

BANCO DE DADOS GEOGRÁFICOS COMO FERRAMENTA DE SUPORTE PARA O MAPEAMENTO E MONITORAMENTO DA REGIÃO DA FLORESTA NACIONAL DO TAPAJÓS (PA)¹

Fernando Del Bon ESPÍRITO-SANTO²

Yosio Edemir SHIMABUKURO²

João Roberto dos SANTOS²

Tatiana Mora KUPLICH²

Resumo

Este artigo apresenta os resultados do mapeamento e monitoramento da Floresta Nacional (FLONA) do Tapajós (PA), uma das áreas teste do projeto LBA "*Large Scale Biosphere-Atmosphere Experiment in Amazônia*", através do desenvolvimento de um banco de dados geográfico. Imagens de sensoriamento remoto (Landsat 1988, 1997, 1999 e 2001; RADARSAT 2002; Hyperion 2001; e Videografia aérea de 1999 e 2000), dados de inventários florestais (IF's) de grande intensidade amostral e informações auxiliares (mapas temáticos, cartas topográficas e dados de precipitação acumulada anual) foram empregados como planos de informação no banco de dados. Através da integração dessas informações, foi possível produzir um mapa de cobertura vegetal para a região da Floresta Nacional do Tapajós e avaliar o seu estado de conservação.

Palavras-Chave: Sensoriamento Remoto; Geoprocessamento; Floresta Tropical e Amazônia.

Abstract

Geographic database as support tool for mapping and monitoring the Tapajós National Forest region (PA)

This article presents the results of mapping and monitoring of Tapajós National Forest (PA), one of the test area of LBA "*Large Scale Biosphere-Atmosphere Experiment in Amazônia*" Project, through the development of a geographic database. Remote sensing images (Landsat 1988, 1997, 1999 e 2001; RADARSAT 2002; Hyperion 2001; and aerial Videography 1999 and 2000), forest inventories of large sampling intensity and ancillary informations (thematic maps, topographic charts and annual cumulative precipitation data) were employed as information layers of the database. Through the integration of these informations, it was possible to produce a map of land cover for the Tapajós National Forest region and to evaluate its natural conservation.

Keywords: Remote Sensing; Geoprocessing; Tropical Forest and Amazonia.

¹ Parte da Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto: 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*. São José dos Campos. 277p. (INPE-10133-TDI/898). INPE. 2003.

² Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE): Av. dos Astronautas, 1.758, 12227-010, São José dos Campos - SP, Fone: +55 (12) 3945-6908, Fax: +55 (12) 3945-6449, email:{fernando, yosio, jroberto, tmk}@ltid.inpe.br

INTRODUÇÃO

Um sistema de informação geográfica (SIG) permite capturar, modelar, manipular, recuperar, consultar, analisar e apresentar dados geograficamente referenciados (BURROUGH, 1989). A manipulação de dados geográficos, particularmente voltados à conservação dos recursos florestais, é de grande importância no gerenciamento desses recursos (MORTARA, 2002) e para os estudos voltados as questões de fluxo de carbono (BROWN *et al.*, 1993).

O Projeto LBA "*Large Scale Biosphere-Atmosphere Experiment in Amazônia*" é fruto de uma cooperação internacional de pesquisa, que visa buscar conhecimentos científicos no campo da biologia, física e química para compreender o funcionamento dos ecossistemas Amazônicos e as suas alterações devido às mudanças no uso da terra e da cobertura vegetal (LBA, 2002).

Dentre as áreas experimentais desse projeto, a Floresta Nacional (FLONA) do Tapajós (FNT), destaca-se pelas inúmeras campanhas de coleta de dados de sensoriamento remoto já conduzida nessa área (LUCKMAN *et al.*, 1997; YANASSE *et al.*, 1997; SHIMABUKURO *et al.*, 1998). No entanto, ainda são poucos os trabalhos que tentam integrar informações provenientes de múltiplos sensores e avançar no mapeamento da cobertura vegetal da FNT, indo além do que foi realizado pelo Projeto RADAMBRASIL (1976) na década de setenta.

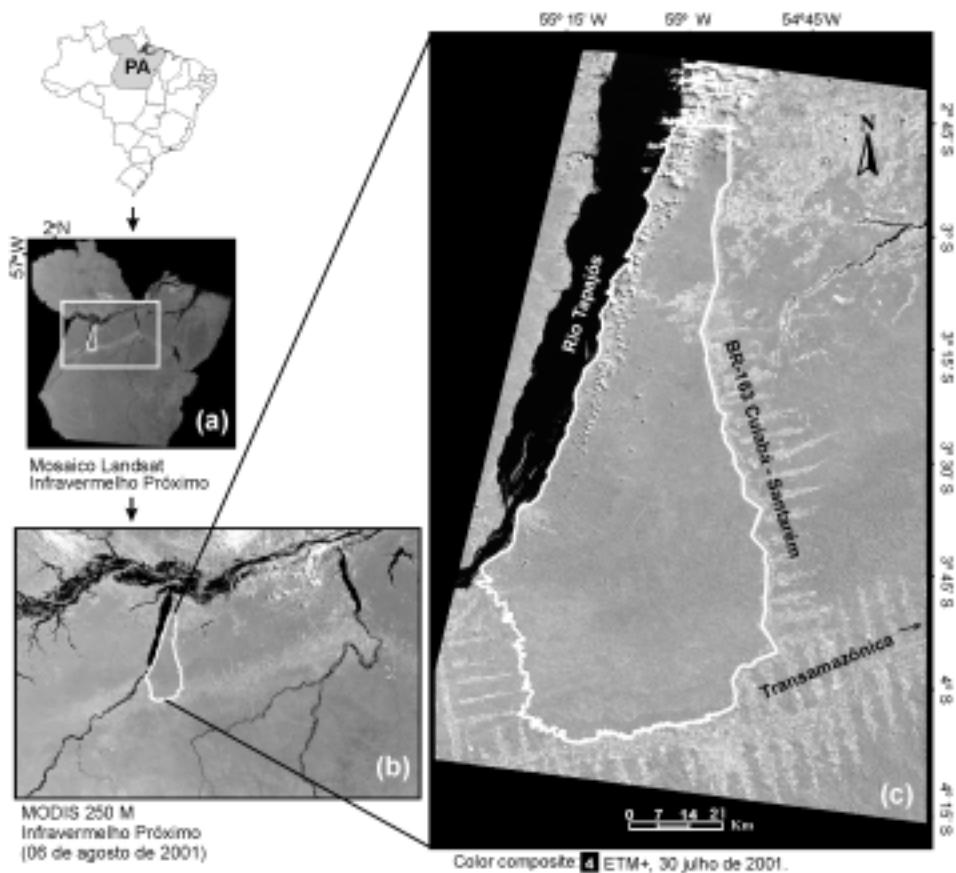
Além da disponibilidade de dados de SR, uma importante fonte de informação para o estudo da vegetação na FNT são os inventários florestais (IF's) de grande intensidade amostral, realizados pela FAO "Food and Agriculture Organization of the United Nations" (CAILLIEZ, 1977) e UFV "Universidade Federal de Viçosa" (NETO *et al.*, 1983), em cooperação à Superintendência do Plano de Valorização da Amazônia (SPVEA).

O principal objetivo do presente trabalho é apresentar os resultados do mapeamento da cobertura vegetal da região da FNT, utilizando dados provenientes de múltiplos sensores remotos, com o suporte da modelagem espacial dos dados de IF's por técnicas geostatísticas. Para alcançar esse objetivo, foi construído um banco de dados geográfico que reuniu todas as informações da área estudada e serviu como ferramenta de suporte para o mapeamento e monitoramento da cobertura vegetal dessa região.

CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A FNT está localizada no Estado do Pará, entre os paralelos de 2° 45' e 4° 10' de latitude sul e entre os meridianos de 54° 45' e 55° 30' de longitude oeste e limita-se: ao norte, com o paralelo que cruza o km 50 da rodovia Cuiabá-Santarém (BR 163); ao sul, com a Rodovia Transamazônica e os rios Cupari e Cuparitinga ou Santa Cruz; a leste, com a BR 163; e a oeste com o rio Tapajós. A sua área estimada é de 590.000 ha (Figura 1). No entorno da FNT são comuns os desflorestamentos que se iniciam, geralmente, pelo corte seletivo de madeira ou incêndios florestais, e posteriormente a conversão total da floresta em pasto e, ou, agricultura. Após estas práticas as áreas são abandonadas, criando um mosaico de cobertura vegetal em diferentes estágios regenerativos (SHIMABUKURO *et al.*, 1998).

Figura 1 - Localização da FNT no estado do Pará (a) nas imagens dos sensores MODIS/TERRA de 06 de agosto de 2001 (banda 3) (b) e ETM+/Landsat (banda 4) de 30 de julho de 2001(c)

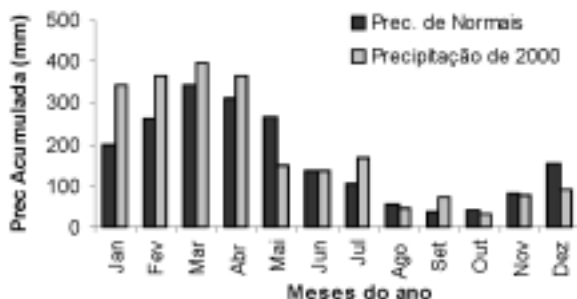


De acordo com a classificação de Köppen, o clima é do Tipo AmW (clima tropical com temperatura média do dia mais frio do ano superior a 18 °C) (EIDT, 1968). Através das normais de 1950 a 2000 da estação de Belterra (20 km da FNT), foi possível confirmar a presença de um período sazonal seco (Jan - Jun) e outro chuvoso (Jul - Dez) bem definido (Figura 2).

Com base no mapa de geomorfologia do INPE/IBAMA/FUNATURA/ITTO (1992), compilado do RADAMBRASIL (1976) (Figura 3), a região é caracterizada por duas unidades morfo-estruturais bem distintas: o Planalto Rebaixado do Médio Amazonas (PRMA) e o Planalto Tapajós-Xingu (PTX). O PRMA é uma unidade morfo-estrutural que estende desde a Planície Amazônica acompanhando a margem direita do rio Amazonas até o PTX nas proximidades do rio Tapajós. Apresentam cotas altimétricas de aproximadamente 100 m, relevos dissecados com a forma tabular, drenagem adensada com insipiência de afundamento e a formação de lagoas. Possuem colinas com ravinas

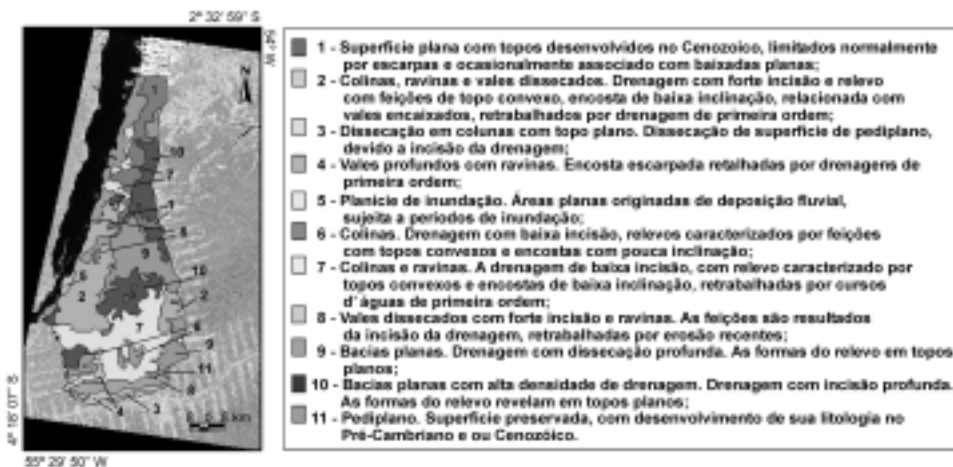
e vales encaixados com superfícies aplainadas, inundadas periodicamente. O PTX apresenta cotas de 120 a 170 m, sendo recortado pelo rio Tapajós, com cotas de decaimentos entre o planalto e a margem do rio Tapajós de aproximadamente 150 m. O relevo dessa unidade possui uma superfície de formação tabular com rebordas erosivas e trechos com declividades fortes ou moderadas.

Figura 2 - Distribuição da precipitação acumulada mensal ao longo do ano



FONTE: Aneel (2003)

Figura 3 - Sobreposição do mapa geomorfológico em uma imagem ETM+/Landsat (banda 4) de 30 de julho de 2001



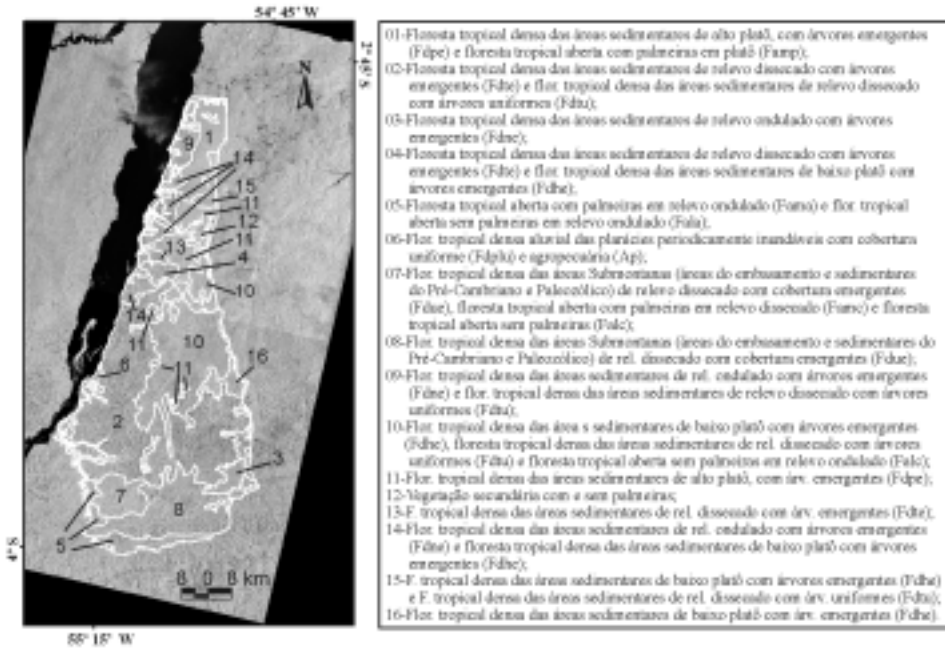
Nessa região existe uma predominância de solos do tipo LATOSSOLO AMARELO Distrófico, caracterizados por diferentes texturas, geralmente profundo, ácido, friável e revestido por florestas densas (Figura 4). Os ARGISSOLOS VERMELHO-AMARELO também ocupam grande porção da FNT, encontrados em relevo plano a fortemente ondulado (INPE/IBAMA/FUNATURA/ITTO, 1992). As classes Lb18 (ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO) e a La15 (LATOSSOLO AMARELO Distrófico), ocupam respectivamente 37,1% e 25,34% da FNT (Figura 4).

Figura 4 - Sobreposição do mapa pedológico em uma imagem ETM+/Landsat (banda 4) de 30 de julho de 2001



Através da conceituação fisionômica-ecológica do RADAMBRASIL (1976), a FNT foi subdividida em 16 classes temáticas hierarquizadas basicamente em duas grandes fitofisionomias: a Floresta Tropical Densa (FTD) e a Floresta Tropical Aberta (FTA) (Figura 5). A FTD apresenta duas subcategorias: (1) Floresta Tropical Densa de Baixas Altitudes (FTDBA) e (2) Floresta Tropical Densa Submontanas (FTDS). A primeira subcategoria ocorre em áreas de terras baixas, com cotas altimétricas inferiores a 100 m, pouca variação no declive e em solos predominantemente argilosos. As espécies predominantes desse tipo de floresta incluem: Sucupira (*Diploptropis* sp), Acariquara (*Minquartia guianensis* Aubl.), Castanheira (*Bertholletia excelsa* H.B.K.), e Cupiúba (*Goupia glabra* Aubl.). Estas florestas apresentam um alto volume comercial de madeira ($\pm 350 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$). O segundo subgrupo da FTD é caracterizado por possuir árvores menores que ocupam um relevo dissecado do Pré-Cambriano, entre cotas altimétricas de 100 a 600 m. São característicos dessa floresta: Muiraúba (*Mauriria brevipes* Gard in Hook), Itaúba (*Mezilaurus itauba* (Meiss) Taub ex Mez.), Mandioqueiras (*Qualea* sp.) e Maçaranduba (*Manilkara huberi* (Ducke) Standl). O segundo grande grupo fisionômico FTA ocorre geralmente nos platôs intensamente dissecados com erosão nos declives, vales estreitos e solos com textura média. Esta região é caracterizada por florestas com lianas e várias espécies de palmeiras como Açaí (*Euterpe oleracea* Mart.) e Babaçu (*Orbignya phalerata* Mart.).

Figura 5 - Sobreposição das classes fitogeográficas do RADAMBRASIL (1976) em um mosaico de imagens RADARSAT-1 de 01 de fevereiro de 2002



MATERIAIS

Os materiais utilizados nesse trabalho são descritos a seguir na Tabela 1. Nessa Tabela os dados são organizados em três categorias: materiais cartográficos, dados de sensoriamento remoto e dados auxiliares.

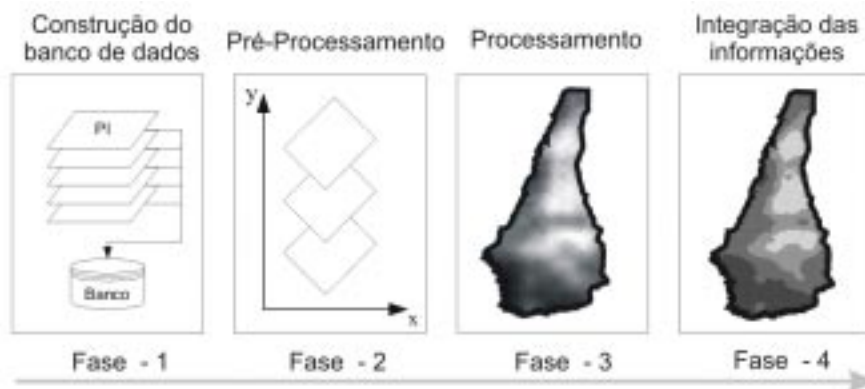
METODOLOGIA

Esse trabalho compreendeu basicamente três etapas metodológicas: (1) construção do banco de dados da FNT em um sistema de informação geográfica (SIG); (2) descrição e pré-processamento dos dados; (3) processamento dos dados; e (4) análise integrada dos planos de informações. Em cada uma das etapas (Figura 6), foram operacionalizadas através de metodologias específicas. Nesse trabalho serão apresentados os resultados do processamento dos principais planos de informações (PI's) do banco de dados. Maiores detalhes sobre a metodologia adotada para no tratamento dos demais PI's encontram-se bem detalhados em Espírito-Santo (2003).

Tabela 1 - Descrição dos dados geográficos que foram integrados ao projeto

MATERIAIS CARTOGRÁFICOS	Cartas topográficas na escala de 1:100.000 (DSG, 1984): Folhas Amorim (SA.21-Z-B-IV), Mujuí dos 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);
	Mapa de vegetação na escala de 1:250.000 (RADAMBRASIL, 1976): Folhas Santarém (SA.21-Z-B) e Aveiro (SA.21-Z-D);
	Mapa de vegetação, geomorfologia e solos (INPE/IBAMA/FUNATURA/ITTO, 1992) na escala de 1:400.000;
	Mapa de vegetação (SUDAM/IBAMA, 1994) na escala de 1:300.000;
	Mapa de vegetação (SUDAM, 1987) na escala de 1:400.000;
	Mapa de vegetação de Dubois de 1976 (citado por PARROTTA <i>et al.</i> , 1995) na escala de 1:800.000;
	Mapa de vegetação na escala de 1:1.000.000 (RADAMBRASIL, 1976): Folha SA.21;
SENSORIAMENTO REMOTO	Mapas com espacialização das parcelas de inventário florestal realizado na década de setenta (CAILLIEZ, 1977) e oitenta (NETO <i>et al.</i> , 1983) na escala de 1:100.000, produzidos pelo INPE/FUNATURA/IBAMA através de fotografias aéreas e levantamentos de campo (HERNANDEZ-FILHO <i>et al.</i> , 1993).
	Uma imagem do sensor ETM+ "Enhanced Thematic Mapper Plus" e três do TM "Thematic Mapper" a bordo dos satélites Landsat 7 e 5, respectivamente;
	Dois imagens do satélite RADARSAT-1, modo standard (S7);
	Uma imagem do sensor hiperespectral "Hyperion" a bordo do satélite "Earth Observing 1" (EO-1);
DADOS AUXILIARES	Imagens de videografia aérea das campanhas de 1999 (HESS <i>et al.</i> , 2002) e 2000.
	Inventário florestal (IF), índice de área foliar (IAF) e pontos de caracterização da vegetação, realizados em três campanhas de campo: julho e outubro de 2002 e abril de 2003;
	Memorial de campo do inventário florestal de pré-investimento (644 parcelas de 25 m × 110 m) realizado pela missão FAO em 1977 na floresta de alto platô;
	Relatório de campo do inventário florestal de pré-investimento (280 parcelas de 10 m × 250 m) realizado pela Universidade Federal de Viçosa em 1983 nas florestas de flanco e declive.
	Dados de precipitação obtidos de 22 estações climatológicas localizadas ao redor da área de estudo (ANEEL, 2003).

Figura 6 - Etapas do desenvolvimento metodológico do trabalho



Construção do banco de dados

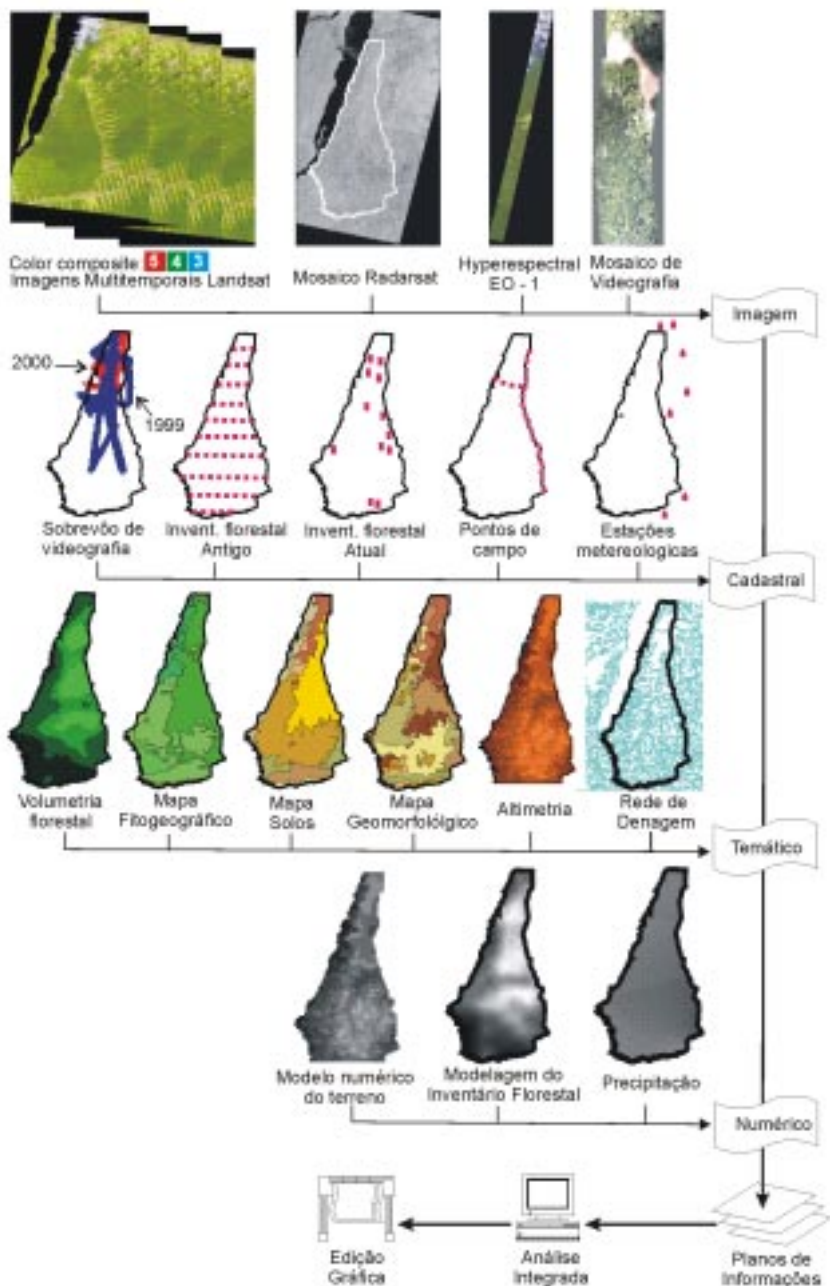
O banco de dados geográficos da FNT foi construído utilizando-se o SPRING 3.6.03 (CÂMARA *et al.*, 1996). Esse aplicativo é um SIG que apresenta como unidade de trabalho, um projeto, onde são inseridas as informações da área de estudo em planos de informações (PI's), representados nas formas temática (ex. um mapa), cadastral (ex. uma tabela contendo atributos, podendo ser representadas por pontos, linhas ou polígonos) e ainda nas formas de imagem (ex. um conjunto de bandas de um determinado sensor) e numérica (ex. curva de nível). As categorias dos PI's constituem as principais formas de representação dos dados geográficos neste aplicativo (CÂMARA e MEDEIROS, 1998). Nesse banco de dados, foram organizadas todas as informações relevantes da área de estudo como mapas temáticos, cartográficos, altimétricos, dados de inventários florestais e as diversas imagens de satélite (Figura 7).

Descrição e pré- processamento dos dados

As imagens de sensoriamento remoto (SR) listadas em "b" foram submetidas a diferentes processamentos. As imagens multitemporais Landsat (1988, 1997, 1999 e 2001) foram normalizadas através da técnica de retificação radiométrica proposta por Hall *et al.* (1991). O mosaico de imagens RADARSAT foi submetido a um processo de filtragem dos ruídos (*speckle*) presentes nas imagens radar. Posteriormente, as imagens descritas anteriormente, as imagens do sensor Hyperion do satélite EO-1 e as de videografia aérea (campanhas de 1999 e 2000), foram georreferenciadas e inseridas no banco de dados.

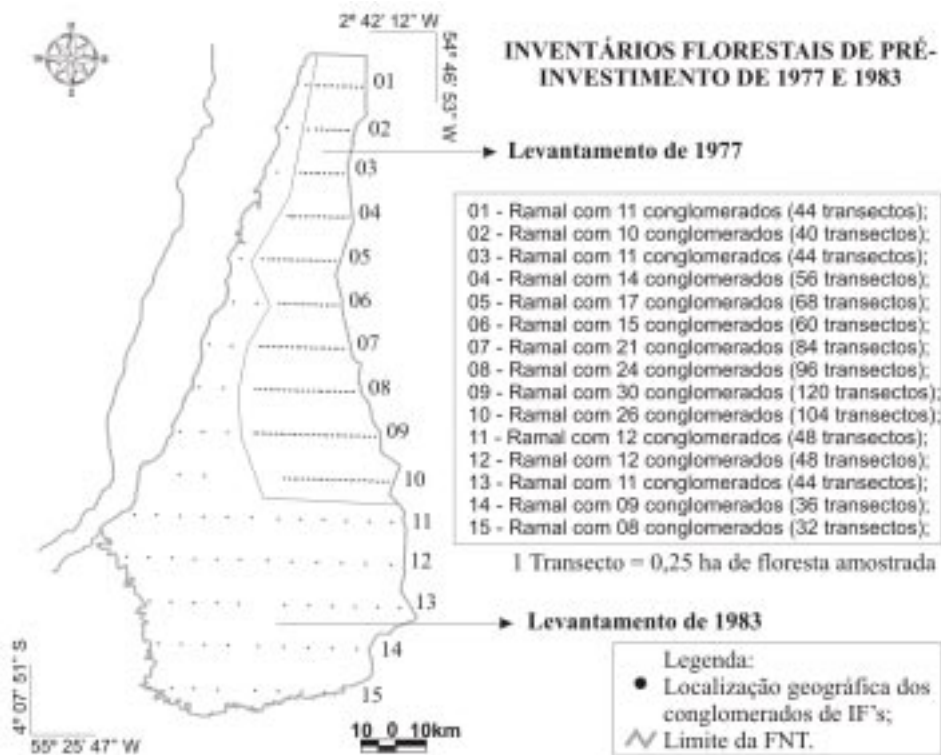
Todos os dados de inventários florestais (IF's) da FNT foram recuperados. A Figura 8 ilustra a distribuição dos pontos de IF's realizados pela FAO (CAILLIEZ, 1977), em 1977 e UFV (NETO *et al.*, 1983), em 1983. Chamados de Inventários Florestais de Pré-Investimento (IFPI), esses inventários florestais (IF de 1977 e 1983), pioneiros, amostraram 231 ha de floresta ou 0,0385 % dos 590.000 ha da área total estimada para a FLONA. Através de 924 parcelas de 0,25 ha, esses IF's registraram valiosas

Figura 7 - Arquitetura do banco de dados geográficos da FNT



informações estruturais da floresta com distribuição de espécies arbóreas, área basal, biomassa aérea e volume comercial de madeira. A amostragem florestal utilizado nesses levantamentos foi a de conglomerado, que é constituída por quatro sub-parcelas em forma de cruz, distribuída ao longo da construção de linhas transversais à rodovia Cuiabá - Santarém (BR-163), indo até a calha do rio Tapajós. Apesar das parcelas utilizadas nesses inventários apresentarem tamanhos diferentes, uma mesma área amostral foi mantida para cada subunidade dos conglomerados (0,25 ha). Tais informações quantitativas da floresta foram utilizadas nesse trabalho para a caracterização da estrutura biofísica da floresta primária da FNT.

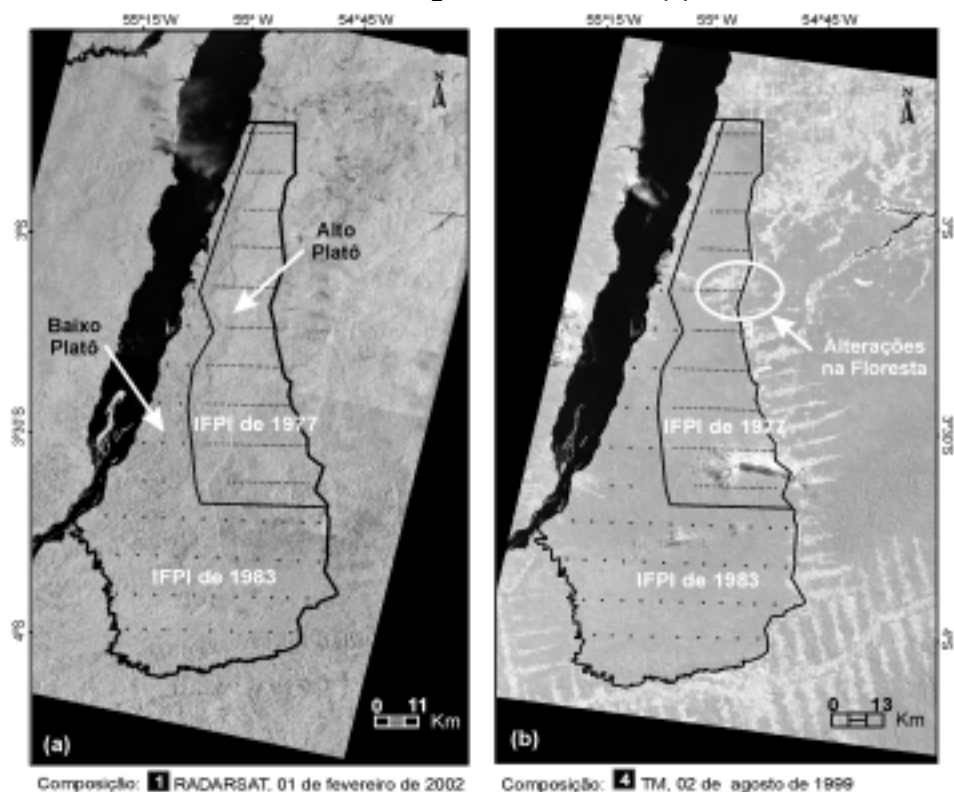
Figura 8 - Mapa de localização das unidades amostrais (conglomerados) dos Inventários Florestais de Pré-Investimento de 1977 e 1983



FONTE: Hernandez Filho *et al.* (1993).

Na Figura 9 os pontos de IF's foram sobrepostos às imagens RADARSAT de 2002 e Landsat de 1999. Na imagem RADARSAT é possível observar que o IF's de 1977, foi realizado na floresta do alto platô, enquanto que o de 1983, foi nas florestas de flanco e de declive. Na imagem Landsat de 1999, nota-se que alguns pontos inventariados já foram alterados devido as atividades de uso da terra nessa região.

Figura 9 - Distribuição dos pontos de inventários florestais de pré-investimento (IFPI), realizados em 1977 e 1983 sobre um mosaico de imagens RADARSAT (a) e em uma imagem TM/Landsat (b)



Processamento dos dados

Os dados de sensoriamento remoto foram processados da seguinte forma: (1) classificação individual das áreas de floresta, solo exposto, pasto limpo, sucessão secundária, água e nuvem em todas as datas das imagens Landsat multitemporais; (2) estratificação das áreas de sucessão secundária utilizando as classificações temporais; (3) mapeamento visual das áreas alteradas por incêndios florestais, corte seletivo, vegetação aluvial e áreas de floresta dominada por babaçu (*Orbignya phalerata* Mart.) na imagem Landsat de 2001; e (4) uso do mosaico de imagens RADARSAT para atualizar as classes temáticas do RADAMBRASIL (1976) nas áreas de floresta primária da FNT.

Os dados de IF's antigos foram recuperados e editados em planilha eletrônica. Após a construção do arquivo de IF's, foram efetuados os cálculos de área basal (AB), biomassa aérea (BA) e volume comercial de madeira (VCM) da floresta. Utilizando técnicas geoestatísticas, Krigagem (KRIGE, 1951; ISAACS e SRIVASTAVA, 1989; GOOVAERTS, 1997), os dados de IF's (AB, BA e VCM) foram espacializados sobre a FNT.

Integração dos Planos de Informações

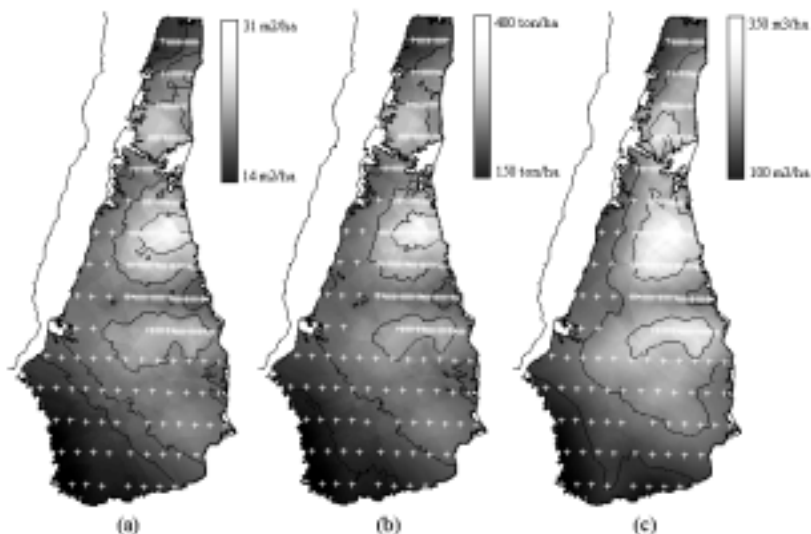
O mapa final de cobertura vegetal da região da FNT foi realizado basicamente através da aplicação de três procedimentos: (1) mapeamento temático de uso e cobertura vegetal obtido com as imagens multitemporais do Landsat; (2) atualização das classes fitofisionômicas da floresta primária da FNT, definidas pelo RADAMBRASIL (1976), com o uso do mosaico das imagens RADARSAT de 2002; e (3) acréscimo de informações estruturais da vegetação nas áreas de floresta primária, utilizando informações da grade numérica obtida pela modelagem espacial por krigagem dos dados de IF's antigos. Essa última etapa, foi realizada através de um procedimento automático no SPRING, Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico "LEGAL", onde para cada polígono definido pelo RADAMBRASIL foram acrescentadas informações médias dos parâmetros biofísicos da floresta (AB, BA, VCM). Com o uso do operador espacial "Atualize", do SPRING 3.6.03, foram recuperados esses valores para cada um desses parâmetros através da sua respectiva grade numérica "z" e atualizada automaticamente ao banco de dados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Modelagem Espacial dos dados de Inventários Florestais

Tomando-se com base a técnica de inferência espacial krigagem, para espacialização dos parâmetros biofísicos da vegetação (AB, BA e VCM), pode-se, na figura 10, observar as grades numéricas resultantes das interpolações de 231 observações ou 231 ha de amostra da floresta. Os semivariogramas ajustados permitiram inferir sobre os locais sem observações com mais segurança, minimizando os erros das interpolações.

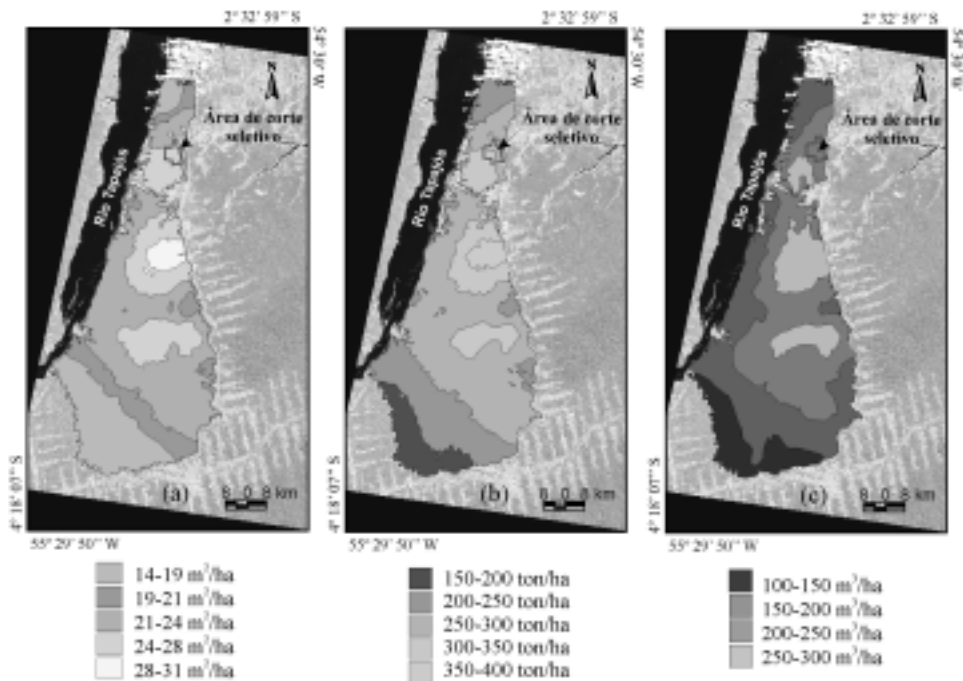
Figura 10 - . Grade numérica obtida pela modelagem dos dados de AB (a), BA (b) e VCM (c), através de técnicas geoestatísticas



Após a criação dessas grades numéricas, foram produzidos os mapas temáticos de AB, BA e VCM para todo o limite da floresta primária da FLONA (Figura 11). Na figura 11 é possível observar que ocorreu uma mesma tendência de distribuição espacial para todos os parâmetros biofísicos modelados, já que esses dados são diretamente correlacionados.

Comparando os mapas de parâmetros biofísicos da vegetação (Figura 11) com os mapas de geomorfologia (Figura 3) e de pedologia (Figura 4), é possível observar que em locais com o relevo mais plano, conseqüentemente com solos mais profundos (por ex. os dos Latossolos), a floresta possui uma maior AB, BA e VCM. Por outro lado, nas áreas de relevo mais movimentado (colinas, ravinas e vales dissecados) com solos mais rasos como os dos Argilossolos, a floresta apresenta uma menor estrutura biofísica.

Figura 11 - Distribuição espacial da área basal (a), biomassa aérea (b) e volume comercial de madeira (c), sobre uma imagem ETM+ de 2001 da FNT



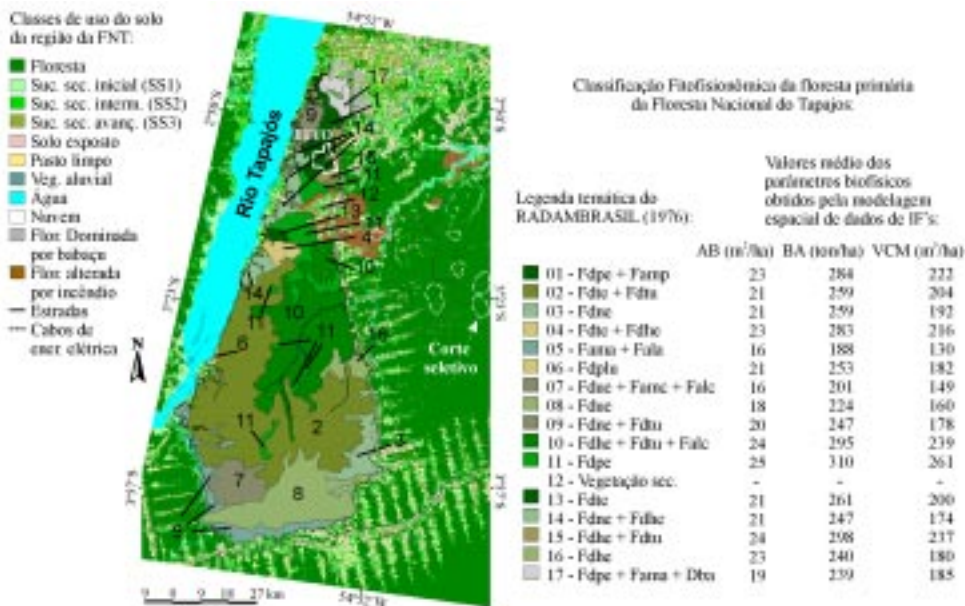
Mapeamento da cobertura vegetal

Na figura 12 é apresentado o mapa final de distribuição da cobertura vegetal da FNT, obtido pelo uso de múltiplas imagens de SR e pela modelagem dos dados de IF's (item 4 da metodologia). Nesse mapa de cobertura vegetal, além do acréscimo dos atributos biofísicos de AB, BA e VCM nas classes de floresta primária da FNT, todas as classes de uso e cobertura da terra foram atualizadas. As áreas de sucessão secundária

dária foram estratificadas nos estágios regenerativos inicial (SS1), intermediário (SS2) e avançado (SS3), retratando melhor o estado de conservação da região. As classes de sucessão secundária SS1, SS2 e SS3 apresentam idades de regeneração entre 0 a 4, 5 a 13 e acima de 13 anos, respectivamente.

Para a validação desse mapa final, foi utilizado um conjunto de pontos de verdade terrestre (VT) como os dados de inventários florestais recentes e pontos de caracterização da vegetação. Além desses dados, também foram utilizados pontos advindos da interpretação visual dos mosaicos de videografia aérea que cobriram algumas regiões da área de estudado. Somando todos esses dados, foram obtidos 149 pontos de VT, distribuídos principalmente ao redor da FNT, ao longo da BR 163. Os pontos de VT permitiram avaliar a qualidade da classificação, através de uma análise do erro de mapeamento temático (matriz de confusão). Foi alcançado um índice de exatidão global e um kappa de 84,5% e 80,9%, respectivamente. Segundo a classificação de Congalton e Green (1999), o valor desse índice kappa sugere que o mapa de cobertura vegetal obtido nesse trabalho pode ser considerado como muito bom.

Figura 12 - Mapa de distribuição da cobertura vegetal da região da Floresta Nacional do Tapajós (FNT)

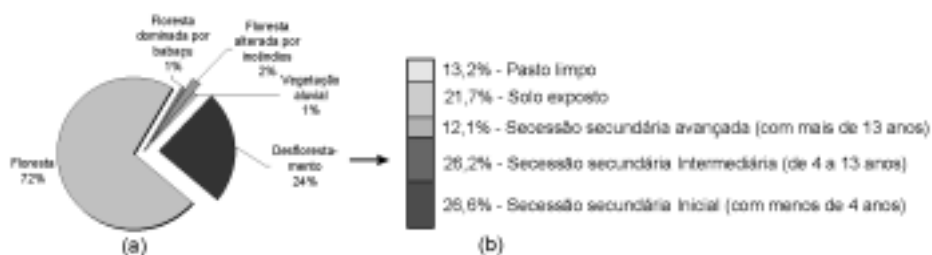


Análise do estado de conservação da região da FNT

Na figura 13a, as categorias de cobertura do solo da região da FNT são apresentadas na forma gráfica. Através da Figura 13b, é possível observar que as áreas de sucessão secundária inicial e intermediária correspondem a 52,8% das áreas desflorestadas. A classe de solo exposto também possui uma importante percentagem do desflorestamento total dessa região (21,7%).

Pereira (1996), estudando as classes de uso da terra (floresta, floresta dominada por babaçu, pasto limpo, pasto sujo, capoeiras de 4 a 9 anos e capoeiras com mais de 10 anos) na porção sul de Marabá, centro-leste da região do Pará, com o uso de uma imagem Landsat de 1993, observou que a classe representada por pasto limpo respondia por 56,8% das áreas desflorestadas nessa região (soma das áreas de pasto e capoeiras). Segundo esse autor, nessa região, as fazendas possuem grandes recursos financeiros e a pecuária é uma atividade muito estável, o que justifica o baixo percentual das classes de sucessão secundária. Na região da FNT, a zona de proteção da Floresta Nacional e as propriedades rurais formadas principalmente por pequenos e médios proprietários, com práticas de agricultura itinerante, justificam a alta percentagem de áreas de sucessão secundária (64,9%) e a sua diversidade de estágios regenerativos. Com a intensificação da cultura da soja e do arroz nessa região, esse padrão deverá ser alterado.

Figura 13 - Valores percentuais das classes de cobertura do solo da região da FNT (a) e detalhes do percentual das classes de desflorestamento (b)



CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento de um banco de dados geográficos integrando dados de sensoriamento remoto e informações advindas da modelagem espacial dos dados de inventários florestais por técnicas geoestatísticas, permitiu a produção de um mapa de cobertura vegetal da região da Floresta Nacional do Tapajós com um maior número de atributos biofísicos da floresta (AB, BA e VCM) na sua legenda temática.

A integração de imagens históricas de satélite possibilitou estratificar por idade os estágios sucessionais das áreas florestais alteradas por atividades antrópicas (agricultura, corte seletivo de madeira e queimadas), retratando melhor o estado de conservação dessa região. Essas áreas de sucessão secundária que correspondem a 64% do desflorestamento até o ano de 2001, foram classificadas dentro das classes SS1, SS2 e SS3 que correspondem as idades de regeneração entre 0 a 4, de 5 a 13 e acima de 13 anos, respectivamente.

Além destas, também podemos concluir que o banco de dados geográfico construído para a Floresta Nacional do Tapajós no Pará, pode ser executado em outras áreas de conservação ou de preservação florestal, possibilitando o monitoramento dos processos de uso da sua cobertura vegetal, em uma escala regional ou local

AGRADECIMENTOS

Essa pesquisa teve o suporte do Fundo Bunka de Pesquisa - Banco Sumito Mitsui / 2002 através do projeto "Mapeamento e Monitoramento da Floresta Nacional do Tapajós (PA), com o Uso de Dados Multitemporais de Multisensores" (Fernando Del Bon Espírito-Santo); da FAPESP através do projeto "Influência da Sazonalidade e do Uso da Terra na Dinâmica Espaço-Temporal da Produtividade Primária na Amazônia Oriental" (processo Nº: 2002/00985-2); e da CAPES pela concessão da bolsa de mestrado do primeiro autor.

Nossos agradecimentos ao escritório regional do projeto LBA em Santarém pelo apoio logístico e a Divisão de Sensoriamento Remoto do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais pelo suporte técnico.

REFERÊNCIAS

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. **Hidroweb** [on line]. <<http://www.aneel.gov.br/>> . Jan. 2003.

BROWN, S.; IVERSON, L.R.; PRASAD, A.; LIU, D. Geographical distributions of carbon in biomass and soils of tropical Asian Forests. **Geocarto International**, Hong kong. v.8, n.4, p.45-59, Dec. 1993.

BURROUGH, P.A. **Principles of geographical information systems for land resources assessment**. Oxford: Clarendon Press, 1989. 193p.

CAILLIEZ, F. **Inventaire de preinvestissement de la Fôret Nationale du Tapajos**. Brasília: PRODEF, Out. 1977. 42 p. (PNUD/FAO/IBDF/BRA - 76/027).

CÂMARA, G.; MEDEIROS, J.S.DE. Modelagem de dados em geoprocessamento. In: ASSAD, E.D.; SANO, E.E. ed. **Sistemas de informações geográficas: aplicações na agricultura**. 2.ed. Brasília: Embrapa-CPAC, 1998. Cap. 4. p.47-66.

CÂMARA, G; SOUZA, R.C.M.; FREITAS, U.M.; GARRIDO, J. SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling. **Computers & Graphics**, Grenoble, v. 20, n. 3, p. 395-403, May-June.1996.

CONGALTON, R.G.; GREEN, K. **Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices**. New York: Lewis Publishers, 1999. 137 p.

DSG. DIRETORIA DE SERVIÇO GEOGRÁFICO DSG. **Folhas em escala 1:100.000 (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: IBGE. 1984.

EIDT, R.C. The climatology of South America. In: Fittkau, E.J.; Illies, J.; Klinge,H.; Schwabe, G.H.; Sioli, H. **Biogeography and ecology in South America**. W. Junk Publishers, 1968. v.1, p. 54-81.

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**. São José dos Campos. 277 p. (INPE-10133-TDI/898). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 2003. [<http://iris.sid.inpe.br:1913/col/sid.inpe.br/jeferson/2003/12.09.13.07/doc/paginadeacesso.html>].

GOOVAERTS, P. **Geostatistics for natural resources evaluation**. New York: Oxford University Press, 1997. 482 p.

HALL, F.G.; STREBEL, D.E.; NICKESON, J.E.; GOETZ, S.J. Radiometric rectification: toward a common radiometric response among multi-date, multi-sensor images. **Remote Sensing of Environment**, New York, v.1, n.35, p. 11-27. Jan. 1991.

HERNANDEZ FILHO, P.; SHIMABUKURO, Y.E.; LEE, D.C.L.; SANTOS FILHO, C.P. DOS; ALMEIDA, R.R. **Relatório final do projeto de inventário florestal na Floresta Nacional do Tapajós**. INPE - São José dos Campos, 1993. 126p. (INPE-5422-PRP/170).

HESS, L.L.; NOVO, E.M.L.; SLAYMAKER, D.M.; HOLT, J. STEFFEN, C.; VALERIANO, D.M.; MERTES, L.A.K.; KRUG, T.; MELACK, J.M.; GASTIL, M.; HOLMES, C.; HAYWARD, C. Geocoded digital videography for validation of land cover mapping in the Amazon basin. **International Journal of Remote Sensing**, New York, v.23, n.7, p. 1527-1556, Apr. 2002.

INPE/IBAMA /FUNATURA/ITTO - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais / Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais / Pro-Nature Foundation and International Tropical Timber Organization. **Forest Inventory: Tapajós National Forest**. São José dos Campos: INPE, 1992. 26p. (INPE-5423-PRP/171).

ISAACS, E.; SRIVASTAVA, R.M. **An introduction to applied geostatistics**. New York: Oxford University Press, 1989. 560p.

KRIGE, D.G. A statistical approaches to some basic mine evaluation problems on Witwatersrand. **Johannesburg Chemistry Metallurgy Mining Society South African**, v. 52, n. 6, p. 119-139. Jun. 1951.

LBA - Large Scale Biosphere-Atmosphere Experiment in Amazonia. **Introdução ao LBA**. [on line] < http://daac.ornl.gov/lba_cpctec/lba/index.html>. Dec. 2002.

LUCKMAN, A.; BAKER, J.; KUPLICH, T.M.; YANASSE, C.C.F.; FRERY, A.C. A study of the relationship between radar backscatter and regenerating tropical forest biomass for spaceborne SAR instruments. **Remote Sensing of Environment**, New York, v.60, n.1, p. 1-13, Apr. 1997.

MORTARA, M.O. **Modelagem da distribuição potencial do palmitero (euterpe edulis Martius) em região montanhosa a partir de variáveis topográficas**. São José dos Campos. 157p. (INPE-8857-TDI/805). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2000.

NETO, F.P.; SOUZA, A.L.; RIBEIRO, J.C.; RIBEIRO, G.A.; ALVES, L.M.; OLIVEIRA, I.A. **Inventário florestal preliminar da floresta nacional do Tapajós, Estado do Pará** - Floresta de Flanco e de declive. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa (UFV), 1983. 140 p.

PARROTTA, J.A.; FRANCIS, J.K.; ALMEIDA, R.R. International Institute of Tropical Forestry and United States Department of Agriculture and Forest Service. **Trees of the Tapajós: a photographic field guide**. Río Piedras, Puerto Rico: USDA, 1995. 370 p.

PEREIRA, J.L.G. **Estudos de áreas de florestas em regeneração através de imagens Landsat TM**. São José dos Campos. 136 p. (INPE-5987-TDI/578). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1996.

RADAMBRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral. **Folha AS.21-Santarém. Geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra.** Rio de Janeiro: DNPM, 1976. 510 p. (Levantamento dos Recursos Naturais, v. 10)

SHIMABUKURO, Y.E.; AMARAL, S.; AHERN, F.J.; PIETSCH, R.W. Land cover classification from RADARSAT data of the Tapajós National Forest, Brazil. **Canadian Journal of Remote Sensing**, Ontario, v. 24, n. 4, p. 393-401, Dec, 1998.

SUDAM - Superintendência do Desenvolvimento da Amazônia. **Floresta Nacional do Tapajós: Mapa Temático de Vegetação.** Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 1987.

SUDAM/IBAMA - Superintendência do Desenvolvimento da Amazônia e Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais. **Floresta Nacional do Tapajós: Mapa Temático de Vegetação.** Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 1994.

YANASSE, C.C.F.; SANT'ANNA, S.J.S.; FRERY, A.C.; RENNÓ, C.D.; SOARES, J.V.; LUCKMAN, A.J. Exploratory study of the relationship between tropical forest regeneration stage and SIR-C L and C data. **Remote Sensing of Environment**, New York, v.59, n.2, p. 180-190, May 1997.

Recebido em janeiro de 2004
Revisado em setembro de 2004
Aceito em setembro de 2004