

# INTEGRAÇÃO DE DADOS GEO-ESPACIAIS PARA O MAPEAMENTO DE UNIDADES DA PAISAGEM NA REGIÃO DO TAPAJÓS

*Luiz Eduardo O. e C. de ARAGÃO<sup>1</sup>*

*Yosio Edemir SHIMABUKURO<sup>2</sup>*

*Fernando D. B. ESPÍRITO-SANTO<sup>3</sup>*

*Mathew WILLIAMS<sup>4</sup>*

## Resumo

A estratificação do ecossistema em regiões homogêneas é crucial para a determinação da variação espacial das variáveis ambientais nos estudos relativos à dinâmica do carbono na Amazônia. Baseado na hipótese de que a heterogeneidade da paisagem é determinada pela interação dos diferentes tipos de vegetação, relevo, e uso da terra, o objetivo principal dessa pesquisa foi apresentar uma rotina metodológica para gerar um mapa de Unidades da Paisagem (UP) para região do Tapajós. A área de estudo está localizada entre as latitudes 02º 24' 2" S e 04º 01' 1" S, e longitudes 55º 30' 2" W e 54º 29' 5" W, no estado do Para. Para a integração dos mapas temáticos, contendo as informações dos atributos da paisagem, foram realizadas operações de lógica booleana. O mapa de UP mostrou que apesar das florestas primárias predominarem na região estudada, cerca de 28% da área já sofreu intervenção antrópica. A rotina proposta foi eficiente na caracterização da heterogeneidade da paisagem. As vantagens desse método são a preservação das tipologias mais representativas e a redução do número de unidades amostrais. Este mapeamento mostra-se importante para auxiliar pesquisas na escala regional e resolução espacial de alta a moderada (de 30 a 500 metros).

**Palavras-chave:** Estratificação; Amazônia; SIG; uso da terra; mapeamento

## Abstract

### Geo-spatial data integration for mapping landscape units in the Tapajos region

The stratification of the ecosystem in homogeneous regions is crucial for determining the spatial variation of environment variables in studies related to the carbon dynamics in the Amazonia. Based on the hypothesis that landscape heterogeneity is determined by the interaction of the different types of vegetation, relief and land use, the principal aim of this research was to present a methodological routine to generate a Landscape Unit (LU) map for the Tapajos region. The study area is localized between the latitudes 02° 24' 2" S and 04° 01' 1" S, and longitudes 55° 30' 2" W e 54° 29' 5" W, in the Para State. Boolean logic operations were applied for the integration of the thematic maps containing the information about landscape attributes. The LU map showed that despite primary forests is the dominant vegetation type in the region, around 28% of the study area suffered human intervention. The proposed routine was efficient in characterizing the landscape heterogeneity. The advantages of this method are the preservation of more representative vegetation types and the reduction of the number of sample units. This mapping is important for helping regional scale researches using from a high to a moderate spatial resolution approach (from 30 to 500 meters).

**Key words:** Stratification, Amazon, GIS, land use, mapping

<sup>1</sup> Pesquisador Associado no nível de pós-doutorado da Universidade de Oxford - Endereço para correspondência - School of Geography and the Environment, University of Oxford, Mansfield Road, Oxford, OX1 3TB, UK. [laragao@ouce.ox.ac.uk](mailto:laragao@ouce.ox.ac.uk)

<sup>2</sup> Pesquisador do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Divisão de Sensoriamento Remoto, Av. dos Astronautas, 1758 - Caixa Postal 515 - 12227-010 - São José dos Campos, SP, Brasil. [yosio@ltd.inpe.br](mailto:yosio@ltd.inpe.br)

<sup>3</sup> Bolsista PCI do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Divisão de Sensoriamento Remoto, Av. dos Astronautas, 1758 - Caixa Postal 515 - 12227-010 - São José dos Campos, SP, Brasil. [fernando@ltd.inpe.br](mailto:fernando@ltd.inpe.br)

<sup>4</sup> Pesquisador da Universidade de Edinburgh - School of Geosciences, Darwin Building, University of Edinburgh, Edinburgh EH9 3JU, Scotland, UK. - [mat.williams@ed.ac.uk](mailto:mat.williams@ed.ac.uk)

## INTRODUÇÃO

As florestas tropicais estão entre os biomas mais importantes em relação às taxas anuais da ciclagem biogeoquímica do carbono (C) (MCKANE et al., 1995; WILLIAMS et al., 1998). Dentre estes, pode-se destacar a Bacia Amazônica que possui uma área de 5,8 milhões de km<sup>2</sup> (SALATI; VOSE, 1984), coberta principalmente por Florestas Tropicais Densas e algumas áreas de Cerrado.

A crescente demanda para a geração de informações quantitativas e espacializadas das respostas da cobertura vegetal às mudanças climáticas globais, exige, atualmente, o desenvolvimento de estratégias visando o detalhamento da variabilidade espacial dos processos que determinam a produtividade florestal, tais como, fotossíntese, respiração e crescimento da biomassa. O estudo dos padrões espaciais desses processos é realizado por meio de modelos matemáticos integrando dados cartográficos, de sensoriamento remoto e de campo em sistemas de informação geográfica (SIGs). Este processo de integração de dados é baseado em operações sobre superfícies contínuas em formato matricial (POTTER et al., 1993; JIANG et al., 1999; WILLIAMS et al., 2001; NEMANI et al., 2003).

A exatidão da estimativa dos processos florestais depende, em primeiro lugar, da escala e resolução espacial dos dados utilizados. Em seguida, a partir da definição prévia das características cartográficas nas quais o mapeamento ocorrerá, existe a necessidade de uma representação detalhada da heterogeneidade espacial das variáveis que controlam os fluxos de C no ecossistema amazônico. A distribuição espacial dessas variáveis ambientais é intimamente associada à características intrínsecas de cada formação vegetacional. Essas características podem ser descritas não somente pelos padrões de uso e cobertura da terra, mas também, pelos atributos da paisagem como os geomorfológicos (ex. altimetria e declividade), que são alguns dos determinantes das condições atuais dos solos em cada região.

Franklin e Woodcock (1997) ressaltaram a relevância do mapeamento dos padrões da vegetação para entender as respostas da cobertura vegetal às mudanças climáticas globais. Esses autores enfatizaram também que a paisagem possui uma estrutura em mosaico, onde as áreas formam unidades distintas em relação a um determinado atributo. A aplicação do conceito de Unidades da Paisagem (UP), revisto por Zonneveld (1989), permite que o ecossistema seja estratificado em regiões homogêneas, de acordo com as condições geomorfológicas e da cobertura vegetal. A utilização de um mapa de Unidades da Paisagem é crucial para a determinação, por meio de trabalhos de campo, da variação espacial das variáveis ambientais (índice de área foliar, textura do solo, concentração de nitrogênio foliar, entre outros) nos estudos relativos à dinâmica do C no ecossistema amazônico. Portanto, a combinação de mapas contendo essas informações pode servir como base para estratificar a região do Tapajós em zonas homogêneas.

Assim, baseado na hipótese de que a heterogeneidade da paisagem é determinada a partir da interação dos diferentes tipos de vegetação, relevo, e uso da terra, os objetivos dessa pesquisa foram:

- 1) Analisar a representatividade das classes de vegetação (IBGE) presentes nos mapas temáticos referentes a região de estudo, por meio da estimativa de área.
- 2) Utilizar um limiar de área mínima para a redução do número de classes de vegetação, sem comprometer as classes mais representativas.
- 3) Gerar um mapa temático de altimetria considerando os pontos cotados e as curvas de nível extraídas de cartas topográficas e descrever os padrões espaciais do relevo da região de estudo.

- 4) Integrar os mapas de vegetação e altimetria por meio de operações de lógica booleana para geração de um mapa preliminar de UP.
- 5) Gerar um mapa de UP para o Tapajós pela atualização do mapa preliminar com um mapa de uso da terra obtido a partir de uma análise multi-temporal de cenas dos satélites Landsat 5 e 7 e verificar a contribuição das classes de uso e cobertura da terra nessa região.

## ÁREA DE ESTUDO

*Localização* - O estudo foi realizado na região do Tapajós no Estado do Pará. Foi selecionada uma área a leste do rio Tapajós e ao sul do rio Amazonas, composta predominantemente por florestas primárias, secundárias e pastagens. Esta área, localizada na porção oriental da Amazônia, estende-se por cerca de 13.000 km<sup>2</sup> entre as latitudes 02° 24' 2" S e 04° 01' 1" S, e longitudes 55° 30' 2" W e 54° 29' 5" W. Aproximadamente metade dessa área é ocupada pela Floresta Nacional do Tapajós (FNT). A FNT tem como limite norte o paralelo que cruza no quilometro 50 a rodovia Santarém-Cuiabá (BR 163), ao sul a rodovia Transamazônica e os rios Cupari e Cuparitinga, a leste a BR 163, e a oeste o rio Tapajós, ocupando uma área de aproximadamente 600.000 ha. A cidade de Santarém é a mais importante da região, e localiza-se no extremo norte da região, onde ocorre a confluência dos rios Amazonas e Tapajós.

*Uso da Terra* - O sistema de produção predominante da região do Tapajós ainda consiste no plantio, em pequenas áreas, de culturas de mandioca, milho, feijão e arroz. Além disso, existem áreas, relativamente maiores que as anteriores, que são utilizadas para pecuária extensiva. Todavia, durante uma visita ao campo entre abril e maio de 2003, puderam ser observadas também extensas áreas de arroz. Essas áreas de arroz estão sendo utilizadas para preparar o solo para o plantio de soja, que já está sendo produzida em algumas áreas. A expansão da cultura de soja na região do Tapajós tende a acelerar devido à construção de um terminal para a saída da soja no porto de Santarém. Contudo, a existência da FNT na região contribui para frear o processo de desflorestamento intensivo para obtenção de mais áreas para o plantio desse cultivar.

*Clima* - O clima predominante na região é o AmW de acordo com a classificação de Köppen (Eidt, 1968). A média anual de 1968 a 1998 da precipitação pluviométrica acumulada foi de 2272 mm para a estação meteorológica de Santarém (ANEEL, 2000). A região apresenta duas estações bem definidas, uma seca e outra chuvosa. A predominância de chuvas ocorre entre dezembro e maio, contribuindo com cerca de 70% do total anual (Espírito Santo, 2003). As temperaturas médias anuais encontram-se em torno de 25°C (IBAMA, *on-line*).

*Vegetação* - A vegetação é de Floresta Densa das Terras Baixas e Submontanas revestindo os altos e baixos platôs e relevos dissecados e aplainados. Esta floresta apresenta elevado número de indivíduos emergentes, sendo possível observar em meio a Floresta Densa com emergentes manchas de Floresta Densa uniforme e Floresta Aberta sem Palmeiras (cipoal) (RADAMBRASIL, 1976). A ocorrência de cipós é rara, em geral, associada a manchas de solos arenosos (Silva et al., 1985). O dossel é dominado pela castanheira (*Bertholletia excelsa*), angelim (*Hymenolobium excelsum*, *Pithecelobium excelsum*, *Pithecelobium racemosum* e *Dinizia excelsa*), tauari (*Couratari sp.*), maçaranduba (*Manilkara huberi*), jutaí açu (*Hymenaea courbaril*) e pau d'arco (*Tabebuia sp.*) (Silva et al., 1985). Espírito-Santo (2003), que executou uma pesquisa detalhada sobre os aspectos florísticos e estruturais na FNT, identificou três padrões

fitogeográficos predominantes: (1) porção norte, com dominância do babaçu (*Orbignya phalerata* Mart.); (2) porção central, caracterizada por uma floresta densa, com similaridade de espécies entre o alto e baixo platô; e (3) porção sul, região com alta diversidade florística e frequência de palmeiras como mumbaca (*Astrocaryum mumbaca* Mart.), tucumã (*Astrocaryum vulgare* Mart.), inajá (*Maximiliana martiana* karst.), entre outras, exceto o babaçu. Este mesmo autor mostrou a existência de pelo menos quatro sítios estruturais bem definidos: (1) baixa biomassa (150 a 200 t ha<sup>-1</sup>), (2) moderada biomassa (200 a 250 t ha<sup>-1</sup>), (3) alta biomassa (250 a 300 t ha<sup>-1</sup>), (4) altíssima biomassa (350 a 400 t ha<sup>-1</sup>).

*Solos* - Os solos da região são pertencentes predominantemente à unidade Latossolo Amarelo Distrófico em duas classes texturais: argilosa e média argilosa (RADAMBRASIL, 1976). Nesta área ocorrem também manchas de solos arenosos, geralmente nos fundos dos vales de drenagem (Silva et al., 1985). Áreas com a presença de solos podizólicos vermelhos-amarelos são observados na porção norte da região, próximo à cidade de Santarém, e em algumas partes ao longo da margem direita do rio Tapajós e na porção sul da FNT (PRIMAZ, 1998). Um estudo recente na parte norte da FNT demonstrou a elevada variabilidade da textura dos solos em uma escala de metros, onde solos predominantemente argilosos e arenosos ocorrem muito próximos (WILLIAMS et al., 2002).

*Geomorfologia* - A geomorfologia é caracterizada por duas unidades morfo-estruturais denominadas Planalto Rebaixado da Amazônia e Planalto Tapajós-Xingu (RADAMBRASIL, 1976). O primeiro está inserido em sua maior proporção, na litologia sedimentar terciária da formação Barreiras. Estas áreas constituem as "terras firmes" que apresentam altitude aproximada de 100 m (Silva e Carvalho, 1986). O planalto se estende desde a Planície Amazônica, acompanhando a margem direita do rio Amazonas, limitando-se a leste pelo Planalto Tapajós-Xingu, nas proximidades do rio Tapajós. O segundo limita-se ao norte pela planície Amazônica e ao sul pelo Planalto Rebaixado da Amazônia. O Planalto Tapajós-Xingu caracteriza-se por extensas superfícies de forma tabular (Platôs) (RADAMBRASIL, 1976).

## MATERIAIS E MÉTODOS

### *Material Cartográfico*

Para realização deste estudo foi utilizado um mapa temático de vegetação correspondente aos quadrantes de Santarém (SA-21-Z-B) e Aveiro (SA-21-Z-D) na escala de 1:250.000 (RADAMBRASIL, 1976) e um mapa digital de uso da terra (Espírito-Santo, 2003). Outros seis mapas topográficos na escala de 1:100.000, cobrindo essa mesma área, correspondentes aos quadrantes Amorim (SA-21-Z-B-IV), Mujui de Campos (SA-21-Z-B-V), Boim (SA-21-Z-D-I), São Jorge (SA-21-Z-D-II), Aveiro (SA-21-Z-D-IV) e Igarapé Onça (SA-21-Z-D-V) (Diretoria de Serviço Geográfico, 1984) também foram usados. A base cartográfica foi digitalizada e posteriormente processada no sistema de informação geográfica (SIG) SPRING 3.6 (Câmara et al., 1996). Os mapas digitais foram georeferenciados na projeção *Universal Transverse Mercator* (UTM) e no *South American Datum* (SAD-69) e co-registrados. As classes de vegetação e as feições topográficas, como curvas de nível, pontos cotados e linhas de drenagem, foram extraídas desses mapas e armazenadas no formato vetorial no SIG.

### Mapa de Vegetação

Inicialmente foram quantificados o número e área das classes de vegetação, em seguida, foi calculada a contribuição percentual de cada classe para o total da área estudada. A descrição das classes de vegetação encontra-se na Tabela 1.

**Tabela 1 - Listagem das classes de vegetação adotadas no presente estudo, apresentando as siglas e suas respectivas descrições**

<b>Sigla</b>	<b>Descrição</b>
<b>Asp</b>	Floresta Ombrófila Aberta Submontana com Palmeiras
<b>Dae</b>	Floresta Ombrófila Densa Aluvial Dossel Emergente
<b>Dau</b>	Floresta Ombrófila Densa Aluvial Dossel Uniforme
<b>Dbe</b>	Floresta Ombrófila Densa Terras Baixas Dossel Emergente
<b>Dbu</b>	Floresta Ombrófila Densa Terras Baixas Dossel Uniforme
<b>Dse</b>	Floresta Ombrófila Densa Submontana Dossel Emergente
<b>Paas</b>	Formações Pioneiras com influência fluvial e/ou lacustre – arbustiva sem palmeiras
<b>Pahs</b>	Formações Pioneiras com influência fluvial e/ou lacustre – herbácea sem palmeiras
<b>Spf</b>	Savana Parque com floresta de galeria
<b>Db</b>	Floresta Ombrófila Densa Terras Baixas
<b>Sps</b>	Savana Parque sem floresta de galeria
<b>Sd</b>	Savana Florestada (cerradão)
<b>Ap</b>	Área Antrópica (pecuária e pastagem)
<b>Vsp</b>	Área Antrópica (vegetação secundária com palmeiras)
<b>Vss</b>	Área Antrópica (vegetação secundária sem palmeiras)
<b>AA</b>	Área Antrópica (influência urbana)

Objetivando a etapa de integração dos mapas de vegetação, altimetria e uso da terra, e visando diminuir a complexidade do mapa final de unidades da paisagem (UP), foi realizado então um processo de agregação para a redução do número de classes de vegetação, baseado em um limiar de área mínima.

A agregação das classes para geração do mapa reclassificado seguiu o seguinte critério: 1) as classes mais representativas de floresta primária, que apresentaram áreas > 5% do total foram mantidas; 2) as tipologias de vegetação secundária foram agrupadas em duas classes, com e sem palmeiras (Vss and Vsp); 3) todas as classes de pastagem ou agricultura (Ap) foram agrupadas em uma única classe; 4) as classes de floresta densa com dossel emergente (Dbe) que apresentaram áreas < 5% foram

agregadas em uma classe de "Dbe mais outras" (Dbe+outras); e 5) todos os outros tipos de vegetação foram incluídos em uma classe denominada "outras", exceto a classe Dse que foi também mantida. Os limiares de área mínima, tanto para este processamento quanto para o próximo (mapa de UP), foram escolhidos por testes visando reduzir ao máximo o número de classes, interferindo o mínimo no tamanho da área total considerada nesse trabalho. Para a realização do processo de agregação e posterior integração com os outros mapas, o mapa de vegetação foi convertido do formato vetorial para o matricial com uma resolução espacial de 250m x 250m.

### *Dados do Terreno*

Os dados altimétricos digitalizados, extraídos dos mapas topográficos, foram utilizados para construção de um modelo digital do terreno (MNT). Primeiro, foi gerada uma grade triangular irregular (TIN), aplicando o método de triangulação de Delaunay implementada no SPRING (Felgueiras e Goodchild, 1995). Considerando os pontos cotados e as curvas de nível foram geradas superfícies triangulares iniciando no ponto culminante do terreno até atingir uma linha de quebra (linhas de drenagem). Cada vértice dos triângulos possui um valor de altitude associado. Em seguida, foi utilizada uma ferramenta de conversão do TIN em uma grade regular, usando uma interpolação linear, com a mesma resolução espacial do mapa de vegetação (250m x 250m). Assim, como produto desses processamentos obteve-se uma grade numérica de altimetria (metros). Por último, a grade numérica de altimetria foi fatiada em seis intervalos de 50 metros de elevação, variando entre 0 e 300 metros, gerando um mapa temático matricial de altimetria.

### *Mapa de Unidades da Paisagem*

*Mapa Preliminar* - Para a geração do mapa de UP preliminar, ou seja, um mapa integrando o mapa de vegetação com o de altimetria, foram empregados operadores de lógica Booleana. O princípio básico dessa operação consistiu em uma operação lógica, onde cada classe de vegetação poderia ser estratificada em seis unidades distintas, de acordo com as características altimétricas do terreno. Sendo assim, a classe de vegetação "Dbe" poderia ser estratificada em Dbe nas elevações de 0 a 50m, de 50 a 100m, de 100 a 150m, de 150 a 200m, de 200 a 250m e de 250 a 300m., o que aumentaria a complexidade da seleção de áreas amostrais no campo e das análises, além de aumentar o gasto de tempo, de dinheiro e de esforços na análise de áreas pouco representativas. Com essa visão, foi executada uma análise, impondo um limiar de área mínimo, similarmente aquela que foi realizada sobre o mapa de vegetação. Então, os critérios considerados para a reclassificação do mapa de UP preliminar foram: 1) as unidades de floresta primária com áreas menores que 2,5%, 2) as unidades de vegetação secundária com áreas menores que 3,0%, e 3) as unidades agropecuárias com áreas menores que 10% do total foram desconsideradas do mapa.

As unidades excluídas contabilizaram 16,7% da área total, As unidades de floresta secundária foram posteriormente agrupadas em uma única classe chamada "Vss", assim como as unidades de uso agropecuário, que foram agrupadas na classe "Pastagem". O agrupamento das áreas de vegetação secundária foi realizado, já que na próxima etapa, esse mapa foi integrado a um mapa de uso e cobertura da terra (Espírito-Santo, 2003), que, além de mais atual, explorou com mais detalhes a estratificação dessas áreas. Já as áreas de uso agropecuário foram agrupadas devido à sua baixa representatividade na região.

*Mapa Final* - O mapa final de UP foi elaborado com base no mapa de UP preliminar e no mapa de uso e cobertura da terra, gerado por Espírito-Santo (2003). O motivo de realizar a integração nessa última etapa foi que o mapa de uso e cobertura da terra apresenta uma estratificação das áreas de vegetação considerando áreas de regeneração antiga, média e recente, obtida por meio de uma análise multi-temporal de imagens Landsat.

A regeneração antiga considerou as áreas que foram alteradas até 1988 (cena mais antiga utilizada), a regeneração média englobou as áreas alteradas entre 1988 e 1997, e a regeneração recente compreendeu as florestas alteradas entre 1997 e 2001. Assim, utilizando esse mapa sobreposto ao mapa de UP preliminar, que considerou a vegetação do RADAMBRASIL, e identificou áreas de vegetação secundária e agropecuárias até 1976, foi possível mapear as áreas que foram alteradas até 1976 e aquelas de 1976 a 1988. Ou seja, as áreas que foram mapeadas como floresta no mapa de Espírito-Santo (2003), e no mapa de UP preliminar foram mapeadas como vegetação secundária ou sistemas agropecuários, compuseram a classe de vegetação alterada até 1976, enquanto a regeneração antiga, considerada por Espírito-Santo (2003) como áreas alteradas até 1988, ficou definida como áreas alteradas entre 1976 e 1988.

A integração desses dois mapas foi realizada com o uso de uma operação Booleana. A condição definida para integração dos mapas foi a seguinte: Se as classes do mapa de uso e cobertura fossem iguais as três classes de regeneração, ou solo, ou água, ou floresta com Babaçu, ou floresta alterada pelo fogo, ou área de corte seletivo, ou pasto limpo, ou pasto sujo ou vegetação aquática (igapó), então essas seriam incorporadas ao mapa final. Por outro lado, nos locais onde não havia a presença dessas classes, ou seja, áreas classificadas como floresta primária, seriam utilizadas as classes do mapa de UP preliminar.

Similarmente ao mapa de vegetação, os mapas temáticos de altimetria e unidades da paisagem foram analisados quanto ao número e a área relativa das classes. Assim, pode-se caracterizar a representatividade dos principais tipos de uso e cobertura da terra na região do Tapajós.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### *Vegetação*

O mapa original de vegetação apresentou 34 classes, uma de área urbana (AA) e uma de água, somando um total de 36 classes. As classes de vegetação mais representativas da região segundo a análise de área foram as florestas primárias "Densa de baixada com dossel emergente" (Dbe), "Dbe mais Densa de baixada com dossel uniforme" (Dbe+Dbu), "Dbe+Dbu mais Dossel aberto de baixada" (Dbe+Dbu+Abc), "Dbe mais Dossel aberto de baixada com palmeiras mais Abc" (Dbe+Abp+Abc), "Densa sub-montana com dossel emergente mais Dossel aberto sub-montana com palmeiras" (Dse+Asp) e Dbe+Abc, e a floresta secundária (Vss+Ap+Db), cobrindo 79,43% da área total (13.164 km<sup>2</sup>) (Figura 1).

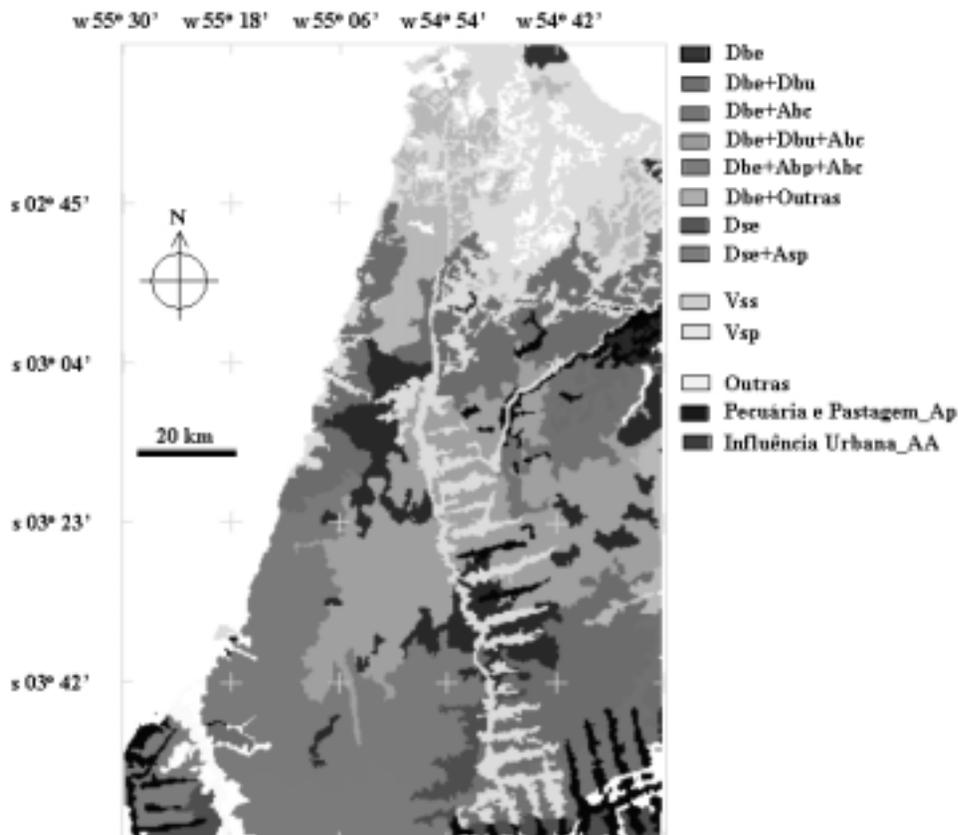
Observou-se com esta análise que a vegetação no Tapajós pode ser representada por sete classes predominantes.

Após a aplicação da rotina de agregação o número de classes de vegetação foi reduzido para 12, afetando apenas 20% da área total (Figura 2).

As classes de vegetação mais representativas não foram afetadas por essas metodologias, por isso, foi possível a geração de um mapa de vegetação mais simples e visualmente similar ao original (Figura 3).



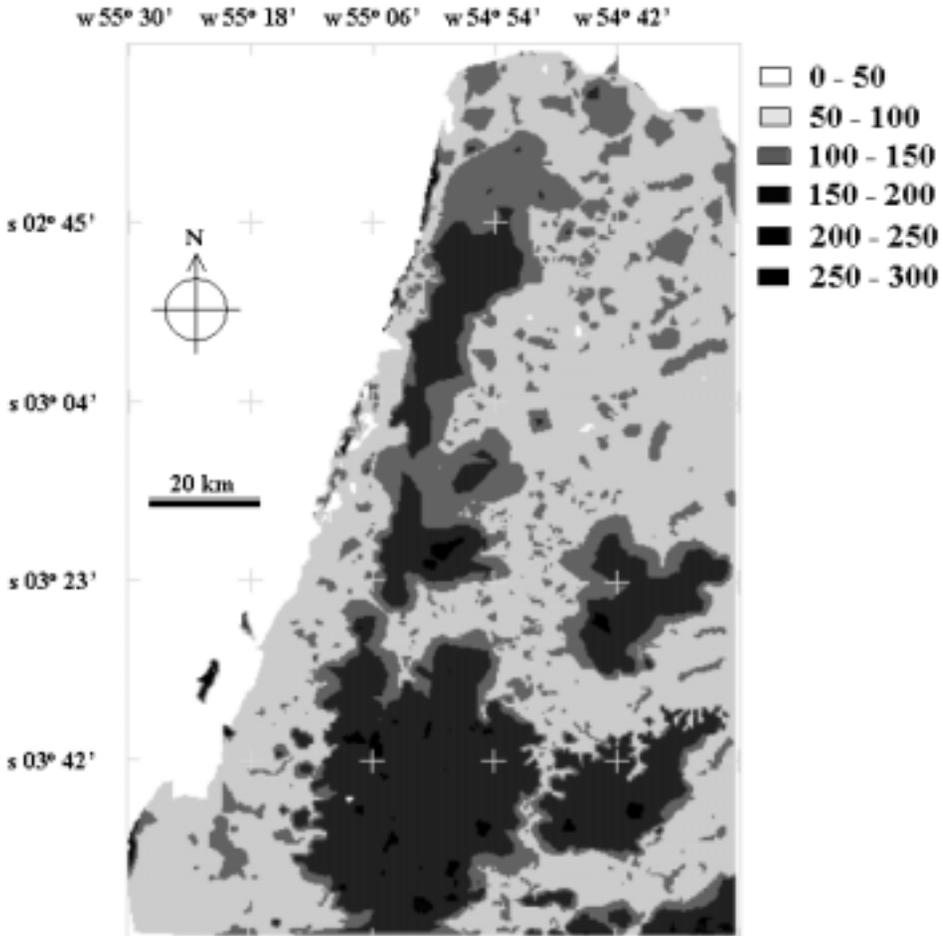
**Figura 3 - Mapa de vegetação (RADAMBRASIL, 1976) reclassificado, mostrando as 12 classes vegetacionais consideradas para geração do mapa de Unidades da Paisagem**



### *Terreno*

O uso de seis classes foi satisfatório para a representação do padrão altimétrico da região estudada, já que as elevações variaram de 50 a 300 metros (Figura 4).

**Figura - 4. Mapa de altimetria, com as seis classes de elevação em metros**

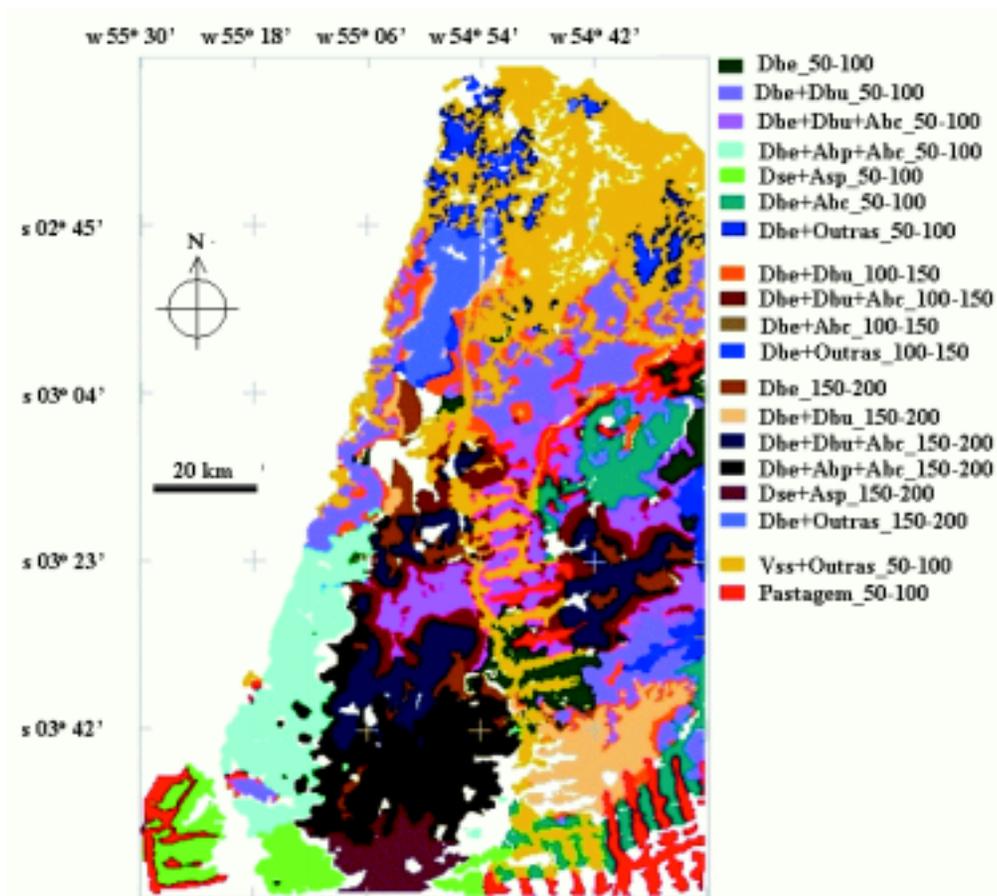


A classe mais representativa foi a de 50-100 m, cobrindo 52% (6.834 km<sup>2</sup>) da área total. As classes com elevação de 100-150 m e 150-200 m contribuíram com 22% (2.840 km<sup>2</sup>) e 24% (3.214 km<sup>2</sup>) da área total respectivamente. As outras classes representaram uma pequena porção do total (2%). Como exemplo, a classe de maior elevação (de 250 m a 300 m), situada no sul da área de estudo, representou apenas 0,12% da área total. O mapa altimétrico destacou a presença de um platô, que se estende no sentido norte-sul da região do Tapajós. Além disso, nota-se também que o terreno apresenta mais irregularidades na fração sul do mapa.

### Unidades da Paisagem

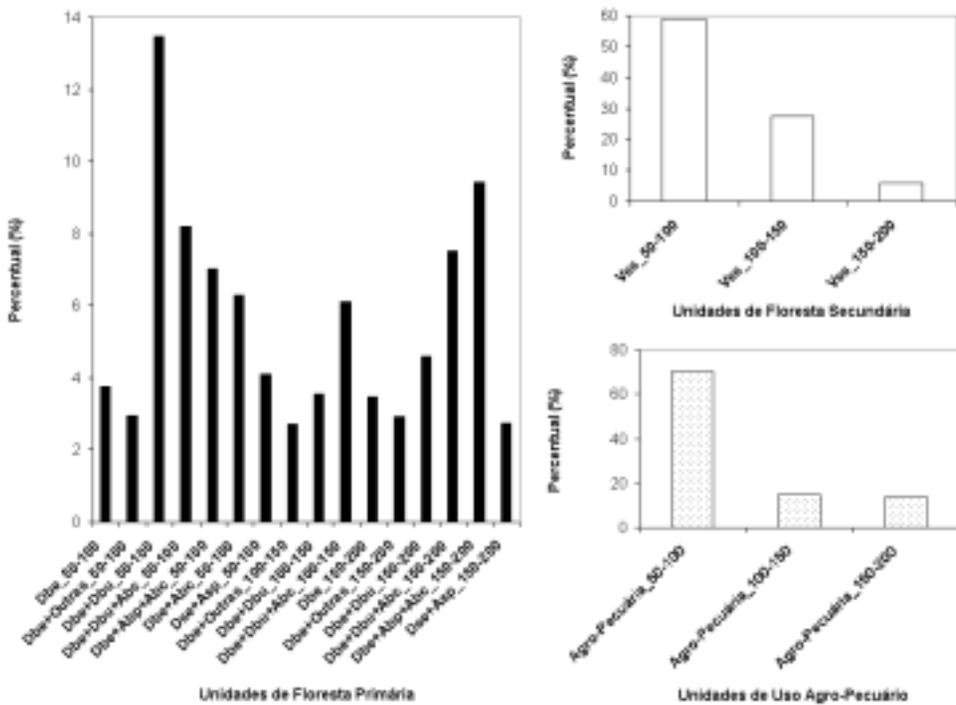
A integração dos mapas de vegetação e de altimetria resultou em 69 UP. Após a análise da contribuição relativa das classes, considerando o limiar de área mínima, previamente definido, foi possível gerar um mapa preliminar com um total de 22 unidades representativas da região (Figura 5).

**Figura 5 - Mapa de Unidades da Paisagem (preliminar), as áreas em branco correspondem às unidades que foram consideradas não representativas pela análise do limiar de área mínimo**



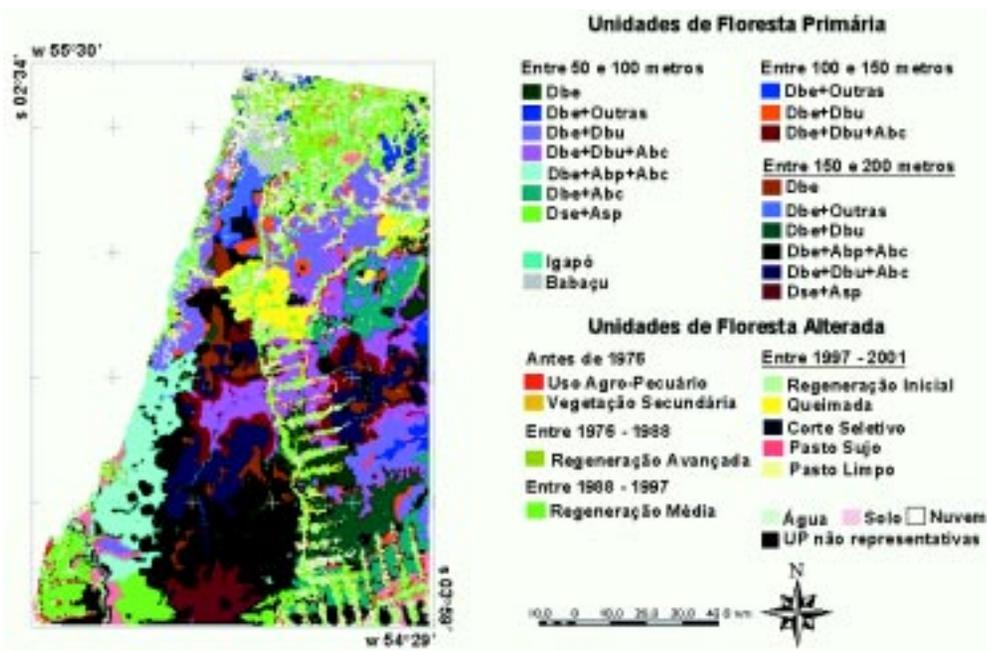
As unidades contendo florestas primárias (totalizando 16) cobriram 62% da área total, e corresponderam a 89% da área total de florestas primárias (9.232 km<sup>2</sup>) (Figura 6a). As unidades de floresta secundária contribuíram com 17% de toda região e 86% da área de vegetação secundária (2.589 km<sup>2</sup>) (Figura 6b). Com uma área de 524 km<sup>2</sup> (3,95% do total), a unidade de uso agropecuário incorporou 99% da área total desse tipo de cobertura (Figura 6c).

**Figura 6 - Contribuição percentual das 22 unidades da paisagem representativas da região do Tapajós. (a) Percentual de cobertura das unidades de floresta primária em relação à área total de floresta; (b) contribuição relativa das unidades de vegetação secundária para o total dessa classe e (c) contribuição relativa das unidades de uso agropecuário para o total dessa classe**



Finalmente, o mapa preliminar de UP foi integrado com o mapa de uso e cobertura da terra gerado por Espírito-Santo (2003). Como resultado dessa integração obteve-se o mapa final de Unidades da Paisagem (UP) para a região do Tapajós, atualizado para o ano de 2001 (Figura 7).

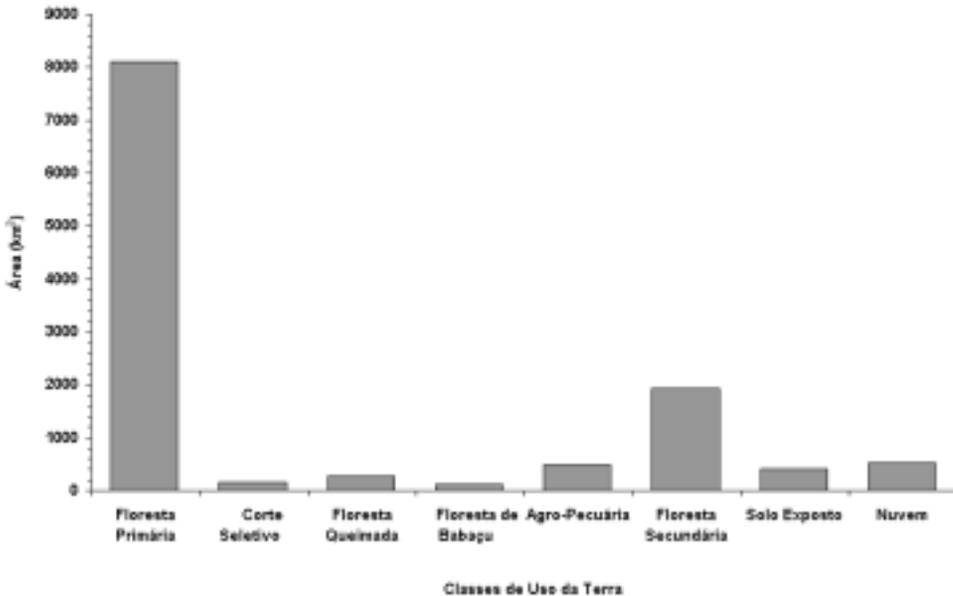
**Figura 7 - Mapa final das Unidades da Paisagem da região do Tapajós, onde as áreas foram classificadas em dois grupos: florestas primárias e florestas alteradas**



O mapa final de UP apresentou uma área total de 12.219 km<sup>2</sup>. Essa redução da área em relação aos mapas anteriores ocorreu devido a um recorte do mapa, para integração com o mapa de uso e cobertura da terra. Esse recorte eliminou parte da área na porção norte, que corresponde ao limite superior da cena 227/62 utilizada para gerar o mapa de uso e cobertura. Devido a este processo, o mapa final de UP apresentou uma pequena diferença em relação ao mapa preliminar em termos de área das unidades de floresta primária e secundária, cobrindo 66% e 17% da área total, respectivamente. O aumento da área de floresta primária de 62% no mapa preliminar para 66% no mapa final ocorreu devido ao recorte da porção norte do mapa, que eliminou uma área de 945 km<sup>2</sup>, dominada por áreas não florestadas ou alteradas (Figura 5).

Após a atualização do mapa preliminar de UP com as características de uso e cobertura da terra contidas no mapa de Espírito-Santo (2003), foi possível quantificar a contribuição relativa das Unidades da Paisagem mapeadas (Figura 8).

**Figura 8 - Área relativa dos principais tipos de uso e cobertura da terra na região do Tapajós extraída do mapa final de Unidades da Paisagem**



A área dos sistemas agropecuários não sofreu alterações significativas em relação ao mapa preliminar, passando de 3,95% para 4,06% do total. Isso mostrou que a dinâmica de desflorestamento, entre 1976 e 2001, foi nitidamente lenta na região estudada. Contudo, a área relativa de outros tipos de impacto sobre a vegetação original, que não estavam mapeadas no mapa preliminar, tais como, queimada (2,23%) e corte seletivo (1,34%), puderam ser avaliados. As áreas de solo exposto, que cobriram cerca de 3% da região. O mapa final também apresentou uma unidade de floresta dominada por Babaçu (*Orbignya martiana*), contribuindo com 1% do total.

As áreas de floresta impactadas ou que foram modificadas pelo homem estão distribuídas principalmente ao longo da rodovia BR-163, que liga as cidades de Santarém e Cuiabá. Estudos recentes mostraram que os padrões de desflorestamento estão fortemente associados à ocorrência de rodovias na região amazônica (NEPSTAD *et al.*, 2001; ALVES *et al.*, 2002). Assim, o padrão observado na região do Tapajós está intimamente conectado a seu processo de ocupação. Como em outras regiões da Amazônia, a ocupação humana ocorreu com um padrão "espinha de peixe", onde são abertas estradas vicinais para o estabelecimento de pequenas propriedades rurais após o desmatamento e queima das áreas de floresta primária. Após alguns anos essas áreas tornam-se improdutivas e são abandonadas, permitindo o restabelecimento da floresta. Esse processo cíclico de desflorestamento e abandono resulta na fragmentação da paisagem, onde mosaicos de vegetação secundária, em diversos estágios, pastagens e áreas cultivadas estão inseridas em uma matriz de floresta primária.

## CONCLUSÕES

A integração da base cartográfica de vegetação e terreno indicou que a região do Tapajós possui uma diversificação de tipologias vegetais que tornam-se cada vez mais complexas quando os padrões espaciais da geomorfologia e do uso da terra são incorporados como modificadores da vegetação.

O mapa de UP permitiu a elaboração de um cenário atual da cobertura vegetal no Tapajós. A partir da análise deste mapa foi possível concluir também que apesar das florestas primárias representarem a vegetação predominante na região do Tapajós, uma área significativa da região (cerca de 28%), já sofreu algum tipo de intervenção antrópica. Dentre as áreas alteradas o mapeamento das UP destacou a relevância das florestas secundárias, que muitas vezes não são consideradas, para a caracterização dos processos da vegetação nesta região.

Com a disponibilidade crescente de imagens de satélite, a distribuição dos padrões de desflorestamento e regeneração da vegetação deve ser sempre considerada nos estudos relativos a dinâmica do carbono no ecossistema amazônico, contribuindo assim para o aumento da exatidão das estimativas.

Finalmente, a rotina utilizada na geração do mapa de UP foi eficiente na caracterização da heterogeneidade da paisagem. As vantagens desse método são a preservação das tipologias mais representativas e a redução do número de unidades amostrais. Este tipo de mapeamento é um importante suporte para execução de pesquisas na escala regional e resolução espacial de alta a moderada (30 m – 500 m).

## REFERÊNCIAS

- Alves, D.S. Space-time dynamics of deforestation in Brazilian Amazonia. **International Journal of Remote Sensing**, v. 14, p. 2903-2908, 2002.
- ANEEL, 2000. Bacias Hidrográficas do Brasil: Bacia do Amazonas – Rios Amazonas/ Tapajós. **Estudos e Informações Hidrológicas**. Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica. Disponível em: [www.aneel.gov.br](http://www.aneel.gov.br). Acesso em: 01/03/2004.
- Câmara, G.; Souza, R.C.M.; Freitas, U.M.; Garrido, J.; Mitsuo, F. SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling. **Computers & Graphics**, v. 20, n. 3, p. 395-403, 1996.
- Diretoria de Serviço Geográfico (DSG). Brasília: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. SA.21-Z-B-IV, SA.21-Z-B-V, SA.21-Z-D-I, SA.21-Z-D-II, SA.21-Z-D-IV e SA.21-Z-D-V. Brasília, 1984. Mapa Topográfico. Escala 1:100.000.
- Eldt, R. C. The climatology of South America. In: Fittkau, E.J., Illies, J., Klinge, H., Schwabe, G.H., Sioli, H.W. (Ed.), **Biogeography and ecology in South America**. Berlin: Junk Publishers, p. 54-81. 1968.
- Espírito-Santo, F. D. B. **Caracterização e mapeamento da vegetação da região da Floresta Nacional do Tapajós através de dados óticos, radar e de inventários florestais**. 2003. 249 p. (INPE-10133-TDI/898). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto), São José dos Campos. 2003.
- Felgueiras, C. A.; Goodchild, M. F. **An incremental constrained Delaunay triangulation**. Santa Barbara, California: National Center for Geographic Information and Analysis, USA. 1995. Technical Report 95-2.
- Franklin, J.; Woodcock, C. E. Multiscale vegetation data for mountains of southern California: Spatial and categorical resolution. In: Quattrochi, D A.; Goodchild, M.F. Ed. **Scale in remote sensing and GIS**. Boca Raton: Lewis Publishers, Cap. 7., p. 141-168. 1997.

Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA). **Recursos Florestais: Floresta Nacional do Tapajós**. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/recflor/tapajos.htm>. Acesso em: 01/06/2003.

Jiang, H.; Apps, M. J.; Zhang, Y.; Peng, C.; Woodard, P. M. Modelling the spatial pattern of net primary productivity in Chinese forests. **Ecological Modelling**, v. 122, p. 275-288, 1999.

McKane, R. B.; Rastetter, E. B.; Melillo, J.M.; Shaver, G. R.; Hopkinson, C. S.; Fernandes, D. N.; Skole, D. L.; Chomentowski, W. H. Effects of global change on carbon storage in tropical forests of South America. **Global Biogeochemical Cycle**, v. 9, n. 3, p. 329-350, 1995.

Nemani, R.R., C.D. Keeling, et al. Climate-Driven Increases in Global Terrestrial Net Primary Production from 1982 to 1999. **Science**. v. 300, p. 1560-1563, 2003.

Nepstad, D.; Carvalho, G.; Barros, A. C.; Alencar, A.; Capobianco, J. P.; Bishop, J.; Moutinho, P.; Lefebvre, P.; Silva Jr., U. B.; Prins, E. Road paving, fire regime feedbacks, and the future of Amazon forests. **Forest Ecology and Management**, v.154, p. 397-407, 2001.

Potter, C. S.; Randerson, J. T.; Field, C. B.; Matson, P. A.; Vitousek, P. M.; Mooney, H. A.; Klooster, S. A. Terrestrial ecosystem production: a process model based on global satellite and surface data. **Global Biogeochemical Cycles**, v. 7, n. 4, p. 811-841, 1993.

Radambrasil, Levantamento de Recursos Naturais: **Folha SA.-21 Santarém, geologia, geomorfologia, solos, vegetação e uso potencial da terra**. Projeto RADAMBRASIL. Vol. 10. Ministério das Minas e Energia, Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM). Rio de Janeiro. 522 p. 1976.

Salati, E.; Vose, P. B. Amazon Bashl: a system in equilibrium. **Science**, v. 225, p. 129-138, 1984.

Silva, B. N. R.; Carvalho, J. S. **Pesquisas sobre a utilização e conservação do solo na Amazônia Oriental**: Os solos da Amazônia Oriental. Convênio EMBRAPA-CPATU/GTZ (Documentos, 40). Belém: EMBRAPA-CPATU, 1986, p.15-41.

Silva, J. N.; Carvalho, J. O.; Lopes, J. C. Inventário florestal de uma área experimental na Floresta Nacional do Tapajós. **Boletim de Pesquisa Florestal**, v. 10/11, p. 38-110, 1985.

Williams, M.; Malhi, Y.; Nobre, A. D.; Rastetter, E. B.; Grace, J.; Pereira, M. G. Seasonal variation in net carbon exchange and evapotranspiration in a Brazilian rain forest: a modelling analysis. **Plant, Cell and Environment**, v. 21, p. 953-968, 1998.

Williams, M.; Rastetter, E. B.; Shaver, G. R.; Hobbie, J. E.; Carpino, E.; Kwiatkowski, B. L. Primary production of an arctic watershed: an uncertainty analysis. **Ecological Applications**, v.11, n.6, p.1800-1816, 2001a.

Williams, M.; Shimabukuro, Y. E.; Herbert, D. A.; Lacruz, S. P.; Renno, C.; Rastetter, E. B. Heterogeneity of soils and vegetation in eastern Amazonian rain forest: Implications for scaling up biomass and production. **Ecosystems**, v. 5, p. 692-704, 2002.

Zonneveld, I. S. A fundamental concept in landscape ecology and its applications. **Landscape Ecology**, v. 3, n. 2, p. 67-86, 1989.

Recebido em outubro de 2004

Aceito em julho de 2005