

Detecção de unidades geobotânicas em Floresta de Restinga sob sedimentos holocênicos através do sensoriamento remoto

Carolina Tuaf¹
Cibele Hummel do Amaral¹
Teodoro Isnard Ribeiro de Almeida¹
Natasha Costa Penatti¹

¹ Instituto de Geociências - Universidade de São Paulo – USP
Rua do Lago, 562 – 05508-080 – São Paulo-SP, Brasil
{carolina.tuaf, chamamar, talmeida, natasha.penatti}@usp.br

Abstract. The Restinga vegetation is one of the most recent and important formations associated with the Atlantic Forest, located in the coastal plains of the Brazilian coast. In marine Quaternary sediments, the Restinga Forest vegetation is distributed in a gradient from the beach to the Coastal Mountains, showing different faces related to local physical conditions. Aiming to identify geobotanic variations by detecting differentiated counterparts areas identified by ASTER image processing, we have characterized the Holocene sediments on the granulometric, floristic composition, to evaluate the similarity and analyzed forest soil fertility (Horizon A). Through the image obtained by applying the Principal Components Analysis and incorporation of albedo image were selected points of interest. In selected areas were mounted two subprofiles 60 x 2 meters crossed, one perpendicular and one parallel to the coastline. The results showed that the sediment and soil more distant from the coast line are thicker and fertile compared to the closest. Regarding the vegetation, the Una River Plain from the Prelate has high biodiversity and dissimilarity between forest types. It is considered that in a forest canopy with such diversity and small scale variation of the physical environment, as in Forest of Restinga, the possibility of identifying units across genera or families may be more viable than by species, considering also the dominance and frequency of individuals grouped together. However, fieldwork already provided, may permit the establishment of floristic patterns in homologous zones already defined.

1. Introdução

A vegetação de Restinga, uma das mais recentes e importantes formações associadas à Mata Atlântica, é situada nas planícies costeiras do litoral brasileiro. Sobre sedimentos Quaternários marinhos, a Floresta de Restinga se distribui num gradiente vegetacional desde a praia até as Serras Costeiras, apresentando diversas fisionomias relacionadas às condições físicas locais.

A planície costeira possui diversos ambientes decorrentes de diferentes feições geomorfológicas como, por exemplo, terraços marinhos, planície marinha com cordões litorâneos, depressões intercordões, planície lagunar, planície fluvio-marinha, planície de maré, praias e dunas. Desta forma, a diversidade de ambientes expressa um mosaico de formações vegetacionais.

A evolução da paisagem costeira paulista está relacionada aos depósitos marinhos derivados das últimas transgressões ocorridas no Pleistoceno (123.000A.P.) e no Holoceno (5.100 A.P.), segundo Suguio e Martin (1978). A deposição arenosa originada pela flutuação do nível relativo do mar sucedida no Holoceno é caracterizada atualmente por cordões litorâneos próximos a linha de costa. Deposições fluvio-marinhas também são bastante expressivas no mesmo período.

Geralmente, os cordões litorâneos são alinhados à linha de costa e possuem forma alongada. Em zona de cordões é possível observar depressões entre dois cordões (depressão intercordão) que permanecem ou não alagadas durante o ano, podendo apresentar fluxo de maré. Aqui são observadas fisionomias de mata paludosa e mata baixa. Os ambientes fluvio-marinhos associam-se às formações vegetais mais específicas, em termos de composição de espécie, como os manguezais e a mata de várzea, por exemplo.

No estudo das relações entre o meio físico e a vegetação no ecossistema de Restinga, a geobotânica por sensoriamento auxilia na compreensão da espacialidade dos elementos da paisagem e na detecção de diferentes formações vegetais através da resposta espectral dos alvos, principalmente em extensas áreas sob condições de difícil acesso. Esta técnica vem sendo aplicada como ferramenta auxiliar nos mapeamentos do meio físico e biótico, em programas de prospecção mineral e em estudos de áreas protegidas, como em Almeida et al. (2009) e Pacheco (2009). Esta pesquisa teve por finalidade caracterizar conjunto de zonas homólogas de Restinga sobre sedimentos holocênicos, identificadas em imagens multiespectrais de média resolução, quanto à granulometria, a profundidade do freático, a fertilidade dos solos (Horizonte A) e a composição florística, discutindo a relação da similaridade florestal com as variáveis do meio físico.

2. Metodologia de Trabalho

2.1. Área de Estudo

A área objeto de estudo compreende a Planície Costeira do Rio Una do Prelado, uma área de aproximadamente 7.500ha, delimitada pelo Rio Una e Rio Verde. Localiza-se na Unidade de Conservação - Estação Ecológica Jureia-Itatins - EEJI, situada na porção sudeste do Estado de São Paulo, no município de Iguape (Figura 1).

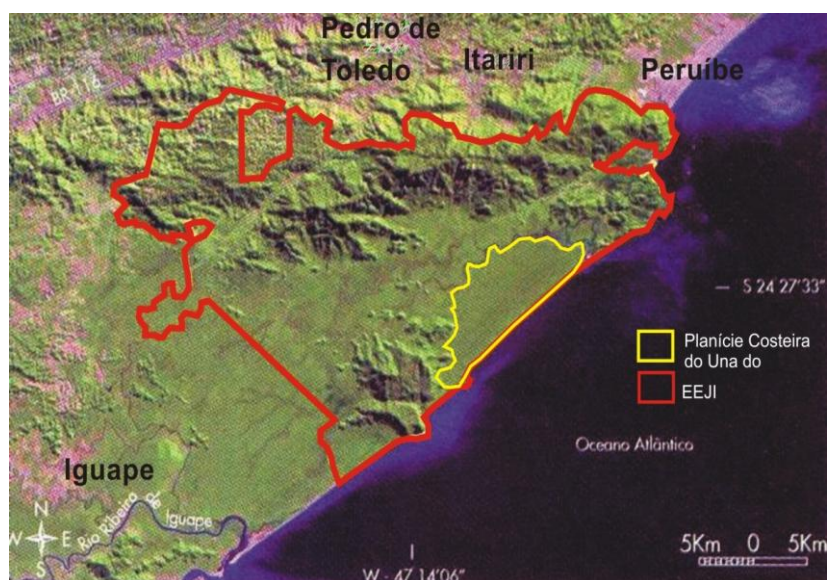


Figura 1. Localização da área de estudo (amarelo) inserida na Unidade de Conservação (vermelho) em imagem Landsat 7 (RGB).

2.2 Método

A imagem de média resolução espectral obtida pelo sensor ASTER em 26/02/2006 foi utilizada no presente estudo. Somente as bandas do VNIR (*Visible and Near Infrared*) e do SWIR (*Shortwave Infrared*) foram usadas no processamento que foi realizado no *software* ENVI 4.7.

No pré-processamento, a imagem sofreu reamostragem das bandas do infravermelho de ondas curtas (SWIR) para resolução espacial de 15 metros, de forma a ser compatível com a resolução das bandas do visível e infravermelho próximo (VNIR). Após a reamostragem, houve o recorte da área de interesse na cena e, posteriormente, a imagem (o recorte) foi submetido à correção atmosférica pelo módulo QUAC – *Quick Atmospheric Correction* (ENVI[®]) no intuito de eliminar os efeitos de espalhamento e absorção da radiação devido aos constituintes da atmosfera.

Tabela1. Bandas espectrais do sensor ASTER utilizadas no estudo.

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 - 2,285	
	8	2,295 - 2,360	
	9	2,360 - 2,430	

O processamento digital seguiu o método sistêmico proposto por Almeida (2005), que consiste na operação de razões de bandas com objetivo de realçar a resposta espectral da vegetação, aplicação de Análise dos Principais Componentes (APC) através da matriz de correlação, para hierarquizar a informação espectral e incorporação de imagem de albedo. Segundo Pacheco (2009b) o método sistêmico é eficiente em estudos geobotânicos a partir do sensoriamento remoto em ambientes cobertos por Floresta Atlântica da planície costeira.

Sendo assim, para o realce espectral de diferentes compostos foliares da imagem ASTER foram preparadas cinco razões de bandas. Utilizou-se no numerador sempre a banda ASTER 3 (NIR: 760-860 nm) como comprimento de onda de referência por ser relativamente invariante quanto ao teor dos principais compostos foliares e, em acréscimo, por ser fortemente refletida pela vegetação. As demais bandas, postas no denominador, como comprimentos de onda índice, representam: ASTER 1 e 2 (VIS: 520 – 690 nm), faixa de absorção por pigmentos foliares tais como clorofila, carotenóides e antocianina ; ASTER 4, ASTER 6 e ASTER 8 (SWIR: 1600 – 2430 nm), domínio da água na estrutura foliar com máximo de reflectância em 1650 nm (ASTER 4) e feições de absorção ligadas a compostos bioquímicos tais como amido (ASTER 6), lignina, proteínas e açúcares (ASTER 8). A imagem de albedo incorporada foi a PC1 de Análise por Principais Componentes das bandas do VNIR (visível e infravermelho próximo).

A partir das imagens obtidas foram selecionadas áreas de interesse ao levantamento florístico e caracterização do meio físico quanto à granulometria do sedimento, profundidade da água e fertilidade do solo. Nas áreas escolhidas foram montados dois subperfis de 60 x 2 metros cruzados, um perpendicular e outro paralelo à linha de costa. A intersecção dos subperfis variou conforme as condições físicas de cada local, principalmente por razão do elevado nível d'água encontrado. As amostragens de sedimento e solo (Horizonte A) foi feita por trado holandês em três pontos equidistantes de cada subperfil, ou seja, a 10m, 30m e 50m. O sedimento foi coletado acima do nível de água foi posteriormente submetido à análise granulométrica por jogos de peneiras no Instituto de Geociências da USP. Com as amostras de solo foi realizada a análise de fertilidade nos laboratórios do Instituto Agrônomo de Campinas.

Com relação ao levantamento florístico, foram identificados de todos os indivíduos arbóreos com perímetro na altura do solo - PAS \geq 15 centímetros presentes no perfil. Foi medida a altura dos indivíduos e observado seu alcance no dossel.

A partir dos dados obtidos no levantamento florístico foi aplicado o Índice da Similaridade de Jaccard (J). 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 (Equação 1).

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

α – área α

β – área β

a – número de espécies que apenas ocorrem na área α

b - número de espécies que apenas ocorrem na área β

c – número de espécies comuns das áreas α e β

3. Resultados e Discussões

A Análise por Principais Componentes da imagem ASTER, que concentra e hierarquiza a informação espectral, mostrou a seguinte distribuição percentual de autovalores (Tabela 2):

- a PC1 concentra 77,55% da variação dos dados, entretanto não ocorre nenhuma dominância significativa das razões obtidas demonstradas na Tabela 3;
- a PC2, com 12,82% concentra de forma sutil a informação das razões ASTER 3/ ASTER 1 e ASTER 3/ ASTER 2, ligadas aos pigmentos foliares;
- a PC3 que representa 5,62% da informação é dominada pela razões que envolvem as bandas do visível ligadas aos pigmentos foliares, principalmente pela razão ASTER 3/ ASTER 2 de forma negativa e pela razão ASTER 3/ ASTER 1;
- a PC4 que explica 2,50% da variação da informação é dominada pela razão ASTER 3/ ASTER 8 relacionada aos compostos bioquímicos (amido);
- a PC5 que concentra 1,60% da informação apresenta dominância de maneira negativa da razão ASTER 3/ ASTER 4 relacionada a água foliar.

Tabela 2. Autovalores da Matriz de Correlação da APC.

Autovalores (em porcentagem) das componentes principais				
PC 1	PC 2	PC 3	PC 4	PC 5
77,55%	12,82%	5,62%	2,50%	1,60%

Tabela 3. Matriz dos autovetores da PCA sobre o conjunto de razões de bandas processadas. Em negrito as contribuições dominantes nas PCs.

	3 / 1	3 / 2	3 / 4	3 / 6	3 / 8
PC 1	0,406	0,414	0,466	0,466	0,47/6
PC 2	0,596	0,536	-0,403	-0,396	-0,192
PC 3	0,683	-0,729	0,022	0,011	0,019
PC 4	-0,107	-0,092	-0,282	-0,414	0,853
PC 5	-0,007	-0,016	-0,734	0,673	0,081

A partir dos resultados estatísticos obtidos na matriz de autovetores foram analisadas as PCs individualmente com propósito de identificar áreas homólogas diferenciadas. Desta forma, as imagens foram submetidas a um filtro passa-baixas 5 x 5, introdução de imagem de albedo e transformadas em composições falsa cor. Contudo a PC5, relacionada à água foliar, apresentou a melhor organização espacial da informação espectral, agrupando áreas homólogas e distinguindo das áreas não homólogas (Figura 2).

Da interpretação destas imagens foram selecionados três locais da Planície do Rio Una do Prelado para a realização de dos perfis em cruz. Somente no Perfil C foi montado

um único subperfil pela presença de alagados descontínuos. Os pontos estudados podem ser visualizados na Figura 2.

Observa-se na imagem a variação espacial das informações obtidas no processamento digital. Nota-se padrão linear SW-NE de zonas homogêneas diferenciadas. As áreas de coloração azulada e esverdeada acompanham os canais de drenagem indicando uma floresta associada à Várzea e /ou Paludosa. Nas áreas próximas ao Rio Una do Prelado pode-se dizer que ocorre Vegetação de Várzea com predomínio da caxeta (*Tabebuia cassinoides*) que são regiões comumente denominadas caxetais.

Já áreas de mesma coloração mais interiorizadas associam-se à vegetação paludosa, com grande quantidade de água foliar, também, e que margeiam os canais da planície relacionados a depressões entrecordões. As áreas de coloração magenta podem ser representadas por vegetação com menor quantidade de água foliar, com exceção dos locais com manchas mais escuras, como observado no Perfil C. As áreas amarelas, próximas a linha de costa estão associadas a vegetação de duna e de jundu.

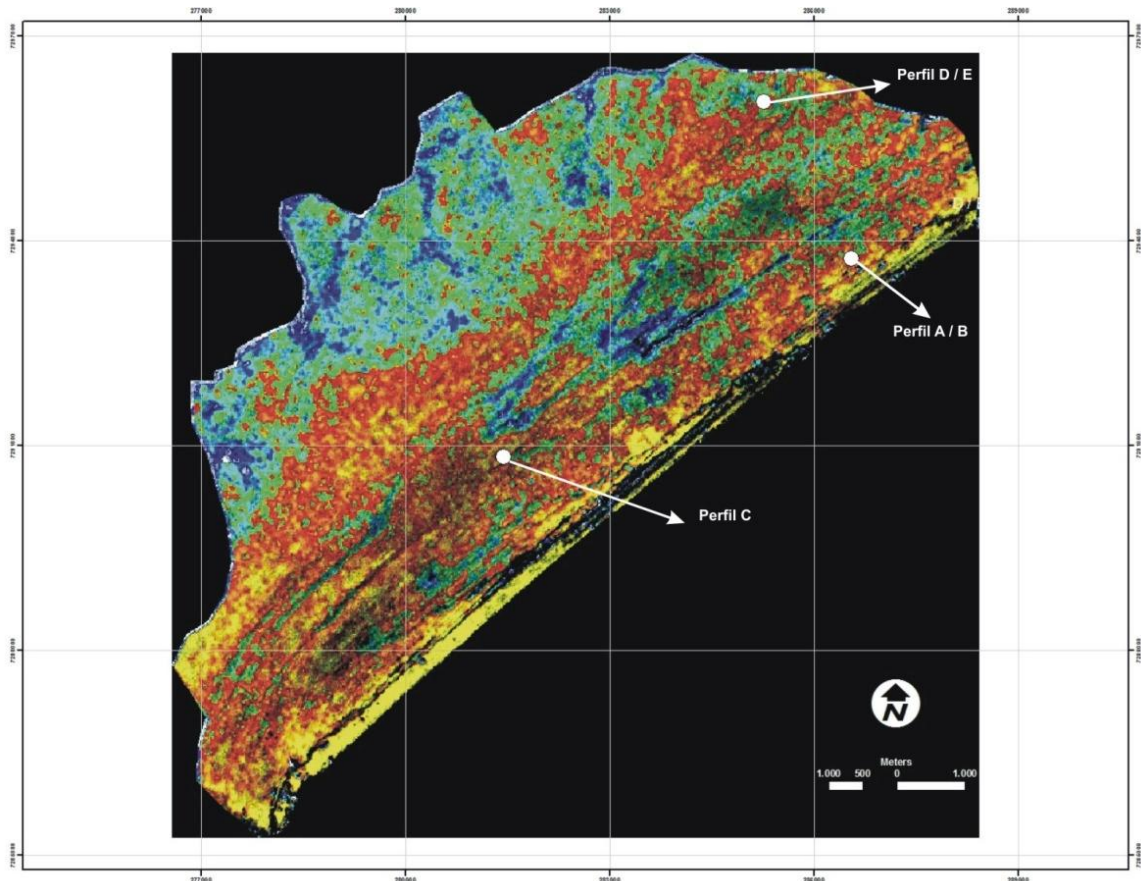


Figura 2. Imagem PC5 falsa cor submetida a filtro passa-baixas 5 x 5 com incorporação de imagem de albedo com a localização dos Perfis estudados.

Os resultados da análise granulométrica são apresentados nos gráficos da Figuras 3. Nota-se variação semelhante dos teores de areia entre os Perfis A / B e C, e diferente com relação ao Perfil D / E, que apresenta variação granulométrica com significativa porcentagem de areia média (15-40%), caracterizando um sedimento fino a médio. Os sedimentos dos perfis A / B e C são de granulometria fina a muito fina. A variação espacial granulométrica observada segue o padrão descrito por Bentz (2004) nos cordões litorâneos da Planície do Una. De acordo com a autora a variação granulométrica

encontrada é transversal onde os sedimentos holocênicos apresentam afinamento do diâmetro médio e melhora de seleção, rumo aos alinhamentos mais recentes.

Com relação aos resultados da análise de Fertilidade, a Tabela 4 apresenta a média obtida no perfil. Os solos dos perfis, de maneira geral, apresentam alta acidez e baixos valores de soma de bases (S.B) e de saturação de base (V%), conferindo solos de baixa fertilidade. As maiores diferenças encontradas entre os perfis estão relacionadas aos parâmetros de matéria orgânica, acidez potencial, CTC, V% e ferro. Pode-se afirmar que os principais parâmetros da fertilidade do solo sob floresta de Restinga estão associados à acidez elevada e aos teores de matéria orgânica, este último é responsável pela CTC e decisivo na manutenção da fertilidade do solo, já que os teores de argila são desprezíveis ocasionando a baixa reserva de nutrientes, segundo Casagrande et al (2010). As médias dos teores de MO, de H+Al, e dos valores de CTC no perfil D / E são, pelo menos, 40% maiores com relação às médias dos perfis A / B e C, atribuindo ao perfil o maior grau de fertilidade.

Tabela 4. Valores médios de Fertilidade de cada Perfil estudado.

Parâmetro	PERFIL		
	A / B	C	D / E
MO (g/dm ³)	37,60	49,33	80,20
pH	3,50	3,40	3,14
P (mg/dm ³)	10,00	5,33	9,60
K (mmolc/dm ³)	1,02	0,80	0,86
Ca (mmolc/dm ³)	2,20	1,33	2,00
Mg (mmolc/dm ³)	2,00	1,67	3,80
Al (mmolc/dm ³)	8,60	8,67	11,00
H+Al (mmolc/dm ³)	53,20	69,33	156,40
S.B. (mmolc/dm ³)	5,22	3,80	6,66
CTC (mmolc/dm ³)	58,60	73,07	162,98
V%	9,20	6,67	4,40
S (mg/dm ³)	14,80	9,67	9,00
B (mg/dm ³)	0,25	0,25	0,29
Cu (mg/dm ³)	<0,1	<0,1	<0,1
Fe (mg/dm ³)	119,00	149,00	27,60
Mn (mg/dm ³)	0,96	0,35	1,05
Zn (mg/dm ³)	0,50	0,37	1,20

Em relação à composição da vegetação, a análise dos resultados do levantamento florístico pode ser feita através da comparação entre os subperfis (A, B, C, D e E), e os Perfis constituídos (A / B e D / E). A comparação dos perfis constituídos não abrangeu o Perfil C por razão da diferença espacial. De forma geral a vegetação estudada possui altura entre 9 a 12 metros. Maiores medidas de CAS – circunferência na altura do solo foi encontrada nos perfis D e E, característica possivelmente relacionada à fertilidade do solo.

O perfil B apresentou maior número de espécies (riqueza) e de indivíduos, embora a maior diversidade seja atribuída ao perfil C (espécies/indivíduos=0,61) (Tabela 5). Comparando o Perfil A / B com o Perfil D / E, o primeiro possui maior densidade arbórea e diversidade, conferindo uma vegetação mais densa e diversa. Entretanto, todos os perfis e subperfis são extremantes diversos entre si refletindo alta dissimilaridade

florística (Tabela 6). A maior similaridade encontrada foi entre o perfil D e E ($J_{DE}=0,20$) e A e D ($J_{AD}=0,18$). Comparando os Perfis A / B e D / E a dissimilaridade é acentuada ($J_{A/B - D/E} = 0,13$).

A alta diversidade florística encontrada nos perfis pode explicar a baixa capacidade das PC2, PC3 relacionadas a pigmentos foliares, e da PC4 ligada aos compostos bioquímicos, de detectar áreas homólogas diferenciadas. Somente a PC5, componente relacionada a água foliar, foi capaz de distinguir as áreas homólogas indicando a importância das condições físicas, principalmente a presença de água no sistema, na diferenciação da vegetação.

Tabela 5. Comparação dos parâmetros vegetacionais nos perfis estudados.

Perfil	N. de espécies	N. de indivíduos	Diversidade (espécie/ind.)	CAS média (cm)	Altura média (m)	Densidade (ind/m ²)
A	17	29	0,58	31,8	9,1	0,24
B	27	50	0,54	41,7	11,6	0,41
C	19	31	0,61	44,8	12	0,26
D	16	30	0,53	48	12,44	0,13
E	20	35	0,57	49,4	10,1	0,25
A / B	39	79	0,49	36,75	10,3	0,33
D / E	30	65	0,46	48,7	11,3	0,27

Tabela 6. Similaridade entre os perfis estudados a partir do Índice de Jaccard.

Índice de Jaccard (J)			
JAB= 0,12			
JAC= 0,09	JBC= 0,09		
JAD= 0,18	JBD= 0,07	JCD= 0,09	
JAE= 0,09	JBE= 0,13	JCE= 0,12	JDE= 0,20
J A/B - D/E=	0,13		

4. Conclusões

De acordo com os resultados obtidos a região mais distante da linha de costa apresenta sedimentos de granulometria relativamente mais grossa e solos de melhor fertilidade em relação às áreas mais próximas. Entretanto, não foi observado o mesmo padrão na vegetação.

A Planície do Rio Una do Prelado possui alta biodiversidade e dissimilaridade entre as fitofisionomias em relação ao nível específico. Em razão da grande variedade de espécies, o tamanho dos perfis não permitiu detectar similaridades mesmo entre os subperfis, não permitindo afirmações sobre a potencial dissimilaridade florística entre as diferentes fitofisionomias.

Considera-se que, em coberturas florestais com tal diversidade e com variações do meio físico de pequena escala, como ocorre na Floresta de Restinga, a possibilidade de identificar unidades através de gêneros ou famílias pode ser mais viável que por espécies, considerando também a dominância e frequência dos indivíduos agrupados. Trabalhos de campo já previstos, entretanto, poderão permitir o estabelecimento de padrões florísticos nas zonas homólogas já definidas.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio da equipe da Fundação Florestal pertencente à Estação Ecológica Jureia Itatins pela logística de campo. Ao professor Carlos Roberto de Souza Filho agradecemos pela imagem cedida.

Referências Bibliográficas

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. 2005. 141 p. Tese (Livre-Docência) - Instituto de Geociências - Universidade de São Paulo. São Paulo. 2005.

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.). **Special Publication on Remote Sensing and Spectral Geology**. Colorado, EUA: Society of Economic Geologists, 2009. v. 1, p. 135-142.

Bentz, D. Os cordões litorâneos da Planície de Una-Jureia, municípios de Peruíbe e Iguape. 2004. 115 p. Dissertação (Mestrado Geologia Sedimentar) - Instituto de Geociências - Universidade de São Paulo, São Paulo. 2004.

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. In: 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, 2010, Guarapari – ES. **Anais...** Guarapari, FERTBIO, 2010. Disponível em <<http://www.fertbio2010.com/TRABALHOS/1120.pdf>> Acesso em 2.11.10.

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. 2009. 201 p. Dissertação (Mestrado em Geografia Física) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas - Universidade de São Paulo, São Paulo. 2009.

Pacheco, R. C.; Almeida, T. I. R. Realce de imagem multiespectral aplicado à geobotânica em áreas cobertas por Floresta Atlântica: um caso no Parque Estadual Campina do Encantado – SP. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 14. (SBSR), 2009, Natal. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2009b. p. 7023-7030. DVD, On-line. ISBN 978-85-17-00044-7. Disponível em: <<http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.15.23.08/doc/7023-7030.pdf>>. Acesso em 1.11.2010.

Perrotta, M.M.; Alemida, 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.

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, 1978. 55p.