

**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS DA AMAZÔNIA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
PROGRAMA INTEGRADO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOLOGIA
TROPICAL E RECURSOS NATURAIS**

**ESTOQUES DE BIOMASSA EM DIFERENTES CENÁRIOS DE USO
DA TERRA AO NORTE DE MANAUS, AMAZÔNIA CENTRAL
BRASILEIRA**

ELISA VIEIRA WANDELLI

Manaus-Amazonas

Dezembro, 2008

ELISA VIEIRA WANDELLI

**ESTOQUES DE BIOMASSA EM DIFERENTES CENÁRIOS DE USO
DA TERRA AO NORTE DE MANAUS, AMAZÔNIA CENTRAL
BRASILEIRA**

Orientador: Dr. Philip Martin Fearnside

Tese apresentada ao PPG-
BTRN como parte dos
requisitos para obtenção do
título de doutor em Ciências
Biológicas, área de
concentração em Ecologia.

Manaus, Amazonas

Dezembro, 2008

FICHA CATALOGRÁFICA

W245 Wandelli, Elisa Vieira
Estoques de biomassa em diferentes cenários de uso da terra ao norte de Manaus, Amazônia Central brasileira/ Elisa Vieira Wandelli. Manaus: [s.n.], 2008.
162f. : il.

Tese (doutorado)-- INPA/UFAM, Manaus, 2008
Orientador: Philip Martin Fearnside
Área de concentração: Ecologia

1. Vegetação secundária – Amazônia. 2. Biomassa - Carbono. 3. Uso da terra – Assentamento. 4. Equação alométrica. I. Título.

CDD 19. ed. 581.5

Sinopse

Os estoques e as taxas de acúmulo de biomassa e carbono avaliados através de métodos diretos e indiretos foram relacionados com a dinâmica da sucessão secundária e do uso da terra no assentamento Tarumã Mirim em Manaus, na Amazônia Central.

Palavras-chave:

biomassa, uso da terra, vegetação secundária, equações alométricas, Amazônia.

Key-words:

biomass, land use, secondary vegetation, allometric equations, Amazon.

Aos amigos do Tarumã Mirim

AGRADECIMENTOS

À Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária pela oportunidade de realizar este estudo tão importante para meu aprimoramento.

Ao Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia pelo curso de tão boa qualidade e um corpo docente da Coordenação de Pesquisa em Ecologia tão dedicado à formação de recursos humanos para a Amazônia.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Amazonas – FAPEAM, ao Programa de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia – LBA, ao Projeto LBA - Milênio e à Embrapa, pelo financiamento de parte do trabalho.

Ao Prof. Dr. Phillip Martin Fearnside, pela orientação, amizade, paciência e principalmente por seus esforços em compreender e proteger a Amazônia.

Ao Dr. Diógenes Alves, ao Dr. Flávio Luizão, ao Dr. Henrique Nascimento, ao Dr. Irving Foster Brown, ao Dr. Mateus Batistella e ao Dr. Silvio Brienza Júnior pelas detalhadas e valiosas críticas à tese.

A todos do LASP da Embrapa Amazônia Ocidental, em especial à Maria Campelo (Concita), Edilza Rocha Emanuel Alencar e Elio Souza pela dedicação e eficiência na análise de solos e plantas.

À gestora do Laboratório Temático de Solos de Plantas (LTSP), MSc. Tânia Pimentel e demais técnicos pela orientação recebida e uso do espaço durante as análises realizadas no INPA.

Ao curador do Herbário do INPA, MSc. Carlos Henrique Franciscon pela gentileza em permitir o exame dos espécimes e ao técnico Sr. José Ramos, pelo auxílio prestado durante a identificação.

À Prof. Dra. Tania Sanaiotti e à Dra. Roselis Renor Mazurek, pelo estímulo científico.

Ao MSc. Gláucio Cezar Vieira da Silva da CEPLAC pelo auxílio com os dados pluviométricos.

Aos pesquisadores Dr. Flávio Jesus Luizão (INPA/CPEC), Dr. Erick Fernandes (Cornell University), MSc. Joanne Régis da Costa, Dr. Silas Garcia e Dr. Rogério Perin (Embrapa Amazônia Ocidental), pela colaboração.

Aos amigos do Campo Experimental da Embrapa pelo apoio no trabalho de campo: Iracino Bomfim, Rubenildo Lima, Atemir Adrião, José Dantas, José Maria dos Santos, Edson Paiva e Elinaldo Ferreira.

À Darciley Fontes e à Lúcia Ribeiro do SRH da Embrapa Amazônia Ocidental pelas cobranças que me manterem conectada.

Ao Conselho Comunitário do Assentamento Tarumã Mirim e lideranças, pelo apoio e consentimento da realização do trabalho.

Às inúmeras famílias amigas do Tarumã Mirim que muito me ensinaram, permitiram que eu conhecesse suas vidas e usos da terra e me hospedaram carinhosamente durante as coletas.

A todos os estagiários, voluntários e alunos que com carinho e dedicação colaboraram nas exaustivas coletas de dados e na organização das planilhas, sendo que muitos hoje já são excelentes profissionais, em especial Ivan da Silva, André de Menezes, Frank Correa, Claudia Resende, Simone Benedetti, Sidney Fragoso, Thelma Mendes Pontes, Alderlange Sampaio de Andrade, Aline Queiroz Farias, Anselmo Pedroso Matos, Sabrina Cruz de Lima, Bruno e Graziela Dourado, Aldevani Botinho e Marcela Melo de Oliveira (em ordem cronológica).

À Tainá Wandelli, Iúna Wandelli, e Edinete Andrade, pela colaboração na formatação e impressão da tese.

Às amigas verdadeiras Rô, Taninha, Pimenta, Rosa, Simone, Thelma, Joanne, Dayse e Érika, pelo apoio incondicional, o que me permitiu avançar e acreditar que a energia positiva dos que amam todas as formas de vida é capaz de maiores realizações do que a dos que não as respeitam.

Aos meus amados pais, Ondina e Álvaro Wandelli, ao meu companheiro Braga, aos meus queridos filhos Lúna, Tainá e Iago e aos meus irmãos Álvaro, Raquel, Leonardo e Cristiana, pelos melhores momentos de nossas vidas em contato com a natureza, pelo amor, estímulo e confiança em meu ideal.

“ Vivo, por isso sonho... ”

Alvaro Wandelli Filho

RESUMO

A alta produtividade primária e a ampla distribuição da vegetação secundária (capoeira) na paisagem agrícola da Amazônia indicam o potencial desta cobertura vegetal de absorver quantidades significantes de carbono da atmosfera. Para poder calcular estes fluxos e estoques de carbono e remunerar os serviços ambientais da vegetação secundária deve-se usar modelos indiretos de estimativa de biomassa ajustados às amplitudes de condições sucessionais de cada região. Foram investigados os efeitos de diferentes formas de uso da terra nos estoques e nas taxas de acúmulo de biomassa das capoeiras originadas de agricultura e pastagens abandonadas de propriedades rurais do Assentamento Tarumã Mirim e em áreas de pastagens degradadas abandonadas da Estação Experimental da Embrapa (AM), na Amazônia Central. Foram desenvolvidos modelos matemáticos a partir da altura total, diâmetro à altura do peito (DAP) e histórico de uso da terra em 24 capoeiras para estimar a biomassa de árvores e o estoque de biomassa de áreas de vegetações secundárias. Dados de biomassa foram obtidos por metodologia destrutiva através da pesagem de todas as plantas com DAP superior a 1 cm em capoeiras com idades de 1 a 15 anos originadas de áreas de agricultura e pastagens abandonadas. Com estes dados foram desenvolvidas equações alométricas monoespecíficas para 13 espécies e equações multiespecíficas para um conjunto de: 121 espécies arbóreas; 12 espécies arbustivas; e plantas mortas que permanecem em pé. A taxa e o acúmulo de biomassa do 3º ao 21º ano de idade de vegetações secundárias estabelecidas em pastagens degradadas foram avaliados indiretamente com as equações alométricas desenvolvidas. Medições

contínuas das pastagens degradadas foram realizadas anualmente em parcelas permanentes de capoeiras com três diferentes intensidades de uso. A biomassa acumulada e a riqueza florística em pastagens abandonadas são maiores quanto menor o tempo em que a área foi submetida ao pastejo. O estoque de biomassa foi determinado mais em função da intensidade de uso do que da idade da capoeira. Ao longo da sucessão as taxas de acúmulo de biomassa não são lineares, tendo grandes variações interanuais. Nos anos em que a seca é crítica há estagnação e até perda de biomassa nas parcelas de vegetação secundária. Variações nas práticas de manejo de capoeira entre agricultores também afetam o acúmulo de biomassa. A maioria dos agricultores assentados que não têm origem agrícola não associam a prática de pousio à recuperação da fertilidade do solo através da regeneração natural. Considerando o valor irrisório por tonelada de carbono pago pelo mercado internacional e a média da extensão da área de vegetação secundária por propriedade de 0,91 ha e a duração média de pousio de 1,9 anos no Assentamento Tarumã Mirim, o que uma família rural lucraria pelo carbono acumulado pela capoeira não representaria compensação financeira suficientemente atrativa. Se o mercado passar a ter um valor diferenciado para o carbono fixado pela agricultura familiar, e considerar os plantios agroflorestais e, principalmente, o desmatamento evitado, a comercialização do carbono agregaria valor às atividades produtivas sustentáveis. Este trabalho contribui com o entendimento dos fatores ecológicos e sociais determinantes dos processos sucessionais na paisagem agrícola da Amazônia Central.

ABSTRACT

Biomass stocks under different land-use scenarios north of Manaus, central Amazonia

The high primary productivity of secondary vegetation (*capoeira*) and the large extent and continued presence of this land cover in the agricultural landscape of Amazonia indicate the capacity of this vegetation to absorb substantial amounts of carbon from the atmosphere. In order to calculate these flows and stocks of carbon and to remunerate the environmental services of secondary vegetation, indirect models of biomass estimation are needed that are adapted to the range of successional conditions in each region. We investigated the effects of different forms of land use among rural settlers on aboveground biomass estimates and the chronological progression of biomass accumulation in abandoned pastures in small rural properties in the Tarumã Mirim settlement near the city of Manaus in Central Amazonia. We developed mathematical models using total height and diameter at breast height of all plants and indices related to the use history of the land to estimate plant biomass in 24 plots used by rural settlers. Biomass data were obtained using destructive sampling of all plants with diameter at breast height > 1 cm in secondary vegetation ranging from 1 to 15 years of age that had been used as pasture and agriculture. With these data we developed monospecific allometric equations for 13 species and multispecific equations for a group of 121 species of trees, for a group of 12 species of bushes and for dead plants that remain standing. We also developed indirect methodologies of estimate biomass stocks in capoeiras through less-difficult

nondestructive methods. The rate and the accumulation of biomass from the 3rd to the 21st year of age of secondary vegetation established in degraded pastures were indirectly appraised using the allometric equations we developed. A continuous inventory of the degraded pastures was carried out annually in permanent plots in capoeiras with three different use intensities. Both the amount of accumulated biomass and the floristic richness in abandoned pastures are higher when the areas had been subjected to less time under grazing. The biomass stock is determined more by the intensity of previous use than by the age of the capoeira. Along course of succession the rates of biomass accumulation are not linear, there being a high degree of interannual variation, with stagnation and even biomass loss in the secondary vegetation plots during years with severe droughts. Variation of *capoeira* management practices by settlers with different profiles also affected the biomass accumulation. Settlers who were living in cities prior to moving to the rural area showed poor knowledge of *capoeira* management practices and burned the capoeira too early (< 2 years of fallow time). At this age the capoeira has not produced enough biomass to increase soil fertility and to maintain it over the long term. These urban-originated settlers do not associate the practice of fallowing with the recovery of soil fertility through natural regeneration. This study contributes to the understanding of biological and social factors that determine successional processes in the agricultural landscape of central Amazonia.

SUMÁRIO

RESUMO	ix
ABSTRACT	xi
LISTA DE TABELAS	xvii
LISTA DE FIGURAS	xi
INTRODUÇÃO GERAL	24
CAPÍTULO 1. Modelos de estimativa de biomassa para vegetações	26
secundárias com diferentes históricos de uso da terra na Amazônia Central.	
RESUMO	26
PALAVRAS-CHAVE	27
ABSTRACT	28
KEY WORDS	29
INTRODUÇÃO	20
MATERIAL E MÉTODOS	35
Avaliação destrutiva direta de biomassa.....	36
Densidade da madeira.....	38
Equações alométricas para estimativa indireta de biomassa.....	39
Modelos de estimativa indireta de biomassa de capoeiras baseados	...41
nos históricos de uso.	
Adequação dos modelos às biomassas avaliadas por metodologia.....	42
direta.	
RESULTADOS	42
Equações alométricas monoespecíficas para estimativa de biomassa...	43
aérea por planta.	

Equações alométricas multiespecíficas para estimativa de biomassa...45	45
aérea por plantas.	
Modelos de estimativa de biomassa acumulada baseados nos.....47	47
históricos de uso da terra.	
Adequação dos modelos às biomassas avaliadas por metodologia.....49	49
direta.	
DISCUSSÃO.....51	51
Equações alométricas monoespecíficas para estimativa de biomassa...51	51
Equações alométricas multiespecíficas para estimativa de biomassa...53	53
Estoques de biomassa e histórico de uso da terra.....56	56
BIBLIOGRAFIA CITADA.....60	60
FIGURAS E TABELAS DO CAPÍTULO 1.....67	67
CAPÍTULO 2. Dinâmica do estoque de biomassa e da taxa de.....77	77
crescimento de vegetações secundárias em parcelas permanentes de	
pastagens degradadas com diferentes intensidades de uso na Amazônia	
Central.	
RESUMO.....77	77
PALAVRAS-CHAVE.....78	78
ABSTRACT.....79	79
KEY WORDS.....80	80
INTRODUÇÃO.....81	81
MATERIAL E MÉTODOS.....83	83
Área de estudo.....83	83
Delineamento experimental.....84	84
Parâmetros biométricos.....85	85

Estimativa de biomassa.....	85
RESULTADOS.....	87
Estoques de biomassa da vegetação secundária ao longo de 12 anos..	87
Variações anuais do incremento de biomassa.....	88
Riqueza florística das capoeiras originadas de áreas de pastagens.....	89
Dinâmica da composição florística e biomassa.....	90
DISCUSSÃO.....	92
BIBLIOGRAFIA	
CITADA.....	101
FIGURAS E TABELAS DO CAPÍTULO 2.....	109
CAPÍTULO 3. Estoque de biomassa e manejo da vegetação secundária..	116
pela agricultura familiar em um assentamento na Amazônia Central.	
RESUMO.....	116
PALAVRAS-CHAVE.....	117
ABSTRACT.....	118
KEY WORDS.....	119
INTRODUÇÃO.....	120
MATERIAL E MÉTODOS.....	123
Área de estudo - Assentamento Tarumã Mirim.....	123
Biomassa das capoeiras.....	124
Estoques de carbono.....	126
Uso da terra e da cobertura vegetal do Assentamento Tarumã Mirim..	127
RESULTADOS.....	128
Socioeconômicos.....	128

Atividades produtivas do Assentamento Tarumã Mirim.....	131
Manejo das capoeiras como área em pousio.....	132
Estoques de biomassa e de carbono das capoeiras	133
Riqueza de espécies e biomassa.....	137
DISCUSSÃO.....	138
BIBLIOGRAFIA	
CITADA.....	145
FIGURAS E TABELAS DO CAPÍTULO 3.....	152
CONCLUSÕES GERAIS.....	158

LISTA DE TABELAS

Capítulo 1

- Tabela 1.** Modelos alométricos específicos com respectivos testes estatísticos para estimativa da biomassa aérea (BA - kg) de indivíduos de 13 espécies da vegetação secundária tendo como variáveis independentes DAP (cm) e H (m).....68
- Tabela 2.** Modelos de regressão multiespecíficos para estimativa da biomassa aérea por planta (BA-kg) de indivíduos da vegetação secundária tendo como variáveis independentes DAP (cm) e H (m) para um conjunto de espécies arbustivas (com exclusão de mandioca), para um conjunto de espécies arbóreas (com exclusão do gênero *Cecropia* e palmeiras) e para os indivíduos mortos e que permanecem em pé.....70
- Tabela 3.** Modelos de regressão para estimativa indireta da biomassa aérea total (Bt - t/ha) das plantas com DAP ≥ 1 cm em parcelas de vegetação secundária tendo como variáveis independentes a idade de abandono da capoeira (anos), o tempo total de uso da terra como atividade agropecuária (anos) e o número de vezes que a vegetação da área foi queimada.....73
- Tabela 4.** Adequação de modelos selecionados de estimativa de biomassa total (t/ha) da literatura e deste trabalho para a vegetação secundária de 24 capoeiras da Amazônia Central e respectivos erros médios de estimativa....75

Capítulo 2

Tabela 1. Principais resultados de biomassa aérea e riqueza florística (DAP \geq 1 cm) das vegetações secundárias de áreas de pastagens abandonadas submetidas a 4, 5 e 8 anos de pastejo. Dados de biomassa são médias de 5 parcelas de 5 x 10 m de cada uma das capoeiras com diferentes históricos de uso.....115

Capítulo 3

Tabela 1. Carbono da biomassa aérea total (vegetação com DAP < 1 cm; vegetação com DAP \geq 1 cm; e liteira) e da massa de carvão sobre o solo e dos troncos mortos remanescentes da floresta primária de 24 capoeiras de diferentes idade, sistemas de uso da terra anterior (A – agricultura; P – pastagem), tempo de uso da terra e número de queimadas).....153

Tabela 2. Estoques de biomassa aérea do estrato herbáceo (DAP < 1 cm) de capoeiras entre 1 a 2 anos e de capoeiras com mais de 3 anos de idade...135

LISTA DE FIGURAS

Capítulo 1

- Figura 1.** Relação entre a biomassa aérea de indivíduos de *Vismia guianensis* versus variáveis biométricas independentes: (A) DAP (N=193); (B) altura (N=193) e; (C) densidade da madeira (N=16).....67
- Figura 2.** Relação entre diâmetro à altura do peito (DAP) e altura total de 193 indivíduos de *Vismia guianensis* com padrão arquitetural e fitossanitário dentro da normalidade.....68
- Figura 3.** Relação entre a biomassa aérea (t/ha) e a idade de abandono de 24 capoeiras com histórico de uso de agricultura itinerante (N= 9) e pastagem (N= 15).....71
- Figura 4.** Relação entre a biomassa aérea (t/ha) e a idade de abandono de nove capoeiras com histórico de uso de agricultura itinerante. O modelo que melhor se ajusta a esta relação é $\ln(\text{Biomassa}) = 2,051 + 1,042 * \ln(\text{idade})$; $r^2 = 0,959$71
- Figura 5.** Relação entre a biomassa aérea (t/ha) e um índice relacionado ao histórico de uso da terra (idade de abandono / tempo de uso) de 15 capoeiras que desenvolveram em área de pastagens abandonadas.....72
- Figura 6.** Relação entre a biomassa aérea (t/ha) e um índice relacionado ao histórico de uso da terra (idade de abandono / (tempo de uso + número de queimadas) de 15 vegetações secundárias originadas em área de pastagens abandonadas. A equação que melhor se ajusta a esta relação é $\ln(\text{Biomassa}) = 3,752 + 0,872 * \ln(\text{idade} / \text{tempo de uso} + \text{número de queimadas})$; $r^2 = 0,975$72

Figura 7. Erro médio percentual de estimativa da biomassa total (kg/ha) de 10 modelos em relação à mensurada neste trabalho através de metodologia direta destrutivas de 24 vegetações secundárias de 1 a 15 anos de idade. Modelos de estimativa de biomassa de árvores derivados de regressões alométricas multiespecíficas com DAP e/ou altura como variável independente e cujo somatório foi extrapolado para t/ha (●); modelo de regressões entre biomassa (t/ha) e histórico de uso da terra como variável independente (o); barra representa o erro padrão; entre parênteses estão as variáveis independentes usadas no modelo por cada autor.....74

Capítulo 2

Figura 1. Teste da intensidade amostral realizado no primeiro ano do estudo por meio da curva espécie/área que avalia a amostragem mínima a ser realizada em uma comunidade vegetal determinando o tamanho adequado da amostra no ponto da curva em que o aumento do número de espécies por unidade amostral passa a ser menor que 10 % do número total de espécies (Cain *et al.*, 1956).....109

Figura 2. Estoque de biomassa aérea (média ± erro padrão) de três vegetações secundárias estabelecidas após o abandono de pastagens de diferentes intensidades de uso em relação à idade, sendo os 7^o-19^o, 8^o-20^o e 9^o-21^o anos de idades das capoeiras submetidas a 4, 5 e 8 anos de pastejo, respectivamente. Dados do 3^o ao 5^o ano são de McKerrow (1992).109

Figura 3. Incremento médio anual de biomassa aérea (t/ha/ano) de vegetações secundárias de pastagens degradadas submetidas a diferentes

intensidades de uso em relação à idade, sendo os 7º-19º, 8º-20º e 9º-21º anos de idades das capoeiras submetidas a 4, 5 e 8 anos de pastejo, respectivamente.....110

Figura 4. Percentual de incremento médio anual de biomassa (% de incremento em relação a biomassa acumulada no ano anterior) de três vegetações secundárias com diferentes históricos de uso ao longo do período de estudo (A); e Pluviosidade (B) da área de estudo acumulada durante os últimos 12 meses (julho-junho) que antecederam as medições biométricas utilizadas para estimar a biomassa. Pontos de pluviosidade abaixo da linha tracejada indicam os anos de episódios de *El Niño*, conforme temperatura do oceano pacífico (NOAA, 2008); flechas indicam anos em que houve quatro meses com pluviosidade inferior a 100 mm. Anos onde há letras não coincidentes indica que as quantidades de chuva mensais pareadas são estatisticamente diferentes ($P > 0,01$).....111

Figura 5. Variação do número total de espécies de três vegetações secundárias de pastagens abandonadas com diferentes intensidades de uso em função da idade (anos).112

Figura 6. Número de indivíduos (troncos) com DAP ≥ 1 cm das cinco espécies dominantes em relação as demais espécies de cada uma das três capoeiras de pastagens com diferentes intensidades de uso durante o período de 1995 a 2007.....113

Figura 7. Dinâmica da biomassa de indivíduos com DAP ≥ 1 cm das cinco espécies com maiores contribuições ao estoque total em relação as demais

espécies ao longo de 13 anos de regeneração natural de áreas de pastagens abandonadas (1995-2007).....	114
--	-----

Capítulo 3

Figura 1. Compartimentalização da biomassa aérea de capoeiras (vegetação do sub-bosque com DAP < 1 cm; vegetação com DAP ≥ 1 cm; e liteira) e peso seco do carvão sob o solo e da necromassa dos troncos mortos remanescentes da floresta primária de capoeiras de diferentes idades originadas de áreas abandonadas de agricultura itinerante e de pastagem, no Assentamento Tarumã Mirim. A letra “C” abaixo das colunas indica as áreas de capoeiras cujos troncos da floresta original foram exploradas para carvão. Detalhes dos históricos de uso das capoeiras são apresentados na Tabela 1.....	152
--	-----

Figura 2. Número de espécies de plantas com DAP ≥ 1 cm de vegetações secundárias originadas de áreas de agricultura e de áreas de pastagens em relação a idade da capoeira.....	154
--	-----

Figura 3. Número de indivíduos de plantas com DAP ≥ 1 cm dos dois gêneros dominantes e presentes na maioria das vegetações secundárias de diferentes idades de áreas de agricultura (A) e áreas de pastagens (B).....	155
--	-----

Figura 4. Biomassa (t/ha) de indivíduos de plantas com DAP ≥ 1 cm dos dois gêneros dominantes e presentes na maioria das vegetações secundárias de diferentes idades de áreas de agricultura (A) e áreas de pastagens (B).....	156
---	-----

Figura 5. Relação entre a percentagem de indivíduos do gênero *Vismia* (A) e do gênero *Cecropia* (B) e o número de espécies presentes em capoeiras de agricultura e de pastagem a partir de 2 anos de idade.....157

INTRODUÇÃO GERAL

A alta produtividade primária e a ampla distribuição da vegetação secundária na paisagem agrícola da Amazônia indicam seu grande potencial para seqüestrar carbono. Para poder calcular estes fluxos e estoques de carbono e remunerar os serviços ambientais das vegetações secundárias é necessário desenvolver modelos de estimativas mais apropriados para as amplitudes das condições sucessionais de cada região.

Este trabalho almeja contribuir para o entendimento dos fatores ecológicos e sociais determinantes dos processos sucessionais na paisagem agrícola da Amazônia Central. São avaliados as taxas de acúmulo e os estoques de biomassa de vegetações secundárias com diferentes históricos de uso da terra e a influência do manejo realizado pelos pequenos agricultores na região norte de Manaus (AM).

No **Capítulo 1**, “Modelos de estimativa de biomassa para vegetações secundárias com diferentes históricos de uso da terra na Amazônia Central”, a partir de mensurações destrutivas de pesos secos de 2.400 árvores e de parcelas de 24 vegetações secundárias com diferentes históricos de uso, são desenvolvidos modelos de avaliação de biomassa aérea com o objetivo de aprimorar e tornar mais práticas as estimativas de seqüestro de carbono das capoeiras da Amazônia Central. Foi avaliado o quanto as equações alométricas publicadas na literatura e mais amplamente utilizadas para estimar indiretamente a biomassa se ajustam aos dados de biomassa da vegetação secundária desta região. Também foi

observada a influência do histórico de uso da terra no processo sucessional limitando os estoques de biomassa.

No **Capítulo 2**, “Dinâmica do estoque de biomassa e da taxa de crescimento de vegetações secundárias em parcelas permanentes de pastagens degradadas com diferentes intensidades de uso na Amazônia Central”, as taxas de acúmulo e o estoque de biomassa e a riqueza florística da vegetação secundária originadas de pastagens degradadas com diferentes intensidades de uso são avaliadas através de inventários contínuos em parcelas permanentes do 3º ao 21º ano de idade. Para estimar a biomassa das capoeiras de parcelas permanentes foram usados os métodos indiretos estabelecidos no Capítulo 1.

No **Capítulo 3**, “Estoque de biomassa e manejo da vegetação secundária pela agricultura familiar em um assentamento na Amazônia Central”, é avaliado como as práticas de uso e manejo da vegetação secundária em áreas de agricultura familiar do Assentamento Tarumã Mirim (AM) afetam o potencial de estocagem de biomassa e de seqüestro de carbono das capoeiras ao nível da paisagem.

CAPÍTULO 1¹

Modelos de estimativa de biomassa para vegetações secundárias com diferentes históricos de uso da terra na Amazônia Central.

Elisa Vieira Wandelli; Philip Martin Fearnside

RESUMO

A alta produtividade primária da vegetação secundária e a grande abrangência e freqüência desta cobertura vegetal na paisagem agrícola da Amazônia, indicam sua capacidade de contribuir com a absorção do carbono da atmosfera. Para que este potencial seja aproveitado em medidas de mitigação do aquecimento global é necessário o desenvolvimento de modelos indiretos de estimativa de biomassa de capoeiras. Foram desenvolvidos modelos matemáticos para estimar a biomassa aérea de capoeiras derivados da relação de peso seco *versus* dados de diâmetro à altura do peito (DAP) e altura total de plantas e dados relacionados ao histórico de uso da terra. Avaliou-se a influência das seguintes variáveis: a) idade da vegetação secundária; b) tempo de uso agropecuário da terra; e c) número de queimadas sobre o estoque de biomassa de capoeiras de áreas agrícolas e de pastagens abandonadas. Os dados de biomassa foram obtidos através de metodologia destrutiva de todas as plantas com DAP ≥ 1 cm em 24 parcelas de capoeiras entre 1 e 15 anos de idade de áreas de pastagens e

¹ Submetido à ACTA AMAZONICA.

de agricultura abandonadas de pequenas propriedades rurais do Assentamento Tarumã Mirim, Manaus. As equações alométricas mono específicas desenvolvidas abrangeram 13 espécies e as equações multiespecíficas consideraram: o conjunto de 121 espécies arbóreas; 12 espécies arbustivas; e plantas mortas que permanecem em pé. Avaliou-se também o quanto as equações alométricas multiespecíficas publicadas e mais amplamente utilizadas para estimar indiretamente a biomassa se ajustam aos dados de biomassa da vegetação secundária da Amazônia Central. Este trabalho contribuiu com o entendimento dos fatores determinantes dos processos sucessionais e promoveu avanços nas metodologias indiretas de estimativa de estoques de biomassa de capoeiras da Amazônia Central por meio de modelos mais precisos, menos trabalhosos e não destrutivos.

PALAVRAS-CHAVE:

Vegetação secundária, biomassa, uso da terra, pousio, modelagem, Amazônia.

ABSTRACT

Biomass estimation models for secondary forests subject to different land uses in central Amazonia, Brazil.

The high primary productivity of second-growth forest (*capoeira*), together with the presence of this type of vegetation over a large area in Amazonia, gives this forest type the ability to absorb substantial amounts of carbon from the atmosphere. In order for this potential to be used in measures to mitigate global warming, indirect models must be developed for estimating *capoeira* biomass. We developed mathematical models to estimate aerial biomass of *capoeiras* derived from the relationship of dry weight *versus* diameter at breast height (DBH), total height and data on land use. We evaluated the influence of a) age of the second growth vegetation, b) time of use as agricultural or pasture and c) the number of times the area was burned on the stock on accumulation rate of biomass of abandoned *capoeiras* used for agriculture and as pasture. Biomass data were obtained by destructive sampling of all plants with diameter at breast height greater than 1 cm in 24 parcels of secondary vegetation ranging from 1 to 15 years of age and that had been used as pasture and agriculture in small rural properties in the Tarumã Mirim settlement near Manaus in central Amazonia. We developed allometric equations for 13 species and mixed-species groups that included 121 arboreal and 12 arbustive species and standing dead trees. We also evaluated the fit of existing mixed-species allometric equations currently used are for estimating secondary forest biomass in central Amazonia. This study contributes to the understanding of

factors that affect forest succession and promotes advances through more-precise and less-destructive methods for estimating biomass stocks in secondary forests in central Amazonia.

KEY WORDS

Secondary vegetation, biomass, allometry, land use, Amazon.

INTRODUÇÃO

A urgente necessidade de controlar as concentrações atmosféricas de gases de efeito estufa e o compromisso assumido pelos governos signatários da Convenção do Clima de elaborar e atualizar periodicamente inventários nacionais das remoções por sumidouros de carbono (MCT, 1998; IPCC, 2006) e a possibilidade de comercialização dos serviços ambientais demandam estimativas mais precisas, menos trabalhosas e não destrutivas para mensurar a biomassa das coberturas vegetais (e.q. IPCC, 2000). Métodos diretos de mensuração de biomassa baseados em pesagem destrutiva são de grande acurácia para a vegetação amostrada, mas exigem grandes esforços, o que limita o tamanho da amostragem e a extrapolação dos dados, e são uma das fontes de incertezas das estimativas de carbono em grande escala. Equações alométricas disponíveis na literatura possibilitam estimar a biomassa e o carbono acumulado pelas plantas através de parâmetros biométricos facilmente coletados no campo como o diâmetro à altura do peito (DAP), altura total da árvore, volume, densidade da madeira e diâmetro da copa, sem que haja necessidade das trabalhosas mensurações destrutivas de pesagem (Whittaker e Marks, 1975; Pardé, 1980). O uso de equações alométricas para estimar a biomassa de plantas tem também suas desvantagens, relacionadas às imprecisões dos métodos indiretos, e pode produzir estimativas desconstruídas para os mesmos dados biométricos e uma cobertura florestal da Amazônia (Brown *et al.*, 1989; Fearnside *et al.*, 1993; Higuchi *et al.*; 1994; Martinelli *et al.*, 1994; Brown, I.F. *et al.*, 1995; Alves *et al.*, 1997; Brown, 1997;

Nelson *et al.*, 1999). O erro pode até alcançar em torno de 2000 %, como foi observado por Araújo *et al.* (1999) para diâmetros maiores, em uma floresta do Pará, Brasil. A relação entre a biomassa de uma espécie ou de um conjunto de espécies com seus parâmetros biométricos varia regionalmente (Brown, 1997; Ketterings *et al.*, 2001) devido a diferenças em fatores bióticos e abióticos, mas estimar a biomassa aérea de todas as coberturas vegetais através de método direto é inviável. Portanto, para se chegar a estimativas mais confiáveis usando-se métodos indiretos, é necessário o desenvolvimento de modelos alométricos de maior acurácia, para um maior número de espécies e para um maior amplitude de fatores ambientais, fases sucessionais, tamanhos de indivíduos e regiões.

Equações alométricas consistentes desenvolvidas por diversos autores (Brown e Lugo, 1992; Higuchi e Carvalho, 1994; Overman *et al.*, 1994; Santos, 1996; Higuchi *et al.*, 1998; Chambers *et al.*, 2001) para estimar a biomassa de determinadas florestas primárias da Amazônia têm sido aplicadas ampla e irrestritamente para calcular a biomassa de diferentes regiões e fisionomias florestais, de florestas plantadas e até de vegetações secundárias. O uso de equações alométricas desenvolvidas com dados de florestas primárias pode não ser apropriada para estimar a biomassa de espécies da regeneração natural devido à história de vida e arquitetura muito diferentes, menor densidade da madeira e amplitude de parâmetros biométricos menores do que o das espécies primárias usadas para desenvolver o modelo (Wiemann e Williamson, 1988; Nelson *et al.*, 1999).

A alta produtividade primária da vegetação secundária na Amazônia (Uhl *et al.*, 1988; Denich, 1991; Brown e Lugo, 1992; Nepstad *et al.*, 1992; Overman *et al.*,

1994; Fearnside e Guimarães, 1996; Alves *et al.*, 1997; Saldarriaga *et al.*, 1998; Silver *et al.*, 2000; Johnson *et al.*, 2001) aliada a grande abrangência e expansão desta cobertura vegetal na paisagem agrícola da região (Gómez-Pompa e Vásquez-Yanes, 1974); Brown e Lugo, 1990; Fearnside, 1996; Lucas *et al.*, 2000; Perz e Skole, 2003; Neeff *et al.*, 2006) indica sua capacidade de contribuir com a absorção de carbono da atmosfera. Isto demanda o desenvolvimento de equações alométricas para estimar mais precisamente a biomassa de espécies secundárias. Poucas espécies da vegetação secundária e em pequena amplitude de regiões ecológicas e geográficas e tipos e históricos de uso da terra são contempladas com modelos alométricos de estimativa de biomassa da regeneração natural na Amazônia. Saldarriaga *et al.* (1988), com dados de uma cronoseqüência de até 80 anos de áreas com histórico de agricultura e de pastagem do Alto Rio Negro, na Venezuela e Colômbia estabeleceram modelos de estimativa de biomassa multiespecíficos e para palmeiras. Uhl *et al.* (1988) desenvolveram modelos multiespecíficos e específicos para indivíduos de menos de oito anos de idade para cinco taxa de vegetações secundárias de pastagens abandonadas no sul do estado do Pará. Na Amazônia Central, Nelson *et al.* (1999) desenvolveram equações alométricas multiespecíficas e monoespecíficas para oito espécies dominantes da vegetação secundária estabelecida em plantio abandonado de seringueira em uma área desmatada mecanicamente ao norte de Manaus.

O grande potencial de regeneração e acúmulo de biomassa das vegetações secundárias da Amazônia pode ser limitado por aspectos relacionados ao histórico

de uso da terra (Uhl, 1987; Buschbacher *et al.*, 1988; Uhl *et al.*, 1988; Fearnside e Guimarães, 1996; Finegan, 1996; Moran *et al.*, 2000; Steininger, 2000). A intensidade do uso prévio da terra reflete na regeneração natural e é relacionada ao: 1 – os tipos de usos da terra que foram realizados na área, tais como pastagem, agricultura de derruba e queima, plantio de árvores e exploração de carvão; 2 – o tempo (idade) de abandono da vegetação secundária; 3 – o tempo em que a área permaneceu sob atividade agropecuária (tempo de uso); 4 – a prática utilizada para remoção da vegetação (preparo da área) como fogo, mecanização e trituração; e 5 - a frequência em que ocorreram distúrbios como queimadas e capinas. Fearnside e Guimarães (1996) observaram em Altamira, Pará, que o tipo de atividade agrícola influencia nos estoques de biomassa sendo que capoeiras com histórico de uso de pastagem acumulam menos biomassa e mais lentamente do que as capoeiras estabelecidas em área de agricultura. Mesquita *et al.* (2001) encontraram diferentes composições florísticas entre capoeiras com histórico de pastagem e capoeiras de áreas agrícolas. Uhl *et al.* (1988) observaram que capoeiras desenvolvidas em pastagens com intensidade de uso mais leve acumularam 40 % mais de biomassa do que capoeira de pastagem com mesma idade, mas com histórico de uso mais intensivo. A taxa de acúmulo anual de biomassa diminui com o aumento da idade da vegetação secundária (Lucas *et al.*, 1996). Moreira (2003) observou que o número de queimadas influencia negativamente o estoque de biomassa da regeneração natural de áreas de pastagem, de agricultura e de plantio de seringueiras abandonadas na região de terra firme ao norte de Manaus.

Baseado em dados de mensurações destrutivas da Amazônia Venezuelana, Uhl (1987) estabeleceu um modelo prático de estimativa de estoque biomassa de vegetações secundárias tendo o tempo de abandono à regeneração natural como única variável independente, mas não incluiu variáveis relacionadas ao histórico de uso da terra. Zarin *et al.* (2003) desenvolveram modelos de estimativa de biomassa de ampla abrangência para a Amazônia para solos arenosos e não arenosos e que contemplam além da idade da capoeira, dados climáticos do sítio, como duração da estação seca e temperatura, mas também não incluem variáveis relacionadas ao histórico de uso da terra. Silver *et al.* (2000) também desenvolveram modelos de estimativa de biomassa para diferentes regimes pluviométricos das regiões tropicais e tipos de uso da terra tendo como variável independente a idade da capoeira, mas não incluíram o tempo de uso da terra e o número de queimadas. No entanto, a influência do histórico de uso da terra na determinação do estoque e na taxa de acúmulo de biomassa precisa ser melhor entendida na Amazônia a fim de aumentar a compreensão dos processos sucessionais para que se possam propor manejos de uso da terra adequados e estimativas e previsões de estoque de carbono mais práticas e acuradas.

Com o objetivo de aprimorar as estimativas indiretas de biomassa de vegetações secundárias da Amazônia Central, foram desenvolvidos modelos matemáticos para estimar a biomassa aérea de capoeiras derivados da relação entre peso seco e dados de diâmetro à altura do peito e altura total de plantas e dados relacionados ao histórico de uso da terra. Foi avaliado o quanto as equações

alométricas multiespecíficas publicadas e mais amplamente utilizadas para estimar indiretamente a biomassa se ajustam aos dados de biomassa da vegetação secundária da Amazônia Central medidas no presente trabalho por meio de metodologia direta destrutiva. Para contribuir com o entendimento dos fatores determinantes dos processos sucessionais avaliou-se a influência do histórico de uso da terra (idade da vegetação secundária, tempo de uso agropecuário da terra, e o número de queimadas) no estoque e na taxa de acúmulo de biomassa de capoeiras de áreas agrícolas e de pastagens abandonadas.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado em vegetações secundárias de propriedades rurais do Projeto de Assentamento Tarumã Mirim/INCRA, criado em 1992 e implementado em 1996 e localizado ao noroeste da cidade de Manaus, Amazonas, com acesso pela estrada vicinal denominada de Pau Rosa (entrando no km 21 da rodovia BR 174). A floresta original dessa região da Amazônia Central é classificada como densa de terra firme (Braga, 1979) e o solo predominantemente é o Latossolo Amarelo álico, muito argiloso (Oxisol) (IPEAAOc, 1971) da formação Alter do Chão, que tem de baixo a muito baixo potencial para atividades agrícolas e de criação de gado (RADAMBRASIL, 1987). O clima é do tipo Ami, com médias anuais de pluviosidade em torno de 2.200 mm, com estação seca curta, em torno

de três meses. As capoeiras de áreas de pastagens e de áreas de agricultura itinerante avaliadas situam-se, em sua maioria, ao longo de platôs argilosos do divisor de água das duas bacias do Assentamento (Tarumã Açu e Tarumã Mirim).

Avaliação destrutiva direta de biomassa

A biomassa aérea (BA) de cada uma das 24 vegetações secundárias entre 1 e 15 anos foi amostrada através de uma parcela de 10 m x 10 m, distante pelo menos 10 m das bordas das capoeiras e a pelo menos 50 m das bordas da floresta. Todas as árvores, arbustos e cipós com diâmetro à altura do peito (DAP) > 1 cm foram numerados, identificados botanicamente e seus DAP registrados, assim como o hábito (árvores, cipó, arbusto, herbácea e palmeiras) e aspectos fitossanitários e arquiteturais, como indivíduos quebrados ou que sofreram reinteração e plantas mortas que permanecem em pé. Cada indivíduo foi cortado ao nível do solo para medir a altura (H), que foi considerada como o comprimento da base até o ápice, e o peso fresco. Após ser cortada, cada planta foi separada entre os compartimentos troncos, galhos e folhas e os respectivos pesos frescos foram obtidos com dinamômetros de campo de capacidades equivalentes ao peso da amostra. Considerou-se como tronco todo o eixo principal da base até o ápice lenhoso da planta, como folha todo o material fotossintético, inclusive pontas finas de galhos, quando eram verdes e como galho foi considerado todo o material lenhoso que bifurca do tronco principal. A proporção de água de cada espécie foi

obtida por meio de amostras de troncos, galhos e folhas de três a cinco indivíduos de cada uma das espécies presentes em cada uma das parcelas de capoeira de 100 m². As amostras de tronco foram obtidas de cilindros de madeira removidos a 1,3 m de altura e as amostras de folhas e galhos foram colhidas a fim de representar aproximadamente a proporção de todos os tamanhos e estágios de amadurecimento presentes na árvore. Para o cálculo da proporção de água amostras em torno de 200 gramas dos diferentes tecidos vegetais frescos foram coletadas imediatamente após a pesagem do peso fresco total de cada componente, de cada indivíduo. As amostras de troncos, galhos e folhas foram colocadas dentro de sacos plásticos grossos, bem lacrados, de pesos constantes (variação de 0,01 g) e armazenadas no escuro dentro de caixa térmica fechada que permaneceu na sombra até o final da manhã ou o final do dia, quando os pesos frescos foram obtidos em balança digital eletrônica com capacidade para 2.000 g e com precisão de 0,01 gramas. As amostras frescas foram pesadas dentro dos sacos plásticos em que foram armazenadas, cujos pesos eram conhecidos e foram subtraídos. Dessa maneira mensurou-se também qualquer água que possa ter transpirado dos tecidos vegetais entre a coleta e a pesagem. Após obtenção dos pesos frescos, as amostras foram colocadas em sacos de papel e secas em estufas a temperatura entre 60 e 65 °C por 5-7 dias, até obterem peso constante. Os tecidos lenhosos com diâmetros acima de 6 cm permaneceram em torno de 15 dias na estufa antes de serem pesados. Os pesos secos das amostras foram mensurados assim que os sacos com amostras de tecido vegetal foram retirados da estufa e a temperatura tornou-se próxima à do meio ambiente. O peso seco total de cada compartimento de cada planta foi

calculado pela fórmula: peso seco do compartimento = peso fresco do compartimento x (peso seco da amostra / peso fresco da amostra). A biomassa de cada planta, sendo o peso seco total de cada indivíduo, foi obtida pela adição dos pesos secos de cada compartimento: biomassa planta = peso seco tronco + peso seco galho + peso seco folha.

Densidade da madeira

Um cilindro de cada tronco foi retirado a 1,3 m da altura de todas as árvores coletadas e ainda úmido, seu volume foi estimado através da fórmula: volume = área da base do cilindro x altura do cilindro. As áreas das bases dos cilindros de madeira foram obtidas projetando-as em folhas de papel que foram recortados e as áreas mensuradas através de esteira de medição de área foliar (LICOR/LI3000A). Os pesos secos foram mensurados após os cilindros permanecerem em estufa entre sete e 15 dias, conforme o tamanho dos diâmetros, até adquirirem peso constante. A densidade da madeira de cada espécie foi calculada com a média de todas as densidades dos troncos obtidas da fórmula: densidade (g/cm^3) = peso seco / volume fresco.

Equações alométricas para estimativa indireta de biomassa por planta

As relações entre os pesos secos das árvores coletadas e seus parâmetros biométricos DAP (cm), altura (m), área basal (m²) e densidade da madeira (g/cm³) foram usadas para construir equações alométricas de estimativas da biomassa aérea ao nível de espécie, multiespecíficas e para árvores mortas que permaneciam em pé. Equações alométricas foram desenvolvidas para as espécies que tinham ≥ 11 indivíduos amostrados nas parcelas destrutivas para o cálculo da biomassa aérea total da vegetação secundária. Diversos modelos de regressão para estimar a biomassa aérea foram testados com cada uma das variáveis independentes e para combinações entre elas através de regressões múltiplas ou de regressões simples com índices construídos com duas variáveis, quando havia correlação entre elas, mas ambas influenciavam a variável dependente.

A acurácia e a robustez dos modelos foram testadas pelos seguintes processos, modificados de Nelson *et al.* (1999): 1 - gráficos dos resíduos para checar se a distribuição de dados é normal e se há homogeneidade da variância da amostras; 2 – gráfico de regressão entre os valores de biomassa observados e os obtidos através dos modelos; 3 – cálculo do coeficiente de regressão (r^2) para avaliar a quantidade de variação da biomassa que é explicada pelo modelo; 4 – erro médio percentual da estimativa calculado através da média da percentagem de erro (valor absoluto) entre o valor da biomassa estimado através da regressão e o peso

real obtido de cada planta; 5 – nível de significância do valor t para cada variável e; 6 - erro padrão relativo ao valor de interceptação da curva no eixo y e ao coeficiente de regressão parcial das variáveis independentes.

O conjunto de dados que não se enquadrou no pressuposto de distribuição normal e homogeneidade da variância foi transformado em logarítmico natural. A escolha das equações alométricas para estimativa da biomassa aérea privilegiou as equações que continham a menor dispersão dos valores da variável dependente (biomassa aérea) sobre a linha de regressão (r^2), os menores erros médios percentuais entre a biomassa observada e a estimada, e os maiores níveis de significância de valor - t das variáveis.

Cada espécie teve diferentes números de plantas amostradas e amplitudes de tamanhos (diâmetros e alturas) devido à frequência e distribuição própria de cada uma nas capoeiras amostradas com histórico de uso e idades diferentes. Para algumas das espécies avaliadas neste estudo a distribuição das classes de diâmetros não foi amostrada uniformemente e nem toda a amplitude de classes de diâmetro foi contemplada porque a amostragem foi realizada conforme a distribuição e abundância natural dos indivíduos nas parcelas de capoeira.

Modelos de estimativa indireta de biomassa de capoeiras baseados nos históricos de uso

Modelos de regressão para estimativa indireta da biomassa aérea total (kg/ha) de vegetações secundárias, baseados em variáveis relacionadas ao histórico de uso da terra foram também desenvolvidos com os dados mensurados através de metodologia direta destrutiva das 24 parcelas de capoeiras com idade entre 1 e 15 anos e com históricos de uso de pastagem e agricultura. Foram testadas a relação da biomassa acumulada com a idade de abandono da capoeira (anos), o tempo total de uso da terra como atividade agropecuária (anos) e o número de vezes que a vegetação da área foi queimada.

Informações sobre o histórico de uso da terra das capoeiras foram obtidas por entrevistas com diversos membros da família proprietária. Estas informações foram complementadas e validadas com entrevistas com vizinhos que colaboram em regime de mutirão com as atividades agrícolas de outros membros da comunidade e/ou, preocupados com queimadas descontroladas sob suas roças, memorizam o período em que foi realizado o corte e a queima da vegetação. Inventários e mensurações destrutivas da biomassa foram realizados somente nas capoeiras em que as informações sobre o histórico de uso eram condizentes com os vestígios observados na área e que coincidiam com a opinião de todos os informantes.

Adequação dos modelos às biomassas avaliadas por metodologia direta

Para avaliar a adequação das principais equações alométricas multiespecíficas de estimativa de biomassa de indivíduos arbóreos da literatura à vegetação secundária desta região de platô da Amazônia Central foram identificados os modelos da literatura e neste trabalho que mais se ajustam ao conjunto de dados obtidos com a pesagem destrutiva das 24 capoeiras avaliadas. Os erros médios de estimativa (percentagem de erro entre o obtido e o estimado através das equações) da biomassa total acumulada (t/ha) foram comparados. Os somatórios dos pesos secos observados e obtidos pelas equações alométricas de todas as árvores de cada parcela de capoeira foram extrapolados para a área de um hectare para obtenção da biomassa total (t/ha).

RESULTADOS

A população de plantas amostradas foi estratificada em: a) indivíduos que se enquadravam dentro do padrão normal de variação morfológica e fitossanitária das espécies; e b) indivíduos fora do padrão normal como sendo aqueles em que parte da planta estava quebrada, ou a copa estava sem folhas devido, por exemplo, à presença excessiva de lianas, ou com o tronco muito deformado devido à uma reinteração. Nas 24 capoeiras onde se realizou amostragem

destrutiva para o cálculo de biomassa, em média 83,6 % dos indivíduos (DAP \geq 1 cm) se enquadraram dentro do padrão normal e 16,4 % estão fora do padrão arquitetural e fitossanitário (F= 74,96; P < 0,0001). A biomassa dos indivíduos fora do padrão foi em média 24 % menor do que os indivíduos dentro do padrão (F= 7,2; P= 0,01). No entanto, não houve relação entre a idade da capoeira e a proporção de indivíduos fora do padrão ($r^2=$ 0,009; P= 0,676), como também indivíduos de capoeiras originadas de pastagem apresentaram estatisticamente proporção similar de indivíduos sem padrão ao das capoeiras originadas de agricultura (F= 0,397; P= 0,536). Para desenvolver os modelos deste estudo, as espécies foram aglutinadas em: a) dentro do padrão, e b) dentro e fora do padrão. Não foi possível desenvolver modelos específicos para os indivíduos da categoria fora do padrão porque a alta variabilidade da relação entre biomassa e os parâmetros biométricos e o baixo número de indivíduos não permitiram o estabelecimento de modelos confiáveis.

Equações alométricas monoespecíficas para estimativa de biomassa aérea por planta

A relação entre a biomassa aérea (kg) *versus* o DAP (cm), a H (m) e a densidade da madeira (g/cm^3) foi avaliada isoladamente para cada uma das espécies com número de indivíduos \geq 11 nas 24 parcelas de vegetação secundária amostradas destrutivamente para identificar quais variáveis influenciavam o peso seco das

árvores e que deveriam ser incluídas nos modelos alométricos, conforme exemplificado com *Vismia guianensis* na Figura 1. O DAP foi a variável independente que explicou melhor a variação da biomassa (Figura 1A), seguida de H (Figura 1B). No entanto, como estas duas variáveis são correlacionadas entre si, conforme exemplificado na Figura 2, ao invés de regressão múltipla foram testados modelos de regressão simples onde foram usados índices construídos com DAP e H. Os valores das variáveis DAP, H e biomassa foram transformados em escala logarítmica para melhorar a normalização dos resíduos e a relação dos resíduos com os valores obtidos com os modelos. Nelson *et al.* (1999) mostraram que a densidade de madeira têm influência nula no ajuste de modelos alométricos de estimativa de biomassa para uma espécie individual e como a densidade específica da madeira não foi relacionada com a biomassa de *V. guianensis* (Figura 1C), e de nenhuma das espécies deste estudo e por ter uma baixa relação entre custo de mensuração e o benefício, esta variável não foi incluída em nenhum dos modelos.

O DAP foi a variável independente que explicou melhor a variação na biomassa dos indivíduos de cada espécie arbórea e não houve melhoria relevante ao adicionar altura aos modelos (Tabela 1), conforme também foi obtido por Nelson *et al.* (1999). A acurácia e a robustez dos modelos de regressão foram significativamente melhoradas quando os valores de biomassa e das variáveis biométricas foram transformados em logaritmo natural, com exceção do modelo para *Lacistema grandifolium*. A Tabela 1 contém os modelos monoespecíficos de

estimativa de biomassa aérea, com enquadramento dos dados nos pressupostos do modelo, que obtiveram os menores erros de estimativas e os maiores coeficientes de regressão, e cujos coeficientes foram estatisticamente significantes. Exemplificamos com os dados de *Vismia guianensis* da Figura 1A cujo modelo que melhor se ajusta é o $\ln(BA) = -1,706 + 2,160 * \ln(DAP)$ e explicou 96 % da variação da biomassa de indivíduos que estavam dentro do padrão da normalidade arquitetural e fitossanitária da espécie. O erro médio entre os valores obtidos no campo e os obtidos através do modelo foi de 18,8 % (Tabela 1). A influência do diâmetro na determinação da biomassa de *V. guianensis* foi similar para todas as espécies da vegetação secundária das 24 parcelas estudadas. Das 13 espécies com $N \geq 11$ e cujos testes dos modelos alcançaram o nível de significância estatística, somente a variação de biomassa de *Aegiphila integrifolia* (Verbenaceae) foi melhor explicada ($r^2 = 0,925$) com adição da variável altura (em função de $DAP * H$) como variável independente, mas ainda manteve um alto erro médio de estimativa (28,9 %).

Equações alométricas multiespecíficas para estimativa de biomassa aérea por planta

Modelos alométricos multiespecíficos para estimativa da biomassa aérea (kg) por planta tendo como variáveis independentes DAP (cm) e H (m) foram desenvolvidos com dados de amostragem destrutiva de indivíduos de 121

espécies da vegetação secundária pertencentes a 43 famílias para os conjuntos de arbóreas (com exclusão do gênero *Cecropia* e palmeiras), de espécies arbustivas (com exclusão de mandioca) e dos indivíduos mortos que permanecem em pé nas parcelas de capoeira (Tabela 2). Cipós, bambus e bananeiras-do-mato não foram incluídos nos modelos multiespecíficos. O modelo que mais se ajustou ao grupo de 1.370 indivíduos arbóreos foi o modelo linear logaritimizado tendo somente DAP como variável independente com erro médio de estimativa de 25 %. Neste modelo o diâmetro explicou 94 % da variação de biomassa. Quando a amostragem foi estratificada somente para os indivíduos que se enquadram dentro dos padrões fitossanitários e arquiteturais o erro médio de estimativa diminuiu para 20 %, o DAP explicou 96 % da variação e o coeficiente β de inclinação aumentou levemente de 2,21 para 2,23.

Nenhuma das espécies de lianas avaliadas neste trabalho, que representam em torno de 10,8 % do número de indivíduos e 4 % da biomassa total, e nem as espécies arbustivas, que constituem em torno de 15,2 % do número de indivíduos e 5 % da biomassa total, tiveram modelos monoespecíficos de biomassa significantes. Quando os dados de 12 espécies arbustivas das capoeiras deste estudo foram agrupados em um modelo multiespecífico, o erro médio de estimativa de biomassa obtido pelo modelo de melhor ajuste foi ainda bastante alto (40 %) e o coeficiente de regressão foi de apenas 0,703 ($P < 0,0001$). A grande amplitude de densidade do tronco dos indivíduos mortos também não

permitiu o desenvolvimento de um modelo suficientemente acurado (erro médio de estimativa de 33 %; $r^2 = 0,63$; $P < 0,0001$), (Tabela 2).

Modelos de estimativa de biomassa acumulada baseados nos históricos de uso da terra

Modelos mais práticos, mas menos precisos, foram desenvolvidos para estimar indiretamente a biomassa aérea total (t/ha) com os dados de amostragens destrutivas de árvores com DAP ≥ 1 cm das 24 parcelas de vegetação secundária com idades entre 1 e 15 anos e tendo como variáveis independentes o tempo de abandono da capoeira (idade em anos), o tempo total de uso da terra (anos) com atividade agropecuária e o número de vezes que a vegetação da área foi queimada. Capoeiras com histórico de uso de pastagem (N= 15) e agricultura (N= 9) foram analisadas separadamente por apresentarem diferentes relações entre biomassa e a idade da capoeira (Figura 3), que foi a variável relacionada ao histórico de uso da terra que mais influenciou a biomassa acumulada. A biomassa acumulada (t/ha) de capoeiras originadas de agricultura, com idades de abandono entre 1 e 6 anos, foi melhor explicada ($r^2 = 0,959$) e teve menor erro de estimativa (13,5 %) por um modelo linear logaritimizado tendo como única variável independente a idade em relação aos modelos que incluíram o tempo de uso e o número de queimadas e que chegaram a produzir erros de estimativa de até 50 % (Figura 4 e Tabela 3).

A biomassa acumulada em capoeiras de até 15 anos de áreas originadas de pastagens não foi suficientemente explicada com a variável idade ($r^2 = 0,797$) e teve erro de estimativa de 36 % (Tabela 3). A variação da biomassa de capoeira de pastagens foi fortemente explicada também pelo tempo total de uso da terra e pelo número de queimadas. Como estas três variáveis são correlacionadas, pois em áreas de agricultura familiar geralmente quanto mais antiga uma capoeira, maior será sua probabilidade de ter sido usada por mais tempo e de ter sofrido maior número de queimadas, foram testadas várias combinações destes três fatores ligados ao histórico de uso da terra a fim de construir um índice para ajuste de um modelo de regressão simples. Para avaliar a influência do tempo de uso da terra na biomassa das capoeiras isolou-se a variável idade da capoeira dividindo-a pelo tempo de uso da terra para não precisar usar a taxa acúmulo por ano como variável dependente, pois esta mascararia a influência do tempo de uso da terra porque é uma função da idade da capoeira. A biomassa acumulada em áreas de pastagem foi fortemente ajustada ($r^2 = 0,957$; erro de estimativa = 19,9 %) ao modelo exponencial cuja variável independente foi o quociente da idade pelo tempo de uso (Figura 5 e Tabela 3). O erro de estimativa de biomassa de capoeiras de pastagem diminuiu para 14,9 % ao adicionar o número de queimadas à variável independente do modelo. O índice idade da capoeira / tempo de uso + número de queimada explicou 97,5 % da biomassa acumulada (t/ha) em capoeiras estabelecidas em áreas de pastagem (Figura 6 e Tabela 3).

Adequação dos modelos às biomassas avaliadas por metodologia direta

O erro médio de estimativa da biomassa acumulada dos 10 conjuntos de modelos selecionados da literatura e deste estudo em relação aos dados mensurados através de metodologia destrutiva direta das 24 capoeiras variou de 5,6 % a 57,5 % (Figura 7 e Tabela 4). Como esperado, o modelo linear 1 estabelecido para um conjunto de espécies de floresta primária por Higuchi *et al.* (1998), aplicada aqui somente para efeito de comparação, não se ajustou aos dados de biomassa de vegetação secundária deste estudo, mesmo sendo os dados originados de mesma região da Amazônia Central distantes aproximadamente 20 km.

O conjunto de modelos 3 de Uhl *et al.* (1988) derivados de regressões alométricas multiespecíficas para folha e para madeira desenvolvidos para vegetação secundária da Amazônia Oriental no estado do Pará e tendo DAP como variável independente também gerou um erro médio de estimativa muito alto (48,7 %) e similar ao erro de 48 % da estimativa do modelo 2 de Uhl (1987) para a Amazônia Venezuelana e cuja variável independente foi apenas a idade da capoeira. O conjunto do modelo 7 (este estudo) que, como o modelo 2 de Uhl (1987), também usou como variável independente o histórico de uso, que demanda como esforço de coleta de campo somente o resgate do histórico da capoeira por meio de entrevistas com os agricultores, teve erro de estimativa de apenas 14 %. No modelo 7, a idade da capoeira foi a variável independente da regressão para as

biomassas das vegetações secundárias de áreas de agricultura e o índice “idade / tempo de uso + número de queimadas” foi a variável independente para estimativa de biomassa de capoeiras originadas de pastagens. O erro de estimativa de 14 % do modelo 7, originado da regressão entre biomassa (t/ha) e histórico de uso da terra com dados deste estudo, foi similar ao erro de estimativa de 15 % derivado do modelo alométrico multiespecífico 6 de Brown (1997) que é amplamente utilizado para estimativas indiretas nos trópicos e é derivado da relação entre biomassa e DAP de árvores de floresta da Índia com 1.200 mm de precipitação.

O detalhado e cuidadoso modelo multiespecífico de regressão 4 desenvolvido por Nelson *et al.* (1999) baseado no DAP de sete espécies de vegetação secundária da Amazônia Central, situada a aproximadamente 30 km da área deste estudo, mas com o diferencial de ter sido desmatada mecanicamente para plantio de seringueira, teve o erro de estimativa de biomassa acumulada alto (41 %) para os dados mensurados neste estudo. Este erro de estimativa de biomassa acumulada foi reduzido para 19 % quando utilizado o modelo 5 de Nelson *et al.* (1999) no qual os autores acrescentaram a variável altura.

O modelo multiespecífico 6 de Brown (1997) e o 8 (deste estudo) aplicados para todas as espécies, inclusive lianas com DAP ≥ 1 cm, foram os que apresentaram melhores ajustes para os dados de biomassa total (t/ha) das vegetações

secundárias avaliadas. A aplicação do modelo 6 de Brown (1997) gerou erro médio de estimativa de 15 % e a do modelo 8 (deste estudo) de 10,2 %.

Os menores erros médios de estimativa de biomassa total (t/ha) dos 10 modelos testados foram de 7,6 % (modelo 9) e 6,6 % (modelo 10) obtidos respectivamente pela aplicação do modelo 8 (deste estudo) e 6 (Brown, 1997) aplicado somente às espécies arbóreas e mais um conjunto de equações para lianas, espécies arbustivas e indivíduos do gênero *Cecropia*. Para as estimativas de biomassa de lianas aplicou-se a equação de Gehring *et al.* (2004) desenvolvida para vegetação secundária e floresta da Amazônia Central. Para as espécies arbustivas usou-se a regressão multiespecífica desenvolvida (deste estudo) e para a estimativa de biomassa de todas as espécies do gênero *Cecropia* de baixo porte e densidade da madeira em torno de 0,27 g/cm³ aplicou-se o modelo de *Cecropia ulei* (deste estudo).

DISCUSSÃO

Equações alométricas monoespecíficas para estimativa de biomassa

Os maiores erros médios da estimativa de biomassa (modelo 7 – 38 %) e os menores coeficientes de regressão das equações alométricas monoespecíficas deste trabalho, em relação às desenvolvidas por Nelson *et al.* (1999) para sete espécies da vegetação secundária da mesma região (10 – 15 %), demonstram a

influência da homogeneidade da população amostrada na acurácia dos modelos, mas não em sua aplicabilidade. Os modelos de Nelson *et al.* (1999) foram derivados de árvores escolhidas especificamente para o desenvolvimento de equações alométricas onde se procura selecionar a amostragem de plantas categorizando-as dentro de intervalos consecutivos de classes de tamanho uniformemente espaçadas, e assim, há uma tendência de excluir a variabilidade morfológica e fitossanitária natural das populações. No presente trabalho, para não mascarar a variabilidade real das populações amostradas, as equações alométricas foram desenvolvidas para todos os indivíduos contidos nas parcelas amostrais das vegetações secundárias independentemente de seu padrão morfológico ou fitossanitário, o que produziu coeficientes de regressão menores e erros de estimativas maiores.

Assim como os métodos diretos de quantificação de biomassa têm suas desvantagens relacionadas às coletas destrutivas e ao fato do tamanho limitado da área que se consegue amostrar com o trabalhoso método restringir a generalização dos resultados, os métodos indiretos também apresentam restrições e grande variabilidade nas estimativas (Martinelli *et al.*, 1994; Brown *et al.* 1995; Honzak *et al.*, 1996; Brown, 1997). Os altos erros de estimativas de alguns modelos alométricos da literatura aplicados ao conjunto de dados coletados no presente estudo em vegetações secundárias originadas de agricultura e pastagens em áreas de agricultura familiar da Amazônia Central, confirmam a variabilidade de valores de biomassa que as equações podem produzir e indica o cuidado que se deve ter ao escolher os modelos. A maioria dos

modelos da literatura provêm de uma única área com pequenas amplitudes ecológicas do ambiente e com limitada variabilidade dentre as espécies. Os dados das plantas de onde foram derivados os modelos deste trabalho provêm de uma amplitude de fatores ambientais devido aos diferentes históricos de uso, idades, composições florísticas e variabilidades intrínsecas de cada uma das 24 capoeiras. No entanto, sua aplicação ainda deve ser preferencialmente restrita para a região deste estudo.

Equações alométricas multiespecíficas para estimativa de biomassa

Surpreendentemente a equação multiespecífica de Brown (1997), derivada da biomassa de árvores de uma floresta da Índia que recebe somente 1.200 mm de chuva anuais, se adequou mais aos dados de vegetação secundária da Amazônia Central (erro de estimativa = 15 %) do que outras equações publicadas por esse e outros autores, para florestas, ou mesmo capoeiras, da Amazônia. Isto talvez se deva ao fato da fisionomia vegetal das florestas tropicais secas perenes da Índia, com biomassa entre 40 e 170 t/ha (Mani e Parthasarathy, 2005), ser similar à da regeneração natural desta região da Amazônia Central. Por outro lado, ao aplicar aos dados do presente trabalho à equação de Uhl *et al.* (1988), desenvolvida para espécies secundárias da Amazônia na região de Paragominas (Pará), o erro de estimativa foi em torno de 45 %. Na região de Paragominas a pluviosidade média é de 1.750 mm anuais e a estação seca se estende por seis meses, enquanto na área deste estudo a pluviosidade média é de 2.200 mm com somente 2-3 meses de estação seca, o que pode ter provocado grandes diferenças alométricas entre

estas duas regiões da Amazônia. A equação multiespecífica desenvolvida criteriosamente por Nelson *et al.* (1999) ao ser aplicada aos dados de amostras destrutivas deste trabalho, apresentou estimativa de erro em torno de 40 % (modelo com DAP como variável independente) e 20 % (modelo com DAP e H como variáveis independentes). Possivelmente o ajuste relativamente pobre dos dados coletados ao modelo de Nelson *et al.* (1999) se deve à relação alométrica ter sido derivada de dados de apenas sete espécies, enquanto que as capoeiras avaliadas neste trabalho são constituídas por 121 espécies. Além disso, o conjunto de dados coletados por Nelson *et al.* (1999) provém de uma capoeira cuja floresta original foi desmatada mecanicamente para plantio de seringueira que foi posteriormente abandonada, enquanto neste trabalho as capoeiras são de áreas de agricultura familiar com histórico de uso de agricultura e de pecuária em pequena escala. O modelo alométrico multiespecífico desenvolvido neste trabalho para vegetação secundária da Amazônia Central, apesar de logicamente apresentar o menor erro de estimativa (10 %) entre os modelos testados da literatura, ainda apresentou desvios em relação aos dados obtidos de biomassa destrutiva devido à grande heterogeneidade natural das populações amostradas com diferentes idades, padrões morfológicos e condições fitossanitárias e devido à amplitude de históricos de usos e às condições ambientais das capoeiras amostradas.

Modelos alométricos mono-específicos têm mais acurácia para estimar a biomassa do que regressões multiespecíficas (Uhl *et al.*, 1988; Alves *et al.*, 1997; Nelson *et al.*, 1999). No entanto, como o número de espécies da vegetação secundária

contemplado com modelos alométricos ainda é reduzido, propõe-se neste trabalho a utilização de um conjunto de equações multiespecíficas e monoespecíficas para melhorar as estimativas sem acarretar em demasiados esforços de campo. Erros de estimativa de somente aproximadamente 7 % foram obtidos quando aplicou-se às espécies arbóreas as equações multiespecíficas deste trabalho (modelo 8) ou a de Brown (1997), (modelo 6). Equações alométricas monoespecíficas foram aplicadas somente para as espécies ou grupos de espécies com padrões alométricos muito diferenciados das árvores, por terem diferentes formas de vida ou terem densidade do tronco muito baixa. Para as vegetações secundárias desse estudo os seguintes grupos de espécies e formas de vida tiveram os maiores erros de estimativa de biomassa e, por isso, equações alométricas monoespecíficas foram aplicadas a elas (modelos 9 e 10): a) o gênero *Cecropia* que possui uma baixa densidade específica do tronco e é dominante até o segundo ano nas capoeiras de agricultura; b) as espécies arbustivas, que representam em média 15,2 % do número de indivíduos das capoeiras avaliadas, têm baixa densidade de madeira e arquitetura bastante diferenciada das árvores e alta variabilidade de padrões alométricos dentre uma mesma espécie; c) as lianas, que perfazem em média 10,8 % do número de indivíduos das capoeiras avaliadas não podem ser desprezadas nas estimativas de biomassa acumulada, mas seus pesos devem ser estimados com modelos desenvolvidos exclusivamente para este grupo.

As equações alométricas multiespecíficas deste trabalho foram, foram construídas por meio de amostragem destrutiva de um conjunto grande de espécies e espécimes com diferentes idades e padrões morfológicos de capoeiras com

amplitudes de idades, históricos de uso e condições ambientais. No entanto, a sua aplicação deve se restringir às idades e ecozonas com solo, clima e vegetação similares às das capoeiras aqui avaliadas.

Estoques de biomassa e histórico de uso da terra

Nossas análises salientam a importância de se considerar o histórico de uso da terra nos modelos de estimativa de acúmulo de biomassa de vegetações secundárias. Modelos mais práticos, mas menos precisos (erro de estimativa = 14 %) do que os derivados de medidas biométricas das árvores foram desenvolvidos para estimar indiretamente a biomassa aérea total (t/ha) tendo como variáveis independentes o tempo de abandono da capoeira (idade em anos), o tempo total de uso da terra com atividade agropecuária (anos) e o número de vezes que a vegetação da área foi queimada. Equações foram desenvolvidas separadamente para a regeneração natural de pastagens e de áreas de agricultura itinerante porque tanto o intercepto no eixo da ordenada, quanto a inclinação da reta dos dados de biomassa *versus* a idade da capoeira dos dois históricos de uso da terra foram diferentes, sendo que áreas de pastagens têm impacto mais negativo no acúmulo de carbono da regeneração natural do que áreas com histórico de agricultura itinerante. A idade da capoeira explicou 96 % da variação da biomassa de áreas de regeneração de atividades agrícolas, mas a biomassa da vegetação secundária derivada de pastagens foi melhor determinada (98 %) por um índice que contemplou além da idade da capoeira, o tempo de uso da terra e o número de queimadas que a área foi submetida. A atividade pecuária produz impactos

negativos maiores sobre a regeneração natural que a atividade agrícola (Uhl et al., 1988; Fearnside e Guimarães, 1996; Lucas et al., 1996; Steininger, 2000) e por isso o tempo de uso da terra se torna determinante para os processos sucessionais e o acúmulo de biomassa da regeneração natural de pastagens abandonadas. Entretanto as capoeiras de agricultura itinerante avaliadas neste estudo possuíam uma pequena amplitude de idade de abandono, tempo de uso e número de queimadas em relação às de pastagens porque no assentamento a pecuária é uma atividade mais antiga que a agricultura. Possivelmente se existissem na área estuda capoeiras de agricultura com maior tempo de abandono, poder-se-ia também detectar a influência do tempo de uso e do número de queimadas no estoques de biomassa, mas provavelmente em menores proporções do que o observado nas áreas de pastagens que têm sua estrutura física do solo comprometida com o pastejo. Usando técnicas de sensoriamento remoto Moreira (2003) também concluiu que o número de queimadas determinou os estoques e a velocidade de incremento da biomassa de pastagens abandonadas, próximas a área deste estudo, na Amazônia Central. Zarin *et al.* (2005) através de dados de biomassa de nove sítios da Amazônia concluíram que cinco ou mais incidências de queimadas em uma mesma área além de reduzir em mais de 50 % o acúmulo de carbono, implicam em um mais lento fechamento do dossel, o que tornaria a vegetação secundária mais susceptível ao fogo. Número excessivo de queimadas associado com erosão pode comprometer o banco de sementes de tal modo que a regeneração natural passa a depender unicamente de espécies imigrantes (Janzen e Vásquez-Yanes, 1988).

Zarin *et al.* (2005) também desenvolveram modelos para estimativas de biomassa de vegetações secundárias tendo a idade da capoeira como variável independente. Zarin *et al.* (2005) desenvolveram uma equação para solos arenosos e outra para solo não arenosos baseados em dados de biomassas de nove sítios que abrangem grande parte da Amazônia estimadas com métodos diretos e indiretos, mas apesar de incluírem aspectos relacionados ao clima, os modelos não incluíram variáveis relacionadas ao histórico de uso da terra, como tipo de atividade desenvolvida, tempo de uso e número de queimadas. Silver *et al.* (2000) baseados no conjunto de 143 dados da literatura de vegetações secundárias de países tropicais desenvolveram modelos para estimar a biomassa, tendo também o tempo de abandono da capoeira como variável independente (englobando idades entre 0,3 a 80 anos), para cada uma dos três regimes pluviométricos (<1000 mm; 1000 – 2500 mm; >2500 mm) e para cada um dos três históricos de uso (pastagem; agricultura itinerante; e derruba e queima da floresta sem plantio). Entretanto, os modelos de Silver *et al.* (2000) não incluíram equações que englobam a combinação de nível de pluviosidade e histórico de uso, e nem o tempo de uso da terra e número de vezes que a vegetação foi queimada, variáveis determinantes nos modelos desenvolvidos neste trabalho para pastagens.

Modelos de estimativa de biomassa baseados em histórico de uso da terra podem ser úteis para obter valores mais generalizados e que não exijam grande precisão e, além disso, devido à facilidade de aplicação e custo zero, podem ser utilizados por comunidades rurais para computarem os créditos de carbono de suas capoeiras. A metodologia destrutiva pode custar em média R\$ 27,00 por árvore ou R\$ 805,00 se for mensurada também a biomassa radicular da planta (Silva, 2007). Um fator limitante da aplicabilidade destes modelos é a dificuldade de se obter informações precisas dos agricultores sobre o histórico de uso das áreas de capoeira e um esforço grande para validar informações entre membros da família, diaristas e vizinhos é necessário, mas nem sempre se obtém êxito, o que restringe o número de capoeiras em que esta metodologia pode ser aplicada com segurança.

Com os métodos aqui desenvolvidos intenciona-se colaborar com o cumprimento da demanda por monitoramento e quantificação dos serviços ambientais, como o sequestro de carbono. O inventário das fontes e sumidouros de carbono torna-se ainda mais importante com o surgimento de programas de desenvolvimento rural sustentável na Amazônia que priorizam a recuperação de áreas degradadas e a redução da emissão de gases estufas e com o início de um processo de comercialização de carbono de mais fácil acesso às comunidades rurais.

BIBLIOGRAFIA CITADA

Alves, D.S.; Soares, J.V.; Amaral, S.; Mello, E.M.K.; Almeida, S.A.S.; Silva, O.F.; Silveira, A.M. 1997. Biomass of primary and secondary vegetation in Rondônia, Western Brazilian Amazon. *Global Change Biology*, 3: 451-461.

Araújo, T.M.; Higuchi, N.; Carvalho, J.A. 1999. Comparison of formulae for biomass content determination in a tropical rain forest site in the state of Pará, Brazil. *Forest Ecology and Management*, 117: 43-52.

Braga, P.I.S. 1979. Subdivisão Fitogeográfica, tipos de vegetação, conservação e inventário Florístico da Floresta Amazônica. *Acta Amazonica*, 9(4): 53-80.

Brown, I.F.; Martinelli, L.A.; Thomas, W.W.; Moreira, M.Z.; Ferreira, A.C.A.C.; Victoria, R.L. 1995. Uncertainty in the biomass of Amazonian forest: an example from Rondônia Brazil. *Forest Ecology and Management*, 75: 175-189.

Brown, S. 1997. *Estimating biomass and biomass change of tropical forests: a primer*. FAO- Forest Resources Assessment - Forestry Paper, 134, FAO, Roma, Italia. 57p.

Brown, S.; Gillespie, A.J.R.; Lugo, A.E. 1989. Biomass estimation methods for tropical forest with applications to forest inventory data. *Forest Science*, 35(4): 881-902.

Brown, S.; Lugo, A.E. 1990. Tropical secondary forests. *J. Tropical Ecology*. 6: 1-32.

Brown, S.; Lugo, A.E. 1992. Aboveground biomass estimates for tropical moist forests in the Brazilian Amazon. *Interciencia*, 17(1): 8-18.

Buschbacher, R.; Uhl, C.; Serrão, E.A.S. 1988. Abandoned Pastures in Eastern Amazonia. II. Nutrient Stocks in the Soil and Vegetation. *Journal of Ecology*, 76: 682-699.

Chambers, J.Q.; Santos, J.; Ribeiro, R.J.; Higuchi, N. 2001. Tree damage, allometric relationships, and above-ground net primary production in central Amazon forest. *Forest Ecology and Management*, 152(1-3): 73-84.

Denich, M. 1991. *Estudo da Importância de uma Vegetação Secundária Nova para o Incremento da Produtividade do Sistema de Produção na Amazônia Oriental Brasileira*. Tese (Ph.D), Georg August University, Gottingen, Alemanha. 284pp.

Fearnside, P.M.; Leal Filho, N.; Fernandes, F.M. 1993. Rainforest burning and the global carbon budget: biomass, combustion efficiency, and charcoal formation in the Brazilian Amazon. *Journal of Geophysical Research (Atmospheres)*, 98(D9): 16733-16743.

Fearnside, P.M. 1996. Amazonian deforestation and global warming: carbon stocks in vegetation replacing Brazil's Amazon forest. *Forest Ecology and Management*, 80: 21-34.

Fearnside, P.M.; Guimarães, W.M. 1996. Carbon uptake by secondary forests in Brazilian Amazonia. *Forest Ecology and Management*, 80: 35-46.

Finegan, B. 1996. Pattern and process in neotropical secondary rain forests: the first 100 years of succession. *Tree*, 11(3): 119-124.

Gehring, C.; Park, S.; Denich, M. 2004. Liana allometric biomass equations for Amazonian primary and secondary forest. *Forest Ecology and Management*, 195(1-2): 69-83.

Gómez-Pompa, A.; Vásquez-Yanes, C. 1974. Studies on secondary succession of tropical lowlands: the life cycle of secondary species. *In: Proceedings of the First International Congress of Ecology*. The Hague. 336-342.

Higuchi, N.; Carvalho Júnior, J.A. 1994. *Biomassa e conteúdo de carbono de espécies arbóreas da Amazônia*. *In: Seminário Emissão e Seqüestro de CO₂: uma nova oportunidade de negócios para o Brasil*. Anais. Companhia Vale do Rio Doce, Rio de Janeiro. p.125-153.

Higuchi, N.; Santos, J.M.; Imanaga, M.; Yoshida, S. 1994. Aboveground biomass estimate for Amazonian dense tropical moist forests. *Memoirs of the Faculty of Agriculture*, Kagoshima, 30(39): 43-54.

Higuchi, N.; Santos, J.M.; Ribeiro, R.J.; Minette, L.; Biot, Y. 1998. Biomassa da parte aérea da vegetação da floresta tropical úmida de terra-firme da Amazônia brasileira. *Acta Amazonica*, 28(2): 153-166.

Honzak, M.; Lucas, R.M.; Amaral, I.; Curran, P.J.; Foody, G.M.; Amaral, S. 1996. Estimation of the leaf area index and total biomass of tropical regenerating forests: Comparison of methodologies. *In: Gash, J.H.C.; Nobre, C.A.; Roberts, J.M.; Victoria, R. L. (Eds.). Amazonian Deforestation and Climate*, John Wiley and Sons, Chichester, Reino Unido. p. 365–382.

IPEAAOc, 1971. *Solos do Distrito Agropecuário da SUFRAMA*. Convênio para levantamento da área do Distrito Agropecuário da SUFRAMA, IPEAN e IPEAAOc, Manaus, Amazonas. 99pp.

IPCC, 2000. *IPCC Special Report on Land Use, Land-Use Change, and Forestry*. Watson, R.T.; Noble, I.R.; Bolin, B.; Ravindranath, N.H.; Verardo, D.J.; Dokken, D.J. (Eds.) Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido. 377pp.

IPCC, 2006. *National Greenhouse Gas Inventories Programme - Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*, 1 (www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol1.html). Acesso: 20/06/ 2007.

Janzen, D.; Vásquez-Yanes, C. 1988. Tropical forest seed ecology. *In*: Hadley, M. (Ed). *Rain forest regeneration and management*. The International Union of Biological Sciences, UNESCO, Paris. 18: 28-33.

Johnson, C.M.; Vieira, I.C.G.; Zarin, D.J.; Frizano, J.; Johnson, A.H. 2001. Carbon and nutrient storage in primary and secondary forests in eastern Amazonia. *Forest Ecology and Management*, 147: 245-252.

Ketterings, Q.M.; Coe, R.; Noordwijk, M; Ambagau, Y.; Palm, C.A. 2001. Reducing uncertainty in the use of allometric biomass equations for predicting above-ground tree biomass in mixed secondary forests. *Forest Ecology and Management*, 146: 199-209.

Lucas, R.M.; Curran, P.J.; Honzak, M.; Foody, G.M.; Amaral, I.; Amaral, S. 1996. Disturbance and recovery of tropical forests: Balancing the carbon account. *In*. Gash, J.H.C.; Nobre, C.A.; Roberts, J.M.; Victoria, R.L. (Eds.) *Amazonian Deforestation and Climate*, John Wiley and Sons, Chichester, Reino Unido p. 383-398.

Lucas, R.M.; Honzak, M.; Curran P.J.; Foody, G.M.; Milnes, R.; Brown, T.; Amaral, S. 2000. Mapping the regional extent of tropical forest regeneration stages in the Brazilian Legal Amazon using NOAA AVHRR data. *International Journal Remote Sensing*, 21(15): 2855–81.

Mani, S.; Parthasarathy, N. 2007. Above-ground biomass estimation in ten tropical dry tropical evergreen forest sites of peninsular India. *Biomass and Bioenergy*, 31(5):284-290.

Martinelli, L.A.; Moreira, M.Z.; Brown, I.F.; Victoria R.L. 1994. Incertezas associadas às estimativas de biomassa em florestas tropicais. *In*: *Seminário*

Emissão e seqüestro de CO₂: uma nova oportunidade de negócios para o Brasil. Anais. Companhia Vale do Rio Doce, Rio de Janeiro. p. 196-221.

MCT, 1998. Ministério de Ciência e Tecnologia (www.mct.gov.br). Acesso: 20/05/2005.

Mesquita, R.C.G.; Ganade, G.; Ickes, K.; Williamson, B. 2001. Alternative successional pathways in the Amazon basin. *Journal of Ecology*, 89: 1-10.

Moran, E.F.; Brondizio, E.S.; Tucker, J.M.; Silva-Forsberg, M.C.; Mccracken, S.; Falesi, I. 2000. Effects of soil fertility and land-use on forest succession in Amazonia. *Forest Ecology and Management*, 139: 93-108.

Moreira, M.P. 2003. *Uso de sensoriamento remoto para avaliar a dinâmica de sucessão secundária na Amazônia Central.* Dissertação de Mestrado, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia/Fundação Universidade do Amazonas, Manaus, Amazonas. 103pp.

Neeff, T.; Lucas, R.M.; Santos, J.R. ; Brondizio, E.S.; Freitas, C.C. 2006. Area and age of secondary forests in brazilian amazonia 1978–2002: An empirical estimate. *Ecosystems*, 9(4): 609-623.

Nelson, B.W.; Mesquita, R.; Pereira, J.L.G.; Souza, S.G.A. ; Batista, G.T.; Couto, L.B. 1999. Allometric regressions for improved estimate of secondary forest biomass in the central Amazon. *Forest Ecology and Management*. 117:149-167.

Nepstad, D.C.; Uhl, C.; Serrão, E.A.S., 1991. Recuperation of a degraded Amazonian landscape. Forest recovery and agricultural restoration. *Ambio*, 20(6): 248-255.

Overman, J.P.M.; Witte, H.J.L.; Saldarriaga, J.G. 1994. Evaluation of regression models for above-ground biomass determination in Amazonian rainforest. *Forest Ecology and Management*, 10: 207-218.

Pardé, D.R. 1980. Forest Biomass. *Forestry Abstracts*, 41: 343-362.

Perz, S.G; Skole. D.L. 2003. Secondary forest expansion in the Brazilian Amazon and the refinement of forest transition theory. *Society and Natural Resources*, 16: 277-294.

RADAMBRASIL, 1978. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM). Projeto RADAMBRASIL. Levantamento de Recursos Naturais. DNPM, Rio de Janeiro, Vol. 18.

Santos, J. 1996. *Análise de modelos de regressão para estimar a fitomassa da floresta tropical úmida de terra-firme da Amazônia brasileira*. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais. 121pp.

Saldarriaga, J.G.; West, D.C.; Tharp, M.L.; Uhl, C. 1988. Long-term chronosequence of forest succession in the Upper Rio Negro of Colombia and Venezuela. *Journal of Ecology*, 76: 938-958.

Silva, R.P. 2007. Alometria, estoque e dinâmica da biomassa de florestas primárias e secundárias na região de Manaus (AM). Tese de Doutorado, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia/Fundação Universidade Federal do Amazonas, Manaus, Amazonas. 152 pp.

Silver, W.L.; Ostertag, R; Lugo, A.E. 2000. The potential for carbon sequestration through reforestation of abandoned tropical agricultural and pasture lands. *Restoration Ecology*, 8: 394-407.

Skole, D.L.; Chomentowski, W.H; Salas, W.A.; Nobre, A.D. 1994. Physical and human dimensions of deforestation in Amazonia. *BioScience*, 44(5): 314-321.

Steininger, M.K. 2000. Secondary forest structure and biomass following short and extended land-use in central and southern Amazonia. *Journal of Tropical Ecology*, 16: 689-708.

Uhl, C. 1987. Factors controlling succession following slash-and-burn agriculture in Amazonia. *Journal of Ecology*, 75: 377-407.

Uhl, C.; Buschbacher, R.; Serrão, E.A.S. 1988. Abandoned pastures in eastern Amazonia. I. Patterns of plant succession. *Journal of Ecology*. 76: 663- 681.

Whittaker, R.H.; Marks, P.L. 1975. Methods of assessing terrestrial productivity. *In*: Lieth, H; Wittaker. R.H. (Eds.). *Primary Productivity of the Biosphere*. Springer-Verlag, New York. p.55-118.

Wiemann M.C.; Williamson G.B. 1988. Extreme radial changes in wood specific gravity in some tropical pioneers. *Wood and Fiber Science*, 20: 344-349.

Zarin, D.; Davidson, E.A.; Brondizio, E.; Vieira, I.; Sá, T.; Ducey, J.M.; Salimon, C.; Denich, M. 2005. Legacy of fire slows carbon accumulation in Amazon Forest regrowth. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 3(7): 365-369.

FIGURAS E TABELAS DO CAPÍTULO 1

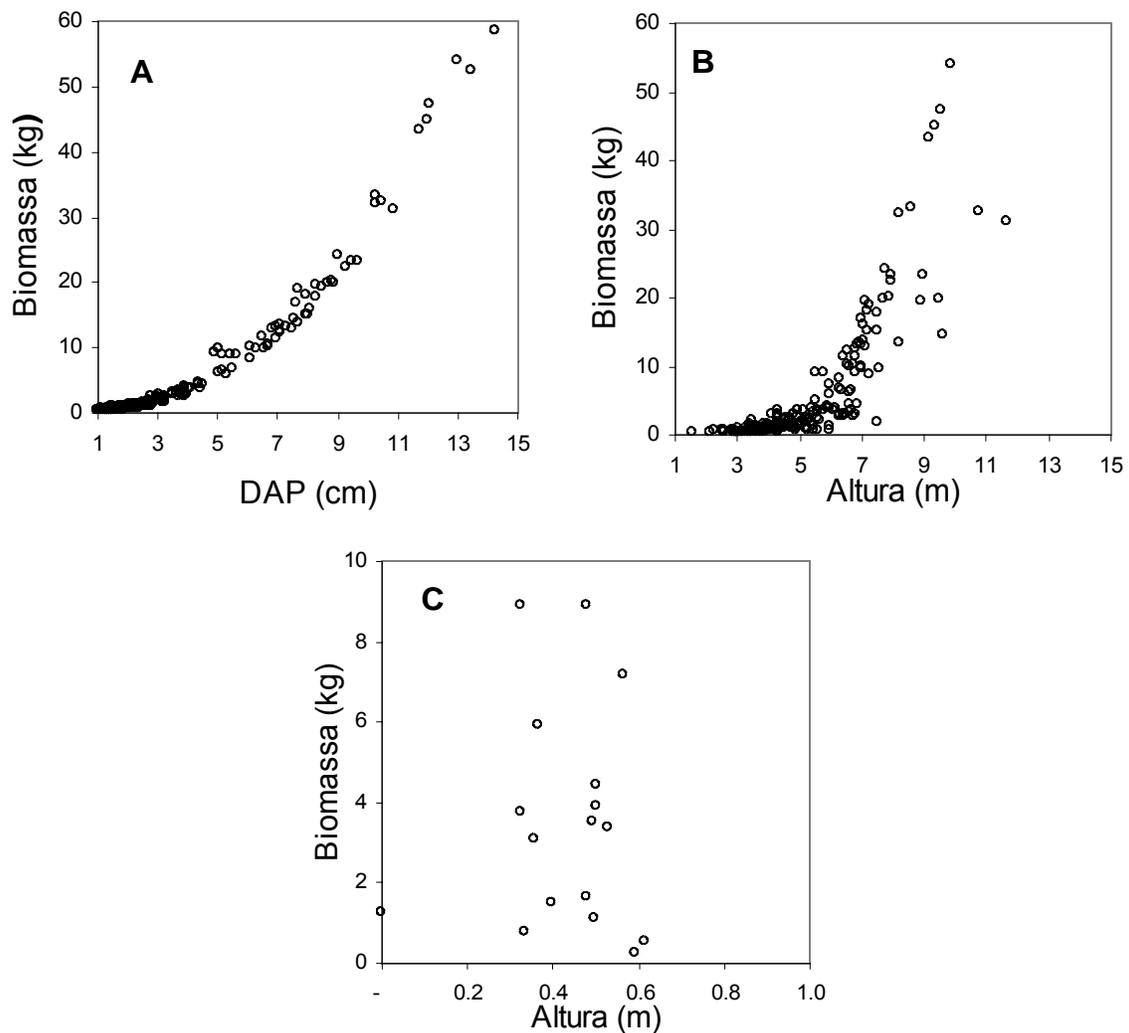


Figura 1 – Relação entre a biomassa aérea de indivíduos de *Vismia guianensis* e as variáveis biométricas independentes: (A) DAP (N= 193); (B) altura (N= 193) e; (C) densidade da madeira (N= 16). O padrão de relação da biomassa de *V. guianensis* com as variáveis biométricas é similar ao encontrado para as demais espécies da vegetação secundária de 1 a 15 anos de idade deste estudo.

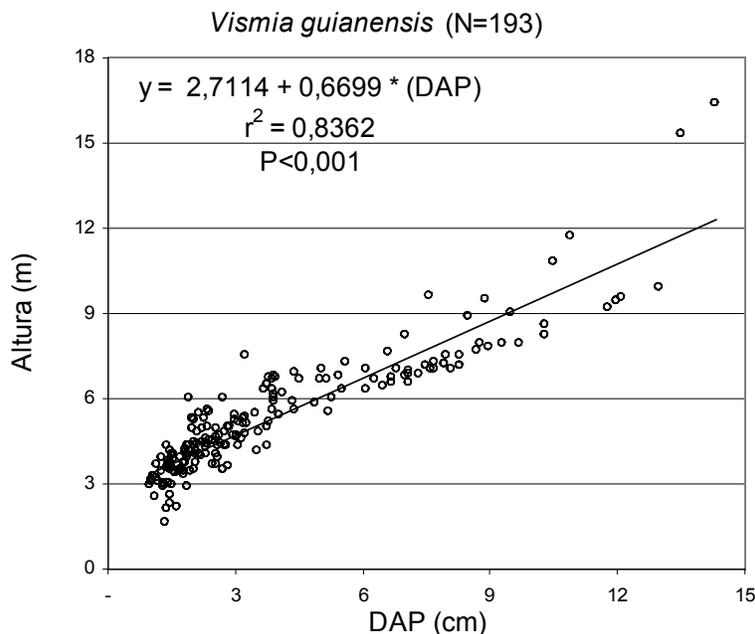


Figura 2 – Relação entre diâmetro à altura do peito (DAP) e altura total de 193 indivíduos de *Vismia guianensis* com padrão arquitetural e fitossanitário dentro da normalidade.

Tabela 1 – Modelos alométricos mono-específicos com os respectivos testes estatísticos para estimativa da biomassa aérea (BA - kg) de indivíduos de 13 espécies da vegetação secundária, tendo como variáveis independentes DAP (cm) e altura (H - m). O erro médio de estimativa (valores absolutos) é referente a diferença percentual entre a biomassa observada por planta e a estimada pelo modelo.

Espécie	Padrão fitossanitário e arquitetural	Amplitude de DAP	Equação de Regressão	N	r ²	Erro médio por planta	Nível de significância de t por coeficiente	Erro padrão
<i>Aegiphila integrifolia</i>	dentro do padrão	1-16cm	$\ln(BA) = 2,180 + 2,582 * \ln(H/DAP)$	11	0,925	28,9 %	α P<0,0001	0,100
							β P<0,0001	0,24
<i>Bellucia dichotoma</i> e <i>B. glossulariodes</i> juntas	dentro do padrão	1-23cm	$\ln(BA) = -1,577 + 2,184 * \ln(DAP)$	35	0,942	27,8 %	α P<0,0001	0,150
							β P<0,0001	0,095
<i>Bellucia dichotoma</i>	dentro do padrão	1-9cm	$\ln(BA) = -3,092 + 1,543 * \ln(DAP * H)$	21	0,905	35,9 %	α P<0,0001	0,291
							β P<0,0001	0,115
<i>Bellucia dichotoma</i>	dentro do padrão	1-23cm	$\ln(BA) = -1,538 + 2,185 * \ln(DAP)$	30	0,938	26,9 %	α P<0,0001	0,168
							β P<0,0001	0,106
<i>Bellucia glossulariodes</i>	dentro do padrão	1-15cm	$\ln(BA) = -1,641 + 2,169 * \ln(DAP)$	11	0,968	24,0 %	α P=0,001	0,224

								β	P<0,0001	0,159
<i>Cecropia ulei</i>	dentro do padrão	1-7cm	$\ln(BA) = -4,173 + 1,477 * \ln(DAP)$	138	0,944	20,2 %	α	P<0,0001	0,057	
								β	P<0,0001	0,031
	dentro e fora do padrão	1-7cm	$\ln(BA) = -4,163 + 1,489 * \ln(DAP)$	182	0,890	24,4 %	α	P<0,0001	0,069	
								β	P<0,0001	0,039
<i>Couratari sp.</i>	dentro do padrão	1-16cm	$\ln(BA) = -1,362 + 1,916 * \ln(DAP)$	11	0,868	23,4 %	α	P<0,0001	0,187	
								β	P<0,0001	0,236
<i>Goupia glabra</i>	dentro do padrão	1-6cm	$\ln(BA) = -1,523 + 1,926 * \ln(DAP)$	42	0,877	19,4 %	α	P<0,0001	0,092	
								β	P<0,0001	0,133
<i>Lacistema grandifolium</i>	dentro e fora do padrão	1-3cm	$BA = -0,890 + 0,946 * DAP$	12	0,743	33,9 %	α	P=0,016	0,309	
								β	P<0,0001	0,176
<i>Laetia procera</i>	dentro do padrão	1-8cm	$\ln(BA) = -1,619 + 2,055 * \ln(DAP)$	21	0,962	21,1 %	α	P<0,0001	0,133	
								β	P<0,0001	0,094
	dentro do padrão	1-8cm	$\ln(BA) = -2,765 + 1,263 * \ln(DAP * H)$	21	0,961	19,7 %	α	P<0,0001	0,183	
								β	P<0,0001	0,981
	dentro do padrão	1-15cm	$\ln(BA) = -1,749 + 2,192 * \ln(DAP)$	50	0,982	12,7 %	α	P<0,0001	0,082	
								β	P<0,0001	0,991
<i>Solanum rugosum</i>	dentro do padrão	1-3cm	$\ln(BA) = -2,489 + 2,166 * \ln(DAP)$	23	0,861	34 %	α	P<0,0001	0,177	
								β	P<0,0001	0,270
<i>Solanum rugosum</i>	dentro e fora do padrão	1-3cm	$\ln(BA) = -2,224 + 1,908 * \ln(DAP)$	46	0,660	38,6 %	α	P<0,0001	0,127	
								β	P<0,0001	0,213
<i>Trema micrantha</i>	dentro do padrão	1-6cm	$\ln(BA) = -2,358 + 2,354 * \ln(DAP)$	33	0,962	13,8 %	α	P<0,0001	0,071	
								β	P<0,0001	0,084
<i>Vismia cayennensis</i>	dentro do padrão	1-9cm	$\ln(BA) = -2,219 + 2,526 * \ln(DAP)$	32	0,972	16,1 %	α	P<0,0001	0,108	
								β	P<0,0001	0,078
	dentro do padrão	1-22cm	$\ln(BA) = -2,124 + 2,431 * \ln(DAP)$	49	0,987	17,5 %	α	P<0,0001	0,075	
								β	P<0,0001	0,040
	dentro e fora do padrão	1-9cm	$\ln(BA) = -2,062 + 2,412 * \ln(DAP)$	40	0,959	19,2 %	α	P<0,0001	0,105	
								β	P<0,0001	0,081
<i>Vismia guianensis</i>	dentro padrão	1- 5cm	$\ln(BA) = -1,6485 + 2,080 * \ln(DAP)$	150	0,908	21,7 %	α	P<0,0001	0,051	
								β	P<0,0001	0,054

	dentro padrão	5-15cm	$\ln(BA) = -2,029 + 2,327 * \ln(DAP)$	43	0,974	7,4 %	α P<0,0001	0,127
							β P<0,0001	0,059
	dentro padrão	1-15cm	$\ln(BA) = -1,706 + 2,160 * \ln(DAP)$	193	0,960	18,8 %	α P<0,0001	0,036
							β P<0,0001	0,028
<i>Vismia japurensis</i>	dentro do padrão	1-5cm	$\ln(BA) = -1,689 + 2,239 * \ln(DAP)$	21	0,954	19,0 %	α P<0,0001	0,113
							β P<0,0001	0,113
	dentro e fora do padrão	1-15cm	$\ln(BA) = -1,641 + 2,126 * \ln(DAP)$	81	0,986	19,4 %	α P<0,0001	0,052
							β P<0,0001	0,029

Tabela 2 - Modelos de regressão multiespecíficos para estimativa da biomassa aérea por planta (BA- kg) de indivíduos da vegetação secundária tendo como variáveis independentes DAP (cm) e H (m) para um conjunto de espécies arbustivas (com exclusão de mandioca), para um conjunto de espécies arbóreas (com exclusão do gênero *Cecropia*, palmeiras, cipós e bambus e bananeiras-do-mato) e para os indivíduos mortos e que permanecem em pé. Os modelos foram desenvolvidos através de dados de biomassa mensurados com metodologia direta destrutiva de 24 parcelas de capoeiras com idade entre um e 15 anos e com históricos de uso de pastagem e agricultura. O erro médio de estimativa (valores absolutos) é referente à diferença percentual entre a biomassa observada por planta e a estimada pelo modelo.

Conjunto de espécies	Padrão fitossanitário e arquitetural	Amplitude de DAP	Equação de Regressão	N	r ²	Erro médio de estimativa	Nível significância de t por coeficiente	Erro padrão
Arbóreas (sem <i>Cecropia</i>)	dentro e fora do padrão	1-23cm	$\ln(BA) = -1,878 + 2,2154 * \ln(DAP)$	1370	0,943	25,4 %	α P<0,0001	0,013
							β P<0,0001	0,016
	dentro do padrão	1-23cm	$\ln(BA) = -1,869 + 2,231 * \ln(DAP)$	1128	0,963	20,3 %	α P<0,0001	0,016
							β P<0,0001	0,013
Arbustivas	dentro e fora do padrão	1-4cm	$BA = -0,253 + 0,3611 * DAP$	74	0,703	40,3 %	α P<0,0001	0,048
							β P<0,0001	0,009
Plantas mortas em pé		1-5cm	$\ln(BA) = -2,172 + 1,803 * \ln(DAP)$	40	0,623	33,1 %	α P<0,0001	0,185
							β P<0,0001	0,227

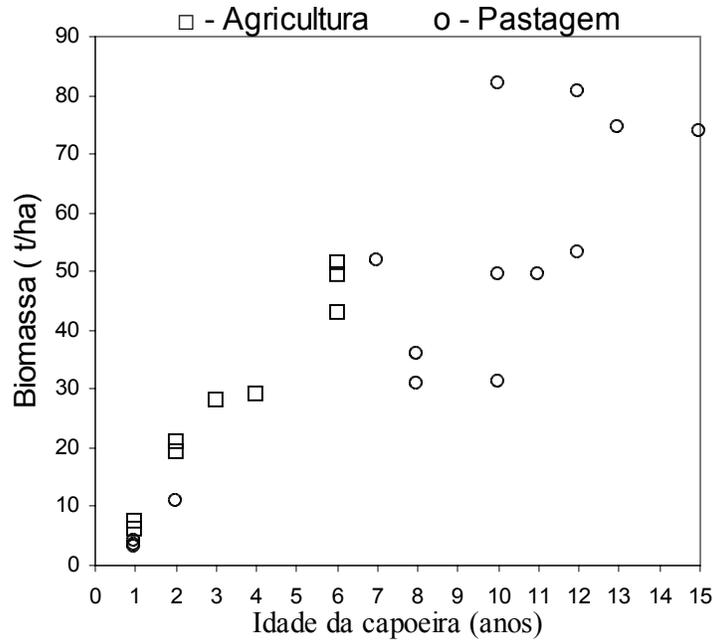


Figura 3 – Relação entre a biomassa aérea (t/ha) e a idade de abandono de 24 capoeiras com histórico de uso de agricultura itinerante (N= 9) e pastagem (n= 15).

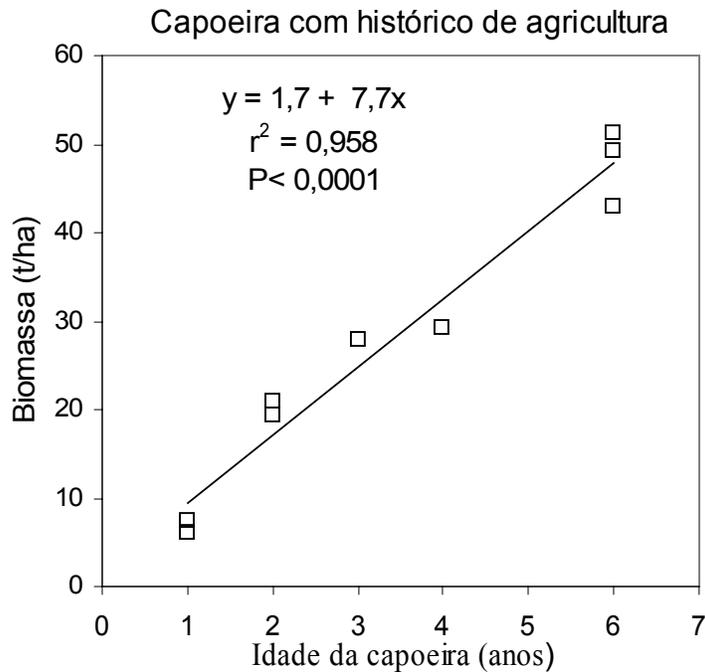


Figura 4 – Relação entre a biomassa aérea (t/ha) e a idade de abandono de nove capoeiras com histórico de uso de agricultura itinerante. O modelo que melhor se ajusta a esta relação é $\ln(\text{biomassa}) = 2,051 + 1,042 * \ln(\text{idade})$; $r^2 = 0,959$.



Figura 5 – Relação entre a biomassa aérea (t/ha) e um índice relacionado ao histórico de uso da terra (idade de abandono / tempo de uso) de 15 capoeiras que desenvolveram em área de pastagens abandonadas.

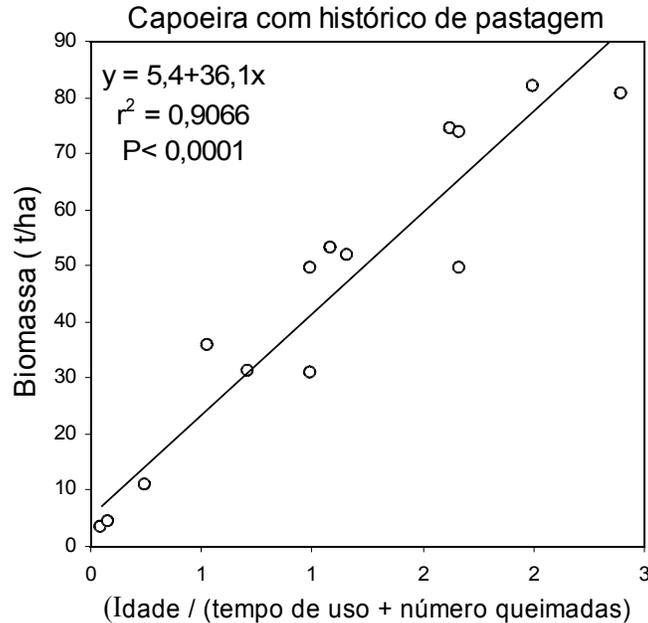


Figura 6 – Relação entre a biomassa aérea (t/ha) e um índice relacionado ao histórico de uso da terra (idade de abandono / (tempo de uso + número de queimadas)) de 15 vegetações secundárias originadas em área de pastagens abandonadas. A equação que melhor se ajusta a esta relação é $\ln(\text{Biomassa}) = 3,8 + 0,9 * \ln(\text{idade} / \text{tempo de uso} + \text{número de queimadas})$; $r^2 = 0,975$.

Tabela 3 - Modelos de regressão para estimativa indireta da biomassa aérea total (Bt - t/ha) das plantas com DAP \geq 1 cm em parcelas de vegetação secundária tendo como variáveis independentes a idade de abandono da capoeira (anos), o tempo total de uso da terra como atividade agropecuária (anos) e o número de vezes que a vegetação da área foi queimada.

Histórico de uso da capoeira	Variável independente relacionada ao histórico de uso da terra	Equação de Regressão para biomassa aérea total (t/ha)	N	r ²	Erro médio de estimativa	Nível de significância
Agricultura	idade	$\ln(Bt) = 2,051 + 1,042 * \ln(\text{idade})$	9	0,959	13,5 %	P<0,0001
Agricultura	idade / tempo de uso	$Bt = 11,294 + 6,6222 * \text{idade} / \text{tempo de uso}$	9	0,752	50,4 %	P<0,051
Pastagem	idade	$Bt = -0,9785 + 5,3521 * \text{idade}$	15	0,797	36,1 %	P<0,048
Pastagem	idade / tempo de uso	$Bt = 27,826 * (\text{idade} / \text{tempo de uso})^{0,9499}$	15	0,958	19,9 %	P<0,0001
Pastagem	idade / (tempo de uso + número de queimadas)	$\ln(Bt) = 3,752 + 0,872 * \ln(\text{idade} / \text{tempo} + N \text{ queimadas})$	15	0,975	14,9 %	P<0,0001

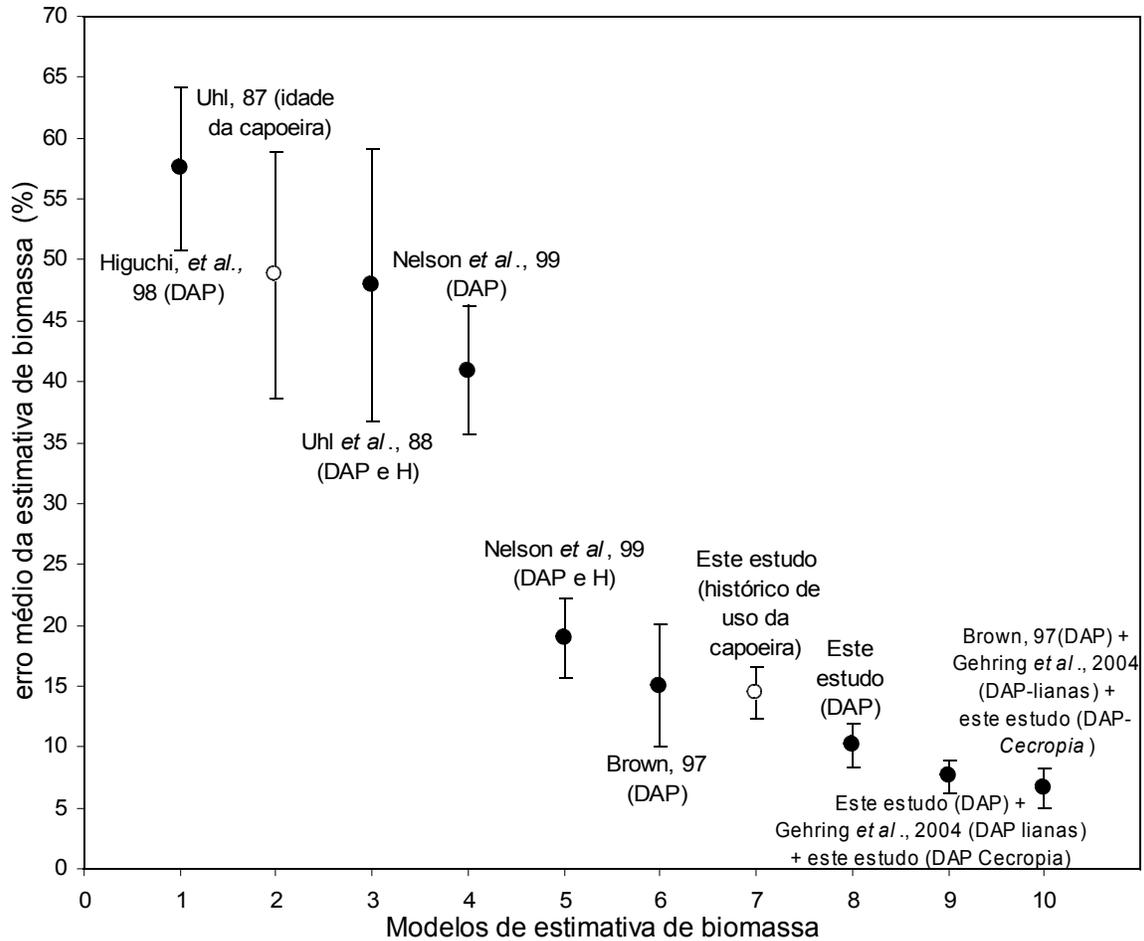


Figura 7- Erro médio percentual (valor absoluto) de estimativa da biomassa total (t/ha) dos 10 modelos descritos da Tabela 4 (em relação à mensurada neste trabalho através de metodologia direta destrutivas de 24 vegetações secundárias de 1 a 15 anos de idade). Modelos de estimativa de biomassa de árvores derivados de regressões alométricas multiespecíficas com DAP e/ou altura como variável independente e cujo somatório foi extrapolado para t/ha (●); modelo de regressões entre biomassa (t/ha) e histórico de uso da terra como variável independente (○); barra representa o erro padrão; entre parênteses estão as variáveis independentes usadas no modelo por cada autor; detalhes na Tabela 4.

Tabela 4 - Adequação de modelos selecionados de estimativa de biomassa total (t/ha) da literatura e deste trabalho para a vegetação secundária de 24 capoeiras da Amazônia Central e respectivos erros médios de estimativa. BA – Biomassa aérea por planta (kg); Bt - Biomassa total da área (t/ha); às estimativas de biomassa dos modelos 1; 3-6; e 8-10 foram adicionados os pesos secos obtidos destrutivamente das palmeiras acaule, bambus e bananeiras-do-mato; os erros médios de estimativa são relativos a biomassa total (t/ha) derivada do somatório do peso de todos os indivíduos com DAP ≥ 1 cm e da extrapolação da área para um hectare; os erros médios de estimativa obtidos pelos modelos alométricos deste estudo por planta estão contido na tabelas 1 e 2.

Modelos	Histórico de uso da terra	Variável independente	Equação de Regressão para biomassa aérea	Fonte	N	r ²	Nível significância	Erro médio de estimativa (valor absoluto)
1	Floresta primária, Amazonas	DAP (5 - 19,9 cm) DAP (>20 cm)	$\ln(\text{BA fresca}) = 2,665 * \ln(\text{DAP}) - 1,754$ ou $\ln(\text{BA fresca}) = 2,17 * \ln(\text{DAP}) - 0,151$	Higuchi, <i>et al.</i> , 1998	341			57,5 % superestima
2	Capoeira de pastagem, Pará	Idade da capoeira	$Bt = 1,64 + 6,95 * (\text{idade da capoeira})$	Uhl, 1987 <i>modificado</i>				48,7 % superestima
3	Capoeira de pastagem, Pará	DAP (cm) H (cm)	$\ln(\text{BA madeira}) = 1,02 * \ln(\text{DAP}) + 0,39 * \ln(\text{H}) - 2,17$ $\ln(\text{BA folhas}) = 1,43 * \ln(\text{DAP}) + 2,10 * \ln(\text{H}) - 0,66$	Uhl <i>et al.</i> , 1988	30			48 % Superestima
4	Capoeira de Seringueira, Amazonas	DAP (1,2 – 28,6 cm)	$\ln(\text{BA}) = -1,9968 + 2,4128 * \ln(\text{DAP})$	Nelson <i>et al.</i> , 1999	132	0,984	P < 0,0001	40,9 % superestima
5	Capoeira de Seringueira, Amazonas	DAP (1,2 – 28,6 cm) e H (m)	$\ln(\text{BA}) = -2,5202 + 2,14 * \ln(\text{DAP}) + 0,4644 * \ln(\text{H})$	Nelson <i>et al.</i> , 1999	132	0,986	P < 0,0001	18,9 % superestima
6	Floresta da Índia com 1.500 mm de chuva	DAP (5-40 cm)	$\ln(\text{BA}) = -1,996 + 2,32 * \ln(\text{DAP})$	Brown, 1997	28	0,89		15 % superestima

7	Capoeira Agricultura e Pastagem Amazonas	Pastagem – idade (1-15 anos) / (tempo de uso + N. de queimadas)	$\ln(Bt)=3,752+0,872 * \ln(idade/tempo+ N$ $queimadas)$	Este estudo	15	0,975	P< 0,0001	14,9 % superestima 13,5 % Superestima
		Agricultura – idade (1-6 anos)	$\ln(Bt)=2,051+1,042 * \ln(idade)$		9	0,959	P< 0,0001	
8	Capoeira de Agricultura e Pastagem, Amazonas	DAP (1-23 cm)	$\ln(BA)= -1.869+$ $2.231*\ln(DAP)$	Este estudo	1128	0,963	P< 0,0001	10,2 % subestima
9	Capoeira de Agricultura e Pastagem, Amazonas	DAP (1-23 cm) para arbóreas	$\ln(BA)= -1.869+$ $2.231*\ln(DAP)$	Este estudo	1128	0,963	P< 0,0001	7,6 % Subestima
		DAP (1-4 cm) para arbustivas	$BA= - 0,253+ 0,3611* DAP$	Este estudo	74	0,703	P< 0,0001	
		DAP (1-7 cm) p/ <i>Cecropia ulei</i>	$\ln(BA)= -4.173 + 1.477* \ln(DAP)$	Este estudo	138	0,944	P< 0,0001	
		Dt # (1 – 13,8 cm) para lianas	$\ln(BA)= -7,114 + 2,276 * \ln(Dt)$	Gehring <i>et al.</i> , 2004#	561	0,73	P< 0,05	
10	Floresta da Índia com 1.200 mm de chuva	DAP (5-40 cm)	$\ln(BA)= -1,996+$ $2,32*\ln(DAP)$	Brown, 1997	28	0,89		6,6 % superestima
		DAP (1-4 cm) para arbustivas	$BA= - 0,253+ 0,3611* DAP$	Este estudo	74	0,703	P< 0,0001	
		DAP (1-7 cm) p/ <i>Cecropia ulei</i>	$\ln(BA)= -4.173 + 1.477* \ln(DAP)$	Este estudo	138	0,944	P< 0,0001	
		Dt # (1 – 13,8 cm) para lianas	$\ln(BA)= -7,114 + 2,276 * \ln(Dt)$	Gehring <i>et al.</i> , 2004#	561	0,73	P< 0,05	

Dt= Diâmetro à 30 cm= 1,235 * DAP + 0,002 *DAP²; desenvolvido para floresta primária e vegetação secundária da Amazônia Central (Gehring *et al.*, 2004).

CAPÍTULO 2²

Dinâmica do estoque de biomassa e da taxa de crescimento de vegetações secundárias em parcelas permanentes de pastagens degradadas com diferentes intensidades de uso na Amazônia Central.

Elisa Vieira Wandelli

RESUMO

O entendimento dos fatores que determinam os processos sucessionais na Amazônia foi originado em sua maioria de estudos baseados em cronossequências sucessionais mensuradas em uma única escala temporal, o que dificulta avaliar a influência da intensidade de uso da terra sobre o acúmulo de biomassa vegetal. O objetivo deste trabalho é avaliar a influência da intensidade de uso da terra sobre a dinâmica do estoque e do incremento anual de biomassa aérea total (viva + morta) de vegetações secundárias originadas de áreas de pastagens degradadas na Amazônia Central, com três diferentes históricos de uso. A biomassa foi monitorada por inventários contínuos em parcelas permanentes ao longo de 12 anos (1995-2007), sendo os 7^o-19^o, 8^o-20^o, 9^o-21^o anos de idades das capoeiras com 4, 5 e 8 anos de pastejo, respectivamente. Foram monitorados anualmente o diâmetro à altura do peito (DAP), a altura total, a mortalidade, o recrutamento e aspectos fitossanitários de todos os indivíduos com DAP \geq 1 cm de três

² Conforme normas da ACTA AMAZONICA.

áreas de vegetação secundárias com idades e tempo de uso agropecuário diferentes. Em cada uma das três vegetações secundárias os dados biométricos dos indivíduos medidos anualmente em cinco parcelas de 50 m² foram aplicados a um conjunto de equações alométricas monoespecíficas e multiespecíficas para estimar a biomassa ao longo dos 12 anos do estudo. O tempo de uso prévio da terra como pastagem foi mais determinante do que a idade da capoeira na determinação da biomassa acumulada durante as duas primeiras décadas de sucessão. A taxa de acúmulo de biomassa não é linear, sendo que nos anos mais secos há estagnação e até perda de biomassa nas parcelas de vegetação secundária. Avaliou-se a implicação desta variabilidade para estimar o seqüestro de carbono e para o pagamento de serviços ambientais.

PALAVRAS-CHAVE

Vegetação secundária, biomassa, pastagem degradada, Amazônia.

ABSTRACT

Dynamics of biomass stock and growth rates in second-growth forests in permanent plots in degraded pastures with different intensities of use in central Amazonia, Brazil.

The understanding of the factors determining plant succession in Amazonia come from successional chrono-sequences obtained at sites of different ages but with varying climate, soil, topography and land use, making it difficult to understand the role played by land use alone on the structural and floristic development and on aboveground total (live + dead) biomass accumulation in second-growth forests (*capoeiras*). We investigated whether carbon stock and the dynamics of biomass accumulation in *capoeiras* growing in degraded pastures are more influenced by differences in the intensity of land use or by age of abandonment and if there was a predictable rate of biomass increase over the years. We monitored and measured annually tree diameter, height, mortality rate, new recruitment and health status of all individuals with DBH > 1 cm in three capoeira sites over 12 years (1995-2007), these being years 7-19, 8-20 and 9-21 in the capoeiras with 4, 5 and 8 years of previous use as pasture, respectively. We examined the question of whether the time of use as pasture has a more decisive influence than the age of the capoeira on the successional process of biomass accumulation, and the adequacy of estimates that assume a constant annual rate of biomass accumulation. Annual monitoring was done of diameter at breast height (DBH), total height, mortality, new recruitment and the health status of all

individuals with DBH > 1 cm in three secondary vegetation stands over 12 years (1995-2007), these being years 7-19, 8-20 and 9-21 in the capoeiras with 4, 5 and 8 years of previous use as pasture, respectively.. The time that the area was used as pasture was more decisive than the age of the capoeira in determining the biomass accumulated during the first two decades of succession. The rate of biomass accumulation is neither linear nor continuous, and in the driest years there is stagnation and even biomass loss in the secondary-vegetation plots. We evaluated the implications of this variability for estimates of carbon sequestration and for payment for environmental services.

KEY WORDS

Secondary vegetation, degraded pasture, biomass, Amazon.

INTRODUÇÃO

Nas últimas três décadas, a Amazônia passa por um processo acelerado de desmatamento (INPE, 2004) que levou à perda de aproximadamente 20 % da cobertura florestal original. Entre as complexas causas de ordem nacional, regional e local do desmatamento, a criação de gado e o plantio de soja, são as causas predominante (Fearnside, 2005), sendo que propriedades com mais de 100 ha são responsáveis por cerca de 75 % do desmatamento (Nepstad *et al.* 1999). No entanto, com o declínio da produtividade devido principalmente ao manejo inadequado, como pisoteio excessivo, queimadas sucessivas e sobrepastejo, o que ocasiona a compactação e a diminuição da fertilidade do solo, e devido ao domínio de plantas invasoras e às mudanças das políticas econômicas de estímulo à agropecuária, as pastagens com diferentes níveis de degradação passam a ser abandonadas à regeneração natural (Serrão e Toledo, 1990; Hecht, 1993; Dias-Filho, 2005). O abandono de pastagens provoca a necessidade de novos desmatamentos de florestas primárias e dá origem a extensas áreas de vegetação secundária na paisagem rural da Amazônia (Brown e Lugo, 1990; Fearnside, 1996; Perz e Skole, 2003; Neeff *et al.*, 2006), que podem perfazer de 38 % (Lucas *et al.*, 2000) até 48 % do total da área desmatada (Fearnside, 1996).

O papel da vegetação secundária no seqüestro de carbono tem sido salientado em diversos estudos de regiões tropicais (Uhl *et al.*, 1988; Brown e Lugo, 1992; Nepstad *et al.*, 1992; Vieira *et al.*, 1993; Overman *et al.*, 1994; Fearnside, 1996; Fearnside e Guimarães, 1996; Alves, *et al.*, 1997;

Saldarriaga *et al.*, 1998; Silver *et al.*, 2000; Johnson *et al.*, 2001). Entretanto, a magnitude da regeneração natural na compensação das emissões resultantes do desmatamento tem sido superestimada, pois é negligenciado o fato de que estas áreas são geralmente queimadas subsequentemente (Denich, 1991; Fearnside e Guimarães, 1996) e que sua capacidade regenerativa pode ser comprometida pelo histórico de uso prévio da terra. A criação de gado é o sistema agrícola de uso da terra de maior impacto no potencial regenerativo da sucessão natural na Amazônia devido às degradações físico-química e biológica que acarreta no solo (Nepstad *et al.*, 1991; Aide, 1994; Fearnside e Guimarães, 1996; Moreira, 2003).

O conhecimento dos fatores que determinam os processos de regeneração natural de áreas antropizadas foi originado, em sua maioria, de estudos baseados em cronossequências sucessionais constituídas por uma série de capoeiras de diferentes idades e históricos de uso da terra mensuradas em uma única escala temporal (Pickett, 1989; Araújo *et al.*, 2005), o que dificulta avaliar a influência da intensidade de uso da terra sobre o acúmulo de biomassa vegetal. Há poucos estudos de regeneração natural baseados em inventário contínuo de parcelas permanentes e a influência da intensidade de uso da terra sobre o acúmulo de biomassa na Amazônia foi avaliada baseada em cronossequências por Uhl (1987); Buschbacher *et al.* (1988); Uhl *et al.* (1988); Fearnside e Guimarães (1996); Tucker *et al.* (1998); Moran *et al.* (2000); Steininger (2000); Moreira (2003).

O objetivo deste trabalho é avaliar a influência da intensidade de uso da terra sobre a dinâmica do estoque e do incremento anual de biomassa de

vegetações secundárias em áreas de pastagens abandonadas na Amazônia Central com três diferentes históricos de uso. Para isto foi monitorada a biomassa por meio de inventários contínuos em parcelas permanentes ao longo de 12 anos (1995-2007), sendo os 7º-19º, 8º-20º, 9º-21º anos de idades das capoeiras com 4, 5 e 8 anos de pastejo, respectivamente. Questionamos se a influência do tempo de uso é mais determinante do que a idade da capoeira no processo sucessional de acúmulo de biomassa e a adequação das estimativas de taxa anual de acúmulo de biomassa de uma capoeira como sendo constante.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

Este estudo foi realizado na Estação Experimental do Distrito Agropecuário da Suframa, da Embrapa Amazônia Ocidental, localizada ao Norte de Manaus, no Km 54 da Rodovia Manaus/Boa Vista (BR 174), Amazonas - Brasil (2º31' - 2º32' S e 60º01' - 60º02' W). O solo predominantemente é Latossolo Amarelo álico, muito argiloso (Oxisol) (IPEAAOc, 1971), da formação Alter do Chão, e as capoeiras avaliadas situam-se em área de platô. Em 1976 a floresta original foi derrubada manualmente e queimada e a partir de 1977, 300 ha de pastagens com quicuío (*Braquiaria humidicola* (Rendle) Sch) foram implantados em piquetes submetidos, em média, a cinco anos de pastejo. A partir de 1986, com o declínio da produção da pastagem e

o aumento das doenças dos animais, o gado foi sendo retirado e os piquetes cercados com arame farpado de pastagens, com diferentes históricos de uso, idades e graus de degradação do solo foram abandonados ao processo de regeneração natural.

Delineamento experimental

Três vegetações secundárias (capoeira I, II e III) originadas de pastagens com tempos de uso e tempos de abandono diferentes foram avaliadas anualmente na estação seca durante 13 anos (de 1995 à 2007) através da amostragem de todos os indivíduos com DAP ≥ 1 cm em cinco parcelas de 50m² (5 x 10 m) em cada uma das capoeiras. Na capoeira I (4 anos de uso), a pastagem foi implantada em 1984, e após quatro anos de pastejo foi abandonada ao processo de regeneração natural. Na capoeira II (5 anos de uso), a pastagem foi estabelecida em 1982, usada por cinco anos e abandonada em 1987. Na capoeira III (8 anos de uso), a pastagem foi estabelecida em 1978 e após oito anos de pastejo foi abandonada (McKerrow, 1992). Estas parcelas fazem parte do projeto "Recuperação de áreas de pastagens degradadas e/ou abandonadas através de sistemas agroflorestais na Amazônia Ocidental", desenvolvido pela Embrapa Amazônia Ocidental em conjunto com a Universidade Estadual da Carolina do Norte (NCSU), Fundação Rockefeller, PPG-7/FINEP e LBA.

A número de amostras mínimo a fim de contemplar a diversidade florística foi determinado no primeiro ano do estudo por meio da curva espécie/área que

avalia a amostragem mínima a ser realizada em uma comunidade vegetal (Crawley, 1986; Jardim e Hosokawa, 1986). Para este estudo o número de parcelas de 50 m² estabelecido pelo método foi de cinco, pois neste ponto da curva o aumento do número de espécies por unidade amostral passa a ser menor que 10 % do número total de espécies (Cain *et al.*, 1956), entretanto a curva ainda não atingiu a assíntota (Figura 1).

Parâmetros biométricos

No período de 1995 a 2007 foram inventariados nas parcelas permanentes de vegetação secundária todos os indivíduos com DAP ≥ 1 cm que foram etiquetados e classificados botanicamente. Anualmente registram-se as seguintes variáveis: DAP no sentido leste/oeste, com paquímetros (DAP < 8 cm) ou sutas (DAP > 8 cm); altura total de cada indivíduo, com vara dendrométrica e erro de 5 %; o recrutamento; a mortalidade; e aspectos fitossanitários. Todas as seções dos caules a 130 cm de altura do solo são demarcadas com tinta para facilitar as remedições anuais dos diâmetros no mesmo ponto. Indivíduos cujos troncos ramificam abaixo de 130 cm de altura têm todos os diâmetros de suas ramificações medidos.

Estimativa de biomassa

O estoque de biomassa das espécies arbóreas foi estimado para cada ano do estudo com base nas equações alométricas monoespecíficas e multiespecíficas desenvolvidas nesta tese e apresentadas na Tabelas 1 e 2

do Capítulo 1. A escolha das equações alométricas para estimar a biomassa aérea foi realizada privilegiando-se aquelas que continham os menores desvios médios entre a biomassa observada e a estimada, os mais significativos níveis de significância do valor - t das variáveis independentes e a menor dispersão dos valores da variável dependente (biomassa aérea) sobre a linha de regressão. A biomassa aérea das cinco espécies lenhosas mais comuns da área de estudo (*Vismia japurensis* Reich., *V. cayennensis* (Jacq.) Pers., *V. guianensis* L - Clusiaceae; *Laetia procera* (Poepp) Eichl. - Flacourtiaceae; *Bellucia dichotoma* - Melastomataceae), que correspondem a aproximadamente 80 % dos indivíduos da vegetação secundária nos primeiros anos do estudo, foi estimada com as equações alométricas monoespecíficas da Tabela 1 do Capítulo 1 desta tese. A biomassa das demais espécies lenhosas, das arbustivas e das plantas mortas em pé foi estimada pelos modelos multiespecíficos desenvolvidos neste estudo (Tabela 2 do Capítulo 1). O cálculo da biomassa aérea das lianas foi feito com a equação alométrica multiespecífica desenvolvida por Gehring *et al.* (2004) baseada na variável diâmetro a altura de 30 cm do solo. Como o diâmetro das lianas nesse estudo foi medido na altura do peito (DAP), para estimar o DAP a 30 cm foi utilizada a equação de Gehring *et al.* (2004): diâmetro (30 cm) = $1,235 * DAP + 0,002 * DAP^2$ ($r^2 = 0,945$; $N = 3144$). Para cálculo da biomassa cada uma das ramificações de tronco abaixo de 130 cm de altura foi considerada como um indivíduo.

As amostras botânicas foram identificadas taxonomicamente, primeiramente segundo Ribeiro *et al.* (1999), e posteriormente por comparação com

exsicatas do herbário do INPA. Os nomes botânicos deste estudo estão registrados conforme constam no *site* do Missouri Botanical Garden (<http://mobot.mobot.org/W3T/Search/vast.html>). As amostras não identificadas taxonomicamente receberam códigos de morfotipo. As exsicatas estão armazenadas na Embrapa Amazônia Ocidental e, como as fotografias dos espécimes frescos, estão disponíveis para consulta.

RESULTADOS

Estoques de biomassa da vegetação secundária ao longo de 12 anos

Ao longo da seqüência temporal de 1995 a 2007 foram avaliadas anualmente em torno de 1.410 plantas com DAP \geq 1 cm pertencentes a 123 espécies em três capoeiras entre as idades de sete a 21 anos e com intensidade de uso como pastagem de quatro, cinco e oito anos. A estimativa de biomassa aérea média das vegetações secundárias de pastagens ao longo desta seqüência temporal foi determinada tanto pela idade da capoeira quanto pelo tempo de uso prévio da terra (Figura 2). A biomassa acumulada ao longo dos 12 anos foi inversamente proporcional ao tempo em que a área foi submetida ao pastejo, sendo que, a capoeira com histórico de uso de quatro anos teve, no mínimo, estoques de biomassa em média 30 % e 45 % maiores do que as daquelas com histórico de cinco e oito anos de pastejo, respectivamente. O estoque de biomassa aérea na capoeira com quatro anos de uso no início do estudo, aos sete anos de idade, foi de 62,5 t/ha e após 12 anos, com 19

anos, apresentava biomassa de 134 t/ha (incremento de 114 % em relação a biomassa do primeiro ano avaliado). As áreas de capoeira com histórico de uso de cinco anos de pastejo, no 8º ano de abandono acumulavam em média 32,7 t/ha de biomassa aérea, passando no 20º ano a ter um estoque de 90 t/ha (incremento de 175 %). A vegetação secundária submetida ao mais longo pastejo, oito anos, em 1995, com nove anos, acumulava apenas 16,9 t/ha de biomassa aérea, em 2007, aos 21 anos, passou a acumular 71,5 t/ha, e apesar de continuar tendo o menor estoque de biomassa, foi a capoeira que teve a maior percentagem de incremento em relação a biomassa do primeiro ano avaliado (322 %) ao longo dos 12 anos de estudo (Figura 2 e Tabela 1). A biomassa da regeneração natural destas capoeiras originadas de pastagens foi determinada mais fortemente pelo histórico de uso prévio da terra ($F = 30,138$; $P < 0.0001$) do que pela idade ($F = 2,044$; $P = 0.017$).

Nas estimativas destrutivas de biomassa realizadas em amostragem da mesma vegetação deste estudo entre o 3º e 5º ano de abandono por McKerrow (1992) já havia diferenças entre os estoques de biomassa aérea das três capoeiras de diferentes históricos de uso (Figura 2), indicando que o potencial regenerativo existente nos primeiros anos determina a posterior velocidade de acúmulo da biomassa das florestas secundárias.

Variações anuais do incremento de biomassa

Aos 19 anos de idade a taxa média de acúmulo de biomassa aérea da vegetação secundária submetida a quatro anos de pastejo foi de 7,1 t/ha/ano,

aos 20 anos a capoeira da área submetida a cinco anos de pastejo teve taxa de acúmulo de 4,5 t/ha/ano e a capoeira com oito anos de pastejo, aos 21 anos de abandono acumulou de 3,4 t/ha/ano de biomassa (Tabela 2). Estas taxas de acúmulo de biomassa assumem-se serem lineares ao longo da sucessão. No entanto, há variabilidade anual das taxas de acúmulo ao longo do processo sucessional e o incremento anual de biomassa das capoeiras não é linear, sendo que há incremento nulo e até perda anual de biomassa durante o processo sucessional (Figura 3).

As variações de incrementos anuais de biomassa de 1995 a 2007 de cada uma das 15 parcelas avaliadas (Figura 3) não foram explicadas pela amplitude da pluviosidade acumulada nos 12 meses que antecederam as mensurações biométricas de cada ano (capoeira com quatro anos de pastejo: $r^2 = 0,0937$; capoeira com cinco anos de pastejo: $r^2 = 0,0009$; capoeira com oito anos de uso: $r^2 = 0,2116$). Entretanto, seis dos sete anos que durante os 12 anos de estudo tiveram baixa pluviosidade devido a influência do *El Niño* (estabelecido pela temperatura superficial do oceano pacífico, NOAA, 2008) e ou que tiveram quatro meses com pluviosidades inferiores a 100 mm (anos 1998, 2003, 2004, 2005, 2006 e 2007; Figura 4B), foram relacionados com as maiores perdas de biomassa devido a redução do incremento e de novos recrutamentos e ao aumento da mortalidade (Figura 4A).

Riqueza florística das capoeiras originadas de áreas de pastagens

O tempo de uso prévio das áreas de capoeiras como pastagem também

influenciou a riqueza das espécies da regeneração natural ($DAP \geq 1$ cm) ao longo dos 12 anos de estudo que foi maior quanto menor o tempo de pastejo da área (Figura 5). Do 7º ano ao 19º ano a capoeira com 4 anos de pastejo foi constituída por até 59 espécies, sendo que em 1995, com sete anos de abandono, tinha 21 espécies e no 19º ano 57 espécies foram observadas. A capoeira com histórico de uso de cinco anos de pastejo teve ao longo dos 12 anos de monitoramento até 61 espécies, sendo que no 8º ano de abandono apresentava 22 espécies e no 20º ano 49 espécies. A capoeira que foi pastejada por oito anos ao longo dos 12 anos de estudo foi constituída por apenas 38 espécies, sendo que no 9º ano tinha 13 espécies e no 21º ano 29 espécies foram observadas. Um aumento considerável, em torno de 50 % do número de espécies em relação ao observado no início do estudo, ocorreu no 11º ano na capoeira com quatro anos de pastejo, e apenas no 13º e 14º anos nas capoeiras de cinco e oito anos de pastejo, respectivamente (Figura 5).

Dinâmica da composição florística e biomassa

Ao longo do processo sucessional monitorado entre o 7º e 21º ano à medida que o número de indivíduos das 5 espécies dominantes diminui, há um aumento do número de indivíduos de outras espécies (Figura 6), aumentando a diversidade (Figura 5). O gênero *Vismia* representa 80 % do número de indivíduos das capoeiras de pastagem entre o 7º e o 10º ano de idade, e esta proporção diminuiu ao longo do inventário contínuo, mas este grupo permanece entre as cinco espécies dominantes, mesmo que em menores proporções, até pelo menos o 21º ano (Figura 6 e Tabela 2). Além de *Vismia*

japurensis, *V. cayennensis* e *V. guianensis*, outras cinco espécies são dominantes nas capoeiras de pastagem ao longo de toda a seqüência temporal avaliada. *Croton spruceanus* e *Casearia sp.* são conjuntamente com as três espécies de *Vismia* as mais abundantes da capoeira submetida a quatro anos de pastejo. *V. japurensis*, *V. cayennensis*, *Senna quinquangulata* (cipó escandente), *Lantana camara* (arbustiva) e *Laetia procera* (arbórea) são as espécies com maior número na capoeira de cinco anos de pastejo. Na capoeira usada por mais tempo como pastagem, oito anos, além das três espécies de *Vismia*, as pioneiras iniciais *Laetia procera* e *Senna quinquangulata* estão entre as cinco espécies mais comuns.

A alta proporção (80 %) de indivíduos do gênero *Vismia* até o 8º ano da capoeira submetida a quatro anos de pastejo (Figura 6A) pode ter inibido outras espécies a aumentarem o incremento de biomassa anual, sendo que a maior parte do estoque de biomassa de 134 t/ha observado no 19º ano foi acumulada até o 9º ano e é constituída principalmente pela biomassa do gênero *Vismia* que permanece quase inalterada a partir desta idade (Figura 7A).

A biomassa das capoeiras de pastagens ao longo da dinâmica sucessional foi formada principalmente pelas três espécies do gênero *Vismia* (Figura 6), que são também as que apresentam maiores números de indivíduos (Figura 7 e Tabela 1). No entanto o número de indivíduos do gênero *Vismia* está diminuindo gradativamente ao longo do processo sucessional (Figura 6), enquanto que a biomassa da vegetação secundária constituída pelas

espécies deste gênero permanece equivalente ao longo dos 12 anos de estudo (Figura 7). A biomassa das capoeiras até em torno de 20 anos de idade também foi substancialmente formada por árvores de maiores diâmetros e que não configuraram entre as cinco espécies mais comuns como, *Belucia dichotoma* e *Laetia procera*.

DISCUSSÃO

A intensidade de uso prévio da terra influenciou os estoques de biomassa e a riqueza de espécies das capoeiras desenvolvidas em áreas de pastagens abandonadas (Tabela 1) de maneira mais determinante do que a idade de abandono à regeneração natural. Ao longo da seqüência temporal de 13 anos, os estoques de biomassa da capoeira submetida a quatro anos de pastejo atingiram pelo menos o dobro dos estoques da vegetação secundária com 8 anos de uso. O efeito da intensidade do uso da terra sobre o acúmulo de biomassa aérea de vegetações secundárias também foi observado por Uhl (1987); Buschbacher *et al.* (1988); Uhl *et al.* (1988); Fearnside e Guimarães (1996); Finegan (1996); Moran *et al.* (2000) e Steininger (2000). Uhl *et al.* (1988) observaram que capoeiras desenvolvidas em pastagens com intensidade de uso mais leve acumularam 40 % mais de biomassa do que capoeiras de pastagem de mesma idade, com histórico de uso mais intensivo. As maiores diferenças de estoque de biomassa entre as capoeiras com quatro e cinco anos de pastejo do que entre as de cinco e oito anos de pastejo podem indicar que o uso convencional de pastagem além de quatro anos afeta criticamente a regeneração natural. Entretanto outros tratos

culturais das pastagens que não foram registrados com precisão e que foram considerados como constantes entre tratamentos pelos responsáveis pelo manejo agropecuário, como a carga animal e o número de queimadas, podem ter influenciado também as diferenças florísticas e do estoque de biomassa entre as capoeiras de diferentes tempo de uso.

O estoque de biomassa das vegetações secundárias originadas de pastagens abandonadas foram maiores quanto menor foi o tempo prévio de uso da terra, entretanto o incremento de biomassa durante os 12 anos do estudo foi maior quanto maior foi o tempo em que as capoeiras foram submetidas ao pastejo. O incremento de biomassa da capoeira com quatro anos de pastejo foi de 114 %, o incremento da capoeira com cinco anos de pastejo foi de 175 %, e a capoeira com oito anos de pastejo, que obteve a menor biomassa aérea, alcançou o maior incremento, 322 % em 12 anos. Isto está relacionado ao fato das capoeiras cujas áreas foram pastejadas por quatro e cinco anos terem estabilizado a biomassa do gênero *Vismia*, que é dominante, por volta do 9º ano, enquanto que na capoeira cuja área foi pastejada por 8 anos a biomassa constituída pelo gênero *Vismia* aumenta gradativamente até pelo menos o último ano de estudo. No entanto, apesar do aumento gradativo da biomassa do gênero *Vismia*, em torno do 20º ano a capoeira cuja área foi submetida a 8 anos de pastejo teve menos de 1/3 de sua biomassa constituída por este gênero, enquanto que na capoeira de 4 anos de pastejo este gênero ainda representava em torno de 80 % das biomassa aérea. Entretanto o número de indivíduos do gênero *Vismia*

diminuiu pelo menos em torno de 40 % nas três capoeiras ao longo do tempo de estudo.

As maiores proporções de incremento de biomassa das áreas com histórico de uso mais intensivo talvez também sejam relacionadas à plasticidade e adaptação das plantas da vegetação secundária para otimizar o uso dos recursos limitantes, mas há também um limite na eficiência do uso dos recursos e mesmo com a dinâmica florística, a partir deste ponto, a maior disponibilidade de recursos não influencia no desenvolvimento sucessional (Connell e Slayter, 1977; Bazzaz e Pickett, 1980; Swaine *et al.*, 1987; Bazzaz, 1997). Isto possivelmente possibilita que as capoeiras, inicialmente com valores de biomassa maiores, passam a ter gradativamente ao longo dos anos valores mais próximos a das capoeiras que possuíam menor biomassa. A velocidade dos processos sucessionais nos primeiros anos da regeneração e sua gradativa desaceleração nos anos subseqüentes foi também registrada por Budowski (1965), Zwetsloot (1981) e por Uhl e Jordan (1984). A taxa de acúmulo anual de biomassa diminui com o aumento da idade da vegetação secundária (Lucas *et al.*, 1996), mas como a capoeira submetida a 8 anos de pastejo teve seu potencial de regeneração mais afetado, a velocidade de crescimento da biomassa foi retardada nos primeiros anos. Atraso no início do restabelecimento de pastagens abandonadas foi observado também por Fearnside e Guimarães (2006). Quando as capoeiras de 4 e 5 anos de pastejo atingirem a assíntota da curva de acúmulo de biomassa, possivelmente a capoeira de oito anos estará no auge do crescimento da fase inicial de sucessão.

O menor número de indivíduos das capoeiras de cinco e oito anos de pastejo, em relação a que foi submetida a quatro anos de pastejo (Figura 6), também pode estar relacionado com suas maiores proporções de incremento de biomassa anual, que são condizentes com as de vegetação do início do processo de sucessão secundária.

Vegetações secundárias originadas de áreas de pastagens de terra firme da Amazônia Central são dominadas por *Vismia* e este gênero é associado a menor diversidade florística destas capoeiras em relação as dominadas pelo gênero *Cecropia*, devido a sua alta competitividade e ao sistema reprodutivo vegetativo através de raízes e troncos, o que inibem o estabelecimento de outras espécies (Williamson *et al.*, 1998; Mesquita *et al.*, 2001; Monaco *et al.*, 2003). Ao contrário, o gênero *Cecropia* quando é predominante em estágios iniciais de sucessão estimula o processo sucessional por fornecer microhabitat necessário para o desenvolvimento de outras espécies (Maury-Lechon, 1991). A menor dominância do gênero *Vismia* na capoeira pastejada por 8 anos propiciou que outras espécies constituíssem maior proporção da biomassa e do número de indivíduos com maior dominância, enquanto que a capoeira de 4 anos de uso tem as três espécies mais comuns constituídas pelo gênero *Vismia*.

As biomassas das capoeiras avaliadas neste estudo foram similares às obtidas por Fearnside e Guimarães (1996) estimadas pelo método direto em capoeiras de pastagens de oito e 10 anos em Paragominas e Altamira e por Johnson *et al.* (2001) para capoeiras de pastagens de 10 anos da região

Bragantina, todas no estado do Pará. Entretanto, os acúmulos de biomassa aérea das florestas secundárias avaliadas no presente trabalho foram cerca de 60 % menores daqueles obtidos por McCaffery (2003) e Feldpausch *et al.* (2004) para capoeiras de pastagens próximas à área de estudo. Ambos estudos estimaram os estoques de biomassa através das equações alométricas de Nelson *et al.* (1999), variando de 12,4 t/ha/ano em capoeira de nove e 11 t/ha/ano em capoeira de 12-14 anos. Estas diferenças possivelmente estão em grande parte relacionados à escolha das equações alométricas que foram aplicadas para a estimativa da biomassa.

A rápida colonização da área, a intensa atividade reprodutiva e uma acirrada competição pelos recursos, principalmente por radiação solar, faz com que a vegetação secundária seja caracterizada por uma grande quantidade de indivíduos e uma baixa quantidade de espécies (Gómez-Pompa e Vasquez-Yanes, 1976). Na dinâmica florística da sucessão secundária poucas espécies dominam nos primeiros anos, e quanto mais limitantes forem os recursos da área colonizada, que é principalmente determinado pela intensidade da intervenção, maior será o predomínio de poucas espécies (Saldarriaga *et al.*, 1988; Uhl *et al.*, 1988; Vieira, 1996; Peña-Claros, 2003). Nas capoeiras avaliadas, três espécies do gênero *Vismia*, além de *Bellucia dichotoma* e *Laetia procera* dominaram a biomassa ao longo de todo o processo sucessional, conforme foi também observado nas áreas de pastagens da mesma região por Mesquita *et al.* (2001); McCaffery (2003), e Feldpausch *et al.* (2004). O domínio do gênero *Vismia* nas capoeiras advindas de pastagem permanece até pelo menos as três primeiras décadas,

mas gradativamente é substituído por outras espécies. Em 1991 estas capoeiras de pastagens abandonadas com 3, 4 e 5 anos de idade eram constituídas por cerca de 95 % de indivíduos pertencentes a três espécies do gênero *Vismia* (McKerrow, 1992). Em 1995, com sete, oito e nove anos o gênero *Vismia* passou a constituir, respectivamente, em torno de 82 %, 69 % e 75 % do número de indivíduos. Resultado similar ao obtido por Monaco *et al.* (2003) para uma pastagem de uso moderado de 7 anos que foi constituída por cerca de 79 % pelo gênero *Vismia* e 20 espécies, enquanto neste estudo a capoeira de 7 anos com uso moderado como pastagem por 4 anos também possui 20 espécies. Em 2007 foi observado que em torno do 20º ano o gênero *Vismia* passa a constituir apenas 20-30 % do número de indivíduos das capoeiras. Nas duas primeiras décadas da regeneração natural de pastagens degradadas há uma diminuição gradativa do número de indivíduos do gênero *Vismia*, mas a contribuição do gênero à biomassa permanece constante, pois apesar de diminuir consideravelmente a taxa de recrutamento, permanecem os indivíduos com os maiores diâmetros. O crescimento vegetativo de espécies de *Vismia* por rebrotamento de raízes e troncos tem importante função na regeneração natural de florestas secundária na região (Denich, 1986; Vieira, 1996).

A biomassa aérea estocada na capoeira com quatro anos de uso foi duas e três vezes maior do que a das capoeiras com cinco e oito anos de uso, respectivamente. No entanto, após 13 anos de estudo o percentual de incremento de biomassa (% de incremento em relação a biomassa do primeiro ano avaliado) da capoeira submetida ao uso mais intensivo (8 anos de

pastejo) foi de 300 %, enquanto as capoeiras em pastagens abandonadas de 4 e 5 anos de pastejo foram 110 % e 170 %, respectivamente. As diferenças nos estoques de biomassa entre as capoeiras com diferentes intensidades de uso já eram definidas nos primeiros anos de sucessão (Figura 2) indicando que o acúmulo de biomassa que ocorre nos cinco primeiros anos, que é função do histórico de distúrbio da área, é determinante para a dinâmica sucessional das próximas duas décadas. Após um distúrbio, a composição florística é determinada pelas espécies que primeiro conseguem se estabelecer (Brown e Lugo, 1992). A intensidade do distúrbio estabelece as condições abióticas que vão determinar a composição florística que será apta para colonizar a área. A área de capoeira submetida a oito anos de pastejo foi a que teve no 5º ano os menores acúmulos estatisticamente significantes de C, N e P no solo e a maior densidade aparente do solo (McKerrow, 1992) em resposta ao maior tempo de pastejo sofrido em relação as pastagens abandonadas de 4 e 5 anos. Com isto, possivelmente, houve na capoeira submetida a 8 anos de pastejo uma colonização inicial formada por espécies tamponantes do processo sucessional que provocou a desaceleração do acúmulo de biomassa nos primeiros anos. Nesta capoeira de uso mais intenso, até o 21º ano ainda há presença de manchas sem árvores e com herbáceas que cobrem densamente o solo, como *Borreria verticilada* e *Rolandra fruticosa*, dificultando o estabelecimento de espécies arbóreas.

Áreas que tiveram seu potencial regenerativo comprometido devido ao sobre-pastejo ou ao excessivo número de queimadas constituirão uma paisagem

degradada (Gómez-Pompa e Burley, 1991) e devem ser submetidas a práticas de manejo agroecológicas e agroflorestais para recuperar seu potencial ecológico e ao mesmo tempo serem reincorporadas ao processo produtivo.

Os resultados deste estudo obtidos por meio de inventário contínuo em florestas secundárias contribuem com o entendimento da dinâmica da biomassa no processo sucessional, apesar da metodologia não possibilitar a avaliação direta da biomassa arbórea e ser de mais longo prazo. O uso apenas da metodologia de cronosequência, onde capoeiras de sítios diferentes em idade sequencial são consideradas como se fossem uma unidade, limita a avaliação do real desempenho das espécies nos ecossistemas como, por exemplo, quando estas começam a ser excluídas (Araújo *et al.*, 1995) e a verdadeira dinâmica do acúmulo da biomassa ao longo da sucessão.

A taxa de acúmulo de biomassa das capoeiras, mesmo nas duas primeiras décadas, não é linear sendo que há estagnação e até perda anual de biomassa nas parcelas de vegetação secundária durante o processo sucessional nos anos em que a estação seca é mais definida na Amazônia Central. Diminuições das taxas de acúmulo de carbono das árvores tropicais em florestas primárias foram também correlacionadas a eventos de seca do *El Niño* (Vetter e Botosso, 1989; Clark e Clark, 1994; Condit *et al.*, 1995; Williamson *et al.*, 2000; Nepstad *et al.*, 2008). Evidências deste estudo sugerem que os serviços ambientais prestados por vegetações secundárias

da Amazônia Central através do seqüestro de carbono podem ser mitigados com mudanças climáticas que levem a diminuição da pluviosidade da região.

Assumir as taxas de acúmulo de biomassa como sendo lineares tem sido uma das fontes de erro na projeção de crescimento de vegetações (Lugo e Brown, 1982). A alta variabilidade nos incrementos anuais e taxas de acúmulo de biomassa ao longo do processo sucessional de parcelas permanentes de vegetação secundária induz ao questionamento da adequação das estimativas dessas taxas em parcelas não permanentes, onde a biomassa acumulada é simplesmente dividida pela idade da capoeira. Esta variabilidade de taxa de acúmulo de carbono da vegetação secundária ao longo de seu desenvolvimento traz implicações relacionadas à necessidade de monitoramento permanente destes estoques nos inventários dos sumidouros de carbono que os países signatários da Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UN-FCCC) se comprometeram a realizar. Além disso, traz também implicações à valoração dos serviços ambientais prestados pelas capoeiras em curto prazo, devido a dinâmica variável de incremento de biomassa em que há períodos em que a vegetação secundária funciona como absorvedor do carbono atmosférico e outros em que é fonte de carbono.

BIBLIOGRAFIA CITADA

Aide, T. M.; Cavelier, J. 1994. Barriers to lowland tropical forest restoration in the Sierra Nevada de Santa Marta, Colombia. *Restoration Ecology*, 2: 219-229.

Araújo, M.M.; Tucker, J.M.; Vasconcelos, S.S.; Zarin, D.J.; Oliveira, W.; Sampaio, P.D.; Rangel-Vasconcelos, L.G.; Oliveira, F.A.; Coelho, R.F.R.de; Aragão, D.V.; Miranda, I. 2005. Padrão e processo sucessionais em florestas secundárias de diferentes idades na Amazônia oriental. *Ciência Florestal*, 15(4): 343-357.

Budowski, G. 1965. Distribution of tropical american rain forest species in the light of sucession process. *Turrialba*, 15: 40-42.

Bazzaz, F.A.; Pickett, S.T. 1980. Physiological ecology of tropical succession: a comparative review. *Annual review on ecology and systematics*, 11: 287-310.

Bazzaz, F.A. 1997. Allocation of resources in plants: State of the science and critical questions. *In*: Bazzaz, F.A.; Grace, J. (Eds). Plant resource allocation. Academic Press, San Diego, E.U.A. p. 1-38.

Buschbacher, R.; Uhl, C.; Serrão, E.A.S. 1988. Abandoned Pastures in Eastern Amazonia. II. Nutrient Stocks in the Soil and Vegetation. *Journal of Ecology*, 76: 682-699.

Cain, S.A.; Castro, G.M.O., Pires, J.N.; Silva, N.T. 1956. Application of some phytosociological techniques to Brazilian Rain Forest. *American Journal of Botany*, 7(2):91-106.

Clark, D.A.; Clark, D.B. 1994. Climate-induced annual variation in canopy tree growth in Costa Rica tropical rain forest. *Journal of Ecology*, 82: 865-872.

Condit, R.; Hubbell, S.P.; Foster, R.B. 1995. Mortality rates of 205 neotropical tree and shrub species and the impact of a severe drought. *Ecological Monographs*, 65(4): 419-439.

Connell, J.M.; Slayter, R.O. 1977. Mechanisms of succession in natural communities and their role in community stability and organization. *American Naturalist*, 111: 1119-1144.

Crawley, M.J. 1986. The structure of plants communities. *Plant Ecology*, 2: 11-50.

Denich, M. 1991. *Estudo da Importância de uma Vegetação Secundária Nova para o Incremento da Produtividade do Sistema de Produção na Amazônia Oriental Brasileira*. Tese (Ph.D) –Georg August University, Goettingen, Alemanha, 284pp.

Dias-Filho, M.B. 2005. *Degradação de pastagens: processos, causas e estratégias de recuperação*. Embrapa Amazônia Oriental, Belém, Brasil. 173pp.

Gómez-Pompa, A.; Vázquez-Yanes, C. 1976. *Estudio sobre sucesión secundaria en los tropicos cálido-húmedos: el ciclo de vida de las especies secundarias*. In: Gómez-Pompa, A.; Vázquez-Yanes, C.; Rodríguez del Amo, S.; Butanda-Cervera, A. (Eds). *Regeneracion de selvas*, C.E.C.S.A., Mexico. p. 579-593.

Fearnside, P.M. 2005. Desmatamento na Amazônia brasileira: história, índices e conseqüências. *Megadiversidade*, 1(1): 113-123.

Fearnside, P.M. 1996. Amazonian deforestation and global warming: Carbon stocks in vegetation replacing Brazil's Amazon forest. *Forest Ecology and Management*, 80(1-3): 21-34.

Fearnside, P.M.; Guimarães, W.M. 1996. Carbon uptake by secondary forests in Brazilian Amazonia. *Forest Ecology and Management*, 80: 35-46.

Feldpausch, T.R.; Rondon, M.A.; Fernandes, E.C.M.; Riha, S.J.; Wandelli, E. 2004. Carbon and nutrients accumulation in secondary forests regeneration on pastures in Central Amazonia. *Ecological Applications*, 14: 164-176.

Finegan, B. 1996. Pattern and process in neotropical secondary rain forests: the first 100 years of succession. *Tree*, 11(3): 119-124.

Gehring, C.; Park, S.; Denich, M. 2004. Liana allometric biomass equations for Amazonian primary and secondary forest. *Forest Ecology and Management*, 195(1-2): 69-83.

Gómez-Pompa, L. E.; Burley, F. W. 1991. The management of natural tropical forests. In: Gómez-Pompa, A.; Whitmore, T. C.; Hadley, M. (Eds). *Rain forest regeneration and management*. Man and the biosphere (MAB Series), UNESCO, Paris. p. 3-18.

Hecht, S.B. 1993. The logics of livestock and deforestation in Amazonia. *Bioscience*, 43: 687-695.

INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) 2004. *Monitoramento da floresta amazônica brasileira por satélite: 2002-2003*. INPE, São José dos Campos, Brasil

IPEAAOc 1971. *Solos do Distrito Agropecuário da SUFRAMA*. Convênio para levantamento da área do Distrito Agropecuário da SUFRAMA, IPEAN e IPEAAOc, Manaus, Amazonas. 99pp.

Jardim, F.C.S.; Hosokawa, R.T. 1986. Estrutura da floresta equatorial úmida da estação experimental de silvicultura tropical. *Acta Amazonica*, 6(17): 411-508.

Laurance, W.F.; Cochrane, M. A.; Bergen, S.; Fearnside, P. M.; Delamonica, P.; Barber, C.; D'Angelo, S.; Fernandes, T. 2001. The future of the Brazilian Amazon. *Science*, 291: 438-439.

Lucas, R.M.; Honzak, M.; Curran P.J.; Foody, G.M.; Milnes, R.; Brown, T.; Amaral, S. 2000. Mapping the regional extent of tropical forest regeneration stages in the Brazilian Legal Amazon using NOAA AVHRR data. *International Journal of Remote Sensing*, 21(15): 2855–81.

Lugo, A.E.; Brown, S. 1982. Conversion of tropical moist forest: a critique. *Interciencia*, 7: 89-93.

Lugo, A.E.; Brown, S. 1992. Tropical forest as a sink of atmospheric carbon. *Forest Ecology and Management*, 54:239-255.

Maury-Lechon G. 1991. Comparative dynamics of tropical rain forest regeneration in French Guiana. *In: Gómez-Pompa, A.; Whitmore, T. C.; Hadley, M. (Eds). Rain forest regeneration and management. Man and the biosphere (MAB Series), UNESCO, Paris. 6:285–293.*

McCaffery, K.A. 2003. *Carbon and nutrients in land management strategies for the Brazilian Amazon*. Tese (Ph.D.) Cornell University, Ithaca, New York, USA. 204pp.

McKerrow, A.J. 1992. *Nutrient stocks in abandoned pastures of the Central Amazon Basin prior to and following cutting and burning*. Tese (MS), North Carolina State University, Raleigh, North Carolina, E.U.A.. 116pp

Mesquita, R.C.G.; Ganade, G.; Ickes, K.; Williamson, B. 2001. Alternative successional pathways in the Amazon basin. *Journal of Ecology*, 89: 1-10.

Monaco, L.M.; Mesquita, R.C.G; Williamson, G.B. 2003. O banco de sementes de uma floresta secundária dominada por *Vismia*. *Acta Amazonica*, 33: 41-52.

Moran, E.F.; Brondizio, E.; Mausel, P.; Wu, Y. 1994. Integrating Amazonian vegetation, land-use, and satellite data. *BioScience*, 44: 329-338.

Moran, E.F.; Packer, A.; Bronzio, E.; Tucker, J.M. 1996. Restoration of vegetation cover in the eastern Amazon. *Ecological Economics*, 18: 41-54.

Moran, E.F.; Brondizio, E.S.; Tucker, J.M.; Silva-Forsberg, M.C.; McCracken, S.; Falesi, I. 2000. Effects of soil fertility and land-use on forest succession in Amazonia. *Forest Ecology and Management*, 139: 93-108.

Moreira, M.P. 2003. *Uso de sensoriamento remoto para avaliar a dinâmica de sucessão secundária na Amazônia Central*. Dissertação de Mestrado, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia/Fundação Universidade do Amazonas, Manaus, Amazonas. 103pp.

Nelson, B.W.; Mesquita, R.; Pereira, J.L.G.; Souza, S.G.A.; Batista, G.T.; Couto, L.B. 1999. Allometric regressions for improved estimate of secondary forest biomass in the central Amazon. *Forest Ecology and Management*. 117:149-167.

NOAA, 2008. ENSO: Cold and warm episodes by season (http://www.cpc.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml). Acesso: 30/09/2008

Nepstad, D.C.; Uhl, C.; Serrão, E.A.S. 1991. Recuperation of a degraded Amazon landscape: Forest recovery and agricultural restoration. *Ambio*, 20: 248-255.

Nepstad, D.C.; Moreira, A.G., Alencar, A.A. 1999. Flames in the rain forest: origins, impacts and alternatives to Amazonian fires. Pilot Program to conserve the Brazilian Rain Forest, World Bank, Brasília. 161pp.

Nepstad, D.C.; Stickler, C.M., Soares, B; Merry, F. 2008. Interactions among Amazon land use, forests and climate: prospects for a near-term forest tipping point, *Philosophical Transactions of the Royal Society, series B*, 363: 1737-1746.

Neeff, T.; Lucas, R.M.; Santos, J.R.; Brondizio, E.S.; Freitas, C.C. 2006. Area and age of secondary forests in Brazilian Amazonia 1978–2002: an empirical estimate. *Ecosystems*, 9(4): 609-623.

Peña-Carlos, M. 2003. Changes in forest structure and species composition during secondary forest succession in Bolivian Amazon. *Biotropica*, 35(4): 450-461.

Perz, S.G; Skole. D.L. 2003. Secondary forest expansion in the Brazilian Amazon and the refinement of forest transition theory. *Society and Natural Resources*, 16: 277-294.

Pickett, S.T.A. 1989. Space-for-time substitution as an alternative to long-term studies. In: Likens, G.E. (Ed.). *Long-term Studies in Ecology*. Springer-Verlag, New York, E.U.A.. p. 110-135.

Ribeiro, J.E.L.S.; Hopkins, M.J.G.; Vicentini, A.; Sothers, C.A.; Costa, M.A.S.; Brito, J.M.; Souza, M.A.D.; Martins, L.H.P.; Lohmann, L.G.; Assunção, P.A.C.L.; Pereira, E.C.; Silva, C.F.; Mesquita, M.R.; Procópio, L.C. 1999. Flora da Reserva Ducke: Guia de identificação das plantas vasculares de uma floresta de terra firme na Amazônia Central. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, Amazonas. 816pp.

Saldarriaga, J.G.; West, D.C.; Tharp, M.L.; Uhl, C. 1988. Long-term chronosequence of forest succession in the Upper Rio Negro of Colombia and Venezuela. *Journal of Ecology*, 76: 938-958.

Salomão, R.P. 1994. *Estimativas de biomassa e avaliação do estoque de carbono da vegetação de florestas primárias e secundárias de diversas idades (capoeiras) na Amazônia oriental, Município de Peixe-Boi, Pará*. Dissertação (Mestrado em Biologia) – Universidade Federal do Pará, Belém, Pará. 96pp.

Steininger, M.K. 2000. Secondary forest structure and biomass following short and extended land-use in central and southern Amazonia. *Journal of Tropical Ecology*, 16: 689-708.

Swaine, M.D.; Lieberman, D.; Putz, F.E. 1987. The dynamics of tree populations in tropical forest: a review. *Journal of Tropical Ecology*, 3: 359-366.

Serrão, E.A.S.; Toledo, J.M. 1990. The search for sustainability in Amazonian pastures. In: Anderson, A.B. (Ed.). *Alternatives to deforestation: steps toward sustainable use of the Amazon rain forest*. Columbia University Press, New York, E.U.A.. p. 195-214.

Silver, W.L.; Ostertag, R; Lugo, A.E., 2000. The potential for carbon sequestration through reforestation of abandoned tropical agricultural and pasture lands. *Restoration Ecology*, 8: 394-407.

Tucker, J.M.; Brondizio, E.S.; Moran, E.F. 1998. Rates of forest regrowth in eastern Amazonia: a comparison of Altamira and Bragantina Regions, Pará State, Brazil. *Interciencia*, 23(2): 1-10.

Uhl, C.1987. Factors controlling succession following slash-and-burn agriculture in Amazonia. *Journal of Ecology*, 75: 377-407.

Uhl, C.; Jordan, C.F. 1984. Succession and nutrient dynamics following forest cutting and burning in Amazonia. *Ecology*, 65(5): 1476-1490.

Uhl, C.; Buschbacher, R.; Serrão, E.A.S. 1988. Abandoned pastures in Eastern Amazonia. I. Patterns of plant succession. *Journal of Ecology*, 76: 663-681.

Vetter, R.E; Botosso, P.C. 1989. El Niño may affect growth behavior of Amazonian tree. *GeoJournal*, 19: 419-421.

Vieira, I.C.G.; Nepstad, D.C.; Brienza Júnior, S.; Pereira, C.A. 1993. A importância de áreas degradadas no contexto agrícola e ecológico da Amazônia. In: Ferreira, E.J.; Santos, G.M.; Leão, E.L.; Oliveira, L.A. (Eds). *Bases científicas para estratégias de preservação e desenvolvimento da Amazônia*. Vol. 2. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, Amazonas. p. 43-53.

Vieira, I.C.G. 1996. *Forest Succession after Shifting Cultivation in Eastern Amazonia*. Tese (Ph.D.), University of Stirling, Escócia, Reino Unido. 215pp.

Williamson, G.B.; Mesquita, R.C.G.; Kalan, I.; Ganade, G. 1998. Estratégias de árvores pioneiras nos Neotrópicos. In: Gascon, C.; Moutinho, P. (Eds). *Floresta Amazônica: Dinâmica, Regeneração e Manejo*. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, Amazonas. p. 131-144.

Zarin, D.; Davidson, E.A.; Brondizio, E.; Vieira, I.; Sá, T.; Ducey, J.M.; Salimon, C.; Denich, M. 2005. Legacy of fire slows carbon accumulation in Amazon Forest regrowth. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 3(7): 365-369.

Zwetsloot, H. 1981. Forest succession on a deforested area in Suriname. *Turrialba*, 31: 369-379.

FIGURAS E TABELAS DO CAPÍTULO 2

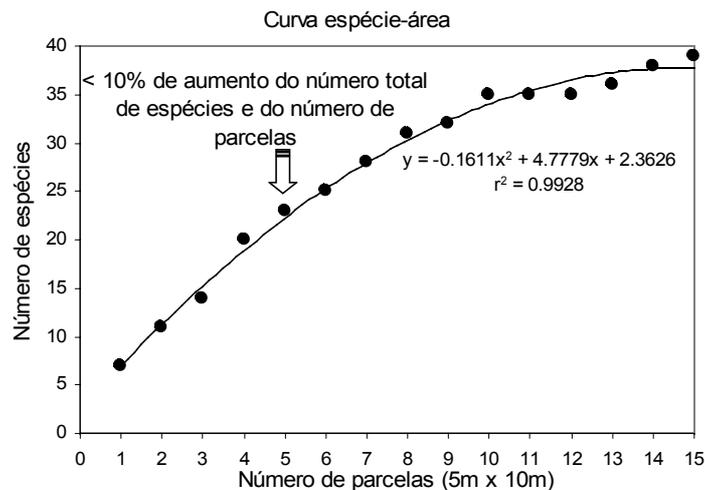


Figura 1 - Teste da intensidade amostral realizado no primeiro ano do estudo por meio da curva espécie/área que avalia a amostragem mínima a ser realizada em uma comunidade vegetal determinando o tamanho adequado da amostra no ponto da curva em que o aumento do número de espécies por unidade amostral passa a ser menor que 10 % do número total de espécies (Cain *et al.*, 1956).

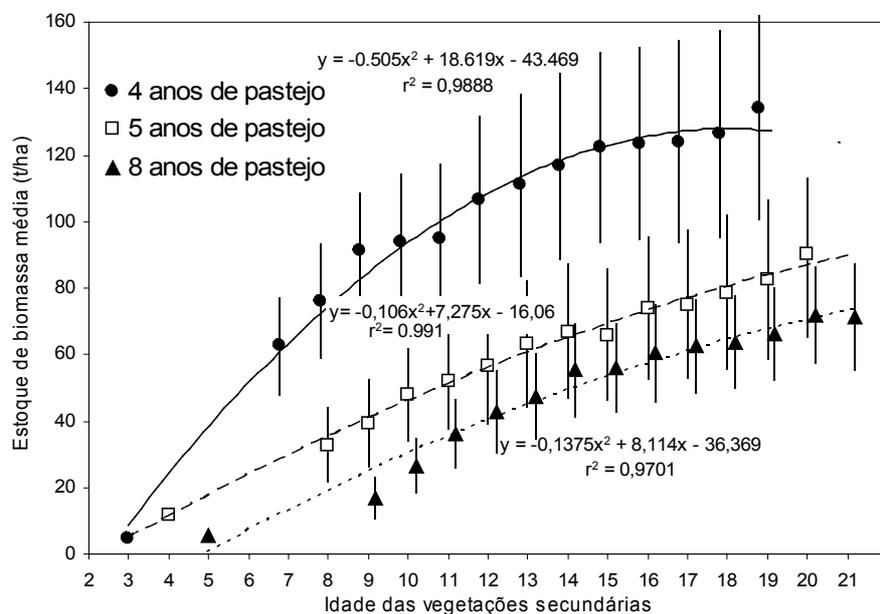


Figura 2 - Estoque de biomassa aérea (média \pm erro padrão) de três vegetações secundárias estabelecidas após o abandono de pastagens de diferentes intensidades de uso em relação à idade, sendo os 7^o-19^o, 8^o-20^o e 9^o-21^o anos de idades das capoeiras submetidas a 4, 5 e 8 anos de pastejo, respectivamente. Dados do 3^o ao 5^o ano são de McKerrow (1992). Barras representam os erros padrões.

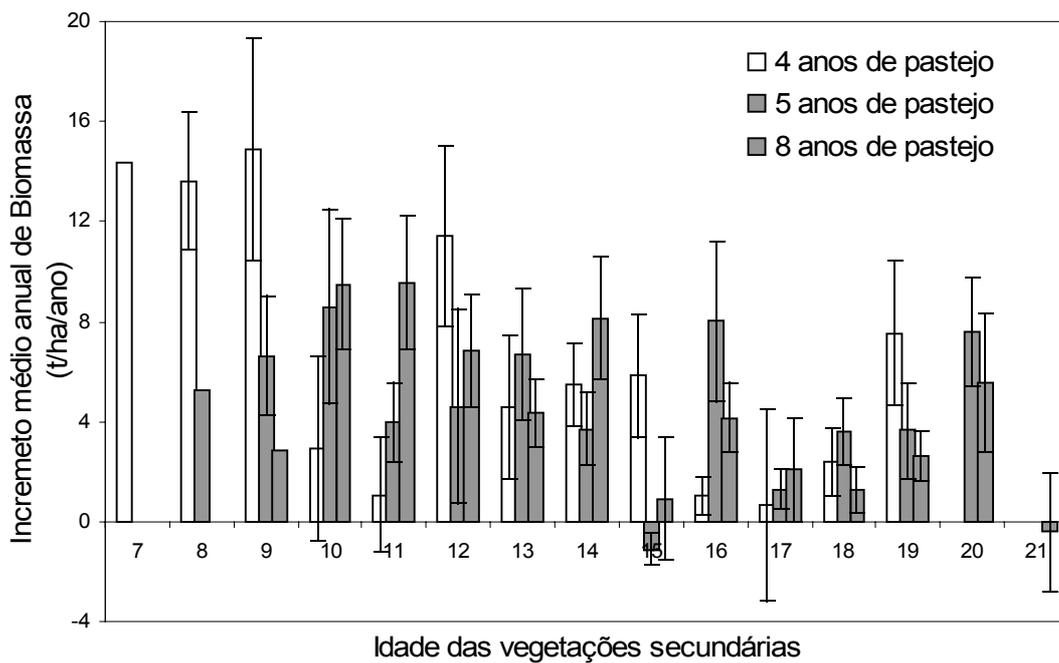


Figura 3 - Incremento médio anual de biomassa aérea (t/ha/ano) de vegetações secundárias de pastagens degradadas submetidas a diferentes intensidades de uso em relação à idade, sendo os 7º-19º, 8º-20º e 9º-21º anos de idades das capoeiras submetidas a 4, 5 e 8 anos de pastejo, respectivamente. Barras representam os erros padrões.

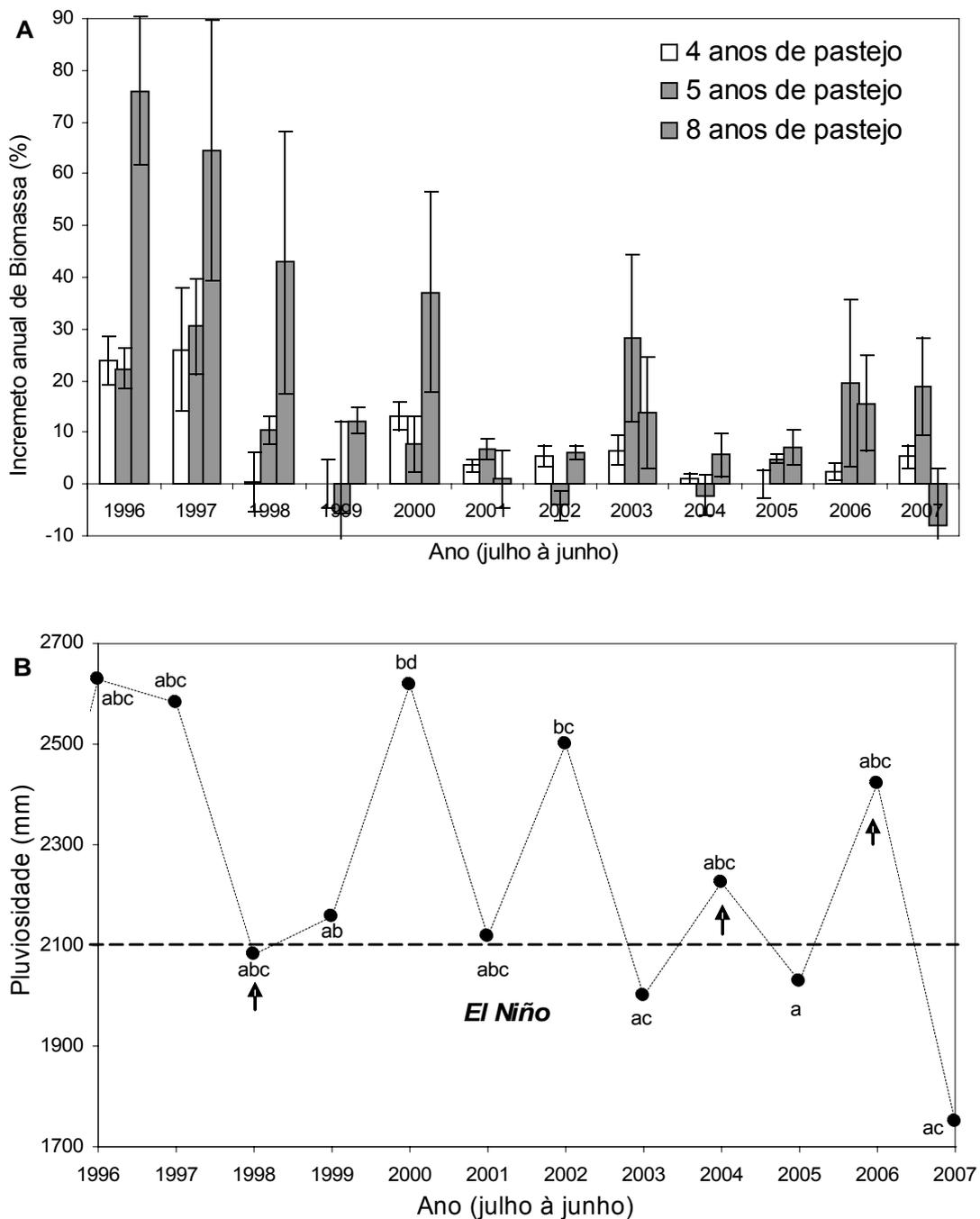


Figura 4 - Percentual de incremento médio anual de biomassa (% de incremento em relação a biomassa acumulada no ano anterior) de três vegetações secundárias com diferentes históricos de uso ao longo do período de estudo (A); e Pluviosidade (B) da área de estudo acumulada durante os últimos 12 meses (julho-junho) que antecederam as medições biométricas utilizadas para estimar a biomassa. Pontos de pluviosidade abaixo da linha tracejada indicam os anos de episódios de *El Niño*, conforme temperatura do oceano pacífico (NOAA, 2008); flechas indicam anos em que houve quatro meses com pluviosidade inferior a 100 mm. Anos onde há letras não

coincidentes indica que as quantidades de chuva mensais pareadas são estatisticamente diferentes ($P < 0,01$). Barras representam os erros padrões.

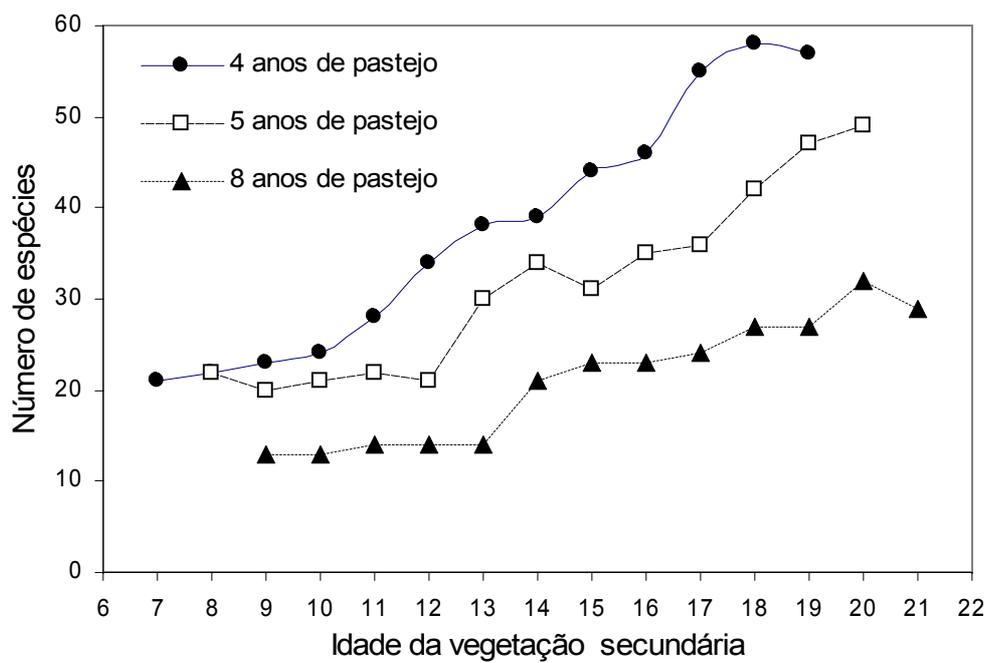


Figura 5 – Variação do número total de espécies de três vegetações secundárias de pastagens abandonadas com diferentes intensidades de uso em função da idade (anos).

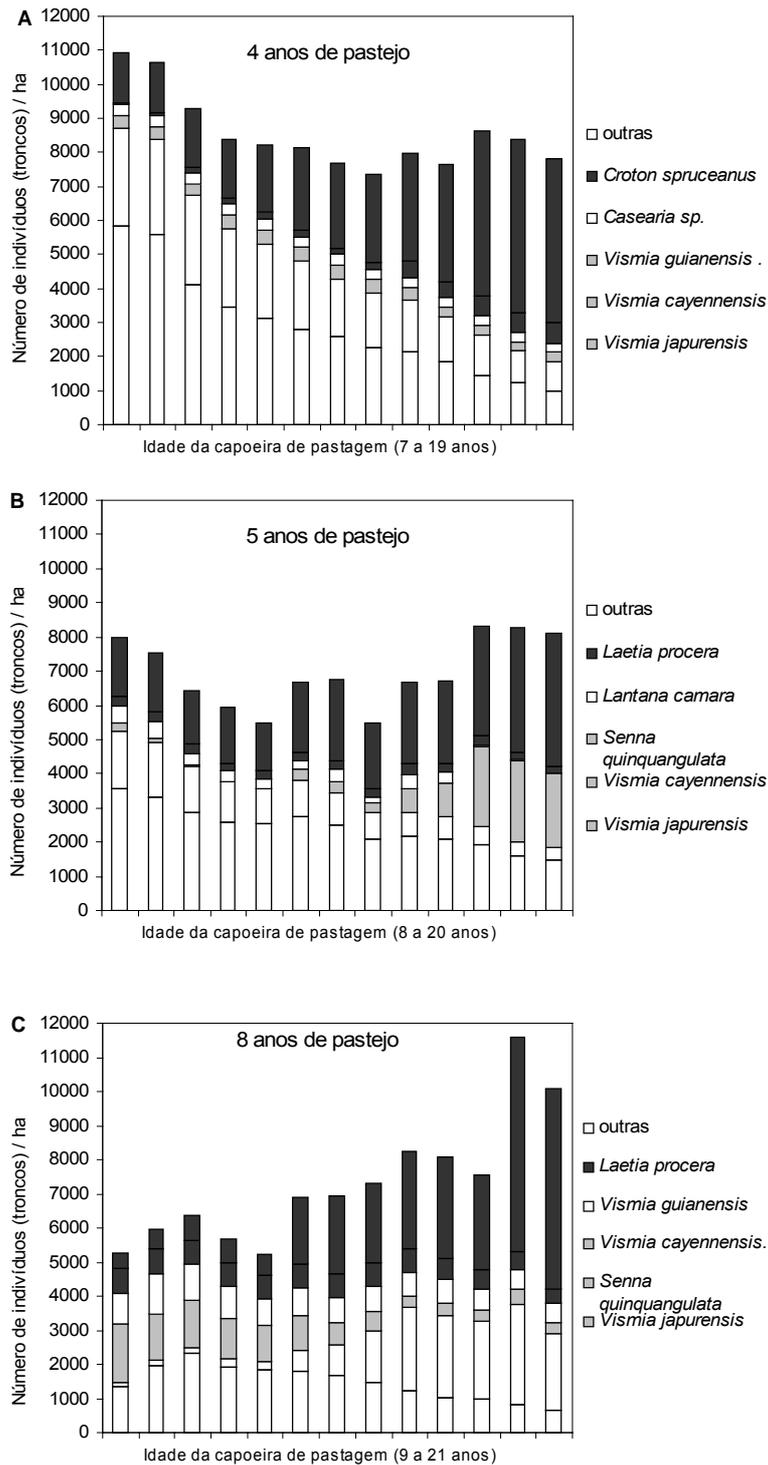


Figura 6 - Número de indivíduos por ha com DAP \geq 1 cm das cinco espécies dominantes em relação as demais espécies de cada uma das três capoeiras derivadas de pastagens com diferentes intensidades de uso durante o período de 1995 a 2007.

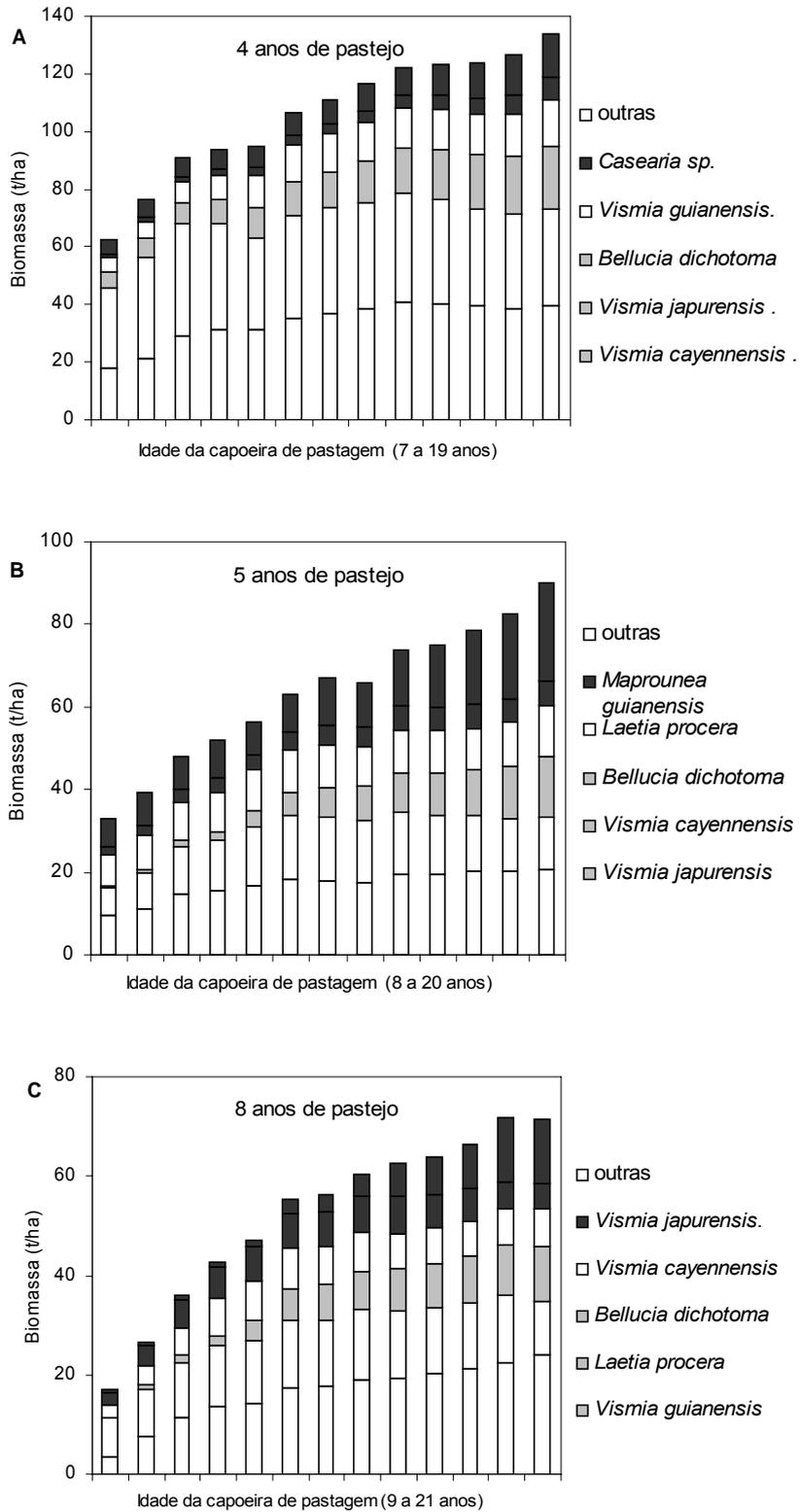


Figura 7 – Dinâmica da biomassa de indivíduos com DAP ≥ 1 cm das cinco espécies com maiores contribuições ao estoque total em relação as demais espécies ao longo de 13 anos (1995-2007) da regeneração natural de áreas de pastagens abandonadas com diferentes tempos de pastejo (4, 5 e 8 anos).

Tabela 1. Principais resultados de biomassa aérea e riqueza florística (DAP ≥ 1 cm) das vegetações secundárias de áreas de pastagens abandonadas submetidas a 4, 5 e 8 anos de pastejo. Dados de biomassa são médias de 5 parcelas de 5 x 10 m de cada uma das capoeiras com diferentes históricos de uso.

	Histórico de uso (tempo de pastejo)		
	4 anos	5 anos	8 anos
Biomassa aérea (1995)	62,5 t/ha (7º ano)	32,7 t/ha (8º ano)	16,9 t/ha (9º ano)
Biomassa aérea (2007)	134 t/há (19º ano)	89,9 t/ha (20º ano)	71,5 t/ha (21º ano)
% incremento de biomassa de 1995 a 2007	114 %	175 %	321 %
Taxa média de acúmulo anual de biomassa	7,1 t/ha/ano	4,5 t/ha/ano	3,4 t/ha ano
Número espécies (1995)	21 (7º ano)	22 (8º ano)	13 (9º ano)
Número espécies (2007)	57 (19º ano)	49 (20º ano)	29 (21º ano)
Número total de espécies de 1995 a 2007	59	61	38
Idade em que o número de espécies aumentou em torno de 50 %	11º ano	13º ano	14º ano
Espécies com maior número (ordem decrescente)	<i>Vismia japurensis</i> <i>V. cayennensis</i> <i>V. guianensis</i> <i>Casearia sp.</i> <i>Croton sprucianus</i>	<i>V. japurensis</i> <i>V. cayennensis</i> <i>Senna quinquangulata</i> <i>Lantana câmara</i> <i>Laetia procera</i>	<i>V. japurensis</i> <i>S. quinquangulata</i> <i>V. cayennensis</i> <i>V. guianensis</i> <i>Laetia procera</i>
Espécies com maior contribuição para a biomassa total (ordem decrescente)	<i>V. cayennensis</i> <i>V. japurensis</i> <i>Bellucia dichotoma</i> <i>V. guianensis</i> <i>Casearia sp.</i>	<i>V. japurensis</i> <i>V. cayennensis</i> <i>B. dichotoma</i> <i>Laetia procera</i> <i>Mapronea gruianensis</i>	<i>V. guianensis</i> <i>Laetia procera</i> <i>B. dichotoma</i> <i>V. Cayennensis</i> <i>V. Japurensis</i>

Capítulo 3³

Estoque de biomassa e manejo da vegetação secundária pela agricultura familiar em um assentamento na Amazônia Central.

Elisa Vieira Wandelli

RESUMO

As vegetações secundárias são um grande componente da paisagem rural e desempenham importantes funções ecológicas e sociais, como: recuperação da fertilidade do solo agrícola; fornecimento de produtos e atração para caça; proteção dos recursos edáficos e hídricos; conservação da fauna silvestre e do microclima; e recuperação e manutenção dos ciclos biogeoquímicos, inclusive com alto potencial para sequestrar carbono. Abandonar a área agrícola em declínio de produtividade à regeneração natural é o método tradicionalmente adotado por agricultores para recuperar a fertilidade do solo no processo de uso da terra. No entanto, esta prática de pousio parece estar sendo alterada pelos agricultores, o que pode acarretar diminuição dos serviços sócio-ambientais das capoeiras. O presente estudo foi realizado no Projeto de Assentamento Tarumã Mirim/Incra, Manaus (Amazonas) com o objetivo de avaliar a importância do uso da vegetação secundária como prática de manejo na agricultura familiar do assentamento, e seu potencial de acúmulo de biomassa. Em torno de 67 % das famílias não desempenhavam atividade agrícola antes de se estabelecerem no Assentamento e residiam

³ Conforme normas da ACTA AMAZONICA.

em área urbana, o que parece haver influenciado o manejo da capoeira adotado pelas famílias rurais. A idade média das áreas de vegetação secundária no momento da queima foi de apenas 1,91 anos ($\pm 0,12$), sendo 89 % das áreas de capoeiras queimadas antes de quatro anos. A extensão média da área de capoeira das propriedades observada foi de 0,89 ha ($\pm 0,1$), e 100 de um total de 240 propriedades rurais pesquisadas não possuíam áreas de regeneração natural entre o sétimo e oitavo ano de ocupação do lote. Oitenta por cento dos entrevistados não associaram capoeiras à recuperação da fertilidade do solo. Capoeiras de até um ano acumularam em média 4,7 t/ha de biomassa aérea (DAP ≥ 1 cm), enquanto que com dois anos 17 t/ha. Esses acúmulos não são suficientes para provocar melhoria qualitativa das condições ecológicas das áreas e tornar disponível matéria orgânica na quantidade necessária para o desenvolvimento adequado de sistemas produtivos. A partir de quatro anos, dependendo do histórico de uso da terra, as capoeiras apresentaram mais de 30 t/ha de biomassa aérea, indicando maior potencial de serviços ambientais. Os dados indicam que são necessárias políticas de capacitação e assistência técnica voltadas para o uso sustentável das capoeiras e demais sistemas de uso da terra, assim como a viabilização urgente de mecanismos de mercado para o carbono que elas imobilizam.

PALAVRAS-CHAVE:

Vegetação secundária, manejo de capoeira, biomassa, carbono, assentamento, Amazônia.

ABSTRACT

Biomass and management of second-growth vegetation among rural settlers in Central Amazonia.

Second-growth vegetation (*capoeira*) is an important part of the rural landscape in Amazon with ecological and social functions such as the recovery of soil fertility in agricultural land, protection of water and soil resources, maintenance of the biogeochemical cycles and as carbon sink through biomass accumulation. Although the temporary abandonment of agricultural land to natural regeneration in order to increase soil fertility is a common practice among rural people in Amazonia, this practice has been changing and could compromise the beneficial role these *capoeiras* in the areas. In this study we investigated the current use of *capoeiras* for agriculture and their role in accumulating biomass in 240 rural properties of urban-originated settlers in the Tarumã Mirim agrarian-reform Settlement, near Manaus Amazonas. Around 67 % of the families were not involved in agriculture activities prior moving to the settlement. Abandonment time of agricultural land was shorter than the average for rural people in Amazonia with the secondary growth vegetation being burned after only 1.9 ($\pm 0,12$) years of age. Of all *capoeiras* present in all properties, 89 % was burned before 4 years of age. The average area of *capoeira* vegetation in each family agricultural parcel was 0,89 ha ($\pm 0,1$) and 100 of the 240 lots did not have any *capoeira* vegetation. Eighty percent of the settlers interviewed did not relate *capoeira* vegetation to recuperation of soil fertility. Only 20 % of the

capoeira species were named by the land owners and only 10 % of them knew of some use for those species. Average aboveground biomass accumulation was 4,7 t/ha dry weight and 17 t/ha dry weight for *capoeiras* aging up to 1 and 2 years of age, respectively. These averages are not enough to qualitatively increase ecological conditions in those properties. *Capoeiras* 4 or more years old had much higher biomass accumulation (30 t/ha). Government technical assistance for settlers is needed in order to implement sustainable management of *capoeiras*.

KEY WORDS

Secondary vegetation, biomass, carbon, settlement, Amazon.

INTRODUÇÃO

A partir da década de 70, com o estímulo à colonização e implantação de projetos agropecuários na Amazônia, o desmatamento na região passou a ser uma fonte antropogênica de gases de efeito estufa planetário, com liberação de 0,3 Gt de carbono por ano (Fearnside *et al.*, 1990). Apesar de que 60 % (IPCC, 2000) a 80 % (Detwiler *et al.*, 1988) do CO₂ emitido no mundo provêm da combustão de combustíveis fósseis, no Brasil entre 69 a 94 % do CO₂ liberado é proveniente da queima de florestas (Victoria *et al.*, 1991) e a queima da floresta amazônica contribuiu com 8 % (Fearnside *et al.*, 1990) dos 270 (± 30) Gt de carbono lançados na atmosfera desde a revolução industrial (IPCC, 2000).

Os sistemas de uso da terra da Amazônia Legal já provocaram o desmatamento de aproximadamente 20 % da cobertura florestal (IMAZON, 2006) e a formação de áreas improdutivas com diferentes graus de degradação (Fearnside, 1991). A substituição da grande biomassa florestal pelo atual uso da terra na Amazônia tem afetado a hidrologia regional, o ciclo regional e global de carbono, as taxas de evapotranspiração, a perda da biodiversidade e da sociodiversidade, probabilidade de incêndios, além de efeitos projetados como diminuição da chuva e savanização regional (Uhl *et al.*, 1988; Uhl e Kauffman, 1990; Nobre *et al.*, 1991; Wright *et al.*, 1992; Nepstad *et al.*, 1991; Vitousek, 1997; Wooster *et al.*, 1999).

Os ecossistemas terrestres contribuem para o seqüestro do carbono atmosférico, acumulando aproximadamente 2 ($\pm 1,3$) Gt de carbono por ano (IGBP, 1998; IPCC, 2000). A vegetações secundárias é considerada como uma das principais coberturas vegetais das paisagens agrícolas tropicais relacionada às mudanças de uso da terra (Brown e Lugo, 1990; Fearnside, 1996; Lucas *et al.*, 2000; Perz e Skole, 2003; Neeff *et al.*, 2006). O papel da regeneração natural no seqüestro de carbono tem sido salientado em diversos estudos em regiões tropicais (Uhl *et al.*, 1988; Brown e Lugo, 1992; Nepstad *et al.*, 1992; Overman *et al.*, 1994; Fearnside, 1996; Fearnside e Guimarães, 1996; Lucas *et al.*, 1996; Alves *et al.*, 1997; Johnson *et al.*, 2001; Saldarriaga *et al.*, 1998; Silver *et al.*, 2000; Neeff *et al.*, 2005). A regeneração natural das capoeiras também recupera outras funções biogeoquímicas como a retenção e ciclagem de nutrientes, a recuperação e conservação do solo, a conservação de água do solo, a evapotranspiração e uma fração da biodiversidade (Denich, 1991; Nepstad *et al.*, 1991; Sá *et al.*, 2002; Vieira *et al.*, 2003). Entretanto, o papel da regeneração natural compensando as emissões resultantes do desmatamento, tem sido superestimado (Fearnside e Guimarães, 1996). Por mais produtiva que seja uma vegetação secundária, seriam necessárias décadas para que haja seqüestro da quantidade de carbono correspondente ao liberado com a queima da floresta primária original. Fearnside (1996), com base em simulação, concluiu que a paisagem de equilíbrio das terras desmatadas até 1990 na Amazônia brasileira será ocupada em 48 % por florestas secundárias. Entretanto, esta mudança de uso da terra produzirá um estoque de carbono equivalente a apenas 6 % do estoque existente antes do desmatamento destas áreas. Portanto, a real contribuição

das vegetações secundárias na diminuição do CO₂ atmosférico só poderá ser significativa se essa cobertura vegetal deixar de ser um sistema de pousio, que consiste de ciclos de corte e queima para implantação de pastagens ou agricultura itinerante (Fearnside e Guimarães, 1996; Alves *et al.*, 1997) e se sua capacidade regenerativa não for demasiadamente comprometida pelo sistema anterior de uso da terra.

Ainda que os assentamentos rurais não sejam os maiores causadores da devastação da floresta nativa na Amazônia, sua participação pode ser considerável em certas regiões (Alves, 2002). Souza *et al.*, 2008 estimaram que no período de outubro/2007 a setembro/2008 quase 20 % dos desmatamentos ocorridos na Amazônia, sem computar a degradação florestal, estavam em áreas de reforma agrária.

Abandonar a área agrícola em declínio de produtividade à regeneração natural é o processo tradicional adotado pelos agricultores da Amazônia para recuperar a fertilidade do solo (Homma *et al.*, 1998). No entanto, a prática de pousio parece estar sendo alterada pelos agricultores por razões socioeconômicas, o que poderá acarretar na diminuição dos serviços sócio-ambientais das capoeiras. Neste trabalho é avaliado como as práticas de uso e manejo da vegetação secundária em áreas de agricultura familiar do Assentamento Tarumã Mirim (AM) afetam o potencial de estoque de biomassa e de seqüestro de carbono das capoeiras ao nível da paisagem.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

O Projeto de Assentamento Tarumã Mirim situa-se no Município de Manaus, na gleba Cuieiras/Tarumã, sendo criado através da Resolução N° 184/92 em 10/08/92 (INCRA-AM, 1999). O assentamento situa-se paralelo à rodovia BR 174, entre a margem oeste do Igarapé Tarumã Açú e a leste do Igarapé Tarumã Mirim, afluentes da margem esquerda do Rio Negro. Limita-se ao norte com as áreas do Distrito Agropecuário da Superintendência da Zona Franca de Manaus (SUFRAMA) e da Reserva Biológica do Cuieiras, do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA). O acesso fluvial dá-se através do Rio Negro, Igarapés Tarumã Açú e Tarumã Mirim e o acesso rodoviário através da Vicinal do Pau Rosa situada no Km 21 da rodovia BR 174. A área do assentamento é de 42.910 ha com um perímetro de 110,63 km abrangendo 1.042 lotes com tamanho médio de 30 ha destinados à agricultura familiar e 7088 ha de reservas florestais coletivas (PROAMBIENTE/FETAGRI-AM, 2002).

O objetivo da criação do assentamento, segundo o INCRA-AM (1999), foi o de “promover a adequada ocupação da área através da absorção de agricultores sem-terra que viviam marginalizados em Manaus, evitando especulações imobiliárias e possibilitar as condições para sua integração ao processo produtivo regional”. Embora haja famílias ribeirinhas e das margens

da Vicinal do Pau Rosa vivendo na área desde a década de 70, cerca de 75 % dos moradores estão há apenas oito a onze anos no assentamento.

Biomassa das capoeiras

A biomassa aérea de cada uma das 24 capoeiras entre 1 e 15 anos foi amostrada em parcelas de 10 m x 10 m, distando pelo menos 10 m das bordas da capoeira e 50 m das bordas das florestas. Todas as árvores, arbustos e cipós com diâmetro à altura do peito (DAP) ≥ 1 cm foram numerados, identificados botanicamente e seus DAP registrados, assim como hábito (árvores, cipós, arbustos, herbáceas e palmeiras) e aspectos fitossanitários e arquiteturais, como indivíduos quebrados ou que sofreram reinteração, além de e plantas mortas que permanecem em pé. Para avaliar a altura (H), que foi considerada como o comprimento da base até o ápice, e o peso fresco da biomassa aérea, cada indivíduo foi cortado ao nível do solo. Cada planta foi separada entre os compartimentos troncos, galhos e folhas e os seus respectivos pesos frescos foram obtidos com dinamômetros de campo de capacidades equivalentes ao peso da amostra. Foi considerado como tronco todo o eixo principal da base até o ápice lenhoso da planta; como folha todo o material fotossintético, inclusive pontas finas de galhos, quando eram verdes; e, como galho, foi considerado todo o material lenhoso que bifurca do tronco principal. A proporção de água de cada espécie foi obtida em amostras de troncos, galhos e folhas de três a cinco indivíduos de cada uma das espécies presentes em cada uma das parcelas de capoeira de 100 m². As amostras de tronco foram obtidas de cilindros de madeira

removidos a 1,3 m de altura e as amostras de folhas e galhos foram colhidas a fim de representar aproximadamente a proporção de todos os tamanhos e estágios de amadurecimento presentes na árvore. Para cálculo da proporção de água, amostras em torno de 200 gramas dos diferentes tecidos vegetais frescos foram coletadas imediatamente após a pesagem do peso fresco total de cada componentes e foram colocadas dentro de sacos plásticos grossos bem lacrados de pesos constantes (variação de 0,01 g) e armazenadas no escuro dentro de uma caixa térmica fechada que permaneceu na sombra até o final da manhã ou final do dia quando as amostras frescas de troncos, galhos e folhas foram pesadas em balança digital eletrônica com capacidade para 2.000 g e com precisão de 0,01 grama. Para obter os pesos frescos das amostras estas foram pesadas dentro dos sacos plásticos, cujos pesos eram conhecidos e foram subtraídos. Dessa maneira, considerou-se também qualquer água que possa ter transpirado dos tecidos vegetais entre a coleta e a pesagem. Após a obtenção dos pesos frescos as amostras foram colocadas em sacos de papel e secas em estufas a temperaturas entre 60° e 65° C entre cinco e sete dias até alcançarem peso constante. Os tecidos lenhosos com diâmetros acima de 6 cm permaneceram em torno de 15 dias na estufa antes de serem pesados. Os pesos secos das amostras foram obtidos assim que os sacos com amostras de tecido vegetal foram retirados da estufa e a temperatura tornou-se próxima a do meio ambiente. O peso seco total de cada compartimento de cada planta foi calculado pela fórmula: $\text{Peso Seco do compartimento} = \text{Peso Fresco do compartimento} \times (\text{Peso Seco da amostra} / \text{Peso Fresco da amostra})$. A biomassa de cada planta, como sendo seu peso seco total de cada indivíduo, foi obtida pela adição dos pesos

secos de cada compartimento: Biomassa planta = Peso seco tronco + Peso seco galho + Peso seco folha.

A biomassa da regeneração natural abaixo de 1 cm de DAP foi estimada a partir de quatro amostras destrutivas de 1 m² em cada uma das parcelas de capoeira. A necromassa da liteira e o carbono (fragmentos > 2 mm) sobre o solo foi mensurada pela coleta de 5 amostras de 0,5 m x 0,5 m por parcela.

Estoques de carbono

Os estoques de carbono (t/ha) e a taxa de fixação de carbono (t/ha/ano) das coberturas vegetais estudadas ao longo de cada ano do estudo foram estimados multiplicando-se a concentração média de carbono de nutrientes de amostras de tecido foliar e lenhoso de cada espécie por sua biomassa. Este método é necessário devido às diferenças entre a concentração de carbono e nutrientes dos tecidos lenhosos e foliar, o que não permitiria uma estimativa baseada somente na biomassa total dos indivíduos. A concentração de carbono da biomassa aérea de cada tipo de cobertura vegetal foi estimada pela amostragem de materiais foliares maduros provenientes de cinco pontos da copa da árvore e material lenhoso extraído de cinco indivíduos de cada espécie, em cada parcela de cada bloco. O tecido vegetal foi seco a 70 °C e moído para análises de carbono com base na metodologia padrão da Embrapa (Silva, 1999).

Uso da terra e da cobertura vegetal do Assentamento Tarumã Mirim

O uso da terra do período de estudo (1999 e 2005) representara uma fase do Assentamento Tarumã Mirim já estabelecida, pois é posterior à fase de implantação, quando possivelmente ocorreram as maiores taxas de desmatamento devido às famílias estarem se instalando nos lotes e realizando o desmatamento inicial das áreas para plantio, moradia e estradas. No período de estudo já haviam sido realizadas as principais atividades relacionadas ao desmatamento, necessárias para o recebimento do título da terra.

Os dados sobre o uso e cobertura da terra dos lotes em 1999 e 2005 e os dados socioeconômicos dos assentados, que possivelmente influenciam na adoção e na dimensão dos diferentes sistemas de uso do solo, foram obtidos dos seguintes registros, diagnósticos de campo e imagens:

1 – formulários originais do diagnóstico sócio-econômico-ambiental do Projeto de Assentamento Tarumã Mirim realizado no último quadrimestre de 1999 pelo projeto Lumiar em 180 propriedades escolhidas ao acaso dentre os 856 lotes ocupados na época, totalizando 2.591 hectares;

2 - documentos e formulários que fazem parte do Sistema de Informações de Projetos de Reforma Agrária (SIPRA) do INCRA/AM que foram obtidos para todos os lotes a partir de 1993, tais como: a) informações para seleção de candidatos; b) informação do beneficiário; c) memorial descritivo do lote; d) laudo de Vistoria; e) declaração para cadastro de imóvel rural; e f) créditos Recebidos Atualizados.

3 - diagnóstico participativo realizado nas comunidades do Assentamento Tarumã Mirim durante o ano de 2005. As coordenadas geográficas dos limites de cada um dos 1.042 lotes do assentamento foram registradas em um sistema de informação geográfica (Arc View 3.2) para permitir a integração dos dados socioeconômicos e do uso e cobertura da terra de cada propriedade com os dados espaciais.

As informações de 2005 sobre a socioeconomia e os sistemas de uso da terra adotados e suas dimensões para cada lote foram comparadas com os dados de 1999 e forneceram subsídios para a determinação do modelo de dinâmica de uso da terra e taxas de desmatamento. Os diagnósticos socioeconômicos e de uso da terra foram aplicados em 240 famílias.

RESULTADOS

Socioeconômicos

A taxa de evasão é extremamente alta e aproximadamente 50 % dos lotes já foram abandonados, sendo que estes são rapidamente ocupados por outras famílias (José Brito Braga Filho, 2003, comunicação pessoal). Há repasse de lotes para pessoas que não se enquadram como clientes de reforma agrária devido à especulação imobiliária pela proximidade do assentamento a cidade de Manaus. Mais de 50 % dos lotes estão titulados e os restantes estão em tramitação no INCRA.

Apesar do bom estado da rodovia federal até a entrada do assentamento os ramais internos, que totalizam 81 km, são precários, principalmente na estação chuvosa, o que dificulta o escoamento da produção e a rota do ônibus que circula na área. Embarcações locais como “voadeiras” e “rabetas” transportam passageiros e cargas pelos rios principais e secundários até o porto localizado atrás do Tropical Hotel, ainda bastante distante do centro de Manaus, cujo traslado dá-se por ônibus urbano.

Aproximadamente 60 % dos residentes dos lotes estão em idade economicamente ativa entre 15 a 54 anos. A fonte de renda dos moradores provém principalmente da venda de produção agrícola e de carvão, pequenos estabelecimentos comerciais locais, diárias em serviços braçais, aposentadoria e, extrativismo. No entanto, a proximidade do assentamento da cidade de Manaus favorece a presença de sitiantes, pessoas que usam o lote para atividades de fim de semana, e de pessoas que possuem outras fontes urbanas de renda. Há três núcleos urbanos mais organizados com serviços comunitários como igrejas, escolas e postos médicos, mas não há água tratada e, os dejetos líquidos são despejados em locais inadequados e não há rede de energia elétrica. Há grande incidência de malária, leishmaniose, diarreia, verminoses, gripes e incidentes com animais peçonhentos é maior do que a capacidade de atendimento do único posto de saúde do assentamento. Sete escolas municipais de ensino fundamental funcionam no Assentamento, mas não há nenhuma de ensino médio.

A organização comunitária dá-se em associações representantes de cada uma das 17 comunidades e de um conselho comunitário criado em 1999 e que agrega todas as comunidades. A comunidade mais antiga é a de São Sebastião, criada em 1991, mas a maioria foi criada a partir de 1997 e estas novas comunidades são ainda inexperientes na busca da melhoria das condições de vida de seus moradores. Alguns projetos já foram idealizados, como o projeto de piscicultura de igarapé desenvolvido em conjunto com o INCRA/IDAM/INPA, e o plano de manejo comunitário, sendo desenvolvido em conjunto com a Universidade do Estado do Amazonas. O Instituto de Desenvolvimento Agropecuário do Amazonas (IDAM) presta assistência técnica aos assentados em um trabalho conjunto com os técnicos do Instituto Nacional de Reforma Agrária (INCRA), responsáveis pelo assentamento. Alguns treinamentos foram realizados com os produtores através de parceiras do Conselho Comunitário com os órgãos públicos como: formação de agentes comunitários de saúde e agentes ambientais comunitários, agente comunitário de segurança e oficina para capacitação de lideranças comunitárias. As principais conquistas realizadas pelas organizações comunitárias estão associadas ao apoio de órgãos públicos para construção de estradas, escolas, titulação dos lotes e financiamento do Programa de Crédito Especial para Reforma Agrária (PROCERA), incluindo crédito-alimentação, fomento e habitação. Até 1999, 100 % das famílias assentadas já haviam recebido créditos de alimentação e fomento e 60 % do total receberam crédito habitação.

Atividades produtivas do Assentamento Tarumã Mirim

O uso da madeira para produção de carvão é uma das principais fontes de renda do Assentamento. O carvão produzido no Assentamento é vendido na área urbana de Manaus por atravessadores a preço até 400 % maiores do que o pago aos carboeiros. Além disso, os trabalhadores desta atividade apresentam constantes problemas de saúde. As atividades agrícolas, limitadas pela falta de assistência técnica adequada e pela baixa fertilidade do solo, consistem principalmente da roça com culturas anuais, o pomar caseiro, a criação de galinha caipira, e o pequeno plantel de gado e pequenas hortas. As roças têm, em média, 2 ha e são formadas por mandioca e milho, feijão e arroz em menor escala, apesar do IDAM distribuir sementes dessas culturas. Os pomares caseiros são ainda na maioria incipientes, mas não há escoamento eficiente no assentamento para as principais frutas produzidas, como cupuaçu, coco, banana, graviola, caju, abacaxi, mamão e manga. Próximo aos pomares caseiros é bastante comum a presença de hortas suspensas, tidas como jiraus, onde, com adubo orgânico, plantam-se principalmente cebolinha, pimentas, chicória, couve e alfavaca. Poucos produtores criam gado, sendo que a média é de cinco cabeças por criador. Somente na Vicinal do Pau Rosa a criação de gado é mais intensa, com pastagem extensiva, em média com 40 cabeças.

O sistema de extrativismo no assentamento é baseado na coleta de frutos das palmeiras açai, bacaba, patauá, buruti e tucumã, na exploração madeireira, na pesca e principalmente na caça. A exploração madeireira é

realizada tanto para o consumo interno como para a comercialização de toras, realizada geralmente sem licenciamento do órgão ambiental, através de madeireiros provenientes de fora do assentamento. O produto da exploração madeireira tem mercado garantido, mas esta atividade, além de depauperar os recursos florestais da comunidade, propiciando uma baixa rentabilidade, danifica ainda mais os já precários ramais com o trânsito pesado dos caminhões das madeireiras que compram as toras diretamente nas propriedades.

Manejo das capoeiras como área em pousio

Em 2005 no Assentamento Tarumã Mirim 100 (42 %) das 240 propriedades de agricultura familiar pesquisadas não possuíam vegetação secundária, apesar de que as famílias estavam cultivando nos lotes há 8 anos e em média 13 % (Mediana= 10,1 %; EP= 1) da cobertura florestal original dos lotes, que têm tamanho médio de 29 ha (Mediana=27 ha; EP= 0,7), havia sido desmatada.

As vegetações secundárias em pousio dos lotes foram queimadas pelos agricultores com a idade média de apenas 1,91 anos (Mediana= 2 anos; EP= 0,12; N= 213), sendo que 89 das capoeiras são queimadas antes de 4 anos.

A extensão média de áreas de capoeira em pousio das propriedades em 2005 foi de 1,6 ha (Mediana= 1 ha; EP= 0,1; N= 140), sendo que constituíam

em média 26 % (Mediana= 25 %; EP= 1,8; N= 238) das áreas desmatadas dos lotes._

Em torno de 67 % das famílias antes de se instalarem no Assentamento, a partir de 1996-1997, não desempenhavam atividade agrícola e residiam em áreas urbanas, principalmente em Manaus. Oitenta por cento dos entrevistados não relacionaram capoeiras à recuperação da fertilidade do solo.

Estoques de biomassa e carbono nas capoeiras

Capoeiras com um ano de idade regenerando em áreas de agricultura acumularam em média 6,7 (\pm 0,6) t/ha de biomassa de vegetação com DAP \geq 1 cm) totalizando 12,9 t/ha (\pm 0,2) quando incluímos o extrato herbáceo (DAP < 1 cm) e a liteira, enquanto capoeiras de pastagem com um ano de idade não possuíam plantas com DAP \geq 1 cm e a biomassa de plantas com DAP < 1 cm e a necromassa da liteira totalizam 5,6 (\pm 0,2) t/ha. Com dois anos de idade capoeiras de agricultura acumularam 20,2 (\pm 0,8) t/ha e de pastagem 10,7 t/ha de plantas com DAP \geq 1 cm, quando incluímos a biomassa de plantas com DAP < 1 cm e a liteira a média da biomassa e do carbono estocado de capoeiras de agricultura foi de 28,2 (\pm 1,4) t/ha e 14,6 (\pm 0,7) t/ha, respectivamente, e a capoeira originada de pastagem acumulou 17,8 t/ha de biomassa e 9,3 t/ha (Figura e Tabela 1). A partir de quatro anos, dependendo do histórico de uso da terra, as capoeiras acumulam mais de 38 t/ha de biomassa aérea (liteira + plantas com DAP < 1 cm + plantas com DAP

≥ 1 cm) que contém mais de 20 t/ha de C/ha (Figura e Tabela 1), indicando maiores quantidades de matéria orgânica com potencial de uso para sistemas produtivos e fornecimento de serviços ambientais.

As capoeiras com histórico de uso de pastagem acumularam menos biomassa aérea e carbono do que as capoeiras originadas de agricultura com as mesmas idades ($t_{\text{pareado}} = 15,277$; $P = 0,004$), (Figura 1 e Tabela 1).

Os estoques de biomassas e carbono das capoeiras, a partir do segundo ano, são constituídos por mais de 50 % por árvores, cipós, palmeiras, arbustos e herbáceas com DAP ≥ 1 cm (Figura 1 e Tabela 1). Entretanto componentes como liteira e extrato herbáceo podem ser importantes fontes de nutrientes e ignição para o fogo e devem ser computados nas mensurações de estoques de biomassa e balanço de carbono.

Biomassa do extrato herbáceo (DAP < 1 cm) das vegetações secundárias

A biomassa de plantas vivas das capoeiras de pastagem com 1 ano de idade é constituída somente de plantas com DAP < 1 cm, enquanto que a vegetação secundária originadas de áreas agrícolas já é constituída em média por 92 % de indivíduos com DAP ≥ 1 cm (Figura 1). Capoeiras de agricultura têm menor biomassa de plantas com DAP < 1 cm e estoques de carbono do que capoeiras originadas de áreas de pastagens ($F = 4,51$; $P = 0,044$) (Figura 1 e Tabela 1). Em média 8,5 % da biomassa das capoeiras originadas de agricultura com até dois anos de idade é constituída por

plantas com DAP < 1 cm enquanto que a biomassa de capoeiras de pastagens é constituída em média por 80,3 % pelo extrato herbáceo. A partir de três anos de idade a proporção da biomassa constituída pelas plantas com DAP < 1 cm é insignificante, sendo nas capoeiras de agricultura 1,8 % e nas capoeiras de pastagem 2,6 % da biomassa aérea viva (Figura 1 e Tabela 2).

Tabela 2. Estoques de biomassa aérea do estrato herbáceo (DAP < 1 cm) de capoeiras entre 1 a 2 anos e de capoeiras com mais de 3 anos de idade.

Idade da capoeira	Histórico de uso da terra da capoeira	Biomassa média de plantas com DAP < 1 cm	Percentual do total da biomassa aérea viva
≤2 anos	Agricultura	1,1 t/ha (±0,3)	8,5 % (±2,6)
	Pastagem	3,3 t/ha (±0,3)	80,3 % (±19,7)
≥3 anos	Agricultura	0,7 t/ha (±0,2)	1,8 % (±0,6)
	Pastagem	1,2 t/ha (±0,2)	2,6 % (±0,6)

Liteira de vegetações secundárias

A liteira é um importante componente das vegetações secundárias tanto de pastagem como de agricultura, sendo que até dois anos 40 % da biomassa aérea e do carbono total é constituída pela camada de necromassa fina (Figura 1 e Tabela 1). Até dois anos capoeiras de agricultura têm em média 6,2 (± 0,3) t/ha de liteira fina e capoeiras de pastagens têm em média 2,61 (± 0,7). Capoeiras originadas de áreas agrícolas acumulam liteira muito rapidamente, alcançando com um e dois anos de idade estoques equivalentes às de seis anos, que foi a idade mais avançada avaliada, com média de 6,2 (± 0,4) t/ha. No entanto, a necromassa da liteira de vegetações secundárias de áreas de pastagens, avaliadas até 15 anos, aumentou em relação a idade das capoeiras ($r^2= 0,84$; $P < 0,000$), e atinge a média de 7,7 (± 0,4) t/ha a partir de 11 anos (Figura 1).

Troncos mortos e carvão remanescentes das florestas primárias

Troncos mortos sobre o chão ou tocos de árvores de espécies florestais na vegetação secundária representam a biomassa remanescentes da floresta que os agricultores não conseguiram queimar. Nas capoeiras onde não houve coleta de troncos para produção de carvão o peso seco médio de madeira remanescente da floresta primária foi de 59,6 (\pm 4,8) t/ha, enquanto nas capoeiras onde houve exploração de carvão restam menores massas secas de madeira remanescente da floresta, tendo em média 21,3 (\pm 1,4) t/ha ($F= 50,36$; $P < 0,000$) (Figura 1). Os estoques de carbono nas madeiras e carvão remanescentes da floresta original também foram maiores nas capoeiras sem exploração de carvão (Tabela 1).

Sobre o solo (até 1 cm de profundidade) e na liteira das capoeiras havia depositado em média 1,2 (\pm 0,2) t/ha de carvão (partículas > 2 mm) (Figura 1). Não houve diminuição da quantidade de carvão depositado sobre o solo e na liteira com o aumento da idade da capoeira ($r^2= 0,048$; $P= 0,3$) e nem diferença entre a quantidade de carvão sobre o solo de capoeiras cujas madeiras foram extraídas para produção de carvão e as que não foram ($F= 0,059$; $P= 0,811$). Também não houve relação entre o número de vezes que a área de capoeira foi submetida a queimadas após a queima da floresta original e a quantidade de carvão depositado sobre o solo ($r^2= 0,0$; $P= 0,975$).

Riqueza de espécies x biomassa

As capoeiras com histórico de uso de agricultura têm maior número de espécies de plantas com DAP ≥ 1 cm do que as capoeiras originadas de pastagem (Figura 2) ($F= 11,92$; $P= 0,003$). O número de espécies da regeneração natural de áreas de agricultura aumentou rapidamente em relação à idade da capoeira na amplitude de seis anos avaliada ($r^2= 0,847$; $P < 0,000$), alcançando em média 40 espécies por 100 m². Entretanto o número de espécies das capoeiras originadas de áreas de pastagens não aumentou com a idade da capoeira ($r^2= 0,0782$; $P= 0,781$), atingindo aos 15 anos 16 espécies por 100 m².

As espécies com maior número de indivíduos e freqüentes na maioria das capoeiras foram as pertencentes ao gênero *Vismia* (*V. guianensis*, *V. cayennensis*, *V. japurensis* e *V. latifolia* e *V. macrophylla* – em ordem decrescente) e do gênero *Cecropia* (*C. ulei*, *C. obtusa*, *C. distachya* e *C. sciadophylla* – em ordem decrescente). A biomassa e o número de indivíduos de capoeiras de agricultura, que foram predominantemente constituídos pelo gênero *Vismia*, apesar de que em menor proporção do que capoeiras de pastagens tiveram maior contribuição de outras espécies do que capoeiras com histórico de uso de pastagem (Figura 2 e Figura 3). As capoeiras de áreas agrícolas com um ano de idade têm pelo menos 50 % de seus indivíduos pertencentes ao gênero *Cecropia* e o gênero *Vismia* contribui com menos de 1 % do número total de 14.200 indivíduos por hectare. Porém o domínio do gênero *Cecropia* nas capoeiras de áreas agrícolas a partir de dois

anos é substituído pelo gênero *Vismia* que até quatro anos constitui em média 40 % dos indivíduos. Com seis anos de idade a contribuição de outras espécies, como *Goupia glabra* e *Laetia procera* aumenta, mas o gênero *Vismia* ainda representa 20 % do número médio total de 7.000 indivíduos, enquanto o gênero *Cecropia* apenas 3 % (Figura 2 A). No entanto, as capoeiras com histórico de uso de pastagem têm até 15 anos, no mínimo, 40 % dos indivíduos pertencentes ao gênero *Vismia*. Contudo, o gênero *Cecropia* constitui no máximo 14 % do total de 17.000 indivíduos somente na fase de colonização inicial, até dois anos de idade, e em torno de 1,5 % do total de aproximadamente 8.000 indivíduos das capoeiras de pastagem entre 11 e 15 anos de idade (Figura 2 B).

A contribuição do gênero *Cecropia* à biomassa das vegetações secundárias estudadas é consideravelmente menor do que a do gênero *Vismia* e, também proporcionalmente menor a contribuição deste gênero ao número de indivíduos (Figura 3 e Figura 4). A percentagem de indivíduos do gênero *Vismia* é inversamente proporcional a riqueza de espécies da vegetação secundária ($r^2 = 0,762$; $P < 0,0001$), entretanto, a diversidade florística não é relacionado a percentagem do gênero *Cecropia* existente nas capoeiras avaliadas ($r^2 = 0,01$; $P < 0,092$).

DISCUSSÃO

Esta pesquisa buscou refinar as estimativas dos estoques de biomassa e de carbono da regeneração natural e de sistemas de produção, e aspectos

socioeconômicos da comunidade envolvida, o que poderá servir de base para a avaliação de possibilidades mitigadoras do efeito estufa no setor florestal e agrícola na Amazônia Central. Alternativas para substituir a tradicional prática de derruba e queima da vegetação, utilizada para converter a biomassa vegetal em cinzas no preparo de áreas para o plantio, vêm sendo propostas (Brienza Júnior, 1999; Kato *et al.*, 1999; Kato e Kato, 2000; Vielhauer e Sá, 2000). No entanto, no assentamento avaliado a prática mais adotada para implantação de sistema produtivo ainda é a derruba e queima da vegetação secundária, com o agravante de que esta prática está sendo utilizada cada vez mais em capoeiras com menores períodos de pousio e baixo estoque de biomassa e nutrientes. Este fato decorre de diferentes fatores tais como pressão sobre a terra, uso de práticas de remoção da vegetação rudimentares, carência e má assistência técnica e principalmente maior garantia de manutenção da posse da terra pelo órgão de reforma agrária.

A conversão das florestas tropicais em áreas causa a perda anual de 1,6 (\pm 0,5) Pg de carbono (Brown *et al.*, 1996) por isso apesar da Amazônia ter a mais extensa cobertura florestal do planeta é atualmente uma das grandes fontes de carbono para a atmosfera. Estimativas de estoques de carbono dependem de quais compartimentos estão sendo medidos, as equações utilizadas para estimar a biomassa e o tipo de análise laboratorial (Brown, 1998).

O grande acúmulo de necromassa fina nas capoeiras originadas de áreas agrícolas desde o primeiro ano pode estar relacionado a matéria orgânica

remanescente da floresta primária e a má combustão das queimadas realizadas associado com a eficiência de captura de nutrientes das vegetações secundárias. Grandes biomassas de liteiras da vegetação secundária podem estar associadas, também, a menor taxa de decomposição desse ambiente e a maior concentração de ligninas e compostos secundários (Mckerrow, 1992; Tapia *et al.*, 2005).

As capoeiras com histórico de uso de agricultura têm maior número de espécies de plantas com DAP ≥ 1 cm do que as capoeiras originadas de pastagem. O número de espécies da regeneração natural de áreas de agricultura na amplitude de seis anos avaliada aumentou rapidamente em relação à idade da capoeira alcançando em média 40 espécies. As capoeiras originadas de áreas de pastagens, que foram pastejadas em média durante 6,2 anos, tiveram seu potencial regenerativo comprometido sendo que o número de espécies não aumentou com a idade da capoeira, atingindo aos 15 anos somente 16 espécies, número equivalente ao observado nas capoeiras de pastagens com histórico de uso de oito anos de pastejo da Embrapa Amazônia Ocidental avaliadas no Capítulo 2.

As espécies do gênero *Vismia* são *constituintes* predominantes do número de indivíduos e da biomassa das capoeiras avaliadas tanto com histórico de uso de agricultura quanto de pastagem, apesar que em proporção maior nestas do que naquelas. Indivíduos de espécies de pequeno porte do gênero *Cecropia* *predominam somente na regeneração natural de áreas agrícolas até um ano de idade e em menor proporção nas capoeiras com histórico de*

pastagem com dois anos de idade. As capoeiras avaliadas situam-se a pelo menos 50 m das bordas das florestas e, portanto o número de indivíduos da pioneira de grande porte *Cecropia sciadophylla*, típica do ecótono floresta/capoeira na Amazônia Central, foi insignificante.

A biomassa e o número de indivíduos de capoeiras de agricultura, que foram predominantemente constituídos pelo gênero *Vismia* apesar de que em menor proporção do que capoeiras de pastagens tiveram maior contribuição de outras espécies do que capoeiras com histórico de uso de pastagem (Figura 2 e Figura 3).

Para manter os estoques de biomassa e seqüestrar carbono em comunidades agrícolas é necessário, além de conservar os remanescentes de florestas nativas, armazenar carbono no solo e nas vegetações através da regeneração natural e de plantios agroflorestais. Quanto mais eficiente for o uso da terra das áreas agrícolas, menor será a necessidade de novos desmatamentos sobre florestas primárias e sobre as capoeiras abandonadas, que podem inclusive ser enriquecidas com espécies de importância econômica para as comunidades.

As capoeiras do Assentamento Tarumã Mirim são em média queimadas com 1,9 anos, tempo insuficiente para a biomassa acumulada ser capaz de fornecer quantidades adequadas de matéria orgânica cujo manejo possibilitaria o desenvolvimento exitoso de sistemas produtivos (McKerrow, 1992) e fornecimento de serviços ambientais. Esta prática de curtos períodos

de pousios poderá afetar a fertilidade do solo de áreas agrícolas (Brienza Júnior, 1999). Assim, novas áreas porventura serão necessárias, podendo acarretar no aumento da taxa de desmatamento de florestas primárias. A idade média de vegetações secundárias na Amazônia em 1978 era de 4,4 anos e em 2002 aumentou para 4,8 anos (Neeff *et al.*, 2006), indicando que a baixa idade das capoeiras do Assentamento Tarumã Mirim pode estar relacionada a características intrínseca do assentamento, tais como o histórico de vida das famílias, qualidade da assistência técnica prestada e conceitos equivocados impostos pelo INCRA relativos ao significado das áreas “encapoeiradas”.

Há uma mentalidade entre os agricultores, implantada pela ação dos órgãos governamentais de assistência técnica que atuam na área, de que a presença de capoeiras na propriedade é associada ao desleixo. Dessa maneira, ocorrem sucessivas queimas da vegetação secundária de uma mesma área com a finalidade de “limpeza” sem que necessariamente haja cultivo agrícola. A dominância de assentados sem tradição agrícola e com origem urbana está relacionada ao fato destes agricultores não associarem devidamente a vegetação secundária como mecanismo de recuperação da fertilidade do solo ou fonte de plantas úteis.

O estoque de carbono depende da produção total de biomassa da vegetação, que por sua vez, é o resultado da diferença entre a produção pela fotossíntese e o consumo pela respiração e processos de colheita, como por exemplo extração de madeira (Brown, 1997). Muitos processos que

influenciam o consumo líquido de carbono estão além do manejo humano direto, mas alguns sistemas podem ser manejados para aumentar o seqüestro e diminuir a emissão. Ao contrário de grandes plantações empresariais para celulose e carvão, o seqüestro de carbono promovido por pequenos produtores, com sistemas produtivos diversificados, comumente tem estreita relação com outros serviços ambientais como preservação da biodiversidade, conservação do solo e dos recursos hídricos e desmatamento evitado.

Oferecer perspectivas de uso contínuo da terra, minimizando a necessidade de novos desmatamentos pode ser a mais significativa contribuição dos sistemas sustentáveis de uso da terra baseados em árvores quanto à minimização da liberação de gases de efeito estufa. A redução do desmatamento tem grande potencial de mitigação do aquecimento global, e seu benefício por unidade de área é aproximadamente quatro vezes o de plantios silviculturais estabelecidos para celulose e laminados em um período de 100 anos (Fearnside, 1995).

As informações obtidas no presente trabalho indicam que são necessárias políticas de capacitação e assistência técnica voltadas para o uso sustentável das capoeiras, assim como a viabilização urgente de mecanismos de mercado do carbono que elas potencialmente podem fornecer. O desafio maior a ser vencido é mostrar que a vegetação secundária não é somente a representação do fracasso da justificativa social do desmatamento (Costa, 2006) e pode desempenhar maiores serviços ecossistêmicos, à medida que

fica mais velha, e gerar renda direta (produtos madeireiros e não-madeireiros) e indireta (forragem para abelhas). Por outro lado, para que pequenos produtores tenham compensações econômicas pelos serviços ambientais que oferecem à humanidade é necessário avaliar se o pagamento por estes serviços propostos pelos projetos internacionais de aproximadamente US\$ 5,00 por tonelada de carbono (IPCC, 2000), é suficiente para estimular a adoção de práticas seqüestradoras de carbono.

Considerando o valor irrisório por tonelada de carbono pago pelo mercado internacional e a média da extensão da área de vegetação secundária por propriedade de 0,91 ha e a duração média de pousio de 1,9 anos no Assentamento Tarumã Mirim, o que uma família rural lucraria anualmente com a média de 5,9 toneladas de C/ano acumuladas pelas biomassas aéreas das capoeiras originadas de áreas agrícolas não seria suficientemente atrativo para os agricultores. Entretanto, se o mercado passar a ter um valor diferenciado para o carbono fixado pela agricultura familiar, e considerar as áreas de plantios agroflorestais e, principalmente, o desmatamento evitado das florestas, o potencial de comercialização do carbono agregaria valor aos demais sistemas produtivos, o que compensaria financeiramente a preservação da floresta e a adoção de práticas sustentáveis acumuladoras de carbono, inclusive o enriquecimento de capoeiras e o pousio melhorado.

BIBLIOGRAFICA CITADA

Alves, D.S. 2002. Space-time dynamics of deforestation in Brazilian Amazonia. *International Journal of Remote Sensing*, 23(14):2903-2908.

Alves, D.S.; Soares, J.V.S.; Amaral, E.M.K.; Mello, S.A.S.; Almeida, O.F.S.; Silveira, M. 1997. Biomass of primary and secondary vegetation in Rondônia, Western Brazilian Amazon. *Global Change Biology*, 3: 451-461.

Brienza Júnior. S., 1999. *Biomass dynamics of fallow vegetation enriched with leguminous trees in Eastern Amazon region*. Dissertation (PhD). University of Goettingen, Goettingen, Alemanha. 133pp.

Brown, S. 1998. Present and future role of forests in global climate changes. *In: Gopal, B.; Pathak, P.S.; Saxena, K.G. (Eds). Ecology today*. International Scientific Publication, New Delhi. p. 59-74.

Brown, S.; Lugo, A.E. 1990. Tropical secondary forests. *J. Tropical Ecology*. 6: 1-32.

Brown, S.; Lugo, A.E. 1992. Aboveground biomass estimates for tropical moist forests in the Brazilian Amazon. *Interciencia*, 17(1): 8-18.

Brown, S. 1997. *Estimating biomass and biomass change of tropical forests: a primer*. FAO- Forest Resources Assessment - Forestry Paper, 134, FAO, Roma, Italia. 57p.

Costa, F. de A, 2006. *Capoeiras, inovações e tecnologias rurais concorrentes na Amazônia*. In: Hurtienne, T.; Kawageh, C. (Eds) Inovação e difusão tecnológica para a sustentabilidade da agricultura familiar na Amazônia: resultados e implicações do Projeto SHIFT Socioeconomia. UFPA/NAEA Belém. 287p

Denich, M. 1991. *Estudo da importância de uma vegetação secundária nova para o incremento da produtividade do sistema de produção na Amazônia oriental brasileira*. Tese de Doutorado - Universidade Georg August de Goettingen - Alemanha. EMBRAPA/CPATU, Belém. 284pp.

Detwiler, R.P.; Hall, C.A.S. 1988. Tropical forest and the global carbon cycle. *Science*, 239: 42-50.

Fearnside, P.M. 1996. Amazonian deforestation and global warming: carbon stocks in vegetation replacing Brazil's Amazon forest. *Forest Ecology and Management*, 80: 21-34.

Fearnside, P. M. 1997. Greenhouse gases from deforestation in Brazilian Amazonia: Net committed emissions. *Climatic Change*, 35(3): 321-360.

Fearnside, P.M. 2000. O potencial do setor florestal brasileiro para mitigação do efeito estufa sob o "Mecanismo de Desenvolvimento Limpo" do Protocolo de Kyoto. In: Moreira, A.G.; Schwartzman, S. eds. *As mudanças climáticas e os ecossistemas brasileiros*. Brasília: IPAM/WHRC, p. 59-74.

Fearnside, P.M.; Guimarães, W.M. 1996. Carbon uptake by secondary forests in Brazilian Amazonia. *Forest Ecology and Management*, 80: 35-46.

Fearnside, P.M.; Meira Filho, L.G.; Tardim, A.T. 1990. Deforestation rate in Brazilian Amazonia. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, SP.

Homma, A.K.O.; Walker, R.T.; Scatena, F.N.; Conto, A.J.; Carvalho, R.A.; Ferreira, C.A.P.; Santos, A.I.M., 1998. Redução dos desmatamentos na Amazônia: política agrícola ou ambiental? In: Homma, A.K.O. (Ed). *Amazônia: meio ambiente e desenvolvimento agrícola*. Embrapa-SPI, Brasília. p. 120-141.

IGBP, 1998. International Geosphere – Biosphere Programme (www.igbp.kva.se/cgi-bin/php). Acesso: 20/11/2007

INCRA-AM. 1999. Informações do Projeto de Assentamento Tarumã-Mirim. INCRA, Manaus. 67pp

INCRA-AM/LUMIAR, 1999. Diagnóstico Sócio-Ambiental do Projeto de Assentamento Tarumã Mirim. Manaus.45pp

IPCC, 2000. Land Use, Land Use change and forestry. IPCC special report. Summary for policy makers. Intergovernmental Panel on Climate Change. (www.ipcc.ch/pub/srlulucf-e.pdf). Acesso em: 20/10/2005.

Johnson, C.M.; Vieira, I.C.G.; Zarin, D.J.; Frizano, J.; Johnson, A.H. 2001. Carbon and nutrient storage in primary and secondary forests in eastern Amazonia. *Forest Ecology and Management*, 147: 245-252.

Kato, M.S.A.; Kato, O.R. 2000. Preparo de área sem queima, uma alternativa para a agricultura de derruba e queima na Amazônia oriental: Aspectos agroecológicos. In: *Seminário sobre manejo de vegetação secundária para a sustentabilidade da agricultura familiar da Amazônia Oriental*. Belém. Anais. p 35-37.

Kato, M.S.A.; Kato, O.R.; Denich, M.; Vlek, P.L.G. 1999. Fire-free alternatives to slash-and-burn for shifting cultivation in the eastern Amazon region: the role of fertilizers. *Field Crops Research*, 62: 225-237.

Lucas, R.M.; Curran, P.J.; Honzak, M.; Foody, G.M.; Amaral, I.; Amaral, S. 1996. Disturbance and recovery of tropical forests: Balancing the carbon account. In: Gash, J.H.C.; Nobre, C.A.; Roberts, J.M.; Victoria, R.L. (Eds) *Amazonian Deforestation and Climate*, John Wiley and Sons, Chichester, p. 383-398.

Lucas, R.M.; Honzak, M.; Curran P.J.; Foody, G.M.; Milnes, R.; Brown, T.; Amaral, S. 2000. Mapping the regional extent of tropical forest regeneration stages in the Brazilian Legal Amazon using NOAA AVHRR data. *Internacional Journal Remote Sensing*, 21(15): 2855–81.

McKerrow, A.J. 1992. *Nutrient stocks in abandoned pastures of the Central Amazon Basin prior to and following cutting and burning*. Tese (MS), North Carolina State University, Raleigh, North Carolina, E.U.A.. 116pp

MCT, 1998. Ministério de Ciência e Tecnologia (www.mct.gov.br). Acesso em: 25/10/2005

Neeff, T.; Graça, P.M.A.; Dutra, L.V.; Freitas, C.C. 2005. Carbon budget estimation in Central Amazonia: sucessional forest modeling from remote sensing data. *Remote Sensing Environment*, 94:508–22.

Neeff, T.; Lucas, R.M.; Santos, J.R.; Brondizio, E.S.; Freitas, C.C. 2006. Area and age of secondary forests in Brazilian Amazonia 1978–2002: An empirical estimate. *Ecosystems*, 9(4): 609-623.

Nepstad, D.C.; Uhl, C.; Serrão, E.A.S. 1991. Recuperation of a degraded Amazon landscape: Forest recovery and agricultural restoration. *Ambio*, 20:248-255

Nobre, C.A.; Sellers, P.J.; Shukla, J. 1991. Amazonian deforestation and regional climate change. *J. Climate*, 4: 957-988.

Overman, J.P.M.; Witte, H.J. L.; Saldarriaga, J.G. 1994. Evaluation of regression models for above-ground biomass determination in Amazon rainforest. *Journal of Tropical Ecology*, 10:207-218.

Perz, S.G; Skole. D.L. 2003. Secondary forest expansion in the Brazilian Amazon and the refinement of forest transition theory. *Society and Natural Resources*, 16: 277-294.

PROAMBIENTE/FETAGRI-AM. 2002. Diagnóstico Rápido e Participativo do Pólo Pioneiro do PROAMBIENTE no Estado do Amazonas – Município de Manaus (Projeto de Assentamento Tarumã-Mirim) e Município de Rio Preto da Eva. Manaus, outubro, 2002. 69pp.

Saldarriaga, J.G.; West, D.C.; Tharp, M.L.; Uhl, C. 1988. Long-term chronosequence of forest succession in the upper Rio Negro of Colombia and Venezuela. *Journal of Ecology*, 76: 938-958

Serrão, E.A.S; Falesi, I.C.; Veiga, J.B.; Teixeira, J.F. 1979. Productivity of cultivated pastures on low fertility soils of the Amazon Basin. In: P.A. Sanchez; L.E. Tergas (Eds). *Pasture production in acid soils of the Tropics*. CIAT, Seminar, Cali, Colombia. p. 195-225.

Silva, F. C. 1999. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. EMBRAPA Comunicação para Transferência de Tecnologia, Brasília, DF. 370pp.

Silver, W.L.; Ostertag, R.; Lugo, A.E. 2000. The potential for carbon sequestration through reforestation of abandoned tropical agricultural and pasture lands. *Restoration Ecology*, 8: 394-407.

Souza, Jr. C.; Veríssimo, A.; Costa, A. 2008. *Transparência Florestal da Amazônia Legal*, 4. Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia (Imazon). (<http://www.imazon.org.br/publicacoes/publicacao.asp?id=578>). Acesso: 5/10/2008.

Uhl, C.; Buschbacher, R.; Serrão, E.A.S.; 1988. Abandoned pastures in eastern Amazonia. I. Patterns of plant succession. *Journal of Ecology*, 76: 663-681.

Uhl, C.; Kauffman, J.B. 1990. Deforestation, fire susceptibility, and potential tree responses to fire in the eastern Amazon. *Ecology*, 71(2): 437-449.

UTAM 2002. Relatório do Inventário Florestal (Volume e Biomassa) do Assentamento Tarumã-Mirim. Convênio 004/99 IPAAM/UTAM, Manaus, AM. 52pp.

Victoria, R.L.; Brown, I.F.; Martonelli, L.A.; Salati, E. 1991. A Amazônia brasileira e seu papel no aumento da concentração de CO₂ na atmosfera brasileira. In: Val, A.L. (Eds). *Bases científicas para estratégias de preservação e desenvolvimento da Amazônia*. Vol. 1. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, Amazonas.

Vieira, I.C.G.; Nepstad, D.C.; Brienza Júnior, S.; Pereira, C.A. 1993. A importância de áreas degradadas no contexto agrícola e ecológico da Amazônia. In: Ferreira, E.J.; Santos, G.M.; Leão, E.L.; Oliveira, L.A. (Eds). *Bases científicas para estratégias de preservação e desenvolvimento da Amazônia*. Vol. 2. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, Amazonas. p. 43-53.

Vielhauer, K.; Sá, T.D.A. 2000. Efeito do enriquecimento de capoeiras com árvores leguminosas de rápido crescimento para produção agrícola no Nordeste Paraense. In: Seminário sobre Manejo de Vegetação Secundária para a Sustentabilidade da Agricultura familiar da Amazônia Oriental. Belém. Anais, p. 27-34.

Vitousek, P.M.; Mooney, H.A.; Lubchenco, J.; Melillo, J.M. 1997. Human domination of earth's ecosystems. *Science*, 277: 494-499.

Woomer, P.L.; Palm, C.A.; Alegre, J.; Castilla, C.; Cordeiro, D.G.; Hairiah, K.; Kotto-Same, J.; Moukam, A.; Riese, A.; Rodrigues, V.; van Noordwijk, M. 1999. Slash-and-burn effects on carbon stocks in the humid tropics. In: Lal, R.; Kimble, J.M.; Stewart, B.A. (Eds). *Global climate change and tropical ecosystems*. Advances in Soil Science, CRC, Boca Raton, p. 99-115.

Wright, I.R.; Manzi, A.O.; Rocha, H.R.; Shuttleworth, W.J.; Nobre, C.A.; Maitelli, G.T.M.; Zamporoni, C.A.G.P.; Carvalho, P.R.A. 1992. Dry season micrometeorology of central Amazonian ranchland. *Q.J.R. Meteorol*, 75: 51-70.

FIGURAS E TABELAS DO CAPÍTULO 3

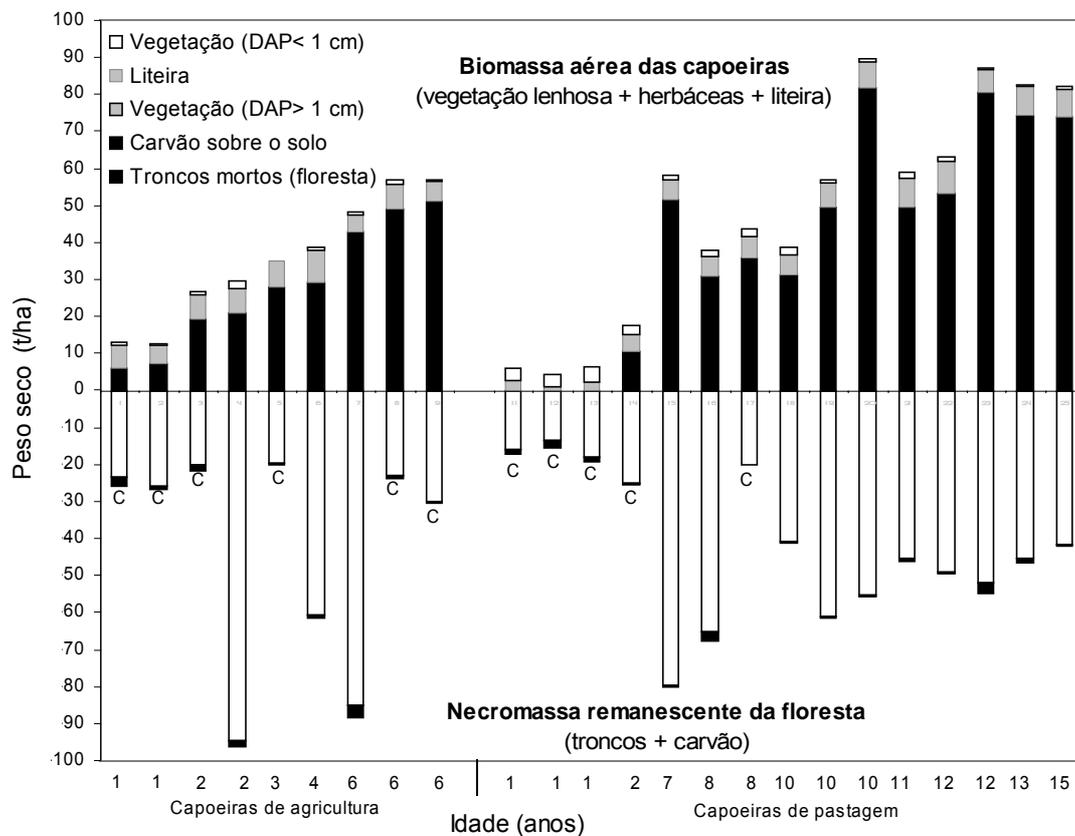


Figura 1. Compartimentalização da biomassa aérea de capoeiras (vegetação do sub-bosque com DAP < 1 cm; vegetação com DAP ≥ 1 cm; e liteira) e peso seco do carvão sob o solo e da necromassa dos troncos mortos remanescentes da floresta primária de capoeiras de diferentes idades originadas de áreas abandonadas de agricultura itinerante e de pastagem, no Assentamento Tarumã Mirim. A letra “C” abaixo das colunas indica as áreas de capoeiras cujos troncos da floresta original foram explorados para carvão. Detalhes dos históricos de uso das capoeiras são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Carbono da biomassa aérea total (vegetação com DAP < 1 cm; vegetação com DAP ≥ 1 cm; e liteira) e da massa seca do carvão sobre o solo e dos troncos mortos remanescentes da floresta primária de 24 capoeiras de diferentes idades, sistemas de uso da terra anterior (A – agricultura; P – pastagem), tempo de uso da terra e número de queimadas).

Capoeira	Idade (anos)	Tempo de uso da terra (anos)	Número de queimadas	Sistema de uso da terra	Exploração para carvão	Biomassa DAP ≥ 1 cm (kg/ha)	Biomassa DAP < 1 cm (kg/ha)	Liteira fina (kg/ha)	Total Biomassa aérea (kg/ha)	Troncos mortos floresta (kg/ha)	Carvão (kg/ha)	Total Biomassa (aérea + troncos mortos da floresta + carvão)
1	1	1	2	A	sim	3,17	0,59	3,09	6,85	12,06	2,02	10,88
2	1	1	2	A	sim	3,81	0,18	2,61	6,60	13,47	0,80	10,85
3	2	2	2	A	sim	10,10	0,54	3,30	13,94	10,51	1,22	13,35
4	2	1	1	A	não	10,91	1,03	3,40	15,34	49,19	1,50	34,33
5	3	2	2	A	sim	14,55	0,10	3,57	18,22	10,27	0,27	14,95
6	4	8	5	A	não	15,19	0,56	4,43	20,18	31,63	0,39	27,14
7	6	1,5	1	A	não	22,30	0,41	2,42	25,12	44,30	2,45	37,38
8	6	1	1	A	sim	25,62	0,66	3,31	29,60	11,85	0,79	21,97
9	6	1	1	A	sim	26,66	0,12	2,80	29,57	15,66	0,31	23,69
10	1	10	10	P	sim	0,00	1,64	1,47	3,11	8,30	0,98	6,45
11	1	10	10	P	sim	0,00	1,70	0,54	2,24	6,91	1,78	5,68
12	1	6	6	P	sim	0,00	2,13	1,21	3,34	9,38	1,10	7,19
13	2	4	4	P	sim	5,56	1,48	2,21	9,25	12,98	0,53	11,83
14	7	4	2	P	não	26,84	0,74	2,67	30,26	41,36	0,61	37,56
15	8	5	3	P	não	15,94	0,86	2,82	19,62	33	1,96	28,90
16	8	10	5	P	sim	18,63	0,92	3,11	22,66	10,38	0,18	17,27
17	10	9	5	P	não	16,17	1,03	2,84	20,04	21,25	0,27	21,62
18	10	4	2	P	não	25,62	0,50	3,58	29,71	31,65	0,36	32,10
19	10	3	2	P	não	42,62	0,35	3,64	46,60	28,66	0,31	39,30
20	11	8	3	P	não	25,75	0,91	4,10	30,77	23,58	0,61	28,57
21	12	8	3	P	não	27,63	0,57	4,64	32,83	25,45	0,55	30,59
22	12	3	2	P	não	41,92	0,13	3,24	45,29	27	2,42	38,85
23	13	5	3	P	não	38,63	0,24	4,05	42,92	23,49	0,96	35,04
24	15	7	2	P	não	38,33	0,51	3,97	42,81	21,53	0,36	33,65

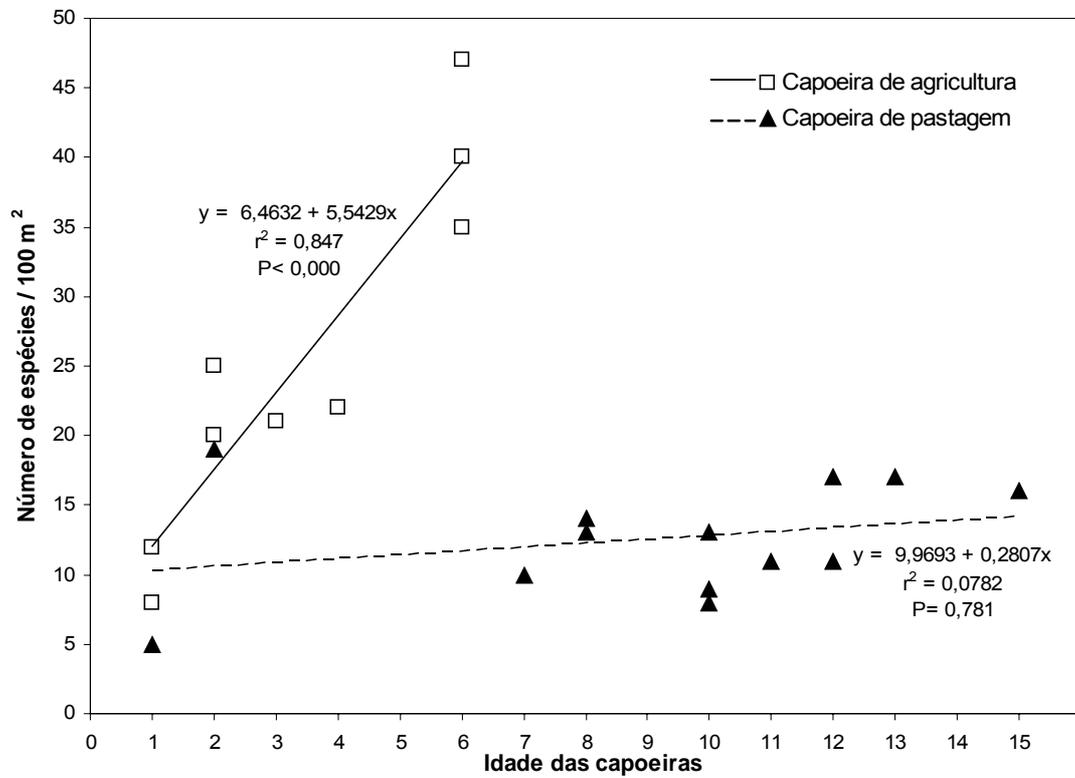


Figura 2. Número de espécies de plantas com DAP ≥ 1 cm de vegetações secundárias originadas de áreas de agricultura e de áreas de pastagens em relação a idade da capoeira.

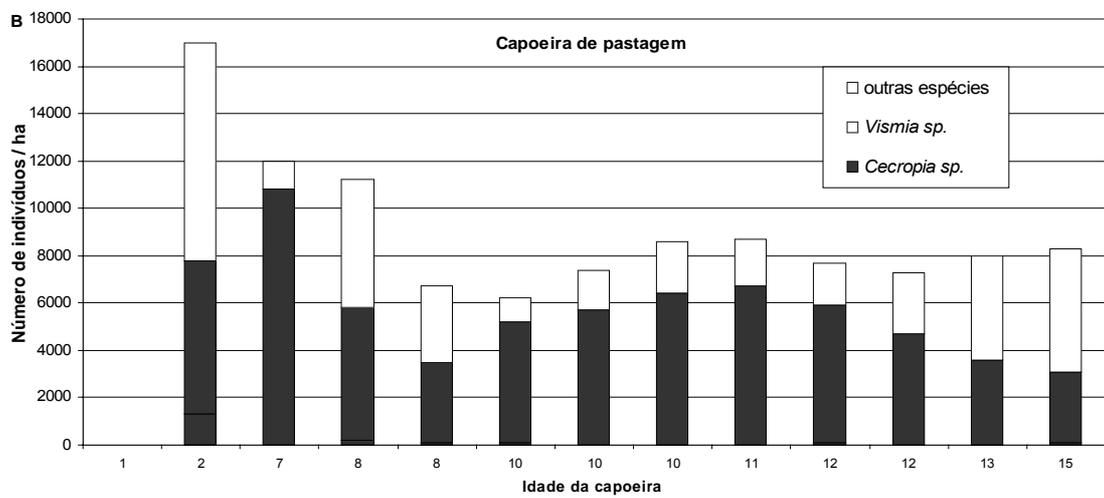
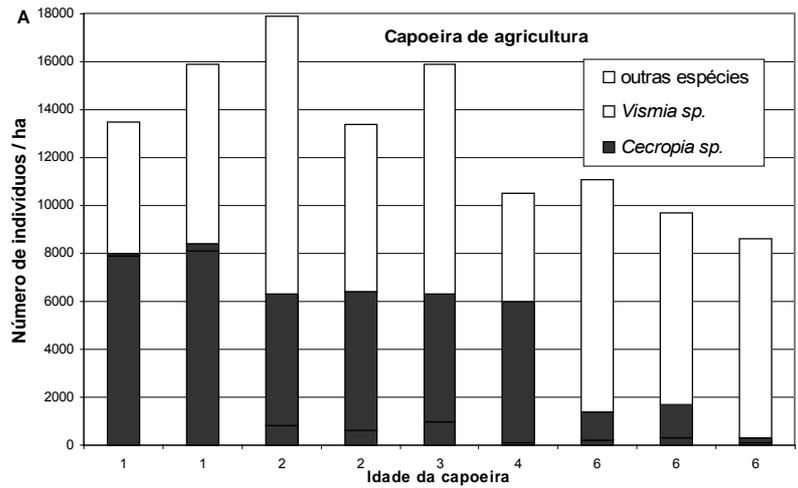


Figura 3. Número de indivíduos de plantas com DAP ≥ 1 cm dos dois gêneros dominantes e presentes na maioria das vegetações secundárias de diferentes idades de áreas de agricultura (A) e áreas de pastagens (B).

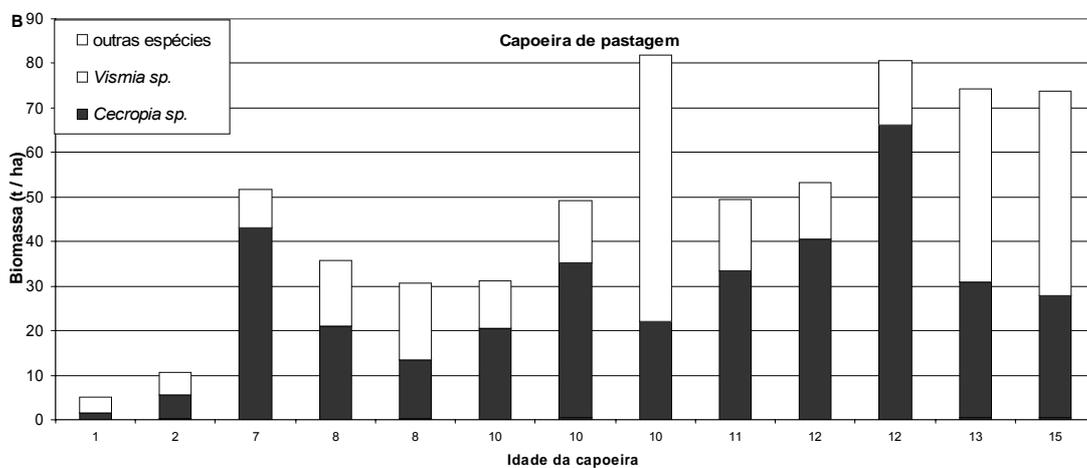
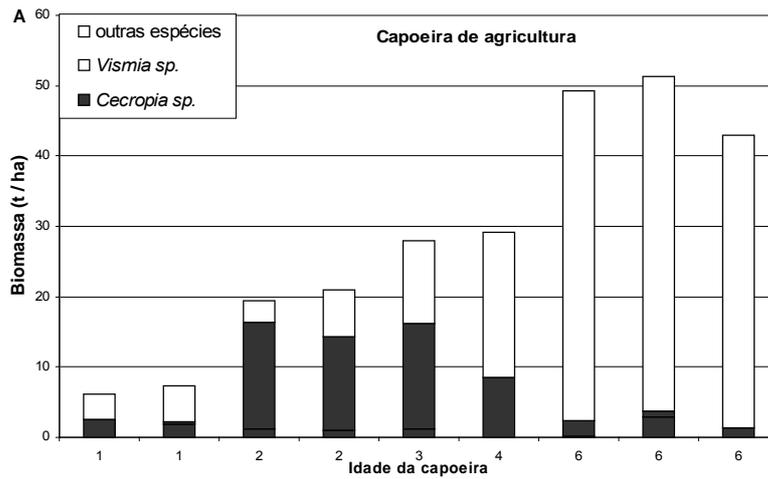


Figura 4. Biomassa (t/ha) de indivíduos de plantas com DAP ≥ 1 cm dos dois gêneros dominantes e presentes na maioria das vegetações secundárias de diferentes idades de áreas de agricultura (A) e áreas de pastagens (B). Como as capoeiras de áreas de pastagem com 1 ano de idade não possuíam indivíduos com DAP ≥ 1 cm, os dados relativos a esta idade representam a média da biomassa total do gênero *Vismia* com DAP < 1 cm de três capoeiras de 1 ano e a biomassa relativa a outras espécies é formada por plantas herbáceas dominadas por *Rolandra fruticosa* e *Borreria verticilata*.

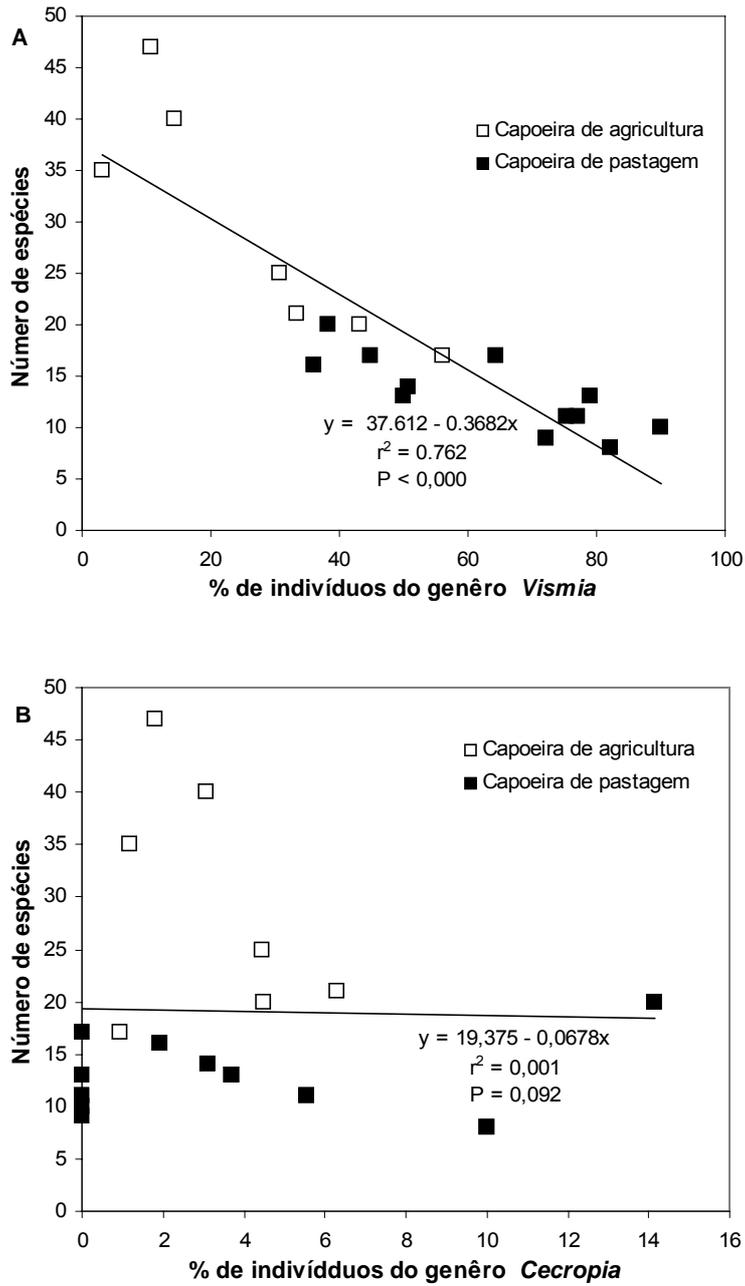


Figura 5. Relação entre a percentagem de indivíduos do gênero *Vismia* (A) e do gênero *Cecropia* (B) e o número de espécies presentes em capoeiras de agricultura e de pastagem a partir de 2 anos de idade.

CONCLUSÕES GERAIS

Um conjunto de modelos alométricos foi desenvolvido e testado para estimar indiretamente a biomassa de vegetações secundárias da Amazônia Central brasileira cujo erro de estimativa foi de apenas 7 % em relação ao observado por meio de metodologia destrutiva diretas.

Modelos mais práticos de estimar o estoque de biomassa, mas menos precisos (erro médio de estimativa= 14 %) do que os derivados de medidas biométricas das árvores, foram desenvolvidos para estimar indiretamente a biomassa aérea (kg/ha), tendo como variáveis independentes o tempo de abandono da capoeira (anos), o tempo total de uso da terra (anos) e o número de vezes que a vegetação da área foi queimada. Esta metodologia é viável para comunidades rurais de regiões de terra firme da Amazônia Central que necessitam quantificar os estoques de carbono de suas capoeiras sem precisão refinada.

A variabilidade de valores de biomassa que os modelos alométricos podem produzir devido à grande heterogeneidade natural das populações, com diferentes idades, padrões morfológicos e condições fitossanitárias e devido à amplitude de históricos de usos e condições ambientais das vegetações amostradas, indica o cuidado que se deve ter ao escolher o modelo a ser utilizado. O tamanho limitado da área que se consegue amostrar com o trabalhoso método destrutivos também restringe a generalização dos resultados e sua aplicação deve se limitar à vegetações de idades e ecozonas com solo, clima e vegetação similares as das capoeiras avaliadas.

A idade da capoeira explicou 96 % da variação da biomassa da regeneração natural de áreas submetidas à agricultura itinerante, mas a biomassa da vegetação secundária de pastagens foi melhor determinada por um índice que contemplou, além da idade da capoeira, o tempo de uso da terra e o número de queimadas, e que explicou 96 % da variação).

Capoeiras originadas de áreas agrícolas têm o potencial regenerativo menos comprometido do que o de capoeiras originadas de áreas de pastagens e têm maior número de espécies e taxas de acúmulo de biomassa e carbono.

A atividade pecuária é mais impactante sobre os os processos sucessionais da regeneração natural do que a agricultura itinerante e, por isso, o estoque de biomassa das vegetações secundárias originadas de pastagens é determinado pela intensidade do uso prévio da terra como tempo de pastejo e frequência de queimadas, além de tempo de abandono (idade).

As espécies do gênero *Vismia* são *constituintes* predominantes do número de indivíduos e da biomassa das capoeiras avaliadas tanto com histórico de uso de agricultura quanto de pastagem, apesar de que em proporção maior nestas do que naquelas. Indivíduos de espécies de pequeno porte do gênero *Cecropia* predominam somente na regeneração natural de áreas agrícolas até um ano de idade e em menor proporção nas capoeiras com histórico de pastagem com dois anos de idade.

Nas vegetações secundárias monitoradas em parcelas permanentes do 3º ao 21º anos a taxa de acúmulo de biomassa não é linear, sendo que nos anos mais secos há estagnação e até perda de biomassa.

Evidências deste estudo sugerem que os serviços ambientais prestados por vegetações secundárias da Amazônia Central através do seqüestro de carbono podem ser minimizados com mudanças climáticas que levem a diminuição da pluviosidade da região.

A origem urbana das famílias do Assentamento Tarumã Mirim influencia as práticas de uso das vegetações secundárias, e conseqüentemente nos estoques de carbono, sendo que o conceito tradicional de que capoeiras recuperam a fertilidade do solo está sendo perdido.

No Assentamento Tarumã Mirim o tempo médio de pousio das capoeiras, antes de serem queimadas, foi de apenas 1,91 ($\pm 0,12$) anos, e 89 % das capoeiras foram queimadas antes de 4 anos, com biomassa aérea média acumulada de apenas 4,7 t/ha ($DAP \geq 1$ cm). A vegetação secundária é removida pelos agricultores pela prática de derruba e queima com o principal objetivo de limpar o terreno, pois em torno de 60 % das vezes que esta prática é adotada não há o subseqüente plantio de cultivares agrícolas. A extensão média da área de capoeira nas propriedades dos agricultores familiares foi de 0,91 ha ($\pm 0,1$) e 100 das 240 propriedades rurais pesquisadas não possuíam capoeiras. Maiores extensões de vegetações secundárias estão presentes nas propriedades de pecuaristas.

O baixo tempo de permanência da vegetação secundária em pousio, a grande frequência de queimadas e a redução do hábito do agricultor de recuperar a fertilidade por meio da regeneração de capoeiras tenderão a afetar a fertilidade do solo e, assim, ampliar o desmatamento sobre novas áreas de florestas primárias e comprometer ainda mais os estoques de carbono da região.

Apesar do alto potencial de seqüestro de carbono, por unidade de área, da vegetação secundária desta região da Amazônia Central, o valor por tonelada de carbono pago pelo mercado internacional é irrisório e no Assentamento Tarumã Mirim a média da extensão da área de vegetação secundária por propriedade é pequena e a idade da capoeira quando sua biomassa é queimada é baixa. Portanto, o que uma família rural lucraria anualmente pelo carbono acumulado de capoeiras originadas de áreas agrícolas não representaria compensação financeira suficientemente atrativa para os agricultores. Entretanto, se o mercado passar a ter um valor diferenciado para o carbono fixado pela agricultura familiar, que é originado de sistemas de usos da terra produtores de diversos outros serviços ambientais, e considerar as áreas de plantios agroflorestais e, principalmente, o desmatamento evitado, a comercialização do carbono agregaria valor às atividades produtivas sustentáveis, como manejo de capoeiras e sistemas agroflorestais, o que compensaria financeiramente os proprietários.

Para que Projetos de Assentamentos deixem de ser causadores de desmatamento e fonte de gases causadores do efeito estufa são necessárias, principalmente, políticas eficientes de capacitação, assistência técnica e fomento voltadas para estimular a adoção de sistemas de uso da terra sustentáveis, assim como a viabilização urgente de mercado de carbono acessível e diferenciado para as famílias rurais.