

Mapeamento da Antiga Cobertura Vegetal de Várzea do Baixo Amazonas a Partir de Imagens Históricas (1975-1981) do Sensor MSS-Landsat

RENÓ, V.F.; NOVO, E.M.L.M; ALMEIDA-FILHO, R.; SUEMITSU, C.

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (DSR/OBT)
Caixa Postal 515 - 12201-970 - São José dos Campos - SP, Brasil

UFPA - Universidade Federal do Pará, Campus de Santarém.
Avenida Marechal Rondon s/n. 68040-070, Santarém-PA.

(vivianfr, evlyn, rai)@dsr.inpe.br; chieno@ufpa.br

Resumo. Este estudo apresenta o mapa da cobertura vegetal na planície de inundação do Rio Amazonas entre as cidades de Parintins (AM) e Santarém (PA), com base em imagens Landsat-MSS adquiridas entre 1975 e 1981. O processamento digital dessas imagens envolveu a transformação para imagens-fração de vegetação, solo e água escura (sombra), seguido da aplicação de técnicas de segmentação e classificação por região. O mapa resultante da classificação foi organizado em quatro classes de cobertura do solo: floresta de várzea, não-floresta de várzea, solo exposto e água. Informações de campo coletadas em 113 pontos de observação distribuídos ao longo da área de estudo foram utilizadas para avaliar estatisticamente a precisão do mapa. O Índice Kappa de concordância entre dados de campo e o mapa resultante da classificação automática foi igual a 0,76. Os resultados mostraram que a região possuía uma cobertura florestal de várzea significativa no período de aquisição das imagens.

Palavras chave: sensoriamento remoto, mapeamento automático, floresta de várzea, Landsat-MSS.

Abstract. This study presents a map of the vegetation cover in Amazonas River floodplain between the towns of Parintins (AM) and Santarém (PA), based on Landsat-MSS scenes from 1975 to 1981. Digital processing involved the transformation of multispectral images into fraction-images of vegetation, soil and dark water (shadow), followed by the application of segmentation and region-classification techniques. The resulting map was organized with four classes of land cover types: floodplain forest, non-floodplain forest, bare soil, and water bodies. Field information collected in 113 observation points along the study area was used to assess the map accuracy. Application of Kappa Index to verify the agreement between field data and the map generated by automatic classification reached a 0.76 value. According to results, the region had significant coverage of floodplain forest at the time of image acquisition.

Key-words: remote sensing, automatic mapping, floodplain forest, Landsat-MSS.

INTRODUÇÃO

As florestas de várzea da bacia amazônica são ecossistemas ricos em recursos naturais e de grande importância ecológica, econômica e social. O desflorestamento nestas áreas gera impactos não só nos ecossistemas terrestres, como também na biodiversidade dos sistemas aquáticos (Costa *et al.*, 2007), na circulação da água nas várzeas (Barbosa,

2005), na produção pesqueira, na qualidade da água e na saúde das populações ribeirinhas (Novo *et al.*, 2007).

Um estudo de Hess *et al.* (2003) utilizando imagens de radar adquiridas em 1996 mostra que a cobertura vegetal de várzea dos rios Amazonas/Solimões apresenta diferença significativa entre a região à montante de Manaus e a sua jusante. Segundo os autores, florestas inundáveis dominavam a paisagem a montante da foz do Rio Negro, enquanto a jusante a vegetação era predominantemente herbácea e arbustiva. Estudos anteriores não são conclusivos quanto à natureza dessa diferença florística. Para alguns autores (e.g. DNPM, 1976) ela está associada a fatores naturais, como por exemplo, posição geográfica e hidroperíodos (Wittmann *et al.*, 2004; Wittmann *et al.*, 2006), enquanto outros (e.g. Barros e Uhl, 1997; IBGE, 2004; Winklerprins, 2006) afirmam que os campos de várzea a jusante da foz do Rio Negro são, em grande parte, resultado da atividade antrópica.

A ocupação das ilhas e margens da planície de inundação do Rio Amazonas é antiga, havendo relatos de ocupação muito antes do descobrimento do Brasil (Denevan, 1996; Roosevelt, 2000). No século XIX, extensas áreas das planícies de inundação foram desflorestadas para dar lugar a plantações de cacau. Entretanto, foi a introdução da juta nas primeiras décadas do século passado a principal responsável pelo desflorestamento das várzeas. Estudos realizados por WinklerPrins (2006) mostram que a produção de juta praticamente dominou a atividade agrícola de Manaus a Santarém entre os anos de 1930 e 1990. Segundo o autor, a cobertura vegetal da planície nessa região é bastante diversificada, consistindo uma mistura de floresta nativa, floresta em regeneração, campos naturais e áreas cultivadas. Atualmente essas áreas encontram-se novamente sob pressão antrópica, em vista das políticas de controle do desflorestamento em Terra Firme. Em função disso, a atividade pecuária tem migrado para a planície aluvial,

limitando a regeneração da cobertura vegetal de várzea (Smith, 1999; WinklerPrins, 2006).

A atividade pecuária na várzea não é um fenômeno recente, no entanto. Na região de Santarém ela teve início por volta de 1661 com o estabelecimento de uma missão comandada por europeus. Tratava-se de um sistema extensivo de criação que usava as abundantes gramíneas da várzea quando o rio estava baixo e deslocava o gado para as terras mais altas, ou para currais sobre estacas (marombas), nos períodos de cheias (Bunker, 1982). Desde então, a pecuária tornou-se uma alternativa de renda para as comunidades ribeirinhas, especialmente durante o período de cheia, quando há redução da produção pesqueira. Políticas públicas via incentivos fiscais visando a ocupação da Amazônia fez com que ocorresse grande aumento da atividade pecuária de várzea nas últimas décadas. A criação de novas áreas de pastagem em Terra Firme, próximas às várzeas, possibilitou que o rebanho pudesse ser deslocado da várzea para essas novas áreas durante os períodos de cheia. Isso fez com que o número de cabeças de gado aumentasse muito, já que deixou de ser limitado ao pouco espaço disponível nas marombas e nas áreas mais altas da várzea (McGrath *et al.*, 2006).

Outros fatores também impulsionaram o desflorestamento em áreas da várzea. Segundo Barros e Uhl (1997), no final dos anos 1950 instalaram-se na região do Baixo Amazonas grandes serrarias que passaram a explorar seletivamente as florestas de várzea. Somente a partir de 1970, com a abertura de estradas oficiais, deu-se início à exploração de madeira em Terra Firme. Apesar de a exploração madeireira nestas áreas ter maior lucratividade, o rendimento de pequenas serrarias familiares localizadas na várzea também é alto, se for considerada a taxa interna de remuneração do capital investido em relação a outras atividades econômicas na várzea. Por essa razão, cerca de

mil serrarias desse tipo foram instaladas na região do Baixo Amazonas e estuário, entre as décadas de 1980 e 1990 (Barros e Uhl, 1997).

Em vista desse cenário, a hipótese deste trabalho é que a diferença verificada na cobertura vegetal de várzea não é apenas devida a fatores naturais, mas possui também um componente importante de interferência antrópica. Com base nessa hipótese, o presente trabalho objetivou mapear a antiga cobertura vegetal de várzea de um trecho do Baixo Amazonas a partir de imagens históricas (1975-1981) do sensor MSS (Multispectral Scanner System) dos satélites da série Landsat.

Os dados históricos resultantes deste trabalho, comparados a dados recentes da cobertura vegetal de várzea, permitirão avaliar a extensão do desflorestamento ocorrido no período. Se Agregados a dados das décadas de 1980, 1990 e 2000 este trabalho poderá fornecer informações valiosas sobre a evolução do processo de desflorestamento ao longo dessas décadas, permitindo uma melhor avaliação de seus impactos sobre as várzeas.

Área de Estudo

Centrada na cidade de Santarém, a região de estudo se estende por cerca 600 km ao longo das margens do Rio Amazonas, entre as cidades de Parintins (AM) e Almeirim (PA) (Figura 1).

Figura 1

De acordo com Sheikh *et al.* (2006), a área de estudo faz parte da região do Baixo Amazonas, que se estende desde a divisa entre os estados do Amazonas e do Pará, até a confluência do Rio Xingu. Em contraste com a região a montante de Manaus, que se caracteriza por lagos em forma de canais e cobertura vegetal de várzea dominada por florestas (70%), a região a jusante se caracteriza pela presença de lagos de formatos

arredondados, e apenas 10% da cobertura vegetal de várzea é constituída por florestas (McGrath *et al.*, 2006).

Como a área de estudo está localizada a jusante de Manaus, pode ser considerada uma área teste significativa para a hipótese do trabalho. Além disso, cerca de 50% dela faz parte do trecho de várzea mais afetado pela produção da juta, que vai de Manaus a Santarém.

MATERIAL E MÉTODOS

Processamento Digital das Imagens Landsat-MSS

Para cobrir a área de estudo foram utilizadas oito cenas Landsat-MSS (Figura 1); tendo sido priorizadas as imagens mais antigas, com menor cobertura de nuvens e em épocas próximas ao período de vazante do Rio Amazonas que, em geral, ocorre entre os meses de agosto, setembro e outubro.

A opção por imagens adquiridas próximas ao período de vazante levou em conta a baixa cobertura de nuvens relativa a este período, aliada a necessidade de minimizar os efeitos da amplitude de variação anual do nível da água na região, que pode atingir, em média, oito metros (Barbosa, 2005); o suficiente para encobrir grande parte da cobertura vegetal herbácea e arbustiva e dificultar a recuperação da informação sobre a cobertura do solo. Baseada em dados da Agência Nacional de Águas (<http://www.ana.gov.br/>), a Figura 2 mostra cotas médias diárias e cotas médias históricas (1970 a 2007) do Rio Amazonas na estação fluviométrica de Óbidos, referentes às datas de aquisição de cada uma das cenas MSS utilizadas, indicadas na Figura 1.

Figura 2

A análise da Figura 2 mostra que, nas datas de aquisição das cenas utilizadas, o nível da água do Rio Amazonas não se encontrava mais do que 100cm acima ou abaixo da média histórica. É importante notar, no entanto, que a amplitude de variação do nível da

água entre as cenas são maiores, atingindo 453cm entre a cena de maior cota (244/62) e menor cota (244/61).

Não há como estimar a influência dessas variações de cotas na extensão das áreas inundadas, nem seus impactos no mapa resultante da classificação automática das imagens, sendo possível, apenas, fazer algumas inferências a esse respeito. Como a grande maioria das espécies vegetais encontradas nas áreas de floresta de várzea possui mais que 5m de altura, uma variação do nível da água com magnitude inferior a este valor, não é suficiente para prejudicar o mapeamento das áreas florestadas. Há de se considerar, no entanto, as implicações dessa variação em relação aos demais tipos de cobertura da região. No caso de aumento do nível da água, grandes áreas de solo exposto e vegetação não-florestal podem ficar submersas, e, portanto, subestimadas nas análises. Já a diminuição do nível da água pode deixar expostas áreas de solo antes submersas ou ocupadas por planta aquática, e, nesse caso, estas áreas seriam superestimadas.

O processamento das imagens Landsat-MSS foi realizado com o programa SPRING (Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas), desenvolvido pela Divisão de Processamento de Imagens (DPI) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) (Câmara *et al.*, 1996). Primeiramente as imagens foram geometricamente corrigidas, utilizando como referência as cenas Landsat-TM (Thematic Mapper) ortorretificadas, disponíveis na base de dados Global Land Cover Facility (<http://glfc.umiacs.umd.edu>). O procedimento foi realizado com a identificação de pontos de controle bem distribuídos nas cenas e ajuste de um polinômio de 1º grau para efetuar a associação das coordenadas da imagem MSS com os pontos de controle na imagem de referência. O erro de posicionamento expresso pelo RMS (Root Mean

Square) foi sempre menor que 0,90 pixel para todas as cenas; considerado aceitável por corresponder a menos de um pixel da imagem.

Após o registro foi aplicado o Modelo Linear de Mistura Espectral (MLME) nas bandas originais (MSS4 (0,50-0,60 μ m); MSS5 (0,60-0,70 μ m); MSS6 (0,70-0,80 μ m) e MSS7 (0,80-1,10 μ m). Essa técnica (Shimabukuro e Smith, 1991) assume que o valor digital de um pixel da imagem representa a média das respostas espectrais dos diferentes componentes contidos nesse pixel, e utiliza uma relação linear para representar a mistura da resposta espectral desses componentes. Assim, a resposta de cada pixel, em qualquer banda espectral, pode ser definida como uma combinação linear das respostas de cada componente nele contido. Portanto, para qualquer imagem, se as respostas espectrais dos componentes puros são conhecidas, então as proporções dos componentes podem ser calculadas (Shimabukuro *et al.*, 1998).

Para que o modelo possa ser aplicado, é preciso definir com precisão os membros de referência (“endmembers”) que representarão o comportamento espectral dos componentes puros escolhidos para a geração das imagens-fração. Neste estudo foram obtidas diretamente da imagem as respostas espectrais dos seguintes componentes puros: solo, vegetação e água escura (sombra). A partir daí foi possível estimar as proporções de cada um desses componentes nas cenas originais do Landsat-MSS, gerando as imagens-fração correspondentes.

Em seguida, as cenas foram recortadas para delimitar a região correspondente às áreas de várzea. Os limites de corte foram definidos com base em uma máscara de áreas inundáveis, elaborada por Hess *et al.* (2003) e Melack *et al.* (2004) a partir de imagens de radar em banda-L do satélite JERS-1 (Japanese Earth Resources Satellite-1). Todo o processamento subsequente foi realizado nas imagens recortadas.

As imagens-fração foram submetidas a um algoritmo de segmentação, uma técnica de agrupamento de dados na qual regiões espacialmente adjacentes e de características espectrais semelhantes podem ser agrupadas. Para realizar esse processo é necessário definir dois limiares: a) o limiar de similaridade, que é a diferença mínima entre os níveis de cinza da imagem para a definição de uma borda entre áreas e; b) o limiar de área, valor de mínima dimensão, dado em número de pixels, para que uma região seja individualizada. Neste trabalho as imagens fração (solo, vegetação e água escura) foram segmentadas pelo método de crescimento de regiões, utilizando os limiares de similaridade e de área iguais a oito (valor definidos após a aplicação de testes).

Em seguida, as imagens-fração segmentadas foram submetidas a uma técnica de classificação não-supervisionada por região. O algoritmo leva em consideração os atributos estatísticos das regiões, dentro de certos limiares de aceitação pré-determinados, para a definição de diferentes temas. Após diversos testes, foi definido um limiar de aceitação igual a 75%, por ser o que melhor expressava o resultado das classificações em termos de distribuição espacial das classes.

Os temas resultantes da classificação foram associados às classes **floresta de várzea**, **solo exposto**, **água** e **não-floresta de várzea**, sendo esta última referente a quaisquer outros tipos de vegetação que não fossem floresta. Após a classificação das cenas individuais, estas foram justapostas para a formação de um mapa temático integrado.

Dados de Campo

Com o objetivo de avaliar os resultados da classificação das imagens, em termos da distribuição espacial das classes acima mencionadas, foi realizada uma campanha de coleta de dados de campo entre os dias 11 e 24 de junho de 2009. Na tentativa de avaliar os resultados da classificação de imagens adquiridas há aproximadamente 30 anos, foram utilizadas duas abordagens distintas. A primeira foi a aplicação de questionários

junto às comunidades ribeirinhas, principalmente entre a população idosa, para a coleta de informações sobre os entrevistados (idade, tempo de residência na comunidade, nível de alfabetização etc.); as características e condições da comunidade (tempo de existência, atividades de subsistência dos moradores, saneamento básico, educação etc.); e sobre possíveis modificações que tenham ocorrido na paisagem da região (tipo de modificação, recorrência, motivos etc.). A segunda abordagem consistiu na descrição de pontos de campo, com coleta de informações sobre estrutura, composição, diversidade e estágio sucessional da cobertura vegetal.

Para que os dados das entrevistas fossem relevantes para a avaliação do mapeamento era importante que o tempo de existência das comunidades entrevistadas, assim como a idade dos entrevistados e o tempo de residência destes na comunidade, fossem maiores que 30 anos. No entanto, devido à grande cheia do Rio Amazonas no período da campanha de campo, muitas comunidades de várzea encontravam-se total ou parcialmente abandonadas, dificultando a coleta de informações.

Do total de comunidades entrevistadas, 91% residiam na área há mais de 30 anos, sendo 20% entre 30 e 50 anos e 71% com mais de 51 anos. Os restantes 9% não possuíam esta informação. Apesar disso, em nenhuma das comunidades entrevistadas houve relatos de tempo de existência menor que 30 anos. Em relação à idade e ao tempo de residência dos entrevistados, 95% possuíam idade igual ou maior que 30 anos, sendo que destes, apenas 5% disseram não terem nascido na comunidade na qual se encontravam, ou seja, residiam na comunidade a menos de 30 anos.

Durante os 14 dias de campanha de campo foram feitas entrevistas em 44 comunidades e descrições em 69 pontos de campo, totalizando 113 pontos de coleta de dados, indicados na Figura 3. Como se pode constatar, a coleta de dados foi feita em diferentes pontos da região de estudo, de forma a obter-se uma boa espacialização e uma

amostragem representativa dos diferentes tipos de cobertura. Para localizar as regiões em campo foi utilizado um sistema de posicionamento “Global Positioning System” (GPS).

Figura 3

Os dados de cada ponto de coleta foram analisados e rotulados de acordo com as classes pré-estabelecidas para a classificação das imagens, como mostram os exemplos a seguir:

1. Entrevistas realizadas na comunidade São Judas Tadeu, localizada no município de Prainha (S 1° 53' 39" / O 53° 29' 17"), indicam que a área da comunidade era coberta por floresta de várzea na década de 1970. Por esse motivo o ponto foi rotulado como **Floresta**, mesmo que atualmente grande parte dessa área seja composta por outros tipos de cobertura vegetal. No caso dessa comunidade, foi entrevistada uma família de moradores antigos, incluindo o senhor Tadeu Araújo Brandão (65 anos), artesão, alfabetizado, nascido e criado na comunidade;
2. Os dados coletados no Ponto A13 (S 2° 15' 16.3" / O 56° 33' 10.9"), município de Nhamundá, revelaram a presença de uma área de floresta de várzea de sucessão primária, com alta diversidade de espécies e com mais de 30 anos de existência. Neste local foram encontradas espécies arbóreas emergentes de até 40m de altura, como a castanha-de-macaco (*Couropita subsessilis* Pilg.), a sapucaia (*Lecythis pisonis* Camb.), a sumaúma (*Ceiba pentandra*), o angelim (*Hymenolobium* sp.) e grandes figueiras (*Ficus* sp.). Os troncos envelhecidos e expostos de algumas castanhas-de-macaco estavam tomados por cactáceas epífitas robustas (*Epiphyllum* sp.). Também foram observadas espécies arbóreas e de palmeiras típicas de florestas de várzea ocorrendo de forma esparsa e freqüente, entre as quais o tarumá (*Vitex cymosa* Bert.), o uruará (*Cordia hirsuta* Fresen.), o mari-sarro (*Cassia grandis* L.f.), o arapari (*Macrolobium acaciefolium* Benth.), o jauari (*Astrocaryum jauari* Mart.), o

tucumã (*Astrocaryum aculeatum* Meyer) e o marajá (*Bactris major* Jacq.). Além de lianas hemiepifíticas robustas da espécie *Noranthea cf.* e cebolas bravas (*Clusia sp.*), que são espécies características de ecossistemas florestais desenvolvidos e preservados, com, pelo menos, 30 anos de existência. Assim, devido à estrutura, composição, diversidade de espécies locais e indicação da presença de cobertura florestal há 30 anos atrás, o ponto foi rotulado como **Floresta**.

Análise Estatística dos Resultados

Depois de rotulados, os dados de campo foram plotados no mapa resultante da classificação automática das imagens, permitindo a geração de uma matriz de confusão. Esta matriz foi utilizada como base para o cálculo do Índice Kappa (k), uma técnica de medida de exatidão que pode ser utilizada para determinar se uma matriz de erro é significativamente diferente de outra (Congalton e Green, 1999). Esta medida é baseada na diferença entre a exatidão global (indicada pela diagonal da matriz) e a exatidão de risco do produtor e do consumidor, que é indicada pelas somas das linhas e colunas da matriz de confusão, dada por:

$$k = \frac{N \cdot \sum_{i=1}^r x_{ii} - \sum_{i=1}^r x_{i+} x_{+i}}{N^2 - \sum_{i=1}^r x_{i+} x_{+i}}$$

onde N é o número total de pixels na imagem, x_{ii} são os elementos diagonais da matriz e x_{i+} e x_{+i} representam os totais das linhas e colunas da matriz. O k varia entre 0 e 1, sendo valores acima de 0,75 considerados “muito bons” a “excelentes”, e valores abaixo de 0,4 considerados “ruins” (Mather, 2005).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Mapa Histórico da Cobertura Vegetal de Várzea

Após o processamento das imagens foi feito um mosaico das cenas classificadas, resultando em um mapa temático referente ao período de 1975-1981, indicado na Figura 4.

Figura 4

Os resultados indicam que entre 1975 e 1981, as áreas de floresta de várzea ocupavam cerca de 8.650 km², as áreas com vegetação não-florestal de várzea perfaziam cerca de 7.730km², enquanto as áreas de solos expostos ocupavam cerca de 1.920km². A análise do mapa permite constatar a presença de formações florestais em grande parte da área de estudo, inclusive entre Parintins e Santarém. Esta mesma região é apresentada no mapa de Hess *et al.* (2003) como dominada por vegetação herbácea, o que indica que houve remoção de parte da cobertura florestal entre o período aqui analisado (1975-1981) e 1996.

O mapa obtido com as imagens históricas mostra uma marcante variação no tipo de cobertura entre as metades oeste e leste da área de estudo. Assim, a montante da foz do Rio Tapajós predominam áreas de floresta de várzea, enquanto que a jusante, mais acentuadamente a partir do meridiano de 54°, ocorrem áreas de vegetação não-florestal. Esta diferença pode indicar variação no padrão de cobertura vegetal natural entre esses dois setores da área de estudo, ou pode ser devida a fatores antrópicos, indicando a substituição da cobertura de florestas de várzea originais. Nesse aspecto, deve-se considerar também que as cenas da órbita 243 foram adquiridas em 1981, e sendo mais recentes que as demais (Figura 1), podem ter registrado mais sinais de atividades antrópicas.

Análise dos Dados de Campo

Muitos são os fatores que podem influenciar os resultados de uma classificação automática, tais como o tipo de sensor, época de aquisição da imagem, classificador etc.

Por esse motivo, a mensuração do erro contido em um mapa temático resultante de classificação automática é importante para sua aplicabilidade.

Dado que existe uma diferença temporal de cerca de 30 anos entre as datas de obtenção das imagens e o trabalho de campo realizado na região, foram levantados dados que permitiram estimar, mesmo que grosseiramente, o grau de mudança ocorrida nesse período. Para as áreas visitadas em campo, o erro temático do mapa resultante foi estimado através do Índice Kappa. Além do Índice Kappa geral, também foram calculados os Índices Kappa parciais de cada classe, indicados na Tabela 1.

Tabela 1 – Índice Kappa calculado para as diferentes classes de cobertura mapeadas na região de estudo.

Classe	Índice Kappa
Floresta de Várzea	0,72
Não-Floresta de Várzea	0,76
Solo Exposto	0,84
Água	0,85
Kappa Geral	0,76

Os valores do Índice Kappa, tanto parcial quanto geral, indicam uma boa concordância entre os dados obtidos em campo e o mapa temático resultante do processamento das imagens.

Durante a campanha de campo foi possível observar que a atual cobertura do solo na região é composta por campos de várzea e capoeiras, entremeadas por remanescentes de florestas nativas e em regeneração. Algumas espécies residuais presentes nas áreas de vegetação secundária evidenciam um passado de várzea coberta por floresta densa e alta. Um exemplo típico é a presença da castanha-de-macaco (*C. subsessilis* Pilg.), que possui grandes frutos dispersados por mamíferos e roedores de grande porte. Também foram observados o arapari (*M. acaciefolium* Benth.), o mari-mari (*Cassia leiandra*), o tento vermelho (*Ormosia* sp.), o catauari (*Crataeva tapia* L.) e o louro (*Ocotea* sp.), que constituem espécies arbóreas clímaxes de florestas de várzeas. Outra paisagem comum

na região são as formações pioneiras compostas por espécies arbóreas pioneiras que aparecem em ambientes perturbados durante o processo de regeneração da cobertura vegetal, como taxis da várzea (*Triplaris surinamensi.*), embaúbas (*Cecropia sp.*) e mungubas (*Pseudobombax munguba*).

Das 44 comunidades entrevistadas, 33 relataram a remoção de cobertura florestal em seus arredores nos últimos 30 anos. A localização dessas comunidades no mapa classificado (Figura 3) indica que, dessas 44, 18 apresentavam cobertura florestal de várzea, 16 apresentavam cobertura não-florestal de várzea e apenas uma apresentava cobertura de solo exposto no seu entorno. O fato de 17 comunidades não possuírem cobertura florestal em 1975-1981 não significa, necessariamente, que não houve remoção de florestas. Muitas das atividades que impulsionaram o desflorestamento na várzea da região tiveram início nas décadas de 1940 e 1950, portanto, o desflorestamento no entorno dessas comunidades pode ter ocorrido antes da época de aquisição das imagens utilizadas. Dentre os motivos relatados para a remoção da cobertura florestal estão:

1. o plantio da juta entre as décadas 1940 e 1990, relatado por 48% das comunidades entrevistadas, havendo relatos da prática desta atividade até os dias de hoje;
2. a criação de pastos para rebanhos bovinos, com início na década de 1950, relatada por 42% das comunidades entrevistadas. A partir da década de 1970 houve a inserção do búfalo e a intensificação da atividade pecuária na várzea, que permanece forte atualmente;
3. o fenômeno de “terras caídas”, que é o desprendimento das terras das margens dos grandes rios devido à velocidade das correntezas, relatada em 15% das comunidades entrevistadas, e;

4. a retirada de madeira para abastecimento de barcos a vapor na década de 1950 e para consumo próprio das comunidades, relatada em 3% das comunidades entrevistadas.

As entrevistas mostram que as comunidades possuem uma economia diversificada. Mais de 80% pescam e praticam a agricultura e a pecuária de forma conjunta e/ou alternada, e uma parte significativa cria pequenos animais. A atividade agrícola está presente em 91% das comunidades entrevistadas e a pesca em 86%. Já a pecuária é praticada em 95% das comunidades, com um rebanho total estimado em mais de 260.000 rezes, somente em relação às comunidades visitadas.

Essas informações levam a crer que muitas das áreas identificadas por Hess *et al.* (2003) como campos alagáveis (vegetação herbácea), sejam de origem antrópica. Com o intuito de coletar mais informações a respeito dessa questão, pretende-se, como próxima etapa, fazer o mapeamento da atual cobertura vegetal de várzea da região.

CONCLUSÃO

As informações extraídas de imagens históricas do Landsat-MSS, adequadamente processadas e confrontadas com dados de campo, podem ser utilizadas para recuperar informações sobre a antiga cobertura vegetal de várzea.

As técnicas de processamento digital utilizadas para extrair as informações das imagens Landsat-MSS mostraram-se adequadas, possibilitando a identificação e o mapeamento das classes pré-estabelecidas no trabalho. Do mesmo modo, os métodos utilizados para a coleta de dados em campo permitiram inferir sobre o antigo estado da cobertura vegetal na região estudada.

Os resultados sugerem que, ao longo dos últimos 30 anos, a região teve parte de sua cobertura florestal removida, principalmente para o cultivo da juta e a criação de pastos, sendo atualmente ocupada por vegetação predominantemente herbácea e arbustiva. Por esse motivo, os resultados reforçam a hipótese inicial deste trabalho, de que a diferença

identificada na cobertura vegetal da várzea dos rios Amazonas/Solimões possui um componente importante de origem antrópica

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao geógrafo Diego Pinheiro de Menezes, do Instituto de Pesquisas Ambientais da Amazônia (IPAM), o fornecimento dos dados sobre a localização de comunidades ribeirinhas na área de estudo; à Da. Luciana Londe a presteza na revisão desse texto; à FAPESP o suporte ao trabalho de campo (Projeto 08/07537-1); e ao CNPq a bolsa de Vivian Fróes Renó no Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto do INPE (Processo 133327/2008-6).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Barbosa, C.C.F. 2005. Sensoriamento remoto da dinâmica de circulação da água do sistema planície de Curuai/Rio Amazonas. Tese, Doutorado em Sensoriamento Remoto, INPE, São José dos Campos, SP.
- Barros, A.C.; Uhl, C. 1997. *Padrões, Problemas e Potencial da Extração Madeireira ao Longo do Rio Amazonas e do seu Estuário*. Vol. 4, *Série Amazônia N.4*. Belém, Brasil: IMAZOM. 42 pp.
- Bunker, S.G. 1982. Os programas de crédito e a desintegração não-intencional a das economias extrativas de exportação no Médio Amazonas do Pará. *Pesq. Plan. Econ.*, 12 (1):231-60.
- Câmara, G.; Souza, R.C.M.; Freitas, U.M.; Garrido, J. 1996. SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling. *Computers & Graphics*, 20:395-403.
- Congalton, R.G.; Green, K. 1999. *Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices*. New York: Lewis Publishers. 137 pp.

- Costa, M.P.F.; Telmer, K.H.; Novo, E.M.L.M. 2007. Atenuação da luz em águas amazônicas: implicações de mudanças do uso da terra. I Simpósio da Rede GEOMA, 2007, Petrópolis, Brasil.
- Denevan, W.M. 1996. A bluff model of riverine settlement in prehistoric Amazonia. *Annals of the Association of American Geographers* 86:654-81.
- DNPM. 1976. *Projeto Radambrasil: Geologia, Geomorfologia, Pedologia, Vegetação e Uso Potencial da Terra*. Folha SA. 21 Santarém, Vol. 10, (Levantamentos de Recursos Naturais) Rio de Janeiro: DNPM. 519 pp.
- Hess, L.L.; Melack, J.M.; Novo, E.M.L.M.; Barbosa, C.C.; Gastil, M. 2003. Dual-season mapping of wetland inundation and vegetation. *Remote Sensing of Environment*, 87:404-28.
- IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2004. *Mapa de Vegetação do Brasil*. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Diretoria de Geociências.
- Mather, P.M. 2005. *Computer processing of remotely-sensed images*. Chichester, England: John Wiley & Sons.
- McGrath, D.G.; Almeida, O.T.; Merry, F.D. 2006. The Influence of Community Management Agreements on Household Economic Strategies: Cattle Grazing and Fishing Agreements on the Lower Amazon Floodplain. XI Biennial Global Conference of The International Association for the Study of Common Property (IASCP), 19 – 23 junho de 2006, Bali, Indonesia.
- Melack, J.M.; Hess, L.L.; Gastil, M.; Forsberf, B.R.; Hamilton, S.K.; Lima, I.B.T.; Novo, E.M.L.M. 2004. Regionalization of methane emissions in the Amazon basin with microwave remote sensing. *Global Change Biology*, 10:530-44.

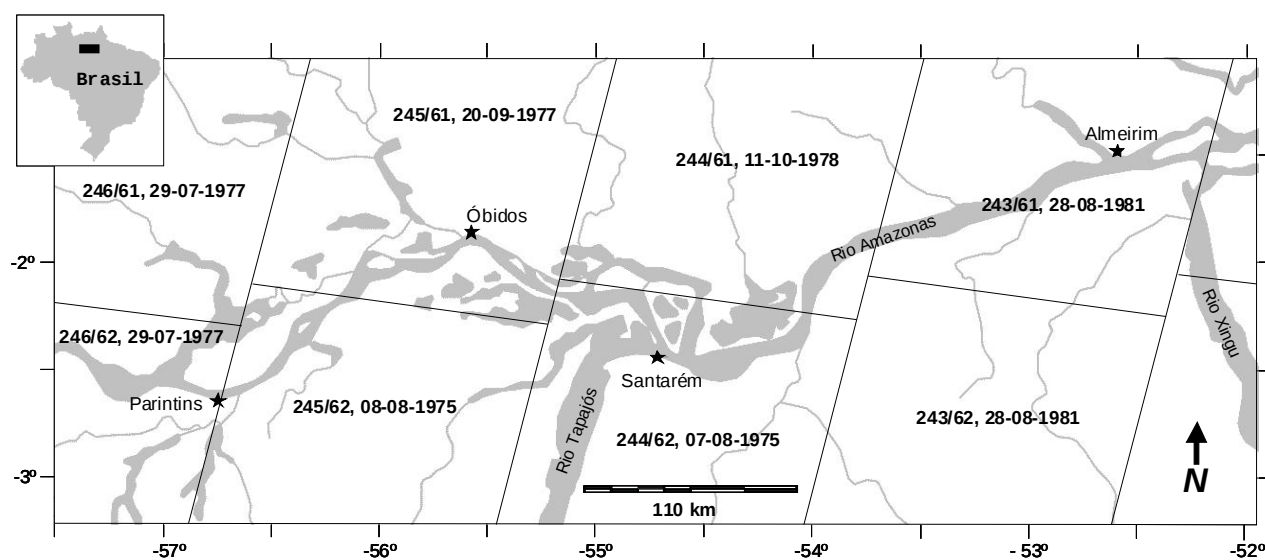
- Novo, E.M.L.M.; Affonso, A.G.; Melack, J.M. 2007. Multi-sensor approaches to assess the relationship between wetland deforestation and Amazon floodplain lake eutrophication. XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2007, Florianópolis, Brasil.
- Roosevelt, A.C. 2000. The Lower Amazon: a dynamic human habitat. In *Imperfect Balance: Landscape Transformations in the Pre-Columbian Americas*, editado por D. L. Lentz. New York.
- Sheikh, P.A.; Merry, F.D.; McGrath, D.G. 2006. Water buffalo and cattle ranching in the Lower Amazon Basin: Comparisons and conflicts. *Agricultural Systems*, 87:313–30.
- Shimabukuro, Y.E.; Novo, E.M.L.M.; Leal, A.K.M. 1998. Mosaico Digital de Imagens Landsat-TM da Planície do Rio Solimões-Amazonas no Brasil. São José dos Campos: INPE.
- Shimabukuro, Y.E.; Smith, J.A. 1991. The least-squares mixing models to generate fraction images derived from remote sensing multispectral data. *IEEE Transactions on Geosciences & Remote Sensing* 29 (1):16 - 20.
- Smith, N.J.H. 1999. *The Amazon River Forest: A Natural History of Plants, Animals, and People* Oxford: Oxford Univ. Press.
- Winklerprins, A.M.G.A. 2006. Jute cultivation in the lower Amazon, 1940–1990: an ethnographic account from Santarém, Pará, Brazil. *Journal of Historical Geography*, 32 (4):818-38.
- Wittmann, F.; Junk, W.J.; Piedade, M.T.F. 2004. The várzea forests in Amazonia: flooding and the highly dynamic geomorphology interact with natural forest succession. *Forest Ecology and Management*, 196 (2-3):199-212.

Wittmann, F.; Schöngart, J.; Montero, J.C.; Motzer, T.; Junk, W.J.; Piedade, M.T.F.;

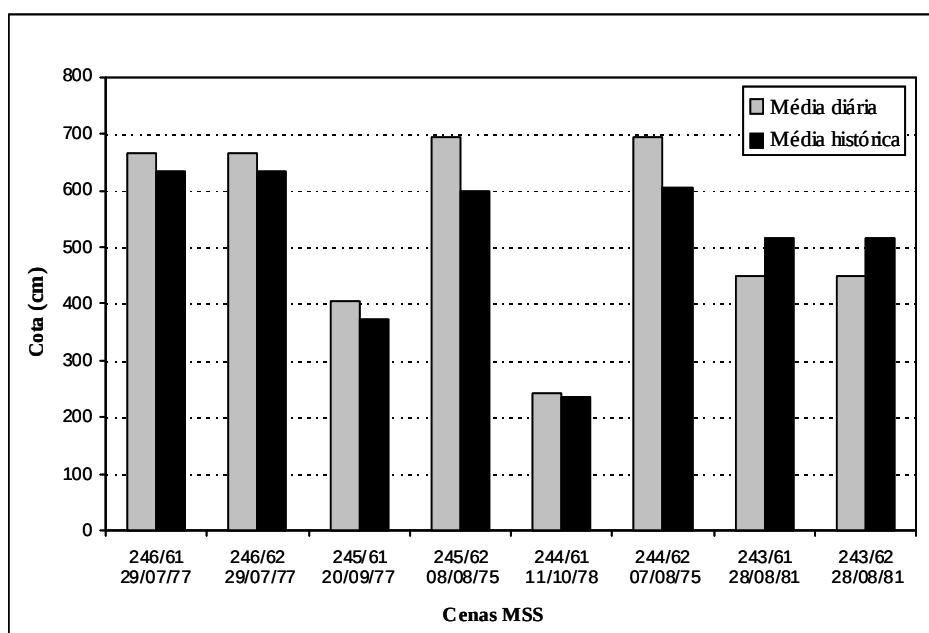
Queiroz, H.L.; Worbes, M. 2006. Tree species composition and diversity

gradients in white-water forests across the Amazon Basin. *Journal of*

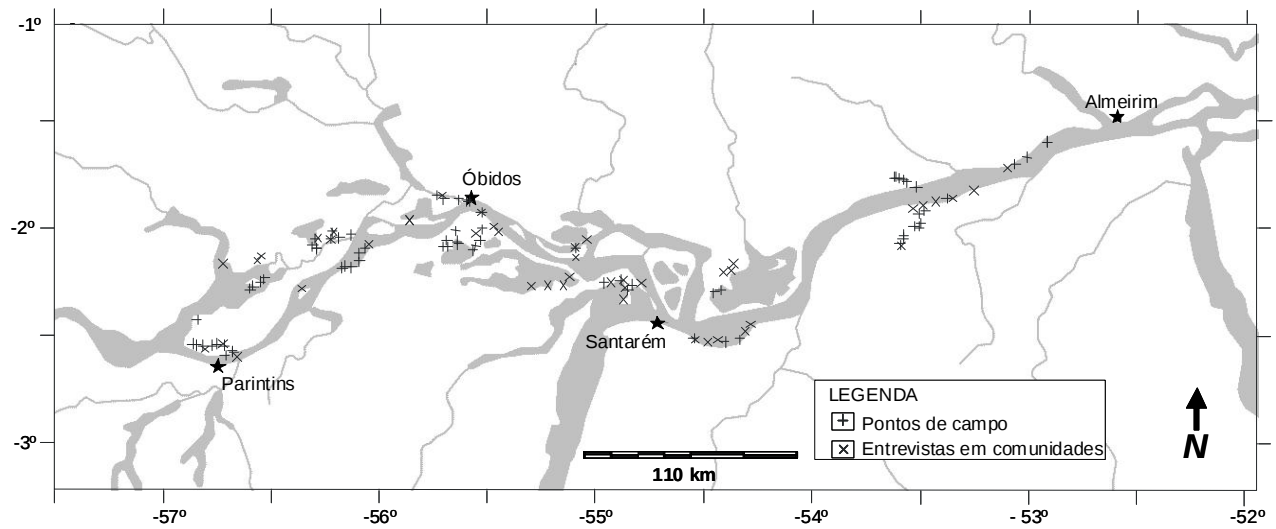
Biogeography, 33 (8):1334–47.



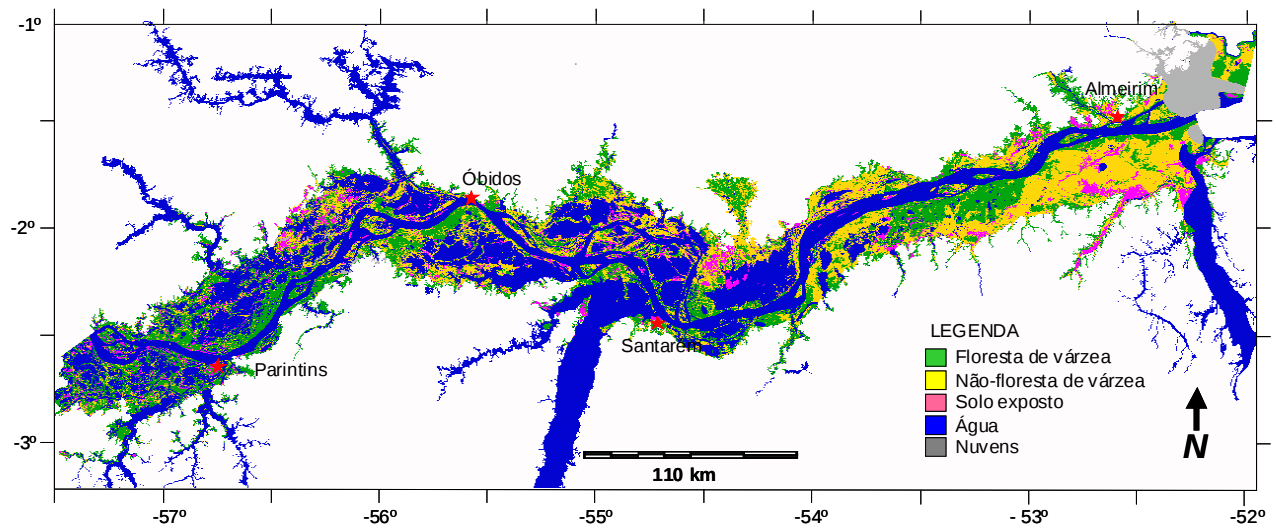
“Figura 1. Localização da região de estudo e grade de cobertura com as imagens Landsat-MSS analisadas no estudo, indicando órbitas e datas de aquisição.”



“Figura 2. Cotas médias diárias do Rio Amazonas em Óbidos nas datas de aquisição de cada uma das cenas Landsat-MSS utilizadas no estudo, e cotas médias históricas (1970 a 2007) referentes àqueles dias.”



“Figura 3. Distribuição espacial dos pontos de coleta de dados, indicando descrição de pontos de campo (+) e entrevistas em comunidades ribeirinhas (x).”



“Figura 4. - Mapa de cobertura vegetal da região de estudo gerado a partir de classificação automática de imagens Landsat-MSS adquiridas entre 1975 e 1981.”