UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**Geobotânica por sensoriamento remoto em
Florestas de Restinga sobre sedimentos
holocênicos, Iguape-SP.**

Carolina Tuaf Soares

Orientador: Prof. Dr. Teodoro Isnard Ribeiro de Almeida

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Programa de Pós-Graduação em Recursos Minerais e Hidrogeologia

Versão Corrigida

SÃO PAULO

2012

Ficha catalográfica preparada pelo Serviço de Biblioteca e Documentação do
Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo

Soares, Carolina Tuaf
Geobotânica por sensoriamento remoto em
florestas de restinga sobre sedimentos holocênicos,
Iguape,-SP. - São Paulo, 2012
142 p.
Dissertação (Mestrado) : IGc/USP
Orient.: Almeida, Teodoro Isnard Ribeiro de
1. Geobotânica 2. Florestas 3. Restinga 4.
Sensoriamento remoto I. Título

Dedico este trabalho aos meus pais,

Soraia Tuaf e Eduardo Soares

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Teodoro Isnard Ribeiro de Almeida pelo conhecimento transmitido, orientação, oportunidade dada, amizade e apoio fundamental no desenvolvimento da minha formação acadêmica.

A Cibele Hummel do Amaral pela amizade, orientações e suporte em diversos momentos.

Aos funcionários do Instituto Florestal da Estação Ecológica Jureia-Itatins pela logística de campo. Principalmente, Ilson Lima do Prado e Plínio de Lima Alves pelo essencial apoio nas atividades de campo e aprendizados sobre a Planície do Una.

A Natasha Costa Penatti pela amizade e ajuda na revisão do texto.

A Prof^a. Dr^a. Rozely dos Santos pelo incentivo dado para estudar a Planície do Una e pelo empréstimo do material de campo.

A Maytê Benício Rizek, Helder Gustavo Marques e Roseli Andrienco pela ajuda e companhia de campo.

A Carolina Pedrotti e Leandro Rocha pela ajuda na elaboração dos mapas.

A Camila Jábali pela colaboração na edição final do texto.

Ao Fabio Maracci Formoso pelo apoio dado na CNEC WorleyParsons.

Ao Olavo Nard pelos ensinamentos estatísticos.

Ao Vinícius Ribau pela ajuda nos minerais pesados.

Ao Laboratório de Sedimentologia do Instituto de Geociências/USP pelo apoio nas análises de granulometria.

Ao Prof. Dr. Carlos Roberto de Souza Filho pela imagem ASTER concedida.

A CAPES pela concessão de seis meses de bolsa de estudo.

Ao Programa de Pós-Graduação de Recursos Minerais e Hidrogeologia pelo financiamento das análises de fertilidade de solo e de minha participação no XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto.

RESUMO

As Florestas de Restinga situam-se ao longo do litoral brasileiro. São florestas recentes com significativa biodiversidade desenvolvidas sobre sedimentos depositados durante as variações do nível do mar durante o Quaternário. Localizada no município de Iguape, Estado de São Paulo, a Planície do Una é caracterizada por cordões arenosos holocênicos e formações florestais diferenciadas que refletem as condições de granulometria, fertilidade do solo e nível de água impostas pela morfologia dos cordões. Baseado nas variações ambientais, o trabalho teve como objetivo identificar unidades geobotânicas através do processamento digital de imagens do sensor ASTER. A partir da interpretação de imagens-índices resultantes da razão de bandas do NIR e SWIR foram escolhidas oito áreas como possíveis unidades geobotânicas. Nestas áreas foram feitas amostragem de sedimento e solo, medição do nível de água, tomada de fotografia digital do dossel na altura do solo e levantamento florístico. Visando obter diferenças no comportamento espectral e do albedo da vegetação para o delineamento das unidades geobotânicas, o processamento digital seguiu a abordagem sistêmica. Para avaliar a similaridade das áreas foram calculados índices de diversidade, Índice de Jaccard, realizadas análises de agrupamento estatístico de dados de campo e dos números digitais dos pixels (DN). Utilizando a correlação de Pearson ($p^{\wedge}$), os dados de granulometria, fertilidade, nível de água e área foliar foram relacionados aos dados de sensoriamento remoto. Desta forma, foram estabelecidas quatro unidades geobotânicas na planície, conforme a granulometria, fertilidade de solo, nível de água, e dos aspectos relacionados à vegetação como altura média, densidade relativa, riqueza de espécies e famílias e similaridade florística. As composições coloridas derivadas do processamento digital de imagens foram capazes de discernir estas unidades. As correlações encontradas entre os dados de pixels e os parâmetros físicos analisados permitem afirmar que a granulometria e a fertilidade dos solos são importantes parâmetros na separabilidade das unidades por sensoriamento remoto. De acordo com os resultados obtidos, a geobotânica por sensoriamento remoto se mostrou capaz de indicar coberturas florestais diferenciadas, informando indiretamente da granulometria dos sedimentos subjacentes. Entretanto, para a definição de unidades geobotânicas há a necessidade de coleta de dados *in situ*, análise conjunta dos parâmetros que influenciam a vegetação e a interpretação conjugada das imagens derivadas do processamento digital, sendo a informação de albedo essencial. Diante do exposto, esta pesquisa contribui para o entendimento da geobotânica nas florestas atlânticas costeiras.

ABSTRACT

The Restinga forests are located along the Brazilian coast. These forests, recently developed on sediments deposited during Quaternary sea-level changes, have significant biodiversity. Located in Iguape, State of Sao Paulo, Brazil, the Una Plain is characterized by Holocene beach ridges and forest types that reflect different conditions of the sediment granulometry, soil fertility and water level imposed by the morphology of the ridges. Based on environmental variations, the study aimed to identify geobotanical units through digital processing of ASTER images. After the interpretation of index-images resulting from the ratio of the NIR/SWIR bands, eight geobotanically heterogeneous areas were selected. In these areas sediment and soil were sampled, water level was measured, digital photographs of the canopy was took from the ground level and floristic inventory was done. To enhance the vegetation spectral behavior and albedo for the delineation of the geobotany units, we followed the systemic approach in the digital images processing. The Jaccard index, diversity indices and Cluster analysis were calculated to evaluate the similarity of the areas using field data and the pixels digital numbers. Using Pearson correlation, the granulometry sediments, soil fertility, water level and leaf area data were linked to remote sensing data. Four geobotanical units were established in the plain of Una considering these physical and biotic parameters as texture, soil fertility, water level, vegetation height, relative density, species and families richness and floristic similarity. The colored compositions obtained from digital image processing were able to discern these units. The correlation (ρ) found between the pixel data and the physical parameters analyzed allow to state that soil fertility and, mainly, granulometry are important parameters in the separability of the proposed units by remote sensing. According to the results obtained, the Geobotany by Remote Sensing was capable to indicate different forest covers and, indirectly, the grain size of the underlying sediments. However, for the definition of geobotanical units it is necessary *in situ* data collection, analysis of the parameters that influence the vegetation and the combined interpretation of the images derived from digital processing, where the albedo is essential information. Considering the above presented, this research contributes to understanding the coastal Atlantic Forest.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
1.1. APRESENTAÇÃO	14
1.2. JUSTIFICATIVA	19
1.3. OBJETIVOS	20
1.4. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	21
2. GEOBOTÂNICA NA PLANÍCIE COSTEIRA DO UNA SOBRE SEDIMENTOS HOLOCÊNICOS, LITORAL SUL PAULISTA.....	23
2.1. INTRODUÇÃO.....	23
2.2. ÁREA DE ESTUDO.....	24
2.2.1. <i>Contexto Depositional Sedimentar da Planície Costeira</i>	28
2.2.2. <i>Solos e Fertilidade na Floresta de Restinga</i>	32
2.2.3. <i>Aspectos Botânicos</i>	33
2.3. A INFLUÊNCIA DOS SOLOS E DA GEOLOGIA NAS FLORESTAS TROPICAIS ÚMIDAS DA MATA ATLÂNTICA E A FORMA DE EXPRESSÃO GEOBOTÂNICA.	38
2.4. METODOLOGIA	41
2.4.1. <i>Definição da localização dos Perfis</i>	42
2.4.2. <i>Caracterização da Vegetação</i>	45
2.4.3. <i>Caracterização Sedimentológica</i>	47
2.4.4. <i>Análise de fertilidade dos solos</i>	48
2.4.5. <i>Análise de Agrupamento</i>	49
2.5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	49
2.5.1. <i>Localização e descrição dos perfis na Planície do Una</i>	49
2.5.2. <i>Composição Florística e Estrutura</i>	53
2.5.3. <i>Granulometria</i>	57
2.5.4. <i>Fertilidade de solos</i>	59
2.5.5. <i>Análise de Agrupamento</i>	62
2.6. CONCLUSÕES.....	66
3. GEOBOTÂNICA POR SENSORIAMENTO REMOTO EM FLORESTA DE RESTINGA SOBRE SEDIMENTOS HOLOCÊNICOS.....	68
3.1. INTRODUÇÃO.....	68
3.2. O COMPORTAMENTO ESPECTRAL DA VEGETAÇÃO E SUA DETECÇÃO POR SENSORES MULTIESPECTRAIS ORBITAIS DE BAIXA A MÉDIA RESOLUÇÃO ESPECTRAL	71
3.3. PLANÍCIE DO UNA: UNIDADES GEOBOTÂNICAS	74

3.4. METODOLOGIA	74
3.4.1. <i>Sensoriamento Remoto</i>	74
3.4.2. <i>Obtenção de dados de Área Foliar – Densidade do dossel</i>	82
3.4.3. <i>Correlação dos dados de sensoriamento remoto e geobotânicos</i>	82
3.4.4. <i>Análise de Agrupamento – Números Digitais</i>	84
3.5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	85
3.5.1. <i>Processamento Digital das imagens ASTER</i>	85
3.5.2. <i>Correlações entre unidades geobotânicas e sensoriamento remoto</i>	98
3.5.3. <i>Agrupamento entre unidades geobotânicas e sensoriamento remoto</i>	104
3.6. CONCLUSÕES.....	112
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS	115
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	118
APÊNDICE A.....	128
APÊNDICE B.....	131
APÊNDICE C.....	132
APÊNDICE D.....	133

LISTAS DE FIGURAS

Figura 1-1: Localização da Planície do Una.....	22
Figura 2-1: Mapa geológico simplificado da região do Morro de Jureia e arredores (Suguio, 2004), mostrando as principais unidades geológicas que ocorrem em superfície, além de localizações de alguns sambaquis (S) e furos de sondagem (F-030) executados pela NUCLEBRÁS na década de 70.	26
Figura 2-2: Mapa dos tipos de terrenos da Planície do Una (SMA, 2010).....	27
Figura 2-3: Estágios de evolução geológica durante o Quaternário tardio da região circundante ao Morro da Jureia e Barra do Una (Suguio & Martin, 1978b)	29
Figura 2-4: Evolução da progradação da planície do Una. A seta aponta a deriva longitudinal predominante para NE. As situações em 1962 e 2003 foram constatadas por meio de fotografias aéreas (modificado de Bentz, 2004).	31
Figura 2-5: Perfil esquemático mostrando a distribuição do substrato geológico e das fisionomias de vegetação associadas para o litoral paulista (Souza et al., 1997).....	33
Figura 2-6: Mapa da cobertura vegetal da Planície do Una e entorno (modificado de SMA, 2010)	37
Figura 2-7: Desenho esquemático do Perfil com a indicação dos cinco pontos de coleta de dados.....	42
Figura 2-8: Imagens-índice com informação de água foliar resultante da razão simples de banda (ASTER 3 / ASTER 4). A primeira (a), em tons de cinza e a segunda (b) em pseudo-cor com incorporação da imagem de albedo.	50
Figura 2-9: Localização dos perfis levantados no mapa topográfico da região da Planície do Una. Em vermelho, os limites da área de estudo, em azul os rios e em verde as elevações (Fonte: SMA, 2010).....	51
Figura 2-10: Descrição sucinta das áreas amostradas para a caracterização florística, granulométrica, da fertilidade do solo e do nível de água.	52
Figura 2-11: Distribuição granulométrica média dos perfis, em porcentagem (%).....	58
Figura 2-12: Dendograma de agrupamento dos Perfis da Planície do Una considerando a presença e ausência de espécies	62

Figura 2-13: Dendograma de agrupamento dos Perfis da Planície do Una considerando os aspectos físicos de granulometria, fertilidade do solo e nível de água.	63
Figura 2-14: Dendograma de agrupamento dos Perfis da Planície do Una considerando granulometria, fertilidade do solo, nível de água e medidas de vegetação (número de indivíduos, número de espécies, número de famílias, densidade relativa e altura média)....	64
Figura 3-1: Espectros dos principais pigmentos foliares. (simplificado de Baret, 1999).....	72
Figura 3-2: Espectros de absorção de proteína, celulose, hemicelulose, amido, açúcar e lignina, a partir dos dados de Baret, 1999.....	73
Figura 3-3: Espectros de absorção no intervalo de comprimento de onda das bandas do sensor ASTER (Perrota et al., 2008a).....	76
Figura 3-4: Fluxograma com sequência dos processamentos utilizados na detecção do comportamento espectral da floresta	81
Figura 3-5: Imagens dos índices de vegetação para pigmentos foliares.	86
Figura 3-6: Imagens dos índices de vegetação para água foliar	87
Figura 3-7: Imagens dos índices de vegetação para compostos bioquímicos foliares.....	89
Figura 3-8: Componentes principais resultantes de índices espectrais	92
Figura 3-9: Componentes principais resultantes de índices espectrais em pseudo-cor.....	93
Figura 3-10: Imagem com informação de albedo derivada da primeira componente (CP1) da Análise por Componentes Principais das bandas 1, 2 e 3 das imagens ASTER.....	94
Figura 3-11: Composições RGB utilizando imagens das componentes principais	96
Figura 3-12: Dendograma resultante dos índices de vegetação NDVI e B3/B2.....	105
Figura 3-13: Dendograma resultante do índice de vegetação B3/B1+B2 e B3/B1	106
Figura 3-14: Dendogramas resultantes dos índices de vegetação B3/B6, B3/B8 e B3/B5+B6+B7+B8.....	107
Figura 3-15: Dendogramas resultantes dos índices de vegetação NDWI e B3/B4	108
Figura 3-16: Dendogramas resultantes das componentes principais	109

Figura 3-17: Fotografias tomadas na altura do solo para o cálculo da percentagem de área foliar.....	112
--	-----

LISTA DE TABELAS

Tabela 2-1: Escala granulométrica de Wentworth.....	48
Tabela 2-2: Métodos de Ensaio das análises de fertilidade do solo	48
Tabela 2-3: Dados fitossociológicos dos perfis da Planície do Una.....	53
Tabela 2-4: Maiores Índices de Valor de Importância (IVI) dos perfis	55
Tabela 2-5: Medidas de diversidade dos perfis da Planície Costeira do Una	56
Tabela 2-6: Índices de Similaridade de Jaccard entre os perfis em ordem decrescente de similaridade.	57
Tabela 2-7: Nível de água medido dos cinco pontos de amostragem dos perfis. A média (M) é apresentada ao lado da nomenclatura do perfil	59
Tabela 2-8: Parâmetros gerais da fertilidade de solo	60
Tabela 2-9: Macronutrientes e micronutrientes do solo das formações florestais de Restinga na Planície do Una.	61
Tabela 2-10: Unidades geobotânicas encontradas na Planície do Una.	65
Tabela 3-1: Característica da imagem ASTER.....	75
Tabela 3-2: Índices de vegetação calculados para imagem ASTER	78
Tabela 3-3: Índices aplicados na Análise por Componentes Principais.....	79
Tabela 3-4: Matriz de autovalor da ACP expressando a porcentagem da variância total do conjunto de cinco índices calculados.	90
Tabela 3-5: Matriz de autovetores da ACP, expressando a ordenação da informação em cada componente principal.	90
Tabela 3-6: Correlações ($\rho^{\wedge}$) obtidas nos índices de vegetação, granulometria, fertilidade e nível de água das unidades geobotânicas	101
Tabela 3-7: Matriz de autovetores da ACP, expressando em porcentagem a ordenação da informação em cada componente principal.....	102
Tabela 3-8: Correlações ($\rho^{\wedge}$) componentes principais, granulometria, fertilidade e nível de água nas unidades geobotânicas.....	104

Tabela 3-9: Porcentagem média de Área Foliar dos perfis em ordem crescente.	111
--	-----

1. INTRODUÇÃO

1.1. Apresentação

A pesquisa enquadra-se na linha de pesquisa em **GEOBOTÂNICA**, iniciada no Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, ainda na década de 1990, pelo professor Teodoro Isnard Ribeiro de Almeida, notadamente após seu estágio de pós-doutorado na Universidade de Toulouse, no Laboratoire d'Écologie Terrestre.

A geobotânica pode ser entendida como a ciência que estuda a expressão fisionômica, morfológica, taxonômica, fenológica e fisiológica da vegetação em função do meio físico onde se estabelece. O sensoriamento remoto óptico, por sua capacidade de detectar variações do aspecto das coberturas vegetais e, ao mesmo tempo, alcançar amplas áreas, torna-se um complemento muito atrativo nos estudos das relações vegetação e geologia. Pode-se, assim, considerar a *geobotânica por sensoriamento remoto* como uma linha de pesquisa de importância nas regiões do planeta em que as coberturas vegetais impedem o sensoriamento remoto geológico estritamente baseado nas respostas espectrais de minerais e rochas. Considere-se, em acréscimo, que nas regiões tropicais, mesmo em situações de solo exposto e afloramentos rochosos, o intemperismo químico onipresente dificulta a aplicação de sensoriamento remoto geológico *sensu strictu*. E realmente, a utilização da geobotânica por sensoriamento remoto tem auxiliado a obtenção de informações sobre a geologia (e os solos) em programas de prospecção mineral em áreas cobertas por vegetação natural ou que estiveram cobertas até recentemente, exigindo nesse caso a utilização de imagens do sensor TM-Landsat das décadas de 1980 e 1990, como em Almeida et al. (2009).

As planícies costeiras são formadas por sedimentos de areias de praia e dunas, argilas e lamas orgânicas de mangues e sedimentos detríticos finos de origem fluvial (Almeida, 1964).

A vegetação desenvolvida nas planícies costeiras é bastante diversificada e reflete as condições ambientais pretéritas e atuais.

A área de estudo, a Planície Costeira do Una, localiza-se no município de Iguape, litoral sul do Estado de São Paulo e está inserida na Unidade de Conservação da Estação Ecológica Jureia-Itatins. Caracteriza-se por sedimentos holocênicos praias com cordões litorâneos regressivos alinhados paralelamente à linha de costa atual e depósitos lagunares associados ao rio Una do Prelado.

Os depósitos arenosos marinhos, decorrentes da variação do nível do mar, sustentam um conjunto de fitofisionomias características que vem sendo denominado na literatura e na legislação brasileira de *vegetação de restinga*.

O termo “restinga” foi proposto para designar cordões litorâneos regressivos que também são denominados como cristas praias, feixes de restinga ou planícies de restingas. Entretanto o termo tem sido aplicado de forma genérica para corpos de areias litorâneas de diferentes feições deposicionais (Suguio & Tessler, 1984; Bentz, 2004, Vilwoc et al., 2005).

Também de maneira generalista, o termo “restinga”, no sentido botânico e ecológico, tem sido utilizado como referência ao conjunto de vegetação associada à planície marinha ou até mesmo para designar o ecossistema costeiro (Senna & Sarmento, 1996; Souza et al., 1997; Souza & Capellari Jr., 2004, Sampaio et al., 2005; Gomes et al., 2007a; Gomes et al., 2007b; Lopes, 2007; Pimentel et al., 2007; Oliveira et al., 2009).

Neste sentido, Sugiyama (1993) define a *vegetação de restinga* como o conjunto de comunidades vegetais fisionomicamente distintas, sob influência marinha e flúvio-marinha, distribuídas em mosaico. Desta forma, a vegetação de restinga abrange desde a vegetação pioneira logo após a linha da maré alta, a vegetação herbáceo-arbustiva de jundú e as fitofisionomias florestais que se espalham pelos sedimentos arenosos presentes nas planícies costeiras, apresentando grande diversidade ecológica.

A denominação das fisionomias de vegetação de restinga ao longo do litoral brasileiro é bastante variada, com muitas terminologias regionais. A legislação brasileira, por meio da

Resolução CONAMA Nº 07 de 23 de julho de 1996 (Brasil, 1996), estabelece os parâmetros básicos para análise dos estágios de sucessão de vegetação de restinga no Estado de São Paulo. A resolução define quatro tipos de formações vegetais existentes e fisionomias associadas. As formações determinadas na resolução são: *Vegetação de Praias e Dunas*, *Vegetação Sobre Cordões Arenosos* e *Vegetação Associada às Depressões*. As fisionomias *Escrube*, *Floresta Baixa de Restinga*, *Floresta Alta de Restinga* são associadas à formação de *Vegetação Sobre Cordões Arenosos*. Relacionadas à *Vegetação Associada às Depressões*, estão as fisionomias de vegetação *Entre Cordões*, *Brejo de Restinga* e *Floresta Paludosa*. A fisionomia de *Floresta de Transição Restinga-Encosta* também é considerada como pertencente ao complexo de vegetação de restinga.

Por outro lado, as formações florestais costeiras, partindo da nomenclatura proposta por Veloso et al. (1991) de Classificação da Vegetação Brasileira Adaptada a um Sistema Universal, também podem ser denominadas como *Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas*. Esta denominação é justificada por razão de que as florestas costeiras desenvolvem-se em climas úmidos, sem períodos de estiagem, e também por conta da topografia plana das planícies litorâneas que reproduz dosséis mais densos, impedindo grande quantidade de luz difusa no interior da floresta, diferenciando sua estrutura das florestas de áreas montanhosas (Mantovani, 1993).

Neste viés, o Estudo Técnico para Recategorização de Unidades de Conservação e Criação do Mosaico de UCs Jureia-Itatins, publicado pela Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo (SMA) em 2010, utiliza a nomenclatura proposta por Veloso et al. (1991) e define para a planície de cordões arenosos do rio Una do Prelado as formações florestais: *Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas de porte baixo*, *Fl. Ombrófila Densa de Terras Baixas secundária média sobre cordões arenosos recentes* e *Fl. Ombrófila Densa de Terras Baixas, de Várzea ou Paludosa secundária média com caxeta*.

Diante do exposto cabe dizer que a vegetação de restinga abordada nesta Dissertação é referente somente às formações florestais, ou seja, as florestas desenvolvidas na planície

de cordões litorâneos, abrangendo as fisionomias de *Floresta Baixa de Restinga*, *Floresta Alta de Restinga* e *Floresta Paludosa* conforme definido na Resolução CONAMA nº 07/1996 (Brasil, 1996), ou então as fisionomias florestais indicadas acima, relativas ao Estudo Técnico publicado pela SMA. Em função das características do estudo as formações herbáceas pioneiras praiais e arbustivas (*escrube/jundú*) não estão consideradas.

Visto a morfologia da planície de cordões arenosos, a cobertura vegetal é associada a áreas temporariamente úmidas ou de várzea, a áreas permanentemente alagadas, a solos secos em baixas altitudes e áreas com intensa influência de aerossol marinho. Desta forma, observe-se que a floresta de restinga desenvolvida sobre os cordões litorâneos apresenta fisionomias vegetais distintas, refletindo condições de umidade e de fertilidade do solo que se modificam em escala reduzida, compondo um mosaico de tipos vegetacionais (SMA, 2010) como se pode observar nas imagens multiespectrais utilizadas.

Do ponto de vista geológico, são encontradas sutis diferenças nos sedimentos da Planície do Una. Os sedimentos ao longo da Transgressão Santos, com cordões litorâneos paralelos à linha de costa atual, possuem padrão de variação granulométrica transversal de afinamento do diâmetro médio e melhora de seleção rumo aos cordões mais recentes (Bentz, 2004). Em escala maior, há variabilidade granulométrica entre os cordões e as áreas inter-cordões. Nos cordões, tipicamente formados em momentos de ressaca marinha durante a fase regressiva, a granulometria é mais grossa que nas áreas inter-cordões.

Quanto à mineralogia, Bentz (2004) observou evidências de dissolução pós-deposicional crescente nos cordões mais antigos. Foi notada a tendência de enriquecimento dos minerais ultraestáveis, de arredondamento de cantos e arestas nos grãos de zircão e aumento do grau de alteração da estauroлита e diminuição de tamanho de hornblenda. Esta pequena variabilidade mineralógica, associada ao caráter essencialmente quartzoso das areias, deixa apenas a granulometria como parâmetro geológico passível de influenciar a cobertura vegetal.

Outros parâmetros do meio físico de ampla variabilidade, como a variação do nível de água do freático, a presença e a intensidade de água livre e a ativa ação do aerossol salobro na proximidade da praia, afetam notadamente as coberturas vegetais. Estas, em contraposição à monotonia geológica, apresenta ampla diversidade, visível em imagens de sensoriamento remoto óptico e, sobretudo, em campo.

O desenvolvimento da pesquisa foi baseado no processamento e interpretação de imagens do sensor ASTER (*Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer*) e em dados obtidos em campo. Estes dois conjuntos de dados permitiram abordar e responder ao menos parcialmente as duas questões da pesquisa que geraram esta dissertação:

- a) Há correlação entre as variações granulométricas dos cordões arenosos e as da vegetação?
- b) Podem imagens ASTER identificar estas variações?

Imagens de sensores multiespectrais de baixa a média resolução espectral tem demonstrado a capacidade em discernir discretas variações na cobertura vegetal, mesmo em situações de extrema monotonia, em plantação de cana de açúcar (um único clone) em terreno horizontal e solos homogêneos (e.g. Almeida et al., 2006). Pesquisas encerradas ou em andamento, dentro da equipe em que se insere esta dissertação, demonstram a potencialidade da ferramenta em realçar diferenças espectrais e de albedo entre formações vegetais de grande diversidade sobre solos desenvolvidos sobre diferentes litologias.

A partir da identificação de áreas homólogas diferenciadas na planície foi realizado levantamento florístico para avaliar a similaridade da vegetação existente. Para caracterizar o meio físico em questão foram feitas análises granulométricas dos sedimentos holocênicos, análise da fertilidade do solo e medição do nível de água.

1.2. Justificativa

As relações entre o meio físico e a vegetação são amplamente testadas na ciência, pois estudar as inter-relações tem sua relevância na compreensão da paisagem.

Estudos sobre a influência do solo e geologia na floresta de Mata Atlântica são ainda escassos, principalmente nas formações florestais costeiras. Estudos desta natureza começaram ser elaborados mais expressivamente na última década.

Na busca de obter informações sobre geologia e solo em áreas cobertas por florestas, a análise espectral da vegetação através das técnicas de sensoriamento remoto se torna essencial, visto que não é possível obter diretamente a resposta espectral dos solos e rochas.

Nesse viés, o desenvolvimento de estudos geobotânicos por sensoriamento remoto pode auxiliar nos mapeamentos geológicos e florestais, nos diagnósticos e zoneamentos geoambientais e nos monitoramentos agrícolas e florestais.

A aplicação sensoriamento remoto na Planície do Una é relevante devido à extensão territorial da planície, o difícil acesso e a baixa capacidade de deslocamento em razão da existência de áreas permanente e temporariamente alagadas.

O sensoriamento remoto também apresenta a vantagem de ser uma técnica não-intrusiva, já que o sensor registra passivamente a energia eletromagnética refletida ou emitida pelo objeto ou área de interesse (Jensen, 2011). Assim, a utilização da técnica vai ao encontro dos propósitos das unidades de conservação de proteção integral.

Ainda que imagens orbitais sejam amplamente utilizadas e presentes na literatura bem como o modelo geral de processamento de imagens, o presente estudo visa contribuir para o aprimoramento metodológico da aplicação da geobotânica em florestas neotropicais.

1.3. Objetivos

A principal meta desta Dissertação é identificar expressões geobotânicas na Planície do Una através de sensoriamento remoto com apoio de dados de campo. Visando orientar os rumos da pesquisa na busca deste objetivo, questões foram colocadas:

- I. Como se difere a floresta de restinga nos cordões arenosos da planície do Una?
- II. A granulometria dos sedimentos e a fertilidade do solo variam conforme a vegetação?
- III. O comportamento espectral e de albedo do dossel da vegetação da Planície do Una identificam as variações florestais existentes?

Para encontrar respostas a tais perguntas e delinear unidades geobotânicas, foram estabelecidas as seguintes atividades:

1. Aplicar o Método Sistemático para realçar as respostas de diferentes feições geobotânicas em imagens ASTER;
2. Realizar levantamento florístico e fitossociológico na Planície do Una através de amostragem por parcelas em áreas selecionadas a partir da interpretação de imagens ASTER processadas como acima;
3. Caracterizar pontualmente os sedimentos holocênicos quanto à granulometria;
4. Analisar a fertilidade do solo e nível de água;
5. Avaliar a resposta espectral do dossel da vegetação através de índices espectrais consagrados na literatura e;
6. Com o cruzamento dos dados acima, estabelecer metodologia para estudos em geobotânica no litoral sul do Estado de São Paulo utilizando sensores multiespectrais de média a baixa resolução e trabalhos de campo.
7. Avançar no entendimento das relações granulometria ↔ cobertura florestal ↔ imagens multiespectrais.

1.4. Localização da área de estudo

A Planície do Una localiza-se no município de Iguape, litoral sul do Estado de São Paulo, e está inserida na Estação Ecológica Jureia-Itatins (EEJI), unidade de conservação de proteção integral (Figura 1-1).

A região da EEJI é um dos poucos remanescentes florestais com vegetação de restinga e feições geomorfológicas bem preservadas no litoral paulista (Bentz, 2004; Souza & Capellari Jr, 2004).

A área da Planície do Una compreende aproximadamente 7.500 ha, e é delimitada pelo rio Una do Prelado, também conhecido como rio Comprido, e pelo Morro do Grajaúna. A praia do Una apresenta aproximadamente 15 km de extensão. O acesso à área é por meio do município de Peruíbe através da estrada asfaltada que leva ao bairro do Guaraú, em seguida deve-se tomar uma estrada de terra até o bairro de Barra do Una e atravessar de barco o rio Una do Prelado – limite da EEJI. A travessia do rio e o ingresso à Praia do Una é feito de forma controlada pela Fundação Florestal e somente pesquisadores autorizados e moradores tem permissão.

O clima do litoral Sul de São Paulo é definido como “Clima Tropical úmido controlado por sistemas tropicais e polares” situado em latitudes subtropicais, permanentemente úmido pela proximidade com o oceano, pela atuação dos sistemas atmosféricos e, sobretudo, pela atividade frontal (SMA, 2010; CBH-RB, 2003). As temperaturas apresentam médias anuais entre 21 e 23°C nas planícies e entre 17 e 19°C nas áreas mais elevadas das serras e morros próximos. As amplitudes térmicas são em torno de 7°C entre o mês mais quente (fevereiro) e o mês mais frio (julho), em grande parte devido à vizinhança oceânica (SMA, 2010).

O período mais chuvoso vai de setembro a março sendo que janeiro é o mês de maior pluviosidade, com volume entre 220 a 360 mm, seguido por fevereiro e março. O período menos chuvoso ocorre entre os meses de abril a agosto, o qual a precipitação média gira em torno de 50 mm, podendo variar de 40 a 100 mm no mês menos chuvoso (agosto)

(SMA, 2010; CBH-RB, 2003). A precipitação normal anual é cerca de 1900 mm e a umidade relativa do ar próxima de 70% (CBH-RB, 2003).

Figura 1-1: Localização da Planície do Una.

2. GEOBOTÂNICA NA PLANÍCIE COSTEIRA DO UNA SOBRE SEDIMENTOS HOLOCÊNICOS, LITORAL SUL PAULISTA

2.1. Introdução

A vegetação de Restinga é uma das mais recentes e importantes formações associadas à Mata Atlântica situada nas planícies costeiras do litoral brasileiro. Segundo Sugiyama (1993) abrange desde a vegetação pioneira logo após a linha da maré alta, a vegetação herbáceo-arbustiva de jundú e as fitofisionomias florestais que se espalham pelas planícies costeiras recobertas por sedimentos arenosos predominantemente praias, apresentando grande diversidade ecológica. Sempre sobre sedimentos quaternários, a vegetação de restinga, se distribui num gradiente vegetacional desde a praia até as serranias costeiras, apresentando diversas fisionomias relacionadas às diversas feições geomorfológicas tais como, terraços marinhos, planície marinha com cordões litorâneos, depressões intercordões, planície lagunar, planície flúvio-marinha, planície de maré, praias e dunas (SMA, 2010).

A planície costeira do litoral sul paulista está relacionada aos depósitos marinhos derivados das flutuações do nível relativo do mar ocorridas no Pleistoceno (123.000 antes do presente) e no Holoceno (5.100 antes do presente), segundo Suguio & Martin (1978b). O sistema deposicional costeiro progradante da Planície do Una do Prelado é homogêneo, com desenvolvimento monótono de cordões regressivos contínuos e paralelos entre si e a linha de praia atual, constituídos de areias finas a muito finas, depositados durante a Transgressão Santos, do Holoceno (Bentz, 2004).

Mesmo com a uniformidade do sistema deposicional, a Planície do Una apresenta ambientes muito diferenciados. A planície ondulada formada pela alternância de cordões alongados possui depressões intercordões que podem permanecer alagadas durante o ano e apresentar canais de drenagem ou de maré. Nos alagadiços intercordões ocorre a deposição de pelitos e matéria orgânica (SMA, 2010).

A cobertura florestal associada aos alinhamentos reflete as condições de umidade e de fertilidade do solo impostas pela morfologia do terreno que se modifica em escala reduzida, produzindo diferentes fisionomias florestais (SMA, 2010).

Assim, nas formações de florestais de restinga sobre os cordões litorâneos, a geobotânica auxilia na compreensão da espacialidade dos elementos da paisagem e na detecção de padrões da cobertura florestal relacionadas ao solo, geologia e drenagem.

Nesse sentido, o presente estudo teve por finalidade identificar unidades geobotânicas em Florestas de Restinga sobre sedimentos holocênicos da Planície Costeira do Una, quanto à granulometria, profundidade do nível de água, fertilidade dos solos, composição e estrutura florística.

2.2. Área de Estudo

Pertencente à Província Costeira (Almeida, 1964), caracterizada por Domínios Montanhosos e Planícies Costeiras, a Planície do Una situa-se na Baixada Litorânea do Ribeira (Souza & Souza, 2004).

O entorno da Planície do Una é composto pela Serrania do Itatins (1.100 m) e morros costeiros, como o Morro da Jureia (870 m) e Morro do Grajaúna (186 m), que são compostos por rochas proterozóicas granito-gnássicas e migmatíticas (Passarelli et al., 2004; Souza & Souza, 2004).

A Planície do Una insere-se no setor Cananéia – Iguape, que compreende um extenso complexo estuarino-lagunar com planícies de maré, praias, dunas e banhados, formados por sedimentos de origem lagunar e marinha depositados durante os eventos de transgressão e regressão marinha ocorridos no Pleistoceno e no Holoceno (Suguio & Martin, 1978a).

A Transgressão Cananéia ocorreu no Pleistoceno há aproximadamente 123.000 anos A.P. (antes do presente). Os sedimentos depositados no período de transgressão/regressão pleistocênico constituem a Formação Cananéia e afloram nas porções mais internas da planície costeira nos Terraços marinhos próximos ao embasamento cristalino (7 a 15 m de

altitude), e nas áreas mais externas e próximas do mar (5 a 6 m de altitude), sendo nesta comum a presença de cordões litorâneos com grandes amplitudes (SMA, 2010).

A Transgressão Santos ocorreu no Holoceno, há cerca de 5.000 A.P. Os sedimentos arenosos depositados no período de transgressão/regressão marinha constituem a Formação Ilha Comprida (Suguio & Martin, 1978a). Os sedimentos holocênicos formaram a Planície marinha com cordões e depressões situadas entre 3 a 8 m de altitude, sendo os cordões mais elevados e afastados da praia os mais antigos (SMA, 2010).

Apesar das unidades Fm. Cananéia e Fm. Ilha Comprida serem frequentemente utilizadas na literatura brasileira, o critério de distinção entre as unidades é cronológico e não litoestratigráfico (Giannini et al., 2009). A espacialização das unidades geológicas na região do Morro da Jureia pode ser visualizada na Figura 2-1.

Figura 2-1: Mapa geológico simplificado da região do Morro de Jureia e arredores (Suguio, 2004), mostrando as principais unidades geológicas que ocorrem em superfície, além de localizações de alguns sambaquis (S) e furos de sondagem (F-030) executados pela NUCLEBRÁS na década de 70.

A Planície do Una é formada por sedimentos marinhos e lagunares da Formação Ilha Comprida. A planície marinha se caracteriza como área plana, discretamente ondulada pela alternância de cordões marinhos longos e depressões intercordões, possui áreas alagadiças e pantanosas paralelas à linha de costa, podendo ou não estar associada a canais de drenagem. Nas depressões intercordões comumente se acumulam depósitos paludiais (Villwock et al., 2005). A planície lagunar é constituída por areias finas intercaladas com argila e silte, associadas a áreas planas alagadiças e pantanosas, formadas pela colmatação de antigas lagunas (Figura 2-2) (SMA, 2010).

Figura 2-2: Mapa dos tipos de terrenos da Planície do Una (SMA, 2010).

Os cordões litorâneos da Planície do Una apresentam variação transversal quanto à granulometria e mineralogia. No sentido dos cordões mais antigos há tendência de enriquecimento em minerais ultraestáveis. Já no sentido dos cordões mais recentes ocorre afinamento do diâmetro médio do grão e melhora de seleção (Bentz, 2004).

Diferenças granulométricas semelhantes às encontradas por Bentz (2004) para a área de estudo, foram observadas por Giannini et al. (2003) na Ilha Comprida/SP, por De Mio & Giannini (1997) em Itanhaém/SP e por Giannini et al. (1997) em Paranaguá/PR em planícies

litorâneas de mesma ambiência geológica, considerando tanto perfis longitudinais como transversais.

2.2.1. Contexto Depositional Sedimentar da Planície Costeira

A história evolutiva da área compreendida entre o Morro da Jureia e Barra do Una, como proposta por Suguio & Martin (1978b), apresenta seis estágios de ocorrência entre o Pleistoceno Superior e o fim da transgressão do Holoceno, quando o nível do mar atingiu posição próxima à atual (Figura 2-3):

- Primeiro estágio: durante o máximo da Transgressão Cananéia associada ao interglacial Sangamon ou Riss-Würm, o mar atingiu a base da serra do Mar. Nesta fase, os sedimentos argilo-arenosos transicionais sucedidos por areias litorâneas transgressivas recobriram os sedimentos continentais da Fm. Pariquera-Açu;
- Segundo estágio: com o início da fase regressiva, foram sedimentados cordões litorâneos no topo dos depósitos arenosos;
- Terceiro estágio: no transcorrer desta fase, o nível do mar atingiu cotas dezenas de metros inferiores ao atual (ao redor de 18 mil A.P.), com isso, a drenagem erodiu de modo relativamente profundo os sedimentos depositados durante a Transgressão Cananéia, formando vales;
- Quarto estágio: durante a transgressão holocênica (Transgressão Santos), o mar penetrou na zona compreendida entre o Morro da Jureia e Barra do Una, formando uma grande baía. Este fato seria atestado pela presença de sambaquis formados por moluscos característicos de fundo de baías e lagunas de água salgada;
- Quinto estágio: durante a fase subsequente ao nível do máximo holocênico, há 5.150 anos A.P., formou-se uma ilha-barreira entre o morro da Jureia e o morro da Barra do Una, transformando a antiga baía em uma ampla laguna. Enquanto isso, as partes mais altas da Fm. Cananéia foram erodidas pelo mar e os sedimentos redepositados para formar depósitos transicionais e marinhos holocênicos;

- Sexto estágio: durante o retorno do nível do mar para a situação atual, cordões litorâneos regressivos foram formados. As flutuações do nível relativo do mar, durante a parte final da última transgressão produziram várias gerações de alinhamentos. A paleobaía convertida em paleolaguna foi gradualmente perdendo o contato com o oceano aberto e o extenso sistema lagunar, com águas cada vez menos salgadas, foi sendo assoreado por sedimentos areno-argilosos, frequentemente ricos em matéria orgânica vegetal.

Figura 2-3: Estágios de evolução geológica durante o Quaternário tardio da região circundante ao Morro da Jureia e Barra do Una (Suguio & Martin, 1978b)

Por outro lado, Souza & Souza (2004), baseados em registros sedimentares marinhos encontrados nas planícies costeiras paulistas, dividem a evolução da região do Una em quatro fases associadas a variações do nível relativo do mar.

- Fase Morro do Icapara (Pleistoceno antes de 123.000 anos A.P.): representada por restos de terraços marinhos elevados a cerca de 13 m acima do nível do mar atual;
- Fase Cananéia (Pleistoceno entre 123.000 a 15.000 anos A.P.): com a regressão marinha subsequente, associada à glaciação Würn e /ou à forte progradação da linha de costa, dezenas de metros de sedimentos praias foram acumulados nas planícies

costeiras. Os depósitos marinhos da Fm. Cananéia afloram em faixas descontínuas junto às serras do Bananal e do Itatins.

- Fase Santos (Holoceno): no Estado de São Paulo, o mar atingiu um nível próximo ao atual por volta de 6.000-6.800 anos A.P. Nessa época desenvolviam-se sistemas de ilhas-barreiras que isolavam copos lagunares à sua retaguarda. O nível do mar continuou subindo até atingir aproximadamente quatros metros acima do atual, há cerca de 5.000 anos A.P. (Transgressão Santos de Suguio & Martin, 1978b). Entre 5.100 anos A.P. e a época atual, o processo de progradação da linha de costa com o abaixamento do nível relativo do mar resultou na intensa deposição de sedimentos marinhos-praiais e eólicos associados nas planícies costeiras paulistas. Afloram como uma sucessão de alinhamentos de cordões litorâneos paralelos à linha de costa;
- Fase Contemporânea: a evolução das planícies costeiras paulistas está associada à dinâmica atual de sedimentação de todo ecossistema desde encosta da Serra do Mar até as praias. A variação do nível relativo do mar, a sedimentação continental e a atuação de processos tectônicos quaternários e atuais no litoral paulista, juntamente com atividades antrópicas, fazem parte do contexto dinâmico.

Bentz (2004) descreve a evolução da planície do Una-Jureia no Holoceno. O sistema estuarino-lagunar desenvolvido na Planície do Una durante o máximo transgressivo holocênico, culminou na formação do corpo lagunar à retaguarda de ilha ou barra-barreira (baia-laguna). Com o início do rebaixamento do nível do mar, começa a progradação da costa com o desenvolvimento monótono dos cordões litorâneos, conforme a Figura 2-4.

A desembocadura lagunar é mantida no extremo nordeste da barreira (área do atual rio Una do Prelado), durante toda sua evolução, influenciada basicamente pela deriva longitudinal predominante para NE (Bentz, 2004).

Figura 2-4: Evolução da progradação da planície do Una. A seta aponta a deriva longitudinal predominante para NE. As situações em 1962 e 2003 foram constatadas por meio de fotografias aéreas (modificado de Bentz, 2004).

2.2.2. Solos e Fertilidade na Floresta de Restinga

Os solos encontrados nas Planícies Litorâneas, de maneira geral, apresentam baixa fertilidade, teores muito baixos de bases e acidez elevada (Gomes, 2005, Moreira, 2007; Casagrande et al., 2010).

Geralmente, nas baixadas litorâneas, são encontrados Gleissolos, Neossolos Quartzarênicos, Organossolos e Espodossolos. Os processos pedogenéticos envolvidos são condicionados pela saturação hídrica, feições do relevo e quantidade de matéria orgânica disponível (Moreira, 2007).

Quanto aos solos presentes na Planície do Una, estes são classificados como Espodossolos ferrocárbicos (SMA, 2010). Os horizontes espódicos sob vegetação de restinga apresentam caulinita como principal mineral de fração argila e quartzo e feldspato na fração silte (Gomes et al., 2007b).

Nos solos de florestas de Restinga é comum a ocorrência de podzolização, processo que consiste na translocação de material orgânico e Al, acompanhado ou não de Fe, dos horizontes superficiais para o horizonte subsuperficial (Gomes et al., 2007a). Na gênese do solo, o Al participa do processo, promovendo a precipitação química, a qual é acentuada devido à presença do lençol freático elevado (Gomes, 2005).

Casagrande et al. (2010) afirmam que os principais parâmetros da fertilidade do solo de florestas de Restinga estão associados à acidez elevada, aos teores de matéria orgânica e à baixa reserva de nutrientes.

As feições dos cordões litorâneos e das depressões intercordões da Planície do Una condicionam a umidade, drenagem e o acúmulo de matéria orgânica no solo, podendo reproduzir condições diferenciadas de fertilidade do solo ao longo da planície.

2.2.3. Aspectos Botânicos

A vegetação de Restinga, como genericamente é chamada, habita as planícies costeiras brasileiras sobre sedimentos arenosos marinhos associados às transgressões do Pleistoceno e Holoceno e é considerada um dos mais importantes conjuntos de fisionomias associados à Mata Atlântica, sendo responsável pela estabilização e manutenção do equilíbrio entre os ecossistemas existentes nas planícies costeiras e na Serra do Mar (Souza et al., 1997).

De modo geral, as florestas atlânticas apresentam composição florística e estrutura dependentes de características geológicas, geomorfológicas, pedológicas e climáticas, pretéritas e atuais, de variações locais, da contribuição de floras diversas e da dinâmica da vegetação (Mantovani, 1993).

A Figura 2-5 ilustra a associação entre as fisionomias de Restinga definidas na resolução e os depósitos sedimentares de acordo com a Resolução CONAMA nº 07/1996 (Brasil, 1996).

Figura 2-5: Perfil esquemático mostrando a distribuição do substrato geológico e das fisionomias de vegetação associadas para o litoral paulista (Souza et al., 1997)

As formações florestais de vegetação de Restinga também são denominadas como Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas, que se diferencia da Floresta Ombrófila Densa em

altitude, geologia e dossel (Mantovani, 1993). A Floresta Ombrófila Densa encontra-se no embasamento cristalino, geralmente acima de 20 m de altitude (Souza et al., 1997; SMA, 2010).

A área da EEJI é um dos últimos remanescentes florestais do Estado de São Paulo que apresenta gradientes vegetacionais conservados desde a praia até as Serras Costeira (SMA, 2010). As variações de relevo, solo, geologia e de alcance da maresia promovem a ocorrência de padrões vegetacionais diferenciados ao longo de gradientes longitudinais e de altitude.

A Planície do Una apresenta formações florestais sobre os cordões arenosos regressivos depositados no Holoceno. Por razão da morfologia ondulada dos cordões, as depressões intercordões da planície estão sujeitas a alagamentos sazonais ou permanentes, reproduzindo peculiaridades na sua composição florística, como a presença espécies mais tolerantes às inundações (Sugiyama, 1993; Lopes, 2007).

Conforme observações obtidas em campo e de acordo com o Estudo Técnico publicado pela SMA (2010), a floresta desenvolvida nos alinhamentos arenosos possui padrões de vegetação diferenciados. Seguindo a denominação da Resolução CONAMA nº 07/1996 (Brasil, 1996), as porções mais elevadas e drenadas dos cordões apresentam fisionomias de *Floresta Baixa de Restinga* e *Floresta Alta de Restinga*. Nas regiões menos drenadas, depressões intercordões e na planície lagunar, ocorrem feições associadas às fisionomias de *Floresta Paludosa*. Partindo da definição adotada no Estudo Técnico (SMA, 2010) e, mais especificamente, à planície do Una, a área de estudo apresenta as seguintes fisionomias:

- *Zonação de praia às Formações Arbóreas da Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas*

Zonação determinada por marés, ação de ventos oceânicos e tempo de deposição dos sedimentos marinhos, compondo uma transição de vegetação de praia (herbácea), ante-dunas, dunas e pós-dunas (herbácea e subarbustiva), jundú (arbustivo) e *Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas de porte baixo* em cordões arenosos.

- *Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas*

Situada sobre a planície litorânea, em depósitos marinhos antigos, em áreas de solo seco, entre 0m a 20m de altitude. Esta fisionomia corresponde a porções mais conservadas da floresta, onde a estrutura florestal é bastante rica e diversa semelhante ao da Floresta Ombrófila Densa Submontana.

- *Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas secundária média sobre cordões arenosos recentes*

Estádio secundário médio e/ou tardio da sucessão da *Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas sobre cordões arenosos recentes*. Este estágio é dominado por árvores e arvoretas secundárias, de porte médio a alto, heliófitas ou que se desenvolvem em clareiras, que formam florestas com estruturação simplificada a complexa. Esta classe incorpora trechos de Florestas Ombrófilas Densas de Terras Baixas sobre cordões arenosos ou entre cordões arenosos, de Várzea e Paludosas.

- *Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas, de Várzea ou Paludosa secundária média com caxeta*

Entre as classes de associadas às Florestas de Várzea ou Paludosa secundárias podem ocorrer extensas áreas com a presença predominante de Caxeta (*Tabebuia cassinoides*). Estas áreas são comumente denominadas Caxetais.

Fazendo um paralelo entre as denominações estabelecidas na Resolução CONAMA nº 07/1996 (Brasil, 1996) e as descritas no Estudo Técnico (SMA, 2010), a *Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas de porte baixo* é equivalente a *Floresta Baixa de Restinga*; a *Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas sobre cordões arenosos recentes* é análoga a *Floresta Alta de Restinga*; a *Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas, de Várzea ou Paludosa* é equivalente a *Floresta Paludosa*. O mapa da Figura 2-6 espacializa os tipos de cobertura vegetal e estádios sucessionais da área de estudo e entorno.

Figura 2-6: Mapa da cobertura vegetal da Planície do Una e entorno (modificado de SMA, 2010)

2.3. A influência dos solos e da geologia nas florestas tropicais úmidas da Mata Atlântica e a forma de expressão geobotânica.

A influência dos solos e da geologia nas florestas da Mata Atlântica é relativamente pouco estudada, embora muitos levantamentos florísticos e fitossociológicos realizados neste bioma justifiquem suas diferenças em razão das condições ambientais.

Scudeller et al. (2001) dividiram a Mata Atlântica em dois grandes grupos florísticos-estruturais, a Província Costeira e o Platô Atlântico. Os autores encontraram padrões de distribuição restrita de espécies e alta variação local na abundância entre diferentes populações, características que podem ser atribuídas a condições ambientais distintas de uma localidade para outra. Sendo assim, o padrão de distribuição das espécies de Mata Atlântica está relacionado com a predominância de determinadas espécies em nichos ecológicos restritos juntamente com a presença de espécies generalistas de ampla distribuição.

Sztutman & Rodrigues (2002) mapearam três tipos florestais no Parque Estadual da Campina do Encantado (PECE), no município de Pariquera-Açu, localizado a 39 m de altitude, distante a 20 km da linha do mar, no sudeste do Estado de São Paulo. Os tipos florestais são claramente associados a três diferentes solos/substratos: turfeira pouco profunda (Floresta Turfosa Rasa), turfeira profunda (Floresta Turfosa Profunda) e solo firme e seco (Floresta sobre Morrote). Foi encontrada alta similaridade florística (Índice de Jaccard) da Floresta sobre Morrote com florestas sobre o embasamento cristalino em Pariquera-Açu ($J\alpha\beta = 0,460$), e baixa similaridade com floresta sobre planície litorânea em Cananéia ($J\alpha\beta = 0,103$). Já a Floresta Turfosa Rasa tem, ao contrário, similaridade alta com floresta sobre planície litorânea em Cananéia ($J\alpha\beta = 0,328$) e baixa com florestas sobre embasamento cristalino em Pariquera-Açu ($J\alpha\beta = 0,088$). Sendo as florestas do PECE similares às florestas de planície litorânea e de terrenos cristalinos da baixa encosta da Serra do Mar, a influência da proximidade geográfica não prepondera sobre a condição ambiental, que se mostra de forma muito vigorosa.

Sugiyama (1993) estudou duas formações de floresta de Restinga na Ilha do Cardoso e verificou que as características fisionômicas estão relacionadas às condições ambientais, notadamente ao maior ou menor acúmulo de matéria orgânica. De acordo com a autora, as características do solo refletem-se na vegetação, imprimindo características tais como: escleromorfismo, nanismo, pequena diversidade específica e sistema radicular superficial.

Lopes (2007) relacionou coberturas vegetais e substrato geológico em área de Restinga em Bertioga-SP. Os resultados revelaram uma estreita relação entre os diferenciados depósitos sedimentares, o nível do lençol freático (NA) e as fitofisionomias vegetais. As áreas de cordões litorâneos holocênicos encontram-se associadas à fisionomia de Floresta Baixa de Restinga. A fisionomia de Floresta Alta de Restinga está relacionada, além dos cordões litorâneos, aos terraços marinhos holocênicos, aos terraços baixos e altos pleistocênicos e depósitos fluviais. No levantamento florístico foram encontradas 90 espécies em Floresta Baixa de Restinga e 162 espécies em Floresta Alta de Restinga, sendo 84 espécies comuns nas duas fisionomias. A autora atribui esta diferença em razão da proximidade da linha de costa da Floresta Baixa de Restinga onde condições do substrato são menos favoráveis para o desenvolvimento da vegetação do que em terrenos mais interiorizados.

Oliveira (2009) analisa a florística de florestas de Restinga sobre sedimentos do holocênicos e pleistocênicos e de Floresta Alta e Floresta de Muçununga sobre sedimentos do Terciário, localizada entre a foz do rio Itaúnas e a foz do rio Doce, no norte do Estado do Espírito Santo. De acordo com a similaridade calculada foi possível distinguir dois grupos. O grupo formado pelas espécies de Restinga sobre sedimentos quaternários é distinto do grupo que possui sedimentos terciários, com Índice de Sorensen igual a 0,19 (Índice de Sorensen - valores maiores ou iguais a 0,5 indicam alta similaridade). As florestas de Restinga sobre os sedimentos holocênicos e pleistocênicos avaliadas devem possuir a mesma fisionomia já que o Índice Sorensen apontou similiaridade de 0,48.

Ainda que a Floresta Ombrófila Densa da Mata Atlântica não seja tão dependente das variações edáficas como a vegetação de Restinga, há trabalhos que abordam essa questão.

Godoy (2001) estudou a estrutura e a composição de Mata atlântica secundária sobre calcários e filitos no Alto Ribeira, Estado de São Paulo. Dividiu seu estudo em florestas com períodos de abandono após uso agrícola de 15 anos (inicial), de 25 anos (médio) e de pelo menos 40 anos (avançado) em solo de calcário e filito. Os resultados demonstram importante dissimilaridade em todos os intervalos de regeneração das florestas, com Índice de similaridade de Jaccard em torno de 0,20, abaixo do limite de similaridade florística. Sobre os calcários ocorreram 129 espécies e apenas 99 sobre os filitos. Do total, 68 espécies são exclusivas sobre calcários e 38 sobre filitos e apenas 61 são comuns às duas formações geológicas, revelando similaridade ($J\alpha\beta = 0,37$). Segundo o autor, a principal causa da dissimilaridade das florestas em regeneração foi o solo, destacando-se os menores teores de alumínio e a maior fertilidade dos solos sobre calcários. Em segundo lugar é a geomorfologia, parâmetro dependente da geologia.

Almeida et al. (2007) apresentam estudo sobre comunidades florestais como indicadores geobotânicos feito no Gr. Serra do Itaberaba, Fm. Morro da Pedra Preta, entre os municípios de Guarulhos e Santa Isabel, Estado de São Paulo. Em rochas de origem vulcano-sedimentar, metamorfasadas em grau médio, desenvolveram-se sistemas hidrotermais, responsáveis pela presença de uma extensa zona de alteração clorítica e de mineralizações de ouro. Considerando que este processo antecedeu evento de metamorfismo regional, que afetou todo o conjunto rochas, pode-se considerar ter havido alguma homogeneização entre as rochas alteradas e não alteradas pelo processo hidrotermal. Sob estas condições geológicas ocorre a Floresta Ombrófila Densa em avançado estágio sucessional estudada. Perfis diagramas foram expostos nas florestas sobre solos residuais de protolitos semelhantes, porém um submetido à intensa alteração hidrotermal. Parcelas menores foram distribuídas de maneira aleatória nas duas litologias. A identificação de alterações florísticas e fisionômicas na cobertura florestal sobre as rochas com e sem alteração hidrotermal demonstram a potencialidade da geobotânica na detecção da presença de alteração hidrotermal. Foi também observado grupos de *Calathea cylindrica* com altura

acentuadamente maior que a habitual, em aparente gigantismo sobre rochas com presença de alteração hidrotermal.

O trabalho de Almeida et al. (2007) ainda demonstrou que os solos sobre as rochas alteradas notadamente são mais pobres e menos espessos implicando em menor riqueza na floresta, dossel mais aberto e maior presença de espécies pioneiras.

2.4. Metodologia

A metodologia aplicada no desenvolvimento do estudo da geobotânica da Planície do Una se divide basicamente em quatro linhas de desenvolvimento: definição dos pontos de coleta (solos e sedimentos) e das parcelas para o levantamento florístico, caracterização sedimentológica, análise de parâmetros de fertilidade do solo e levantamento florístico.

A unidade amostral utilizada para a coleta de dados é aqui denominada de Perfil, que é constituído por duas parcelas perpendiculares de 60 x 2 m, sendo uma paralela à linha de costa e aos cordões. Desta forma, o Perfil possui 236 m² em razão de haver um ponto de intersecção das parcelas com 4 m². Em cada perfil foi realizado levantamento florístico com amostragem total dos indivíduos com perímetro na altura do solo (PAS) acima de 15 cm.

A forma de montagem das duas parcelas cruzadas que compõe o perfil foi obedecendo ao critério de ausência de clareiras naturais, implicando na constituição de perfis de diferentes formatos, mas com a mesma área amostral e lógica de coleta.

Os locais de amostragem de sedimento e solo e de medição do nível de água dentro do perfil consistiram no ponto de intersecção das parcelas e mais dois pontos em cada parcela, distantes a 20 m entre si e/ou do ponto de intersecção. Totalizando cinco pontos de coleta de dados em cada perfil. (Figura 2-7).

Utilizou-se de trado manual tipo Holandês para a coleta de sedimento e solo. Seguindo a indicação de Casagrande et al. (2010), o solo foi amostrado aos primeiros 10 cm de profundidade. Os sedimentos foram coletados em profundidade, abaixo da camada de solo e logo acima do nível de água.

Figura 2-7: Desenho esquemático do Perfil com a indicação dos cinco pontos de coleta de dados.

A escolha do tamanho do perfil (unidade amostral) foi baseada na resolução espacial das imagens das bandas do visível (15m), infravermelho próximo (15m) e infravermelho de ondas curtas (30m) do sensor ASTER (*Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer*).

A definição dos locais dos perfis foi feita considerando a segmentação da cobertura vegetal e as áreas homólogas identificadas na imagem ASTER processada por de técnica de realce espectral. Devido ao difícil e árduo acesso ao interior da Planície do Una e por conta da inexistência de trilhas e da presença de inúmeros canais de drenagem, foram estabelecidos oito locais ao longo da planície de cordões litorâneos regressivos holocênicos para a montagem dos perfis. No campo, as áreas de interesse estabelecidas previamente foram alcançadas com o auxílio do equipamento GPS.

2.4.1. Definição da localização dos Perfis

Para definir a localização dos perfis estudados utilizou-se a imagem AST_L1B_00302262006132116_20090911153650_23773 do sensor ASTER, obtida em 26/02/2006. Foram utilizadas as três bandas do Visível e Infravermelho Próximo (VNIR - *Visible and Near Infrared*) com resolução espacial de 15 m e as cinco primeiras bandas do

Infravermelho Ondas Curtas (SWIR - *Shortwave Infrared*), com resolução espacial de 30 m. Maiores informações sobre o sensor e os comprimentos de ondas das bandas são expostos no Capítulo 3, item 3.4.1.

A imagem ASTER é ortorretificada, assim as etapas de pré processamento consistiram em reamostragem das imagens para resolução espacial de 15 m, recorte da área de interesse, e correção atmosférica pelo módulo QUAC – *Quick Atmospheric Correction* (ENVI ®). Este módulo efetua a correção atmosférica a partir de modelos empíricos utilizando somente as informações contidas na cena, não necessitando de informação auxiliar. A correção atmosférica foi feita no intuito de eliminar os efeitos de espalhamento de *Rayleigh* devido aos constituintes da atmosfera, procedimento necessário para a operação aritmética de razão de bandas (Perrotta, 2005). Todas as etapas de processamento foram realizadas no *software* Envi® 4.7.

O método aplicado no processamento da imagem ASTER seguiu os pressupostos da abordagem sistêmica (Almeida, 2005) que se baseia na resposta espectral dos diferentes compostos foliares e da arquitetura do dossel da vegetação. O termo sistêmico considera a planta como um sistema que contém em suas folhas água, pigmentos e compostos bioquímicos como celulose, lignina e amido, bem como a arquitetura do dossel, que guarda grande correlação com a fisionomia florestal, e, naturalmente, com as espécies presentes (Almeida, 2005). A abordagem contrapõe-se à reducionista.

Conforme já descrito, a planície do Una apresenta morfologia ondulada, propiciando áreas com condições de drenagem diferentes. Nas depressões intercordões a condição de drenagem é menos eficiente, ocorrendo alagamentos periódicos ou permanentes, decorrentes da pluviosidade. Por outro lado, nas áreas mais elevadas dos cordões a drenagem é mais eficiente, não propiciando o acúmulo de água.

Partindo do pressuposto que a floresta desenvolvida reflete as condições ambientais impostas pela presença de água, criando particularidades na sua composição florística, como a presença de espécies mais tolerantes às inundações (Sugiyama, 1993; Lopes,

2007), o processamento digital da imagem que orientou a definição dos locais amostrados na planície do Una, enfatizou a resposta espectral da água foliar.

Adicionalmente, a disponibilidade hídrica também influencia a morfologia e a anatomia foliar e, conseqüentemente, a composição química da folha. Donato & Morretes. (2007) comparando a anatomia foliar de *Eugenia brasilienses* em vegetação de restinga arbustiva esparsa e em floresta ombrófila densa constataram que as folhas sujeitas ao stress hídrico e à forte incidência solar apresentaram maior densidade de estômatos do que as folhas de ambiente de maior umidade relativa.

Rosado & Mattos (2007) estudaram as características morfológicas foliares de 10 espécies de restinga arbustiva de *Clusia* ao longo de três anos. A massa da folha por unidade de área, suculência, densidade e espessura da lâmina foliar variaram em função da disponibilidade de água.

De acordo com os espectros de absorção dos componentes químicos da folha na região do VNIR e do SWIR, a imagem-índice com informação de água foliar foi processada pela operação de razão simples de bandas, utilizando o comprimento de onda de referência no numerador (região do infravermelho próximo – banda ASTER 3) e o comprimento de onda diagnóstica no denominador (SWIR em 1.650nm - banda ASTER 4).

Na imagem-índice foi aplicado filtro de convolução gaussiano passa-baixas com janela de filtro (*Kernel*) de tamanho 13 x 13, para realçar as respostas dominantes no dossel. Em seguida, a imagem foi submetida ao processo de realce pseudo-cor que consiste em transformar uma imagem em tons de cinza em outra imagem colorida. Este processo se baseia, em geral, na criação de mais duas bandas, pela aplicação de filtros passa alta e/ou passa baixa separando da imagem, as informações das altas e baixas frequências, respectivamente, criando-se assim, duas novas bandas (Oliveira et al., 2009).

Seguindo os pressupostos da aplicação do método sistêmico (Almeida, 2005) foi feita a introdução da informação de albedo, visto que a operação de razão de bandas causa perda da informação do dossel para concentrar a informação espectral desejada. A informação de

albedo relaciona-se à arquitetura do dossel, e informa sobre a estrutura e fisionomia da floresta, aspecto essencial na diferenciação de coberturas vegetais, como apresentado em Almeida et al. (2007).

A imagem de albedo foi obtida através da primeira componente principal da Análise por Componentes Principais do subconjunto de bandas originais da região do VNIR (Bandas 1, 2 e 3). Esta imagem possui a informação mais correlacionada de todo conjunto e que concentra a maior parte da variância total. Assim, a imagem de albedo da vegetação da planície foi introduzida na imagem com pseudo-cor por meio de fusão de imagens (Transformação HSV – *Hue Saturation Value*).

2.4.2. Caracterização da Vegetação

Por conta de ser comum a ramificação dos indivíduos arbóreos nas formações florestais de restinga, optou-se por utilizar a medida de caule através do perímetro na altura do solo (PAS) na caracterização da vegetação.

O levantamento florístico foi realizado através do critério de inclusão dos indivíduos arbóreos, definido a partir da etapa de pré-tratamento. Esta etapa consistiu em observações prévias no campo que verificou e mediu o PAS dos indivíduos que tinham representação no dossel. Desta forma, estipulou-se que seriam incluídos no levantamento os indivíduos com caule de perímetro na altura do solo maior ou igual a 15 cm ($PAS \geq 15$ cm).

Além da identificação de todos os indivíduos arbóreos com $PAS \geq 15$ cm, o levantamento florístico colheu informações sobre a altura e o PAS dos indivíduos. Para os indivíduos arbóreos não identificados em campo, seguiu-se o procedimento de coleta de material vegetal para posterior identificação.

Para avaliar composição e a forma de distribuição dos indivíduos arbóreos foi calculado o Índice de Valor de Importância que é baseado nos dados de frequência, densidades, dominâncias, absolutas e relativas das espécies levantadas.

Para verificar a diversidade dos perfis foram obtidos: Índice de Diversidade de Shannon-Wiener (H), Equabilidade de Pielou (E) e o Índice de Simpson (D). Os cálculos foram feitos através do *software* Fitopac2.

O Índice de Shannon-Wiener é um dos índices de diversidade mais usados para estimar a diversidade em dados categóricos. O índice trata as espécies como símbolos e o tamanho da respectiva população como uma probabilidade, levando em consideração o número das espécies e sua equitabilidade (Santos, 2009).

O Índice de Simpson é derivado da teoria de probabilidades e mede a probabilidade (D) de dois indivíduos, escolhidos ao acaso numa comunidade de tamanho finito, pertencerem à mesma espécie. É uma medida mais sensível à dominância de espécies do que à riqueza de espécies. (Araújo, 2007). O Índice de Shannon-Wiener e o Índice de Simpson são intimamente relacionados (Santos, 2009).

A Equabilidade de Pielou refere-se ao padrão de distribuição dos indivíduos entre as espécies. O índice pertence ao intervalo de zero a um, onde um representa a máxima diversidade, ou seja, todas as espécies são igualmente abundantes.

Para estimar a similaridade dos perfis levantados foi utilizado o Índice de Similaridade de Jaccard ($J_{\alpha\beta}$). Este índice é baseado na relação entre o número de espécies comuns a duas áreas (perfis no caso) e o número de espécies encontrado em cada área, sendo calculado pela seguinte equação:

$$J_{\alpha\beta} = c / a+b+c, \text{ onde} \quad (1)$$

α – área α

β – área β

a – número de espécies que ocorrem na área α

b - número de espécies que ocorrem na área β

c – número de espécies comuns das áreas α e β

A similaridade florística entre duas comunidades vegetais é apontada quando o Índice de Jaccard é maior ou igual a 0,25.

2.4.3. Caracterização Sedimentológica

A caracterização sedimentológica das áreas baseou-se na avaliação da distribuição granulométrica dos sedimentos. As análises granulométricas foram realizadas no Laboratório de Sedimentologia (Labsed) do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo.

A análise granulométrica foi realizada pela técnica de pipetagem e peneiramento. As vantagens desta técnica são sua ampla utilização e a facilidade de execução. O fato de combinar dois métodos baseados em princípios de medição diferentes é sua desvantagem.

O procedimento da análise iniciou-se com a pesagem dos sedimentos secos e desagregados. A partir de 60 g de massa inicial, as amostras que apresentavam característica mais argilosa/siltosa foram submetidas à pipetagem previamente.

No caso das amostras pipetadas, o material restante da proveta seguiu para a remoção do material fino remanescente (silte e argila) pelo processo de elutriação. As amostras predominantemente arenosas foram submetidas à elutriação diretamente. Após o procedimento de elutriação, os sedimentos foram devidamente secos e, em seguida, peneirados.

Os resultados da análise foram tabulados e processados pelo Programa Momento 4.1.2.3 que utiliza o cálculo dos momentos de Pearson, obtendo parâmetros estatísticos de distribuição de frequências de diâmetro médio, desvio padrão, assimetria e curtose.

A escala granulométrica adotada foi de Wentworth, conforme o Tabela 2-1.

Tabela 2-1: Escala granulométrica de Wentworth

Granulometria (mm)	Wentworth
2,000 - 1,000	Areia muito grossa
1,000 - 0,500	Areia grossa
0,500 - 0,250	Areia média
0,250 - 0,125	Areia fina
0,125 - 0,062	Areia muito fina
<0,062	Pelitos

2.4.4. Análise de fertilidade dos solos

As amostras coletadas de solo foram encaminhadas ao Instituto Agronômico de Campinas - IAC para análise de fertilidade. Os parâmetros quantificados de macronutrientes foram Na, P, K, Ca, Mg, S, de micronutrientes B, Cu, Fe, Mn, Zn, Matéria Orgânica (MO), pH (H₂O), Alumínio trocável (Al), Acidez potencial (H+Al), Soma de Bases (SB), Capacidade de troca catiônica (CTC) e Saturação de bases (V%). O método de ensaio aplicado é apresentado na Tabela 2-2.

Tabela 2-2: Métodos de Ensaio das análises de fertilidade do solo

	Método
Matéria Orgânica - MO	Método colorimétrico: extração com ácido sulfúrico e permanganato de potássio e determinação por colorimetria.
Potencial Hidrogeniônico - pH	pH em CaCl ₂ e determinação por potenciometria.
Fósforo (P), Potássio (K), Cálcio (Ca) e Magnésio (Mg)	Extrator resina de troca iônica e determinação de P por colorimetria método do azul de molibdênio, K por fotometria de chama, Ca e Mg por espectrofotometria de Absorção Atômica.
Sódio (Na)	Extração com acetato de amônio e determinação por fotometria de chama.
Alumínio (Al)	Extração com KCl e determinação por titulação ácido-base.
Acidez potencial (H + Al)	Solução Tampão SMP e determinação por potenciometria.
Soma de Base (SB)	Ca + Mg + K + Na
Saturação de Bases - % CTC saturada por bases a pH 7 (V%)	$V\% = 100 / (SB/CTC)$

Cont.

	Método
Boro (B)	Extração com cloreto de bário em microondas e determinação por colorimetria método da Azometina – H.
Cobre (Cu), Ferro (Fe), Manganês (Mn), Zinco (Zn)	Extração com DRPA pH 7,3 e determinação or ICP-OES. Método IME-FER-002.

2.4.5. Análise de Agrupamento

A análise de Cluster é uma análise estatística multivariada que propõe agrupar “objetos”, por exemplo, locais, de acordo com variáveis previamente selecionadas. A proposta de agrupamento baseia-se em avaliações de similaridade através do cálculo da Distância Euclidiana das variáveis determinadas ou simplesmente distância de agrupamento (*linkage distance*). Na análise de Cluster são formados grupos com homogeneidade interna máxima, ao passo que existe uma heterogeneidade máxima entre os grupos. Neste estudo, a análise de classificação pretendeu agrupar perfis levantados considerando as variáveis granulometria, fertilidade do solo, nível de água, presença e ausência de espécies na tentativa de estabelecer unidades geobotânicas. Para realizar a análise de classificação foi utilizado o *software* STATISTICA 7.

2.5. Resultados e Discussões

2.5.1. Localização e descrição dos perfis na Planície do Una

A segmentação dos conjuntos florestais da Planície do Una foi bem marcada nas imagens-índices com a informação de água foliar (Figura 2-7). Na imagem em tons de cinza é possível reconhecer em tons escuros as drenagens internas da planície, as drenagens a noroeste associadas ao rio Una do Prelado e as drenagens paralelas e bem próximas à praia do rio Poçauna. Na imagem colorida que possui também a informação sobre o albedo de dossel, é possível visualizar melhor as variações da cobertura vegetal.

Figura 2-8: Imagens-índice com informação de água foliar resultante da razão simples de banda (ASTER 3 / ASTER 4). A primeira (a), em tons de cinza e a segunda (b) em pseudo-cor com incorporação da imagem de albedo.

A escolha do local dos perfis (unidade amostral) foi feita avaliando a segmentação das imagens da Figura 2-8 e também a possibilidade de se atingir tais locais, diante da inexistência de trilhas e da grande quantidade de áreas alagadas na planície. Desta forma, os Perfis estudados estão nomeados e distribuídos espacialmente na Planície do Una de acordo com a Figura 2-9.

O Perfil NO foi instalado na região lagunar de influência e fluvial do rio Una do Prelado que apresenta fisionomia florestal de *Floresta Paludosa* (Fl. Ombrófila Densa de Terras Baixas Paludosa secundária média com caxeta). Na área florestal mais próxima da praia, com *Floresta Baixa de Restinga* (Fl. Ombrófila Densa de Terras Baixas de porte baixo) foi estabelecido o Perfil FG. Os Perfis AB, 2C, DE, HI, JK e LM foram postos no interior da planície, na *Floresta Alta de Restinga* (Fl. Ombrófila Densa de Terras Baixas secundária média sobre cordões arenosos recentes). Conforme o Estudo Técnico da SMA (2010) esta formação incorpora trechos de Florestas Ombrófilas Densas de Terras Baixas sobre cordões arenosos ou entre cordões arenosos, de Várzea e Paludosas. A Figura 2-10 apresenta uma breve descrição dos locais dos perfis estudados.

Figura 2-9: Localização dos perfis levantados no mapa topográfico da região da Planície do Una. Em vermelho, os limites da área de estudo, em azul os rios e em verde as elevações (Fonte: SMA, 2010).

<p>Perfil AB</p> <p>Área não alagada, com trepadeiras lenhosas e árvores de dossel emergente maiores que 20 m.</p>	<p>Perfil 2C</p> <p>Área temporariamente alagada (fato constatado em campo), Apenas dois exemplares de <i>Manilkara subsericea</i> ultrapassam 20 m de altura.</p>
<p>Perfil DE</p> <p>Localiza-se na região conhecida pela população local de “Lombadão. O nível de água neste perfil encontra-se logo abaixo da camada orgânica de solo ”</p>	<p>Perfil FG</p> <p>Situa-se na área mais próxima da praia, com cordões litorâneos bem marcados. No foto é possível observar o desnível promovido pelos cordões. Alta predominância de <i>Ilex theezans</i>.</p>
<p>Perfil HI</p> <p>Área com a presença de água superficial e árvores de até 20m. Foi encontrado um exemplar de <i>Tabebuia cassinoide</i>, espécie típica de mata paludosa.</p>	<p>Perfil JK</p> <p>Área muito povoada por <i>Euterpe edulis</i> e <i>Astrocaryum aculeatissimum</i>. Indivíduos arbóreos de grande porte são raros e espaçados.</p>
<p>Perfil LM</p> <p>Área com alta densidade de <i>Euterpe edulis</i>. Indivíduos arbóreos de grande porte são raros e espaçados.</p>	<p>Perfil NO</p> <p>Área alagada próxima ao rio Una do Prelado, com vegetação característica de Floresta Paludosa. Predominância de <i>Tabebuia cassinoides</i> Dossel aberto.</p>

Figura 2-10: Descrição sucinta das áreas amostradas para a caracterização florística, granulométrica, da fertilidade do solo e do nível de água.

2.5.2. Composição Florística e Estrutura

Foi amostrado um total de 677 indivíduos, pertencentes a 108 espécies de 28 famílias botânicas¹. (Tabela 2-3). A listagem das espécies encontradas nos perfis é encontra-se no Apêndice A.

A formação florestal da Planície do Una tem em média 8,34 m de altura. De acordo com a Tabela 2-3, os perfis mais próximos a linha de costa (FG) e ao rio Una do Prelado (NO), extremidades da planície, apresentam menores alturas. A vegetação mais densa e de menor riqueza (diversidade de espécies) também é encontrada nestes perfis.

Os Perfis AB, DE e HI apresentam mais de 30 espécies encontradas no levantamento. Os Perfis 2C e JK também possuem valores próximos a estes, sugerindo uma tendência de aumento da riqueza de espécies no sentido interior da Planície do Una.

Tabela 2-3: Dados fitossociológicos dos perfis da Planície do Una

	Indivíduos	N. de Espécies	N. de Famílias	Densidade Relativa	Altura Média
Perfil AB	79	36	21	11,67	10,68
Perfil 2C	85	28	16	12,56	9,34
Perfil DE	65	31	16	9,6	11,18
Perfil FG	106	11	8	15,66	6,18
Perfil HI	92	36	15	13,59	9,01
Perfil JK	79	29	18	11,67	5,89
Perfil LM	63	25	15	9,31	8,84
Perfil NO	108	19	12	15,95	5,58
TOTAL	677	108	28	–	8,34

Na Planície do Una, as famílias de maior riqueza de espécies foram: Myrtaceae, com 14 espécies (13,21% do total); Fabaceae, com sete espécies (6,6% do total); Arecaceae, com seis espécies (5,66% do total); Lauraceae, com cinco espécies (4,72% do total).

¹ 27 espécies não foram identificadas no levantamento florístico e fitossociológico, entretanto os valores números referentes a estas foram contabilizados.

Com relação aos perfis levantados na Planície do Una, todos apresentaram Myrtaceae como família de maior número de espécies, exceto os perfis JK e NO. Nestes, as famílias de maior riqueza foram Lauraceae e Bignoniaceae, respectivamente.

A representatividade da família Myrtaceae nas formações florestais de Restinga também foi observada por Carvalhaes (1997) e Ramos–Neto (1993). Mantovani (1993) afirma que Myrtaceae é a família de espécies arbóreas mais característica da Mata Atlântica no litoral sul do Estado de São Paulo, com grande importância florística e estrutural.

As espécies mais importantes da Planície do Una, segundo o Índice de Valor de Importância (IVI) são: *Euterpe edulis* (18,28), *Ilex theezans* (15,71), *Ocotea pulchella* (13,31), *Tabebuia obtusifolia* (10,16) e *Balizia pedicellaris* (11,68). Com exceção da última, estas espécies apresentam distribuição geográfica na Mata Atlântica acompanhada pelas drenagens (Mantovani, 1993).

Comparando os resultados dos perfis, as espécies de maior IVI variam, embora *Euterpe edulis* possua grande representatividade nos locais amostrados, exceto os perfis 2C, FG e NO. A Tabela 2-4 apresenta os cinco maiores valores do IVIs de cada perfil.

Tabela 2-4: Maiores Índices de Valor de Importância (IVI) dos perfis

Espécie		IVI	Espécie		IVI
Perfil AB	<i>Balizia pedicellaris</i>	36,40	Perfil HI	<i>Euterpe edulis</i>	31,81
	<i>Euterpe edulis</i>	24,87		<i>Astrocaryum aculeatissimum</i>	20,97
	<i>Tabebuia obtusifolia</i>	17,74		<i>Ocotea pulchela</i>	20,81
	<i>Chrysophyllum flexuosum</i>	17,08		<i>Tabebuia obtusifolia</i>	19,87
	<i>Pera glabrata</i>	16,39		<i>Calophyllum brasiliense</i>	18,08
Perfil 2C	<i>Cybianthus brasiliensis</i>	37,60	Perfil JK	<i>Euterpe edulis</i>	47,35
	<i>Eriotheca pentaphylla</i>	28,06		<i>Astrocaryum aculeatissimum</i>	27,83
	<i>Lacistema lucidum</i>	18,19		<i>Balizia pedicellaris</i>	15,97
	<i>Manilkara subsericea</i>	15,23		<i>Sorocea bonplandii</i>	14,67
	<i>Ocotea pulchela</i>	15,05		<i>Chrysophyllum flexuosum</i>	14,19
Perfil DE	<i>Ocotea pulchela</i>	38,62	Perfil LM	<i>Malouetia arborea</i>	37,34
	<i>Euterpe edulis</i>	24,84		<i>Euterpe edulis</i>	34,80
	<i>Manilkara subsericea</i>	19,70		<i>Eugenia bocainensis</i>	32,95
	<i>Lacistema lucidum</i>	17,18		<i>Schefflera angustissima</i>	24,55
	<i>Symplocos laxiflora</i>	14,89		<i>Matayba guianensis</i>	21,19
Perfil FG	<i>Ilex theezans</i>	108,27	Perfil NO	<i>Tabebuia cassinoides</i>	73,21
	<i>Eugenia umbelliflora</i>	29,55		<i>Miconia cubatanensis</i>	52,22
	<i>Maytenus robusta</i>	28,45		<i>Tabebuia obtusifolia</i>	23,60
	<i>Psidium cattleianum</i>	27,29		<i>Rapanea coriacea</i>	20,45
	<i>Calypttranthes grandifolia</i>	23,05		<i>Vernonia polyanthes</i>	20,07

Nota-se que o Perfil FG apresenta preponderância alta de *Ilex theezans* (IVI=108) em relação às demais espécies encontradas no perfil, caracterizando a Floresta Baixa de Restinga (FI Ombrófila Densa de Terras Baixas de porte baixo). O Perfil NO possui o mesmo comportamento com relação às espécies *Tabebuia cassinoides* (IVI=73,21) e *Miconia cubatanensis* (IVI=52,22), caracterizando a Floresta Paludosa (FI. Ombrófila Densa de Terras Baixas Paludosa secundária média com Caxeta).

Conforme as medidas de heterogeneidade apresentadas na Tabela 2-5, os Perfis AB (3,160), DE (3,153) e HI (3,068) são os mais diversos, segundo o Índice de Shannon-Wiener (H). Proporcionalmente os valores de Equabilidade de Pielou, que se referem à abundância das espécies, acompanharam os valores de H. O Índice de Simpson apontou os mesmos

perfis como os mais diversos. O Perfil FG, localizado próximo a linha de costa, apresentou a menor diversidade considerando as três medidas de heterogeneidade.

Tabela 2-5: Medidas de diversidade dos perfis da Planície Costeira do Una

	Índice Shannon- Wiener	Equabilidade	Índice Simpson (1/D)
Perfil AB	3,160	0,882	19,256
Perfil 2C	2,834	0,850	11,262
Perfil DE	3,153	0,918	23,111
Perfil FG	1,775	0,714	3,786
Perfil HI	3,068	0,856	12,960
Perfil JK	2,705	0,803	8,129
Perfil LM	2,742	0,852	11,289
Perfil NO	2,426	0,824	9,028

A respeito da similaridade florística entre os perfis, os resultados podem ser observados na Tabela 2-6. Os números em negrito assinalam similaridade entre os perfis ($J\alpha\beta \geq 0,25$). Os perfis localizados nas extremidades da planície (Perfis FG e NO) são dissimilares entre si e aos demais perfis. Os Índices de Jaccard encontrados apontam similaridade florística entre os Perfis AB, HI, JK e LM, entre os Perfis 2C e DE, e entre os Perfis DE e HI.

Partindo da similaridade estimada pelo Índice de Jaccard é possível definir quatro unidades florísticas. A primeira formada pelo Perfil FG, localizado próximo à linha de costa, com Floresta de Restinga Baixa. A segunda pelos Perfis AB/HI/JK/LM, situados no interior da planície. A terceira pelos Perfis 2C/DE, também localizados no interior da planície. A quarta pelo Perfil NO, situado próximo ao rio Una do Prelado com domínio de Floresta Paludosa com Caxeta.

Tabela 2-6: Índices de Similaridade de Jaccard entre os perfis em ordem decrescente de similaridade.

Perfil AB		Perfil 2C		Perfil DE		Perfil FG	
Perfil HI	0,35	Perfil DE	0,31	Perfil 2C	0,31	Perfil 2C	0,15
Perfil JK	0,35	Perfil HI	0,19	Perfil HI	0,26	Perfil DE	0,14
Perfil LM	0,27	Perfil LM	0,15	Perfil JK	0,21	Perfil HI	0,12
Perfil 2C	0,12	Perfil FG	0,15	Perfil LM	0,17	Perfil NO	0,11
Perfil DE	0,12	Perfil JK	0,14	Perfil NO	0,16	Perfil AB	0,07
Perfil FG	0,07	Perfil AB	0,12	Perfil FG	0,14	Perfil LM	0,06
Perfil NO	0,06	Perfil NO	0,12	Perfil AB	0,12	Perfil JK	0,03
Perfil HI		Perfil JK		Perfil LM		Perfil NO	
Perfil AB	0,35	Perfil AB	0,35	Perfil HI	0,30	Perfil HI	0,20
Perfil JK	0,33	Perfil HI	0,33	Perfil AB	0,27	Perfil DE	0,16
Perfil LM	0,30	Perfil LM	0,26	Perfil JK	0,26	Perfil 2C	0,12
Perfil DE	0,26	Perfil DE	0,21	Perfil DE	0,17	Perfil FG	0,11
Perfil NO	0,20	Perfil 2C	0,14	Perfil 2C	0,15	Perfil LM	0,10
Perfil 2C	0,19	Perfil NO	0,04	Perfil NO	0,10	Perfil AB	0,06
Perfil FG	0,12	Perfil FG	0,03	Perfil FG	0,06	Perfil JK	0,04

2.5.3. Granulometria

As áreas dos perfis localizados no interior da planície possuem granulometria sutilmente variada, mas essencialmente composta de areia muito fina e areia fina. Os Perfis 2C e HI apresentam traços de pelitos. Os Perfis DE, JK e LM são constituídos por 25% de areia média a areia grossa. O Perfil FG é basicamente composto por areias finas e médias. O Perfil NO, situado na planície lagunar é composto por sedimentos finos, de granulometria menor que 0,062 mm. (Figura 2-11). Os resultados da análise de granulometria encontram-se no Apêndice B.

Figura 2-11: Distribuição granulométrica média dos perfis, em porcentagem (%)

O padrão de distribuição granulométrica encontrada na Planície do Una pode ser relacionado às condições de drenagem (Tabela 2-7). O perfil NO situa-se na planície lagunar, sobre influência direta do rio Una do Prelado. No interior da planície, a presença de traços de pelitos nos Perfis 2C e HI confirmam que as áreas onde se localizam são alagadas sazonal ou continuamente. No Perfil HI foi encontrado um indivíduo de *Tabebuia cassinoides*, espécie indicativa de área alagada e de mata paludosa.

Os Perfis DE e FG apresentam condições hídricas distintas, embora a constituição granulométrica seja parecida. O Perfil DE possui o nível de água próximo à superfície, muitas vezes logo após a camada de serrapilheira. Já o Perfil FG tem o nível de água mais profundo e localiza-se próximo a linha de praia, nos cordões mais recentes e visualmente individualizados com cristas e depressões bem marcadas. Os Perfis JK e LM também apresentam nível de água mais profundo embora estejam situados no interior da planície.

O Perfil DE localiza-se numa região denominada pela população local como “lombadão”. Paralelo ao rio Una do Prelado, este ambiente percorre toda a extensão no sentido sudoeste-nordeste da planície de cordões e pode ser visualizado na imagem da Figura 2-8, a qual foi utilizada para definição dos locais dos perfis.

Tabela 2-7: Nível de água medido dos cinco pontos de amostragem dos perfis. A média (M) é apresentada ao lado da nomenclatura do perfil

Nível de Água (m)									
Perfil AB (M=0,67)					Perfil HI (M=0,28)				
0,9	0,6	0,8	0,6	0,45	0,5	0,4	0,5	0	0
Perfil 2C (M=0,54)					Perfil JK (M=1,51)				
0,3	0,7	0,45	0,9	0,35	1,75	1,5	1,7	1,35	1,25
Perfil DE (M=0,42)					Perfil LM (M=1,61)				
0,5	0,1	0,1	1	0,4	>2	>2	>2	0,85	1,2
Perfil FG (M>2)					Perfil NO (M=0)				
> 2	> 2	1,45	> 2	> 2	0	0	0	0	0

2.5.4. Fertilidade de solos

Os resultados da análise de fertilidade do solo da Planície do Una são exibidos nas Tabelas 2-8 e 2-9. Os valores de pH, H+Al, saturação de bases (V%), soma de bases (S.B) e

macronutrientes obtidos caracterizam o solo da planície como sendo ácidos e de baixa quantidade de nutrientes. Os resultados da análise de fertilidade do solo encontram-se no Apêndice C.

De acordo com os valores da Tabela 2-8, os altos valores de capacidade de troca de cátions do solo (CTC) são acompanhados por maiores teores de matéria orgânica (MO) e alumínio (H+Al). Observando os baixos valores de saturação de bases (V%), índice que expressa a porcentagem de soma de bases na CTC, é possível afirmar que o alumínio ocupa a maior parte da CTC. Desta forma o teor de matéria orgânica é fundamental na manutenção da fertilidade do solo e do equilíbrio do ecossistema natural (Casagrande et al., 2010).

Tabela 2-8: Parâmetros gerais da fertilidade de solo

	MO*	pH	Al**	H+Al**	SB**	CTC**	V%
Perfil AB	37,60	3,50	8,60	53,20	5,22	58,60	9,20
Perfil 2C	70,00	3,31	13,70	156,60	11,58	169,01	7,40
Perfil DE	80,20	3,14	11,00	156,40	6,66	162,98	4,40
Perfil FG	21,40	3,82	3,40	21,40	11,08	32,60	32,60
Perfil HI	69,40	3,48	7,00	110,40	16,36	126,94	13,00
Perfil JK	40,20	3,28	7,00	60,80	10,54	71,28	15,20
Perfil LM	30,20	3,38	6,60	44,40	3,68	48,18	7,80
Perfil NO	93,00	3,72	11,40	163,20	39,44	202,58	21,00

*g/dm³, **mmolc/dm³

O Perfil NO representa o solo de maior fertilidade da planície visto que seu teor de MO, CTC, V% e SB são os mais elevados em relação aos demais. A característica lagunar e a baixa condição de drenagem da área proporciona o acúmulo de sedimentos finos (argila) e de matéria orgânica.

O Perfil FG apresentou o maior valor de saturação de bases, entretanto seu valor de CTC, alumínio e matéria orgânica é baixo em comparação aos demais, não conferindo fertilidade ao solo dos cordões mais recentes, próximos da praia.

Entre os perfis localizados no interior da planície, os Perfis 2C, DE e HI apresentam maior quantidade de matéria orgânica e conseqüentemente, maior fertilidade do que os Perfis AB, JK e LM.

Na Tabela 2-9 são apresentados os baixos valores obtidos de macronutrientes na planície. As carências de potássio, cálcio e magnésio estão relacionadas ao solo arenoso e a pluviosidade que promove a lixiviação destes elementos. O fósforo foi o macronutriente de maior concentração na maioria dos perfis por razão da baixa capacidade de mobilidade do íon, tornando as perdas por lixiviação insignificantes (Mello et al., 1983).

A maior concentração de enxofre foi encontrada no Perfil NO possivelmente ocasionada por microrganismos associados à decomposição da matéria orgânica em condição anaeróbica.

Com relação aos micronutrientes, os perfis se diferenciam principalmente pelos valores de ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn). Geralmente, a disponibilidade de ferro e manganês no solo está relacionada principalmente ao pH, aeração, interferência de outros elementos e matéria orgânica (Mello et al., 1983).

Tabela 2-9: Macronutrientes e micronutrientes do solo das formações florestais de Restinga na Planície do Una.

	P*	K**	Ca**	Mg**	S*	Cu*	Fe*	Mn*	Zn*	B*
Perfil AB	10,00	1,02	2,20	2,00	14,80	<0.1	119,00	0,96	0,50	0,25
Perfil 2C	11,70	1,36	3,92	6,30	19,90	0,31	133,10	1,99	20,06	0,30
Perfil DE	9,60	2,00	0,86	3,80	9,00	<0.1	27,60	0,84	1,20	0,29
Perfil FG	5,00	1,28	6,80	3,00	5,80	<0.1	87,00	15,02	1,16	0,17
Perfil HI	15,00	2,16	8,00	6,00	6,00	1	56,60	4,34	21,10	0,39
Perfil JK	8,60	1,60	6,00	2,80	1,20	<0.1	52,40	1,16	0,54	0,25
Perfil LM	4,00	0,44	1,60	1,00	3,20	0,20	91,60	3,58	0,40	0,20
Perfil NO	12,20	1,44	16,60	21,40	76,60	0,32	77,40	2,70	14,66	0,63

*mg/dm³

**mmolc/dm³

Maiores concentrações de zinco são encontradas nos perfis que apresentam sedimentos finos como os perfis 2C (20,06 mg/dm³), HI (21,10 mg/dm³) e NO (14,66), devido a capacidade do zinco ser adsorvido pela argila (Mello et al., 1983).

2.5.5. Análise de Agrupamento

No sentido de obter grupos segundo as características botânicas, físicas e de ambas, e avaliar a capacidade destes aspectos em agrupar áreas semelhantes, foram realizados as análises de Cluster, envolvendo: i) Presença e ausência das espécies levantadas (Figura 2-12); ii) Granulometria dos sedimentos, fertilidade do solo e nível de água (Figura 2-13); iii) As mesmas variáveis do item anterior com adição das medidas de vegetação, como número de indivíduos, de espécies, de família, densidade relativa e altura média vegetação (Figura 2-14).

Figura 2-12: Dendrograma de agrupamento dos Perfis da Planície do Una considerando a presença e ausência de espécies

De acordo com o dendrograma da Figura 2-12, os agrupamentos propostos pela Presença e Ausência de espécies condizem parcialmente com a similaridade florística apontada pelo Índice de Jaccard ($J\alpha\beta$). Os agrupamentos AB/HI/JK/LM e 2C/DE corroboram com os índices de similaridade calculados. Entretanto os Perfis FG e NO apresentaram dissimilaridade florística ($J\alpha\beta = 0,11$) e foram agrupados pela análise de Cluster,

demonstrando que a análise foi mais sensível ao número de espécies, ignorando a diferença da composição florística entre os dois perfis.

O agrupamento resultante das características físicas dos locais é apresentado na Figura 2-13. Pelo dendograma é possível perceber a formação de dois grupos distintos. Conforme os dados obtidos quanto à granulometria, fertilidade do solo e nível de água, o grupo formado pelos Perfis AB/LM/JK/FG apresentam granulometria de areia fina a média, menor grau de fertilidade e nível de água mais profundo. O grupo formado pelos Perfis 2C/DE/HI/NO possui granulometria de areia muito fina e pelitos, maior grau de fertilidade do solo e nível de água superficial.

Figura 2-13: Dendograma de agrupamento dos Perfis da Planície do Una considerando os aspectos físicos de granulometria, fertilidade do solo e nível de água.

Devido às características singulares dos Perfis FG e NO, estes aparecem no dendograma da Figura 2-13 como sendo os mais distantes em relação ao seu próprio grupo. O perfil FG exibe a maior porcentagem de areia média, a menor quantidade de matéria orgânica e CTC dos perfis estudados. Por outro lado, o Perfil NO é constituído completamente por

sedimentos finos (pelitos) e possui a maior quantidade de matéria orgânica e CTC, variáveis que conferem a este perfil o maior grau de fertilidade.

Comparando os dendogramas das Figuras 2-12 e 2-13, o Perfil HI foi agrupado em grupos distintos. No agrupamento de presença e ausência, o Perfil HI está relacionado ao grupo dos Perfis AB/JK/LM, já no agrupamento segundo as variáveis físicas do ambiente está associado aos Perfis 2C e DE. Sendo assim, a composição de espécies do Perfil HI assemelha-se aos perfis AB/JK/LM, embora suas características físicas sejam análogas aos Perfis 2C/DE. Entretanto, quando o agrupamento considera os atributos físicos e as medidas de vegetação, o Perfil HI é novamente posto juntamente com os Perfis 2C e DE, como pode ser observado no dendograma da Figura 2-14.

Figura 2-14: Dendrograma de agrupamento dos Perfis da Planície do Una considerando granulometria, fertilidade do solo, nível de água e medidas de vegetação (número de indivíduos, número de espécies, número de famílias, densidade relativa e altura média).

A partir do dendrograma da Figura 2-14 em relação aos demais é possível afirmar que a granulometria, fertilidade do solo e nível de água são fatores preponderantes na separação

de ambientes. As medidas de vegetação consideradas não foram capazes de propor um agrupamento diferente indicando que estas medidas variam conforme os dados físicos levantados.

Assim o agrupamento formado pela Figura 2-14, juntamente com a análise das medidas obtidas de similaridade pelo Índice de Jaccard, se mostrou eficiente na separação das formações florestais da Planície do Una.

Sendo as relações geobotânicas resultantes da combinação das características botânicas com os aspectos físicos dos locais onde a vegetação está inserida, pode-se dizer que a Planície do Una apresenta quatro unidades geobotânicas, representados pelos perfis estudados conforme a Tabela 2-10.

Tabela 2-10: Unidades geobotânicas encontradas na Planície do Una.

Perfil FG	<p>Localizado próximo à praia, situado nos cordões litorâneos mais recentes da planície, com cristas e depressões bem marcadas, de terreno bem drenado, constituído por aproximadamente 50% de areia média e grossa, e baixa fertilidade.</p> <p>Formação de Floresta Baixa de Restinga (Fl. Ombrófila Densa de Terras Baixas sobre cordões arenosos recentes de porte baixo), com alta frequência, densidade e dominância de <i>Ilex theezans</i> e baixa diversidade.</p>
Perfis AB/JK/LM	<p>Localizados no interior da planície, associados à granulometria areia fina a média, baixa fertilidade e terrenos drenados.</p> <p>Formação de Floresta Alta de Restinga (Fl. Ombrófila Densa de Terras Baixas sobre cordões arenosos recentes).</p>
Perfis 2C/DE/HI	<p>Localizados no interior da planície, associados à granulometria areia muito fina e sedimentos finos, maior fertilidade e terrenos menos drenados com alagamentos sazonais.</p> <p>Formação de Floresta Alta de Restinga (Fl. Ombrófila Densa de Terras Baixas sobre cordões arenosos recentes).</p>
Perfil NO	<p>Localizado próximo ao rio Una do Prelado sobre sedimentos finos e terreno alagado permanentemente, grande quantidade de matéria orgânica conferindo a maior fertilidade encontrada na planície.</p> <p>Formação de Floresta Paludosa (Fl. Ombrófila Densa de Terras Baixas Paludosa com caxeta), com predominância de <i>Tabebuia cassinoides</i> e <i>Miconia cubatanensis</i>.</p>

Ainda que os pressupostos da geobotânica em florestas tropicais sejam bem estabelecidos em diversos estudos, é fundamental entender que uma unidade geobotânica tem certo grau de similaridade com unidades geobotânicas vizinhas: segundo Tuomisto et al. (2003c) cerca de metade da variação florística entre os sítios de floresta de terra firme no Amazonas se deve a fatores ambientais e residuais, mas perto de 25% é devido à proximidade geográfica. Os dados obtidos na Planície do rio Una do Prelado, à primeira vista, mostram uma baixa variabilidade. Sua análise isolada, na visão reducionista de estudar dados de uma única origem, de um único aspecto da natureza, portanto, se contrapõe a uma abordagem sistêmica. E de fato, quando os dados desta pesquisa são observados em seu conjunto realçam o defendido por Branco (1989): *são as relações de interdependência entre as partes de um todo que constituem a realidade principal*. Desta forma, a abordagem conjunta dos dados atendeu ao pressuposto básico da geobotânica e conseguiu detectar unidades diferenciadas.

2.6. Conclusões

As formações florestais de Restinga da Planície do Una são variáveis ao longo do espaço, conforme a granulometria, fertilidade do solo (matéria orgânica e CTC) e nível de água. A partir da análise conjunta do agrupamento das variáveis físicas estudadas e da similaridade florística entre os perfis amostrados foi possível delinear quatro unidades geobotânicas (Tabela 2-10).

A análise de Cluster identificou unidades geobotânicas quando consideradas as variáveis ambientais de granulometria, fertilidade do solo e nível de água, ou até mesmo quando são incluídas as variáveis botânicas como, riqueza de espécies e famílias, densidade relativa e altura média. A análise de agrupamento derivada da presença e ausência de espécies resultou no agrupamento parcialmente inconsistente, ocultando a diferença da composição e privilegiando a quantidade de espécies dos Perfis FG e NO.

Considerando a variabilidade encontrada na região delimitada pela Praia do Una e pelo rio Una do Prelado, os maiores índices de heterogeneidade florística e do meio físico são obtidos no interior da planície. Portanto, as medidas de biodiversidade só foram capazes de diferenciar os perfis localizados nas extremidades da planície com relação aos demais.

3. GEOBOTÂNICA POR SENSORIAMENTO REMOTO EM FLORESTA DE RESTINGA SOBRE SEDIMENTOS HOLOCÊNICOS

3.1. Introdução

A geobotânica compreende o estudo da distribuição de plantas e das comunidades vegetais, e das características da vegetação, como fisiologia, morfologia, anatomia e bioquímica em função do ambiente geológico (Ustin et al., 1999). Os estudos geobotânicos se baseiam nas alterações da cobertura vegetal devido à variação litológica, à presença de mineralizações e de fraturamento (Brooks, 1972; Brooks, 1983). A influência da geologia na vegetação pode ser considerada como de senso comum: uma pessoa, sem qualquer formação acadêmica e com sensibilidade em observar a natureza, pode notar como a vegetação é heterogênea sobre solos heterogêneos. O clássico livro de Brooks (1983) observa em sua introdução: *os métodos geobotânicos são os mais simples e os mais complexos de todos os métodos de prospecção biológica. O aparente paradoxo nesta afirmação vem de que o único equipamento exigido é um par de olhos, mas, por outro lado, é necessária para interpretar aquilo que os olhos veem.* Não à toa, as referências escritas à geobotânica como método de extração de informação geológica vêm ao menos desde os tempos do Império Romano, com Vitruvius (Brooks, 1983).

Por razão da capacidade que as rochas possuem de promover condições químicas peculiares no ambiente, afetando a distribuição de espécies e o desenvolvimento da vegetação, a geobotânica pode auxiliar no mapeamento geológico e na prospecção mineral (Brooks, 1983; Drury, 2001).

Com a disponibilização de imagens orbitais de sensoriamento remoto óptico multiespectral na década de 1970, os padrões diferenciados de vegetação encontrados em imagens passaram a serem utilizados como indicadores geológicos em áreas úmidas e florestadas. Assim, no campo do sensoriamento remoto, os estudos geobotânicos se desenvolveram a

partir da transformação das medidas de reflectância obtidas pelo sensor em parâmetros geobotânicos, como tipo de vegetação, porcentagem de cobertura, biomassa, absorção de pigmentos fotossintéticos, área foliar, entre outros (Ustin et al., 1999). Mouat (1982) considera duas variantes nas respostas da vegetação à geologia: as alterações fisiológicas e as florísticas. Enquanto as primeiras referem-se a teores muito anômalos de determinados elementos nos solos, em geral associados a ocorrências minerais, a alteração no conjunto das espécies vegetais presentes dá-se em ambientes geologicamente comuns.

A abordagem dentro do sensoriamento remoto utilizada nesta pesquisa foi apresentada pela primeira vez no 31º Congresso Internacional de Geologia (Almeida & Fromard, 2000) e veio sendo desenvolvida desde então por estes e outros pesquisadores. Trata-se de uma técnica de processamento de imagens de satélite que procura abordar a cobertura vegetal no conjunto de seus principais constituintes foliares: pigmentos (clorofilas, carotenóides - carotenos e xantofilas - e antocianinas), carboidratos (celulose, lignina e amido) e água foliar. Esta abordagem, que procura observar o sistema em seu todo, foi denominada de Sistêmica (Almeida, 2005).

A abordagem sistêmica baseia-se no exame conjunto do maior número de compostos químicos presentes na vegetação e com resposta espectral diagnóstica, na dependência da resolução espectral do sensor. Em acréscimo, aborda o albedo do dossel, o qual, embora fortemente influenciado pelas características foliares, informa também a arquitetura do dossel e, portanto, da fisionomia da cobertura vegetal, importante critério no reconhecimento de dissimilaridades florísticas.

A abordagem sistêmica distingue-se das tentativas anteriores de uso de imagens multiespectrais na geobotânica por não buscar modelos de respostas, mas simplesmente realçar a resposta de coberturas vegetais, considerando o maior número possível de componentes da vegetação. Dentro desta abordagem, a sequência de processamentos

digitais sobre imagens multi ou hiperespectrais objetiva identificar discretas diferenças nas coberturas vegetais.

Nas florestas tropicais e neotropicais é comum a cobertura vegetal se apresentar em forma de mosaico devido aos padrões diferenciados da vegetação associados às condições edáficas e outras características ambientais que variam conforme o espaço (Scudeller et al., 2001; Tuomisto et al., 2003a, Tuomisto et al., 2003b, Tuomisto et al., 2003c).

Tuomisto et al. (2003a) fizeram 27 transectos de 500 x 5 m na Amazônia equatoriana, analisando a relação entre solos, similaridade florística e a detecção desta em imagens TM Landsat. A similaridade florística encontrada nos transectos analisados é correlacionada as características do solo como a quantidade de Ca, K, Mg, argila, areia e matéria orgânica e é passível de ser observada pelo sensoriamento remoto.

No que se refere a depósitos de minérios metálicos, nas florestas de média e alta latitude a relação geobotânica é dada por estresses e alterações fisiológicas mais ou menos intensas ocasionadas pelo acúmulo de elementos tóxicos às plantas decorrentes das rochas. Embora raramente tratado diretamente no Brasil, como em Almeida et al. (2007), o assunto pode apoiar-se nos estudos ecológicos acima mencionados: mesmo pequenas diferenças nos solos e no ambiente são suficientemente importantes para gerar numerosos mosaicos florestais com composição vegetal diferente. Naturalmente que isto se deve à rica biodiversidade, a qual permite que a geobotânica seja utilizada não apenas na prospecção de minérios metálicos, mas também na distinção de rochas comuns na elaboração de mapas geológicos, como a CPRM – Serviço Geológico do Brasil vem fazendo (Perrotta et al., 2008 a,b) e como trabalhos botânicos na Mata Atlântica vem demonstrando (Godoy, 2001; Scudeller et al., 2001; Sztutman e Rodrigues, 2002 Pacheco, 2009).

Em suma, em terrenos tropicais a geobotânica alicerça-se não apenas em estresses de vegetação, mas também nas variações florísticas dada a possibilidade de escolha das

espécies por determinados ambientes e nas fitofisionomias desenvolvidas, o que é permitido pela rica biodiversidade.

Na Planície Una, localizada no litoral sul do Estado de São Paulo, unidades geobotânicas foram encontradas na Floresta de Restinga sobre cordões arenosos relacionadas à fertilidade, condições de drenagem e granulometria, como preliminarmente apresentado em Tuaf et al. (2010) e no Capítulo 2 desta dissertação.

Este Capítulo objetiva discutir as variações geobotânicas encontradas no Capítulo 2 através da aplicação da abordagem sistêmica no processamento digital de imagens multiespectrais.

3.2. O comportamento espectral da vegetação e sua detecção por sensores multiespectrais orbitais de baixa a média resolução espectral

A radiação eletromagnética (REM) proveniente do Sol interage com a vegetação no intervalo óptico (300 a 3000 nm), gerando feições espectrais resultantes dos fenômenos de absorção, transmissão e reflexão do fluxo radiante incidente nas folhas, isoladamente, e no dossel.

No intervalo de comprimento de onda no visível (400-720 nm) a REM é absorvida pelos pigmentos foliares, como a clorofila *a* e *b*, xantofilas e os carotenos (Ponzoni & Shimabukuro, 2007).

A clorofila *a* tem feições de absorção em 442 e 676 nm, sendo a primeira mais intensa e a segunda mais isolada e mais diagnóstica (Figura 3-1). A clorofila *b* tem feições de absorção em 472 e 656 nm. Da mesma forma que clorofila *a*, a segunda feição é menos intensa, porém mais específica, pois a feição a 472 nm está próxima aos carotenoides, o que mascara a resposta específica da clorofila.

A avaliação do conteúdo de carotenos e antocianinas nas folhas é mais difícil do que a clorofila por conta da sobreposição dos picos de absorção (Sims & Gamon, 2002). Entretanto folhas em condições de estresse ou de envelhecimento apresentam predomínio

de carotenos e antocianinas em função do decaimento da quantidade de clorofila (Boyer et al., 1988).

Figura 3-1: Espectros dos principais pigmentos foliares. (simplificado de Baret, 1999)

Na região do infravermelho próximo (720 a 1.300 nm) a absorção da REM pelos pigmentos foliares é baixa, sendo grande parte refletida ou transmitida. Nesta faixa do espectro ocorre o relativo e abrupto aumento da reflectância por parte da vegetação formando a feição espectral conhecida como *red edge*. A reflectância no infravermelho próximo depende da estrutura foliar, mas também da arquitetura dos dosséis, podendo informar consideravelmente sobre o albedo da vegetação e, conseqüentemente, sobre sua fitofisionomia (Pacheco, 2009).

O intervalo do infravermelho ondas curtas (1.300 a 2.500 nm) está relacionado ao teor em água nas folhas e compostos bioquímicos – lignina, celulose, amido, açúcares e proteínas (Figura, 3-2), embora os compostos bioquímicos possam ser mascarados pela alta absorção de água na região espectral entre 1.300 – 2.000 nm (Ponzoni & Shimabukuro, 2007). Na região entre 2000 e 2400 nm, as variações no teor em água foliar não implicam em

mudanças significativas na absorção de REM. Assim essa região do espectro pode informar consideravelmente dos compostos bioquímicos (Almeida, 2005).

Figura 3-2: Espectros de absorção de proteína, celulose, hemicelulose, amido, açúcar e lignina, a partir dos dados de Baret, 1999.

Variações na amplitude das feições espectrais da vegetação são potencialmente dependentes da geometria, morfologia, fisiologia e química das plantas, bem como o tipo de solo, o ângulo de incidência da radiação solar e as condições climáticas (Baret et al., 1992). Além das condições ambientais, fatores patológicos também atuam na composição química ou estrutural das folhas, causando alterações nas propriedades espectrais da vegetação (Ponzoni & Shimabukuro, 2007).

Os sensores geralmente medem a radiação refletida pelos alvos terrestres, em diferentes comprimentos de onda. O sensor ASTER (*Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer*) a bordo do satélite Terra, utilizado nesta pesquisa, se caracteriza como sensor de médias resoluções espectral e espacial.

As imagens ASTER permitem a detecção de compostos fotossintetizantes e bioquímicos específicos (Perrotta, 2008a; Pacheco, 2009), o que viabiliza a aplicação da abordagem sistêmica (Almeida, 2005) no estudo da geobotânica, graças às discretas bandas na região entre 2.100 e 2.400 nm.

3.3. Planície do Una: Unidades geobotânicas

No Capítulo 2 foram estabelecidas unidades geobotânicas por meio da caracterização da granulometria, fertilidade de solo, nível de água, e dos aspectos relacionados à vegetação como similaridade florística, altura média dos indivíduos arbóreos, número de indivíduo por m², riqueza de espécies e famílias (Tabela 2-10).

A partir das unidades encontradas na planície, foi testada a capacidade de imagens multiespectrais ASTER de identificar tais unidades através de processamento digital. Os métodos realizados no processamento das imagens seguiram a abordagem sistêmica descrita por Almeida (2005).

3.4. Metodologia

3.4.1. Sensoriamento Remoto

A imagem utilizada no sensoriamento remoto, identificada como AST_L1B_00302262006132116_20090911153650_23773, foi obtida 26/02/2006 pelo sensor orbital ASTER (*Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer*).

O ASTER possui bandas espectrais de acordo com a Tabela 3-1. No estudo foram utilizadas as Bandas 1, 2 e 3, do Visível e Infravermelho Próximo (VNIR - *Visible and Near Infrared*), com resolução espacial de 15 m e as Bandas 4, 5, 6, 7 e 8 do Infravermelho Médio (SWIR - *Shortwave Infrared*), com resolução espacial de 30 m. A Banda 9 e as bandas do Infravermelho Termal (TIR - *Thermal Infrared*) não foram utilizadas no estudo.

Tabela 3-1: Característica da imagem ASTER

Subsistema	Banda	Intervalo Espectral (μm)	Resolução (m)
VNIR	1	0,52 - 0,60	15
	2	0,63 - 0,69	
	3	0,76 - 0,86	
SWIR	4	1,60 - 1,70	30
	5	2,145 - 2,185	
	6	2,185 - 2,225	
	7	2,235 - 2,360	
	8	2,295 - 2,360	
	9	2,360 - 2,430	
TIR	10	8,125 - 8,475	90
	11	8,475 - 8,825	
	12	8,925 - 9,275	
	13	10,25 - 10,95	
	14	10,94 - 11,65	

A imagem ASTER adquirida foi a única encontrada no catálogo da USGS (*U.S. Geological Survey*) com porcentagem de nuvens insignificante e que abrange a região de estudo. A imagem ASTER é ortorretificada, o que simplifica as etapas de pré-processamento. Todas as etapas de processamento foram realizadas no *software* Envi 4.7.

Na Figura 3-3 são expostos os espectros de absorção de carotenóides, clorofila e antocianina na região do VNIR e espectros de absorção de proteína, celulose, hemicelulose, amido, açúcar e lignina na região do SWIR do sensor ASTER.

Figura 3-3: Espectros de absorção no intervalo de comprimento de onda das bandas do sensor ASTER (Perrota et al., 2008a).

Pré Processamento

A etapa de pré processamento, a qual prepara a imagem para o processamento propriamente dito, compreendeu em reamostragem das bandas do infravermelho de ondas curtas (SWIR) para resolução espacial de 15 m, compatível com a resolução das bandas do visível e infravermelho próximo (VNIR) na imagem ASTER.

A reamostragem de todo conjunto para 15 m apenas divide em quatro os pixels das bandas no SWIR, o que não implica em perda de informação e garante a tomada do valor do pixel correspondente de cada ponto de amostragem de sedimento e solo, conforme descrito no Capítulo 2.

Após a reamostragem da cena foi feito o recorte da área de estudo. A imagem da área de estudo foi submetida à correção atmosférica pelo módulo QUAC – *Quick Atmospheric Correction* (ENVI ®) no intuito de minimizar os efeitos de espalhamento e absorção da radiação devido aos constituintes da atmosfera.

A partir deste ponto as imagens ASTER da área da planície foram submetidas ao processamento digital seguindo a metodologia da abordagem sistêmica.

Índices Espectrais de Vegetação

Os índices de vegetação são usualmente utilizados para realçar informações desejadas. Por definição, são medidas radiométricas adimensionais relacionadas aos parâmetros biofísicos da cobertura vegetal (Jensen, 2011). Os índices espectrais também minimizam os efeitos de iluminação da cena, declividade da superfície e geometria de aquisição que influenciam os valores de reflectância da vegetação (Ponzoni & Shimabukuro, 2007).

Os índices que exploram o fluxo radiante refletido no infravermelho próximo e no vermelho fornecem informações sobre a biomassa da vegetação e a área foliar (Índice de Área Foliar). Informações sobre o conteúdo de umidade interna da vegetação ou água foliar são extraídas de bandas do infravermelho próximo e do infravermelho ondas curtas na região de 1.650 nm. Informações sobre compostos bioquímicos são retiradas no intervalo espectral entre 2.100 e 2.400 nm.

Os índices de vegetação foram obtidos através de razões de bandas no sentido de realçar as respostas espectrais associadas aos componentes da vegetação. A operação de razão de bandas tem como princípio básico suprimir a informação espectral comum a ambas as bandas e realçar a diferente. As razões de bandas normalmente utilizam um comprimento de onda de referência (em geral entre 750 e 900 nm no caso de estudos da vegetação) e um comprimento de onda índice.

Para realçar a resposta dos componentes químicos da vegetação na imagem ASTER foi utilizada a banda três como intervalo de onda de referência (760 – 860 nm). Também foi usados índices de razão de banda normalizada (NDVI e NDWI). As operações de realce espectral efetuadas são encontradas na Tabela 3-2.

Tabela 3-2: Índices de vegetação calculados para imagem ASTER

Índices de Vegetação	Razões de bandas
NDVI - <i>Normalized Difference Vegetation Index</i>	$(\text{ASTER 3} - \text{ASTER 2}) / (\text{ASTER 3} + \text{ASTER 2})$
Razão Simples - clorofila	$\text{ASTER 3} / \text{ASTER 2}$
Razão Simples – antocianina	$\text{ASTER 3} / \text{ASTER 1}$
Pigmentos Foliares	$\text{ASTER 3} / (\text{ASTER 1} + \text{ASTER 2})$
NDWI - <i>Normalized Difference Water Index</i>	$(\text{ASTER 3} - \text{ASTER 4}) / (\text{ASTER 3} + \text{ASTER 4})$
Razão Simples - água foliar	$\text{ASTER 3} / \text{ASTER 4}$
Compostos Bioquímicos	$\text{ASTER 3} / (\text{ASTER 5} + \text{ASTER 6} + \text{ASTER 7} + \text{ASTER 8})$
Razão Simples - amido	$\text{ASTER 3} / \text{ASTER 6}$
Razão Simples- lignina	$\text{ASTER 3} / \text{ASTER 8}$

Abordagem Sistêmica no Processamento Digital de imagens

O método de processamento digital de imagens multiespectrais empregado nesta pesquisa considerou a abordagem sistêmica (Almeida, 2005), que se baseia na resposta espectral dos diferentes compostos foliares e de albedo do dossel, a partir de uma sequência de processamentos que visa concentrar a informação útil. O termo sistêmico considera a planta como um sistema que contém em suas folhas água, pigmentos e compostos bioquímicos como celulose, lignina e amido, bem como a arquitetura do dossel, que guarda grande correlação com a fisionomia da floresta e, naturalmente, com as espécies presentes.

Para a aplicação da abordagem sistêmica foram realizadas as seguintes etapas:

a) Montagem de imagens-índices espectrais

As imagens-índices são realizadas no sentido de realçar as respostas espectrais associadas aos componentes da vegetação. A operação de razão de bandas tem como princípio básico suprimir a informação espectral comum a ambas as bandas e realçar a diferente.

Os índices empregados na Análise por Componentes Principais estão expostos na Tabela 3-3.

Tabela 3-3: Índices aplicados na Análise por Componentes Principais

Imagens-índices	Razões de bandas
Pigmentos foliares – antocianina	ASTER 3 / ASTER 1
Pigmentos fotossintéticos – clorofila	ASTER 3 / ASTER 2
Água foliar	ASTER 3 / ASTER 4
Compostos Bioquímicos - amido	ASTER 3 / ASTER 6
Compostos Bioquímicos - lignina	ASTER 3 / ASTER 8

b) Análise por Componentes Principais

Na segunda etapa, o conjunto de imagens geradas com as razões de bandas ou de índices espectrais foi submetido a uma Análise por Componentes Principais (ACP), utilizando matriz de correlação. A ACP é uma técnica estatística multivariável que tem como função principal ordenar, hierarquizar, e concentrar a informação realçada de compostos selecionados em imagens onde há redução de dimensionalidade.

A partir da matriz de autovetores gerada pela ACP é possível verificar a origem da informação espectral realçada individualizada em cada componente principal. Comumente, em áreas predominantemente vegetadas, a primeira componente principal (CP1) gerada através de índices espectrais de vegetação, não apresenta nenhum índice espectral dominante, pois em sua composição há participação semelhante de todos os índices.

c) Composição Colorida

A escolha das componentes principais (CPs) para montagem da composição colorida se faz pela análise da matriz dos autovetores. A seleção da CP é em função dos pesos ou *loadings* das imagens-índice de cada componente. A seleção das três CPs priorizou

aquelas de informações mais independentes e dominantes, o que possibilita a formação de composições coloridas com maior nível de contraste.

d) Realce por filtro de convolução passa-baixas de dimensões médias

O uso de filtros de convolução passa-baixas é essencial para realçar as respostas dominantes e tem por finalidade obter maior uniformização de zonas homólogas eliminando as pequenas e bruscas variações, que não tem significado geobotânico.

A aplicação de filtros desta natureza se justifica pelo fato de que relações geobotânicas são resultantes de tendências, salvo quando as heterogeneidades ambientais sejam bruscas e muito grandes. Em florestas tropicais, 70-75% das variações florísticas são determinadas pelos fatores ambientais (Tuomisto et al., 2003b). O filtro utilizado no processamento digital foi do tipo passa-baixas gaussiano de com operador (ou kernel) de 13 elementos.

e) Introdução da imagem de albedo

A informação de albedo informa essencialmente a textura da superfície, seja ela no macro, dada pelo relevo, seja no micro, dada pela porcentagem de sombra no dossel imageado por um pixel. Relacionado à arquitetura do dossel, o albedo informa sobre a estrutura e fisionomia da floresta, aspecto essencial na diferenciação de coberturas vegetais, como apresentado em Almeida (2005) e em Almeida et al. (2007). Assim, a introdução da imagem de albedo, como um componente de intensidade, auxilia na identificação de fisionomias vegetais dissimilares e da fisiografia do terreno.

A operação razão de bandas causa a perda da informação de albedo, pois as semelhanças entre as bandas (essencialmente o albedo) são eliminadas e realçadas as diferenças. Sendo assim é necessário introduzir esta importante informação nas imagens resultantes da ACP.

A imagem de albedo foi obtida através da primeira componente principal da ACP do subconjunto de bandas originais da região do VNIR (Bandas 1, 2 e 3). Esta imagem possui a informação mais correlacionada de todo conjunto e concentra a maior parte da variância total, justamente o albedo. A imagem de albedo da vegetação da planície é introduzida tanto nas composições coloridas como em CPs isoladas com pseudo-cor por meio de fusão de imagens (Transformação HSV), onde a imagem de intensidade (I) é substituída pela de albedo.

O fluxograma apresentado na Figura 3-4 mostra as etapas do processamento de imagens de acordo com a abordagem sistêmica.

Figura 3-4: Fluxograma com sequência dos processamentos utilizados na detecção do comportamento espectral da floresta

3.4.2. Obtenção de dados de Área Foliar – Densidade do dossel

A área foliar, em geral apresentada como Índice de Área Foliar (IAF), é dada pela razão da área projetada em plano horizontal do conjunto de folhas do dossel e a área total do terreno (Almeida, 2005).

Aplicando este conceito no presente estudo, foi obtida uma fotografia digital do dossel na altura do solo nos cinco pontos de coleta de sedimentos e solo de cada parcela. A fotografia foi tomada com a máquina fotográfica a 180°, ou seja, paralela ao chão. A partir da fotografia digital foi separada apenas a banda no azul, onde é maior a absorção da radiação pelas folhas e, ao mesmo tempo, é maior o número digital associado à atmosfera. Posteriormente a imagem foi tornada binária, com valores de um (considerando folhas) e zero (considerando céu). Com uma classificação não supervisionada a área foliar da cobertura vegetal das parcelas foi considerada como sendo a porcentagem em negro da máscara, ou seja, da projeção das folhas do dossel no plano do solo.

3.4.3. Correlação dos dados de sensoriamento remoto e geobotânicos

Os dados de sensoriamento remoto foram obtidos através dos valores dos números digitais (Digital Number – DN) de cinco pixels correspondentes aos pontos de coleta de amostras de sedimento e solo, de cada imagem resultante do processamento, ou seja, das imagens originadas de todos os índices de vegetação e das imagens finais da aplicação do método sistêmico.

O número digital (DN) ou nível de cinza que em formatos do tipo 8 bits pode variar de 0 a 255, representa a intensidade média da energia eletromagnética (refletida ou emitida pelos diferentes materiais) medida pelo sensor, para a área da superfície da Terra correspondente ao tamanho do pixel.

Os números digitais das imagens foram correlacionados aos dados de granulometria, fertilidade do solo e nível de água, apresentados no Capítulo 2, por meio do cálculo do

Coeficiente de Correlação Linear de Pearson ($\rho^{\wedge}$). Os dados de vegetação não foram incluídos na correlação, pois estes apresentam unidade amostral diferente.

O Coeficiente de Correlação Linear de Pearson ($\rho^{\wedge}$) também conhecido como Coeficiente de Correlação do Momento Produto, é um método usualmente conhecido para medir a correlação entre duas variáveis que pode ser negativa ou positiva, conforme a equação:

$$\rho^{\wedge}_{x,y} = \text{COV}(x,y) / \sigma_x \cdot \sigma_y \quad (2)$$

Onde:

$\rho^{\wedge}_{x,y}$: Coeficiente de correlação entre as variáveis x e y

COV (x,y): Covariância ou variância conjunta das variáveis x e y

σ_X : Desvio padrão da variável x;

σ_Y : Desvio padrão da variável y;

Para utilizar o Coeficiente de Correlação Linear de Pearson é necessário admitir três suposições: (i) as duas variáveis envolvidas se relacionam linearmente; (ii) são aleatórias e medidas em escala intervalar; e (iii) apresentam distribuição normal (Lira, 2004). Na prática, o coeficiente ($\rho^{\wedge}$) é interpretado como um indicador que descreve a interdependência entre as duas variáveis. O coeficiente $\rho^{\wedge}$ igual a 1 ou -1 indica a existência de correlação linear perfeita entre as variáveis X e Y. O sinal indica se a correlação é positiva ou negativa. Quando se tem $\rho^{\wedge} = 0$, não existe correlação linear entre as variáveis. Valores intermediários são avaliados qualitativamente da seguinte forma:

- Se $0,00 < \rho^{\wedge} < 0,30$ - existe fraca correlação linear;
- Se $0,30 \leq \rho^{\wedge} < 0,60$ - existe moderada correlação linear;
- Se $0,60 \leq \rho^{\wedge} < 0,90$ - existe forte correlação linear;
- Se $0,90 \leq \rho^{\wedge} < 1,00$ - existe correlação linear muito forte.

3.4.4. Análise de Agrupamento – Números Digitais

No intuito de verificar se a metodologia aplicada no processamento de imagens consegue detectar as unidades geobotânicas descritas no Capítulo 2, foi realizada uma análise de agrupamento com os números digitais das imagens derivadas dos índices de vegetação e da abordagem sistêmica.

Para a análise de agrupamento, a tomada de dados das imagens foi feita de forma diferente do que para a análise de correlação. Aqui, foram adotados os números digitais de 25 pixels, extrapolando a área correspondente das parcelas, que se compõem de quatro pixels lineares de comprimento cada uma, com um pixel comum a ambas. Desta forma a área amostrada na imagem abrange a área amostrada em campo, com uma folga em seu entorno. Esse aumento do número de “amostras” de pixels assegura maior confiabilidade na análise de agrupamento e admite-se, de acordo com Tuomisto et al. (2003c), que a cobertura vegetal das unidades geobotânicas encontradas podem apresentar sutis variações de composição e forma em curto espaço, dependente ou não das características ambientais, embora façam parte de determinado padrão de resposta espectral.

A análise de agrupamento utilizada foi a de Cluster que é uma análise estatística multivariada que propõe agrupar “objetos”, por exemplo, locais, de acordo com variáveis previamente selecionadas.

A proposta de agrupamento baseia-se em avaliações de similaridade através do cálculo da Distância Euclidiana (*linkage distance*) das variáveis determinadas. Dentro de um agrupamento resultante de uma análise de Cluster são formados grupos com homogeneidade interna máxima, ao passo que existe uma heterogeneidade máxima entre os grupos.

Para realizar a análise de Cluster foi utilizado o *software* STATISTICA 7.

3.5. Resultados e Discussões

3.5.1. Processamento Digital das imagens ASTER

Índices de Vegetação

Os índices de vegetação que exploram os pigmentos foliares nos intervalos espectrais do vermelho (ASTER2) e do infravermelho próximo (ASTER3) são apresentados na Figura 3-5. A segmentação da vegetação é pouco evidente na imagem do NDVI, com exceção da faixa próxima à linha de costa onde se localiza o perfil FG. Já os índices Razão Simples – clorofila e pigmentos foliares apresentam uma melhor diferenciação da vegetação.

O NDVI e a Razão Simples-clorofila são altamente correlacionados com o Índice de Área Foliar e a biomassa da vegetação (Jensen, 2011). Entretanto, pode ocorrer saturação do NDVI quando o IAF é muito alto, próximo ao máximo, como é o caso das florestas densas. Por este motivo a Razão Simples é o índice nesta região do espectro mais ajustado para identificar variações em florestas densas.

Comparando as respostas das imagens da Figura 3-5 aos perfis associados às unidades geobotânicas, o NDVI é o índice de pigmentos que apresenta as piores definições. Nas imagens há clara tendência de respostas mais intensas (pixels mais claros) nos Perfis AB/JK/LM/FG associados aos terrenos bem drenados, com baixa fertilidade e sedimentos mais grossos (areia fina a média), indicando um padrão de dossel mais fechado e com maiores teores em clorofila.

Figura 3-5: Imagens dos índices de vegetação para pigmentos foliares.

A Figura 3-6 apresenta as imagens-índice para água foliar. As imagens são bem semelhantes e nelas é possível reconhecer em tons escuros as drenagens internas da planície, as drenagens a noroeste, associadas ao rio Una do Prelado, e as drenagens paralelas e bem próximas à praia do rio Poçauna. A segmentação da Planície do Una é bem marcada nas imagens-índice de água foliar, assim como para os compostos bioquímicos (Figura 3-7). A planície apresenta grande variabilidade hídrica, com áreas permanentemente (ex. várzeas) ou temporariamente alagadas (ex. depressões intercordões). Quanto à

comparação entre as respostas destas imagens com as unidades geobotânicas, ocorre padrão semelhante ao encontrado para os pigmentos, com tons mais claros preferencialmente associados aos terrenos mais bem drenados. As áreas mais escuras associam-se principalmente à água livre que recobre o solo.

Figura 3-6: Imagens dos índices de vegetação para água foliar

Na figura 3-7 estão os índices construídos a partir dos comprimentos de onda-índice na região entre 2.100 nm e 2400 nm. Visualmente os três índices são semelhantes, com menor contraste para o índice da lignina. Nas três imagens os Perfis AB/LM/JK/FG aparecem associados a cinza claro, com altos números digitais (DNs), enquanto os Perfis 2C/HI/DE/NO estão em cinza escuro, mostrando padrões bem distintos entre as unidades e uniformidade entre os perfis de cada unidade geobotânica.

Considerando todas as imagens dos índices de vegetação, com exceção do NDVI, observam-se ao menos quatro fácies na cobertura vegetal da planície. Partindo da praia em direção noroeste, até o rio Una do Prelado, a primeira é próxima à praia, abrangendo a vegetação herbácea das praias, herbáceo-arbustiva de ante-dunas, dunas e pós-dunas, jundú (arbustivo) e cordões arenosos mais recentes com floresta de restinga de porte baixo.

A segunda, no interior da planície, com drenagens que acompanham e cortam os cordões arenosos, pode ser dividida nas porções mais claras (áreas mais bem drenadas) e porções mais escuras (áreas permanente ou temporariamente alagadas).

A terceira é a região conhecida localmente como “lombadão” que apresenta uniformidade nas imagens ao longo da planície inteira no sentido sudoeste-nordeste, estando mais definida nas imagens dos índices de amido e compostos bioquímicos. Estas duas fácies apresentam florestas de restinga associadas aos cordões arenosos, às depressões intercordões e às várzeas das drenagens. Nas depressões e várzeas se desenvolve vegetação paludosa.

Por fim, a quarta é relacionada à vegetação paludosa com predomínio de *Tabebuia cassinoides*, conhecida como “caxetal”, sobre influência lagunar e do regime fluvial rio Una do Prelado.

Figura 3-7: Imagens dos índices de vegetação para compostos bioquímicos foliares

Abordagem Sistêmica

A Análise por Componentes Principais (ACP) calculada a partir da matriz de correlação resultou as matrizes de autovalores e autovetores apresentadas nas Tabelas 3-4 e 3-5, respectivamente.

A primeira componente principal (CP1) detém o maior autovalor e consequentemente, a maior porcentagem da variância do conjunto de índices calculados (Tabela 3-4). Apesar de

explicar a maior parte da variância, a CP1 não concentra nenhum índice espectral, pois em sua composição há participação semelhante de todos os índices (Tabela 3-5).

Tabela 3-4: Matriz de autovalor da ACP expressando a porcentagem da variância total do conjunto de cinco índices calculados.

CP 1	CP 2	CP 3	CP 4	CP 5
74,96	14,17	6,27	2,92	1,67

Tabela 3-5: Matriz de autovetores da ACP, expressando a ordenação da informação em cada componente principal.

	B3/B1	B3/B2	B3/B4	B3/B6	B3/B8
CP 1	0,396875	0,409275	0,471762	0,470131	0,481042
CP 2	0,610592	0,533793	-0,393260	-0,387447	-0,193582
CP 3	0,677471	-0,734468	0,028989	0,014829	0,023035
CP 4	-0,102999	-0,087518	-0,253266	-0,448685	0,846327
CP 5	-0,009594	-0,021376	-0,746862	0,653700	0,119684

Os valores em negrito da Tabela 3-5 indicam que a CP2 e CP3 concentram a informação sobre os pigmentos fotossintéticos (clorofila *a* e *b*, carotenos e antocianina), mas não de forma redundante, ao contrário. A CP2 é dominada por pigmentos, sobretudo por carotenos e antocianina, com sinal positivo. Ou seja, a presença de pigmentos será expressa por pixels claros e DNs de valor elevado. Como os índices relacionados à água foliar, amido e lignina tem pesos rezoáveis com sinal negativo na CP2, a informação de pigmentos, em particular carotenos, é notável (Figura 3-8). Já na CP3, onde os pesos dos pigmentos são ainda mais dominantes, a participação das clorofilas *a* e *b* é maior do que a de carotenos e antocianina. Em função dos sinais, enquanto as clorofilas se associam aos pixels escuros e DNs baixos, os carotenos e a antocianina se associam aos pixels claros e DNs elevados. Por razão da presença dos dois grupos de pigmentos nas folhas, o antagonismo presente levou a uma imagem com pouca informação, sobretudo visualizada em tons de cinza.

A informação de lignina está particularmente concentrada na CP4, associando-se a pixels claros, o que é ressaltado pelo fato dos demais índices apresentarem sinal negativo. Já a da água foliar, a qual o ambiente sugere ser muito importante, tem sua informação concentrada na CP5, com sinal negativo. Sendo assim, os maiores teores de água foliar estão associados aos pixels escuros com DNs baixos. Nesta mesma CP há realce de amido, associado a DNs elevados e pixels claros.

Na Figura 3-8 são visualizadas as imagens das cinco componentes principais. A imagem da CP1 mostra que a intensa variabilidade da floresta em estudo não tornou sua informação redundante, ao contrário, pois informa da disposição espacial das fácies florestais. A imagem desta componente, juntamente com as das CP4 e PC5 indica que a cobertura vegetal da planície é segmentada paralelamente à linha de costa, acompanhando o sentido dos cordões arenosos de direção SW-NE. Na CP2 e CP3 a segmentação é bem menos evidente, embora seja aparente o padrão diferenciado da vegetação próxima da linha de costa.

Para destacar a diferença dos valores dos pixels e incorporar a informação de albedo² nas imagens das cinco componentes, estas foram submetidas à transformação pseudo-cor, filtro de convolução passa-baixas com kernel de 13 elementos e fusão de imagens (Transformação HSV) (Figura 3-9). A imagem com informação de albedo é apresentada na Figura 3-10.

A segmentação das imagens conduz a interpretação de que a vegetação possui padrões diferenciados segundo seus constituintes foliares e estruturais e certamente, pelas características ambientais. A vegetação de herbáceas, arbustos e arvoretas de menor porte, localizada na zonação entre a praia e a floresta de restinga, apresenta-se bem marcada nas imagens pelas respostas de lignina (CP4) e amido (CP5).

²A informação de albedo aqui utilizada deriva da primeira componente (CP1) da Análise por Componentes Principais das bandas 1, 2 e 3 das imagens ASTER.

Figura 3-8: Componentes principais resultantes de índices espectrais

Figura 3-9: Componentes principais resultantes de índices espectrais em pseudo-cor

Também é possível verificar padrões diferenciados no interior da planície e na região próxima ao rio Una do Prelado, a noroeste das imagens, associados aos carotenos e antocianina (CP2), à água foliar e amido (CP5).

Figura 3-10: Imagem com informação de albedo derivada da primeira componente (CP1) da Análise por Componentes Principais das bandas 1, 2 e 3 das imagens ASTER

As imagens CP1, CP2 e CP5 também conseguiram identificar uma região na planície conhecida pela população local como “lombadão”, localizada no interior da planície e vizinha da região de influência do rio Una do Prelado. Como identificado em campo, esta área tem cota maior em relação à planície lagunar e o restante da planície, possivelmente representando um cordão formado em período de ressacas marinhas intensas quando da regressão marinha no Holoceno.

Quanto à identificação das unidades geobotânicas definidas no Capítulo 2, duas imagens das CPs em cores sintéticas se destacaram, a CP1 e a CP5. A CP1 apresenta a mesma resposta para os Perfis 2C/DE/HI, sobre terrenos menos drenados, solos comparativamente mais férteis e sedimentos mais finos (areia muito fina e pelitos). Já a CP5 identifica melhor os perfis associados a solos mais bem drenados, com baixa fertilidade e com granulometria dominante de areia fina a média (Perfis AB/JK/LM). As demais CPs reconhecem mal as

unidades geobotânicas. Os Perfis FG e NO, são bastante distintos entre si e com relação aos demais, tendo características específicas. Considerando esta especificidade, apenas a CP5 fornece uma resposta que diferencia as áreas relacionadas aos perfis NO e FG das demais unidades.

As imagens da Figura 3-11 seguiram todas as etapas de processamento preconizadas na abordagem sistêmica. As imagens foram compostas através da seleção dos tripletes, filtro de convolução passa-baixas e fusão da imagem com a informação de albedo.

Praticamente os dois primeiros tripletes da Figura 3-11 são iguais, não fazendo diferença da composição com CP1 ou a CP2. Sendo a planície toda vegetada, a indicação dos pigmentos foliares será mesmo muito próxima a CP1 que possui a informação mais comum da vegetação.

Os dois últimos tripletes da Figura 3-11, que se diferem na composição do canal do azul, também apresentam muita semelhança, embora a porção nordeste da planície exiba pequena variação. Na composição CP2(R)/CP1(G)/CP5(B), a água foliar responde junto com a informação de pigmentos foliares, produzindo a coloração amarelada. Na CP2(R)/CP1(G)/CP4(B), a vegetação associada a drenagem da bacia do rio Una do Prelado apresenta coloração resultante do canal do vermelho e do azul, ou seja, a lignina responde acompanhada dos pigmentos carotenos e antocianina. A vegetação paludosa encontrada nesta região é espaçada com predomínio de *Tabebuia cassinoides* (caxeta). Sendo a vegetação mais “aberta”, galhos e troncos ficam mais expostos contribuindo para resposta de lignina.

Figura 3-11: Composições RGB utilizando imagens das componentes principais

No tocante às unidades geobotânicas, todas as composições coloridas de CPs mostram comportamentos bem definidos para os Perfis AB/JK/LM, os que estão em terrenos bem drenados, baixa fertilidade e sedimentos arenosos (areia fina a média). Para a unidade dos Perfis 2C/DE/HI o comportamento é menos definido, com o Perfil DE apresentando um comportamento menos relacionado com os Perfis 2C e HI. Os dois outros perfis, FG e NO, denominados no Capítulo 2 como outras unidades, são bastante distintos e não se

relacionam espectralmente com os demais, com comportamento característico em todas as composições da Figura 3-11.

Considerando as composições CP1(R)/ CP5 (G)/ CP4 (B) e CP2 (R)/ CP5(G)/ CP4 (B) da Figura 3-11 e os dados de campo disponíveis, pode-se sugerir as seguintes unidades geobotânicas:

- 1- Próximo à praia, onde foi feito o Perfil FG. Vegetação arbórea de pequeno porte com predomínio de uma espécie, em solos bem drenados, com cordões bem definidos e granulometria de areia fina e média. Por razão da resolução espacial das imagens, esta área também abrange as vegetações arbustivas e herbáceas dos cordões ainda mais recentes e de duna. Nas imagens citadas associa-se ao branco;
- 2- Unidade completamente arbórea, onde foram feitos os Perfis AB/JK/LM. Os solos são razoavelmente drenados e a granulometria de areia fina e média. Nas imagens associa-se às porções amarelas;
- 3- Unidade arbórea associada a terrenos muito úmidos, com frequente presença de água livre e granulometria de areia muito fina a pelitos. Refere-se aos Perfis 2C e HI, tendo cor verde nas imagens;
- 4- Unidade situada no ambiente conhecido na região como lombadão. Representa a floresta de maior altura na planície e é constituído por areia fina e média. Embora os solos apresentem má drenagem, com o freático muito raso, logo abaixo da serapilheira, não há água livre na área visitada. Possivelmente em função de heterogeneidades longitudinais há cores e tonalidades variadas ao longo da feição, que atravessa toda a área. Conforme os resultados obtidos no Capítulo 2 esta unidade pode ser agrupada juntamente com os Perfis 2C e HI por sua fertilidade e similaridade florística;
- 5- Unidade referente ao Perfil NO e associa-se essencialmente a pelitos muito ricos em matéria orgânica, com vegetação paludosa e intensa influência da água doce do rio Una do Prelado. Associa-se às cores vermelho e magenta avermelhado próximas ao rio. Nota-se o

mesmo padrão de coloração em áreas internas da planície associadas às drenagens. Possivelmente estas também apresentam vegetação paludosa.

3.5.2. Correlações entre unidades geobotânicas e sensoriamento remoto

A matriz de correlação de Pearson ($\rho^{\wedge}$) foi aplicada nos Perfis das unidades geobotânicas localizadas no interior da planície, AB/JK/LM e 2C/DE/HI, definidas no Capítulo 2. As unidades FG e NO são muito mais diferenciadas nos aspectos de granulometria, fertilidade, nível de água e composição florística. A unidade FG também apresenta forte distinção das demais nas imagens processadas.

A matriz correlacionou os dados de granulometria, fertilidade, nível de água e IAF aos números digitais das imagens das componentes principais e dos índices espectrais de cada unidade. Os números digitais derivaram dos pixels referentes aos locais de coleta dos dados do Perfil.

A matriz de correlação pode ser visualizada no Apêndice D. Conforme pode ser visto neste apêndice as correlações mais fortes estão atreladas a *outliers*, e as correlações médias indicadas obedecem a distribuição normal dos dados. Possivelmente este comportamento se deve ao número de amostras coletadas ($n=30$). Por não apresentar resultados discordantes com relação aos demais dados e pela possibilidade de apontar tendências, as correlações fortes foram consideradas. As correlações médias e fortes encontradas na matriz são apresentadas nas Tabelas 3-6 (índices espectrais) e 3-8 (componentes principais). Um aspecto importante que foi considerado é a presença de correlações positivas com a granulometria dominante no grupo de perfis em análise e negativa com a dominante no outro grupo de perfis, o que deixa a indicação de granulometria mais significativa.

De acordo com a Tabela 3-6 o NDVI caracteriza bem a unidade 2C/DE/HI com correlação entre a resposta espectral e a granulometria, uma vez que apresenta correlação positiva

(0,43) com areia muito fina e negativa com areia fina (-0,52), mas a resposta fica menos clara em relação à granulometria porque há correlação negativa para areia fina, fração dominante, para a unidade AB/LM/JK. Já a CTC e H+Al tem correlação positiva para a unidade 2C/DE/HI e negativa para a AB/LM/JK. Os índices B3/B2 e B3/B1+B2 não apresentaram correlações significativas para a unidade AB/LM/JK e, para a unidade 2C/DE/HI, correlacionou a granulometria de forma semelhante ao NDVI.

Diferente dos índices anteriores, o índice B3/B1 que também informa principalmente de pigmentos, relaciona melhor a resposta espectral com a granulometria. Nos Perfis AB/JK/LM, a resposta espectral apresenta correlação positiva com os sedimentos mais grossos e negativa com areia muito fina (-0,49). Nos Perfis 2C/DE/HI, o índice B3/B1 tem correlação positiva com areia muito fina (0,46) e negativa com areia fina (-0,54).

Os índices construídos nas regiões espectrais do infravermelho próximo e do infravermelho ondas curtas (SWIR), sobretudo no SWIR2 (de comprimentos de onda entre 2.000 e 2.500 nm), apresentam resultados bastante distintos aos do visível e mais interessantes do ponto de vista da correlação com o principal parâmetro geológico em pauta, a granulometria. O índice do amido (B3/B6) nos Perfis AB/LM/JK tem correlação positiva com as frações areia muito grossa e grossa (0,31 e 0,39) e, para os Perfis 2C/DE/HI, correlações positivas com areia muito fina (0,55) e com pelitos (0,52) e negativa para areia fina (-0,30). O índice B3/B5+B6+B7+B8, que informa genericamente de compostos bioquímicos com feições de absorção no SWIR2, tem correlações semelhantes às apresentadas pelo índice do amido, embora ainda mais significativas. Os Perfis AB/LM/JK possuem correlações positivas de 0,42 para areias muito grossa e grossa, e os Perfis 2C/DE/HI apresentam correlações positivas com areia muito fina e pelitos (0,57 e 0,43) e negativa para areia grossa, média e fina (-0,58; -0,48 e -0,44). O índice de Lignina (B3/B8), também no SWIR2, é bem menos interessante, com correlações positivas esperadas apenas para areia muito grossa e grossa para os Perfis AB/LM/JK.

Os dois índices construídos no SWIR1 (1.450 a 1850 nm) informam essencialmente de água foliar. Esperavam-se correlações mais importantes, em função da importância da água no ambiente estudado. O índice NDWI correlaciona-se muito bem com a granulometria dominante nos Perfis 2C/DE/HI, com correlações positivas com areia muito fina (0,44) e pelitos (0,55) e correlação negativa com areia média (-0,45). No entanto para os Perfis AB/LM/JK apresenta correlações em quadro confuso, correlacionando-se positivamente tanto para areia grossa (0,41), granulometria característica destes perfis, como com pelitos (0,38), característica dos Perfis 2C/DE/HI, e apresenta ainda correlação negativa para areia fina, fração dominante nesta unidade. Interessante observar que o Fe tem correlação positiva importante (0,51) com os Perfis 2C/DE/HI e negativa (-0,55) para os Perfis AB/LM/JK. O índice B3/B4 essencialmente repete o comportamento do NDWI.

Do ponto de vista de parâmetros indicativos de fertilidade, Soma de Bases (SB), e Capacidade de Troca Catiônica (CTC), poucos índices mostraram esses parâmetros como tendo correlações significativas com as imagens de índices espectrais. Destacou-se o NDVI, que mostrou uma correlação negativa com CTC para os Perfis AB/LM/JK e positiva para os Perfis 2C/DE/HI, dentro do princípio de respostas antagônicas. Os índices B3/ (B1+B2) e B3/B1, referente aos pigmentos, apontaram a unidade dos Perfis AB/JK/LM como sendo menos fértil, pois ocorrem correlações negativas com a CTC, SB, e consequentemente com as bases K, Ca, Mg.

Os índices espectrais se correlacionam positivamente entre si nas duas unidades geobotânicas por razão da relação intrínseca entre os componentes foliares e a vegetação. No caso do Índice de Área Foliar as unidades apresentam correlações opostas referentes aos compostos bioquímicos, índices B3/B6 e B3/B5+B6+B7+B8. Quanto à granulometria, o IAF não se apresentou correlações concisas.

Tabela 3-6: Correlações (ρ^*) obtidas nos índices de vegetação, granulometria, fertilidade e nível de água das unidades geobotânicas

AB/ JK/ LM			2C/ DE/ HI		
	Positivo	Negativo		Positivo	Negativo
NDVI		Areia fina (-0,40) Ca (-0,34) Al (-0,43) H+Al (-0,47) CTC (-0,46)	NDVI	Areia mto fina (0,43) MO (0,36) H+Al (0,31) CTC (0,30)	Areia fina (-0,52) pH (-0,32)
B3/B2	Pelitos (0,37)	Al (0,33)	B3/B2	Areia mto fina (0,44)	Areia fina (-0,49) pH (-0,31)
B3/B1+B2	pH (0,35) Mn (0,44) Zn (0,30) NDVI (0,57) B3/B2 (0,55)	K (-0,44) Ca (-0,36) SB (-0,35) CTC (-0,31)	B3/B1+B2	Areia mto fina (0,30)	Areia fina (-0,40) Pelitos (-0,38)
B3/B1	Areia mto grossa (0,81) Areia grossa (0,73) Areia média (0,39)	Areia mto fina (-0,49) Pelitos (-0,50) MO (-0,47) P (-0,31) K (-0,41) Ca (-0,36) Mg (-0,68) H+Al (-0,53) SB (-0,43) CTC (-0,54) B (-0,47) Zn (-0,33)	B3/B1	Areia mto fina (0,46) V% (0,37) NDVI (0,62) B3/B2 (0,64) B3/B1+B2 (0,54) B3/B6 (0,57) B3/B8 (0,37) B3/B5+B6+B7+B8 (0,63)	Areia fina (-0,54) S (-0,39)
IAF	Areia fina (0,43) NA (0,61) NDWI (0,37) B3/B4 (0,37) B3/B6 (0,40) B3/B8 (0,30) B3/B5+B6+B7+B8 (0,32)	Areia mto fina (-0,40) pH (-0,46) S (-0,42) Fe (-0,48)	IAF	Areia grossa (0,40) Areia média (0,67) P (0,39)	Areia mto grossa (-0,52) Areia mto fina (-0,36) Fe (-0,38) B3/B6 (-0,55) B3/B5+B6+B7+B8 (-0,34)
B3/B6	Areia mto grossa (0,31) Areia grossa (0,39) Pelitos (0,38) V% (0,31) Zn (0,47) NDVI (0,53) B3/B2 (0,59) NDWI (0,92) B3/B4 (0,92)	Al (-0,57) Fe (-0,41)	B3/B6	Areia mto fina (0,55) Pelitos (0,52) V% (0,31) NDVI (0,53) B3/B2 (0,59) B3/B1+B2 (0,40) NDWI (0,52) B3/B4 (0,53)	Areia grossa (-0,69) Areia média (-0,71) Areia fina (-0,30) Al (-0,41) H+Al (-0,40) CTC (-0,38)
B3/B8	Areia mto grossa (0,36) Areia grossa (0,35) V% (0,30) Mn (0,36) Zn (0,57) B3/B1+B2 NDVI (0,65) B3/B2 (0,64) NDWI (0,83) B3/B4 (0,84) B3/B6 (0,92)	Al (-0,62) H+Al (-0,35) S (-0,30)	B3/B8	Fe (0,36) NA (0,36) NDVI (0,37) B3/B2 (0,34) B3/B1+B2 (0,32) NDWI (0,67) B3/B4 (0,68)	
B3/B5+B6+B7+B8	Areia mto grossa (0,42) Areia grossa (0,42) Zn (0,39) NDVI (0,67) B3/B2 (0,69) NDWI (0,86) B3/B4 (0,86) B3/B6 (0,95) B3/B8 (0,95)	Fe (-0,35) Al (-0,63)	B3/B5+B6+B7+B8	Areia mto fina (0,57) Pelitos (0,43) NDVI (0,62) B3/B2 (0,65) B3/B1+B2 (0,52) NDWI (0,75) B3/B4 (0,76) B3/B6 (0,88) B3/B8 (0,53)	Areia grossa (-0,58) Areia média (-0,48) Areia fina (-0,44)
NDWI	Areia grossa (0,41) Pelitos (0,38) Ca (0,37) Mg (0,32) SB (0,39) V% (0,48) Zn (0,40) NDVI (0,51) B3/B2 (0,58)	Areia fina (-0,39) Al (-0,65) pH (-0,31) S (-0,44) Fe (-0,55)	NDWI	Areia mto fina (0,40) Pelitos (0,55) Fe (0,51) Zn (0,35) NA (0,50)	Areia grossa (-0,65) Areia média (-0,45) K (-0,43)
B3/B4	Areia mto grossa (0,30) Areia grossa (0,38) Pelitos (0,39) Ca (0,35) Mg (0,32) SB (0,38) V% (0,49) Zn (0,40) NDVI (0,53) B3/B2 (0,59)	Areia fina (-0,39) Al (-0,64) pH (-0,30) S (-0,45) Fe (-0,54)	B3/B4	Areia mto fina (0,39) Pelitos (0,55) Fe (0,52) Zn (0,34) NA (0,50) NDWI (1,00)	Areia grossa (-0,63) Areia média (-0,44) K (-0,43)

Contudo observa-se a clara dominância da correlação da granulometria dos sedimentos com as respostas dos índices, mesmo que medianas. Considerando a tênue variabilidade ambiental e a enorme biodiversidade local, é natural não obter correlações lineares muito altas para os parâmetros estudados. Na inversão das correlações obtidas, conclui-se da capacidade das coberturas florestais típicas de Floresta de Restinga informarem, espectralmente, da granulometria dos sedimentos em que crescem.

Para as correlações das respostas das componentes principais com a granulometria, fertilidade e nível de água, apresentadas na Tabela 3-8, seriam esperadas correlações maiores, pois as CPs se mostram imagens de rica variabilidade tonal. Entretanto a granulometria, que claramente dominou o grupo de respostas com comportamento antagônico entre as unidades (correlação positiva em uma unidade e negativa em outra), aparece menos intensamente.

Sendo a componente principal, ao posicionar-se num espaço multidimensional, o conjunto de parcelas de informação, a Tabela 3-7 reproduz a Tabela 3-5 indicando a porcentagem de contribuição de cada índice nas CPs. Os sinais são referentes à tonalidade de cinza nas imagens em relação à tonalidade expressa pelo composto no índice espectral.

Tabela 3-7: Matriz de autovetores da ACP, expressando em porcentagem a ordenação da informação em cada componente principal.

	B3/B1	B3/B2	B3/B4	B3/B6	B3/B8
CP 1	17,8	18,4	21,2	21,1	21,6
CP 2	28,8	25,2	-18,6	-18,3	-9,1
CP 3	45,8	-49,7	2,0	1,0	1,6
CP 4	-5,9	-5,0	-14,6	-25,8	48,7
CP 5	-0,6	-1,4	-48,1	42,1	7,7

De acordo com a Tabela 3-8, a CP1 apresenta indicação das granulometrias dominantes nas duas unidades geobotânicas (correlação moderada e positiva). Na unidade dos Perfis 2C/DE/HI há ainda a correlação negativa com a granulometria dominante na outra unidade. Esta constatação é da maior importância, pois a CP1 possui a informação mais

correlacionada de todo o conjunto de imagens originais, neste caso as cinco imagens-índice. Assim a imagem da CP1 representa quase uma imagem-síntese, pois esta possui a informação que domina cada uma das imagens-índice. A presença de correlação significativa dos números digitais dos pixels desta CP com a granulometria dominante de cada unidade indica a importância deste parâmetro na conformação da resposta espectral e, por extensão, da cobertura vegetal local. Os valores das correlações de Pearson da granulometria com a resposta espectral na CP1 para a unidade Perfis 2C/DE/HI pode ser considerada muito consistente, pois há correlação positiva com a fração granulométrica que domina a unidade (0,51) e correlação negativa com a fração que domina a outra unidade (-0,56).

Na CP2, dominada pelos pigmentos foliares, a fração areia fina tem ao mesmo tempo correlação positiva (0,32) com o grupo de Perfis AB/LM/JK (onde a fração domina) como correlação negativa (-0,38) com o grupo dos Perfis 2C/DE/HI. Já a CP3 é confusa tanto visualmente como nas correlações com os parâmetros obtidos no campo e deve ser desprezada. A CP4 é dominada pelo índice da lignina e não tem correlações acima de 0,30 referentes à granulometria. Há comportamentos antagônicos para V%, Al, Mn e S, mas no tocante ao V% a indicação é contrária aos dados de campo, pois sugere maior fertilidade para os Perfis AB/LM/JK. A CP5 tem para a unidade dos Perfis 2C/DE/HI uma correlação positiva com pelitos (0,33) e areia muito fina (0,74) e negativa com areia média (-0,37) e areia fina (-0,70), o que sugere uma boa capacidade de discriminar esta unidade.

Em função da análise de correlação de Pearson, o melhor triplete para montar composições coloridas de CPs deveria abarcar as CPs 1, 2 e 5, o que não se verifica. Na Figura 3-11 todas as composições se assemelham e as mais contrastadas são as CP1/CP5/CP4 e CP2/CP5/CP4, ambas em RGB.

Tabela 3-8: Correlações (ρ^*) componentes principais, granulometria, fertilidade e nível de água nas unidades geobotânicas

AB/ JK/ LM			2C/ DE/ HI		
	Positivo	Negativo		Positivo	Negativo
CP 1	Areia fina (0,32) V% (0,36) Mn (0,34) Zn (0,32) NA (0,39)	MO (-0,33) Al (-0,31) H+Al (-0,40) CTC (-0,33) S (-0,45)	CP 1	Areia mto fina (0,51) P (0,34) K (0,37) Ca (0,47) SB (0,31) V% (0,47) B (0,36) Mn (0,36)	Areia fina (-0,56) Al (-0,32) S (-0,48) NA (-0,42)
CP 2 - Pigmentos	Areia fina (0,32) NA (0,36)	MO (-0,35) H+Al (-0,35) CTC (-0,30) S (-0,32)	CP 2 - Pigmentos	P (0,37) K (0,41) Ca (0,40) V% (0,45) B (0,37) Mn (0,38) CP 1 (0,97)	Areia fina (-0,38) Al (-0,39) S (-0,58) Fe (-0,34) NA (-0,49)
CP 3 - Pigmentos	Al (0,40) S (0,38)	Pelitos (-0,32) Mg (-0,33) V% (-0,55) Zn (-0,68) IAF (-0,46) CP 1 (-0,57) CP 2 (-0,38)	CP 3 - Pigmentos	Areia fina (0,31) Al (0,35)	Areia mto fina (-0,38) CP 1 (-0,52) CP 2 (-0,49)
CP 4 - Lignina	V% (0,43) Mn (0,35) Zn (0,31) IAF (0,35)	Al (-0,67) S (-0,37) B (-0,46) Fe (-0,60) CP 3 (-0,45)	CP 4 - Lignina	Al (0,35) S (0,46) Zn (0,37) NA (0,38) CP 3 (0,34)	pH (-0,38) K (-0,31) Ca (-0,41) V% (-0,61) B (-0,39) Mn (-0,34) CP 1 (-0,72) CP 2 (-0,79)
CP 5 - Água foliar/Amido	Mn (0,60) Zn (0,37) CP 1 (0,86) CP 2 (0,70) CP 4 (0,37)	MO (-0,36) K (-0,38) Al (-0,41) H+Al (-0,49) CTC (-0,46) S (-0,31) CP 3 (-0,52)	CP 5 - Água foliar/Amido	Areia muito fina (0,74) Pelitos (0,33) Ca (0,40) V% (0,33) CP 1 (0,71) CP 2 (0,53)	Areia média (-0,37) Areia fina (-0,70) IAF (-0,33) CP 3 (-0,38) CP 4 (-0,46)

3.5.3. Agrupamento entre unidades geobotânicas e sensoriamento remoto

A análise de Cluster feita com os números digitais (DNs) de 25 pixels correspondentes aos locais dos perfis derivou os dendogramas das Figuras 3-12, 3-13, 3-14 e 3-15. De forma geral, a distância de conexão dos agrupamentos indicados pelo método é bem próxima. Os agrupamentos propostos são distintos daqueles definidos no Capítulo 2 a partir das variáveis botânicas e do meio físico. As distâncias de conexão indicadas variam muito em função dos valores de pixel de cada índice. A interpretação deve, portanto, considerar as distâncias de conexão de cada figura, de forma comparativa.

Figura 3-12: Dendrograma resultante dos índices de vegetação NDVI e B3/B2.

Observa-se que os dendogramas relacionados essencialmente aos pigmentos foliares, os perfis que mostraram maiores proximidades de conexão não tiveram qualquer correlação com os perfis agrupados como unidades geobotânica. Os dendogramas resultantes do NDVI e B3/B2 (Figura 3-11) são similares, embora possuam diferenças com relação à distância de ligação e às posições dos perfis 2C e JK. Os índices B3/B1+B2 e B3/B1 (Figura 3-13) seguem a mesma tendência de agrupamento, mas diferentemente dos primeiros consegue separar os perfis em dois grupos bem definidos. No caso de B3/B1+B2, a distância 5 separa dois grupos: AB/NO/2C/JK e DE/LM/FG/HI. Em B3/B1, na distância 9 são separados os grupos AB/JK/NO/2C/FG e DE/HI/LM, não guardando qualquer relação com as unidades geobotânicas estabelecidas no Capítulo 2.

Figura 3-13: Dendrograma resultante do índice de vegetação B3/B1+B2 e B3/B1

As análises de agrupamento derivadas dos índices B3/B6, B3/B8 e B3/B5+B6+B7+B8 resultaram dendrogramas semelhantes entre si, conforme Figura 3-14. Como característica geral, diferenciam-se muito dos construídos sobre índices dependentes dos pigmentos foliares e guardam maiores correlações com os agrupamentos em unidades geobotânicas do Capítulo 2. Diferentemente dos índices de vegetação relacionados aos pigmentos foliares, os agrupamentos envolvendo compostos bioquímicos isolaram o perfil FG, identificando a diferença que este tem em relação aos demais. Nos dendrogramas dos índices B3/B8 (lignina) e B3/B5+B6+B7+B8 (compostos bioquímicos) são observados alguns agrupamentos condizentes com as unidades geobotânicas descritas no Capítulo 2 como, por exemplo, os dois grupos formados na distância 0,5 no dendrograma do índice B3/B5+B6+B7+B8, um com os perfis AB e JK e outro com os perfis 2C, DE e NO.

Figura 3-14: Dendrogramas resultantes dos índices de vegetação B3/B6, B3/B8 e B3/B5+B6+B7+B8

Os dendrogramas resultantes do NDWI e B3/B4 também apresentaram isolamento do Perfil FG com relação aos demais (Figura 3-15). Os agrupamentos resultantes do índice B3/B4 apresentam maior semelhança com os obtidos no Capítulo 2.

Figura 3-15: Dendogramas resultantes dos índices de vegetação NDWI e B3/B4

Com relação às componentes principais, os dendogramas resultantes dos agrupamentos dos perfis são apresentados na Figura 3-15. De uma forma geral, são de difícil interpretação. Na CP1 os três agrupamentos de menor distância não são entre perfis de mesma unidade geobotânica. Esta imagem contém a informação mais comum a todos os índices e, ao mesmo tempo, explica a maior parte da variância total. A completa mescla dos perfis sugere serem todos espectralmente muito semelhantes no todo, justificada pela resposta pouco correlacionada com os índices espectrais. A CP2 mostra um agrupamento dos NDs muito semelhante ao apresentado pelos índices NDVI, B3/B2 e B3/B1+B2 e novamente em completo desacordo com as unidades geobotânicas anteriormente definidas. Na CP3 os perfis estão mais afastados e em distribuição independente às unidades geobotânicas, mas há um importante isolamento do perfil FG, que de fato é muito distinto dos demais.

O dendograma resultante da CP4, a qual possui informação de lignina, isola de forma mais forte que nas CPs 1 e 2 o perfil FG, mas a ausência de correlação com as unidades geobotânicas permanece. O dendograma da CP5, a qual informa sobre a água foliar, apresenta distâncias de conexão entre os perfis crescentes, seguindo a sequencia AB-2C-

LM-JK-DE-HI-NO-FG e identificando, portanto, a dissimilaridade generalizada que ocorre nos perfis NO e, sobretudo, FG.

Figura 3-16: Dendrogramas resultantes das componentes principais

Pelos dendogramas expostos, os índices de vegetação NDVI, B3/B2, B3/B1+B2 e B3/B1, relacionados aos pigmentos foliares, não foram capazes de separar o perfil FG do restante dos perfis apesar de se diferenciar notadamente, uma vez que possui uma vegetação de Floresta de Restinga de menor porte. Em relação às componentes principais relacionadas aos pigmentos foliares (CP2 e CP3), somente a CP3 conseguiu separar o Perfil FG dos demais. Todos os índices e componentes relacionados aos compostos bioquímicos e água foliar foram capazes obter a diferenciação do Perfil FG.

É importante frisar que definição dos agrupamentos pelos NDs não considera a informação de albedo, dado de importância fundamental no sensoriamento remoto da vegetação (Almeida, 2005).

De acordo com matriz de autovalores da Tabela 3-5, a CP5 explica apenas 1,67% da variância do conjunto de cinco índices espectrais, ou seja, esta porcentagem representa a informação espectral utilizada para definir o mosaico de fisionomias em uma cobertura de enorme biodiversidade e diversidade ecológica.

A CP5, dominada pela água foliar e com participação relevante de amido (Tabela 3-8), analisada isoladamente após a filtragem passa-baixas e adição da imagem de albedo, mostrou-se de excelente interpretabilidade, com os mosaicos de vegetação aparecendo destacadamente (Figura 3-10). E realmente, a Planície do Una apresenta grande variabilidade na presença de água, com áreas permanente ou temporariamente alagadas. Ocorre ainda que nas porções mais elevadas dos cordões, onde a areia foi depositada por ocasião de ressacas marinhas e, portanto, em situação de mais energia, a granulometria é mais grossa que nas depressões intercordões. A fertilidade do solo acompanha a granulometria, sendo as áreas mais férteis aquelas encontradas nas depressões intercordões e menos férteis, as áreas mais elevadas. Assim a separação visual das respostas tonais da imagem da CP5 com a informação de albedo é mais simples e compreende os parâmetros do meio físico medidos na variabilidade das coberturas vegetais.

De acordo com os pesos dos índices na composição da CP5 da Tabela 3-8, os pigmentos foliares, habitualmente importantes, entram com apenas 2,0% da informação. O par água foliar e amido, com respectivamente 48,15% e 42,14%, totalizando 90,29% da informação, fornece a resposta espectral mais importante na separação das fitofisionomias.

Com relação à porcentagem de área foliar calculada a partir das fotografias tomadas na altura do solo, as unidades geobotânicas foram bem divididas, com a unidade dos Perfis 2C/DE/HI apresentando menor área foliar que a dos Perfis AB/JK/LM (Tabela 3-9). Para ilustrar, a Figura 3-17 apresenta uma das cinco fotografias tomadas em cada Perfil.

As maiores áreas foliares associam-se a solos mais pobres e mais bem drenados. O Perfil NO apresentou área foliar significativamente menor comparado aos demais perfis, relevando mais uma particularidade desta unidade com relação às demais.

Tabela 3-9: Porcentagem média de Área Foliar dos perfis em ordem crescente.

Perfis	% Área Foliar
NO	79,82
2C	86,65
HI	88,08
FG	88,16
DE	88,96
AB	89,50
LM	90,62
JK	92,17

Figura 3-17: Fotografias tomadas na altura do solo para o cálculo da porcentagem de área foliar.

3.6. Conclusões

As imagens resultantes do processamento digital foram eficazes na distinção das feições da cobertura florestal encontrada na Planície do Una. Entretanto as imagens obtidas devem ser analisadas de forma conjunta para o delineamento consistente das unidades geobotânicas definidas no Capítulo 2. As imagens também marcaram feições da vegetação que não foram estudadas, assim podem ser consideradas como unidade geobotânicas potenciais. Este fato confirma a reconhecida aplicabilidade do sensoriamento remoto nos estudos ambientais.

As correlações de Pearson obtidas através dos números digitais e das variáveis de granulometria, fertilidade e nível de água permitem afirmar que a granulometria é um

importante parâmetro na separabilidade das unidades por sensoriamento remoto. O comportamento antagônico das correlações (positivo e negativo) referentes à granulometria obtidas nas unidades Perfis AB/JK/LM e Perfis 2C/DE/HI justificam a importância do sedimento no delineamento das unidades geobotânicas.

A análise de agrupamento aplicada aos pixels das imagens ASTER processadas e associados aos perfis de campo mostraram resultados diferentes quando comparados ao agrupamento que definiu as unidades geobotânicas no Capítulo 2. Nos agrupamentos gerados sobre índices voltados a pigmentos foliares não houve qualquer correlação com as unidades estabelecidas. Já os índices construídos com bandas na região do SWIR apresentaram tendências de agrupamento convergentes com as unidades geobotânicas do Capítulo 2, conseguindo separar a unidade do Perfil FG que é representada por *Floresta Baixa de Restinga (Fl. Ombrófila Densa de Terras Baixas de porte baixo)*.

Nos dendogramas construídos sobre as imagens originadas da aplicação de ACP sobre os índices espectrais, as duas primeiras componentes (CP1 e CP2), que explicam 89,13% da variância dos cinco índices, não oferece correlação com o agrupamento dos perfis das unidades geobotânicas. As componentes principais CP3, CP4 e CP5 que juntas representam 10,86% da variância das imagens-índice conseguiu colocar os Perfis NO e FG como sendo os mais distantes e, conseqüentemente, os mais diferentes em relação aos demais.

A disposição dos dendogramas obtidos indica a insuficiência dos NDs das imagens em separar as unidades geobotânicas, pois estes apresentam somente a informação espectral sem considerar a informação de albedo. A interpretação isolada da CP5 apresentada em cor sintética através da filtragem passa-baixas e com a informação de albedo acrescentada permite visualizar as quatro unidades geobotânicas definidas no Capítulo 2. Da mesma forma, as composições coloridas de CPs selecionadas, acrescidas de filtragem passa-baixas e informação de albedo, permitem a diferenciação visual das unidades estabelecidas,

demonstrando a praticidade da utilização de dados de sensoriamento remoto na detecção de diferentes padrões florestais.

Sendo assim, os preceitos do método sistêmico aplicados no sensoriamento remoto permitem boa visualização dos diferentes padrões florestais que integram o mosaico vegetacional da Planície do Una.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As formações florestais de Restinga da Planície do Una são variáveis ao longo do espaço, conforme a granulometria, fertilidade do solo (matéria orgânica e CTC) e nível de água. As condições impostas pelo ambiente refletem formações florestais distintas pela composição florística, frequência, dominância e densidade de espécies, características fisionômicas, como altura e dossel, e diversidade. A análise conjunta dos parâmetros físicos levantados e da similaridade florística medida pelo Índice de Jaccard possibilitou a definição de quatro unidades geobotânicas. Esta proposta de identificação de unidades geobotânicas é inédita e representa um avanço para a compreensão da forma como os diferentes parâmetros do meio físico e biótico se inter-relacionam, aspecto essencial para a geobotânica enquanto técnica.

As imagens resultantes do processamento digital, onde a informação de albedo mostrou ser uma complementação imprescindível ao realce das respostas espectrais, foram eficazes na distinção visual das feições da cobertura florestal da Planície do Una, confirmando o essencial da informação na geobotânica por sensoriamento remoto.

A análise de agrupamento (Análise de Cluster) se mostrou capaz de identificar unidades geobotânicas apenas quando consideradas em conjunto as variáveis do meio físico (granulometria, fertilidade do solo e nível de água) e as variáveis botânicas (altura média, densidade relativa, riqueza de espécies e famílias). A inconsistência de agrupamentos quando estas variáveis são consideradas separadamente demonstra como a abordagem sistêmica é neste caso mais adequada que a reducionista. A experiência em buscar unidades geobotânicas a partir do agrupamento de presença e ausência de espécies vegetais foi particularmente negativa.

Para analisar a capacidade do sensoriamento remoto em detectar as unidades geobotânicas foram feitas diversas abordagens, não se restringindo à aplicação de método com bons

resultados já expostos na literatura. Assim se discutiu a interpretabilidade de produtos intermediários do método sistêmico, de forma a esclarecer como os subconjuntos de dados espectrais e de albedo são necessários para a identificação de fácies florestais: os índices foliares são ineficientes e com a adição do albedo tem substancial melhora. Já as componentes principais de uma Análise por Principais Componentes sobre os índices espectrais mostrou interpretabilidade superior nas componentes 1 e 5. A detecção de todas as unidades geobotânicas, entretanto, só foi possível em composições coloridas de componentes principais, nos produtos finais previstos no método sistêmico que orientou as etapas de processamento digital.

Quanto às abordagens quantitativas dos dados de sensoriamento remoto, foi aplicada a análise de agrupamento de Cluster e as correlações de Pearson ($p^{\wedge}$). Os agrupamentos derivados dos índices e componentes principais voltados à informação de pigmentos foliares foram ineficazes na detecção das unidades geobotânicas, tendo efetivamente conseguido identificar apenas a unidade próxima à praia, com sedimentos arenosos finos a médios, pouco fértil, terreno bem drenado, com Floresta Baixa de Restinga de predomínio de *llex theezans*, muito distinta das demais, e mesmo assim apenas através dos índices espectrais e componentes principais que detêm informação do intervalo do SWIR (água foliar e compostos bioquímicos).

As correlações ($p^{\wedge}$) encontradas entre os dados de sensoriamento e os parâmetros físicos analisados em duas unidades geobotânicas situadas no interior da planície permitem afirmar que a granulometria e a fertilidade dos solos são importantes parâmetros na separabilidade das unidades no sensoriamento remoto. As correlações da granulometria foram mais indicadas nos índices-imagens da região do SWIR. Para a indicação de parâmetros de fertilidade, ao contrário, são índices-imagens na região do visível que obtiveram alguma correlação, entretanto mais fraca que a verificada para a granulometria. Desta forma a granulometria é o parâmetro que consegue discernir as unidades geobotânicas

estabelecidas no interior da planície e, conseqüentemente, as unidades situadas nas extremidades, já que uma é constituída por sedimentos finos (pelitos) e a outra constituída por 50% de areias médias a grossas.

A partir dos resultados obtidos, a geobotânica por sensoriamento remoto se mostrou capaz de indicar coberturas florestais diferenciadas, informando indiretamente da granulometria dos sedimentos subjacentes. Fica claro, entretanto, que para a definição de unidades geobotânicas há a necessidade de coleta de dados *in situ*, análise conjunta dos parâmetros que influenciam a vegetação e a interpretação conjugada das imagens derivadas do processamento digital, sendo a informação de albedo essencial.

A pesquisa avançou no entendimento da geobotânica por sensoriamento remoto, enquanto método, ao abordar conjuntamente diversos parâmetros do meio físico e biótico, o que se mostrou necessário. Ao analisar com viés quantitativo a interpretabilidade dos produtos parciais e finais do método de processamento utilizado, permitiu uma discussão ainda não feita sobre a técnica. Contribuiu, por outro lado, para o entendimento da geobotânica nas florestas atlânticas costeiras e para o desenvolvimento de metodologia para estudá-las. Considera-se assim que a pesquisa atendeu seus objetivos mesmo com um pequeno volume de dados de campo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, F.F. M. Fundamentos geológicos do relevo paulista. Série teses e monografias n. 14. Transcrito de "Geologia do Estado de São Paulo". Boletim n. 41. Instituto Geográfico e Geológico (SP). São Paulo, 1964.

ALMEIDA, T.I.R. Geobotânica por sensoriamento remoto em florestas tropicais e a abordagem sistêmica: uma ferramenta auxiliar no mapeamento geológico regional e na prospecção mineral. São Paulo. Tese apresentada ao concurso para obtenção do título de Livre-Docente. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. 2005.

ALMEIDA, T. I. R.; FROMARD, F. A proposal of digital processing of multispectral images to enhance geobotanical anomalies. In: INTERNATIONAL GEOLOGICAL CONGRESS, 31., 2000, Rio de Janeiro. *Abstracts volume...* Rio de Janeiro: CPRM, 2000. 1 CD-ROM.

ALMEIDA, T. I. R.; JULIANI, C.; MANTOVANI, W. ; PEREZ-AGUILAR, A. Comunidades florestais como indicadores geobotânicos: o caso da mineralização aurífera do Grupo Serra do Itaberaba, Guarulhos, São Paulo. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 37, p. 37-49, 2007.

ALMEIDA, T. I. R.; SOUZA FILHO, C. R.; JULIANI, C.; BRANCO, F. C. Application of Remote Sensing to Geobotany to Detect Hydrothermal Alteration Facies in Epithermal High Sulfidation Gold Deposits in the Amazon Region. In: BEDELL, R.; SIMMONS, S.; GRUNSKY, E.; CRÓSTA, A. (Org.). SEG - Special Publication on Remote Sensing and Spectral Geology. 1 ed.: Society of Economic Geologists, v. 1, p. 135-142, 2009.

ALMEIDA, T. I. R.; SOUZA FILHO, C. R.; ROSSETTO, R.. ASTER and Landsat ETM+ images applied to sugarcane yield forecast. *International Journal of Remote Sensing*, v. 27, p. 4057-4069, 2006.

- ARAÚJO, L. G. Etnobotânica caiçara: diversidade e conhecimento de recursos vegetais no litoral paulista. Campinas. Instituto de Biologia. Universidade Estadual de Campinas, 2007.
- BARRET, F.; JACQUEMOUD, S.; GUYOT, G.; LEPRIEUR, C. Modeled Analysis of the Biophysical Nature os Spectral Shifts and Comparison with Information Content of Broad Bands. *Remote Sensing Environmental*, v. 41, p. 133-142, 1992.
- BARET, F. Espectros de pigmentos e compostos bioquímicos foliares: planilhas com dados de reflectância. Informação escrita enviada por Frédéric Baret, INRA Avignon, França, 1999.
- BENTZ, D. Os cordões litorâneos da Planície de Una-Jureia, municípios de Peruíbe e Iguape. São Paulo, Dissertação de Mestrado; Programa de Pós-Graduação em Geologia Sedimentar. Instituto de Geociências. Universidade de São Paulo, 2004
- BOYER, M.; MILLER, J.; BELANGER, M.; HARE, E.; WU, J. Senescence and Spectral Refletance in Leaves of Northern Pin Oak (*Quercus palustris* Muenchh.). *Remote Sensing os Environmental*, n.25: 71-97, 1988.
- BRANCO, S. M. Ecossistêmica: uma abordagem integrada dos problemas do meio ambiente. São Paulo: Edgard Blücher, 1989.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente Resolução nº 07, de 23 de julho de 1996. Dispõe sobre os parâmetros básicos para análise dos estágios de sucessão de vegetação de restinga para o Estado de São Paulo. Diário Oficial da União, Brasília, 26 de agosto de 1996.
- BROOKS, R. R. Geobotany and Biogeochemistry in Mineral Exploration. New York: Harper & Row, 1972. 290 p.
- _____. Biological Methods of prospecting for minerals. 2. ed. New York: John Wiley & Sons, 1983. 322 p.

CASAGRANDE, J. C.; SOARES, M. R.; BONILHA, R. M.; REIS-DUARTE, R. M.; ZUMKELLER, D. S.; GALVÃO-BUENO, M. S. Manejo da Fertilidade do Solo para Implantação de Floresta de Restinga. XXIX Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas, XIII Reunião Brasileira sobre Micorrizas, XI Simpósio Brasileiro de Microbiologia do Solo, VIII Reunião Brasileira de Biologia do Solo. Guarapari – ES, 2010.

CARVALHAES, M. A. Florística e estrutura de mata sobre restinga na jureia, Iguape, SP. São Paulo, Dissertação de Mestrado, Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo. 1997.

CBH/ RB - COMITÊ DE BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRA DE IGUAPE E LITORAL SUL. Relatório de Situação dos Recursos Hídricos da Unidade de Gerenciamento n. 11. 2003. Disponível em <http://geolig.igc.usp.br/geoproc/rs_ugrhi_rb/index.php> Acesso: 25/10/10

DE MIO, E. & GIANNINI, P. C. F. Variação de minerais pesados transversal à planície litorânea de Peruíbe – Itanhaém, SP. In: Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário, 6. Curitiba. Resumos expandidos. Curitiba, ABEQUA. 1997. p. 109-114.

DONATO, A. M.; MORRETES, B. L. Anatomia foliar de *Eugenia brasiliensis* Lam. (MYRTACEAE) proveniente de áreas de restinga e de floresta. Revista Brasileira de Farmacognosia, v. 17 (3): 426-443, 2007.

DRURY, S. A. *Image interpretation in Geology*. 3. ed. Cheltenham, UK: Nelson Thornes; Malden, MA: Blackwell Science, 2001. 290 p.

GIANNINI, P. C. F.; GUEDES, C. C. F.; ASSINE, M. L.; ANGULO, R. J.; SOUZA, M. C.; PESSEDA, L. C. R.; TATUMI, S. H. Variação transversal e Longitudinal de propriedades sedimentológicas nos cordões litorâneos da Ilha Comprida, Litoral Sul Paulista. In: Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário, 1997, Curitiba. Anais. Recife, ABEQUA. 2003. CD-ROOM.

GIANNINI, P. C. F.; LESSA, G. C.; KOGUT, J.S.; ANGULO, R. J. Variação nas assembléias de minerais pesados de testemunhos rasos na planície costeira de Paranaguá (PR). In: Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário, 6, 1997, Curitiba. Resumos expandidos. Curitiba, ABEQUA. 1997. p. 58-62.

GIANNINI, P. C. F., GUEDES, C. C. F.; NASCIMENTO JR, D. R.; TANAKA, A. P. B.; ÂNGULO, R. J.; ASSINE, M. L.; SOUZA, M. C. Sedimentology and mmorphological evolution of the Ilha Comprida Barrier System, Southern São Paulo Coast. In: DILLENBURG, S.; HESP, P. Geology and geomorphology of Holocene Coastal Barriers of Brasil. Berlin: Springer, 2009.

GODOY, J.R.L. Estrutura e composição específica da Mata Atlântica secundária de encosta sobre calcário e filito, no Parque Estadual Turístico do Alto do Ribeira, Iporanga, SP. São Paulo, Dissertação de Mestrado, Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo. 2001.

GOMES, F. H; VIDAL-TORRADO, P; MACÍAS, F; SOUZA JÚNIOR, V. S; PEREZ, X. L. O. Solos sob vegetação de restinga na Ilha do Cardoso (SP). I – Caracterização e Classificação. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 31: 1563-1580, 2007a.

GOMES, F. H; VIDAL-TORRADO, P; MACÍAS, F; SOUZA JÚNIOR, V. S; PEREZ, X. L. O. Solos sob vegetação de restinga na Ilha do Cardoso (SP). II – Mineralogia das frações silte e argila. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 31: 1581-1589. 2007b.

GOMES, F. H. Gênese e classificação de solos sob vegetação de restinga na Ilha do Cardoso – SP. Piracicaba. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 2005.

JENSEN, J. R. Sensoriamento Remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres. Tradução 2. ed.: José Carlos Neves Epiphanyo (coordenador). São José dos Campos: Parêntese Editora, 2011

LIRA, S. A. Análise de Correlação: abordagem teórica e de Construção dos Coeficientes com aplicações. Curitiba, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Paraná, 2004.

LOPES, E. A. Formações florestais de planície costeira e baixa encosta e sua relação com o substrato geológico das bacias dos rios Itaguaré e Guaratuba (Bertioga, SP). São Paulo, Dissertação de mestrado, Instituto de Botânica. 2007.

MANTOVANI, W. Estrutura e dinâmica da Floresta Atlântica na Jureia, Iguape-SP. São Paulo. Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, 1993

MELLO, F. A. F.; SOBRINHO, M. O. C. B.; ARZOLLA, S.; SILVEIRA, R. I., NETTO, A. C.; KIEHL, J. C. Fertilidade do solo, 1983.

MOREIRA, M. G. Associações entre os solos, os ambientes sedimentares quaternários e as fitofisionomias de planície costeira e baixa encosta nas bacias dos rios Itaguaré e Guaratuba (Bertioga-SP). São Paulo Instituto de Botânica da Secretaria de Meio Ambiente do Estado de São Paulo, 2007.

MOUAT, D.A. The response of vegetation to geochemical conditions. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING FOR EXPLORATION GEOLOGY, 1982, Fort Worth. Proceedings Ann Arbor, MI: ERIM, 1982. 2nd Thematic Conference, p. 75-84.

NUNES, M. Do passado ao futuro dos moradores tradicionais da Estação Ecológica Jureia-Itatins/SP. São Paulo. Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas. Universidade de São Paulo, 2003.

OLIVEIRA, A. G.; MONTEIRO, M. M.; MENEZES, L. F. T.; PEREIRA, O. J. Florística da Restinga holocênica e pleistocênica ao norte do Espírito Santo, Brasil. São Lourenço. Anais do IX Congresso de Ecologia do Brasil, 2009

PACHECO, R. C. Processamento de dados de imagem multiespectral aplicado à geobotânica por sensoriamento remoto: uma abordagem para áreas cobertas por Floresta Atlântica da planície costeira. São Paulo. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas. Universidade de São Paulo, 2009.

PASSARELLI, C. R.; BASEI, M. A. S.; CAMPOS NETO, M. C.; SIGA JÚNIOR, O.; PRAZERES FILHO, H. J.. Geocronologia e Geologia Isotópica dos Terrenos Pré-Cambrianos da Porção Sul Oriental do Estado de São Paulo. Revista do Instituto de Geociências – Universidade de São Paulo, 2004, v.4,n.1, p. 55-74.

PERROTTA, M. M. Processamento Digital Básico de Imagens de Sensores Remotos Ópticos para Uso em Mapeamento Geológico – Programa ENVI®. CPRM – Serviço Geológico do Brasil, DISERE, 2005. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/media/process_digital.pdf>. Acesso em 31/03/2009.

PERROTTA, M. M.; ALMEIDA, T. I. R.; SOUZA FILHO, C. R. Geobotânica por Sensoriamento Remoto e Aerogamaespectrometria Aplicados ao Mapeamento Geológico em Região Recoberta por Floresta Amazônica de Terra Firme: Um Estudo Comparativo no Vale do Guaporé (MT). Revista Brasileira de Geociências, v. 38, p. 155-168, 2008 a.

PERROTTA, M. M.; ALMEIDA, T. I. R.; ANDRADE, J. B. F.; SOUZA FILHO, C. R.; RIZZOTTO, G. J. ; SANTOS, M. G. M. . Remote Sensing Geobotany and Airborne Gamma-Ray data applied to Geological Mapping within Terra Firme Brazilian Amazon Forest: A comparative study in The Guapore Valley (Mato Grosso State, Brazil). The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences (CD-ROM), v. 37, p. 1275-280, 2008b.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E. Sensoriamento Remoto no Estudo da Vegetação. Ed. Pararêntese, São José dos Campos, 2007.

RAMOS –NETO, M. B. Análise florística e estrutural de duas florestas sobre a restinga, Iguaçu, São Paulo. Dissertação de Mestrado, Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo. 1993.

ROSADO, H. P.; MATTOS, E. A. Variação temporal de características morfológicas de folhas em dez espécies do Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba, Macaé, RJ, Brasil. Acta Botânica Brasileira, v.21(3), p. 741-752, 2007.

SANTOS, V. K. Uma generalização da distribuição do índice de diversidade generalizado por good com aplicação em ciências agrárias. Recife. Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2009.

SAMPAIO, D.; SOUZA, V. C.; OLIVEIRA, A. A.; PAULA-SOUZA, J.; RODRIGUES, R. R. Árvores da Restinga. São Paulo: Editora Neotrópica, 2005.

SÃO PAULO (Estado). Lei Estadual nº. 5.649 de 28 de abril de 1987. Dispõe sobre a criação da Estação Ecológica da Jureia - Itatins e dá outras providências, 1987.

SCUDELLER, V. V.; MARTINS, F. R.; SHEPHERD, G. J. Distribution and abundance of arboreal species in the atlantic ombrophilous dense forest in Southeastern Brazil. *Plant Ecology*, v. 152, p. 185-199, 2001.

SENNA, C.; SARMENTO, A. P. Aplicações de sensoriamento remoto no mapeamento geobotânico do litoral do NE do Pará. Belém, 1996. Boletim do Museu Paranaense Emílio Goeldi Ciências da Terra, v. 8

SUGUIO, K. O papel das variações do nível relativo do mar durante o Quartenário Tardio na origem da Baixada Litorânea de Jureia, SP. In: Estação Ecológica Jureia-Itatins Ambiente Físico, Flora e Fauna. Editores: MARQUES, O. A. V. & DULEBA, W. Editora Holos, Ribeirão Preto, 2004

SUGUIO, K & MARTIN, L.. Mapas geológicos da Planície Costeira do Estado de São Paulo e sul do Rio de Janeiro (1:100.000). São Paulo. DAEE/Secretaria de Obras e do Meio Ambiente, Governo do Estado de São Paulo. 1978a.

SUGUIO, K & MARTIN, L.. Quaternary marine formations of States of São Paulo and southern of Rio de Janeiro. In: International Symposium on Coastal Evolution in the Quaternary, 1978, São Paulo. Special Publication n. 1. São Paulo, USP, 55p. 1978b

SUGUIO, K.; TESSLER, M. Planícies de cordões litorâneos quaternários do Brasil: Origem e Nomenclatura. In: Restingas: Origem, estrutura, processos. Organizadores: LACERDA, L. D.; ARAÚJO, D. S. D.; CERQUEIRA, R. Niterói, 1984.

SIMS, D. A.; GAMON, J. A. Relationships between leaf pigment content and spectral reflectance across a wide range of species, leaf structures and developmental stages. *Remote Sensing of Environment*, v. 81, p. 337– 354, 2002.

SMA - SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE –. Estudo Técnico para Recategorização de Unidades de Conservação e Criação do Mosaico de Unidades de Conservação e Criação do Mosaico de UCs Jureia-Itatins, 2010. Disponível em <<http://www.fflorestal.sp.gov.br/noticias2.php?id=101>> Acesso em 30/09/2010

SOUZA, V.C; CAPELLARI Jr., L. A Vegetação das Dunas e Restingas na Estação Ecológica Jureia-Itatins. . In: Estação Ecológica Jureia-Itatins Ambiente Físico, Flora e Fauna. Editores: MARQUES, O. A. V. & DULEBA, W. Ribeirão Preto: Editora Holos, 2004.

SOUZA, C.R de G; BENDAZOLIA, 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 Brasileira de Estudos do Quaternário – VI. Curitiba, ABEQUA, 367-372. 1997

SOUZA, C.R. de G & SOUZA, A. P. Geologia e Geomorfologia da Área da Estação Ecológica Jureia-Itatins. In: Estação Ecológica Jureia-Itatins Ambiente Físico, Flora e Fauna. Editores: MARQUES, O. A. V. & DULEBA, W. Editora Holos, Ribeirão Preto, 2004.

SUGIYAMA, M. Estudos de florestas da restinga da Ilha do Cardoso, Cananéia, São Paulo, Brasil. São Paulo, Dissertação de mestrado, Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, 1993.

SZTUTMAN, M.; RODRIGUES, R. R. O mosaico vegetacional numa área de floresta contínua da planície litorânea, Parque Estadual da Campina do Encantado, Pariquera-Açu, SP. *Revista Brasileira de Botânica*, v. 25, n. 2, p. 161-176, 2002

TUOMISTO, H.; POULSEN, A. D.; RUOKOLAINEN, K.; MORAN, R. C.; QUINTANA, C.; CELI, J.; CAÑAS, G. Linking floristic patterns with soil heterogeneity and satellite imagery. In: Ecuadorian Amazonia. *Ecological Applications*, v. 13, p. 352-371, 2003a

TUOMISTO, H.; RUOKOLAINEN, K.; YLI-HALLA, M. Dispersal, environment and floristic variation of Western Amazonian forests. *Science*, v. 299, p. 241-244, 2003b

TUOMISTO, H.; RUOKOLAINEN, K.; AGUILAR, M.; SARMIENTO, A. Floristic patterns along a 43-km long transect in the Amazonian rain Forest. *Journal of Ecology*, v. 91, p. 743-756, 2003c.

TUAF, C.; ALMEIDA, T.I.R.; AMARAL, C.H.; PENATTI, N.C. Detecção de unidades geobotânicas em Floresta de Restinga sob sedimentos holocênicos através do sensoriamento remoto. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15., 2011, Curitiba. Anais do Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto 15. INPE: INPE, 2011. p. 1644-1651. Disponível em <<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2011/files/p1561.pdf>> Acesso em 20/07/2011

USTIN, S. L.; SMITH, M. O.; JACQUEMOUD, S.; VERSTRAETE, M.; GOVAERTS, Y. Geobotany: vegetation mapping for Earth Sciences. In: RENCZ, A. N. (Ed.). *Remote sensing for the Earth Sciences*. 3. ed. New York: Wiley, 1999. p. 251-307. (Manual of Remote Sensing, 3). 1999

VELOSO, H. P.; RANGEL-FILHO, A. L. R.; LIMA, J. C. A. Classificação da Vegetação Brasileira, adaptada a um Sistema Universal. Rio de Janeiro: IBGE, Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 1991.

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. Geologia do Quaternário do Brasil. Ribeirão Preto: Editora Holos, 2005.

APÊNDICE A

Tabela 1-A: Listagem de espécies amostradas no levantamento florístico na Planície Costeira do Una, EEJI, litoral sul paulista.

PERFIL	AB	2C	DE	FG	HI	JK	LM	NO
Anacardiaceae								
<i>Tapirira guianensis</i> Aubl.	x	x						
Annonaceae								
<i>Rollinia sericea</i> R.E. Fr.								x
<i>Xylopia brasiliensis</i> Spreng.	x					x		
<i>Xylopia langsdorfiana</i> St.Hilaire & Tulasne							x	
Apocynaceae								
<i>Aspidosperma parvifolium</i> A.DC.	x							
<i>Malouetia arborea</i> Miers							x	
Aquifoliaceae								
<i>Ilex</i> sp						x		
<i>Ilex theezans</i> Mart.	x	x		x				
Araliaceae								
<i>Schefflera angustissima</i> (Marchal)Frodin	x				x	x	x	
Arecaceae								
<i>Astrocaryum aculeatissimum</i> (Schott) Burret	x				x	x		
<i>Euterpe edulis</i> Mart. Mart	x		x		x	x	x	
<i>Attalea dubia</i> (Mart.) Burret					x			
<i>Bactris setosa</i> Mart.	x							
<i>Geonoma schottiana</i> Mart.			x					
<i>Syagrus romanzoffiana</i> (Cham.) Glassman				x				
Asteraceae								
<i>Orthopappus angustifolius</i> (Sw.) Gleason				x				
Asteraceae								
<i>Vernonia polyanthes</i> Less.								x
Bignoniaceae								
<i>Tabebuia cassinoides</i> (LAM.) DC					x			x
<i>Tabebuia obtusifolia</i> (Cham.) Bureau	x		x		x	x		x
Celastraceae								
<i>Maytenus robusta</i> Reissek			x	x	x			
<i>Peritassa mexiae</i> A.C. Sm.	x							
Chrysobalanaceae								
<i>Hirtella hebeclada</i> Moric.						x		
<i>Parinari excelsa</i> Sabine			x					
Clusiaceae								
<i>Calophyllum brasiliense</i> Camb.			x		x		x	x
<i>Clusia cruiva</i> Cambess.			x					
<i>Garcinia gardneriana</i> (Planch. & Triana) Zappi	x				x		x	

PERFIL	AB	2C	DE	FG	HI	JK	LM	NO
Cunoniaceae								
<i>Weinmannia paulliniifolia</i> Pohl		x						
Euphorbiaceae								
<i>Alchornea triplinervia</i> (Spreng.) Müll.Arg.		x						
<i>Pera glabrata</i> Poepp. ex Baill.	x	x	x		x	x	x	x
Fabaceae								
<i>Andira anthelmia</i> (Vell.) J.F. Macbr.	x				x		x	
<i>Balizia pedicellaris</i> (DC.) Barneby & J.W.Grimes	x			x	x	x		
<i>Inga bullata</i> Benth.								x
<i>Inga vera</i> Willd.	x							
<i>Machaerium uncinatum</i> Benth.		x						
<i>Mimosa bimucronata</i> (DC.) Kuntze				x				
<i>Ormosia arborea</i> Harms							x	
Lacistemataceae								
<i>Lacistema lucidum</i> Schnizl.	x	x	x			x	x	
Lauraceae								
<i>Aniba firmula</i> (Nees & Mart.) Mez	x				x	x		
<i>Nectandra oppositifolia</i> Nees & Mart. ex Nees			x			x		
<i>Ocotea dispersa</i> (Nees & Mart.) Mez	x		x		x	x		
<i>Ocotea glaziovii</i> Mez		x	x		x	x	x	
<i>Ocotea pulchella</i> Mart.		x	x	x	x			
Malvaceae								
<i>Eriotheca pentaphylla</i> (Vell.) A.Robyns		x	x		x	x		
Melastomataceae								
<i>Miconia cubatanensis</i>		x						x
Meliaceae								
<i>Cabralea canjerana</i> (Vell.)	x							
<i>Guarea macrophylla</i> Vahl					x	x	x	
<i>Trichilia</i> sp.					x			
Moraceae								
<i>Ficus organensis</i> Miq.								x
<i>Sorocea bonplandii</i> (Baill.) W.C.Burger, Lanj. & Boer		x	x			x		
Myrsinaceae								
<i>Cybianthus brasiliensis</i> (Mez) G.Agostini		x			x			
<i>Rapanea coriacea</i> (Sw.) R. Br. ex Roem. & Schult.		x	x	x				x
<i>Rapanea umbellata</i> (Mart.) Mez	x					x	x	
Myrtaceae								
<i>Blepharocalyx salicifolius</i> (Kunth) O. Berg	x		x		x	x	x	
<i>Calypttranthes grandifolia</i> O.Berg	x			x			x	
<i>Eugenia bocainensis</i> Mattos	x	x	x		x	x	x	
<i>Eugenia neoglomerata</i> Sobral		x			x		x	

PERFIL	AB	2C	DE	FG	HI	JK	LM	NO
<i>Eugenia sulcata</i> Spring ex Mart.			x		x			x
<i>Eugenia umbelliflora</i> O. Berg.		x	x	x	x		x	x
<i>Gomidesia spectabilis</i> O.Berg	x				x		x	x
<i>Myrcia bicarinata</i> (O. Berg) D. Legrand		x						
<i>Myrcia grandiflora</i> (O. Berg) Nied.					x			
<i>Myrcia pubipetala</i> Miq.							x	
<i>Myrcia</i> sp.		x	x					
Mytaceae sp1							x	
<i>Pouteria beaurepairei</i> (Glaz. & Raunk.) Baehni	x				x	x		
<i>Psidium cattleianum</i> Weinw.		x	x	x	x			x
Proteaceae								
<i>Roupala brasiliensis</i> Klotzsch	x					x		
Rubiaceae								
<i>Alibertia myrciifolia</i> K. Schum.	x				x			
<i>Amaioua intermedia</i> Mart.					x			
<i>Posoqueria latifolia</i> (Rudge) Roem. & Schult			x					
Sapindaceae								
<i>Matayba guianensis</i> Aubl.	x	x			x	x	x	
Sapotaceae								
<i>Chrysophyllum flexuosum</i> Mart.	x					x	x	
<i>Ecclinusa ramiflora</i> Mart.	x	x	x			x		
<i>Manilkara subsericea</i> Dubard		x	x					
Symplocaceae								
<i>Symplocos laxiflora</i> Benth.		x	x					
Thymelaeaceae								
<i>Daphnopsis schwackeana</i> Taub.								x

APÊNDICE B

Tabela 1-B: Resultados da análise de granulometria em porcentagem (%).

Perfil	Amostras	Areia muito grossa	Areia grossa	Areia média	Areia fina	Areia muito fina	<0,062 (Pelitos)
AB	A10	0,00	0,04	0,01	37,84	62,11	0,00
AB	A30B30	0,00	0,02	0,02	25,18	74,25	0,54
AB	A50	0,03	0,01	0,15	40,76	59,00	0,05
AB	B10	0,07	0,01	0,31	55,84	43,68	0,10
AB	B50	0,05	0,50	0,73	52,98	44,79	0,94
2C	C10	0,00	0,01	0,05	81,36	11,99	6,58
2C	C30	0,01	0,03	0,14	89,65	6,38	3,78
2C	C50	0,04	0,09	0,18	87,35	8,03	4,32
2C	C'10	0,01	0,04	0,05	19,98	73,22	6,70
2C	C'30	0,17	0,98	0,76	26,19	71,76	0,13
2C	C'50	0,11	0,13	0,11	12,74	83,54	3,37
DE	D10E10	0,55	53,72	45,73	0,00	0,00	0,13
DE	E30	0,01	81,41	18,57	0,00	0,00	0,11
DE	E50	0,05	89,79	10,16	0,00	0,00	0,16
DE	TATU	0,12	87,53	12,35	0,00	0,00	0,16
FG	F10	0,12	87,53	12,35	0,00	0,00	0,09
FG	F30G30	0,04	20,03	79,92	0,00	0,00	0,02
FG	F50	1,15	26,96	71,89	0,00	0,00	0,05
FG	G10	0,24	12,86	86,91	0,00	0,00	0,02
FG	G50	54,27	45,73	0,13	0,00	0,00	0,02
HI	H10	87,65	12,35	0,16	0,00	0,00	4,48
HI	H50	87,65	12,35	0,09	0,00	0,00	3,81
HI	H30I30	20,08	79,92	0,02	0,00	0,00	3,31
JK	J10K10	87,65	12,35	0,16	0,00	0,00	0,09
JK	J30	87,65	12,35	0,09	0,00	0,00	0,21
JK	J50	20,08	79,92	0,02	0,00	0,00	0,94
JK	K30	28,10	71,89	0,05	0,00	0,00	0,10
JK	Ki30	13,10	86,91	0,02	0,00	0,00	0,08
JK	K50	100,00	0,13	0,02	0,00	0,00	0,60
LM	L10	100,00	0,09	3,81	0,00	0,00	0,05
LM	L30	100,00	0,02	3,31	0,00	0,00	0,08
LM	L50M30	100,00	0,16	0,09	0,00	0,00	0,06
LM	M10	100,00	0,09	0,21	0,00	0,00	0,02
LM	M50	100,00	0,02	0,94	0,00	0,00	0,08
NO	N10O10	0	0	0	0	0	100
NO	N30	0	0	0	0	0	100
NO	N50	0	0	0	0	0	100
NO	O30	0	0	0	0	0	100
NO	O50	0	0	0	0	0	100

APÊNDICE C

Tabela 1-C: Resultados das análises de fertilidade do solo

Amostras	Perfil	M.O.*	pH	P**	K***	Ca***	Mg***	Al***	H+Al***	S.B.***	C.T.C.***	V%	S**	B**	Cu**	Fe**	Mn**	Zn**
A10	AB	29	3,5	6	1	2	2	6	34	5	39,3	13	11	0,15	<1	60	0,6	0,4
A30B30	AB	39	3,6	17	1	2	2	6	52	5	57,2	9	12	0,19	<1	28	1,8	0,5
A50	AB	39	3,4	10	1	3	2	8	58	6	64	9	14	0,27	<1	72	1	0,6
B10	AB	38	3,5	6	0,9	2	2	13	58	4,9	62,9	8	14	0,34	<1	328	0,9	0,6
B50	AB	43	3,5	11	1,2	2	2	10	64	5,2	69,6	7	23	0,28	<1	107	0,5	0,4
C10	2C	48	3,5	6	0,8	2	2	5	42	4,8	47,1	10	6	0,18	<1	9	0,5	0,3
C*10	2C	92	3,5	13	1,4	8	11	17	185	20,4	205,1	10	38	0,3	1,1	98	3,3	30,1
C30	2C	26	3,6	4	0,5	1	1	6	31	2,5	33,3	7	12	0,23	<1	90	<1	0,2
C*30	2C	92	3,5	21	2,7	10	14	13	185	26,7	221,4	13	47	0,5	0,5	157	5,7	118,2
C50	2C	74	3,1	6	1	1,1	2	15	135	4,1	138,8	3	11	0,33	<1	348	0,2	0,6
C*50	2C	77	2,9	21	2	3	9	22	313	14	326,7	4	15	0,33	0,2	87	3,1	10,1
D10E10	DE	80	3,1	14	2	1,4	6	12	185	9,4	194,1	5	14	0,3	<1	35	1	0,9
D30	DE	83	3,2	4	2	0,3	2	5	135	4,3	139	3	4	0,26	<1	21	0,3	0,4
D50	DE	86	3,2	4	2	0,3	2	9	72	4,3	75,9	6	6	0,31	<1	9	<1	0,3
E30	DE	85	2,9	9	2	1,2	6	20	281	9,2	290,7	3	11	0,32	<1	32	1	3,1
E50	DE	67	3,3	17	2	1,1	3	9	109	6,1	115,2	5	10	0,26	<1	41	1,9	1,3
F10	FG	29	4,1	6	1,8	13	5	2	25	20,1	45,1	45	7	0,21	<0,1	130	28,6	3,9
F30G30	FG	19	3,9	5	1,6	9	3	3	18	13,4	31,6	42	7	0,1	<0,1	75	16,1	0,5
F50	FG	24	3,4	4	1,4	6	3	6	28	10,3	38	27	4	0,18	<0,1	94	3,9	0,6
G10	FG	17	3,9	5	0,8	2	2	3	16	5,3	21,7	25	5	0,19	<0,1	61	16,9	0,4
G50	FG	18	3,8	5	0,8	4	2	3	20	6,3	26,6	24	6	0,17	<0,1	75	9,6	0,4
H10	HI	71	3,3	9	1,3	6	4	8	121	10,4	131,7	8	8	0,25	0,1	55	1,5	86,4
H30I10	HI	36	3,7	8	1,2	6	3	3	42	10,5	52,7	20	6	0,26	<0,1	25	0,5	0,2
H50	HI	71	3,2	11	2	6	3	9	135	11,8	146,5	8	6	0,35	<0,1	59	1,8	9,6
I30	HI	70	3,6	19	1,6	5	3	7	88	9,9	98,3	10	5	0,37	1	21	2,5	4,1
I50	HI	99	3,6	28	4,7	17	17	8	166	39,2	205,5	19	5	0,73	1,9	123	15,4	5,2
J10K10	JK	31	3,2	7	1,5	5	2	7	52	8,7	60,9	14	6	0,23	<0,1	48	0,6	0,5
J30	JK	38	3,1	7	1,7	8	3	9	80	12,5	92,1	14	<1	0,22	<0,1	48	0,8	0,4
J50	JK	42	3,3	7	1,4	3	3	6	58	7,9	65,9	12	<1	0,27	<0,1	65	2	0,5
K30	JK	51	3,3	11	2	8	3	7	72	13,3	84,9	16	<1	0,25	<0,1	41	0,8	0,5
K50	JK	39	3,5	11	1,4	6	3	6	42	10,3	52,6	20	<1	0,26	<0,1	60	1,6	0,8
L10	LM	32	3,5	4	0,5	1	1	9	52	3,2	55,5	6	3	0,2	0,2	116	4,1	0,2
L30	LM	26	3,3	3	0,4	1	0	7	38	2,6	40,6	6	3	0,18	0,2	73	1,6	0,2
L50M30	LM	35	3,3	4	0,4	2	2	6	52	4,4	56,6	8	3	0,24	0,2	72	7,5	0,9
M10	LM	28	3,4	4	0,3	1	0	5	28	2,6	30,4	9	4	0,15	0,2	60	2,1	0,3
M50	LM	30	3,4	5	0,6	3	2	6	52	5,6	57,8	10	3	0,23	0,2	137	2,6	0,4
N10O10	NO	94	3,4	24	2,1	17	19	14	228	38,1	286,1	14	32	0,5	0,3	95	5,7	38,9
N30	NO	92	3,7	7	1,1	13	16	8	150	30,1	179,7	17	52	0,66	0,3	68	1,7	10,1
N50	NO	94	4,2	7	1,7	28	38	4	98	67,7	165,9	41	164	0,91	0,4	97	1,4	6,5
O30	NO	91	3,5	13	0,8	9	10	25	205	19,8	225	9	33	0,41	0,3	59	2,8	11,6
O50	NO	94	3,8	10	1,5	16	24	6	135	41,5	176,2	24	102	0,67	0,3	68	1,9	6,2

*g/dm3, **mg/dm3, ***mmol/dm3

APÊNDICE D

Tabela 1-D: Matriz de Correlação de Pearson (ρ) - Índices Espectrais dos Perfis AB/JK/LM

	mtG	G	M	F	mtF	<0,062 P	M.O.	pH	P	K	Ca	Mg	Al	H+Al	S.B.	C.T.C.	V%	S	B	Fe	Mn	Zn	NA	NDVI	B3/B1	B3/B2	B3/B4	B3/B6	B3/B8	B3/ B578	IAF								
mtG	1,00	0,93	0,40	-0,23	-0,46	-0,20	-0,33	0,03	-0,26	-0,39	-0,26	-0,56	-0,31	-0,50	-0,32	-0,50	-0,12	-0,11	-0,43	-0,10	0,03	-0,26	-0,21	0,27	0,28	0,81	0,09	0,29	0,30	0,31	0,36	0,42	-0,10						
G		1,00	0,62	-0,26	-0,55	-0,11	-0,23	-0,26	-0,14	-0,04	-0,39	-0,32	-0,30	-0,08	-0,28	0,03	-0,25	-0,39	-0,22	-0,07	-0,28	-0,06	0,24	0,29	0,73	-0,11	0,41	0,41	0,39	0,35	0,42	0,03							
M			1,00	0,11	-0,79	-0,27	0,04	-0,73	-0,23	0,29	0,46	-0,11	-0,23	0,14	0,40	0,20	0,26	-0,54	-0,27	-0,39	-0,10	-0,23	0,42	-0,11	0,01	0,39	-0,18	0,28	0,27	0,12	0,00	0,05	0,27						
F				1,00	-0,60	-0,24	-0,13	-0,17	-0,51	-0,24	-0,10	-0,22	0,34	0,02	-0,14	-0,01	-0,23	-0,17	0,21	0,27	0,48	0,10	0,60	-0,40	-0,26	-0,04	0,11	-0,39	-0,39	-0,26	-0,20	-0,28	0,43						
mtF					1,00	0,34	0,17	0,53	0,55	0,12	-0,11	0,40	0,03	0,08	-0,03	0,07	0,04	0,46	0,17	0,09	-0,25	0,17	-0,54	0,21	0,04	-0,49	0,02	-0,05	-0,04	-0,05	-0,02	-0,03	-0,40						
<0,062 P						1,00	0,51	0,21	0,52	0,36	0,05	0,42	0,02	0,24	0,18	0,25	0,14	0,25	0,36	-0,13	-0,19	0,15	-0,23	0,29	0,37	-0,5	0,03	0,38	0,39	0,38	0,25	0,26	0,22						
M.O.							1,00	0,01	0,66	0,73	0,55	0,73	0,25	0,72	0,65	0,75	0,35	0,15	0,62	-0,04	-0,21	0,39	-0,26	-0,17	-0,04	-0,47	0,09	0,25	0,24	0,15	-0,05	-0,04	0,13						
pH								1,00	0,38	-0,33	-0,54	-0,17	0,10	-0,40	-0,49	-0,44	-0,24	0,53	0,01	0,30	-0,01	0,02	-0,59	0,07	-0,04	0,05	0,35	-0,29	-0,27	-0,23	-0,07	-0,13	-0,46						
P									1,00	0,55	0,32	0,50	-0,02	0,33	0,39	0,36	0,32	0,39	0,21	-0,28	-0,38	0,29	-0,55	-0,08	-0,06	-0,31	-0,01	0,27	0,26	0,10	-0,02	0,01	-0,23						
K										1,00	0,86	0,81	0,12	0,66	0,92	0,75	0,74	-0,05	0,36	-0,25	-0,57	0,21	-0,09	-0,29	-0,26	-0,41	-0,44	0,24	0,23	0,06	-0,14	-0,17	0,17						
Ca											1,00	0,73	-0,01	0,62	0,98	0,73	0,81	-0,39	0,24	-0,30	-0,34	0,28	0,12	-0,34	-0,26	-0,36	-0,36	0,37	0,35	0,14	-0,01	-0,05	0,26						
Mg												1,00	0,09	0,66	0,81	0,73	0,68	-0,07	0,54	-0,08	-0,18	0,57	-0,09	-0,14	-0,14	-0,68	-0,20	0,32	0,32	0,24	0,13	0,01	0,16						
Al													1,00	0,50	0,00	0,42	-0,31	0,49	0,64	0,76	-0,26	-0,07	-0,26	-0,43	-0,33	-0,17	-0,18	-0,65	-0,64	-0,57	-0,62	-0,63	-0,24						
H+Al														1,00	0,65	0,99	0,14	0,06	0,57	0,08	-0,16	0,14	0,01	-0,47	-0,25	-0,53	-0,28	0,01	0,00	-0,09	-0,35	-0,29	0,10						
S.B.															1,00	0,76	0,83	-0,34	0,31	-0,29	-0,36	0,31	0,09	-0,28	-0,21	-0,43	-0,35	0,39	0,38	0,17	0,01	-0,04	0,28						
C.T.C.																1,00	0,29	-0,02	0,55	0,00	-0,21	0,19	0,02	-0,46	-0,27	-0,54	-0,31	0,09	0,07	-0,04	-0,29	-0,26	0,14						
V%																	1,00	-0,41	0,08	-0,36	-0,34	0,40	0,03	-0,06	-0,12	-0,26	-0,26	0,48	0,49	0,31	0,30	0,17	0,25						
S																		1,00	0,29	0,33	-0,35	-0,01	-0,75	-0,14	-0,23	0,03	-0,05	-0,44	-0,45	-0,28	-0,30	-0,24	-0,42						
B																			1,00	0,59	-0,10	0,52	-0,20	-0,06	0,10	-0,47	0,10	-0,02	-0,01	0,10	0,02	-0,02	0,01						
Fe																				1,00	-0,03	0,05	-0,28	-0,02	0,00	-0,02	0,19	-0,55	-0,54	-0,41	-0,27	-0,35	-0,47						
Mn																					1,00	0,34	0,52	0,07	0,14	0,02	0,44	0,13	0,13	0,25	0,36	0,27	0,26						
Zn																						1,00	-0,05	0,14	0,13	-0,33	0,30	0,40	0,40	0,47	0,57	0,39	0,17						
NA																							1,00	-0,08	0,05	-0,11	-0,06	0,09	0,09	0,08	0,05	0,02	0,61						
NDVI																								1,00	-0,08	0,57	0,51	0,53	0,53	0,65	0,67	0,69	0,09						
B3/B2																									1,00	-0,08	0,58	0,58	0,59	0,64	0,69	0,69	0,09						
B3/B1																										1,00	-0,08	0,55	0,59	0,64	0,69	0,69	0,09						
B3/B1+B2																											1,00	-0,08	0,55	0,59	0,64	0,69	0,69	0,09					
NDWI																											1,00	-0,08	0,55	0,59	0,64	0,69	0,69	0,09					
B3/B4																												1,00	-0,08	0,55	0,59	0,64	0,69	0,69	0,09				
B3/B6																													1,00	-0,08	0,55	0,59	0,64	0,69	0,69	0,09			
B3/B8																														1,00	-0,08	0,55	0,59	0,64	0,69	0,69	0,09		
B3/B5+B6+B7+B8																															1,00	-0,08	0,55	0,59	0,64	0,69	0,69	0,09	
IAF																																1,00	-0,08	0,55	0,59	0,64	0,69	0,69	0,09

* Em negrito outliers da distribuição normal

Tabela 2-D: Matriz de Correlação de Pearson (ρ^*) - Índices Espectrais dos Perfis 2C/DE/HI.

	mtG	G	M	F	mtF	<0,062 P	M.O.	pH	P	K	Ca	Mg	Al	H+Al	S.B.	C.T.C.	V%	S	B	Fe	Mn	Zn	NA	NDVI	B3/B2	B3/B1	B3/B1+B2	NDWI	B3/B4	B3/B6	B3/B8	B3/B5678	IAF					
mtG	1,00	0,26	0,27	-0,37	0,19	-0,48	0,31	-0,10	0,62	0,68	0,54	0,55	0,25	0,38	0,65	0,43	0,27	0,42	0,84	0,18	0,66	0,44	-0,33	0,27	0,28	0,21	-0,09	-0,10	0,11	0,08	0,04	-0,52						
G		1,00	0,70	0,07	-0,41	-0,66	0,39	-0,53	0,10	0,46	-0,32	0,16	0,42	0,52	-0,01	0,50	-0,38	0,00	0,20	-0,24	-0,07	-0,12	0,47	0,06	0,00	-0,11	0,16	-0,65	-0,63	-0,69	-0,05	-0,58	0,40					
M			1,00	0,19	-0,61	-0,73	0,25	-0,46	0,11	0,37	-0,46	-0,05	0,30	0,35	-0,20	0,32	-0,44	-0,17	-0,02	-0,30	-0,15	-0,26	0,41	0,03	-0,03	-0,01	0,13	-0,45	-0,44	-0,71	0,28	-0,48	0,67					
F				1,00	-0,89	-0,07	-0,44	0,04	-0,57	-0,51	-0,76	-0,64	-0,33	-0,47	-0,77	-0,52	-0,36	-0,40	-0,45	0,18	-0,63	-0,49	0,25	-0,52	-0,49	-0,54	-0,40	-0,26	-0,25	-0,30	-0,13	-0,44	0,09					
mtF					1,00	0,37	0,27	0,15	0,47	0,31	0,83	0,57	0,16	0,26	0,74	0,31	0,48	0,41	0,42	-0,04	0,61	0,53	-0,39	0,43	0,44	0,46	0,30	0,40	0,39	0,55	0,00	0,57	-0,36					
<0,062 P						1,00	-0,28	0,35	-0,47	-0,70	0,15	-0,22	-0,20	-0,36	-0,13	-0,37	0,20	-0,11	-0,47	0,10	-0,22	-0,12	-0,01	-0,22	-0,15	0,00	-0,38	0,55	0,55	0,52	-0,16	0,43	-0,28					
M.O.							1,00	-0,38	0,48	0,70	0,37	0,64	0,51	0,65	0,56	0,68	-0,12	0,34	0,60	0,18	0,48	0,29	-0,13	0,36	0,25	-0,16	0,24	-0,16	-0,15	-0,21	0,02	-0,14	0,00					
pH								1,00	0,13	-0,01	0,51	0,13	-0,67	-0,68	0,31	-0,60	0,80	0,11	0,18	-0,09	0,32	0,15	-0,41	-0,32	-0,31	0,10	-0,42	-0,04	-0,05	0,22	-0,29	0,02	0,11					
P									1,00	0,74	0,71	0,80	0,28	0,47	0,81	0,55	0,40	0,30	0,76	0,11	0,79	0,26	-0,36	0,21	0,15	0,03	0,08	-0,27	-0,26	-0,17	0,04	-0,22	0,39					
K										1,00	0,69	0,76	0,11	0,41	0,81	0,49	0,36	0,06	0,90	0,03	0,87	0,13	-0,45	0,28	0,21	0,09	0,20	-0,43	-0,43	-0,16	-0,05	-0,22	0,13					
Ca											1,00	0,82	-0,05	0,13	0,95	0,24	0,79	0,30	0,82	0,18	0,88	0,41	-0,31	0,19	0,17	0,22	0,00	-0,01	-0,01	0,23	-0,05	0,12	0,06					
Mg												1,00	0,40	0,56	0,95	0,65	0,46	0,57	0,81	0,23	0,84	0,44	-0,15	0,06	-0,01	-0,15	-0,06	-0,18	-0,17	-0,21	-0,16	-0,24	0,14					
Al													1,00	0,88	0,18	0,86	-0,44	0,47	0,13	0,36	0,04	0,13	0,53	0,10	0,04	-0,24	0,04	0,15	0,15	-0,41	0,19	-0,22	0,07					
H+Al														1,00	0,38	0,99	-0,32	0,35	0,32	0,17	0,24	0,17	0,30	0,31	0,24	-0,16	0,26	-0,11	-0,10	-0,40	0,11	-0,24	0,15					
S.B.															1,00	0,48	0,64	0,42	0,88	0,20	0,92	0,41	-0,27	0,15	0,10	0,05	-0,01	-0,15	-0,14	-0,01	-0,11	-0,09	0,10					
C.T.C.																1,00	-0,22	0,40	0,42	0,19	0,34	0,23	0,25	0,30	0,23	-0,15	0,24	-0,12	-0,12	-0,38	0,09	-0,24	0,14					
V%																	1,00	0,10	0,49	-0,07	0,58	0,20	-0,39	0,03	0,02	0,37	-0,11	-0,10	-0,11	0,31	-0,20	0,13	-0,02					
S																		1,00	0,19	0,32	0,15	0,67	0,23	-0,13	-0,16	-0,39	-0,16	0,18	0,18	-0,28	-0,10	-0,20	-0,08					
B																			1,00	0,32	0,93	0,22	-0,35	0,17	0,11	0,08	0,01	-0,29	-0,28	-0,02	-0,05	-0,16	0,00					
Fe																				1,00	0,19	0,19	0,40	-0,03	-0,06	-0,25	-0,17	0,51	0,52	0,20	0,36	0,17	-0,38					
Mn																					1,00	0,19	0,19	0,40	-0,03	-0,06	-0,25	-0,17	0,51	0,52	0,20	0,36	0,17	-0,38				
Zn																						1,00	0,19	0,19	0,40	-0,03	-0,06	-0,25	-0,17	0,51	0,52	0,20	0,36	0,17	-0,38			
NA																							1,00	0,19	0,19	0,40	-0,03	-0,06	-0,25	-0,17	0,51	0,52	0,20	0,36	0,17	-0,38		
NDVI																								1,00	0,19	0,19	0,40	-0,03	-0,06	-0,25	-0,17	0,51	0,52	0,20	0,36	0,17	-0,38	
B3/B2																									1,00	0,19	0,19	0,40	-0,03	-0,06	-0,25	-0,17	0,51	0,52	0,20	0,36	0,17	-0,38
B3/B1																									1,00	0,19	0,19	0,40	-0,03	-0,06	-0,25	-0,17	0,51	0,52	0,20	0,36	0,17	-0,38
B3/B1+B2																									1,00	0,19	0,19	0,40	-0,03	-0,06	-0,25	-0,17	0,51	0,52	0,20	0,36	0,17	-0,38
B3/B4																									1,00	0,19	0,19	0,40	-0,03	-0,06	-0,25	-0,17	0,51	0,52	0,20	0,36	0,17	-0,38
B3/B6																									1,00	0,19	0,19	0,40	-0,03	-0,06	-0,25	-0,17	0,51	0,52	0,20	0,36	0,17	-0,38
B3/B8																									1,00	0,19	0,19	0,40	-0,03	-0,06	-0,25	-0,17	0,51	0,52	0,20	0,36	0,17	-0,38
B3/B5+B6+B7+B8																									1,00	0,19	0,19	0,40	-0,03	-0,06	-0,25	-0,17	0,51	0,52	0,20	0,36	0,17	-0,38
IAF																									1,00	0,19	0,19	0,40	-0,03	-0,06	-0,25	-0,17	0,51	0,52	0,20	0,36	0,17	-0,38

* Em negrito outliers da distribuição normal

Tabela 3 - D: Matriz de Correlação de Pearson (ρ) - Componentes principais dos Perfis AB/JK/LM.

Tabela 6 - D. result de Condições de 1 Carbon (p.7) Componentes principais de 1 Carbon (p.7) 1000																													
---	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

* Em negrito outliers da distribuição normal

Tabela 4 - D: Matriz de Correlação de Pearson (ρ) -Componentes principais dos Perfis 2C/DE/HI.

	mtG	G	M	F	mtF	<0,062 P	M.O.	pH	P	K	Ca	Mg	Al	H+Al	S.B.	C.T.C.	V%	S	B	Fe	Mn	Zn	NA	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	IAF
mtG	1,00	0,26	0,27	-0,37	0,19	-0,48	0,31	-0,10	0,62	0,68	0,54	0,55	0,25	0,38	0,65	0,43	0,27	0,42	0,84	0,18	0,66	0,44	-0,33	0,01	-0,08	-0,09	-0,26	0,26	-0,52
G		1,00	0,70	0,07	-0,41	-0,66	0,39	-0,53	0,10	0,46	-0,32	0,16	0,42	0,52	-0,01	0,50	-0,38	0,00	0,20	-0,24	-0,07	-0,12	0,47	0,01	0,10	-0,03	-0,28	0,40	0,40
M			1,00	0,19	-0,61	-0,73	0,25	-0,46	0,11	0,37	-0,46	-0,05	0,30	0,35	-0,20	0,32	-0,44	-0,17	-0,02	-0,30	-0,15	-0,26	0,41	-0,09	0,07	0,26	0,09	-0,37	0,67
F				1,00	-0,89	-0,07	-0,44	0,04	-0,57	-0,51	-0,76	-0,64	-0,33	-0,47	-0,77	-0,52	-0,36	-0,40	-0,45	0,18	-0,63	-0,49	0,25	-0,56	-0,38	0,31	0,23	-0,70	0,09
mtF					1,00	0,37	0,27	0,15	0,47	0,31	0,83	0,57	0,16	0,26	0,74	0,31	0,48	0,41	0,42	-0,04	0,61	0,53	-0,39	0,51	0,29	-0,38	-0,23	0,74	-0,36
<0,062 P						1,00	-0,28	0,35	-0,47	-0,70	0,15	-0,22	-0,20	-0,36	-0,13	-0,37	0,20	-0,11	-0,47	0,10	-0,22	-0,12	-0,01	0,12	-0,01	0,03	-0,07	0,33	-0,28
M.O.							1,00	-0,38	0,48	0,70	0,37	0,64	0,51	0,65	0,56	0,68	-0,12	0,34	0,60	0,18	0,48	0,29	-0,13	0,13	0,08	0,03	0,13	0,13	0,00
pH								1,00	0,13	-0,01	0,51	0,13	-0,67	-0,68	0,31	-0,60	0,80	0,11	0,18	-0,09	0,32	0,15	-0,41	0,24	0,25	-0,08	-0,38	0,04	0,11
P									1,00	0,74	0,71	0,80	0,28	0,47	0,81	0,55	0,40	0,30	0,76	0,11	0,79	0,26	-0,36	0,34	0,37	0,02	-0,25	0,01	0,39
K										1,00	0,69	0,76	0,11	0,41	0,81	0,49	0,36	0,06	0,90	0,03	0,87	0,13	-0,45	0,37	0,41	-0,08	-0,31	0,09	0,13
Ca											1,00	0,82	-0,05	0,13	0,95	0,24	0,79	0,30	0,82	0,18	0,88	0,41	-0,31	0,47	0,40	-0,12	-0,40	0,40	0,06
Mg												1,00	0,40	0,56	0,95	0,65	0,46	0,57	0,81	0,23	0,84	0,44	-0,15	0,11	0,08	0,04	-0,08	0,06	0,14
Al													1,00	0,88	0,18	0,86	-0,44	0,47	0,13	0,36	0,04	0,13	0,53	-0,32	-0,39	0,35	0,35	-0,04	0,07
H+Al														1,00	0,38	0,99	-0,32	0,35	0,32	0,17	0,24	0,17	0,30	-0,07	-0,10	0,03	0,19	0,03	0,15
S.B.															1,00	0,48	0,64	0,42	0,88	0,20	0,92	0,41	-0,27	0,31	0,28	-0,04	-0,28	0,22	0,10
C.T.C.																1,00	-0,22	0,40	0,42	0,19	0,34	0,23	0,25	-0,03	-0,07	0,03	0,14	0,06	0,14
V%																	1,00	0,10	0,49	-0,07	0,58	0,20	-0,39	0,47	0,45	-0,28	-0,61	0,33	-0,02
S																		1,00	0,19	0,32	0,15	0,67	0,23	-0,48	-0,58	0,24	0,46	-0,14	-0,08
B																			1,00	0,32	0,93	0,22	-0,35	0,36	0,37	0,01	-0,39	0,17	0,00
Fe																				1,00	0,19	0,19	0,40	-0,25	-0,34	0,17	0,26	0,00	-0,38
Mn																					1,00	0,19	-0,41	0,36	0,38	0,07	-0,34	0,09	0,20
Zn																						1,00	0,00	-0,09	-0,25	0,12	0,37	0,22	-0,03
NA																							1,00	-0,42	-0,49	0,20	0,38	0,00	-0,03
CP1																								1,00	0,97	-0,52	0,71	0,14	
CP2																									1,00	-0,49	-0,79	0,53	0,23
CP3																										1,00	0,34	-0,38	0,27
CP4																											1,00	-0,46	0,07
CP5																												1,00	-0,33
IAF																													1,00

* Em negrito outliers da distribuição normal