave ondulado com escarpas da Serra do Mar.

EROSÃO- Não aparente

DRENAGEM- Imperfeitamente drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA- Floresta hidrófila de restinga

USO ATUAL- Reserva da vegetação nativa

CLIMA- Af

DESCRITO E COLETADO POR- Felipe H. Gomes, Bruno Gherardi, Marta Molina.

## DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

- A 0-20cm, cinzento-escuro (10YR 4/1, úmido) e cinzento (10YR 5/1, seco); arenosa; grãos simples; solta; não plástico e não pegajoso; transição plana e clara.
- AE 20-28cm, cinzento-escuro (10YR 4/1, úmido) e cinzento (10YR 6/1, seco); arenosa; grãos simples; solta; não plástico e não pegajoso, transição plana e clara.
- E1 28-41cm, cinzento (10YR 5/1, úmido) e cinzento-claro (7,5YR 7/1, seco); arenosa; grãos simples; solta; não plástico e não pegajoso, transição plana e gradual.
- E2 41-95cm, cinzento-claro (10YR 7/1, úmido) e branco (7,5YR 8/1, seco); arenosa; grãos simples; solta; não plástico e não pegajoso, transição ondulada e abrupta.
- Bhs1 95-103cm, bruno muito escuro (10YR 2/2, úmido) e bruno-acinzentado-muito-escuro (10YR 3/2, seco); arenosa; grãos simples; solta; não plástico e não pegajoso, transição ondulada e clara.
- Bhsj2 103-135/(130-140)cm, bruno-muito-escuro (10YR 2/2, úmido) e bruno-acinzentado-escuro (10YR 4/2, seco); arenosa; grãos simples; solta; não plástico e não pegajoso; transição irregular e clara.
- Bhsj3 135-180cm, bruno-acinzentado-escuro, (10YR 4/2, úmido) e bruno (10YR 5/3, seco); arenoso; grãos simples; solta; não plástico e não pegajoso.
- Bhsj4 180-210cm, preto (10YR 2/1, úmido) e bruno-acinzentado (10YR 5/2, seco); arenoso; grãos simples; não plástico e não pegajoso.
- Bhsj5 210-250cm, bruno-acinzentado muito escuro (10YR 3/2, úmido) e bruno-acinzentado-escuro (10YR 4/2, seco); arenoso; grãos simples; não plástico e não pegajoso.
- Bhsj6 250-280cm, preto (10YR 2/1, úmido) e bruno-acinzentado-escuro (10YR 4/2, seco); arenoso; grãos simples; não plástico e não pegajoso.

RAÍZES - Abundantes no A, comuns no AE, poucas no E1 e raras no E2, Bhs1, Bhsj2, e Bhsj3.

OBSERVAÇÕES - Entre 130 e 140 cm apresenta um círculo, parecendo uma raiz “espodizada”.

- Apresenta bolsão de areia mais fraco (125-135 cm).
- Horizontes Bhsj4, Bhsj5 e Bhsj6 coletados por tradagem.

## DESCRIBÇÃO GERAL

PERFIL H13

DATA- 20/08/2003

CLASSIFICAÇÃO- Espodossolo Ferrocárbico Hidromórfico hístico

CLASSIFICAÇÃO AMERICANA- Histic Alaquod

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS - subparcela H13 da parcela do projeto “parcelas permanentes” do BIOTA, Ilha do Cardoso, Cananéia-SP.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL- Descrito e coletado em trincheira na parcela do projeto “Parcelas Permanentes- BIOTA”, situado no Parque Estadual da Ilha do Cardoso-SP.

ALTITUDE- 2 metros.

LITOLOGIA- Sedimentos arenosos holocênicos.

FORMAÇÃO GEOLÓGICA- Sedimentos arenosos holocênicos.

PERÍODO- Holoceno.

MATERIAL ORIGINÁRIO- Sedimentos arenosos holocênicos

PEDREGOSIDADE- Não pedregoso

ROCHOSIDADE- Não rochoso

RELEVO LOCAL- Plano.

RELEVO REGIONAL- Plano e suave ondulado com escarpas da Serra do Mar.

EROSÃO- Não aparente

DRENAGEM- Mal drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA- Floresta hidrófila de restinga

USO ATUAL- Reserva da vegetação nativa

CLIMA- Af

DESCRITO E COLETADO POR- Felipe H. Gomes, Bruno Gherardi, Marta Molina.

## DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

- Ho 0-10cm, preto (5YR 2,5/1) e cinzento-muito-escuro (5 YR 3/1, úmido); fibras; transição plana e clara.
- Hd 10-20cm, preto (5YR 2,5/1, úmido) e cinzento-escuro (10YR 4/1, seco); orgânica; maciça, ligeiramente plástico e pegajoso, transição plana e clara.
- E 30-38cm, bruno-acinzentado (10 YR 5/2, úmido) e cinzento-claro (10YR 7/2, seco) ; arenoso; grãos simples; solta; não plástico e não pegajoso, transição ondulada e abrupta.
- Bhsj1 38-55 cm, preto (10 YR 2/1, úmido) e bruno-acinzentado muito escuro (10YR 3/2, seco); arenosa; maciça, fracamente cimentado; não plástico e não pegajoso, transição plana e gradual.
- Bhsj2 55-75 cm, bruno-muito-escuro (10 YR 2/2, úmido) e bruno (10YR 4/3, seco); arenosa; grãos simples; solta; não plástico e não pegajoso; transição plana e gradual.
- Bhsj3 75-125cm, bruno-amarelado-escuro, (10 YR 3/4, úmido) e bruno (10YR 4/3, seco); arenoso; grãos simples, não plástico e não pegajoso.
- Cgj 130-165cm, bruno-acinzentado-escuro (10YR 4/2, úmido) e cinzento-brunado-claro (10YR 6/2, seco); arenosa; grãos simples; não plástico e não pegajoso.

RAÍZES - abundantes no Ho1, muitas no Hd2

OBSERVAÇÕES - Cheiro de enxofre

- Horizontes Bhsj3 e Cgj coletados por tradagem



## DESCRIÇÃO GERAL

PERFIL H16

DATA- 22/08/2003

CLASSIFICAÇÃO- Espodossolo Ferrocárbico Hidromórfico típico

CLASSIFICAÇÃO AMERICANA- Typic Alaquod

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS- logo após a subparcela H16, no sentido oposto ao da parcela do projeto “parcelas permanentes” do BIOTA, Ilha do Cardoso, Cananéia-SP.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL- Descrito e coletado em trincheira, em um pequeno declive, sob vegetação natural.

ALTITUDE- 1 metro.

LITOLOGIA- Sedimentos arenosos holocênicos .

FORMAÇÃO GEOLÓGICA- Sedimentos arenosos holocênicos.

PERÍODO- Holoceno.

MATERIAL ORIGINÁRIO- Sedimentos arenosos holocênicos com mistura de material de granulometria mais fina.

PEDREGOSIDADE- Não pedregoso

ROCHOSIDADE- Não rochoso

RELEVO LOCAL- Plano.

RELEVO REGIONAL- Plano e suave ondulado com escarpas da Serra do Mar.

EROSÃO- Não aparente

DRENAGEM- Mal drenado

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA- Floresta hidrófila de restinga

USO ATUAL- Reserva da vegetação nativa

CLIMA- Af, da classificação de Köppen.

DESCRITO E COLETADO POR- Felipe H. Gomes, Bruno Gherardi, Marta Molina.

## DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

- A 0-10cm, preto (10YR 2/1, úmido) e cinzento-muito-escuro (10YR 3/1, seco); orgânica; forte média e pequena granular; macia; friável; ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição ondulada e clara.
- AE 10-15cm, cinzento-escuro (10YR 4/1, úmido) e cinzento (10YR 6/1, seco); arenosa; grãos simples; solta; não plástico e não pegajoso, transição ondulada e clara.
- E 15-23cm, bruno acinzentado escuro (10YR 4/2, úmido) e cinzento (10YR 6/1, seco); arenosa; grãos simples; solta não plástico e não pegajoso, transição ondulada e clara.
- Bhs1 23-40cm, cinzento muito escuro (10YR 3/1, úmido) e bruno acinzentado escuro (10YR 4/2, úmido); arenosa; grãos simples; solta; não plástico e não pegajoso, transição plana e gradual.
- Bhsj2 40-54cm, bruno muito escuro (10YR 2/2, úmido) e bruno-acinzentado-muito-escuro, (10YR 3/2, seco); arenosa; grãos simples; solta; não plástico e não pegajoso; transição plana e gradual.
- Bhsj3 54-62cm, bruno-acinzentado-muito-escuro (10YR 3/2, úmido) e bruno muito escuro (10YR 2/2, seco); arenoso; grãos simples; solta; não plástico e não pegajoso; transição ondulada e clara.
- 2Cgj1 62-80cm, cinzento-esverdeado-escuro (G1 3/10Y) e cinzento muito escuro (2,5Y 3/1); areno-argilosa; maciça; dura; firme; ligeiramente plástica e pegajosa; transição plana e gradual.
- 2Cgj2 80-160cm+, preta-esverdeada, (G1 2,5/10Y) e cinzento-esverdeado-escuro (G1 4/10Y); silto-argilosa; maciça; muito dura; muito firme; muito plástica e muito pegajosa.

RAÍZES - Abundantes no A e AE, raras no E e Bhs1 e poucas no Bhsj2, Bhsj3, 2Cgj1 e 2Cgj2

OBSERVAÇÕES - Tem forte cheiro de enxofre.

-Presença de pequenos bolsões (diâmetros variando de 1 a 8 cm), de areia principalmente no horizonte 2Cgj1.

-Presença de grande pedaço de raiz em decomposição no 2horizonte 2Cgj2

## DESCRIÇÃO GERAL

PERFIL C14

DATA- 20/08/2003

CLASSIFICAÇÃO- Espodossolo Ferrocárbico Hidromórfico típico

CLASSIFICAÇÃO AMERICANA- Oxyaquic Alorthod

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS- subparcela C14 da parcela do projeto “parcelas permanentes” do BIOTA, Ilha do Cardoso, Cananéia-SP.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL- Descrito e coletado em trincheira, em um pequeno declive, sob vegetação natural.

ALTITUDE- 3 metros.

LITOLOGIA- Sedimentos arenosos holocênicos .

FORMAÇÃO GEOLÓGICA- Sedimentos arenosos holocênicos.

PERÍODO- Holoceno.

MATERIAL ORIGINÁRIO- Sedimentos arenosos holocênicos .

PEDREGOSIDADE- Não pedregoso

ROCHOSIDADE- Não rochoso

RELEVO LOCAL- Plano.

RELEVO REGIONAL- Plano e suave ondulado com escarpas da Serra do Mar.

EROSÃO- Não aparente

DRENAGEM- Imperfeitamente drenado

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA- Floresta hidrófila de restinga

USO ATUAL- Reserva da vegetação nativa

CLIMA- Af, da classificação de Köppen.

DESCRITO E COLETADO POR- Felipe H. Gomes, Bruno Gherardi, Marta Molina.

## DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

- A 0-15cm, bruno-acinzentado muito escuro (10 YR 3/2, úmido) e cinzento-escuro (10YR 4/1); arenosa; grãos simples; solta; não plástico e não pegajoso; transição plana e clara.
- AE 15-20cm, cinzento-brunado-claro (10 YR 5/1, úmido) e cinzento claro (10YR 7/1, seco); arenosa; grãos simples; solta; não plástico e não pegajoso, transição plana e gradual.
- E 20-50cm, cinzento-claro (10YR 7/1, úmido) e branco (10YR 8/1); arenosa; grãos simples; solta; não plástico e não pegajoso, transição ondulada e abrupta.
- Bhs1 50-58cm, preto (10 YR 2/1, úmido) e bruno-acinzentado-escuro (10YR 4/2, seco); arenosa; grãos simples; não plástico e não pegajoso, transição plana e clara.
- Bhs2 50-75cm, preto (10 YR 2/1, úmido) e e bruno-acinzentado-escuro (10YR 3/2, seco); arenosa; maciça, fortemente cimentado; não plástico e não pegajoso, transição plana e gradual.
- Bhs3 75-100cm, bruno-escuro (10YR 3/3, úmido) e bruno (10YR 4/3, seco); arenosa; maciça, fortemente cimentado; não plástico e não pegajoso; transição plana e gradual.
- Bs1 100-120cm, bruno-amarelado-escuro, (10YR 4/4) e bruno (10YR 5/3); arenosa; grãos simples; solta; não plástico e não pegajoso; transição plana e gradual.
- Bs2 120-160, bruno-amarelado-escuro, (10 YR 4/4) e amarelo-oliváceo (2,5Y 6/6, seco); arenosa; grãos simples; solta; não plástico e não pegajoso; transição plana e gradual.
- Bs3 160-180cm, bruno-amarelado (10YR 5/4, úmido) e bruno-amarelado-claro (2,5Y 6/4); arenosa; grãos simples; solta; não plástico e não pegajoso.
- Bs4 180-210cm, bruno (10YR 4/3, úmido) e bruno (10YR 5/3, seco); arenosa; grãos simples; não plástico e não pegajoso.
- C 210-240cm, bruno-amarelado (10YR 5/4, úmido) e bruno-claro-acinzentado (10YR 6/3, seco); arenosa; grãos simples; não plástico e não pegajoso.

RAÍZES- Abundantes no A, freqüentes no AE, raras no E poucas e grossas no Bhs1 e Bhs2.

OBSERVAÇÕES - nos primeiro centímetro do horizonte Bhs1 aparece uma camada cinzento-escuro (2,5Y 4/1, úmido).

- Horizontes Bs4 e C coletados por tradagem

## DESCRIÇÃO GERAL

PERFIL J14

DATA- 20/08/2003

CLASSIFICAÇÃO- Organossolo Tiomórfico Sáprico típico.

CLASSIFICAÇÃO AMERICANA- Terric Sulfisaprist.

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS - subparcela J14 da parcela do projeto “parcelas permanentes” do BIOTA, Ilha do Cardoso, Cananéia-SP.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL- Descrito e coletado em trincheira local abaciado na parcela do projeto “Parcelas Permanentes- BIOTA”, situado no Parque Estadual da Ilha do Cardoso-SP.

ALTITUDE- 2 metros.

LITOLOGIA- Sedimentos arenosos holocênicos.

FORMAÇÃO GEOLÓGICA- Sedimentos arenosos holocênicos.

PERÍODO- Holoceno.

MATERIAL ORIGINÁRIO- Sedimentos arenosos holocênicos

PEDREGOSIDADE- Não pedregoso

ROCHOSIDADE- Não rochoso

RELEVO LOCAL- Plano.

RELEVO REGIONAL- Plano e suave ondulado com escarpas da Serra do Mar.

EROSÃO- Não aparente

DRENAGEM- Muito mal drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA- Floresta hidrófila de restinga

USO ATUAL- Reserva da vegetação nativa

CLIMA- Af

DESCRITO E COLETADO POR- Felipe H. Gomes, Bruno Gherardi, Marta Molina.

## DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

- Hd1 0-20cm, preto (5YR 2,5/1, úmido) e cinzento-muito-escuro (5 YR 3/1, seco); orgânica; maciça; plástica e pegajosa; transição plana e gradual.
- Hd2 20-50cm, preto (5YR 2,5/1, úmido) e cinzento-muito-escuro (5YR 3/1, seco); orgânica; maciça; muito plástica e muito pegajosa; transição plana e gradual.
- Hd3 50-60cm, bruno muito escuro (7,5YR 2,5/2, úmido) e bruno-avermelhado (2,5YR 4/3, seco); maciça; muito plástica e muito pegajosa; transição plana e gradual.
- Hd4 60-70cm, preto (5YR 2,5/1, úmido) e preto (7,5YR 2,5/1, seco); arenosa; maciça; plástica e pegajosa; transição plana e clara.
- Bhsj1 70-100cm, preto (10 YR 2/1, úmido) e bruno-escuro (7,5YR 3/3, seco); arenosa; maciça; fracamente cimentado; não plástico e não pegajoso; transição plana e gradual.
- Bhsj2 100-130cm+, preto, (10 YR 2/1, úmido) e bruno-acinzentado (10YR 5/2, seco); arenoso; grãos simples; solta; não plástico e não pegajoso.

RAÍZES - abundantes no Hd1, muitas no Hd2, Hd3 e Hd4

OBSERVAÇÕES - Cheiro de enxofre

-Perfil de drenagem muito difícil, mesmo utilizando-se de bomba

-local com muitas bromélias

## DESCRIÇÃO GERAL

PERFIL P14

DATA- 22/08/2003

CLASSIFICAÇÃO- Espodossolo Ferrocárbico Hidromórfico hístico

CLASSIFICAÇÃO AMERICANA- Histic Alaquod.

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS - subparcela P14 da parcela do projeto “parcelas permanentes” do BIOTA, Ilha do Cardoso, Cananéia-SP.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL- Descrito e coletado em trincheira em depressão, na parcela do projeto “Parcelas Permanentes- BIOTA”, situado no Parque Estadual da Ilha do Cardoso-SP.

ALTITUDE- 1 metro.

LITOLOGIA- Sedimentos arenosos holocênicos.

FORMAÇÃO GEOLÓGICA- Sedimentos arenosos holocênicos.

PERÍODO- Holoceno.

MATERIAL ORIGINÁRIO- Sedimentos arenosos holocênicos com mistura de material de granulometria mais fina.

PEDREGOSIDADE- Não pedregoso

ROCHOSIDADE- Não rochoso

RELEVO LOCAL- Plano.

RELEVO REGIONAL- Plano e suave ondulado com escarpas da Serra do Mar.

EROSÃO- Não aparente

DRENAGEM- Muito mal drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA- Floresta hidrófila de restinga

USO ATUAL- Reserva da vegetação nativa

CLIMA- Af

DESCRITO E COLETADO POR- Felipe H. Gomes, Bruno Gherardi, Marta Molina.

## DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

- Ho 0-12cm, bruno-avermelhado-escuro (5 YR 2,5/2, úmido) e bruno-avermelhado-escuro (5YR 3/2, seco); fibras; transição plana e clara.
- Hd 12-22cm, preto (10YR 2/1, úmido) e cinzento muito escuro (10YR 3/1, seco), orgânica; maciça; plástico e pegajoso, transição plana e abrupta.
- E1 22-40cm, cinza (10YR 5/1, úmido) e cinzento claro (10YR 7/1, seco); arenosa; grãos simples; solta; não plástico e não pegajoso, transição ondulada e clara.
- E2 40-60cm, bruno-acinzentado-muito-escuro (10 YR 3/2, úmido) e bruno-acinzentado (10YR 5/2, seco); arenosa; grãos simples; solta; não plástico e não pegajoso, transição irregular e clara.
- Bhsj1 60-95cm, bruno-escuro (10 YR 3/3, úmido) e bruno (10YR 4/3, seco); arenosa; grãos simples, solta; não plástico e não pegajoso; transição plana e gradual.
- Bhsj2 95-103cm, bruno-muito-escuro (10 YR 2/2, úmido) e bruno-amarelado-escuro (10YR 4/4, seco); arenoso; maciça, fortemente cimentado, não plástico e não pegajoso; transição plana e abrupta.
- 2Cgj 103-140cm+, cinzento-esverdeado-escuro (G1 3/10Y, úmido) e cinzento-esverdeado; (G1 5/10Y, seco); média; maciça, ligeiramente plástica e pegajosa.

RAÍZES- Abundantes no Ho e Hd , freqüentes no E1, poucas no E2 e raras no Bhsj1.

OBSERVAÇÕES- No horizonte 2Cgj ocorrem pequenos bolsões de areia de até 3 cm, e 1 bolsão de argila  
-Forte cheiro de enxofre



## DESCRIÇÃO GERAL

PERFIL- R14

DATA- 22/08/2003

CLASSIFICAÇÃO- Espodossolo Ferrocárbico Hidromórfico hístico

CLASSIFICAÇÃO AMERICANA- Duric Alaquod.

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS – Após a subparcela Q14, em direção ao manguezal adjacente à parcela, cerca de 40 metros. Parcela do projeto “parcelas permanentes” do BIOTA, Ilha do Cardoso, Cananéia-SP.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL- Descrito e coletado em trincheira em depressão, na transição entre a vegetação de restinga e o manguezal na parcela do projeto “Parcelas Permanentes- BIOTA”, situado no Parque Estadual da Ilha do Cardoso-SP.

ALTITUDE- 1 metro.

LITOLOGIA- Sedimentos arenosos holocênicos.

FORMAÇÃO GEOLÓGICA- Sedimentos arenosos holocênicos.

PERÍODO- Holoceno.

MATERIAL ORIGINÁRIO- Sedimentos arenosos holocênicos.

PEDREGOSIDADE- Não pedregoso

ROCHOSIDADE- Não rochoso

RELEVO LOCAL- Plano.

RELEVO REGIONAL- Plano e suave ondulado com escarpas da Serra do Mar.

EROSÃO- Não aparente

DRENAGEM- Muito mal drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA- Floresta hidrófila de restinga

USO ATUAL- Reserva da vegetação nativa

CLIMA- Af

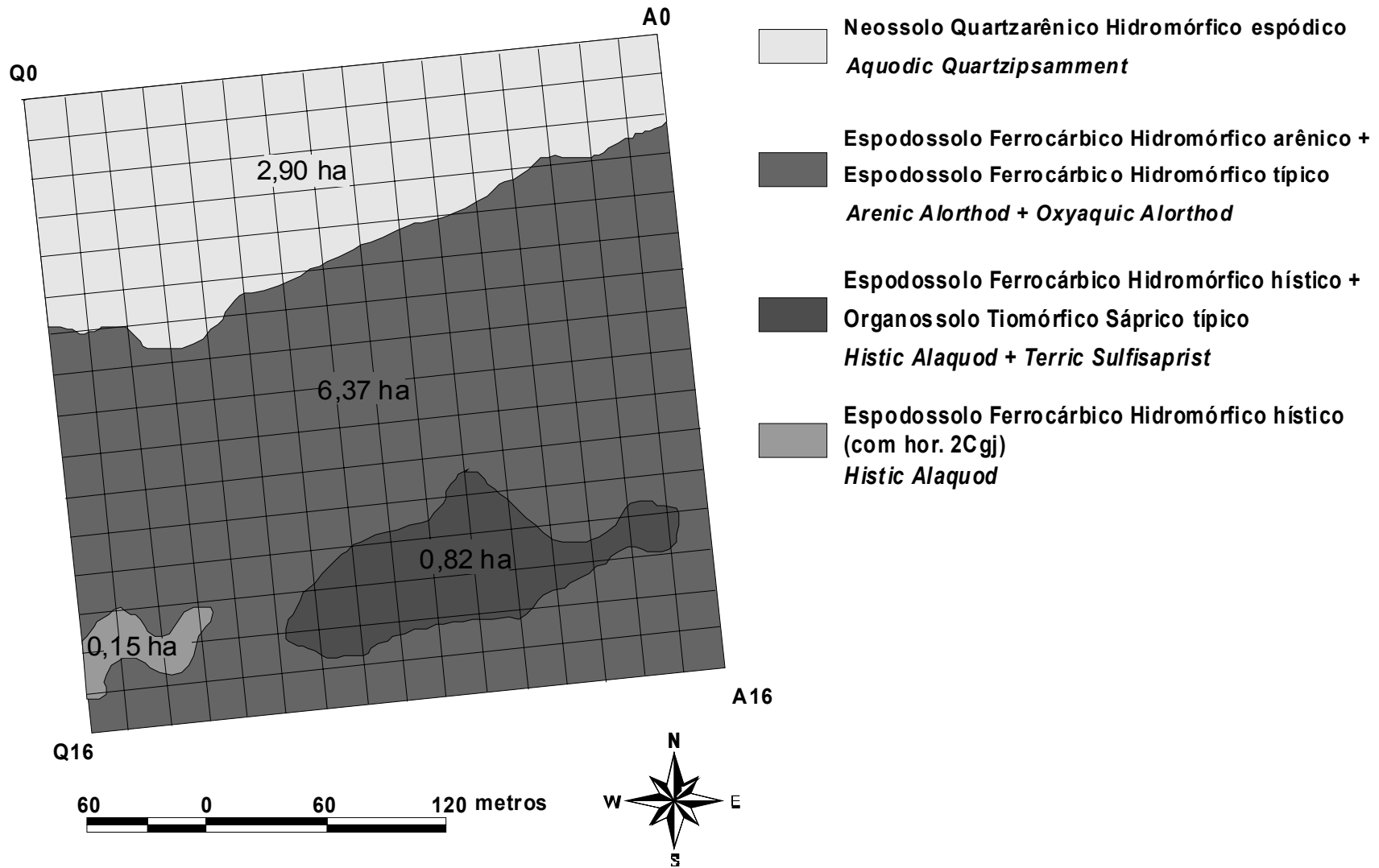
DESCRITO E COLETADO POR- Felipe H. Gomes, Bruno Gherardi, Marta Molina.

## DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

- Ho 0-7cm, bruno-avermelhado-escuro (5YR 2,5/2, úmido) e bruno-avermelhado-escuro (5YR 3/2, seco); fibras; transição plana e clara.
- A 7-14cm, bruno-acinzentado muito escuro (10YR 3/2, úmido) e cinzento (10YR 6/1, seco), arenosa; grãos simples; solta; não plástico e não pegajoso, transição plana e gradual.
- E 14-23cm, bruno-acinzentado muito escuro (10YR 3/2, úmido) e cinzento-brunado-claro (10YR 6/2, seco); arenosa; solta; grãos simples; não plástico e não pegajoso, transição plana e clara.
- Bhsj1 23-30cm, preto (10YR 2/1, úmido) e bruno-acinzentado-escuro (10YR 4/2, seco); arenosa; grãos simples; solta; não plástico e não pegajoso, transição plana e clara.
- Bhsmj2 30-45cm, preto (10YR 2/1, úmido) e bruno muito escuro (10YR 2/2, seco); arenosa; maciça, extremamente cimentado, não plástico e não pegajoso; transição plana e abrupta.
- Cgj 45-60cm+, cinzento-escuro (10YR 4/1, úmido) e cinzento (10YR 6/1, seco); arenoso; grão simples, não plástico e não pegajoso.

RAÍZES- Muitas no Ho e no A, comuns no AE

OBSERVAÇÕES- Forte cheiro de enxofre



Mapa ultradetalhado de solos da parcela sob vegetação de restinga do projeto: “diversidade, dinâmica e conservação em florestas do Estado de São Paulo: 40 ha de parcelas permanentes”. Classificação pelo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos e pela Soil Taxonomy (em itálico)

**ANEXO C – FOTOS DA AMOSTRAGEM**

A – Exemplo de tradagem realizada na análise estrutural; B – Amostragem envolvendo o trado com o tudo de PVC evitando assim a queda de material arenoso no orifício da coleta; C – Mesmo esquema, no fundo da trincheira e D – Tronco caído encontrado na trincheira H3, datado em 1500 anos A.P.