



Impactos da redução da pluviometria na biomassa aérea da Floresta Amazônica

**Glayson F. B. das Chagas¹, Vicente de P. R. da Silva¹,
Antonio C. L. da Costa² & Vanessa de A. Dantas¹**

RESUMO

Este estudo foi desenvolvido na Floresta Nacional de Caxiuanã, Pará, Brasil, com o objetivo de se analisar os efeitos da redução da precipitação pluvial na biomassa aérea e a mortalidade das árvores na área basal de uma floresta tropical, dentro do Projeto ESECAFLOR (LBA). Utilizaram-se duas parcelas experimentais, cada uma medindo um hectare de floresta tropical, sendo a parcela A submetida às condições normais do clima e a parcela B com exclusão de aproximadamente 90% das chuvas. As análises dos parâmetros de crescimento da floresta apresentadas neste estudo, se referem aos dados mensais obtidos durante o período experimental de 2005 a 2009, nas duas parcelas experimentais. Os resultados desta pesquisa permitem concluir que a redução da precipitação pluvial sobre a floresta afeta significativamente todos os parâmetros de crescimento das árvores, cuja principal evidência é de que o efeito da exclusão de chuva provoca redução da área basal florestal, em especial daquelas com diâmetro a altura de peito maior que 10 cm. Os resultados também indicam que o aumento na taxa de mortalidade das árvores e a consequente perda de biomassa vegetal, são maiores na área com exclusão de chuva que nas florestas submetidas às condições naturais do clima.

Palavras-chave: Amazônia, LBA, área basal, mortalidade de árvores, precipitação

Impacts of a reduction in precipitation in the aerial biomass of the Amazon Forest

ABSTRACT

This study was conducted in Caxiuanã National Forest, Pará, Brazil, to analyze the effects of decrease in rainfall on biomass, tree mortality and basal area of tropical rainforest within ESECAFLOR Project (LBA). Two experimental sectors with one hectare each of natural forest were utilized. Plot A was maintained under natural conditions of climate and Plot B with rainfall exclusion of about 90%. The growth parameters presented in this study refer to monthly data during the experimental period from 2005 to 2009 for the two experimental plots. Results showed that a decrease in rainfall affected significantly all tree growth parameters over forest. The main evidence for this is that rainfall exclusion provides a reduction in basal area especially with Diameter at Breast Height more than 10 cm. Also, an increase in both tree mortality rate and consequently loss in plant biomass are larger in forest area with rainfall exclusion than under natural conditions of climate.

Key word: Amazon, LBA, basal area, mortality of trees, precipitation

¹ DCA/UFCG, Av. Aprígio Veloso 882, Bodocongó, CEP 58429-140, Campina Grande, PB. Fone: (83) 3310-1202; 1201. E-mail: glayson.chagas@inpa.gov.br; vicente@dca.ufcg.edu.br; vanessa.dantas@inpa.gov.br

² DM/UFPa, Av. Augusto Corrêa s/n, Guamá, CEP 66075-110, Belém, PA. Fone (91) 3201-7403. E-mail: lola@ufpa.br

INTRODUÇÃO

As interferências antrópicas nos ecossistemas naturais podem gerar mudanças climáticas de grande escala. Esses efeitos já são sentidos, principalmente no regime pluviométrico, no fluxo de águas, energia, ciclo do carbono e ciclagem de nutriente e, mais ainda, na composição da atmosfera, face aos desmatamentos e queimadas (Costa & Foley, 2000). Esses processos destrutivos fazem com que as florestas tropicais úmidas, caracterizadas pela elevada biodiversidade e alta taxa de produtividade biológica com grande acúmulo de carbono, liberem e aumentem a concentração na atmosfera do dióxido de carbono (CO_2) presa em sua vegetação ajudando, assim, a intensificar o efeito estufa (Costa et al., 2007).

A Floresta Amazônica representa 45% do total de florestas tropicais do mundo. Ela estoca um quinto do carbono total da vegetação terrestre global e processa três vezes mais carbono através da fotossíntese e da respiração, do que o carbono liberado para a atmosfera, através da queima de combustíveis fósseis (Malhi et al., 2008). Neste contexto, várias pesquisas têm sido desenvolvidas na tentativa de se entender as mudanças climáticas globais associadas aos impactos antrópicos e/ou naturais (Silva et al., 2006; 2009). A região amazônica, além de receber elevada incidência de radiação solar na região tropical, sofre intensa influência da ZCIT (Zona de Convergência Intertropical), que favorece a ocorrência de grandes quantidades de precipitação pluvial, praticamente em todas as épocas do ano (Costa et al., 2007). Por outro lado, a ocorrência de El Niño/Oscilação Sul (ENSO) provoca consequências drásticas na Amazônia brasileira, sobretudo na redução das chuvas tropicais (Costa & Foley, 2000). A frequência e a intensidade das secas na Amazônia poderão aumentar no futuro, provocando alterações consideráveis no comportamento da floresta, dentre elas o aumento de queimadas naturais. Neste sentido, o Projeto ESECAFLOR (Estudo da Seca da Floresta) vem dando subsídios a estudos para a compreensão dos efeitos da seca sobre a Floresta Amazônica, na tentativa de compreender as consequências de mudanças nas temperaturas do ar e do solo, as quais têm fundamental importância no desenvolvimento da vegetação.

Vários pesquisadores vêm estudando diversos sistemas agropecuários de uso da terra com o intuito de analisar qual desses sistemas tem a propriedade de acumular o maior ativo de biomassa. Segundo Osterroht (2002), as espécies florestais e não florestais cultivadas simultaneamente ou em sequência ou, ainda, em associações planejadas com cultivos anuais ou perenes e/ou pastagens, são as melhores opções para a geração de sumidouros de carbono que contribuem para reduzir o efeito estufa. De acordo com alguns estudos, o estresse por falta de água causa redução na produção de biomassa em espécies de rápido crescimento enquanto maior produtividade ocorre nas regiões de maior precipitação e menor déficit hídrico (Stape et al., 2004). Segundo Nogueira et al. (2008), a limitação de água reduz a eficiência de conversão de energia solar em biomassa ou reduz a quantidade de luz interceptada pela copa, em virtude da redução de área foliar, resultando em menor produtividade florestal. Por outro lado, o menor crescimento observado nas

regiões com maior restrição hídrica tem, como principal mecanismo responsável, o fechamento dos estômatos, que contribui para a manutenção da umidade com consequente redução na absorção de CO_2 (Baker et al., 2004). A hipótese de ocorrerem graves efeitos provocados pelas mudanças climáticas sobre as florestas vem sendo reforçada pela motivação mundial para estudos das florestas tropicais. A redução da extensão das florestas pode contribuir com aproximadamente 20% para o aumento atual na concentração do CO_2 atmosférico (Houghton & Hackler 2006; Ramankutty et al., 2007). Os ecossistemas dos países amazônicos são os maiores reservatórios de carbono no planeta e, conseqüentemente, geram divisas e endossam a conservação da biodiversidade (Santilli et al., 2005; Betts, 2006).

Objetivou-se, neste trabalho, analisar o incremento da biomassa na parcela da floresta natural, haja vista que, não havendo déficit hídrico, todas as condições favoráveis para o desenvolvimento do ecossistema de floresta tropical são plenamente mantidas; já em áreas com restrições hídricas poderá ocorrer redução de biomassa, em razão das mudanças na temperatura do ar e do solo, que modificam as características gerais do ecossistema e prejudicam o desenvolvimento da floresta. O presente trabalho é uma das diversas atividades de pesquisa realizadas dentro do Projeto de Grande Escala Biosfera Atmosfera na Amazônia (LBA), que trata da temática discutida nas reuniões que enfocam questões ambientais globais. Neste contexto se pretende, ainda, analisar a variabilidade na biomassa total na parcela de exclusão da água no solo, em bases mensais, períodos secos e chuvosos, e período anual em comparação com a variabilidade na parcela submetida às condições normais de chuva.

MATERIAL E MÉTODOS

O presente estudo foi desenvolvido na FLONA de Caxiuanã (Floresta Nacional), no município de Melgaço, no estado do Pará, cujas coordenadas são as seguintes: latitude: $01^\circ 42' 30''\text{S}$ e longitude: $51^\circ 31' 45''\text{W}$. A região de Caxiuanã apresenta, segundo a classificação de Köppen, o tipo climático Am, ou seja, clima tropical quente com curto período de estiagem (Costa & Moraes, 2003). O projeto ESECAFLOR consiste na simulação de um período de seca prolongada na floresta para avaliar o impacto nos fluxos de água e dióxido de carbono em uma floresta tropical Amazônica; além disto, ele investiga a influência da exclusão de água no solo sobre o ciclo da floresta e as alterações provocadas pelo evento, o que consiste em algo semelhante ao fenômeno El Niño. Neste estudo foram utilizadas duas parcelas experimentais, cada uma medindo um hectare de floresta tropical, sendo a parcela A submetida às condições normais do clima e a parcela B com exclusão de aproximadamente 90% das chuvas. As áreas das parcelas A e B foram delimitadas por trincheiras que variaram de 50 a 150 cm de profundidade; a parcela A foi usada como referência para os experimentos realizados na parcela B, na qual foi efetuada a exclusão de água da chuva, utilizando-se cerca de 6.000 painéis plásticos colocados a uma altura de 1,5 a 4 m de altura acima do solo.

A FLONA de Caxiuanã possui regime pluviométrico bastante irregular, apresenta grande variabilidade espacial e temporal e média anual de 1.920 mm de chuva (Costa et al., 2007). O mês de março é o mais chuvoso, com média de 337 mm, enquanto em novembro ocorre a maior escassez de chuva, com média de 62 mm. Aproximadamente 74% da precipitação anual ocorrem entre janeiro e junho (1.443 mm), enquanto de julho a dezembro chove, em média, 512 mm, ou seja, apenas 26% do total médio anual (Costa et al., 2003). De acordo com Fisher et al. (2007), a região de Caxiuanã tem duas estações no ano: a úmida, que compreende os meses de janeiro a julho, com precipitação média de $9,4 \pm 11,0$ mm dia⁻¹ (média de 24 dias com chuva), e a estação seca, que vai de agosto a dezembro, com $3,0 \pm 9,9$ mm dia⁻¹ (média de 11 dias com chuva).

Na parcela A foram monitoradas 532 árvores que têm, como espécies de maior predominância, as *Escheweileira*, *Licania octandra*, *Lecythis*, *Pouteria decorticans*, *Swartzia racemosa*, *Rinoria guianensis* e *Vouacapoua americana*. Por outro lado, na parcela B foram monitoradas 502 árvores cujas espécies de maior predominância são: *Escheweileira coriacea*, *Manilkara bidentata*, *Swartzia racemosa* e *Tetragastris panamensis*. Em cada árvore foi colocada uma cinta dendrométrica para medir o DAP (diâmetro à altura do peito) e realizadas medidas do crescimento do DAP (mm) usando-se um paquímetro digital.

As medições do DAP são fundamentais nos cálculos dos outros parâmetros que expressam o desenvolvimento da floresta. A área seccional à altura do peito, usada no cálculo do volume das árvores, foi obtida pela Eq. 1; que é a área basal, calculada pelo somatório das áreas seccionais das árvores e que expressa o grau de ocupação das árvores, foi obtida pela Eq. (2) (Soares et al., 2006):

$$g = \frac{\pi \cdot \text{DAP}^2}{40.000} \quad (1)$$

$$\text{AB} = \sum_{i=1}^n g_i \quad (2)$$

em que:

g - área seccional à altura do peito, m²

π - 3,1416

AB - área basal da árvore, m² ha⁻¹

A partir dos valores obtidos os incrementos de biomassa foram calculados em cada uma das árvores que compõem as duas parcelas, com base nas equações propostas por Higuchi et al. (1998):

$$\text{Ln } P = -1,754 + 2,665 \ln \text{DAP} \quad (3)$$

para árvores com $5 \leq \text{DAP} < 20$ cm

$$\text{Ln } P = -0,151 + 2,170 \ln \text{DAP} \quad (4)$$

para árvores com $\text{DAP} \geq 20$ cm

$$\text{Ln } P = -1,497 + 2,548 \ln \text{DAP} \quad (5)$$

para árvores com $\text{DAP} \geq 5$ cm

em que:

DAP - diâmetro a altura do peito a 1,30 m

P - peso da matéria fresca, kg

Neste estudo também se avaliou o incremento de biomassa, relacionando-se com a precipitação em ambas as parcelas experimentais. Essas equações foram utilizadas por se requerer apenas o DAP como variável independente, que é fácil de ser medido no campo e sem erros amostrais (Higuchi et al., 1998). Os dados obtidos para a execução deste projeto se referem às medidas efetuadas em todas as árvores catalogadas no sítio do Projeto ESECAFLOR, no período de janeiro de 2005 a maio de 2009.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 1 exibe a variação da área basal nos dois sites experimentais, no período de janeiro de 2005 a maio de 2009. A média da área basal da parcela A, para todo o período estudado, foi de 32,3 m² ha⁻¹, com desvio padrão de $\pm 0,57$ m² ha⁻¹. Os dados de 2005 apresentaram área basal de 32,9 m² ha⁻¹ e em 2006 de 31,8 m² ha⁻¹, o que corresponde a um decréscimo de 1,1 m² ha⁻¹ (ou seja, 4%). Em janeiro de 2007 observou-se uma área basal de 32,3 m² ha⁻¹, significando um incremento em torno de 4% em relação ao ano anterior e de 32,5 m² ha⁻¹ em janeiro de 2008, que corresponde a um incremento de 0,17 m² ha⁻¹ (0,5%). No final do período estudado, maio de 2009, observou-se um decréscimo de 0,61 m² ha⁻¹ (2%) em relação ao ano anterior. De forma geral, ocorreu um decréscimo na área basal na parcela A, no período de 2005 para 2009. A análise da variabilidade intra-anual indica que a área basal decresce nos meses de julho a agosto, em face da proximidade de período seco na região de estudo. Na área com exclusão parcial de chuva (parcela B), a área basal também apresenta comportamento decrescente,

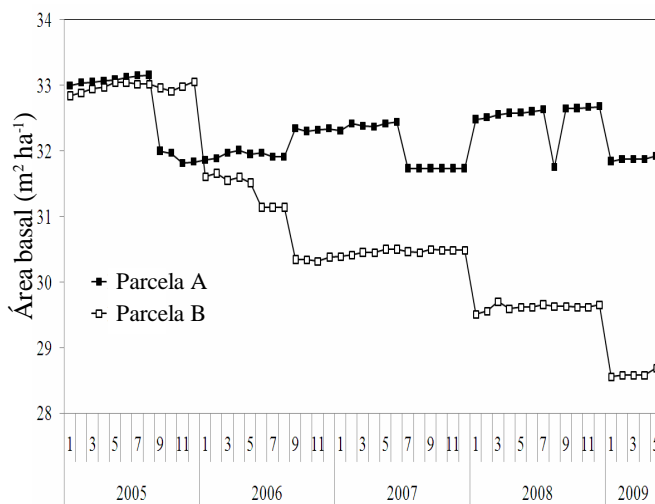


Figura 1. Variação da área basal durante o período de 2005 a 2009, nas parcelas A (A) e B (B)

desde o mês de janeiro de 2005 até maio de 2009, período em que as médias das áreas basais nas parcelas A e B foram de 32,3 e de 30,80 m² ha⁻¹, respectivamente. A diminuição de área basal foi observada em todos os anos analisados.

O curso mensal da área basal nas duas parcelas indica que a parcela B começou a apresentar redução na área basal a partir de dezembro de 2005, diferentemente da parcela A, que manteve um comportamento estacionário desta variável, ao longo do período de estudo, apenas com pequenas variações sazonais. A diferença de área basal entre as duas parcelas no mês de janeiro de 2005 foi de 0,16 m² ha⁻¹, sugerindo certa homogeneidade das árvores no início do período experimental; entretanto, em janeiro de 2006 esta diferença aumentou para 0,25 m² ha⁻¹ (aproximadamente 1%), haja vista que nesse período a área basal da parcela A foi de 31,8 m² ha⁻¹ e na parcela B, de 31,6 m² ha⁻¹. Em janeiro de 2007 a área basal da parcela A aumentou novamente para 32,3 m² ha⁻¹ enquanto a parcela B se manteve com tendência decrescente, com o valor de 30,3 m² ha⁻¹ nesta data; no mesmo ano, a diferença de área basal entre as parcelas foi de 1,9 m² ha⁻¹ (6%). Comportamento semelhante ocorreu em janeiro de 2008, porém com diferença da área basal ampliada para 2,9 m² ha⁻¹ (9%), visto que a parcela A apresentou área de 32,4 m² ha⁻¹ e a parcela B, de 29,5 m² ha⁻¹. No final do período experimental, em maio de 2009, foi registrada a maior diferença entre os valores de área basal das parcelas A e B, de 3,2 m² ha⁻¹ (11%).

A comparação da variabilidade no incremento de biomassa das árvores com DAP entre 5 e 20 cm nas parcelas A e B, é apresentada na Figura 2. No ano de 2005 a parcela A apresentou regularidade na quantidade de biomassa, de vez que em janeiro foi de 60 t ha⁻¹ chegando a 61 t ha⁻¹ em julho e diminuiu para 59 t ha⁻¹ no período seco (Figura 2A). Por outro lado se constata em 2006, nesta parcela experimental, um crescimento de 3 t ha⁻¹,

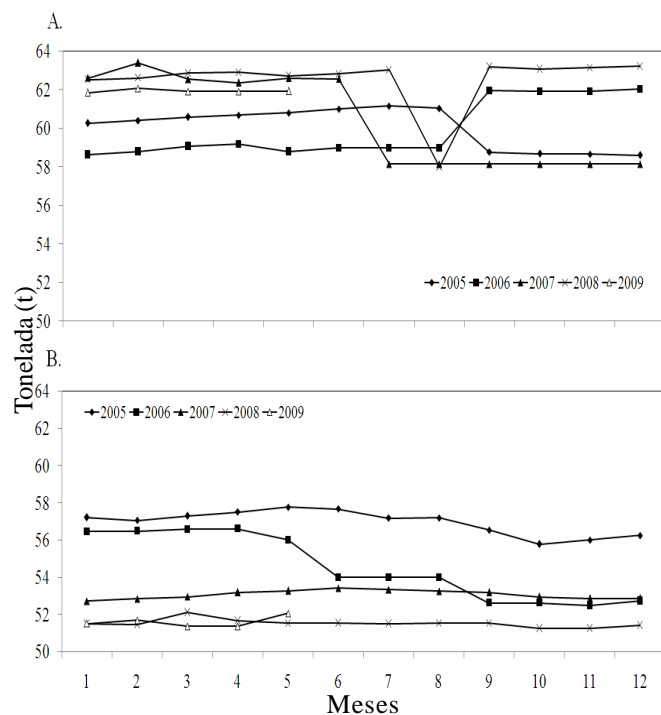


Figura 2. Dinâmica mensal de biomassa para árvores com diâmetro a altura de peito entre 5 e 20 cm, nas parcelas A (A) e B (B)

com maior incremento no mês de junho de 2007; em seguida, as árvores apresentaram redução de 5 t ha⁻¹ entre janeiro e dezembro desse ano. A média da biomassa das árvores da parcela B foi 54 t ha⁻¹ e o desvio padrão, de $\pm 2,23$ t ha⁻¹. Em janeiro de 2008 ocorreu outro incremento, embora acima de 60 t ha⁻¹, que decresceu em agosto para 58 t ha⁻¹; em setembro, a biomassa foi de 63 t ha⁻¹; já no ano de 2009 ocorreu um decréscimo de apenas 1 t ha⁻¹ até maio. Para todos os anos analisados a média da biomassa das árvores da parcela A foi 61 t ha⁻¹ e o desvio padrão, de $\pm 1,86$ t ha⁻¹. A análise da parcela com exclusão de parte das chuvas, evidencia que as árvores com DAP entre 5 e 20 cm, apresentaram decréscimo de 1 t ha⁻¹ no ano de 2005.

Em 2006 ocorreu um forte decréscimo de biomassa a partir do mês de maio, enquanto nos anos de 2007 e 2008 as biomassas das árvores permaneceram quase inalteradas, praticamente durante todo o ano; em 2009 houve um leve incremento na biomassa das árvores, de 1 t ha⁻¹ em que os resultados ainda indicam que houve um decréscimo de aproximadamente 6% da biomassa com DAP entre 5 e 20 cm, durante o período analisado de 2005 a 2009.

Observa-se, ainda, que a parcela B produziu uma quantidade de biomassa bem menor do que a parcela A, em todos os anos. A parcela B apresentou tendência acentuada decrescente, para as árvores com DAP entre 5 e 20 cm (Figura 2B); por outro lado, para a parcela A referida tendência foi levemente crescente, com pequenas variações intra-anuais. Entre janeiro de 2005 e abril de 2006, as parcelas apresentaram comportamento semelhante, com leves variações positivas e negativas; a partir de maio de 2006 as parcelas A e B começaram a apresentar tendências opostas, haja vista que a parcela A passou a ter contribuições positivas de até 10 t ha⁻¹, representando 16% a mais que a parcela B, face ao comportamento sempre decrescente da parcela B; a diferença de biomassa nessa classe de DAP entre as duas parcelas foi de 10 t ha⁻¹; no primeiro semestre de cada ano os valores de biomassa apresentaram, nessa classe de DAP, um acréscimo acentuado, tanto na parcela A quanto na B, em virtude da alta disponibilidade de vapor de água nessa época do ano, na floresta amazônica.

A Figura 3 exhibe a evolução mensal das árvores com DAP maior ou igual a 5 cm e maior ou igual a 20 cm nas parcelas A e B. Observa-se similaridade entre os valores dos DAPs sob as duas condições climáticas, nas duas parcelas experimentais, durante o período experimental. Portanto, as árvores de grande porte são responsáveis pela maior parte da quantidade de biomassa entre as parcelas A (média de 720 t ha⁻¹ com desvio padrão de $\pm 9,58$ t ha⁻¹) e B (média de 757 t ha⁻¹ e desvio padrão de $\pm 10,73$ t ha⁻¹). A análise das duas classes de DAP da parcela A indica que somente 38 t ha⁻¹ de biomassa correspondem às árvores acima de 5 cm, ou seja, uma diferença de 5% entre as classes para o mês de janeiro de 2005 (Figura 3A). Por outro lado, em janeiro de 2006 as árvores de grande porte produziram 709 t ha⁻¹ enquanto todas as árvores selecionadas apresentaram uma produção de 745 t ha⁻¹, diferença que corresponde a 36 t ha⁻¹ (aproximadamente 5%) a qual se manteve durante todo o período estudado na parcela A; no ano de 2007 as árvores com DAP maior ou igual a 5 cm apresentaram biomassa de 757 t ha⁻¹ enquanto as árvores com DAP maior ou igual a 20 cm, indicaram

uma biomassa de 718 t ha⁻¹ constituindo-se esta na maior diferença (39 t ha⁻¹) de biomassa entre as árvores de grande porte e com DAP maior que 5 cm, dentre os anos analisados. Por sua vez, a biomassa total de todas as árvores em 2008 foi de 762 t ha⁻¹ e a de grande porte foi de 724 t ha⁻¹, resultando numa diferença de 38 t ha⁻¹.

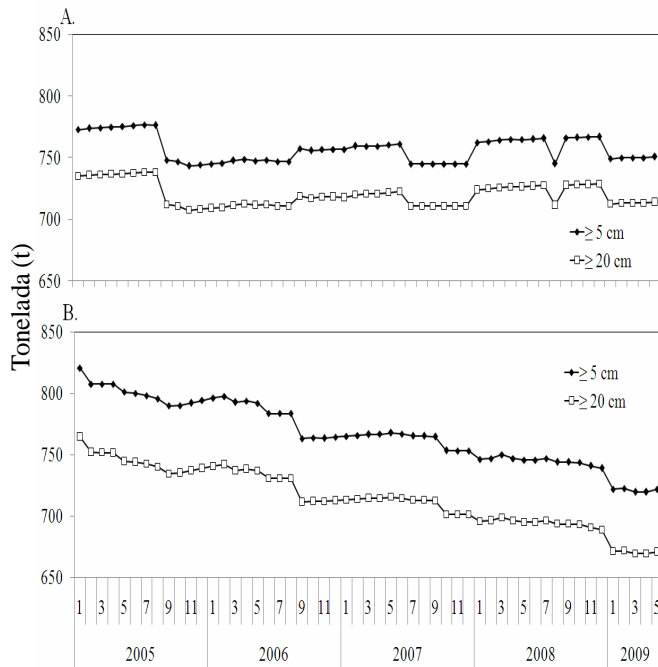


Figura 3. Dinâmica mensal de árvores com diâmetro a altura de peito maior ou igual a 5 cm e maior ou igual a 20 cm nas parcela A (A) e B (B)

No último mês do período de estudo (maio de 2009) ocorreu um leve decréscimo da biomassa em ambas as classes, ou seja, as árvores com DAP maior ou igual a 20 cm apresentaram uma biomassa de 751 t ha⁻¹ e as árvores maiores ou iguais a 5 cm vislumbraram biomassa de 714 t ha⁻¹ logo, um decréscimo de 23 t ha⁻¹ nesse curto período do ano; outrossim, a parcela B apresentou decréscimo de aproximadamente 13% de árvores com DAP maior ou igual a 20 cm (94 t ha⁻¹) e 12% com DAP maior ou igual a 5 cm (98 t ha⁻¹) (Figura 3B). Tal parcela experimental apresentou comportamentos decrescentes semelhantes para as classes de DAP > 5 cm e DAP > 20 cm, durante o período experimental.

As árvores com DAP maior que 20 cm apresentaram média de 715 t ha⁻¹ e desvio padrão de ± 24,34 t ha⁻¹, enquanto as árvores com DAP maior que 5 cm indicaram 768 t ha⁻¹ e desvio padrão de ± 26,29 t ha⁻¹; em janeiro de 2005 as árvores com DAP maior ou igual a 20 cm totalizavam 765 t ha⁻¹ (com média de 745 t ha⁻¹) e as árvores com DAP maior ou igual a 5 cm 820 t ha⁻¹ (com média de 800 t ha⁻¹); já em janeiro de 2006 as árvores de maior porte totalizavam 741 t ha⁻¹ (com média de 728 t ha⁻¹) e todas as árvores tinham, juntas, 796 t ha⁻¹ (com média de 782 t ha⁻¹) de biomassa.

Ressalta-se, ainda, que a menor diferença entre as duas classes foi em maio de 2009, com 722 t ha⁻¹ para as árvores com DAP maior ou igual a 5 cm e de 671 t ha⁻¹ para as árvores de grande porte (DAP maior ou igual a 20 cm). Esta diferença foi

de 51 t ha⁻¹ entre as classes, o que representa uma redução de aproximadamente 7% entre as biomassas das parcelas B e A; no mesmo ano a diferença de biomassa entre as parcelas diminuiu para 51 t ha⁻¹ (7%), com 796 t ha⁻¹ na parcela B e de 745 t ha⁻¹ na parcela A; em contrapartida se observa que, em janeiro de 2007, a parcela B produziu 8 t ha⁻¹, a mais que a parcela A, que representa apenas 1%. Mesmo com a continuação do decréscimo em janeiro de 2008, a parcela A produziu mais que a parcela B, 16 t ha⁻¹ de biomassa com relação a dezembro de 2007; em 2008 a parcela A produziu 762 t ha⁻¹ e a parcela B 746 t ha⁻¹ de biomassa, tendência que se observa em janeiro de 2009, cuja diferença de biomassa entre as parcelas foi de 29 t ha⁻¹ (4%). Consta-se, então, que a redução de chuva provoca uma quantidade menor de biomassa, face ao estresse hídrico imposto à floresta; em 2005 a biomassa da parcela B foi de 820 t ha⁻¹ e na parcela A foi de 773 t ha⁻¹, com diferença de aproximadamente 6% (47 t ha⁻¹); entretanto, no primeiro semestre de 2006 a parcela B produziu mais biomassa que a parcela A, com diferença de 24 t ha⁻¹ (3%); em janeiro de 2006 o total de biomassa na parcela A foi de 745 t ha⁻¹ e na parcela B, de 796 t ha⁻¹; a partir de agosto de 2006 a biomassa da parcela B decresceu em torno de 19 t ha⁻¹ e a parcela A apresentou um incremento de 10 t ha⁻¹ quando comparado com os valores de janeiro de 2007; em janeiro de 2008 a diferença de biomassa entre as parcelas foi de 16 t ha⁻¹ (2%) e aumentou até maio de 2009, chegando ao valor de 29 t ha⁻¹, com 751 t ha⁻¹ na parcela A e 722 t ha⁻¹ na parcela B, ou seja, no final do período analisado a parcela A produziu 4% a mais de biomassa que a parcela B.

Apresenta-se, na Figura 4, o curso intra-anual da biomassa bruta, nas duas parcelas analisadas; essas duas parcelas apresentaram tendências crescentes e semelhantes ao longo do período analisado; apesar de algumas falhas nas séries temporais de biomassa bruta, tal tendência crescente é evidente. Como previsto, os valores de biomassa na parcela A foram maiores que os da parcela B; entretanto, no período de outubro de 2005 a abril de 2006, o comportamento é inverso, ou seja, a biomassa na parcela com exclusão de parte da chuva é maior que na área de floresta natural, passível de ser explicado pela existência de um provável escoamento pelo caule (stemflow) mais elevado com relação aos outros anos; na parcela A ocorreu um incremento de 40 t ha⁻¹, isto é, cerca de 6%, enquanto a parcela B apresentou leve tendência de decréscimo de biomassa, para todo o período experimental, apesar da

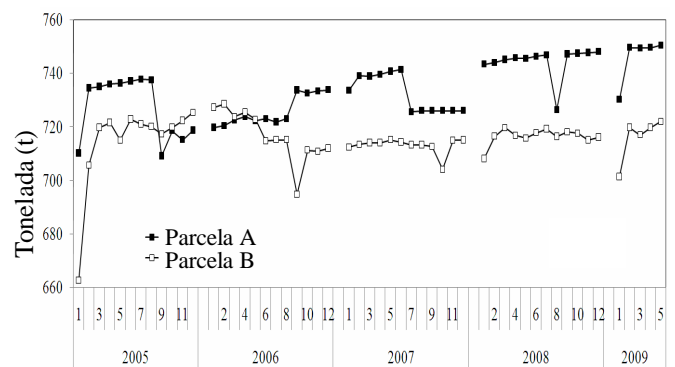


Figura 4. Composição da dinâmica anual de biomassa para as parcelas A e B (2005 a 2009)

variabilidade anual ter apresentado 7 t ha⁻¹, cerca de 1% do total.

Em dezembro de 2006 a parcela B produziu 3% (712 ha⁻¹) menos biomassa do que na parcela A (734 t ha⁻¹); este comportamento se repete nos três anos seguintes; em dezembro de 2007 a parcela A apresentou 726 t ha⁻¹ enquanto a parcela B indicou 715 t ha⁻¹; já no ano de 2008 a parcela B produziu 32 t ha⁻¹ menos, portanto, que a parcela A; a diferença de biomassa entre as parcelas em 2009, foi de 4%, sendo também tal produção menor na parcela B; os valores encontrados para biomassa variaram entre 774 a 751 t ha⁻¹ (parcela A) mas na parcela B ela variou de 820 a 722 t ha⁻¹, para áreas basais entre 32,9 e 31,9 m² ha⁻¹, na parcela A, e entre 32,8 e 28,6 m² ha⁻¹, na parcela B. Os valores de biomassa e de área basal encontrados na presente pesquisa, são compatíveis com aqueles encontrados na literatura da floresta amazônica, em outros estudos (Baker et al., 2004). Esses autores encontraram valores de biomassa (peso fresco) de 846 t ha⁻¹, para uma área basal de 38,9 m² ha⁻¹.

A comparação entre as taxas de mortalidade anual nas parcelas A e B é apresentada na Figura 5, comprovando-se que a taxa de mortalidade é maior na parcela com exclusão de parte das chuvas que na floresta natural, exceto no ano de 2009; em 2007 a taxa de mortalidade foi praticamente igual em ambas as parcelas, porém a maior diferença na taxa de mortalidade foi no ano de 2005, possivelmente em função da baixa pluviometria (2062,4 mm, com média de 171,9 mm) na região de estudo durante este período. Efetivamente, a parcela A teve 31 árvores mortas em 2005 e 5 em 2006, sendo que na parcela B a mortalidade das árvores foi maior, tanto em 2005 (39 árvores) como em 2006 (8 árvores).

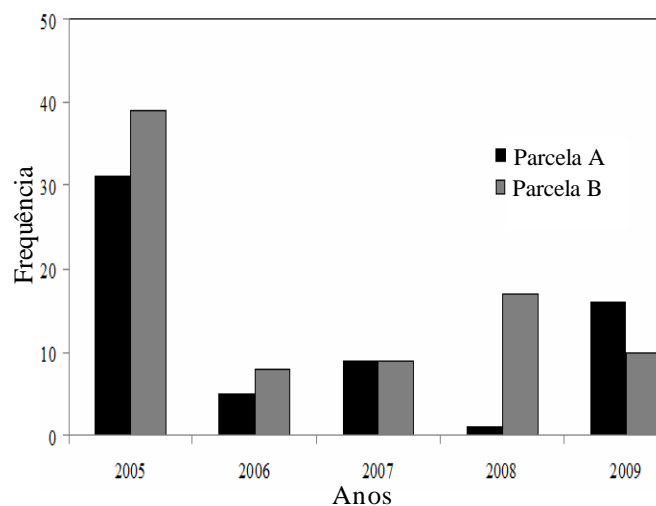


Figura 5. Comparação da taxa de mortalidade anual das árvores das parcelas A e B

No ano de 2007 ocorreu a mortalidade de nove árvores em cada parcela analisada; já no ano de 2008 novamente a taxa de mortalidade foi maior na parcela B, com 17 árvores, do que na parcela A, que teve somente uma árvore morta. Por outro lado, nos primeiros cinco meses do ano de 2009 ocorreu uma inversão nesse comportamento de mortalidade de árvores, não sendo representativo para avaliação neste estudo, haja vista que neste ano a série de dados não estava completa; mesmo assim, na

parcela A ocorreram 16 mortalidades e na parcela B apenas 10 árvores feneceram; de modo geral, do total de 532 árvores existentes inicialmente na parcela A em 2005, 12% (62 árvores) morreram até o final do período experimental, em maio de 2009, enquanto no mesmo período ocorreram 17% de mortalidade do total de 502 árvores na parcela B.

Outro aspecto importante desta análise é que a maior taxa de mortalidade foi verificada para árvores com DAP maior que 10 cm. Pesquisas anteriores para florestas tropicais mostraram que as taxas de mortalidade são constantes para essa classe de DAP (Baker et al., 2004; Santilli et al., 2005; Houghton & Hackler, 2006; Betts, 2006). No entanto, elas podem sofrer alterações em resposta aos eventos de estresse, que ocorrem em anos mais secos (Castilho et al., 2006). A taxa média de mortalidade anual durante o período estudado foi de 2,6% na parcela A e de 3,7% na parcela B. Referidas taxas são similares àquelas encontradas na literatura; por exemplo, Hu & Wang (2008) obtiveram taxas anuais de 1,03% com desvio padrão de $\pm 0,38\%$ em florestas tropicais úmidas de terra firme na Amazônia; por outro lado, Woodbury et al. (2007) encontraram taxas anuais de mortalidade de árvores variando entre 0,5 e 3,3% em florestas tropicais da Venezuela.

A Figura 6 exhibe a variação temporal da perda de biomassa das árvores nas parcelas A e B, no período de 2005 a 2009. Verifica-se que a taxa de mortalidade das árvores em ambas as parcelas decresce exponencialmente durante o período experimental.

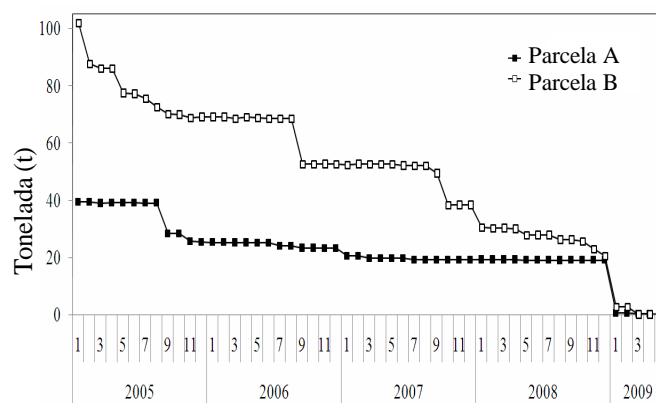


Figura 6. Dinâmica da perda de biomassa nas parcelas A e B, durante o período experimental

Entretanto, como evidenciado na figura anterior, a taxa de mortalidade foi sempre maior na parcela B que na parcela A, exceto no final do período experimental; no início de 2005 as árvores da parcela A que chegaram mortas ao final do experimento, somavam 39 t ha⁻¹ e, no período de um ano, ocorreu um decréscimo de 14 t ha⁻¹ (35%). Verificou-se, também, perda de 4 t ha⁻¹ (16%) até janeiro de 2007 enquanto até janeiro de 2008 decréscimo de 2 t ha⁻¹ (9%); da mesma forma ocorre, em 2009, diminuição acentuada da biomassa, em torno de 19 t ha⁻¹; portanto, o decréscimo mais acentuado foi constatado entre 2005 e 2006; evidentemente, esta perda de biomassa na floresta é diretamente relacionada com a mortalidade das árvores.

Durante todo o período experimental morreram, na parcela B, 83 árvores, que totalizavam 102 t ha⁻¹. Especificamente entre

os anos de 2005 e 2006, ocorreu perda de biomassa em torno de 32% (33 t ha⁻¹); já em 2007 a perda foi de 17 t ha⁻¹ (25%) na parcela B, sendo este decréscimo quatro vezes maior que a perda registrada na parcela A, no mesmo período; em 2008, ocorreu uma perda de biomassa de 21 t ha⁻¹ (40%) na parcela B, que corresponde a um decréscimo dez vezes maior que o verificado na parcela A; as árvores que morreram no mês de janeiro de 2009 representaram 28 t ha⁻¹ (90%) de biomassa aérea.

A Figura 7 indica a correlação entre a biomassa e a mortalidade das parcelas A e B, em que na A se obteve uma correlação de aproximadamente 25% (Figura 7A); desta forma, a mortalidade constatada nesta parcela, não foi totalmente influenciada pela diminuição de biomassa; portanto, outros fatores devem ter contribuído para tal mortalidade, o que deve ser convenientemente investigado; já para a parcela B (Figura 7B), 97% do decréscimo de biomassa são explicados pela mortalidade verificada na área de exclusão de parte das chuvas.

Os totais anuais de precipitação pluvial e os valores médios da biomassa das parcelas A e B, com seus respectivos desvios padrão durante o período do experimento, são exibidos na Tabela 1; verifica-se que os totais anuais de chuva foram muito próximos da média do período do experimento, ou seja, de 2.103,9 mm e desvio padrão de $\pm 38,8$ mm; referida tabela também proporciona uma análise mais detalhada da influência da precipitação sobre a biomassa da floresta.

As médias anuais e os desvios padrão dos valores da biomassa da parcela A foram os seguintes: 765 t ha⁻¹ $\pm 14,6$ (2005); 750 t ha⁻¹ $\pm 4,9$ (2006); 763 t ha⁻¹ $\pm 7,5$ (2007); 745 t ha⁻¹ $\pm 5,9$ (2008) e 721 t ha⁻¹ $\pm 0,6$ (2009). Por outro lado, as médias anuais e os desvios padrão da biomassa da parcela B foram: 800 t ha⁻¹ $\pm 9,1$ (2005); 782 t ha⁻¹ $\pm 13,9$ (2006); 763 t ha⁻¹ $\pm 5,8$ (2007); 745 t ha⁻¹ $\pm 2,9$ (2008) e 721 t ha⁻¹ $\pm 1,3$ (2009). Os baixos valores dos desvios padrão da biomassa registrados no ano de 2009, nas parcelas A e B, estão associados ao fato de que o final do período experimental foi em maio de 2009. Apesar dos valores médios da biomassa das parcelas A e B serem rigorosamente iguais nos anos de 2007, 2008 e 2009, seus desvios padrão são diferentes.

Assim, os valores da biomassa da parcela A e da precipitação pluvial praticamente não variaram ao longo do período de estudo; entretanto, a biomassa das árvores da parcela B decresceu significativamente no mesmo período, resultado que confirma a hipótese original deste trabalho, de que a exclusão

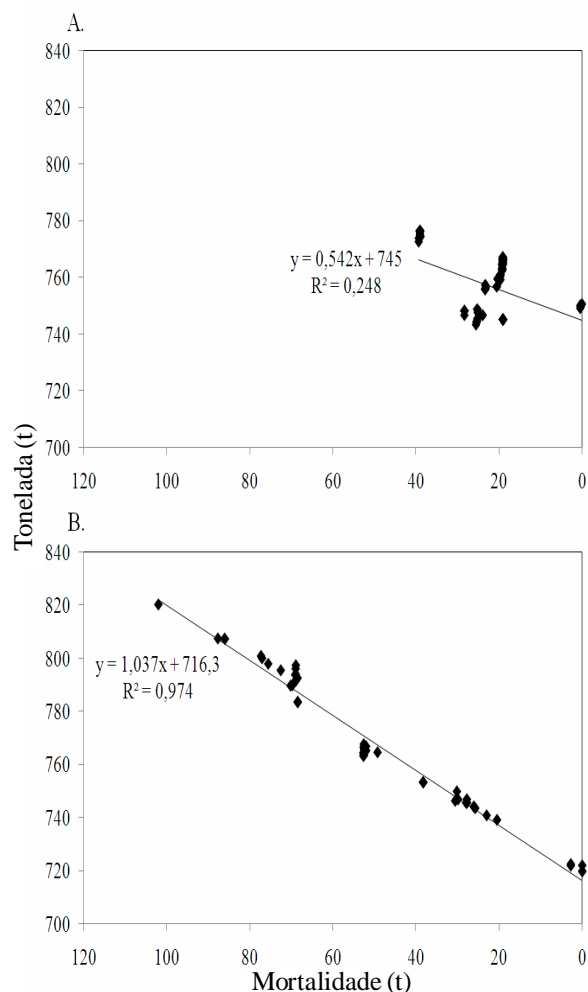


Figura 7. Relacionamento entre a mortalidade e a biomassa das árvores nas parcelas A (A) e B (B)

parcial de chuvas reduz significativamente a biomassa da floresta.

CONCLUSÕES

1. A redução da biomassa e da área basal das árvores da Floresta Amazônica está diretamente relacionada com o déficit hídrico no solo, provocado pela redução da precipitação pluvial.

Tabela 1. Valores médios e desvios padrão de biomassa das parcelas A e B e os totais anuais de precipitação pluvial de cada ano do período experimental (2005-2009)

	Biomassa (t ha ⁻¹)				
	2005	2006	2007	2008	2009
	Parcela A				
Média	765,0	750,0	763,0	745,0	721,0
Desvio padrão	14,6	4,9	7,5	5,9	0,6
	Parcela B				
Média	800,0	782,0	763,0	745,0	721,0
Desvio padrão	9,1	13,9	5,8	2,9	1,3
	Precipitação pluvial (mm)				
Total anual	2.062,4	1.143,0	2.079,8	2.130,2	*
Desvio padrão	137,7	123,7	122,7	168,5	*

* Os dados de precipitação do ano de 2009 não são representativos porque o período experimental foi encerrado em março desse ano

2. O aumento na taxa de mortalidade das árvores e a consequente perda de biomassa vegetal, são maiores na área com exclusão de parte da chuva do que na floresta submetida às condições naturais do clima.

3. A redução de biomassa na floresta submetida às condições normais do clima, não pode ser associada à redução da pluviometria; tal redução é explicada pelo decréscimo da mortalidade em apenas 25% dos casos.

4. O efeito da exclusão parcial da chuva provoca redução da área basal florestal, sobretudo daquelas árvores com DAP maior que 10 cm.

LITERATURA CITADA

- Baker, T. R.; Phillips, O. L.; Malhi, Y.; Almeida, S.; Arroyo, L.; Di Fiore, A.; Killeen, T. J.; Laurance, S. G.; Laurance, W. F.; Lewis, S. L.; Lloyd, J.; Monteagudo, A.; Neill, D. A.; Patiño, S.; Pitman, N. C. A.; Silva, N.; Martínez, R. V. Variation in wood density determines spatial patterns in Amazonian forest biomass. *Global Change Biology*, v.1, p.545-562, 2004.
- Betts, R. A. Forcings and feedbacks by land ecosystem changes on climate change. *Journal de Physique IV*, v.139, p.119-142, 2006.
- Castilho, C. V.; Magnusson, W. E.; de Araújo, R. N. O.; Luizão, R. C. C.; Luizão, F. J.; Lima, A. P.; Higuchi, N. Variation in aboveground tree live biomass in a central Amazonian Forest: Effects of soil and topography. *Forest Ecology and Management*, v.1, p.85-96, 2006.
- Costa, J. P. R.; Moraes, J. C. Médias mensais de variáveis meteorológicas (1996-1999). In: Lisboa, P. L. B. (org.). *Caxiuanã: Populações tradicionais, meio físico e diversidade biológica*. Belém: Museu Paraense Emílio Goeldi, 2003. 227p.
- Costa, M. H.; Foley, J. A. Combined effects of deforestation and doubled atmospheric CO₂ concentrations and the climate of Amazonia. *Journal of Climate*, v.13, p.18-34, 2000.
- Costa, R. F.; Costa, A. C. L.; Meir, P.; Malhi, Y.; Fisher, R. A. Projeto LBA/ESECAFLOR em Caxiuanã: características, atividades e resultados. Seminário de 10 anos de atividades da Estação Científica Ferreira Penna, Caxiuanã, Pará, 2003, Belém. Belém: Museu Paraense Emílio Goeldi, CCTE-005, 2003. CD-Rom
- Costa, R. F.; Silva, V. de P. R. da; Ruivo, M. L. P.; Meir, P.; Costa, A. C. L.; Malhi, Y. S.; Braga, A. P.; Gonçalves, P. H. L.; Silva Jr., J. A.; Grace, J. Transpiração em espécie de grande porte na Floresta Nacional de Caxiuanã, Pará. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.11, p.180-189, 2007.
- Fisher, R. A.; Williams, M.; Costa, A. C. L.; Malhi, Y.; Costa, R. F.; Almeida, S.; Meir, P. The response of an Eastern Amazonian rain forest to drought stress: results and modelling analyses from a throughfall exclusion experiment. *Global Change Biology*, v.13, p.1-18, 2007.
- Higuchi, N.; Santos, J.; Ribeiro, R. J.; Minette, L. J.; Biot, Y. Biomassa da parte aérea da vegetação da Floresta Tropical Úmida de Terra-Firme da Amazônia Brasileira. *Acta Amazônica*, v.28, p.153-166, 1998.
- Houghton, R. A.; Hackler, J. L. Emissions of carbon from land use change in sub-Saharan Africa. *Journal of Geophysical Research-Biogeosciences*, v.111, n.G2, G02003, 2006. 12p.
- Hu, H.; Wang, G. G. Changes in forest biomass carbon storage in the South Carolina Piedmont between 1936 and 2005. *Forest Ecology and Management*, v.1, p.1400-1408, 2008.
- Malhi, Y.; Roberts, J. T.; Betts, R. A.; Killeen, T. J.; Li, W.; Nobre, C.A. Climate Change, Deforestation, and the Fate of the Amazon. *Science*, v.319, p.169-172, 2008.
- Nogueira, E. M.; Fearnside, P. M.; Nelson, B. W.; Barbosa, R. I.; Keizer, E. W. H. Estimates of forest biomass in the Brazilian Amazon: New allometric equations and adjustments to biomass from wood-volume inventories. *Forest Ecology and Management*, v.1, p.1853-1867, 2008.
- Osterroht, von M. Manejo de SAF's. *Agroecologia Hoje*, v.15, p.12-13, 2002.
- Ramankutty, N.; Gibbs, H. K.; Achard, F.; Defriess, R.; Foley, J. A.; Houghton, R. A. Challenges to estimating carbon emissions from tropical deforestation. *Global Change Biology*, v.13, p.51-66, 2007.
- Santilli, M.; Moutinho, P.; Schwartzman, S.; Nepstad, D.; Curran, L.; Nobre, C. A. Tropical deforestation and the Kyoto Protocol: An editorial essay. *Climatic Change*, v.71, p.267-276, 2005.
- Silva, V. de P. R.; Campos, J. H. B. C.; Azevedo, P. V. de. Water-use efficiency and evapotranspiration of mango orchard grown in northeastern region of Brazil. *Science Horticulturae*, v.1, p.67-72, 2009.
- Silva, V. de P. R. da; Sousa, F. de A. S.; Cavalcanti, E. P.; Souza, E. P.; Silva, B. da B. da. Teleconnections between sea-surface temperature anomalies and air temperature in northeast Brazil. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, v.68, p.781-792, 2006.
- Soares, C. P. B.; Paula Neto, F.; Souza, A. L. Dendrometria e inventário florestal. Viçosa: UFV, 2006. 276p.
- Stape, J. L.; Binkley, D.; Ryan, M. G. Eucalyptus production and the supply, use and efficiency of use of water, light and nitrogen across a geographic gradient in Brazil. *Forest Ecology and Management*, v.193, p.17-31, 2004.
- Woodbury, P. B.; Smith, J. E.; Heath, L. S. Carbon sequestration in the U.S. forest sector from 1990 to 2010. *Forest Ecology and Management*, v.1, p.14-27, 2007.