

Análise temporal de uma área manejada experimentalmente na Amazônia Central

Mabiane Batista França Carreira^{1,2}
Adriano José Nogueira Lima¹
Niro Higuchi¹
Vincent Dubreuil²

¹Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA
69083-000 – Amazonas, Brasil
{mabiane, adriano, niro}@inpa.gov.br

²Universidade Rennes 2, Laboratoire COSTEL – LETG UMR 6554 CNRS
Place du Recteur H. Le Moal 35043 RENNES CEDEX - França
vincent.dubreuil@uhb.fr/ mcarreire@gmail.com

Abstract. This study was carried out in a forest management experiment. The experiment is part of a multi-disciplinary project, which was proposed in order to answer questions related to forest management in Amazonian non-flooded forests. The installation occurred in 1980 at ZF-2 INPA experimental field site in Manaus region. This study aimed to evaluate the potential of LANDSAT TM for detecting difference during the period 1989 – 1997 in 4 plots; 3 in experimental logged forest under different intensity levels (T1 – removal of 1/3 of merchantable basal area; T2 – removal of 50%; and T3 – removal of 2/3 of basal area), and one in the control – T0. The Normalized Difference of Vegetation Index (NDVI) and spectral mixture analysis were applied in LANDSAT TM images. The results have shown statistical difference ($p > 0.01$) between treatments observed in temporal analysis of the NDVI, vegetation fraction image and shade fraction image.

Palavras-chave: forest management, tropical forest, NDVI, spectral mixture analysis, manejo florestal, floresta tropical, NDVI, análise de mistura espectral.

1. Introdução

O projeto BIONTE iniciado em 1980, que tinha como objetivo de responder experimentalmente, as questões relacionadas ao manejo da floresta amazônica de terra-firme, no momento em que a diminuição das reservas de madeira dura tropical em outros países começou a ficar evidente, concomitantemente à crescente conscientização coletiva sobre as questões ambientais. Este projeto foi a intervenção na floresta natural usando diferentes intensidades de corte (leve, média, pesada). Em 1992, o manejo florestal passou a ser um componente do projeto Bionte (Biomassa e Nutrientes Florestais), sendo financiado pelo Convênio MCT-Inpa/DFID (Higuchi, 1997).

O pano de fundo do projeto BIONTE é o cenário “a produção do sudeste asiático alcançará o seu pico em meados dos anos 90, sendo, a seguir, substituída pela América Latina, especialmente a Amazônia, para suprir os mercados da Europa, Japão e América do Norte” (Grainger, 1987).

Este estudo tem como objetivo avaliar o potencial da imagem Landsat 5 TM para verificar se existe diferenças espectrais entre os tratamentos explorados com diferentes intensidade de corte, um, quatro e nove anos após a exploração. As hipóteses formuladas para este trabalho foram: H_0 = existe diferenças entre tratamentos ao longo do tempo e H_1 = não existe diferenças entre tratamentos ao longo do tempo.

2. Metodologia

A área de estudo está localizada na Estação Experimental de Silvicultura Tropical do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (EEST-INPA), núcleo denominado “ZF-2” (Figura 1). O núcleo “ZF-2” localiza-se, aproximadamente, 90 km a noroeste de Manaus-AM e tem seu acesso pela BR-174 (Manaus-Boa Vista), km 50, cujas coordenadas geográficas da área são, aproximadamente: 02° 37' a 02° 38' de latitude S e 60° 09' a 60° 11' de longitude O (Radam-Brasil, 1978).

A área do projeto BIONTE (Biomassa e Nutrientes Florestais) está localizada entre os km 21 a 24 da estrada secundária ZF-2. A intervenção na floresta natural usando diferentes intensidades de corte começou a partir de 1987 com a demarcação da área em blocos experimentais (Figura 2). A área foi explorada em 1987 e 1988. O delineamento experimental foi o bloco casualizado, com parcelas subdivididas para aplicação dos tratamentos silviculturais, com 4 tratamentos e 3 repetições. Os tratamentos foram:

T0 = Testemunha ou controle (parcela não explorada)

T1 = remoção de 25% da área basal, explorada entre agosto e setembro de 1987;

T2 = remoção de 50% da área basal, explorada entre outubro e novembro de 1987;

T3 = remoção de 75% da área basal, explorada entre setembro e novembro de 1988;

As coordenadas geográficas de cada tratamento foram obtidas no campo utilizando o *Global Positioning System* (GPS), modelo Garmim Plus. O tamanho das parcelas (tratamento) é 200x200 m, sendo que o estudo foi realizado nas parcelas permanentes de 1 ha (100x100 m), alocadas dentro das parcelas de 200x200 m.

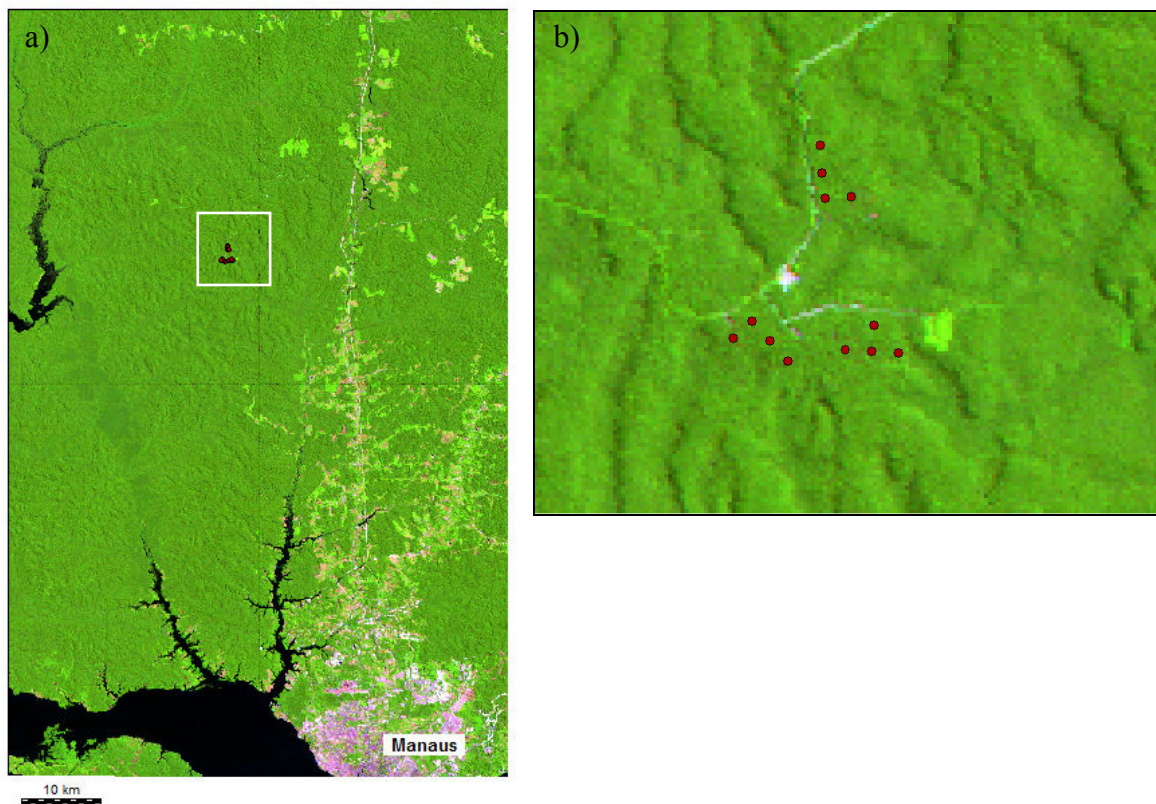


Figura 1 – Localização da área de estudo e sua situação com relação ao município de Manaus (a); Blocos experimentais do manejo florestal na reserva ZF-2 (b).

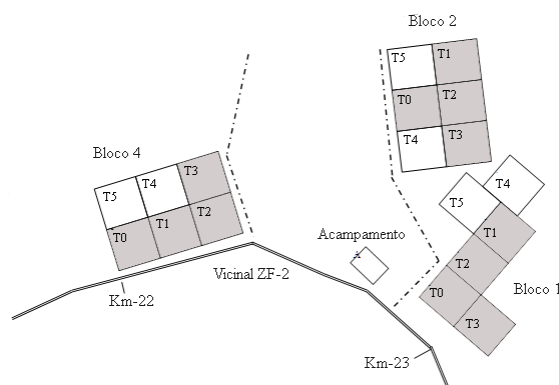


Figura 2 - Localização dos blocos experimentais do manejo florestal na bacia 3, reserva ZF-2.

O Pré-processamento das imagens Landsat TM órbita/ponto 231/062 de 02 de agosto de 1989, 22 de maio de 1992 e 07 de julho de 1997 foram realizado no software livre SPRING 4.3.3 e IDRISI Kilimanjaro o qual incluiu: a correção atmosférica utilizando o método por subtração do objeto escuro ou DOS (*Dark Object Subtraction*) desenvolvido por Chavez (1988); transformação do número digital (ND) em valores de radiância e depois para reflectância e retificação radiométrica pelo método de Hall et al. (1991). No registro imagem Landsat TM 231/062 foi utilizado o mosaico LANDSAT ETM + 2000 (Nasa, 2002) composto pelas bandas espectrais 2, 4 e 7 no formato comprimido MrSIDTM com projeção UTM e datum WGS-84, referente a zona 20.

Após o pré-processamento gerou-se as imagens NDVI, imagens fração-sombra e vegetação.

As médias dos valores espectrais para análise da ANOVA (Systat 10) entre os tratamentos foram obtidos de 14 pixels mais dominante dentro de cada tratamento (T0, T1, T2 e T3) e de cada bloco (b1, b2 e b4).

3. Resultados e Discussão

Aplicando a análise de variância (ANOVA) para série temporal do NDVI, Tabela 1, observou-se uma alta significância ($p < 0,01$), ou seja, existe diferença entre as florestas exploradas (com diferentes intensidade de corte) e a floresta não explorada (testemunha). No pós-teste Tukey de comparação múltipla (Tabela 2), este evidenciou que essa diferença é explicada pelos seguintes tratamentos: as áreas de floresta primária (testemunha) de 1989, 1992 e floresta primária 1997 ($p = 0.001$ e $p = 0.000$, respectivamente), provavelmente, esta diferença nos valores espectrais pode está relacionada ao fenômeno El Niño ocorrido em 1997, considerado como o mais importante do século, cujos efeitos tiveram um impacto considerável sobre a vegetação no Brasil (Dessay et al., 2001); tratamento T2_89 e tratamento T2_97, T3_97 ($p=0.005$ e $p=0.003$, respectivamente); tratamento T3_89 e tratamentos (T1, T2 e T3) de 1992; tratamentos (T1, T2 e T3) de 1992 e tratamentos (T1, T2 e T3) de 1997.

Tabela 1 – Quadro da Análise de variância (ANOVA) para série temporal do NDVI entre as florestas exploradas e floresta não explorada (testemunha) da região de Manaus-AM.

Fontes de Variação	SQ	GL	MQ	F	P
Florestas	0.022	11	0.002	16.268	0.000
Erro	0.003	24	0.000		

Tabela 2 – Matriz de probabilidade de comparação múltipla “Tuckey” para NDVI.

	T0_89	T0_92	T0_97	T1_89	T1_92	T1_97	T2_89	T2_92	T2_97	T3_89	T3_92	T3_97
T0_89	1.000											
T0_92	0.972	1.000										
T0_97	0.001	0.000	1.000									
T1_89	1.000	0.739	0.003	1.000								
T1_92	0.713	1.000	0.000	0.343	1.000							
T1_97	0.101	0.006	0.557	0.309	0.001	1.000						
T2_89	1.000	0.999	0.000	0.995	0.914	0.042	1.000					
T2_92	0.845	1.000	0.000	0.482	1.000	0.002	0.972	1.000				
T2_97	0.014	0.001	0.973	0.054	0.000	0.998	0.005	0.000	1.000			
T3_89	0.097	0.005	0.573	0.297	0.001	1.000	0.040	0.002	0.998	1.000		
T3_92	0.314	0.965	0.000	0.104	1.000	0.000	0.555	0.998	0.000	0.000	1.000	
T3_97	0.009	0.000	0.990	0.038	0.000	0.993	0.003	0.000	1.000	0.994	0.000	1.000

Quanto a imagem fração-sombra, os resultados da ANOVA (Tabela 3) indicam que há diferença altamente significativas ($p < 0,01$) entre os diferentes tratamentos na série temporal. Quando comparado um a um, Tabela 4, essa diferença ocorre entre: T0_89 e tratamentos (T0, T1, T2 e T3) de 1992 e 1997; tratamentos T0_92, T0_97 e tratamentos (T1, T2 e T3) de 1989; T1_89 e tratamentos (T1, T2 e T3) de 1992 e 1997; tratamento T1_92 e tratamentos T2_89, T3_89; tratamento T1_97 e tratamentos T2_89, T3_89; tratamento T2_89 e tratamentos T2_92, T2_97, T3_92, T3_97; tratamentos T2_92 e tratamento T3_89; tratamento T2_97 e tratamento T3_89; tratamento T3_89 e tratamentos T3_92, T3_97.

Tabela 3 – Quadro da Análise de variância (ANOVA) para série temporal da imagem fração-sombra entre as florestas exploradas e floresta não explorada (testemunha) da região de Manaus-AM.

Fontes de Variação	SQ	GL	MQ	F	P
Florestas	0.338	11	0.031	96.426	0.000
Erro	0.008	24	0.000		

Tabela 4 – Matriz de probabilidade de comparação múltipla “Tuckey” para imagem fração-sombra.

	T0_89	T0_92	T0_97	T1_89	T1_92	T1_97	T2_89	T2_92	T2_97	T3_89	T3_92	T3_97
T0_89	1.000											
T0_92	0.000	1.000										
T0_97	0.000	0.450	1.000									
T1_89	0.998	0.000	0.000	1.000								
T1_92	0.000	0.866	1.000	0.000	1.000							
T1_97	0.000	0.217	1.000	0.000	0.985	1.000						
T2_89	1.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	1.000					
T2_92	0.000	0.999	0.904	0.000	0.999	0.663	0.000	1.000				
T2_97	0.000	0.126	1.000	0.000	0.930	1.000	0.000	0.479	1.000			
T3_89	0.300	0.000	0.000	0.821	0.000	0.000	0.632	0.000	0.000	1.000		
T3_92	0.000	0.622	1.000	0.000	1.000	1.000	0.000	0.972	0.994	0.000	1.000	
T3_97	0.000	0.622	1.000	0.000	1.000	1.000	0.000	0.972	0.994	0.000	1.000	1.000

Nesta análise (Tabela 5) também verificou-se uma alta significância ($p < 0,01$), mostrando que existem diferenças entre os tratamentos ao longo do tempo para a imagem fração-vegetação. Aplicando o teste de Tukey, essa significância é explicada pelos seguintes tratamentos: o tratamento T0_89 e os tratamentos T0_92, T0_97, T1_91, T1_97, T2_92, T2_97, T3_92 e T3_97; tratamento T0_92 e os tratamentos T1, T2 e T3 de 1989; tratamento T0_97 e os tratamentos T1, T2 e T3 de 1989; tratamento T1_89 e os tratamentos T1, T2 e T3 de 1992 e 1997; tratamento T1_92 e os tratamentos T2 e T3 de 1989; tratamento T1_97 e os tratamentos T2 e T3 de 1989; tratamento T2_89 e os tratamentos T2 e T3 de 1992 e 1997; tratamento T2_92 e tratamento T3_89; tratamento T2_97 e tratamento T3_89; tratamento T3_89 e os tratamentos T3 de 1992 e 1997. Os resultados das análises estatísticas indicam que não se pode rejeitar a hipótese “existe diferenças entre tratamentos ao longo do tempo”.

Tabela 5 – Quadro da Análise de variância (ANOVA) para série temporal da imagem fração-vegetação entre as florestas exploradas e floresta não explorada (testemunha) da região de Manaus-AM.

Fontes de Variação	SQ	GL	MQ	F	P
Florestas	0.487	11	0.044	82.216	0.000
Erro	0.013	24	0.001		

Tabela 6 – Matriz de probabilidade de comparação múltipla “Tuckey” para imagem fração-vegetação.

	T0_89	T0_92	T0_97	T1_89	T1_92	T1_97	T2_89	T2_92	T2_97	T3_89	T3_92	T3_97
T0_89	1.000											
T0_92	0.000	1.000										
T0_97	0.000	0.533	1.000									
T1_89	1.000	0.000	0.000	1.000								
T1_92	0.000	1.000	0.728	0.000	1.000							
T1_97	0.000	0.502	1.000	0.000	0.698	1.000						
T2_89	1.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	1.000					
T2_92	0.000	1.000	0.612	0.000	1.000	0.581	0.000	1.000				
T2_97	0.000	0.581	1.000	0.000	0.771	1.000	0.000	0.660	1.000			
T3_89	0.272	0.000	0.000	0.581	0.000	0.000	0.518	0.000	0.000	1.000		
T3_92	0.000	1.000	0.778	0.000	1.000	0.750	0.000	1.000	0.817	0.000	1.000	
T3_97	0.000	0.875	1.000	0.000	0.966	1.000	0.000	0.920	1.000	0.000	0.979	1.000

A análise temporal dos tratamentos através das imagens NDVI (Figura 3) mostrou que o tratamento (T3) foi inferior aos demais tratamentos (T0, T1 e T2) um ano após a exploração. Neste tratamento houve maior exploração, ou seja, 75% da área basal foi retirada na área, causando maior abertura do dossel em relação aos demais tratamentos e conseqüentemente, o fechamento ou a recuperação do dossel foi mais lenta. Outro fator que provavelmente influenciou os altos valores do NDVI nos tratamentos T1 e T2 foi o ano de exploração (1987), ou seja, dois anos após a exploração, estas áreas foram invadidas por espécies pioneiras, favorecendo o fechamento do dossel. Em 1992 todos os tratamentos obtiveram os mesmos valores de NDVI, evidenciando a recuperação das áreas após quatro anos. Porém, em 1997, nove anos após exploração, todos os tratamentos obtiveram valores de NDVI baixo em relação ao ano de 1992. Neste ano houve o El Niño, onde a mortalidade anual das árvores aumentaram em 1.91 % durante este período (Williamson et al., 2000).

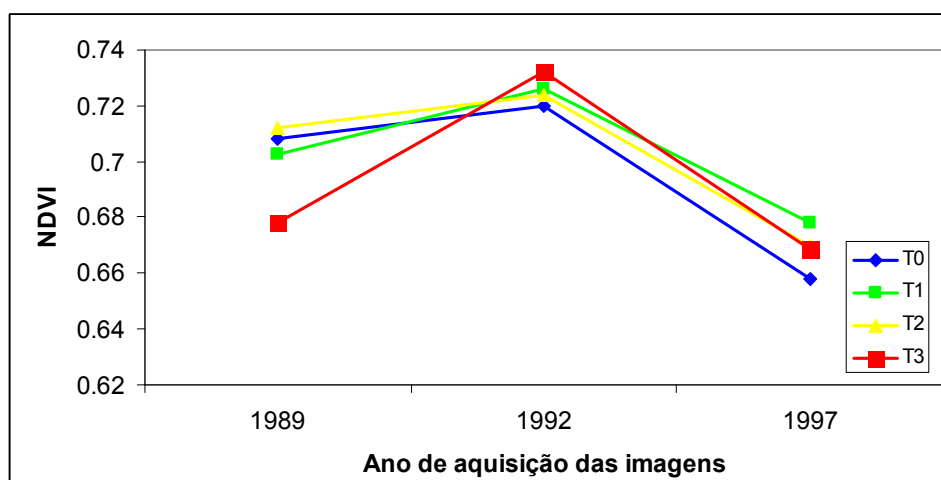


Figura 3. Análise temporal do NDVI nos tratamentos explorados e testemunha em Manaus-AM.

Analisando o comportamento espectral dos tratamentos nas imagens fração-sombra (Figura 4), verificou-se que estes foram baixos no ano de 1989, um e dois anos após a exploração. Este fato pode ser justificado pela presença de espécies pioneiras nas áreas, favorecidas pela entrada de luz pela abertura do dossel, diminuindo com isso a proporção de sombra nas áreas. Nos anos de 1992 e 1997, observou-se que a proporção de sombra permaneceu estável.

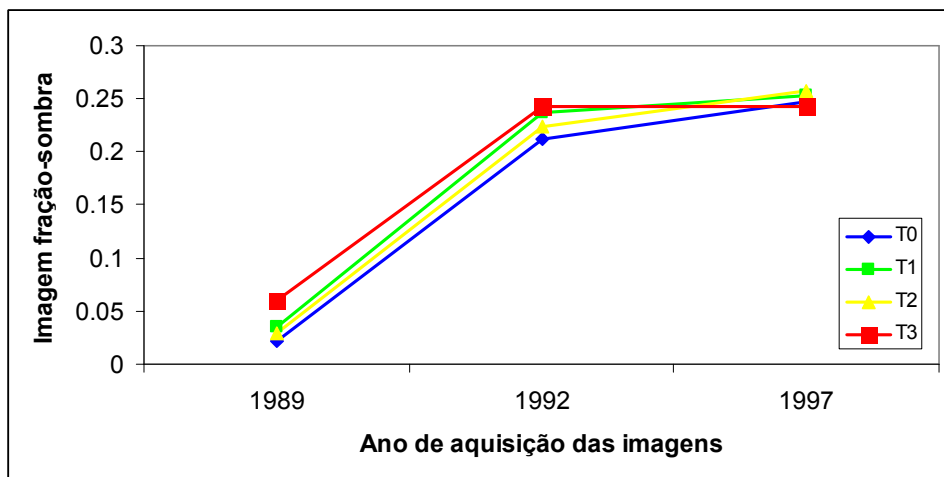


Figura 4. Análise temporal da imagem fração-sombra nos tratamentos explorados e testemunha em Manaus-AM.

A análise temporal dos tratamentos nas imagens fração-vegetação (Figura 5), mostrou que no ano 1989 todos os tratamentos (T0, T1, T2 e T3) apresentaram uma alta proporção de vegetação em relação aos anos de 1992 e 1997. Nestes dois anos a média da proporção de vegetação permaneceu estável.

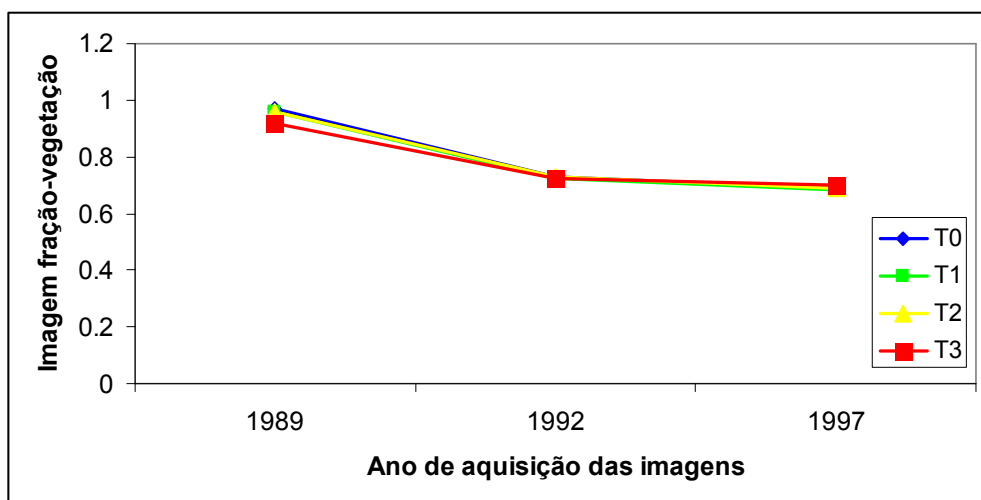


Figura 5. Análise temporal da imagem fração-vegetação nos tratamentos explorados e testemunha em Manaus-AM.

4. Conclusões

As análises estatísticas dos valores espectrais demonstraram que há diferença entre os tratamentos, ao longo do tempo, para os valores espectrais do NDVI, imagens fração-sombra e vegetação.

Quatro e nove anos após a exploração o comportamento espectral das proporção de sombra e vegetação entre os tratamentos permaneceram estáveis.

Referências Bibliográficas

Chavez, P.S. An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data. **Remote Sensing of Environment**, v.24, n.3, p. 459-479, 1988.

Dessay, N.; Shimabukuro, Y. E.; Batista, G. T.; Durieux, L. Dados NOAA-AVHRR para a avaliação do impacto El Niño sobre a vegetação. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 10., 2001, Foz de Iguaçu. Anais... São José dos Campos: INPE, 2001. Artigos,p.1575-1578.CD-ROM,On-line.ISBN: 85-17-00016-1.Disponivelem: < <http://mar.te.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/lise/2001/09.24.09.10/doc/1575.1578.173.pdf>>. Acesso em: 10 nov. 2008.

Grainger, A. The future environment for forest management in Latin America. In *Management of the forests of tropical America: prospects and technologies*. Washington. DC, Institute of Tropical Forestry/USDA Forest Service, 1987.

Hall, F.G.; Strebel, D.E.; Nickeson, J.E.; Goetz, S.J. Radiometric rectification: toward a common radiometric response among multitemporal, multisensor images. **Remote Sensing of Environment**, v.35 (1), p. 11-27, 1991.

Higuchi, N.; Santos, J. dos; Ribeiro, J.R.; Freitas, J.V. de; Vieira, G.; Cöic, A.; Minette, L. Crescimento e incremento de uma floresta amazônica de terra-firme manejada experimentalmente. In: MCT-INPA. Biomassa e nutrientes florestais – **Relatório Final do Projeto Bionte**. Manaus. p.89-131. 1997.

NASA.2002. Disponível em <https://www.zulu.ssc.gov/MrSid>> acesso em 02 de março de 2008.

RadamBrasil. 1978. *Levantamentos de recursos naturais*. Geologia, Geomorfologia, v.18, p.17-530.

Williamson, G. B.; Williamson, F. L. ; Oliveira, A. A.; Delamônica, P.; Gascon, C.; Lovejoy, T. E.; Pohl, L. Amazonian Tree Mortality during the 1997 El Niño Drought. **Conservation Biology**, v.14, n.5, p. 1538-1542, 2000.