

Detecção de mudanças entre os anos de 1989 e 2003 em uma ilha de várzea da Amazônia central.

Keillah Mara do N-Barbosa¹
Flávio Felipe Kirchner²
Maria Teresa Fernandez Piedade¹
Francisca Dionízia de Almeida Matos¹

¹INPA- Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia
(INPA-MaxPlanck)Rua André araujo,3936-69083000-Manaus-AM, Brasil.
{kmarara,maitepp}@inpa.gov.br/kmarantha@hotmail.com

²UFPR – Universidade Federal do Paraná
Rua Lothario Maissner, 3400- CEP 80210-170 Curitiba –PR, Brasil
kirchner@ufpr.br

Abstract. The floodplain habitat in the Amazon are surfaces flooded by sediment rich white water from Andean region and they cover about 200.000 km². These areas are often under erosion that destroy and construct the terrain each annual cycle of monomodal regime of rivers. To study the continuous change in this landscape gives support to understand the vegetation dynamic and lacks on global carbon budget.

Keywords: remote sensing, floodplain, Amazon.

1. Introdução

O regime monomodal dos rios da Amazônia é caracterizado por um único pulso de inundação anual, cujo período de cheia tem entre os meses de junho a agosto o pico máximo, e a vazante ocorre nos meses de setembro a novembro. Sob esse regime hidrológico inserem-se as áreas de interesse nesse estudo, as várzeas, que cobrem cerca de dois terços do total da área da planície inundável, 200.000km² segundo Junk *et al.* (1993).

As várzeas são áreas inundáveis por águas ditas brancas, com grande quantidade de sedimentos em suspensão de origem andina sobre freqüente erosão, sendo consideradas naturalmente férteis (Prance,1980; Sioli,1950). Fenômenos causados pela erosão são, por exemplo, os meandros dos rios, a troca de suas características, a formação de lagos e a deposição dos sedimentos nas margens. Os rios formam a vegetação pelas erosões, inundações, a freqüência e o tempo das inundações.

Esses ambientes inundados são importantes provedores para a fauna e flora aquática (Junk, 1997), destaca-se também na produção de peixes (Forsberg *et al.*, 1993) e globalmente têm um importante significado sobre a ocorrência de metano, carbono e outros gases essenciais para a regulação de clima (Devol *et al.*, 1994; Piedade *et al.*, 2001).

A vegetação inundável que coloniza estes ambientes está inserida em um gradiente de diferentes níveis de alagamento, que definem habitats desde permanentemente aquáticos até totalmente terrestres em uma amplitude de inundação que varia entre 10m e 15m (Junk, 1989; Ferreira, 1997). As espécies arbóreas, devido ao ciclo de vida longo, são menos tolerantes à grande quantidade de sedimentação, enquanto que, as plantas herbáceas, por exemplo, podem reagir de ano para ano com as mudanças ambientais estabelecendo novas populações (Piedade & Junk, 2000).

O objetivo desse estudo foi obter um mapa de cobertura da terra em uma imagem diferença entre os anos de 1989 e 2003 em uma ilha em crescimento topográfico sob a

influencia fluvial do rio Solimões no estado do Amazonas, utilizando imagens landsat e dados de campo da vegetação herbácea dominante em áreas de deposição de sedimentos trazido pelo pulso da descarga dos rios a cada ciclo de inundação anual.

Este trabalho é parte da tese de doutorado da primeira autora em que foram utilizados dados de imagens Landsat e Ikonos para mapear quantitativamente biomassa e carbono da vegetação herbácea de várzea na Amazônia Central.

2. Metodologia

A área de estudo é a ilha da Marchantaria localizada no município de Iranduba situado no rio Solimões, cerca de 40 km da cidade de Manaus e 15 km após a confluência do rio Negro (IRION et al., 1983). As coletas das plantas foram feitas em 25 parcelas distribuídas em cinco pontos na ilha em junho de 2003, correspondentes a fase aquática da várzea.

O pré-processamento foi feito sob orientação de profissionais do INPE utilizando o software livre SPRING 4.1.1 e incluiu: a seleção das imagens correspondentes a fase de aquática sob condições de cotas de inundação semelhantes e são elas imagem Lansat TM 231/062 08_1989 e 07_2003 O registro imagem x imagem, foi feito utilizando o mosaico ortorectificado da NASA imagem Landsat 231/62 17/07/1992. Para a correção atmosférica foi utilizado a metodologia de Vermot et al. (1997) adaptada por Antunes (2003), o modelo 6S. Os dados de reflectância foram obtidos por meio do algoritmo Reflet Float e a normalização radiométrica, seguiu o método de Hall et al. (1991), submetendo-se dados originais a transformação tasseled cap, procedimento feito por algoritmo inserido no spring.

Feito a retificação das imagens, procedeu-se a classificação. O sistema de classificação utilizado foi o de classificação supervisionada, optou-se por um dos mais utilizados que é o de máxima verossimilhança (MAXVER). As imagens classificadas foram utilizadas para obtenção de uma imagem diferença de detecção de mudanças da paisagem dessa ilha de várzea, cujo período entre as duas imagens é de 14 anos.

3. Resultados e Discussão

3.1 Classificação das imagens landsat

A imagem utilizada para 2003 foi considerada como referência em um processo de retificação radiométrica para a imagem de 1989. O objetivo dessa retificação foi minimizar as diferenças radiométricas entre as passagens do sensor para as diferentes datas, decorrentes de efeitos atmosféricos e da calibração dos detectores.

As áreas de treinamento para as classes “herbáceas” foram definidas pela localização das parcelas de coleta as quais se tinha as localizações marcadas com GPS de navegação. A interpretação visual também foi utilizada para os alvos “herbáceas”, “arbóreas” e “água” com base nas respostas espectrais quando observadas as imagens e também pela tonalidade dos mesmos. As **Tabelas 1 e 2** mostram o resultado da classificação.

Tabela 1 - matriz de confusão da classificação MAXVER – imagem 2003

Classes(%)	herbácea	arbórea	água	sombra	Total
não classificados	0	0	0	0	0
Herbácea	91,7	5,22	0,44	0	35,78
Arbórea	8,3	94,78	0,44	0	23,13
Água	0	0	98,69	2,78	35,47
Sombra	0	0	0,44	97,22	5,63
Total (%)	100	100	100	100	100

Tabela 2 - matriz de confusão da classificação MAXVER – imagem 1989

Classes (%)	herbácea	arbórea	Água	Total
não classificados	0	0	0	0
herbácea	100	0	0	49,86
arbórea	0	100	0	14,03
Água	0	0	100	36,11
Total (%)	100	100	100	100

A classificação da imagem de julho de 2003 alcançou a acurácia de 95,16% e o coeficiente Kappa foi de 0,9295. A matriz de confusão da imagem de 2003 mostra os *pixels* que se misturam entre as classes. A porcentagem é pequena entre as classes herbácea e arbórea. Por outro lado, observando a matriz correspondente a imagem de 1989, não aparece essa mistura de *pixels* entre as classes. O coeficiente Kappa foi 1 e a acurácia alcançou 100%. Isso se deu porque a prioridade dessa classificação era separar principalmente o alvo herbácea do alvo arbóreas. Na imagem de 1989, não houve dificuldade por estar bem delimitado visualmente a área correspondente a cada classe. Somente com o passar dos anos, a ação antrópica com a entrada de área agrícolas e as modificações dos intemperismos naturais, vão dificultar essa delimitação, o que é visto na imagem de 2003 (Figura 2). A imagem de classificação para o agosto de 1989 é apresentada na (Figura 1).

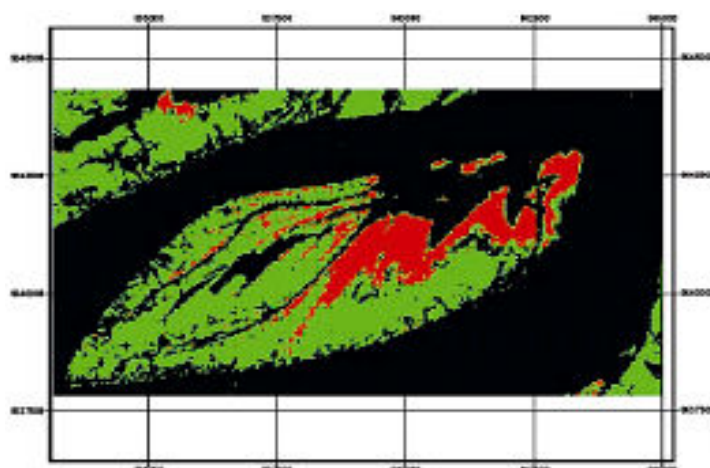


Figura 1
Imagem ago/1989
Cota da água: 28,16 m

- Herbácea
- Arbórea
- Água
- nuvens

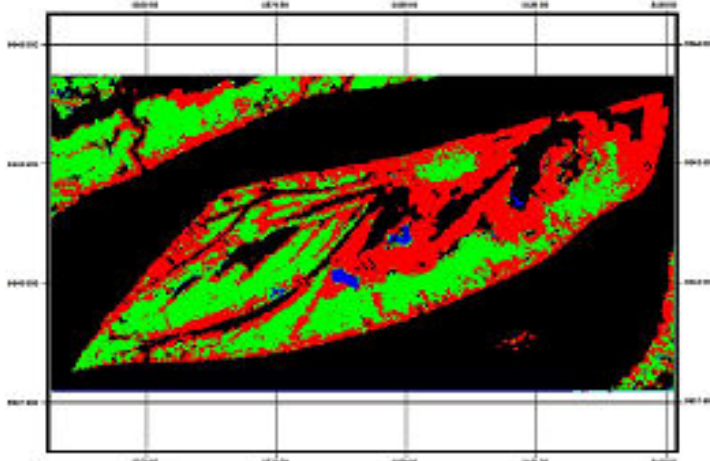


Figura 2
Imagem jul/2003
Cota da água: 28m

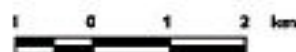


Figura 1 e 2 – Classificação MaxVer – Imagem Landsat TM 231/62 – Ilha da Marchantaria, Iranduba – Amazonas.

3.2 Detecção de mudança entre os anos de 1989 e 2003.

Entre os anos de 1989 e 2003 passaram-se 14 anos em que eventos antrópicos e naturais foram responsáveis pela modificação da paisagem na ilha. A paisagem da várzea modifica-se continuamente alternando fases terrestre e aquática em conformidade com a dinâmica fluvial.

O termo *dinâmica fluvial* é usado para determinar todos os fatores, os quais tem origem na erosão causada pelos rios e suas inundações (Kalliola et al. 1987; 1993). Fenômenos causados pela erosão são, por exemplo, os meandros dos rios, a troca de suas características, a formação de lagos e a deposição de sedimentos nas margens.

A estatística dessa detecção de mudanças mostrou que 66,84% das áreas ocupadas pela vegetação herbácea em 1989 continuaram até 2003, sendo que 20,72% de área em que não havia vegetação, passou a ser ocupada por herbáceas. 9,32% da área de vegetação herbácea de 1989 foi substituída pela vegetação arbórea com o passar desses 14 anos. A **Tabela 3** mostra as áreas classificadas na imagem diferença.

Tabela 3 - matriz de confusão da imagem diferença de 1989 a 2003.

Áreas em km	herbácea	água	arbórea
não classificado	0	0	0
herbácea	3,74	7,28	6,92
Água	1,16	39,84	4,28
Arbórea	0,52	2,64	12,42
Sombra	0,17	0,36	0,22
classe total	5,6	50,13	23,83
classe mudança	1,86	10,28	11,42
Imagem diferença	12,34	-4,85	-8,25

No que diz respeito à área que inicialmente (1989) aparecia como vegetação arbórea, a estatística mostrou uma área final (2003) de substituição por herbáceas. Nota-se que a vegetação herbácea aumentou sim, mas não houve uma substituição de 29,02% de arbóreas de 1989 para herbáceas. Esta porcentagem pode ser explicada porque nessa área de arbóreas hoje há o desenvolvimento de atividade agrícola e não foi possível separar uma classe específica para diferenciar os alvos correspondentes à agricultura, ou seja, uma parte classificada como herbáceas contém também alvos correspondentes aos terrenos ocupados pelas atividades agrícolas.

Outro fator que deve ser observado é a deposição de sedimentos formando novos terrenos com o passar dos anos. Apesar de a área correspondente à vegetação arbórea ter aparentemente aumentado pouco em tamanho, após cada cheia do rio há deposição de sedimentos os quais irão formar os novos terrenos, da mesma maneira que a força da água os destrói.

Quanto à vegetação arbórea, mais de 50% do que havia em 1989 permanece até o ano de 2003. Parte dessa vegetação foi diminuindo, o que nem sempre pode ser atribuído a fatores antrópicos, mas também à ocorrência de frequentes eventos catastróficos naturais como a destruição de parte das margens dos rios, o que geralmente conduz a destruição de grandes áreas de vegetação. Por outro lado, simultaneamente, os depósitos de sedimentos constroem novos habitats (Kalliola et al. 1987), os quais podem ser observados na **Figura 3** correspondente à imagem de 2003 mostrando as modificações nas novas áreas construídas pela deposição de sedimentos agora ocupados pela vegetação herbácea, onde os processos sucessionais serão mais rápidos ou mais lentos de acordo com o regime hidrológico.

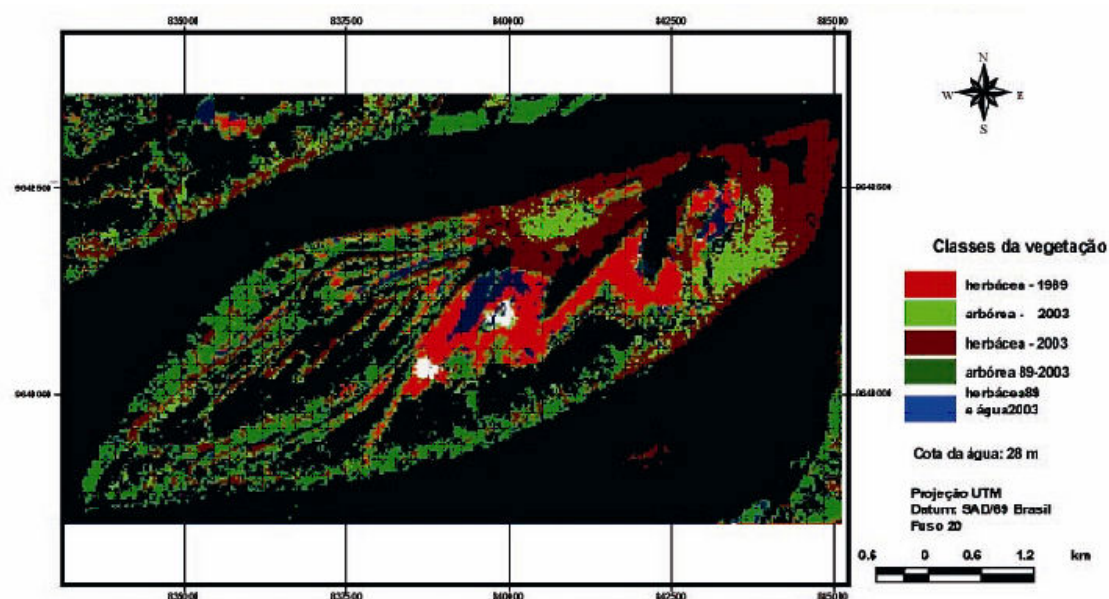


Figura 3 – Imagem diferença entre 1989 e 2003 – Landsat TM 231/62

A oscilação no nível da água modifica química e estruturalmente o solo, submetendo a vegetação a prolongados períodos de alagação de raízes e caules até a submersão completa, sendo esse um dos fatores de regulação da densidade e distribuição de plantas (Piedade, 1985).

Essa mudança na paisagem da várzea incorporou com o passar do tempo, elementos estruturais tais como a biomassa crescente para as herbáceas e para as arbóreas, certamente uma densidade de população e taxa de crescimento individual decrescente embora, não haja uma discussão mais detalhada aqui no tocante as arbóreas por não serem estas o alvo de estudo.

A classificação da imagem de 1989 resultou em uma área ocupada por plantas herbáceas de 545,410 ha, enquanto que em 2003, a imagem Landsat do mês de julho é de 1330,98 ha. A imagem de 1989 é do mês de agosto e a cota média da inundação para aquele mês foi de 28,16m e no mês de julho de 2003 a cota média foi de 28m. Se as cotas de inundação são próximas, pode-se assumir que as plantas cujo crescimento está associado à subida das águas dos rios estão do mesmo tamanho nos diferentes anos.

Dessa forma, os dados coletados em campo mostraram que em 2003 a biomassa herbácea acima da água ocupava uma área de 1330,98 ha e a biomassa presente em toda essa área era aproximadamente 11.273,40 Mg. A imagem de agosto de 1989, mostra que a área ocupada pela vegetação herbácea era 785,57 ha menor que em 2003. Desse modo, em 1989 a área ocupada pela vegetação herbácea apresentava um acúmulo de biomassa aproximado de 4.619,62 Mg.

Pode-se inferir que em 14 anos houve um aumento da biomassa de 6.653,78 Mg., em decorrência da deposição de sedimentos o qual contribui para o aumento na extensão da área da ilha. Esses dados são referentes à quantificação de biomassa em campo, assumidos para um determinado tamanho de área. Um dado importante a ser observado é que nesse estudo, não há uma apresentação de dados estimados para biomassa em relação aos dados espectrais de imagens, os quais estão detalhados em N-Barbosa (2006).

Seguindo ainda a inferência dos dados encontrados em campo em relação ao tamanho da área ocupado pelas herbáceas, teríamos então para a o ano de 2003 na imagem Landsat, 5.796,95 Mg. de carbono orgânico e 2.252,54 Mg. para a imagem de 1989. O carbono orgânico obtido pela análise da biomassa seca acima da água foi de 4,13 Mg/ha. Assim sendo, em 14 anos a Ilha da Marchantaria apresentou um aumento de carbono orgânico acumulado na biomassa dessa herbácea em 3244,41Mg aproximadamente na chamada fase aquática da várzea.

Até recentemente, o papel dos ecossistemas inundados da floresta amazônica no balanço global de carbono era negligenciado (Novo et al., 2005) por isso, trabalhos que busquem mapear área de vegetação de várzea determinando o tipo de cobertura dominante em uma dada fase do ciclo hidrológico, são importantes para a compreensão do papel desse ambiente no balanço de carbono da região.

4. Conclusão e recomendações

Considerações sobre a quantificação de biomassa acima da água em uma imagem diferença de 1989 a 2003 só foi possível porque essas imagens puderam ser consideradas pares, devido às cotas de inundação serem aproximadamente iguais (28m para 2003 e 28,16m para 1989). Dessa forma, foi possível ter uma avaliação temporal da fase aquática.

Um erro pode estar associado à classificação para se extrair o polígono que determina a área de ocupação das herbáceas. Mesmo que o resultado da acurácia tenha sido muito satisfatório, (95,16% e coeficiente Kappa = 0,9295), na imagem 2003 há certamente áreas de agricultura classificadas como herbáceas.

Recomenda-se para a minimização desse problema, a utilização de um software classificador tal como o eCognition pelo seu potencial de segmentação em escalas múltiplas, a vantagem da orientação a objeto na interface do sensoriamento remoto-SIG e a aplicação de banco de conhecimento na classificação, metodologia que tem apresentado vantagens sobre a tradicional.

Um dado importante a ser observado é o RMS do georreferenciamento para cada uma imagem, pois grandes erros podem subsidiar conclusões equivocadas em se tratando de estudos em escala temporal.

O potencial de técnicas de sensoriamento remoto mostra que será possível a geração de outros produtos a partir da análise de paisagem, pois serão imprescindíveis para os estudos da dinâmica das várzeas da Amazônia.

5. Agradecimentos

Ao INPE pela doação de Imagens Landsat e a calorosa acolhida, em especial ao Prof. Dr. Flávio Ponzoni. Ao prof. Dr. Mauro Antonio Homem Antunes da UFRRJ. Ao CNPq Projeto MODIVEAM – Monitoramento Espacial da Dinâmica da Vegetação de Várzea e Terra Firme no Estado do Amazonas. PROCESSO N° 479252/2003-3. Ao Grupo de pesquisas no Ecossistema de várzea do Projeto INPA-MaxPlanck: PPI número 1-0905.

Referências

Antunes, M. A. H., Freire, R. M. B., Botelho, A. S., Tonioli, L. H. Correções Atmosféricas De Imagens De Satélites Utilizando O Modelo 6S In: XXI Congresso Brasileiro de Cartografia, 2003, Belo Horizonte. **Anais do XXI Congresso Brasileiro de Cartografia**, 2003.

Devol, A.H.; Richey, J.E.; Forsberg, B.R.; Martinelli, L.A. Seasonal dynamics in methane emissions from the Amazon River floodplain to the troposphere. *J. Geophys. Res.*, 95: 1641716426.1990.

Ferreira, L.V. Effects of the duration of flooding on species richness and floristics composition in three hectares in the Jaú National Park in floodplain forests in Central Amazônia. **Biodiversity and Conservation** 6 (10):1353-1363. 1997.

Forsberg, B.R.; Hashimoto, Y.; Rosenqvist, A.; Miranda, F.P. Tectonic fault control of wetland distributions in the Central Amazon revealed by JERS-1 radar imagery. **International Quaternary**. 72: pag 61-66. 2000.

Hall, F. G. Strebel, D.E.; Nickelson, J.E.; Goetz, S.J. Radiométric Retification: toward a common radiometric response among multirate, multisensor images. **Remote Sensing of Environmental**. V. 35,n.1,p.11-27, 1991.

Irion, G., Adis, J., Junk, W.J., Wunderlich, F., Sedimentological studies of the 'Ilha de Marchantaria' in the Solimões/Amazon River near Manaus. **Amazoniana** 8, 1–18. 1983.

Junk, W.J. Flood tolerance and tree distribution in Central Amazonian floodplains. *In*: Holm-Nielsen, L.B.; Balslev, H. (eds.) **Tropical Forest Botanical Dynamics Speciation and Diversity**. Academic Press Limited. London. p.47-64. 1989.

Junk, W.; Piedade, M.T.F. Herbaceous plants of the Amazon floodplain near Manaus: species diversity and adaptations to the flood pulse. **Amazoniana XII (3/4):467-484p.** 1993.

Junk, W.J.; Piedade, M.T.F. Plant life in the floodplain with special references to herbaceous plants. *In*: The Central Amazon Floodplain, Ecology of a pulsing system, 1997.

Kalliola, R.; Salo, J.; Mäkinen, Y., **Regeneración natural de selvas en la Amazonia peruana 1: Dinámica fluvial y sucesión ribereña**. Memorias del Museo de Historia Natural "Javier Prado", Universidad Nacional Mayor de San Marcos. 99p. 1987.

Kalliola, R.; Puhakka, M.; Danjoy, W. **Amazônia Peruana: Vegetação humeda tropical em el llano subandino**. Projeto Amazônia, Departamento de biología y geología, Universidad de Turku, SF-20500 Turku, Finlândia. 251p. 1993.

N-Barbosa, K.M. **Monitoramento Espacial de Biomassa e Carbono Orgânico da Vegetação Herbácea de Várzea na Amazônia Central**. Tese (Doutorado em Ciências Florestais – Manejo Florestal) UFPR. Curitiba, PR. 2006.

Novo, E.M.L.M.; Ferreira, L.G.; Barbosa, C.; Carvalho, C.; Sano, E.E.; Shimabukuro, Y.; Huete, A.; Potter, C.; Roberts, D.A.; Hess, L.L.; Melack, J.J.; Yoshioka, H.; Klooster, S.; Kumar, V.; Myneni, R.; Ratana, P.; Didan, K.; Miura, T. Técnicas Avançadas de Sensoriamento Remoto Aplicadas ao estudo de mudanças Climáticas e ao Funcionamento dos Ecossistemas Amazônicos. **Acta amazonica**. Vol. 35(2) 259-272.2005.

Piedade, M.T.F. **Ecologia e Biologia reprodutiva de *Astrocaryum jauari* Mart. (Palmae) como exemplo de população adaptada as áreas inundáveis do rio Negro (Igapós)**. Dissertação (Mestrado em Ecologia)INPA/UFAM. Manaus, Am.187p.1985.

Piedade, M.T.F.; Junk, W.J. Natural grasslands and herbaceous plants in the Amazon floodplain and their use. **In:** Junk, W.J.; Ohly, J.J.; Piedade, M.T.F.; Soares, M.G.M. *The Central Amazon Floodplain: Actual Use and Options for Sustainable Management*. Backhuys Publishers, Leiden, The Netherlands.p.269-290.2000.

Piedade, M.T.F.; Worbes, M.; Junk, W.J. Geo-ecological controls on elemental fluxes in communities of higher plants in Amazonian floodplains. **In:** McClain, M.E., Victoria, R.L., and Richey, J.E. (Ed.) **The Biogeochemistry of the Amazon Basin**. Oxford University Press. p. 209-234. 2001.

Prance, G.T. 1980. A terminologia dos tipos de florestas amazonicas sujeitas a inundação. **Acta Amazonica** 10(3): 495-504.

Sioli, H. **Sobre a sedimentação na Várzea do baixo Amazonas**. Boletim Técnico nº 24:45-65.1950.

Vermote, E.F.; Tanre, D.; Deuze, J.L.; Herman, M.; Morcrette, J.J. Second simulation of the satellite signal in the solar spectrum, 6S: An overview., **IEEE Transactions on geosciences and Remote Sensing**. N 35,v3,p. 675-686.1997.