

3

Seqüestro e Emissões de Carbono em Função da Mudança no Uso e Cobertura da Terra Amazônica

a) RESUMO DO PROJETO

O projeto teve por objetivo estudar, com o emprego de técnicas de sensoriamento remoto e trabalhos de campo, a dinâmica de uso e cobertura da terra em sítios representativos da Amazônia brasileira, entre 1973 e 1996, e, de estimar a biomassa das áreas de vegetação primária e secundária. A dinâmica de uso e cobertura da terra é entendida como as mudanças, ao longo do tempo, da cobertura vegetal entre três classes: “floresta”, “uso (culturas, pastagens, etc.)” e “vegetação secundária”. Cada uma destas classes possui estoques de carbono diferentes e a dinâmica de uso e cobertura implica na emissão ou seqüestro de carbono para a atmosfera. O estudo da vegetação secundária recebeu ênfase particular, por ser sua extensão e taxa de acúmulo de carbono pouco conhecidas quantitativamente. A análise dos dados envolveu técnicas de processamento digital de imagens e de sistemas de informação geográfica para a realização de álgebra de mapas e produção de mapas de uso e cobertura da terra pela inter-comparação de uma série de imagens multitemporais. Foram utilizadas prioritariamente imagens dos sensores orbitais “*Thematic Mapper*” (TM), “*Multi-Spectral Scanner*” (MSS), ambos do satélite Landsat, e imagens de radar disponíveis (JERS, RADARSAT). Observações “*in situ*”, para refinar os resultados dessa análise, incluíram inventários florísticos e a coleta de parâmetros estruturais da vegetação primária e secundária, para estimativa da biomassa. O trabalho foi realizado em áreas de ocupação intensiva, principalmente nos estados do Pará e de Rondônia. Além de contribuir para melhorar o conhecimento do balanço de carbono na Amazônia, este projeto visou gerar resultados importantes para estudos socio-econômicos e dar subsídios para o estudo dos ciclos hidrológico e biogeoquímico da região.

b) CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

No cenário mundial, uma das questões ambientais mais relevantes é o entendimento do efeito da queima dos combustíveis fósseis e de florestas tropicais nos processos de mudanças climáticas devido à emissão de gases de efeito estufa.

No caso da Amazônia brasileira verificou-se, em anos recentes, mudanças significativas da cobertura florestal, processo que tem mobilizado a atenção da comunidade científica. Para avaliar o papel da Amazônia no cenário de mudanças globais do planeta, é preciso estimar a biomassa das florestas primária e secundária e quantificar o balanço nos estoques de carbono devido à essa mudança da cobertura da terra.

A ocupação das florestas de terra-firme e o desenvolvimento de atividades econômicas na região são iniciados pela derrubada da vegetação primária. A vegetação derrubada sofre geralmente processos de queima, com o remanescente entrando em decomposição. Esses processos resultam na emissão de CO₂ e outros gases traços para a atmosfera, contribuindo para o efeito estufa. Após a derrubada da mata, as áreas são geralmente ocupadas por culturas itinerantes (de um a mais de três anos) ou por plantações permanentes como cana-de-açúcar e café, ou gramíneas forrageiras. Uma parte substancialmente menor das áreas desmatadas na Amazônia tem sido utilizada para a construção de hidroelétricas, mineração, garimpos e expansão de áreas urbanas. De uma forma geral, uma parte significativa das áreas desflorestadas experimentam algum tipo de crescimento secundário, que funciona como absorvedor de carbono, contrapondo o efeito inicial do desflorestamento.

Devido à degradação do solo, retorno ao nível de acidez alta, erosão, pragas ou fatores econômicos, a terra é abandonada ou deixada em pousio, dando lugar à cobertura de sucessão secundária (doravante tratada, por vegetação secundária ou capoeira), com conseqüente acúmulo de biomassa e reabsorção de CO₂ da atmosfera pela fotossíntese.

A dinâmica de uso e cobertura da terra (i.e. desflorestamento, queima, cultivo, implantação de pastagens, abandono, e eventualmente novo desmatamento) é atualmente pouco conhecida do ponto de vista quantitativo, fazendo com que o balanço de emissões por esses processos (fluxo oriundo da vegetação derrubada para a atmosfera menos absorção de carbono no processo de acúmulo de biomassa), seja associado a níveis altos de incerteza. Em decorrência, as estimativas de emissões líquidas de CO₂ devido às mudanças do uso da terra nos trópicos são de $1,6 + 1,0 \times 10^{15}$ gC (Schimel et al., 1995), sendo que o seqüestro de CO₂ pela formação da vegetação secundária possivelmente responsável por uma grande parcela dessa incerteza.

No caso específico da Amazônia brasileira, foi possível identificar a extensão das áreas desflorestadas e estimar a taxa de desflorestamento entre 1975 e 1991, graças ao uso de imagens de satélites (INPE, 1992; Tardin et al., 1980; Alves et al., 1992). Esses trabalhos permitiram avaliar que a extensão das áreas desflorestadas na região passou de cerca de 152.000 km² em 1978 para cerca de 426.000 km² em 1991. Mais recentemente este trabalho tem sido sistematicamente atualizado e os últimos resultados indicam um desflorestamento total de 532.000 km² (Agosto de 1997) (http://www.inpe.br/Informacoes_Eventos/amz/amz.html), tendo sido observado um pico na taxa de desflorestamento bruto de 1994 para 1995 de cerca de 29.000 km².

O acervo de dados sobre desflorestamento do INPE contém apenas a extensão das áreas desflorestadas, incluindo nestas, as áreas de vegetação secundária. Portanto, as incertezas associadas à biomassa das áreas desflorestadas e às taxas de crescimento da vegetação secundária contribuem para a imprecisão do cálculo do balanço das emissões de gases de efeito estufa na Amazônia.

Segundo Uhl et al. (1988) e Nepstad et al. (1991), a intensidade do uso que precede o abandono é o melhor indicador da taxa de crescimento da floresta secundária. Brown e Lugo (1990), consideram que a formação das florestas secundárias é acompanhada pela rápida acumulação de biomassa nos primeiros 15 anos, com a estabilização da biomassa quase sempre abaixo das 200 t/ha após períodos de mais de 80 anos. A dinâmica de ocupação e a formação de florestas secundárias tem também efeitos sobre a matéria orgânica acumulada no solo, sendo que a formação de florestas secundárias tende a restaurar o estoque de carbono do solo (Brown e Lugo, 1990).

Existem vários fatores que influenciam a recomposição de espécies arbóreas de um ecossistema. Em áreas de florestas primárias derrubadas, sem serem queimadas, brotamentos do caule e das raízes são mecanismos que rapidamente restauram o número de espécies. A disponibilidade de fontes de sementes é um outro fator que regula a restauração do número de espécies em uma área de regeneração de floresta (Brown e Lugo, 1990). Muitas das espécies características de florestas secundárias têm sementes ou frutos bem adaptados ao transporte pelo vento ou por animais. Assim, dentre as espécies secundárias mais comuns na América Tropical, por exemplo a *Vismia guianensis* é dispersa por pássaros e morcegos; a *Didymopanax morototoni*, a *Guazuma ulmifolia*, as *Miconia* spp., e as *Byrsonima* spp., por pássaros; e as *Ochroma* spp. pelo vento (Richards, 1981).

Denich (1991) estudando áreas de vegetação secundária na Região Bragantina do Estado do Pará com idade entre 4 e 5 anos, constatou que os indivíduos com mais de 50 cm de altura, constituídos por árvores jovens, arbustos, trepadeiras ou pseudocaulis, surgiram de brotações do toco (epicórmica), raízes ou rizomas. As brotações do toco, facilmente reconhecíveis pelo acúmulo de rebentos adventícios, apresentaram uma preponderância numérica (*Lacistema pubescens* e todas as espécies de mirtáceas), ao passo que as de raiz (*Vismia guianensis*) e do rizoma (*Phenakospermum guianensis*), constituíram exceções.

A estrutura da vegetação tropical secundária é simples em comparação com a das florestas maduras. As características que tipificam as florestas secundária são: elevada densidade de caules, poucas árvores com diâmetro à altura do peito (DAP) maior que 10cm; pequena área basal por hectare; árvores baixas; baixo volume de madeira; e elevado índice de área foliar (IAF) (Brown e Lugo, 1990). As florestas secundárias, segundo Richards (1981), podem ser mais facilmente reconhecidas através de sua composição florística do que por sua fisionomia, uma vez que muitas espécies de floresta primária estão ausentes em florestas secundárias jovens. Na América tropical a abundância de indivíduos de *Cecropia* spp., *Vismia guianensis*, *Miconia* spp., certas espécies de *Inga* e

Byrsonima, além de outras de menor relevância, é uma indicação de floresta secundária.

Nesse quadro, contribuições para a caracterização da dinâmica de cobertura (uso e abandono) da terra, assim como a caracterização da composição florística, estrutura e biomassa das áreas de formação de vegetação secundária são importantes para uma melhor compreensão do ciclo de carbono e dos impactos da ocupação humana sobre o mesmo.

A ocupação humana e a conseqüente substituição da cobertura vegetal original também tem impactos sobre os ciclos biogeoquímico e hidrológico. O levantamento da dinâmica de uso da terra, principal objeto deste projeto contribuirá para outras iniciativas nas quais pesquisadores do INPA, INPE e de outros PPDs estão envolvidos, assim como o Experimento *LBA* - "Large Scale Atmosphere Biosphere Amazon Experiment" (<http://www.cptec.inpe.br/lba>) e o monitoramento de longo termo da Amazônia através do *Earth Observing System (EOS)* que está sendo desenvolvido em colaboração entre o INPE, Universidade da Califórnia, Santa Barbara, USP/CENA, Universidade de Washington, e INPA.

c) OBJETO DA PESQUISA

Dentro do objetivo geral de se determinar a relação entre mudanças no uso e cobertura da terra e o ciclo de carbono na Amazônia, empregando técnicas de sensoriamento remoto e estudos intensivos de campo, o presente projeto teve como objetivo principal estudar a dinâmica de uso e cobertura da terra no período de 1975 a 1997 e estimar a biomassa das áreas de vegetação secundária e primária, em áreas de intensa ocupação antrópica da Amazônia.

Especificamente foram obtidos:

- Mapas das áreas em uso e de vegetação secundária, para o período.
- Fração da área alterada coberta com vegetação secundária, em diferentes períodos;
- Equações alométricas para várias espécies predominantes em florestas secundárias, relacionando diâmetro, altura e à biomassa;
- Caracterização da composição florística da vegetação das áreas testes, em família e gênero, para aplicação das equações alométricas na estimativa de biomassa das parcelas;
- Estoques de biomassa de diversas classes de vegetação secundária e da floresta primária nas áreas testes;
- Taxas de absorção de carbono conforme histórico de uso;
- Cálculo das emissões líquidas de CO₂ para as áreas testes.

d) METODOLOGIA

d.1) Áreas de estudo

Este projeto concentrou esforços principalmente nos seguintes sítios (áreas testes) de terra firme dentro da Amazônia Legal, que se diferenciam pela história de ocupação e características de seus ecossistemas:

- região de Marabá, no estado do Pará;
- região ao longo da BR-364, no estado de Rondônia;
- região em torno da Floresta Nacional do Tapajós;
- região de Manaus para desenvolvimento de equações alométricas e biomassa de raízes;
- região de Tucumã, Pará, estudo de florestas com dominância de babaçu;
- região de Sena Madureira, Acre, estudo de florestas com dominância de bambu;
- entorno das principais rodovias da Amazônia, estudo da dinâmica do processo de ocupação.

A área de estudos de Marabá é uma região de intensa ocupação e apresenta padrões distintos de ocupação envolvendo grandes empresas de exploração pecuária, exploração de castanhais, e pequeno agricultor com prática de cultura e pousio. A área em Rondônia é uma área de ocupação mais recente, que intensificou-se sobremaneira na década de 70 e apresenta evidências de abandono de áreas desflorestadas. A região de Tapajós possui dinâmica bem menos intensa, com várias áreas de florestas secundárias que proliferaram após a construção da rodovia Cuiabá-Santarém. Um acervo dos mais completos de imagens na faixa das microondas (missões SAREX e SIR-C, imagens dos satélites JERS e ERS1), estão disponíveis para a área teste de Tapajós o que permitiu estudos da relação entre retroespalhamento (sinal do radar) e estrutura e biomassa da vegetação.

d.2) Procedimentos

Para o estudo da dinâmica do uso da terra, a metodologia envolveu a análise de imagens de satélites (Landsat TM/MSS; dos radares orbitais ERS-1, JERS-1 e Radarsat) e campanhas de campo. A análise das imagens de satélite permitiu a identificação e o delineamento das áreas desflorestadas e áreas de vegetação secundária. Em seguida, foram executadas missões de campo nas áreas de estudo, para verificação dos resultados da análise das imagens e para a caracterização dos tipos e estágios de vegetação secundária e inventário de sua composição e estrutura. Considerando que o histórico de uso influencia as taxas de crescimento de mata secundária (Uhl et al., 1988), uma matriz de transformação foi construída a partir das transições de uso das áreas detectadas na série temporal de imagens de sensoriamento remoto (Lucas et al., 1993). Essa

caracterização foi feita ao longo do tempo, criando-se um registro da *história* do uso das áreas, e analisando-se a estrutura e o estoque de carbono em diferentes estágios de regeneração da floresta secundária e primária.

d.3) Análise das imagens de satélite

Entende-se por dinâmica do uso da terra, neste segmento, a variação do tipo de uso da terra ao longo do tempo (áreas não alteradas, em uso efetivo ou de vegetação secundária). Para cada imagem, as áreas correspondentes a cada tipo foram delimitadas e quantificadas, após o que foram também delimitadas e quantificadas as partes que se mantêm em “uso efetivo” ou em abandono ao longo dos anos.

A delimitação e quantificação das áreas de diferentes tipos de uso foram realizadas a partir das imagens Landsat TM, utilizando-se técnicas de processamento digital de imagens e de geoprocessamento. Em seguida, os resultados desse trabalho foram confrontados com a verdade “*in situ*” em campanhas de campo, ou vôos de reconhecimento aéreo, usando inclusive câmeras digitais para correção de eventuais erros nos mapas elaborados.

Para a delimitação das áreas segundo o tipo de uso, as imagens foram submetidas a uma seqüência de tratamentos, utilizando-se os sistemas de processamento de imagens e de informações geográficas disponíveis no INPE (principalmente, o programa SPRING). As principais etapas desse tratamento foram:

1. Registro das imagens: as imagens multi-temporais recobrando as áreas testes foram co-registradas, utilizando-se pontos de controle.
2. Delimitação e classificação das áreas segundo tipos de uso: as imagens de cada ano foram processadas e classificadas para identificação das áreas segundo três classes de uso. Como resultado foram produzidos mapas “anuais” (preliminares) de uso da terra, diferenciando as áreas em floresta, uso efetivo e áreas de vegetação secundária.
3. Estratificação preliminar segundo idades da vegetação secundária: os mapas anuais foram cruzados (álgebra de mapas), buscando-se uma identificação preliminar das idades da vegetação secundária.
4. Atualização dos resultados preliminares após a verificação *in situ*.
5. Construção da matriz de transformação, após a verificação de campo e quantificação das taxas de mudança.
6. Cálculo das emissões líquidas de CO₂ usando a metodologia do IPCC com valores *default* e valores mais apropriados conforme resultados do projeto.

d.4) Missões de campo

Após o tratamento das imagens de satélite, com a produção de mapas e análise preliminar dos resultados, foram realizadas missões de campo nas

várias áreas testes com os seguintes objetivos: 1) identificar erros de classificação e caracterizar os diversos tipos de sucessão segundo idade e histórico de uso das áreas; 2) definir amostras e executar o inventário florístico e estimar a biomassa com base em equações alométricas; 3) identificar indivíduos dos principais gêneros e coletar os parâmetros para verificação e desenvolvimento de equações alométricas para estimativa de biomassa.

O trabalho de campo, em cada área teste, foi em alguns casos, precedido de um sobrevôo com avião leve, a baixa altitude, contratado localmente, para permitir uma visualização integrada e auxiliar na localização das amostras para os inventários, além de permitir a tomada de imagens oblíquas da área ou de videografia digital.

d.4.1. Inventário Florístico

O inventário das unidades de vegetação (primária e secundária) visou a determinação de parâmetros estruturais da parcela e identificação florística, ao nível de gênero e família, informações que permitiram os cálculos de biomassa e volumetria da parcela.

Para efeito de identificação botânica, foram considerados, na maior parte dos casos, os indivíduos com diâmetro à altura do peito (DAP) ³ 5 cm. O trabalho de campo foi, em alguns casos, complementado por uma coleta botânica, para a identificação em herbário (Museu Göeldi ou INPA) das espécies mais freqüentes na área, quando não era possível a identificação segura no campo.

d.4.2. Equações Alométricas para as Florestas Secundárias

Com as equações alométricas, elimina-se o esforço, para a estimativa de biomassa, que seria necessário pelo método destrutivo total. Para cada gênero selecionado pela sua importância, várias árvores foram derrubadas e o peso total fresco determinado, no campo, em diferentes compartimentos: fuste, galhos grossos (> 1 cm diâm.), galhos finos (< 1 cm diâm.) e folhas. A altura total, altura do fuste e diâmetro ao nível do peito (1,50 m do chão) foram medidos. Pequenas amostras foram retiradas do fuste (três “bolachas”, de diferentes alturas), dos galhos finos, galhos grossos e folhas. O peso fresco das amostras foram determinados no campo com balança de precisão e o peso seco foi determinado também em campo, após secagem em estufa portátil, especialmente construída para o projeto, após atingirem peso constante, e assim obtida a relação do peso fresco/peso-seco de cada compartimento da árvore. Esta razão permitiu a estimativa do peso seco da árvore como um todo, por compartimento. Uma vez determinado o peso seco de pelo menos 15 árvores, foi possível determinar a regressão entre as variáveis independentes “diâmetro” e “altura total” e a variável dependente “peso seco total”, para aquele gênero. Como a estimativa de altura é muito trabalhosa e imprecisa, desenvolveu-se relações de DAP com altura, e testada a precisão de equações alométricas que utilizam apenas o DAP, como variável independente. Detalhes metodológicos encontram-se em Nelson et al. (1999).

d.4.3. Estimativa de Biomassa

A estimativa da fitomassa de indivíduos com DAP maiores do que 5cm (florestas secundária) ou 10 cm (floresta primária) foi feita com base no inventário florestal clássico, apenas priorizando as variáveis independentes indicadas pelo modelo matemático (equações alométricas) previamente escolhido para estimar a fitomassa. Foi feito o levantamento florestal dos tipos de florestas predominantes em amostras representativas das unidades florestais previamente estratificadas e mapeadas por sensoriamento remoto, usando basicamente a mesma metodologia utilizada por Higuchi et al. (1998). Em seguida foi estimada a fitomassa aérea das classes de vegetação secundária mais relevantes identificadas na matriz de transformação de uso e cobertura da terra. A fitomassa de sub-bosque foi estimada de forma destrutiva, em sub-parcelas representativas, ou com base em dados previamente publicados na literatura.

A estimativa da biomassa abaixo do solo foi baseada em índices da literatura buscando-se dados de ecossistemas mais similares possíveis aos das áreas de estudo. Identificou-se a necessidade de obtenção de dados inéditos, destrutivos, para melhorar a estimativa de biomassa de raízes de floresta primária. Esta atividade foi efetivamente iniciada no projeto e encontra-se, no momento, em plena atividade de coleta de dados no campo.

Uma discussão e detalhamento metodológico da estimativa de fitomassa que norteou este projeto pode ser encontrada em Higuchi e Carvalho Jr. (1994).

a) Resultados

O projeto previa 5 metas que foram plenamente atingidas, a seguir apresentaremos os principais resultados por área teste para facilitar a leitura.

e.1) Área Teste de Marabá

Dinâmica de Uso e Cobertura da Terra

Analisando a seqüência de imagens de 1973 a 1997, constatou-se a drástica redução das áreas de floresta, que correspondiam a 95,7% da área de estudo em 1973 e a apenas 38% em 1997, acompanhada pelo aumento das áreas de pastagens, que representavam menos de 4% em 1973 e passaram a mais de 55% em 1997. As áreas de capoeira por sua vez não apresentaram grande variação anual, representando cerca de 6% da área de estudo em 1997 (Figuras 1 e 2, Pereira, 1996).

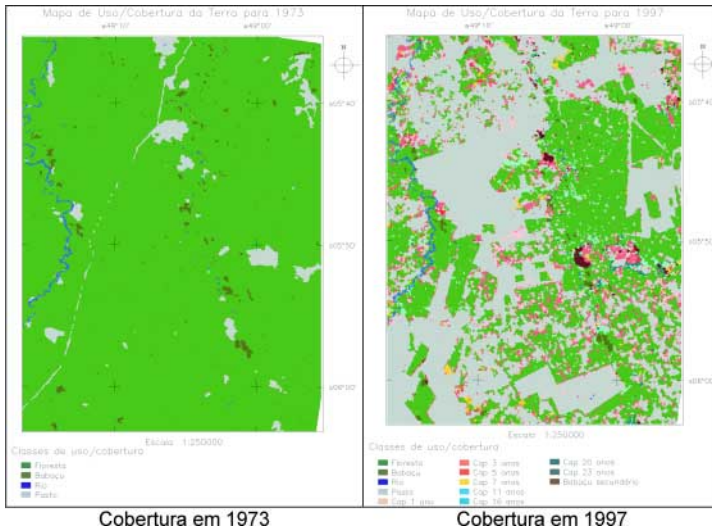


Fig. 1 - Classes de uso e/ou cobertura para os anos de 1973 e 1997

Utilização de Métricas da Paisagem na Caracterização da Dinâmica da Classes de Uso e/ou Cobertura

Para o cálculo das métricas da paisagem foi utilizado o programa *FRAGSTATS*, que é um programa para análise de padrões espaciais e da estrutura da paisagem.

O número de manchas da área de estudo aumentou de 178 manchas em 1973, sendo apenas 3 de floresta, 109 de pasto e nenhuma de capoeira; para 2906 manchas em 1997, distribuídas da seguinte forma: 526 de floresta (18%), 571 de pasto (20%) e 1743 de capoeira (60%). Grande parte desse aumento é devido ao aumento das manchas de capoeira, que em geral são pequenas (figura 3).

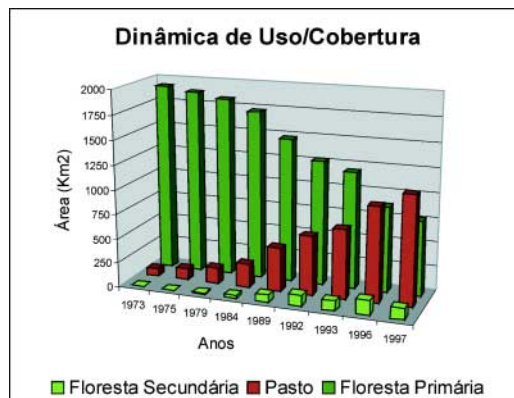


Fig. 2 - Dinâmica das áreas classes de uso e/ou cobertura (km²) para os anos de 1973 a 1997.

O tamanho médio das manchas da paisagem diminuiu de 1973 para 1997, associado basicamente a diminuição do tamanho médio das manchas de floresta, de 64.000 ha para 145 ha. Observa-se ainda, uma aumento gradual do tamanho das manchas de pasto, de 68 ha para 195 ha, sendo que em 1997, o tamanho médio das manchas de pasto é ligeiramente superior ao das manchas de floresta (figura 3).

O aumento do número de manchas e a diminuição do tamanho médio das manchas de floresta são indicadores de uma grande fragmentação da paisagem da área de estudo.

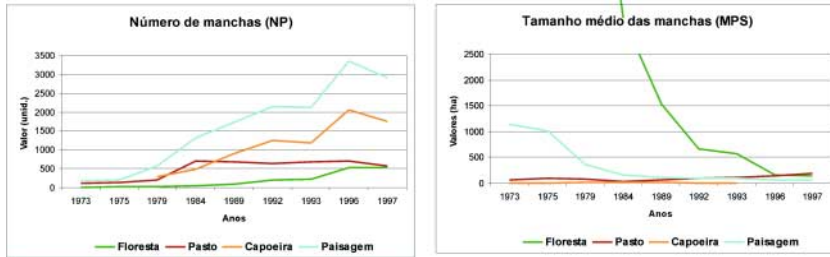


Fig. 3 - Comportamento das métricas Número de manchas e Tamanho médio das manchas.

Diminuição do Estoque de Carbono

Utilizando-se os valores mais adequados de biomassa para a área de estudos constatou-se a diminuição do estoque de carbono na biomassa viva acima do solo de 21,7 milhões de toneladas em 1973 para 10,1 milhões de toneladas em 1997, ou seja uma diminuição de 11,7 milhões de toneladas, o que representa uma diminuição de 53,6% do estoque de carbono com relação a 1973 (figura 4).

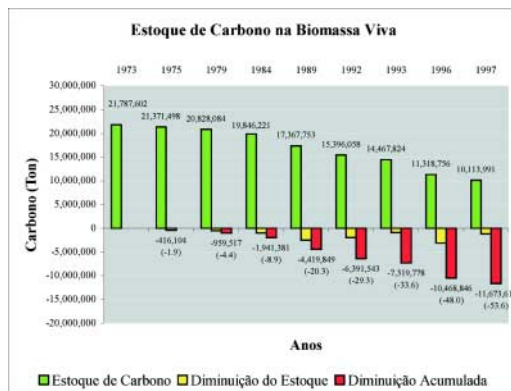


Fig. 4 - Diminuição do estoque de carbono na biomassa viva de 1973 a 1997: valores específicos para a área de estudo.

Estimativas de Emissões de CO₂

Foram realizadas estimativas de emissões de CO₂, associadas a mudanças de uso e cobertura da terra, para os anos de 1993 e 1997, utilizando-se o documento de referência e planilha eletrônica para inventários nacionais de gases de efeito estufa elaborado pelo Intergovernmental Panel on Climate Change, (IPCC, 1994).

Como resultado observou-se um aumento na emissão de carbono (balanço negativo) de quase 30% de 1993 para 1997, sendo de 2.340,2 Gg de CO₂ em 1993 e de 3.282,1 Gg de CO₂ em 1997, demonstrando um crescimento da ordem de 7,5% ao ano (tabela 1).

Tabela 1 – Valores de emissão para os anos de 1993 e 1997

Ano	Emissão (ktC)		Absorção (ktC)	Balanço (ktC)	Emissão de CO ₂ (Gg)
	Decomposição	Queima			
1993	-269,1	-369,2	36,1	-602,7	2.340,2
1997	-415,0	-480,1	42,3	-852,8	3.282,1

e.2) Área Teste de Tapajós

Os estudos preliminares da dinâmica do uso e cobertura da terra da região nos arredores da Floresta Nacional de Tapajós mostraram a viabilidade da utilização de imagens de radar para caracterizar a formação vegetal secundária no período, representando o padrão de ocupação dos diversos usos.

Estudos desenvolvidos demonstraram que:

Ao se utilizar imagens do SIR-C nas bandas C e L e polarizações HH e HV pode ser possível a discriminação de diferentes estágios de floresta secundária quando a média do retorno do radar na banda L é usada em “grandes” extensões de área. Em particular, a polarização HV apresenta um poder discriminatório maior que a polarização HH. O coeficiente de variação apresentou-se menos apropriado do que a média no tocante a discriminação dos estágios de regeneração, embora o coeficiente de variação parece ajudar na discriminação de floresta primária e estágios avançados de vegetação secundária (Yanasse et al., 1997).

Ao se utilizar imagens do Convair 580 SAR (SAREX) na banda C e polarização HH a informação textural para a discriminação entre os diferentes tipos de uso da terra é mais eficiente que a informação da média do retorno do radar. Das três medidas utilizadas para quantificar a informação textural (coeficiente de variação, parâmetro da distribuição K-Amplitude e a medida de contraste de Haralick), o coeficiente de variação apresentou-se como o melhor parâmetro discriminador entre floresta primária e os diferentes usos da terra (Luckman et al., 1997a).

Ao se utilizar imagens do SIR-C (bandas C e L e polarizações HH e HV), ERS-1 (banda C e polarização VV) e JERS-1 (banda L e polarização HH) pode se observar que comprimentos de ondas maiores (banda L) podem ser utilizados para a discriminação entre diferentes níveis de biomassa da floresta até um certo limiar e que a polarização cruzada é mais sensível às variações de densidade de biomassa. O comprimento de onda menor (banda C) limita-se a diferenciar a vegetação e solo exposto, na estação seca. O limite da densidade de biomassa, acima do qual o retorno na banda L não é sensível ao aumento da densidade de biomassa, é de aproximadamente 60 ton/ha (Luckman et al., 1997b).

Dando continuidade a estes estudos de discriminação de classes de uso da terra realizou-se uma comparação dos resultados de três distintos classificadores supervisionados: o pontual de Máxima Verossimilhança, o contextual de Modas Condicionais Iterativas (ICM - Iterated Conditional Modes) e um por regiões baseado na distância de Bhattacharyya, aplicados a uma imagem do RADARSAT, banda C e polarização HH (Sant'Anna et al., 1997). Vale ressaltar que os dois primeiros classificadores foram projetados levando-se em consideração as propriedades estatísticas dos dados de radar. A classificação baseou-se em dois atributos tonais (o níveis de cinza da imagem original e da imagem filtrada pelo algoritmo de Frost) e dois atributos texturais (o coeficiente de variação e o parâmetro da distribuição K-Amplitude). As classes de uso consideradas no processo de classificação foram: solo exposto e pastagem, vegetação secundária e floresta primária. Verificou-se que o classificador ICM apresentou o melhor desempenho dentre os classificadores citados, mostrando a relevância do contexto quando se classifica imagens de radar. A informação textural do parâmetro da distribuição K-Amplitude permite a discriminação de floresta primária das demais classes, enquanto que a informação tonal contida na banda gerada após a filtragem pelo algoritmo de Frost permite a discriminação de solo exposto das demais classes. A utilização desses dois atributos em conjunto permitiram a separabilidade das três classes consideradas.

Esta mesma metodologia foi aplicada sobre uma imagem JERS-1 na região de Tapajós, mas os resultados não foram tão promissores quanto aqueles obtidos com a imagem do RADARSAT, não sendo possível a discriminação das três classes acima mencionadas. A razão para este resultado está sendo investigada, mas um possível motivo, além da diferença entre as características básicas dos sensores, seria um problema inerente ao processamento da imagem JERS-1 que causa uma repetição sistemática dos níveis de cinza da imagem, prejudicando o desempenho discriminatório do parâmetro textural.

Na busca de outros atributos que possam auxiliar na discriminação de classes de uso da terra, utilizando-se imagens de radar, realizou-se uma análise de vários atributos (espectrais e texturais). Estes atributos foram os parâmetros que caracterizam algumas funções densidade de probabilidade adequadas aos dados de radar, a autocorrelação espacial, desvio padrão, entre outras. Para tanto, foram usadas imagens do SIR-C (banda C e L e polarizações HH e HV) e um mapa de uso com quatro classes (floresta primária, floresta secundária antiga – com mais de sete anos, floresta secundária nova e solo exposto/pastagem)

que serviu como uma imagem máscara para se obter as regiões de cada classe para o cálculo da estimativa dos atributos nos quatro canais (C-HH, C-HV, L-HH, e L-HV). De posse destes valores estimados realizou-se uma análise multivariada baseada em uma distância que pondera variações intra e entre classes a fim de selecionar os atributos com o maior poder discriminatório entre as classes. Os resultados preliminares deste estudo (Sant'Anna et al., 1999) mostraram que a banda C deve ser usada para a discriminação entre floresta primária e os outros dois tipos de floresta (secundária), já a banda L deve ser usada na discriminação dos outros pares de classes. Os resultados de classificação serão avaliados utilizando-se o melhor conjunto de banda/polarização/medida oriundo da seleção de atributos.

Com base nos resultados acima mencionados pode-se observar a possibilidade de discriminar os diferentes estágios de floresta secundária através de diversos atributos. Neste sentido foram desenvolvidos dois classificadores, um pontual e outro por regiões, este último baseado no enfoque dado por Soares et al., 1997. A metodologia do classificador pontual para imagens monoespectrais é descrita em Vieira et al., 1997 e Frery et al., 1997, e para imagens polarimétricas em Yanasse et al., 1997 e Correia et al., 1998. A descrição da metodologia do classificador por regiões encontra-se em Rennó et al., 1999.

A utilização do classificador pontual monoespectral na imagem JERS-1 da região de Tapajós para a discriminação de três classes de uso do solo (floresta primária, floresta secundária e solo exposto/pastagem) mostrou que a maior confusão encontrada foi nas áreas de solo exposto/pastagem, sendo que várias delas foram classificadas nas outras duas classes. A classe de floresta primária foi bem discriminada das outras duas classes.

O resultado da classificação da imagem JERS-1 utilizando-se o classificador por regiões citado em Rennó et al. (1999), considerando-se quatro classes de uso (floresta primária, floresta secundária antiga – com mais de sete anos, floresta secundária nova e solo exposto/pastagem) mostrou que com apenas a informação da média tonal foi possível discriminar três das quatro classes, uma vez que a separação entre as classes de floresta primária e de floresta secundária antiga não foi eficaz. Também pode ser notado que houve uma confusão entre as classes de floresta secundária nova e solo exposto/pastagem. Com a utilização de três medidas de textura (entropia e correlação de Haralick e mediana) neste classificador foi possível melhorar a discriminação floresta secundária nova das demais classes. No entanto observou-se ainda uma grande confusão entre as classes de floresta primária e de floresta secundária antiga. Notou-se, também, que ao se agrupar as classes de floresta primária e secundária antiga o poder discriminatório das medidas texturais aumenta. Verificou-se, ainda, que ao se analisar somente estas duas últimas classes usando a medida de entropia de Haralick, a discriminabilidade entre elas é alta. Este fato pode ser indicativo de que uma classificação em duas etapas aumentaria a discriminação entre as quatro classes consideradas, aumentando assim o desempenho de classificação.

Segmentação no espaço de cores - Foi proposto, desenvolvido e testado com sucesso um novo algoritmo de segmentação de imagens baseado na compo-

nente matiz de transformações HSV. Principal vantagem: menor sensibilidade a variações de iluminação na correta determinação dos objetos.

Para validar as estimativas de biomassa estimadas por radar foi realizado um trabalho de campo intensivo em outubro de 1999, na região de Santarém (PA), que teve os seguintes objetivos: ·1) coleta de pontos de controles ao longo do rio Tapajós, utilizando-se Ground Position System (GPS), a fim de melhorar o registro das imagens. Para tanto foram coletados 28 pontos de controle; 2) análise da dinâmica do uso e ocupação do solo, para verificar o impacto causado ao meio ambiente, assim como para avaliar a exatidão das classificações digitais das imagens. Foram visitadas e identificadas um total de 119 áreas; 3) avaliação dos dados de aerovideografia visando a aferição da precisão das medidas de altitudes obtidas pelo laser altímetro. Utilizou-se dois perfis do laser altímetro nos quais foram medidas alturas de casas e árvores; 4) quantificação da biomassa de áreas de floresta primária e de floresta secundária em diferentes estágios de sucessão, a fim de verificar a influência do desmatamento e regeneração no ciclo de carbono e também relacionar a biomassa com o retorno do radar. Foram medidas, com 1 repetição, 50 parcelas de 10x100m para áreas de floresta primária (10 áreas) e aproximadamente 32 parcelas de 10x50m para áreas de floresta secundária (64 áreas), perfazendo um total de 74 áreas medidas.

Classes de Cobertura da Terra

Na determinação da dinâmica de uso e cobertura da terra para área teste Tapajós foram utilizadas imagens Landsat-MSS para os anos 1975 e 1980, e Landsat-TM para os anos 1984, 1986, 1988, 1989, 1991, 1996 e 1997. Na figura 5 são mostradas as distribuições das classes de cobertura para os anos de 1980 e 1997, e na figura 6 a dinâmica das áreas de cada classe para os anos.

Observou-se uma redução de 23,6% na área de floresta, e aumento nas áreas de uso (pasto e culutra) e nas áreas de capoeira. Um fato interessante observado foi que as áreas de capoeira representam uma parte significativa da área desflorestada, correspondendo em 1997 a 60% da área desflorestada.

Estimativas de Biomassa

A biomassa acima do solo (peso seco em ton/ha) para as classes de cobertura Floresta e classes de Vegetação Secundária como definidas por Bernardes (1996) - Vegetação Secundária Inicial (VS1, < 5anos), Vegetação Secundária Intermediária (VS2, 5 a < 10 anos) e Vegetação Secundária Avançada (VS3, > 10 anos) - bem como o erro médio e o número de amostras, utilizadas nas estimativas são apresentadas na tabela 2. A localização das amostras pode ser observada na figura 7.

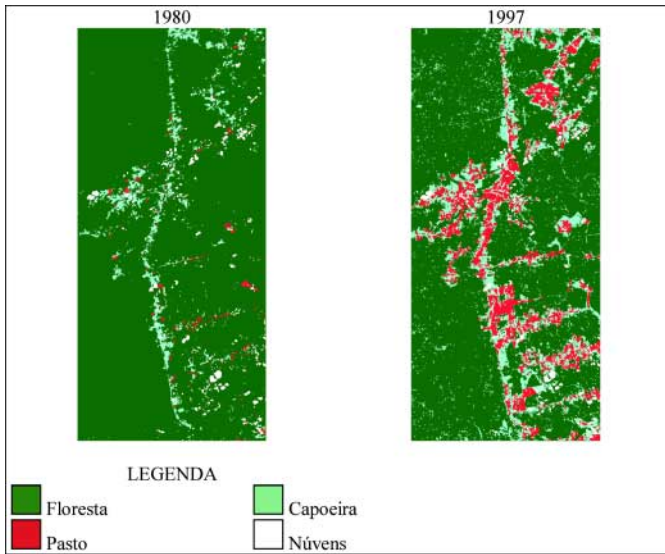


Fig. 5 - Distribuição das classes de cobertura para os anos de 1980 e 1997.

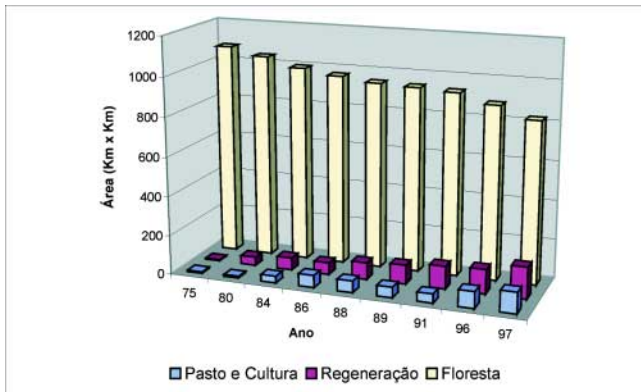


Fig. 6 - Área ocupada nos diferentes anos, por tipo de classe de uso da terra.

Tabela 2 – Biomassa média das classes de cobertura da terra

Tipo de Cobertura	Biomassa	Desv. Padrão	Amostras
Floresta	310	153	12
VS1	10	7	12
VS2	50	32	26
VS3	73	28	17

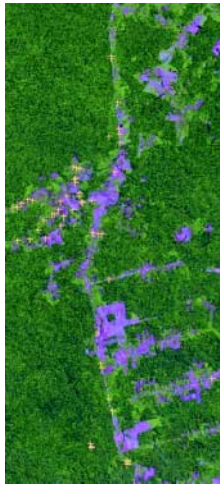


Fig. 7 – Localização dos pontos onde foram realizados inventários para a determinação da biomassa das classes de cobertura.

Estimativas de Emissões de Carbono

Para as estimativas de balanço de carbono associado a dinâmica de uso e cobertura da terra foram utilizados os valores de biomassa seca de 7, 10, 50, 73, 310 ton/ha para as classes pasto e cultura, VS1, VS2, VS3 e floresta, respectivamente. Considerando que o conteúdo de carbono na biomassa florestal é em geral 50 % da biomassa seca, a figura 8 mostra os resultados obtidos para o conteúdo de carbono. Os resultados mostram que houve um aumento da emissão de carbono do início da década de 1970 até 1984. A partir deste ano observou-se uma tendência para a diminuição das emissões de carbono até 1989. A emissão aumenta novamente, até atingir o valor máximo em 1996; diminuindo um pouco no ano seguinte.

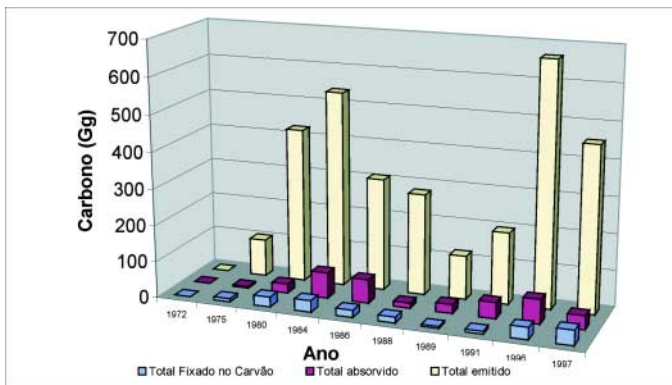


Fig. 8 – Balanço de carbono associado a dinâmica de mudança de uso e cobertura da terra, para a área de estudos.

e.3) Área Teste de Rondônia

Trabalhou-se com a cena inteira do Landsat TM, aproximadamente 30.000 km², em datas distintas: 1977, 1985 e 1995; assim como, analisou-se a questão de dinâmica de ocupação em função da abertura de rodovias.

Caracterização da Mudança da Paisagem em Rondônia Usando Imagens Landsat TM

Uma análise das mudanças na paisagem numa região pioneira de ocupação no centro de Rondônia, foi derivada a partir de dados Landsat (tabela 3). A área total aumentou de 206x10³ ha em 1977, para 565x10³ ha em 1985 e para 1.210x10³ ha, ou 35.5 % da região, em 1995. Oitenta e um por cento do total desflorestado em 1995 ocorreu em regiões dentro de 12.5 km das áreas das colonizações desflorestadas até 1977. A fração de desflorestamento excedeu 79% em regiões dentro de 12,5km da primeira estrada aberta (Alves, et al., 1999).

Tabela 3 - Desflorestamento em 1977, 1985 e 1995, em relação à área do município

<i>Município</i>	Área (I) (10 ³ ha)	Área Deflorestada (10 ³ ha)			<i>Desflorestamento</i> (%)		
		1977	1985	1995	1977	1985	1995
Ariquemes	222.1	12.8	51.3	101.6	6	23	46
Cacáulândia	109.3	2.7	27.9	59.9	3	26	55
Governador Jorge Teixeira	155.2	3.5	23.2	73.2	2	15	47
Jamari	55.5	0.0	0.0	5.1	0	0	9
Jarú	241.0	39.8	97.5	179.1	17	40	74
Ji-Paraná	663.9	49.1	120.6	199.5	7	18	30
Machadinho d'Oeste	647.7	1.7	16.2	114.3	0	2	18
Ministro Andreazza	24.4	1.7	6.6	14.3	7	27	59
Ouro Preto do Oeste	279.2	71.2	128.7	206.7	26	46	74
Presidente Médici	9.2	3.2	4.9	7.1	35	53	77
Rio Crespo	219.2	2.3	18.1	60.3	1	8	28
Theobroma	218.9	7.0	35.6	99.8	3	16	46
Vale do Paraíso	96.3	10.0	27.9	62.8	10	29	65
Aripuanã (MT)	469.2	0.6	6.2	25.9	0	1	6
Total	3,411.4	205.8	564.9	1,210.0	6	17	35

1. Parte do município dentro da área de estudo

Com o objetivo de explorarmos o potencial das imagens Landsat para estimativa de emissões foi feita uma análise das áreas queimadas em 1998 e cruzadas com a classe de cobertura (pastagem e floresta) (figura 9).

Usando técnicas de segmentação e classificação da imagem fração sombra, editada por fotointérprete. Conforme mostra a figura 9, foi possível a discriminação de queimadas recentes (i.e. de 1998, 186 km² ou 16%, amarelo), de queimadas antigas (até 1997, 964 km² ou 84%, vermelho) pelo cruzamento da classificação com o mapa de desflorestamento ocorrido até 1997, assim como com o mapa de incremento de desflorestamento em 1998.

A análise da área de floresta em regeneração para a imagem de Rondônia de 1998, revelou um total de 1.754 km², correspondente a 16% do total das áreas ocupadas com desflorestamento bruto.

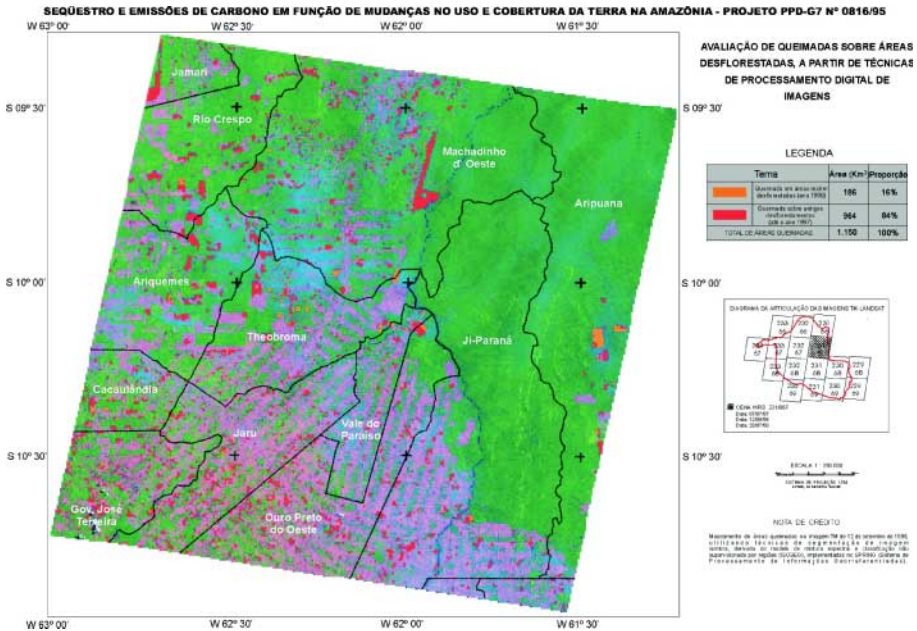


Fig. 9 - Mapa de áreas queimadas resultante da análise da imagem de setembro de 1998, de Rondônia.

Na área teste de Rondônia foram realizadas estimativas de biomassa a partir da coleta de parâmetros biofísicos e de equações alométricas publicadas na literatura para floresta primária e áreas de vegetação secundária para idades típicas da região (2 a 18 anos).

Com os objetivos de levantar informações sobre o uso da terra e coletar dados biométricos em áreas de floresta secundária, realizou-se campanha na região dos municípios de Arriquemes, Cacaulândia, Jarú, Ji-Paraná, Machadinho d'Oeste, Ouro Preto d'Oeste, Rio Crespo, Theobroma e Vale do Paraíso, na região central do estado de Rondônia (figura 10).

Durante a missão foram coletados dados biométricos em transeções ao longo de áreas de floresta secundária de três idades diferentes e em uma plantação de cacau. Nas mesmas áreas foram também realizadas medidas de índice de área foliar. Realizou-se sobrevôo de áreas de floresta secundária, caracterizando o estado de regeneração das áreas abandonadas após desflorestamento numa área de aproximadamente 360.000 hectares no projeto Burareiro. Foi possível, também, identificar o padrão de ocupação em um assentamento de um ano do INCRA, implantado em região de floresta.

Os resultados do trabalho além de serem utilizados no estudo da dinâmica de uso da terra na região e na estimativa do estoque de carbono das áreas de floresta secundária, também contribuíram para desenvolver técnicas para a caracterização do uso da terra utilizando imagens de satélite e, em particular, imagens dos radares orbitais RADARSAT e JERS-1.

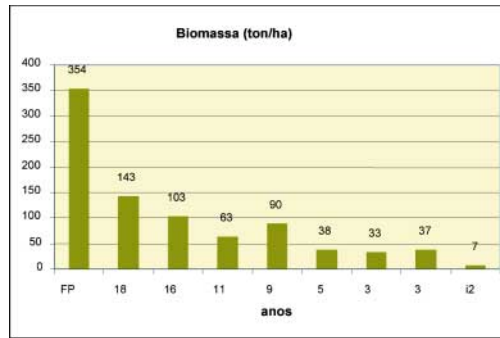


Fig. 10 - Estimativa de biomassa de diversas classes de vegetação (floresta primária, FP; capoeiras de diferentes idades, 3 a 18 anos, em Rondônia, usando equações alométricas).

A figura 11, mostra o resultado da simulação de dois cenários de ocorrência de vegetação secundária.

Cenários de sequestro de carbono por capoeiras

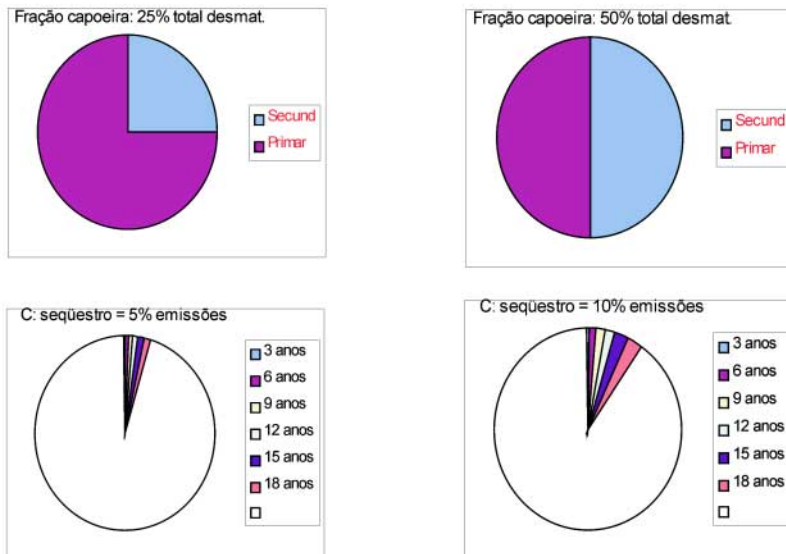


Fig. 11 - Cenários de emissões e sequestro de C em função de ocorrência máxima de áreas de vegetação secundária, em Rondônia.

Os valores simulados de floresta secundária, cobrem todo o envelope de ocorrência máxima de capoeiras, com base nos resultados obtidos em Rondônia. Pode ser observado, que mesma que se as capoeiras cobrissem 50% da área desflorestada (na realidade observou-se cerca de 16%), o seqüestro de carbono devido ao processo de fotossínteses dessas áreas seria de apenas 10% do carbono emitido pelo desflorestamento inicial. Portanto, o papel das capoeiras no balanço de carbono na Amazônia, é menor do que o inicialmente antecipado, quando da proposição do projeto.

Dinâmica da Fertilidade do Solo após Conversão de Floresta para Pastagem em Rondônia

Analisou-se a evolução da fertilidade do solo em áreas de pastagem com quatro diferentes idades de implantação, e em áreas de floresta numa região do Estado de Rondônia. Com o auxílio de imagens do sensor TM/Landsat obtidas num período entre 1987 e 1997, estabeleceram-se três sítios de estudo com diferentes idades de pastagem para coleta de amostras de solo, sendo dois da classe Podzólico Vermelho-Amarelo (PVA), e outro da classe Podzólico Vermelho-Escuro (PE). Coletaram-se amostras de solo a 20 cm de profundidade, nas áreas com diferentes idades de uso em casa sítio. As amostras foram submetidas à análise de fertilidade e granulometria, obtendo-se os dados de pH, bases trocáveis, fósforo disponível, saturação por alumínio, saturação por bases e matéria orgânica. Observaram-se diferentes comportamentos de dinâmica entre as duas classes de solo estudadas (figura 12). Para o solo da classe PVA, distrófico, baixa fertilidade natural, o seu nível de bases se manteve superior ao encontrado na área de floresta, mesmo com uso acima de 10 anos devido ao efeito residual das cinzas. Para o solo da classe PE, eutrófico na área de floresta, o nível de bases encontrado, em área de idade de mais de 10 anos de uso, ficou menor em relação ao original, provavelmente por causa das perdas dos nutrientes por lixiviação e erosão superficial, associadas ao baixo teor de argila do solo e ao relevo local mais acentuado. Por outro lado, quanto ao fósforo disponível, que é um fator limitante na produtividade de pastagem, seu nível nas duas classes de solos ficou praticamente igual ao original, após um período de mais de 10 anos de uso.

e.4) Área Teste de Manaus

A área teste de Manaus serviu para o desenvolvimento das equações alométricas para 7 espécies de vegetação secundárias, assim como para o início dos estudos de biomassa de raízes. A proximidade da área de estudo com as instalações do INPA e o envolvimento de pesquisadores do INPA, no projeto, foi muito importante. A tabela 4, resume os principais resultados das equações alométricas (Nelson et al., 1999).

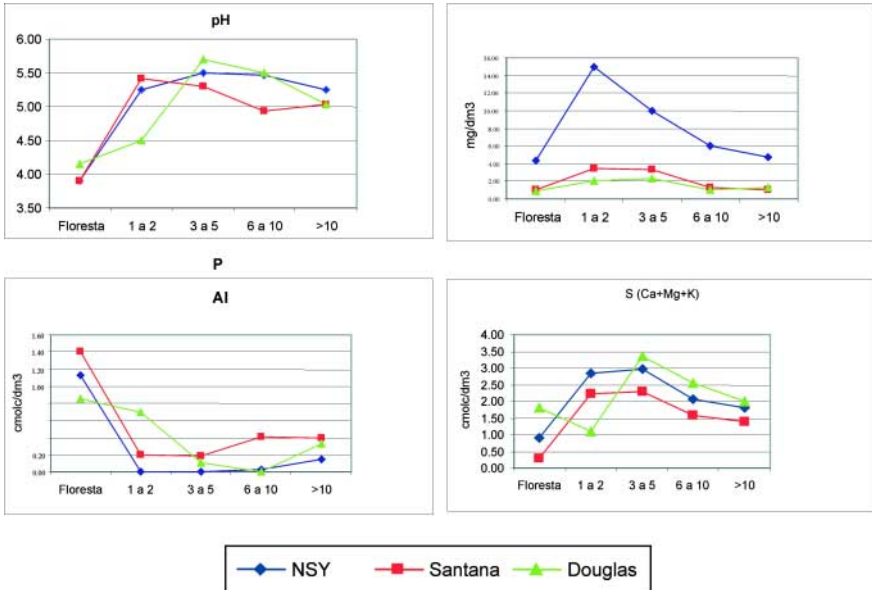


Fig. 12 - Indicadores de mudanças nas características químicas do solo em função do tempo de uso da pastagem, Rondônia (Numata et al., 1999, submetido).

Tabela 4 - Desenvolvimento de equações alométricas (biomassa)

<i>Bellucia spp.</i>	$\ln Y = -1,8158 + 2,3700 \ln D$
	$\ln Y = -2,4387 + 2,075 \ln D + 0,536 \ln h$
<i>Goupia glabra</i>	$\ln Y = -1,7972 + 2,420 \ln D$
	$\ln Y = -2,499 + 2,1283 \ln D + 0,5508 \ln h$
<i>Laetia procera</i>	$\ln Y = -2,2244 + 2,5105 \ln D$
	$\ln Y = -2,6385 + 2,1976 \ln D + 0,4565 \ln h$
<i>Vismia cayennensis</i>	$\ln Y = -2,3706 + 2,5392 \ln D$
	$\ln Y = -2,424 + 2,4855 \ln D + 0,0738 \ln h$
<i>Vismia. japurensis</i>	$\ln Y = -1,7829 + 2,3651 \ln D$
	$\ln Y = -2,0118 + 2,2557 \ln D + 0,1877 \ln h$
<i>Croton matourensis</i>	$\ln Y = -2,7009 + 2,5996 \ln D$
	$\ln Y = -3,463 + 2,2885 \ln D + 0,5906 \ln h$
<i>Cecropia sciadophylla</i>	$\ln Y = -2,5118 + 2,4257 \ln D$

Forest Ecology and Management (117 (1999) 149-167)

e.5) Áreas Testes Adicionais

e.5.1) Tucumã e Sena Madureira, Acre

Duas extensas formações de florestas abertas na Amazônia podem ser, pelo menos em parte, fruto de atividades antrópicas-indígenas. Estas são as florestas dominadas por babaçu (*Attalea speciosa*) e as florestas dominadas por bambus arborescentes (*Guadua* sp.). As duas são detectadas em imagens Landsat e recobrem aproximadamente 400.000 km² de florestas dentro da Amazônia, antes tidas como florestas primárias. No caso do babaçu, as evidências são claras de que a dominância desta planta deriva de corte e queima, ou da simples penetração de fogo rasteiro em anos secos. A fonte de ignição provavelmente foi antrópica. O bambu também é resistente ao fogo, embora em menor grau.

O estudo das duas formações foi incluído no projeto por três motivos (1) estas formações são favorecidas pelo fogo, (2) estão associadas com atividades antrópicas, (3) o babaçu representa um caso de sucessão secundária “estagnada” e (4) estas florestas estão em um patamar de biomassa menor que a floresta heterogênea primitiva.

No caso da floresta dominada por babaçu, foram desenvolvidas regressões que permitem inferir a abundância desta palmeira no dossel usando imagens Landsat. No caso do bambu, foi estimada a biomassa da floresta com e sem bambu. O avanço do bambu sobre a floresta heterogênea acarreta uma perda de 30% da biomassa original. Atualmente as florestas dominadas por bambu ocupam metade do estado do Acre e as formas geométricas de algumas bordas entre florestas com e sem bambu permitem inferir o processo de expansão no passado. Dois mecanismos do avanço de bambu sobre a floresta original (restinga) foram estudados: (1) estabelecimento de novos brotos longe do colmo-mãe, sem ação de fogo e (2) taxa de rebrota e crescimento do bambu (e de outras espécies) após corte e queima experimental.

A biomassa das florestas com e sem bambu está indicada na figura 13, baseado em um levantamento de quase 9.000 caules em um inventário 20 hectares, concluído em 1998. Uma “imagem de biomassa”, criada com base no padrão espectral das duas florestas levantadas, está em confecção para a área-teste de Sena Madureira.

Imagem Fração Sombra na Caracterização e Mapeamento de Babaçu (Attalea Speciosa Mart. Ex Spreng.) em Áreas de Floresta

Imagens Landsat-TM são úteis no monitoramento do uso e cobertura do solo da Amazônia e as áreas com presença de babaçu se caracterizam por manchas escuras em função da sombra resultante da arquitetura e morfologia do dossel. Com o auxílio de videografia digital e fotografias aéreas, como verdade de campo, e técnicas de processamento de imagens, tais como: análise de mistura espectral, segmentação e classificação, objetivou-se caracterizar as áreas de

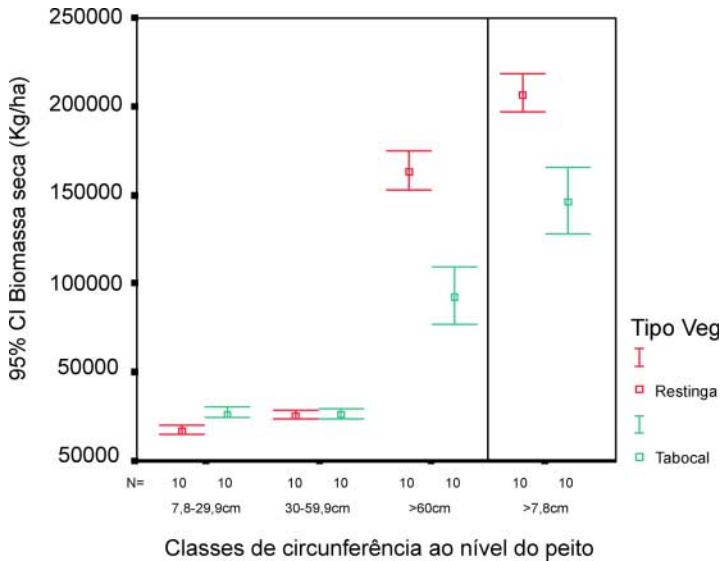


Fig. 13 - Biomassa estimada para floresta com bambu ("tabocal") e sem bambu ("restinga") em Sena Madureira, AC. As equações alométricas aplicadas presumem uma densidade específica de $0,50 \text{ gm cm}^{-3}$ (peso seco sobre volume fresco com casca). A presença do bambu diminui a abundância de árvores grandes e reduz a biomassa em 30%.

dominância de babaçu; relacionar os valores de densidade de cobertura de babaçu com valores radiométricos das imagens e mapear as áreas de diferentes densidades de cobertura de babaçu. Como resultado verificou-se que a medida em que a ocorrência de babaçu adensava, os valores de número digital e reflectância aparente diminuía, principalmente na região do infravermelho próximo, enquanto que os valores relativos a imagem fração sombra aumentavam (figura 14). Fato demonstrado através da relação significativa ao nível de 5%, tanto linear quanto exponencial, entre os valores de densidade de cobertura de babaçu e de fração sombra. Estas relações serviram de base para o fatiamento da imagem fração sombra através dos modelos de regressão, linear e exponencial. O melhor conjunto foi observado entre a imagem fatiada através do modelo de regressão exponencial e a imagem segmentada com limiares 5 e 15 de similaridade e área, respectivamente, e classificada com limiar de aceitação de 95%, as quais apresentaram valores de área similares para as três classes mapeadas - baixa, média e alta densidade de cobertura de babaçu (figura 15).

e.5.3) Entorno das Principais Rodovias

Mapas de desflorestamento produzidos pelo INPE para o período 1991-1996 foram estratificados em células de $\frac{1}{4}$ de grau, e regiões com desflorestamento

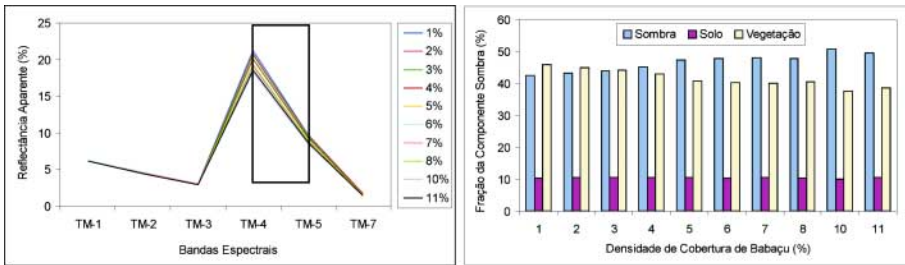


Fig. 14 - Resposta espectral (reflectância) e fração dos componentes sombra, solos e vegetação para florestas com diferentes densidades de babaçu (1 a 11% estimado a partir de videografia digital).

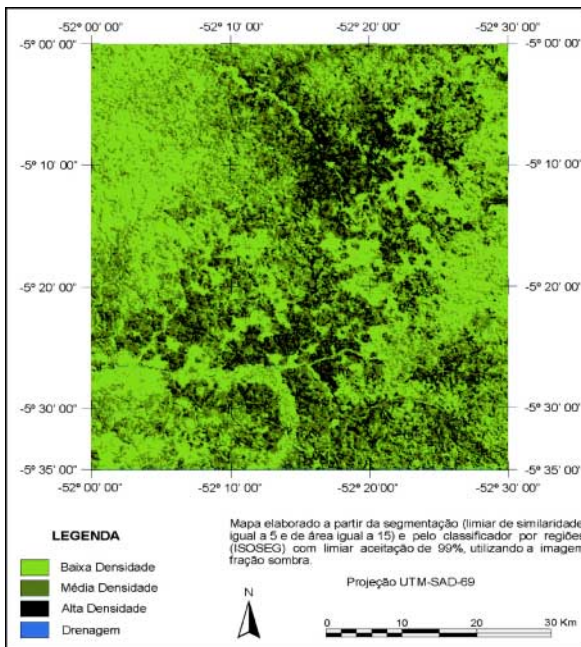


Fig. 15 - Mapa das áreas com diferentes densidades de babaçu.

mais intenso foram detectadas. Desflorestamento tendeu a concentrar-se em várias regiões: 4% das células analisadas acumularam 25% do desflorestamento total observado, e 10% das células acumularam 50% do desflorestamento total. Foi observado que 95% do desflorestamento total concentrou-se em 40% das células. O desflorestamento pareceu crescer inercialmente ao redor de áreas de desflorestamento pioneiro (i.e. áreas já desflorestadas em 1978) e estradas principais: 86% do desflorestamento foi observado numa faixa de 25 km de áreas já desflorestadas em 1978; aproximadamente 17% do desflorestamento observado

ocorreu numa faixa de 50km da rede de estradas ocidentais incluindo a ligação entre as estradas Cuiabá - Porto Velho - Rio Branco; 33% numa faixa de 50km da rede de estradas orientais, ligando o Brasil Central ao Pará e Maranhão; 24% numa faixa de 50km da rede de estradas centrais incluindo a Cuiabá - Santarém, a Transamazônica e estradas para o norte e centro do Mato Grosso (figura 16). Os resultados mostraram que muito do desflorestamento durante as últimas três décadas foi concentrado em regiões relativamente limitadas, aumentando os impactos ambientais e sociais em tais áreas.

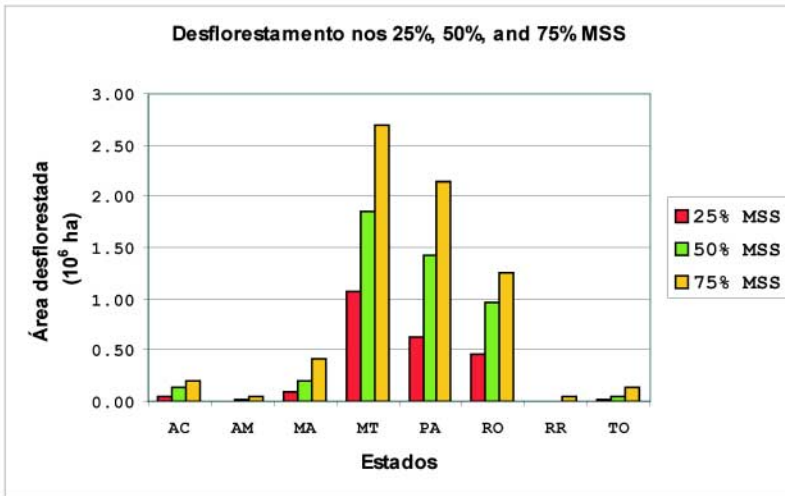


Fig. 16 - Contribuição dos diferentes estados para os 25%, 50% e 75%-MSS. Mato Grosso, Pará e Rondônia concentraram aproximadamente 90% do desflorestamento nestes subconjuntos. O Amazonas, Roraima e Tocantins representaram 3% do desflorestamento nos 75%-MSS, (Alves, 1999).

A associação entre áreas de desflorestamento mais intenso e estradas constitui uma indicação que regiões mais intimamente ligadas aos processos econômicos e sociais em escala nacional estão sujeitos a pressões mais importantes para cortar a floresta. De qualquer modo, o efeito do desenvolvimento da rede de estradas e a evolução do desflorestamento deveria ser de interesse particular no refinamento de políticas de desenvolvimento, e particularmente, para o recém lançado Programa Brasil em Ação (<http://www.brazil-em-action.gov.br>, 1999) que inclui melhoria significativa da rede de estradas existentes e infraestrutura.

O efeito mais imediato da incidência mais elevada de desflorestamento em certas regiões é o aumento dos impactos sociais e ambientais nestas regiões. Este efeito foi mostrado, por exemplo, para algumas regiões onde já foram reportados reduções significativas da diversidade e área das florestas (Alves et al., 1999; Nepstad et al., 1999).

Em conclusão, deve ser ressaltado que estes resultados são indicativos de que áreas de desflorestamento mais intenso deveriam merecer um estudo mais refinado. Dados reportados para os municípios usaram a divisão territorial brasileira de 1994 como referência geográfica e não levaram em conta municípios criados mais recentemente. A análise foi desenvolvida usando a área desflorestada observada como um indicador da intensidade do processo de desflorestamento. Esta abordagem, para simplificação, não levou em conta as diferenças em períodos de aquisição de imagem. Poderiam ser usados indicadores mais complexos, como a taxa de desflorestamento e outros, baseados em mudanças de paisagem induzidas pelo desflorestamento. Indicadores diferentes podem conduzir a percepções diferentes da distribuição espacial ou geográfica do processo de desflorestamento. Pode ser notado, porém, que os papéis dos assentamentos pioneiros e estradas são de tal natureza que eles podem influenciar muitos indicadores de desflorestamento relativos ao último quarto de século, quando as florestas de Amazônia Brasileira sofreram mudanças mais importantes (Alves, 1999).

e) IMPACTOS

- Contribuição para programas do Ministério da Ciência e Tecnologia, relacionados com desflorestamento (PRODES), queimadas (PROARCO) e inventário de emissões, particularmente, caracterização do papel da vegetação secundária (item “Abandono de Terras Manejadas” na metodologia do IPCC, 1994).
- Espera-se que resultados do projeto tenham reflexos a longo prazo através das publicações científicas (principal indicador). Outros indicadores tais como mapas e planilhas de estoques de biomassa e de carbono para diferentes épocas (1973 a 1997), podem ser de uso imediato.
- Aumento do conhecimento sobre o balanço de carbono na Amazônia
- Avaliação do impacto da vegetação secundária no balanço de emissões de carbono na Amazônia.
- Aumento da cooperação/interação científica interinstitucional, especialmente entre o INPE e INPA.
- Espera-se que as metodologias desenvolvidas para análise e processamento de imagens sejam importantes para várias instituições como INPA, EMBRAPA, Secretarias Estaduais, SUDAM, etc..
- O estudo da dinâmica da mudança de uso da terra deverão subsidiar políticas de manejo e de desenvolvimento sustentável.
- As estimativas de biomassa realizadas deverão ser referências para estudos de estoque de carbono.
- Papel de florestas secundárias no balanço de carbono menor que antecipado quando da proposta do projeto.

f) REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alves, D.S., J. L.G. Pereira, C. L. De Sousa, J. V. Soares, E F. Yamaguchi. Characterizing Landscape Changes in Central Rondônia Using Landsat TM Imagery: An analysis of the geographical patterns of deforestation in Brazilian Amazônia in the 1991-1996 period. Originally presented at 48th Annual Conference of the Center for Latin American Studies, “**Patterns and Processes of Land Use and Forest Change in the Amazon**”, University of Florida, Gainesville, March 23-26, 1999.
- Alves, D.S.; Meira Filho, L.G.; d’Alge, J.C.L.; Mello, E.K.; Moreira, J.C.; de Medeiros, J.S. The Amazonian Information System. In: ISPRS Congress, 17, Washington, August 2-14, 1992. Archives. Washington, DC, USA, ISPRS. V.28, Commission VI, p. 259-266.
- Alves, D. S. **An analysis of the geographical patterns of deforestation in Brazilian Amazônia in the 1991-1996 period.** Originally presented at 48th Annual Conference of the Center for Latin American Studies “Patterns and Processes of Land Use and Forest Change in the Amazon” University of Florida, Gainesville, March 23-26, 1999.
- Bernardes, S. Índices de vegetação e valores de proporção na caracterização de floresta tropical primária e estádios sucessionais na área de influência da Floresta Nacional do Tapajós, Estado do Pará. Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto, INPE, São José dos Campos, SP, agosto de 1996.
- Brown, S.; Lugo, A.E. Tropical secondary forest. **Journal of Tropical Ecology**, 6:1-32, 1990.
- Correia A. H.; Yanasse, C.C.F; Frery, A.C.; Sant’ Anna, S.J.S. The use of Maximum Likelihood and ICM classifiers for polarimetric SAR. Aceito para a revista da **Asociación Española de Teledetección**, junho de 1998.
- Denich, M. Estudo da importância de uma vegetação secundária nova para o incremento da produtividade do sistema na Amazônia Oriental Brasileira. (Tese de Doutorado em Ciências Agrárias) - University of Georg August de Gottingen, Eschborn, 1991. 284 p.
- Frery, A.C.; Yanasse, C.C.F; Vieira, P.R.; Sant’ Anna, S.J.S.; Rennó, C.D. **A User-friendly system for synthetic aperture radar image classification based on grayscale distributional properties and context.** In: Simpósio Brasileiro de Computação Gráfica e Processamento de Imagens, 10, Campos de Jordão, SP, 14-17 out. 1997. Proceedings. IEEE, 1997, p. 211—218.
- Higuchi, N. e J.A. Carvalho Jr. 1994. Fitomassa e Conteúdo de Carbono de Espécies Arbóreas da Amazônia. Em: Anais do Seminário “Emissão x Seqüestro de CO₂ - Uma Nova Oportunidade de Negócios para o Brasil”:127-153.
- Higuchi, N., R.J. Ribeiro, J. dos Santos, L. Minette e Y. Biot. 1998. Biomassa da Parte Aérea da Vegetação da Floresta Tropical Úmida de Terra-Firme da Amazônia Brasileira. **Acta Amazonica**, 28(2):153-166.
- INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), **Deforestation in Brazilian Amazon** Separata. INPE, São José dos Campos, 1992.

- International Panel on Climatic Change (IPCC). Greenhouse gas inventory workbook, Vol. 2. 1994.
- Lucas, R.M.; Honzak, M.; Foody, G.M.; Curran, P.J.; Corves, C. (1993) Characterizing tropical secondary forests using multi-temporal Landsat sensor imagery. **International Journal of Remote Sensing** 14(16):3061-3067.
- Luckman, A.J.; 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*, 60: 1-13, 1997.
- Luckman, A.J.; Frery, A.C.; Yanasse, C.C.F.; Groom, G.B. Texture in airborne SAR imagery of tropical forest and its relationship to forest regeneration stage. *International Journal of Remote Sensing*, 18(6):1333-1349, 1997.
- Nelson, B.W.; Mesquita, R.; Pereira, J.L.G.; Souza, S.G.A.; Batista, G.T.; Couto, L.B. Allometric regressions for improved estimate of secondary forest biomass in the central Amazon, 117: 149-167, 1999.
- Nepstad, D.C.; Uhl, C.; Serrão, A.S. (1991) Recuperation of a degraded Amazonian landscape: Forest recovery and agricultural restoration. **Ambio** 20(6)248-255.
- Nepstad, D.C., Verissimo, A., Alencar, A., Nobre, C., Lima, E., Lefebvre, P., Schlesinger, P., Potter, C., Moutinho, P., Mendoza, E., Cochrane, M., & Brooks, V., 1999. Large-scale impoverishment of Amazonian forests by logging and fire, **Nature**, 398, 505-508.
- Numata, I, J.V. Soares, E.F. C. Leônidas. Avaliação da Dinâmica da Fertilidade do Solo em Diferentes Classes de Solos, após a Conversão de Floresta para Pastagem em Rondônia. Submetido à: Revista Brasileira de Ciência do Solo, 1999.
- Pereira, J.L.G. Estudos de áreas de florestas em regeneração através de imagens Landsat TM. (**Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto**) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1996. 137p. (INPE-5987-TDI/578).
- Rennó, C.D.; Freitas, C.C.; Sant'Anna, S.J.S. **A system for region image classification based on textural measures**. In: Segunda Jornada Latino-Americana de Sensoriamento Remotos por Radar: Técnicas de Processamento de Imagens. Santos, São Paulo, set.1998, Workshop Proceedings. ESA, 1999, p.159-164. (ESA SP-434).
- Richards, P.W. **The tropical rain forest: an ecological study**. 8.ed. Cambridge, Cambridge University, 1981. 450 p.
- Sant'Anna, S.J.S.; Yanasse, C.C.F.; Frery, A.C. **Estudo comparativo de alguns classificadores utilizando-se imagens RADARSAT da região de Tapajós**. In: Primeras Jornadas Latinoamericanas de Percepción Remota por Radar: Técnicas de Procesamiento de Imágenes. Buenos Aires, Argentina, dez.1996, Workshop Proceedings. ESA, 1997, p.187-194. (ESA SP-407).
- Sant'Anna, S.J.S.; Freitas, C.C.; Rennó, C.D. **The use of textural features on the polarimetric SAR image classification**. In: Segunda Jornada Latino-Americana de Sensoriamento Remotos por Radar: Técnicas de Processamento de

- Imagens. Santos, São Paulo, set.1998, Workshop Proceedings. ESA, 1999, p.99-106. (ESA SP-434).
- Schimel, D.; Enting, I. G.; Heimann, M; Wigley, T.M.L; Raynaud, D.; Alves, D.; Siegenthaler, U. **CO₂ and Carbon Cycle**. In: Climate Change, 1994, Radiative forcing of climate change and na evaluation of the IPCC IS92 emission scenarios (eds Houghton, J.T; Meira Filho, L.G.; Bruce, J. et al.), pp. 35-71. Cambridge University Press, Cambridge, 1995.
- Soares, J.V.; Rennó, C.D.; Formaggio, A.R.; Yanasse, C.C.F; Frery, A.C. An investigation on the selection of texture features for crop discrimination using SAR imagery. **Remote Sensing of Environment**, 59(2): 234-247, 1997.
- Thalês, M.C. Imagem Fração Sombra Na Caracterização E Mapeamento De Babaçu (*Attalea Speciosa* Mart. Ex Spreng.) Em Áreas De Floresta. Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto, INPE, São José dos Campos, SP, novembro de 1999.
- Tardin, A.T; Lee, D.C.L.; Santos, R.J.R.; Assis, O.R.; Barbosa, M.P.S.; Moreira, M.L.; Pereira, M.T; Silva, D.; Santos Filho, C.P. Subprojeto desmatamento: convênio IBDF/CNPq-INPE. INPE-1649-RPE/103. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Brazil.
- Uhl, C.; Buschbacher, R.; Serrão, E.A.S. Abandoned pastures in Easter Amazonia. I. Patterns of plant succession. **Journal of Ecology**, 76:663-681, 1988.
- Vieira, P.R.; Yanasse, C.C.F; Frery, A.C.; Sant'Anna, S.J.S. **Um sistema de análise e classificação estatísticas para imagens SAR**. In: Primera Jornada Latinoamericanas de Percepción Remota por Radar: Técnicas deProcesamiento de Imágenes. Buenos Aires, Argentina, dez. 1996, WorkshopProceedings. ESA, 1997, p.179-185. (ESA SP-407).
- 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 stages and SIR-C L and C data. **Remote Sensing of Environment**,59(2): 180-190, 1997.

EQUIPE

