

Relações entre maturidade estrutural da floresta e índices de vegetação na Mata Atlântica

Simone Rodrigues Freitas¹
Marcia Cristina Santiago de Mello¹
Carla Bernadete Madureira Cruz¹

¹ Universidade Federal do Rio de Janeiro - Departamento de Geografia
Laboratório de Geomorfologia Marinha - Grupo de Sensoriamento Remoto
21949-900 - Rio de Janeiro - RJ, Brasil
sfreitas@biologia.ufrj.br, cmad@domain.com.br

Abstract. The alliance between remote sensing techniques and biophysical indicators would be valuable to diagnosis and monitoring studies. This paper aims to evaluate relationships between forest structural maturity and vegetation indices in Atlantic Rainforest fragments. We used two Landsat 7 ETM+ images (humid and dry seasons), and took measurements of forest structure in nine forest fragments and a continuous forest area in Guapiacú river basin, in Rio de Janeiro State. We correlated three vegetation indices (NDVI, MVI5 and MVI7) with measurements of forest structural maturity (multiple-stemmed trees, density of trees, mean and range of tree diameter, mean and range of tree height, mean and range of basal area, and total basal area). We also proposed models using linear regression analysis. MVI5 and MVI7 showed the best performances in dense humid forests. Moreover, we discussed the matter of saturation in vegetation indices and transferability of relationships between biophysical characteristics and vegetation indices to other sites and times.

Palavras-chave: remote sensing, NDVI, MVI, tropical forest, forest fragmentation, conservation, sensoriamento remoto, floresta tropical, fragmentação florestal, conservação.

1. Introdução

Os efeitos da fragmentação florestal tem sido avaliados através de medidas das características biofísicas em fragmentos, visando indicar a integridade da floresta sob os aspectos estrutural e funcional (Gascon et al., 2001). No entanto, essas medidas dependem de um trabalho de campo extenso e dispendioso, geralmente incluindo uma área de estudo restrita. O sensoriamento remoto possibilita estudos de monitoramento em áreas amplas, com periodicidade constante (Wilkie & Finn, 1996). A aliança entre as técnicas do sensoriamento remoto e os indicadores biofísicos pode ser valiosa para estudos de diagnose e monitoramento, principalmente em habitats ameaçados como a Mata Atlântica. Corlett (1995) sugere o uso do sensoriamento remoto como uma ferramenta que preencha o abismo entre os estudos locais/intensivos e aqueles globais/amplos, respondendo às necessidades dos tomadores de decisão e gestores.

Os índices de vegetação são resultantes do sensoriamento remoto que podem ser usadas como indicadores biofísicos (Gamon et al., 1995). Em florestas tropicais, os índices de vegetação foram associados à diversidade de espécies de árvores e à biomassa florestal (Amaral et al., 1997; Sousa & Ponzoni, 1998; Boyd et al., 1999; Foody et al., 2001; Agarez, 2002; Foody et al., 2003). No Brasil, a maioria dos estudos foi feita na Floresta Amazônica, enquanto que poucos incluíram áreas de Mata Atlântica.

Existem muitos índices de vegetação, mas o mais popular é o Índice de Vegetação de Diferença Normalizada (NDVI), que usa uma proporção entre as bandas do vermelho e do infravermelho próximo (Rouse et al., 1974). Entretanto, Huete et al. (1997) mostraram que a estrutura da equação do NDVI, que é uma transformação não-linear da proporção simples (infravermelho próximo/vermelho), é a maior causa da não linearidade e da saturação em

condições de biomassa alta. Assim, o NDVI pode não ser um bom indicador das características biofísicas em florestas tropicais densas. Uma opção é o índice de vegetação usando bandas do infravermelho médio, como o Índice de Vegetação de Umidade (MVI) (Sousa & Ponzoni, 1998; Ponzoni, 2001). Sousa & Ponzoni (1998) mostraram que mudanças no volume da madeira podem ser detectadas pelos valores de reflectância das ondas do infravermelho médio (TM5 e 7), propondo o MVI. Comparando o NDVI com o MVI, Freitas & Cruz (2003) observaram que o MVI apresentava um efeito de saturação mais fraco e um aumento na sensibilidade em dosséis densos de Mata Atlântica.

O uso dos índices de vegetação como indicador da maturidade estrutural da floresta pode ser uma ferramenta valiosa para o planejamento ambiental e para estratégias de conservação. Na Mata Atlântica essa análise aprimora o monitoramento através da diagnose de fragmentos florestais e unidades de conservação, avançando a simples quantificação da redução da área de floresta (Rede de ONGs da Mata Atlântica et al., 2001). Esse trabalho tem o objetivo de avaliar as relações entre a maturidade estrutural da floresta e os índices de vegetação em fragmentos de Mata Atlântica, no Estado do Rio de Janeiro.

2. Material e Métodos

A área de estudo é a bacia do Rio Guapiaçú, localizada nos Municípios de Guapimirim e Cachoeiras de Macacu (22°39'36"S, 43°01'02"W e 22°21'13"S, 42°39'46"W), no Estado do Rio de Janeiro (**Figura 1**). A bacia tem 573,54 km² e a principal cobertura do solo é a floresta tropical úmida densa (Rizzini, 1979; IBGE, 1991; Amador, 1997). Situa-se na porção atlântica da Serra do Mar, compreendendo morros e baixadas até a Baía de Guanabara. A maioria dos fragmentos florestais ocorre em topos de morro de 100 a 200m de altitude, sendo circundados por pastagens e cultivos. A floresta é densa e úmida, altamente diversa, atingindo cerca de 45m de altura formando três estratos: árvores emergentes, sobre o dossel principal de 5 a 10m, com árvores menores sombreadas abaixo deste (Mello et al., 2003). As famílias de árvore comuns são: Myrtaceae, Sapotaceae, Palmae, Rutaceae, Meliaceae, Rubiaceae, Euphorbiaceae, Leguminosae, Melastomataceae e Araliaceae (Guedes, 1988; Kurtz, 2000).

Foram estudados nove fragmentos florestais e uma área de mata contínua próxima (Figura 1). Os fragmentos florestais são pequenos (< 100ha), enquanto que a área de mata contínua está situada na base da Serra dos Órgãos, dentro da Estação Ecológica do Paraíso, dominada por floresta úmida densa.

Foram usadas duas imagens Landsat 7 ETM+ adquiridas nas estações úmida (28/Fevereiro/2000) e seca (9/Agosto/2001) na órbita-ponto 217-076. O uso de imagens tomadas em diferentes estações do ano se deve às alterações dos índices de vegetação relacionadas às variações estacionais no vigor vegetal (Campbell, 1996). As seis bandas espectrais com 30m de resolução espectral foram georreferenciadas através de mapas topográficos (escala 1:50.000), obtendo a precisão de 0,70 pixel (aproximadamente 25m). Adotou-se a projeção UTM com longitude de origem em 45°00'00"W e datum SAD69. Todo o processamento da imagem foi feito no SPRING. Para corrigir a degradação atmosférica, que pode afetar os índices de vegetação, aplicou-se o método aprimorado de Chavez (Chavez, 1996) que tem mostrado bons resultados (Pax-Lenney et al., 2001). Para comparar os valores dos índices de vegetação no tempo, os valores de nível de cinza foram reduzidos à radiância, antes de calcular as proporções, considerando as diferenças na calibração do sensor (Campbell, 1996). Utilizou-se uma rotina em LEGAL para transformar os valores de níveis de cinza para radiância (Luiz et al., 2003).

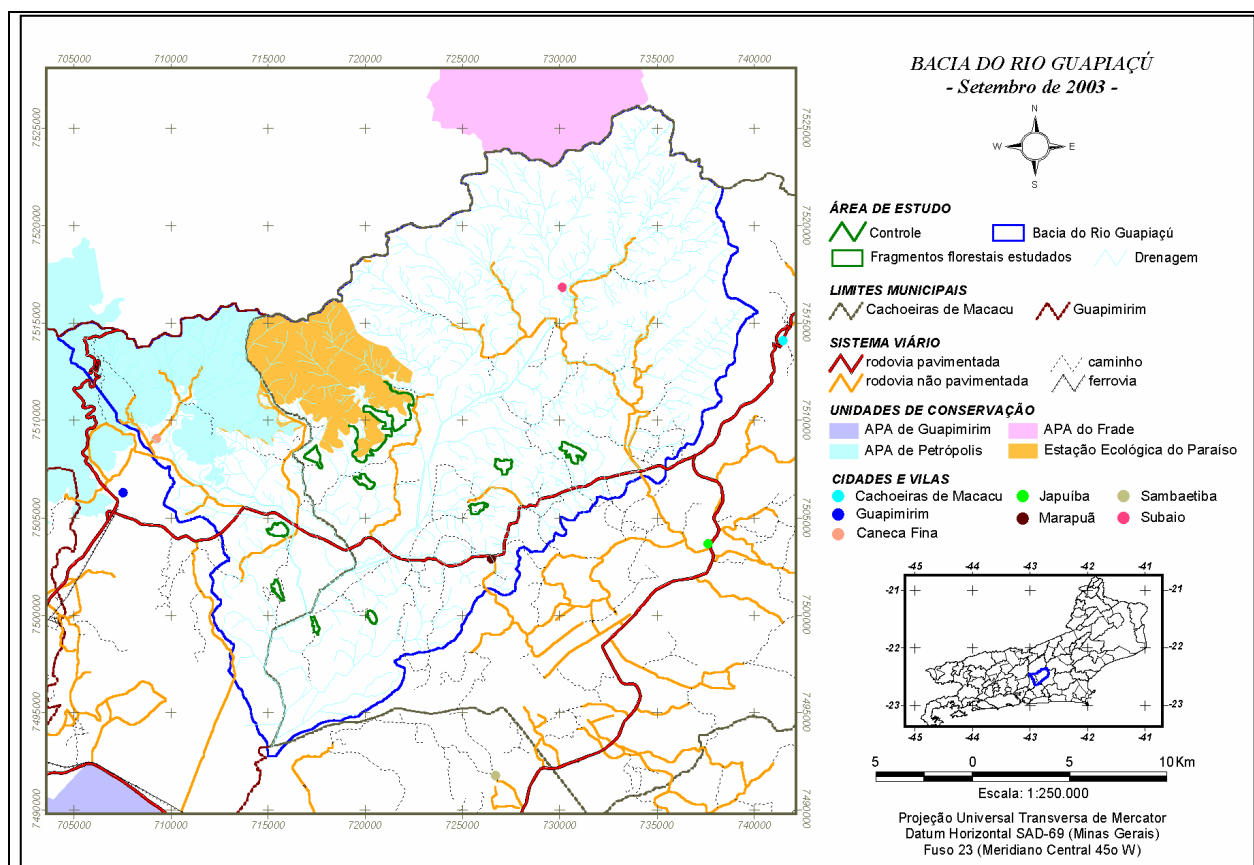


Figura 1. A área de estudo e sua localização no Estado do Rio de Janeiro.

Os três índices de vegetação utilizados foram: Índice de Vegetação de Diferença Normalizada (NDVI), Índice de Vegetação de Umidade usando as bandas 5 (MVI5) e 7 (MVI7). O NDVI é formado pela combinação entre as bandas do vermelho e do infravermelho próximo, enquanto que o MVI5 e o MVI7 usam uma equação semelhante substituindo a banda do vermelho pela banda do infravermelho médio (**Tabela 1**). No NDVI, a proporção entre as bandas do vermelho e do infravermelho próximo é usada para destacar as diferenças espectrais entre essas bandas, mostrando as condições da vegetação (Rouse et al., 1974). No entanto, as bandas do visível sofrem mais espalhamento atmosférico do que as bandas do infravermelho (Campbell, 1996). Usando as bandas do infravermelho médio ao invés da banda do vermelho, o espalhamento atmosférico é reduzido, provavelmente produzindo correlações mais altas com os alvos de vegetação na superfície terrestre (Sousa & Ponzoni, 1998). Outra limitação do uso das bandas do visível e do infravermelho próximo é o comportamento assintótico da reflectância, enquanto os parâmetros biofísicos da vegetação aumentam continuamente (Ponzoni, 2001). Essa limitação, chamada saturação, é frequentemente encontrada em florestas tropicais (Huete et al., 1997). Usando as bandas do infravermelho médio, esperamos reduzir o efeito da saturação e aumentar a sensibilidade sobre dosséis densos, como mostrado por Freitas & Cruz (2003).

Tabela 1. Equações dos índices de vegetação usadas nesse estudo.

Índices de Vegetação	Equação
Índice de Vegetação de Diferença Normalizada	$NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED)$
Índice de Vegetação de Umidade usando a banda 5	$MVI5 = (NIR - MIR5) / (NIR + MIR5)$
Índice de Vegetação de Umidade usando a banda 7	$MVI7 = (NIR - MIR7) / (NIR + MIR7)$

Foram extraídos valores dos índices de vegetação de cada fragmento florestal e do trecho de mata contínua estudados no campo, através do programa Idrisi 32. As variáveis usadas para representar os índices de vegetação de cada área de estudo foram a média e a amplitude de cada índice de vegetação, para as estações seca e úmida (**Table 2**). Todas as variáveis foram transformadas em logaritmos para satisfazer aos testes que assumem normalidade e para realizar relações lineares (Gamon et al., 1995; Legendre and Legendre, 1998).

Table 2. Variables representing vegetation indices for each study site.

Variáveis	Descrição
NDVIm00	Média do NDVI na estação úmida
NDVIa00	Amplitude do NDVI na estação úmida
MVI5m00	Média do MVI5 na estação úmida
MVI5a00	Amplitude do MVI5 na estação úmida
MVI7m00	Média do MVI7 na estação úmida
MVI7a00	Amplitude do MVI7 na estação úmida
NDVI m01	Média do NDVI na estação seca
NDVI a01	Amplitude do NDVI na estação seca
MVI5 m01	Média do MVI5 na estação seca
MVI5 a01	Amplitude do MVI5 na estação seca
MVI7 m01	Média do MVI7 na estação seca
MVI7 a01	Amplitude do MVI7 na estação seca

Tabela 3. Equações das variáveis de estrutura da floresta.

Variáveis da floresta	Equação	Unidade
Troncos múltiplos	Número de árvores com altura do tronco inferiores a altura do peito (1,30m) / Total de árvores medidas no fragmento	%
Densidade de árvores	Total de árvores medidas no fragmento / Área amostrada	árvores/m ²
Área amostrada	Número de parcelas x Área da parcela	m ²
Diâmetro da árvore (DAP)	$DAP = PAP/\pi$	cm
Área basal (AB)	$AB = ((DAP^2 \times \pi)/4) / 10000$	m ²
Área basal total (AB _t)	$AB_t = (soma\ da\ AB \times 10000) / \text{Área amostrada}$	ha/m ²

As medidas da estrutura da floresta foram tomadas na estação seca (de Junho a Agosto de 2001), coincidindo com a imagem da estação seca. Dois transectos foram montados cruzando cada fragmento florestal, nos sentidos norte-sul e este-oeste. Na área de mata contínua, quatro transectos foram montados distantes 300m da borda da floresta. Em cada transecto, foram montadas parcelas de 5x10cm, distantes 30m entre si. Em cada parcela, mediu-se o perímetro da árvore na altura do peito (H=1,30m) e as alturas da árvore e do tronco. O critério de inclusão das árvores a serem medidas foi o perímetro (PAP) maior do que 5cm. As variáveis representando a estrutura da floresta foram: troncos múltiplos, densidade de árvores, média e amplitude do diâmetro das árvores, média e amplitude da altura das árvores, média e amplitude da área basal e área basal total (**Tabela 3**). Todas as variáveis foram transformadas em logaritmo para satisfazer aos requisitos de normalidade (Legendre & Legendre, 1998). Entende-se por área basal, a área do tronco em corte transversal (Mueller-Dombois & Ellenberg, 2002). Esta medida mostra alta correlação com a cobertura da copa da árvore e pode ser usada como indicador da biomassa florestal (Cain & Castro, 1959; Brunig, 1983). As medidas da floresta pretendem representar a maturidade estrutural da floresta, já que Oliveira (2002) obteve correlações entre estas e a idade da floresta. Troncos múltiplos podem ser causados por atividade humana ou por causas naturais (Dunphy et al., 2000; Oliveira, 2002).

No entanto, nos fragmentos florestais estudados aqui, os troncos múltiplos parecem estar associados à atividade humana (Freitas, 2004).

Para analisar os dados, usamos a Correlação de Pearson associando os índices de vegetação às medidas da estrutura da floresta dos nove fragmentos e do trecho de mata contínua. Uma análise de regressão linear foi feita com as variáveis que obtiveram correlações significativas ($p \leq 0,05$), para descrever as relações entre a maturidade estrutural da floresta e os índices de vegetação.

3. Resultados e Discussão

A análise mostrou correlações altas entre MVI5 ou MVI7, e as medidas de estrutura da floresta (**Tabela 4**). As médias de MVI5 e de MVI7 na estação úmida (MVI5m00 e MVI7m00) se correlacionaram positivamente com a densidade de árvores, a amplitude da altura do dossel, área basal total, e negativamente com troncos múltiplos (**Tabela 4**). A amplitude de MVI5 na estação úmida (MVI5r00) se correlacionou positivamente com a amplitude do diâmetro das árvores e da área basal, a área basal total e a média da área basal (**Tabela 4**). As médias de MVI5 e MVI7 na estação seca (MVI5m01 e MVI7m01) se correlacionaram positivamente com a média e a amplitude da altura do dossel, e negativamente com troncos múltiplos (**Tabela 4**). A média de MVI5 na estação seca (MVI5m01) também se correlacionou positivamente com a área basal total (**Tabela 4**). Nenhuma variável de NDVI se correlacionou significativamente com as medidas de estrutura da floresta.

Tabela 4. Correlação entre as variáveis de estrutura da floresta e os índices de vegetação.

	MVI5m00	MVI5r00	MVI7m00	MVI5m01	MVI7m01
Troncos múltiplos	-0.699*		-0.657*	-0.703*	-0.671*
Densidade de árvores	0.808**		0.816**		
Média do diâmetro das árvores	-0.246				
Média da altura do dossel				0.748*	0.717*
Amplitude do diâmetro das árvores		0.796**			
Amplitude da altura do dossel	0.785**		0.680*	0.850**	0.816**
Área basal total	0.646*	0.714*	0.650*	0.628*	
Média da área basal		0.685*			
Amplitude da área basal		0.797**			

* $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$

Os modelos de regressão linear com melhor ajuste foram os que usaram a média de MVI5 nas duas estações (MVI5m00 e MVI5m01) e a média de MVI7 na estação seca (MVI7m01) (**Tabela 5**). O melhor desempenho do MVI5 e MVI7 na estação seca pode ser explicado por duas hipóteses: (1) as medidas de vegetação foram tomadas no mesmo ano e estação, ou (2) o efeito da saturação é mais forte na estação úmida, reduzido a sensibilidade sobre dosséis densos (Huete et al., 1997). Já o NDVI mostrou uma correlação fraca com as medidas da estrutura da floresta, principalmente devido a problemas de saturação. Gamon et al. (1995) mostrou uma relação não-linear entre NDVI e as medidas da vegetação (índice de área foliar, biomassa verde e clorofila) em floresta temperada. No entanto, eles destacaram as restrições do uso do NDVI como indicador da estrutura do dossel e conteúdo químico para dosséis bem desenvolvidos, considerando que além de uma certa densidade do dossel, a adição de mais camadas de folhas faz pouca diferença na reflectância relativa das bandas do vermelho e do infravermelho próximo, e assim, pouca diferença no NDVI. Esta restrição causada pela

saturação foi encontrada por Shimabukuro et al. (1998) em florestas em regeneração da Amazônia e por Bawa et al. (2002) nas florestas perenes da Índia. Na bacia do Rio Guapiaçú, observou-se uma saturação mais forte no NDVI, seguido pelo MVI7 e pelo MVI5 (Freitas & Cruz, 2003). Entretanto, o NDVI obteve bons resultados no estudo da vegetação em estágios iniciais de sucessão na Floresta Amazônica, mostrando uma relação com área basal e índice de área foliar (Amaral et al., 1997). Outros estudos que não encontraram problemas de saturação no NDVI foram feitos na floresta tropical decídua da Índia (Bawa et al., 2002) e na floresta tropical seca da Costa Rica (Arroyo-Mora et al., 2003). Dessa forma, parece que o MVI5 e o MVI7 mostraram melhor desempenho em floresta úmida densa, enquanto que o NDVI pode ser um bom indicador da biomassa vegetal em florestas decíduas e secas.

Tabela 5. Modelos de regressão linear usando os índices de vegetação como variável dependente e a estrutura da floresta como variáveis independentes.

Modelo	R ²	F	p
MVI5m01 = -1,201 -0,506*TRONCMULT +0,162* DOSSELM +0,666*DOSELa -0,334*ABt	0,833	6,238	<0,035*
MVI5m00 = -1,427 -0,285* TRONCMULT +0,625*DENS +0,548*DOSELa -0,496*ABt	0,815	5,497	<0,045*
MVI7m01 = -0,369 -0,228* TRONCMULT +0,259*DOSELM +0,506*DOSELa	0,751	6,033	<0,030*

* $p \leq 0,05$; onde: TRONCMULT = Troncos Múltiplos; DOSSELM = Média da altura das árvores; DOSELa = Amplitude da altura das árvores; ABt = Área basal total; DENS = Densidade de árvores; DAPa = Amplitude do diâmetro das árvores; ABm = Média da área basal; BAa = Amplitude da área basal.

As relações entre medidas da estrutura da floresta e os índices de vegetação, encontradas aqui, devem ser testadas em outras áreas de floresta tropical úmida para estimar a maturidade estrutural da floresta pelo espaço, possibilitando a avaliação de fragmentos florestais além da simples localização destes. Isto não substitui o trabalho de campo, mas uma primeira avaliação em grandes extensões poderia ser valiosa para a escolha de áreas a serem estudadas no campo. Além disso, esta avaliação poderia ser usada para planejamento ambiental e estratégias de conservação (Forman and Collinge, 1997). Quanto a possibilidade de transferir as relações entre características biofísicas e índices de vegetação para outras áreas e épocas, Foody et al. (2003) destacou algumas limitações, tais como as diferenças nas técnicas de processamento da imagem usada, estimativas da biomassa dependerem de equações alométricas específicas, critério de inclusão usado para selecionar as árvores medidas e diferenças entre a época do trabalho do campo e da imagem. É proposto o uso da área basal ao invés da biomassa, porque a área basal independe de equações alométricas específicas e não varia quanto ao critério de inclusão usado (Freitas, 2004). Além disso, a época (ano e estação do ano) de aquisição da imagem deve ser a mesma do trabalho de campo. Seguindo esses itens e usando as mesmas técnicas de processamento da imagem, espera-se aumentar as chances de se detectar as relações encontradas aqui em outras áreas de floresta tropical úmida.

4. Referências

- Agarez, F. V. **Contribuição para gestão de fragmentos florestais com vista à conservação da biodiversidade em floresta atlântica de tabuleiros**. 2002. 237 p. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2002.
- Amador, E. S. **Baía de Guanabara e ecossistemas periféricos: homem e natureza**. Rio de Janeiro: E. S. Amador, 1997. 539 p.

- Amaral, S.; Soares, J. V.; Alves, D. S.; Mello, E. M. K.; Almeida, S. A. S.; Silva, O. F.; Silveira, A. M. Relações entre índice de área foliar (LAI), área basal e índice de vegetação (NDVI) em relação a diferentes estágios de crescimento secundário na Floresta Amazonica em Rondônia. **Revista Selper**, v. 13, p. 35-39, 1997.
- Arroyo-Mora, P.; Sanchez-Azofeifa, A.; Rivard, B.; Calvo, J. C. Integrating very high and high resolution imagery for detecting secondary growth in a neotropical dry forest ecosystem: a vegetation indices approach. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 11. 2003, Belo Horizonte. **Anais**. São José dos Campos: INPE, 2003. p. 2655-2662. Repositório da URLib: <ltid.inpe.br/sbsr/2002/11.13.17.00>. Disponível em: <http://iris.sid.inpe.br:1908/rep/ltid.inpe.br/sbsr/2002/11.13.17.00>.
- Bawa, K.; Rose, J.; Ganeshiah, K. N.; Barve, N.; Kiran, M. C.; Umashaanker, R. Assessing Biodiversity from Space: an Example from the Western Ghats, India. **Conservation Ecology**, v. 6, p. 7, 2002.
- Boyd, D. S.; Foody, G. M.; Curran, P. J. The relationship between the biomass of Cameroonian tropical forests and radiation reflected in middle infrared wavelengths (3.0-5.0µm). **International Journal of Remote Sensing**, v. 20, p. 1017-1023, 1999.
- Brunig, E. F. Vegetation structure and growth. In: Golley, F. B. **Tropical rain forest ecosystems: structure and function**. Amsterdam: Elsevier Scientific Publishing Company, 1983. p. 49-75.
- Cain, S. A.; Castro, G. M. O. **Manual of vegetation analysis**. New York: Harper & Brothers, 1959. 325 p.
- Campbell, J. B. **Introduction to remote sensing**. New York: The Guilford Press, 1996. 622 p.
- Chavez Jr., P. S. Image-based atmospheric corrections - revisited and improved. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v. 62, p. 1025-1036, 1996.
- Corlett, R. T. Tropical secondary forests. **Progress in Physical Geography**, v. 19, p. 159-172, 1995.
- Dunphy, B. K.; Murphy, P. G.; Lugo, A. E. The tendency for trees to be multiple-stemmed in tropical and subtropical dry forests: Studies of Guanica forest, Puerto Rico. **Tropical Ecology**, v. 41, p. 161-167, 2000.
- Foody, G. M.; Boyd, D. S.; Cutler, M. E. J. Predictive relations of tropical forest biomass from Landsat TM data and their transferability between regions. **Remote Sensing of Environment**, v. 85, p. 463-474, 2003.
- Foody, G. M.; Cutler, M. E.; McMorrow, J.; Pelz, D.; Tangki, H.; Boyd, D. S.; Douglas, I. Mapping the biomass of Bornean tropical rain forest from remote sensed data. **Global Ecology & Biogeography**, v. 10, p. 379-387, 2001.
- Forman, R. T. T.; Collinge, S. K. Nature conserved in changing landscapes with and without spatial planning. **Landscape and Urban Planning**, v. 37, p. 129-135, 1997.
- Freitas, S. R. **Modelagem de dados espectrais na análise de padrões de fragmentação florestal na bacia do Rio Guapiaçú (RJ)**. 2004. 373 p. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2004.
- Freitas, S. R.; Cruz, C. B. M. Índices de vegetação na caracterização de fragmentos de Mata Atlântica no Estado do RJ. In: XI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2003, Belo Horizonte. **Anais**. São José dos Campos: INPE, 2003. p. 2737-2744. Repositório da URLib: <ltid.inpe.br/sbsr/2002/11.13.17.41>. Disponível em: <http://iris.sid.inpe.br:1908/rep/ltid.inpe.br/sbsr/2002/11.13.17.41>.
- Gamon, J. A.; Field, C. B.; Goulden, M. L.; Griffin, K. L.; Hartley, A. E.; Joel, G.; Peñuelas, J.; Valentini, R. Relationships between NDVI, canopy structure, and photosynthesis in three californian vegetation types. **Ecological Applications**, v. 5, p. 28-41, 1995.
- Gascon, C.; Laurance, W. F.; Lovejoy, T. E. Fragmentação florestal e biodiversidade na Amazônia Central. In: Garay, I.; Dias, B. **Conservação da biodiversidade em ecossistemas tropicais: avanços conceituais e revisão de novas metodologias de avaliação e monitoramento**. Petrópolis: Editora Vozes, 2001. p. 112-127.
- Guedes, R. R. Composição florística e estrutura de um trecho de mata perturbada de baixada no município de Magé, Rio de Janeiro. **Arquivos do Jardim Botânico do Rio de Janeiro**, v. 29, p. 155-200, 1988.
- Huete, A. R.; Liu, H. Q.; Van Leeuwen, W. J. D. The use of vegetation indices in forested regions: Issues of linearity and saturation. In: Proceedings of IGARSS '97 - International Geoscience and Remote Sensing Seminar, 4. 1997, Noordwijk. **Anais. Noordwijk**: ESA Publications, 1997. p. 1966-1968.
- IBGE. **Manual técnico da vegetação brasileira**. Rio de Janeiro: IBGE, 1991. 92 p.

Kurtz, B. C.; Araújo, D. S. D. Composição florística e estrutura do componente arbóreo de um trecho de Mata Atlântica na Estação Ecológica Estadual do Paraíso, Cachoeiras de Macacu, Rio de Janeiro, Brasil. **Rodriguésia**, v. 51, p. 69-112, 2000.

Legendre, P.; Legendre, L. **Numerical ecology**. Amsterdam: Elsevier Science, 1998. 853 p.

Luiz, A. J. B.; Gütler, S.; Gleriani, J. M.; Epiphânio, J. C. N.; Campos, R. C. Reflectância a partir do número digital de imagens ETM+. In: XI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2003, Belo Horizonte. **Anais**. São José dos Campos: INPE, 2003. p. 2071-2078. Repositório da URLib: <http://iris.sid.inpe.br/sbsr/2002/10.10.19.00>. Disponível em: <http://iris.sid.inpe.br:1908/rep/iris.sid.inpe.br/sbsr/2002/10.10.19.00>.

Mello, M. C. S.; Freitas, S. R.; Cerqueira, R. Estrutura da vegetação em fragmentos florestais de Mata Atlântica com base no sensoriamento remoto. In: VI Congresso de Ecologia do Brasil, 2. 2003, Fortaleza. **Anais**. Fortaleza: Editora da Universidade Federal do Ceará, 2003. p. 133-134.

Mueller-Dombois, D.; Ellenberg, H. **Aims and methods of vegetation ecology**. Caldwell: The Blackburn Press, 2002. 548 p.

Oliveira, R. R. Ação antrópica e resultantes sobre a estrutura e composição da Mata Atlântica na Ilha Grande, RJ. **Rodriguésia**, v. 53, p. 33-58, 2002.

Pax-Lenney, M.; Woodcock, C. E.; Macomber, S. A.; Gopal, S.; Song, C. Forest mapping with a generalized classifier and Landsat TM data. **Remote Sensing of Environment**, v. 77, p. 241-250, 2001.

Ponzoni, F. J. Comportamento espectral da vegetação. In: Meneses, P. R.; Netto, J. S. M. **Sensoriamento remoto: reflectância dos alvos naturais**. Brasília: Editora Universidade de Brasília/Embrapa Cerrados, 2001. p. 157-199.

Rede de Ongs da Mata Atlântica; Instituto Socioambiental; Sociedade Nordestina de Ecologia. **Dossiê Mata Atlântica 2001: Projeto Monitoramento Participativo da Mata Atlântica**. São Paulo: Instituto Socioambiental, 2001. 407 p.

Rizzini, C. T. Floresta Atlântica. In: Rizzini, C. T. **Tratado de Fitogeografia do Brasil: aspectos sociológicos e florísticos**. São Paulo: HUCITEC/EdUSP, 1979. p. 65-78.

Rouse, J. W.; Haas, R. H.; Schell, J. A.; Deering, D. W.; Harlan, J. C. **Monitoring the vernal advancement and retrogradation (greenwave effect) of natural vegetation**. Final Report. Greenbelt: Texas A&M University, 1974. 371 p.

Shimabukuro, Y. E.; Novo, E. M.; Ponzoni, F. J. Índice de vegetação e modelo linear de mistura espectral no monitoramento da região do Pantanal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 33, p. 1729-1737, 1998.

Sousa, C. L.; Ponzoni, F. J. Avaliação de índices de vegetação e de bandas TM/Landsat para estimativa de volume de madeira em floresta implantada de *Pinus* spp. In: IX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 1998, Santos. **Anais**. São José dos Campos: INPE/SELPER, 1998. p. 11. Repositório da URLib: <http://iris.sid.inpe.br/deise/1999/02.11.10.35>. Disponível em: <http://iris.sid.inpe.br:1908/rep/sid.inpe.br/deise/1999/02.11.10.35>.

Wilkie, D. S.; Finn, J. T. **Remote sensing imagery for natural resources monitoring: a guide for first-time users**. New York: Columbia University Press, 1996. 295 p.