

Índice Digital da Cobertura Fotossintética em Bosques de Mangues. Exemplo: APA-Guapimirim, RJ.

IVAN DE OLIVEIRA PIRES¹

¹LASERE-UFF (Laboratório de Sensoriamento Remoto da Universidade Federal Fluminense).

Abstract. The efficiency of algorithms based on simple arithmetic operations with spectral bands (ratios) has been tested in the discrimination and correlation of mangrove forests in APA-Guapimirim, eastern portion of Guanabara Bay in the State of Rio de Janeiro. This procedure, typically used in the analysis of soil and vegetation, has also proven to be efficient in discriminating structural differences within forests such as mangroves. The digital values obtained correlate well with foliar density values obtained through allometric methods. These results emphasize the unique spectral characteristics for this type of coastal vegetation, typical of transition areas.

I - Introdução

O desenvolvimento de metodologias para determinação de índices de vegetação teve seu maior incremento a partir da metade da década passada com a plena operacionalização do sensor TM (Thematic Mapper) da série LANDSAT. Trabalhos como os de [Tucker (1980 e 1982)], [Curran e Willianson (1987)], [Towshend-Justice (1988)] entre outros destacaram as vantagens e limitações da utilização desses índices através do emprego de diversas metodologias. Um dos principais problemas apontados por estes trabalhos prendia-se as limitações dos sistemas disponíveis na determinação de índices em bosques heterogêneos constituídos de árvores de porte médio a alto. Atualmente índices de vegetação normalizados (NDVI) tem sido utilizados com insistência no

monitoramento da cobertura vegetal em escala global. Contudo, o monitoramento de bosques naturais em escalas de semi-detulhe e detalhe continuaram a apresentar resultados fracos principalmente quando correlacionados com índices obtidos em campo. [HERZ (1988)] utilizou de forma integrada diversos níveis de observação no reconhecimento de padrões espectrais em manguezais da região lagunar de Cananéia no Estado de São Paulo. Destacou que correlações a partir radiômetros aero-transportados não são ainda praticáveis devido a dificuldades de ordem operacional e de sistematização de dados processados pelos sistemas hoje disponíveis.

Este trabalho, pretende trazer uma contribuição metodológica alternativa para o estabelecimento de índices da vegetação em áreas de mangue.

I.1 - Objetivo

- Determinação de índices digitais através da razão simples entre bandas (infravermelho/vermelho) do TM/LANDSAT relativos às feições arbóreas de bosques de mangues pré-determinadas por um sistema de classificação.

- Relacionar os Índices Digitais (ID) com Índices da Cobertura Fotosintética (ICF) determinados em campo.

I.2 - A Área de Proteção Ambiental Guapimirim

Criada por decreto presidencial em 23 de abril de 1985, esta Área de Proteção Ambiental compreende a faixa litorânea dos municípios de São Gonçalo, Itaboraí, Magé e Guapimirim, litoral oriental da Baía de Guanabara, RJ.

Sua área total de 140 Km², é compreendida por uma faixa contínua de manguezais que ocupa aproximadamente a metade deste total. Os restantes 70 Km² compreendem uma estreita faixa de terra firme adjacente ao manguezal e a coleção de águas em frente aos mesmos na baía, (Figura 1).

II - Metodologia

A utilização de operações aritméticas simples como a razão entre bandas (Ratio), foi primeiramente utilizada como um procedimento na redução dos efeitos atmosféricos e topográficos sobre os alvos da superfície [Holben-Justice (1981)]. Sua aplicação na avaliação qualitativa da cobertura vegetal teve grande impulso a partir dos trabalhos de [Deering (1975)-Tucker (1979 e 1980)]. Contudo, é no realce entre feições do solo e da vegetação que a aplicação desse algoritmo tem sido mais rotineiramente utilizado. Neste trabalho, este procedimento serviu primeiramente na discriminação do manguezal como um todo, facilitando sua

delimitação. Este artifício de realce foi empregado posteriormente no treinamento de amostras para a classificação. Finalmente, o mesmo procedimento, utilizando as mesmas bandas LANDSAT TM4/TM3, originou os índices digitais relativos a cobertura arbórea do mangue.

II.1 - Sistema de Classificação

O desenvolvimento de um sistema de classificação se deve a necessidade de caracterização sinótica da área de estudo. Para tanto, foi necessário um criterioso trabalho de discriminação temática das feições mais características do ecossistema manguezal.

Originalmente adaptado com base em [Anderson et al.(1979)] um dos trabalhos pioneiros na proposição de uma base sistemática para a classificação do uso do solo a partir de dados orbitais, o sistema aqui desenvolvido, representa a evolução daquele anteriormente proposto por [Pires (1986)] para o mapeamento de manguezais na Baía de Guanabara e significativamente modificado a partir de [Pires-Herz (1987)] já como proposta para o monitoramento.

Um das características mais importantes deste sistema é a sua versatilidade, propiciando compartimentações sucessivas de seus níveis e sub-níveis permitindo detalhamentos e atualizações de acordo com a dinâmica local.

II.2 - Índice Digital (ID)

Com o cursor sobre as mais significativas classes da cobertura arbórea, foram feitas leituras dos valores de nível de cinza (leitura de pixels). Da matriz original 5x5 pontos apresentada pelo cursor mínimo do SITIM-150, somente os valores internos, matriz de 3x3 pontos foram considerados. Ou seja, 9 pontos para cada leitura do "pixel" (picture

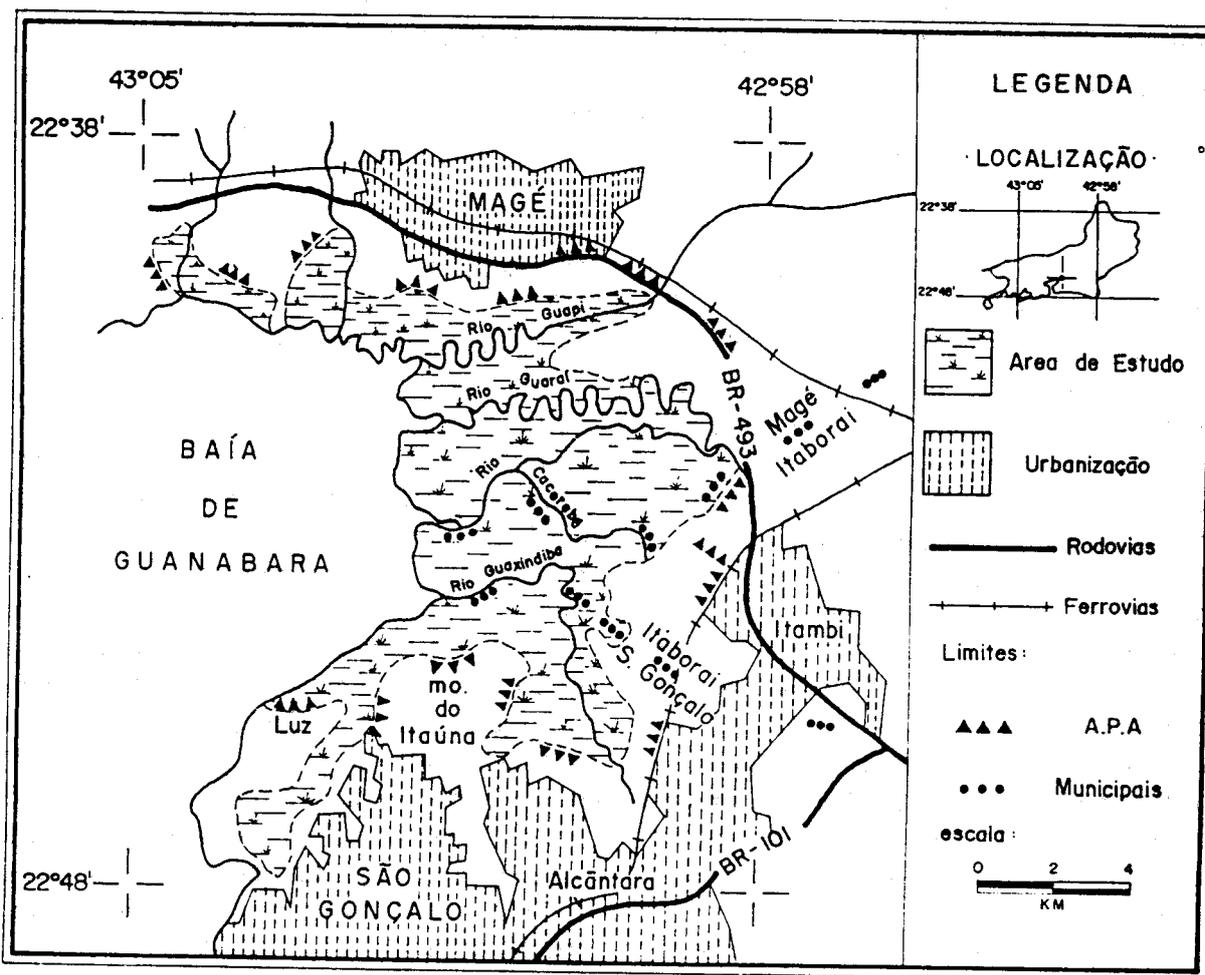


Figura 3 - Sistema de Classificação.

element) por classe da cobertura arbórea (Figura 2).

canal @		banda R		
46	45	46	48	50
47	43	43	46	53
49	41	41	45	54
46	41	41	50	54
45	43	42	45	52

Figura 2 - Leitura de "pixels"

Para cada leitura de pixel, foi determinado o intervalo entre o valor mínimo e máximo, além do valor médio por matriz (3x3 pontos). A média desses valores determinaram o intervalo e o índice médios por classe da cobertura arbórea demonstradas pelo sistema de classificação. Foram considerados um total de 216 leituras, ou valores médios para efeito de correlação com os índices relativos à densidade foliar determinados em campo.

II.3 - Índice da Cobertura Fotossintética (ICF)

Os índices relativos à densidade foliar da

cobertura arbórea dos mangues estudados foram determinados pela adaptação de métodos alométricos descritos por [Shaeffer-Novelli-Cintron (1986)] a partir de parcelas (10x10 e 30x30 metros) em trabalhos de campo. Dentre os diversos métodos apresentados por esses autores para a determinação da área foliar de indivíduos de mangue, o mais representativo neste caso, foi aquele desenvolvido por [Pool et al.(1977)], conhecido como o método da prumada. Originalmente, este método consiste em se transpassar uma linha de prumo ao longo de cada árvore, o mais próximo possível do tronco principal e computar-se as folhas que tocarem esta linha.

Segundo os autores, esta linha de prumo corresponde a um ponto infinitesimal para onde convergiriam todos os pontos que constituíssem a área de um prisma de $1m^2$. Assim, cada folha computada representaria o equivalente a esta superfície. Ou seja, se para uma determinada árvore, 3 folhas tocassem o fio em prumo, a área foliar dessa árvore seria de $3m^2/m^2$ da superfície.

O método aplicado neste trabalho, corresponde na verdade a uma adaptação do original acima descrito. Originalmente recomendado para árvores acima de 6 metros de altura, este método, na prática, em muito dificulta a visualização do contato folha/prumo em condições extremas, próprias de áreas de manguezais. Mesmo com a utilização de binóculo os resultados ficavam sujeitos à consideráveis mudanças a cada tentativa de mensuração. Algumas modificações foram então praticadas no sentido de se otimizar a idéia original. Ao invés de um fio de nylon esticado através da árvore foi utilizado um mecanismo composto de uma bóia de isopor luminescente presa a um fio de nylon (linha de pesca) e movimentado por um molinete preso a uma vara de pesca modular. Com isso, além de facilitar a visualização do contato

folha/prumo aumentou-se consideravelmente a dinâmica de obtenção das medidas. Essa nova dinâmica e os efeitos do aumento drástico da superfície de contato folha/pruma serão devidamente descritos e comentados a seguir.

III - Resultados e Discussão

III.1 - Sistema de Classificação

A figura 3 a seguir, demonstra o sistema de classificação determinado por análise visual e digital de imagens, fotointerpretação e intensos trabalhos de campo. A adaptação mais significativa corresponde ao quadro complementar, que busca qualificar as classes relativas a cobertura arbórea dos mangues evidenciando suas características fisiográficas e estruturais, além de destacar seus índices fotossintéticos.

Os níveis I e II demonstram o alto nível de detalhe alcançado pelo mapeamento superando o grau de generalidade esperado para a escala 1/60000 imposto basicamente pela resolução espacial do sensor TM/LANDSAT.

Essa otimização na discriminação das comunidades vegetais deve-se, por outro lado, a alta resolução espectral deste setor. Os índices relativos A ALT (Altura das árvores), DENS (Densidade) e DAP (Diâmetro a altura do peito) serviram para melhor caracterizar física e estruturalmente os bosques estudados.

III.2 - Índice do Coeficiente Fotossintético (ICF)

Os índices relativos a cobertura fotossintética, representam, como anteriormente comentado o valor médio de todas as medidas alcançadas para as classes da cobertura arbórea através de trabalhos de campo. Seus valores admencionais

NÍVEL I	NÍVEL II	NÍVEL III	CARACTERÍSTICAS FITO-FISIOLÓGICAS				
			ESPÉCIE	DENS	ALT(m)	DAP(cm)	ICF(m ²)
1. MANGUE	1.1-PRESERVADO	1.1.I- Seções de margens da baía e rios principais, bosques isolados de Avicénias. Água, solo exposto e sombra evidentes.	A.schauerianna	23	13,50	22,50	>10,00
			B.mangle	36	11,50	15,30	>13,00
		1.1.II- Seções contíguas a anterior e em direção a mesozona. Domínio das três espécies sem zonação e dossel irregular.	A.schauerianna	32	10,10	12,00	11,50
			B.mangle	52	7,90	8,50	8,00
			L.racemosa	43	7,60	7,50	6,80
		1.2-REGENERADO	1.2.I- Domínio das três espécies. Alta densidade, dossel mais ou menos regular, pouco solo exposto.	A.schauerianna	83	6,80	6,70
	B.mangle			75	5,90	4,30	5,40
	L.racemosa			79	5,30	5,10	4,50
	1.3-EM REGENERAÇÃO	1.3.I- Seções aleatórias, predomínio de uma ou outra espécie, densidade muito alta, dossel regular.	A.schauerianna	193	3,70	3,00	3,00
			B.mangle	150	3,50	3,70	3,00
			L.racemosa	175	3,10	2,50	2,20
	1.4-ALTERADO	1.4.I- Seções do manguezal ocupadas por invasoras: H.pernabacensis, A.aurea e gramineas. Substrato alterado, solo exposto evidente.					
		1.4.II- Feições arbustivas esparsas, gramineas, água e solo exposto evidente.					
		1.4.III- Seções totalmente ocupadas por gramineas, somente alcançadas por grandes marés.					
1.5-SOLO EXPOSTO	1.5.I- Seções sem vestígio de cobertura vegetal. Correspondem aos Apicuns e áreas recentemente desmatadas.						
1.6-ÁGUA	1.6.I- Água dos rios principais.						
	1.6.II- Água dos rios com alta carga de sedimentos em suspensão. Seções de solo exposto cobertas por água as margens da baía e dos rios principais.						

Figura 1 - Área de Proteção Ambiental Guapimirim.

representam um coeficiente da densidade foliar das árvores mensuradas e não propriamente o seu índice de área foliar. Devido ao aumento drástico da superfície de contato folha/prumo proporcionado pela adaptação introduzida ao método original os valores aqui apresentados representam um outro gradiente de medidas. A tabela I, a seguir, demonstra uma comparação entre os índices de área foliar estabelecidos pelos autores do método original, [Pool et al. 1977]), para manguezais de Porto Rico, Flórida e México e os índices da cobertura fotossintética estabelecidos neste trabalho.

Tabela I - Comparação entre os índices da Área Foliar e os Índices da Cobertura Fotossintética

ÍNDICE	Valor Mínimo	Valor Máximo
IAF (POOL, 1974)	0,8	5,1
ICF (PIRES, 1991)	2,6	15,5
Razão	3,25	3,04

III.3 - Índice Digital (ID)

A tabela II a seguir, demonstra os valores mínimos, máximos e médios relativos a leitura dos pixels das classes de mangue arbóreo (1.1.I a 1.1.III) do sistema de classificação. Esses valores foram determinados pela leitura de pontos da banda-razão TM4

(infravermelho) e TM3 (vermelho) sobre a cena não contrastada. A razão entre bandas anteriormente contrastada tende a homogeneizar os valores de níveis de cinza, diminuindo a dinâmica da distribuição de pontos no espaço de atributos. Esse procedimento, embora realce a vegetação como um todo discriminando-a de demais alvos como solo por exemplo, dificulta por outro lado, a discriminação de sutis diferenças entre feições que a compõem.

O recurso para realçar a composição colorida sem alterar os valores relativos a leitura digital foi o de se modificar a luminosidade através do algoritmo LUT (Look-up Table). Esse procedimento somente atribui variações na intensidade das cores do monitor, sem alterar os valores dos níveis de cinza armazenados na memória do sistema.

Tabela II - Índice Digital (ID)

CLASSE	TM/LANDSAT (23/03/86)			TM/LANDSAT (03/04/89)		
	Mínimo	Máximo	ID	Mínimo	Máximo	ID
1.1.1	45,5	52,5	47,7	41,5	54,4	46,3
1.1.11	56,7	58,1	56,8	57,6	62,0	59,5
1.2.1	59,2	64,4	61,4	61,5	65,0	63,2
1.3.1	62,2	64,8	63,5	63,0	66,2	64,6

Todos os dados apresentados pela tabela II representam valores médios, inclusive os limites máximos e mínimos.

As classes mangue regenerado (1.2.1) e em regeneração (1.3.1) apresentam valores bem semelhantes e por vezes superpostos. A identidade entre essas classes se deve principalmente a regularidade dos dosséis. Esta última classe, de mangue em regeneração, na maioria das vezes, aparece como uma continuidade da classe de mangue regenerado ocupando faixas normalmente estreitas e contínuas.

III.4 - Regressão Linear Simples

A figura 4 a seguir, apresenta as curvas de regressão linear simples, relativas a duas cenas TM/LANDSAT de 23/03/86 e 10/04/89 respectivamente.

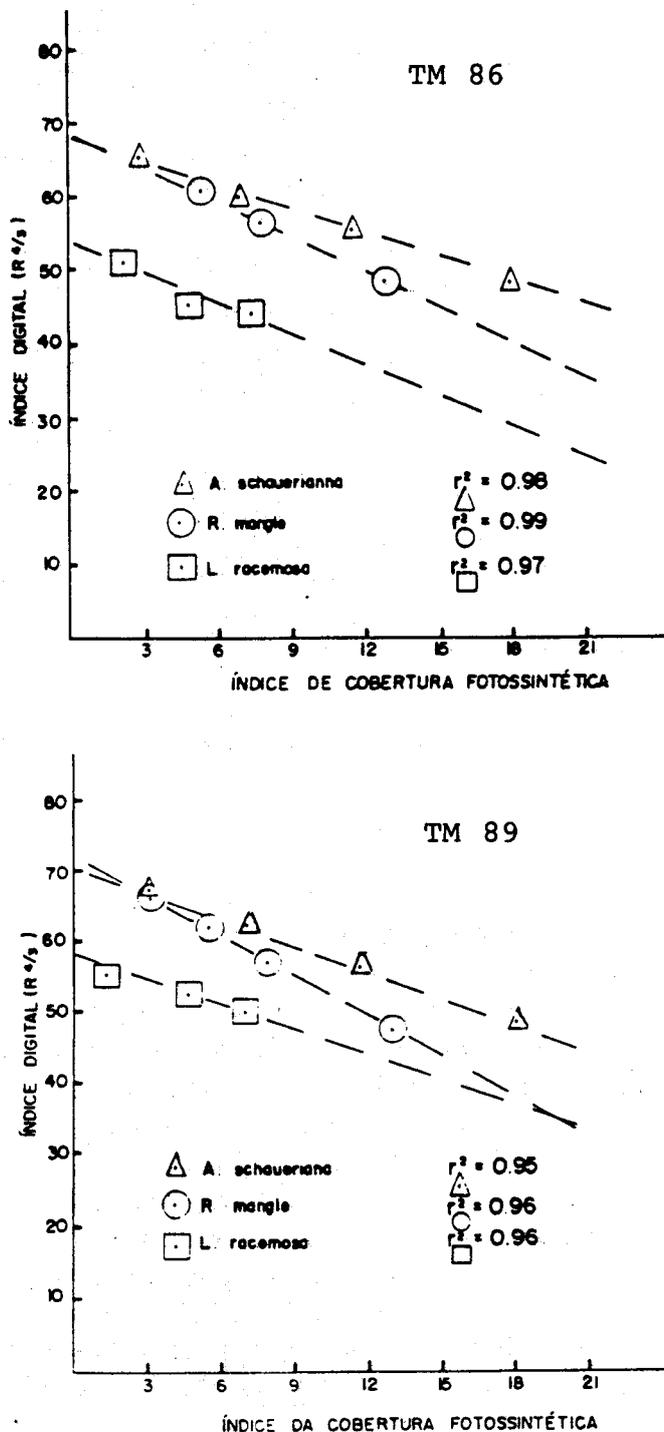


Figura 4 - Regressão linear simples.

A relação inversa, demonstrada pelas curvas onde, para os maiores valores de ICF correspondem os menores de ID, expressa um comportamento espectral "sui generis" em relação a bosques de mangues.

Esse tipo de comportamento é característico, de índices da banda vermelho, para bosques em terra firme como demonstrado em trabalhos de [Curran-Willanson (1982)] e [Tucker (1979 e 1980)]. Quanto maior for a densidade foliar menor será a reflectância.

No caso presente, os maiores valores do Índice de Cobertura Fotossintética (ICF) relativos as classes de mangue preservado correspondem aos mais baixos Índices Digitais (ID). A presença de água, solo exposto encharcado e sombra característica dessa classe, atenuam consideravelmente o valor da resposta espectral na banda infravermelho (TM4). Para a banda vermelho (TM3) os valores baixos esperados para a cobertura vegetal densa foram ligeiramente aumentados pela resposta do solo exposto e sedimentos em suspensão.

Consequentemente, os resultados da banda-razão (TM4/TM3) que correspondem ao Índice Digital (ID), foram baixos. Por outro lado, aos valores de cobertura fotossintética relativos às classes de mangue em estado regenerativo, corresponderam os mais altos índices digitais. A mais alta refletividade da banda infravermelho nesse caso, se deve a alta regularidade do dossel aliada a alta densidade dos indivíduos do bosque que normalmente tocam e superpõe suas copas, restringindo a resposta do solo exposto e água. Na banda vermelho o comportamento é de alta absorção. A banda razão, consequentemente, apresenta altos valores de radiação, expressados por seus índices em relação a estas classes.

IV - Conclusões

O grau de ajustamento da curva de regressão, excepcionalmente alto, próximo de 1, foi

proporcionado pela utilização de valores médios para os índices correlacionados. Na medida em que se possa obter uma quantidade mais expressiva de dados relativos a densidade foliar, essa relação, menos forçada e não necessariamente por correlação se tornará mais representativa. A relação inversa demonstrada pela curva de regressão, representa um resultado bastante significativo. Demonstra a individualidade do padrão espectral de bosques de mangues em relação ao seu entorno, facilmente reconhecida quando do exame visual de imagens. Ressalte-se contudo que, esse comportamento espectral é próprio das feições arbóreas típicas aliadas as características do substrato das áreas mais protegidas do ambiente manguezal. Em seu bordo mais externo, próximo da interface com as áreas de terra firme, o nível de confusão é bastante acentuado necessitando de análise visual para sua delimitação.

Se faz necessário testar outras áreas de manguezais para comprovação dos resultados alcançados. O sucesso desse método alternativo nesse caso, de forma alguma, descarta a utilização de métodos radiométricos em sobrevôos à baixas altitudes com melhor operacionalidade.

O sistema de classificação apresenta significativa contribuição na sistematização desse ecossistema para fins de mapeamento e monitoramento. Sua concepção, permite sua adaptação em outras áreas de manguezais na costa brasileira.

V - Referências

- J.R. Anderson; E.E. Hardy; J.T. Oach; R.E. Witmer. Sistema de classificação do uso da terra e do revestimento do solo para utilização com dados de sensores remotos. Fundação IBGE, 1979. 80 p.

- P.J. Curan; H.D. Williansom. Airbone MSS data to estimate GLAI. *International journal of remote sensing*, Londom, v.8, n.1, p. 57-74, 1987.
- D.W. Deering; J.W. Rouse; R.H. Hass; J.A.Schell. Measuring forage production of grazing units from LANDSAT MSS data. In: *INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE OF ENVIRONMENT*. 10. 1975, Ann Arbor. Proceedings. Ann Arbor:ERIM, 1975. p. 1169-1178.
- B. Holben; C. Justice. An examination of espectral band ratioing to reduce the topographic effect on remotely sensed data. *International journal of remote sensing*, London, v.2, p.115-133, 1981.
- I.O. Pires. Mapeamento de manguezais do recôncavo da Baía de Guanabara, RJ, através de técnicas de sensoriamento remoto. São José dos Campos, 1986. 86p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto e Aplicações). Instituto de Pesquisas Espaciais, 1988.
- I.O. Pires; R. Herz. Monitoramento de manguezais da APA-Guapimirim, RJ: Proposta de sistema de classificação. In: *SIMPÓSIO SOBRE ECOSSISTEMAS DA COSTA SUL BRASILEIRA*. 1987. Cananéia, SP. Síntese dos conhecimentos. ACIESP, 1987. v.3, p. 298-303.
- Y. Schaeffer-Novelli; G. Cintron. Guia para estudo de áreas de manguezal; estrutura função e flora. São Paulo: Caribbean Ecological Research, 1986. 150p.
- J.R.G. Towshend; C. Justice. Selecting the spatial resolution of satelite sensors required for global monitoring of land transformation. *International journal of remote sensing*, Londom, v.9, n.2, p.187-236, 1988.
- C.J. Tucker. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote sensing of environment*, New York, v.8, p.127-35, 1979.
- C.J. Tucker. Critical review of remote sensing and other methods for non-destructive estimation of standing crop biomass. *Grass forage science*, Oxford, Oxford, n. 35, p. 177-185, 1980.