

**DETERMINAÇÃO INDIRETA DO ESTOQUE DE BIOMASSA E CARBONO EM  
POVOAMENTOS DE ACÁCIA-NEGRA (*Acacia mearnsii* De Wild.)**

**INDIRECT DETERMINATION OF BIOMASS AND CARBON STORAGE IN BLACK WATTLE (*Acacia mearnsii* De Wild.) STANDS**

Paulo Renato Schneider<sup>1</sup> César Augusto Guimarães Finger<sup>2</sup>  
Valni Giacomelli Sobrinho<sup>3</sup> Paulo Sérgio Pigatto Schneider<sup>4</sup>

**RESUMO**

Este trabalho foi realizado com o objetivo de estimar o estoque de carbono em povoamentos equiâneos de *Acacia mearnsii* De Wild., na região da Encosta Inferior do Sudeste, no Rio Grande do Sul, com o método de derivação do volume em biomassa e carbono. As quantificações dos componentes da biomassa e do carbono foram feitas em povoamentos com idade entre 4 e 8 anos. O método de derivação do volume em biomassa e carbono mostrou-se eficiente na determinação do estoque de carbono, pois a diferença relativa média foi de apenas 4,4%, quando considerada toda a amostragem e independência da idade dos povoamentos. A densidade básica média da madeira foi de 0,6, independente da idade dos povoamentos. A proporção de biomassa média entre o volume com casca pelo volume de folhas, ramos, serrapilheira e raízes foram de 0,59, independente da idade dos povoamentos. A concentração média de carbono, independente da idade dos povoamentos, foi igual a 0,40. O estoque de carbono estimado pelo método de derivação de volume e carbono, em povoamentos de 7 anos de idade, foi de 99,46 t ha<sup>-1</sup> no índice de sítio 20, 82,98 t ha<sup>-1</sup> no índice de sítio 16, e 46,13 t ha<sup>-1</sup> no índice de sítio 12.

**Palavras-chave:** *Acacia mearnsii*; biomassa; estoque de carbono.

**ABSTRACT**

This work was carried out to estimate the carbon storage in even-aged stands of *Acacia mearnsii* De Wild., in the region of the Southeast Lower Hillside, in Rio Grande do Sul, by the method of derivation of volume and carbon. The biomass components and carbon content were measured in stands 4 to 8-year-old. The method of derivation of volume and carbon was efficient to determine the carbon storage, since the average relative difference was only 4.4%, when considering the whole sample, and independent from stands age. The mean wood basic density found was 0.6 g/cm<sup>3</sup>, regardless of stand age. The mean biomass ratio of the barked-volume to the volume of leaves, branches, litter, and roots was found to be 0.59, independent of stand age. The mean carbon concentration, regardless stand age, was 0.40. The estimated carbon storage by the method of volume and carbon derivation, for 7-year-old stands, was 99.46 t ha<sup>-1</sup>, in site index 20; 82.89 t ha<sup>-1</sup>, in site index 16; and 46.13 t ha<sup>-1</sup>, in site index 12.

**Key words:** *Acacia mearnsii*; biomass; carbon storage.

**INTRODUÇÃO**

Nas últimas décadas do século XX, as preocupações com as emissões aéreas intensificaram-se e tornaram-se de domínio do grande público. Nos anos 80, a morte das florestas na Europa tomou conta da mídia passando a preocupar toda a sociedade, o que conduziu a realização de uma série de encontros e discussões sobre o tema. Entre as diversas discussões realizadas, a necessidade da redução dos níveis de carbono na atmosfera tornou-se evidente.

Entre diversas iniciativas para a redução dos níveis de carbono na atmosfera, a utilização de produtos

1. Engenheiro Florestal, Dr., Professor Titular do Departamento de Ciências Florestais, Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, CEP 97105-900, Santa Maria (RS). Pesquisador do CNPq. paulors@smail.ufsm.br
2. Engenheiro Florestal, Dr., Professor Adjunto do Departamento de Ciências Florestais, Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, CEP 97105-900, Santa Maria (RS). Pesquisador do CNPq. finger@smail.ufsm.br
3. Economista, M.Sc., Professor Adjunto do Departamento de Economia, Centro de Ciências Sociais e Humanas, Universidade, Universidade Federal de Santa Maria, CEP 97105-900, Santa Maria (RS).
4. Engenheiro Florestal, Universidade Federal de Santa Maria, CEP 97105-900, Santa Maria (RS).

Recebido para publicação em 26/10/2004 e aceito em 1/12/2005.

florestais e as práticas de manejo são consideradas de grande eficiência para possibilitar o aumento do volume de carbono imobilizado e a substituição de produtos como o petróleo, gás e carvão mineral pela madeira; bem como o aumento da vida útil dos produtos de madeira.

No cenário mundial de globalização, as questões ambientais têm assumido, cada vez maior importância social e econômica. Nesse cenário, as empresas públicas ou privadas comprometidas, com o desenvolvimento ecologicamente sustentado, destacam-se obtendo maior desempenho por adotarem modelos adequados de gestão ambiental, maior lucro e melhor imagem institucional.

O presente trabalho foi realizado em florestas de *Acacia mearnsii* com o objetivo de estimar a quantidade de biomassa e o estoque de carbono, utilizando o método de derivação do volume em biomassa e carbono, com base em dados obtidos no inventário florestal e determinações laboratoriais de carbono e densidade básica da madeira.

## REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Schöne e Schulte (1999) comentam que a redução das emissões poderão, em futuro próximo, ser quantificadas no conjunto de nações, podendo também ser comercializadas na Bolsa de Valores em forma de Certificados de Emissões. Para isso, até o ano de 2007, os países industrializados devem construir um sistema para quantificação biomonitoramento ambiental de emissões antropogênicas bem como das fontes de degradação desses gases.

Na década de 60, a emissão de CO<sub>2</sub> proveniente de combustíveis fósseis ultrapassou o nível de captação em decorrência da mudança do tipo de vegetação e do uso do solo. Esse fato fez com que os países industrializados passassem a ser os principais responsáveis pela emissão de CO<sub>2</sub> para a atmosfera. O dióxido de carbono fixado na biomassa é liberado para a atmosfera pelo processo de decomposição, sendo que a velocidade de liberação depende de fatores externos, como temperatura e umidade, e da relação C/N de cada componente da biomassa. Quanto menor for a relação C/N mais rápida é a liberação de CO<sub>2</sub>. Sobre isso, Araújo *et al.* (1999) quantificaram a emissão de cerca de 19,1 t ha<sup>-1</sup> em uma área de floresta primária cortada e deixada para secar por quatro meses e depois queimada.

Atualmente, estima-se que apenas 5% da população mundial está situada nos países desenvolvidos e consomem o equivalente a 58% da energia mundial, enquanto que 50% da população mundial vive nos países subdesenvolvidos e consomem menos de 4% da energia mundial. Esses números refletem na emissão de CO<sub>2</sub> e permitem inferir que entre os países a maior emissão ocorre nos Estados Unidos.

A matéria seca que constitui a biomassa é formada especialmente por carbono e por nutrientes minerais cujas concentrações variam com a espécie, fase de desenvolvimento, estado nutricional, condições edafoclimáticas e com a parte do vegetal considerada (Larcher, 1986). Segundo Krapfenbauer (1982), na madeira das árvores, encontram-se, em média, 50% de carbono, 43% de oxigênio, 6% de hidrogênio e 1% de elementos minerais.

Na Espanha, no Inventário Ecológico e Florestal, é avaliada a quantidade de madeira, biomassa, nutriente e carbono, sendo observado que a quantidade de carbono varia por fração da parte aérea para cada espécie, bem como entre as coníferas e folhosas. As madeiras de coníferas contêm entre 49,9 e 51,1 gramas de carbono por cada 100 gramas de madeira (peso seco), e as folhosas apresentam valores médios ligeiramente inferiores, oscilando entre 47,2 e 48,6 gramas de carbono por cada 100 g de madeira (peso seco). As outras frações aéreas (folhas e ramos) apresentam diferenças maiores entre coníferas e folhosas (Ibañez *et al.*, 2002).

Na quantificação do carbono, o teor desse elemento tem sido considerado constante, variando pouco entre trabalhos apresentados por diferentes autores, para diferentes espécies, como na determinação do estoque de carbono na China que utilizam um fator linear de concentração de carbono de 0,45 (Wang *et al.*, 2001). E, aplicam um fator de conversão do volume em biomassa florestal para cada grupo florestal. Mencionam que a conversão do volume para biomassa é influenciada por fatores como a idade e a qualidade do sítio. Em consequência disso, dividiram os grupos florestais em cinco classes de idade e estimaram um fator de conversão individual para cada idade, porém encontraram variação nos resultados. Por isso, a estimativa do estoque total de carbono para os ecossistemas florestais da China não é feita a estratificação

por idade. Constataram que o estoque de carbono representa cerca de 0,9 % do estoque global.

Embora, seja conhecido que, ao determinar-se à densidade de carbono, com base em dados obtidos em parcelas de investigação, pode ocorrer influência nos resultados, por causa da fertilidade, sítio, humano e outros fatores naturais e biológicos, o que numa larga variação da densidade de carbono, pode resultar numa superestimativa do estoque de carbono. Por isso, na China, são utilizados dados de inventários florestais para estimar o estoque de carbono das florestas, tanto em nível regional como nacional. O inventário florestal é preferível à maioria das outras fontes de informações para estimar do estoque de carbono, porque ele consegue abarcar com maior realidade as fontes de variação dos dados bases acerca do volume por hectare em todos os tipos florestais em diferentes condições biológicas (Fang *et al.*, 1998).

Este método de derivação do volume em biomassa e carbono reduz as incertezas na estimativa do estoque de carbono das florestas e tem sido usada para estimativas do estoque de carbono em florestas do Canadá (Apps e Kurz, 1994), floresta dos Estados Unida da América (Turner *et al.*, 1995), florestas da Rússia (Alexeyev *et al.*, 1995), e florestas da China (Fang *et al.*, 1998). O método utiliza um fator de conversão para obter o estoque de carbono da vegetação, pela proporção entre a biomassa e o volume da floresta. O fator varia com o tipo florestal (espécies), região (qualidade do sítio), estágio de desenvolvimento (classe de idade) e atividade humana. Além disto, devem-se conhecer a densidade básica da madeira, o conteúdo de carbono e a proporção do volume para a biomassa total (Wang *et al.*, 2001).

Visando a contribuir com o tema, Schöne e Schulte (1999) conduziram um estudo para quantificar, de forma prática, o volume de carbono armazenado em uma floresta manejada de forma sustentada e o comparar com as emissões anuais de origem antropogênica. Os resultados mostraram que as florestas do Estado de Rhein-Pfals, armazenam em média, 250 t C ha<sup>-1</sup>, quantidade equivalente às emissões de 20 anos nesse Estado alemão. No estudo, foi quantificado o armazenamento de carbono, considerando a quantidade da biomassa, compreendendo a parte aérea, no solo, na serrapilheira, na madeira bem como das árvores mortas. Para isso, utilizam a seguinte equação:

$$C = V \cdot Db \cdot Fb \cdot Fc$$

Em que: C = carbono em toneladas; V = Volume em m<sup>3</sup> s/c; Db = Densidade básica da madeira – toneladas/m<sup>3</sup>s/c; Fb = fator de expansão para correção do volume em peso seco da biomassa total obtido pelo cociente do peso seco de toda a biomassa de um povoamento e o peso seco do volume comercial; Fc = fator para a determinação do peso seco da biomassa em C (0,50).

Simulações do estoque de carbono, para aquele Estado alemão, sugerem que a conversão de florestas velhas para jovens de rápido crescimento, em geral, não reduzirá a quantidade de gás carbônico (CO<sub>2</sub>) na atmosfera, como tem sido recentemente sugerido, pois durante a colheita da madeira, o estoque de carbono no sítio é reduzido consideravelmente não compensando a capacidade de armazenamento das florestas velhas por pelo menos, 200 anos. Mesmo quando o seqüestro de carbono for armazenado em construções que utilizam madeira for incluído nos modelos, porque, na colheita da madeira, resulta um fluxo líquido de CO<sub>2</sub> para a atmosfera.

Para compensar esse efeito, a produção de madeira para a construção e outros produtos de madeira de longa durabilidade bem como a expectativa de vida, que as construções teriam de crescer acentuadamente. Os cálculos do equilíbrio de massa indicam que a conversão de 5 milhões de hectares de florestas velhas em plantações mais jovens, no oeste do Oregon e Washington, nos últimos 100 anos, acrescentou entre 1,5 x 10<sup>9</sup> a 1,8 x 10<sup>9</sup> Mg de carbono na atmosfera (Harmon, *et al.*, 1990).

Fearnside e Guimarães (1996), em um estudo com floresta secundária, com 10 anos de idade, quantificaram uma assimilação de 6,0 a 10,0 t ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>; com 20 anos de idade, a assimilação variou entre 4,0 a 7,0 t ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>; e com 80 anos de idade, a assimilação anual média caiu para 2,0 t ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>. Estimam que, em 100 anos, a floresta deve atingir o estado de equilíbrio, com uma taxa de assimilação de 0,97 t ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>.

No mesmo sentido, Salomão *et al.* (s.d.) dizem que a conversão das florestas tropicais primárias em ambientes mais simples contribui significativamente no aumento de CO<sub>2</sub> na atmosfera, acarretando importantes variações climáticas, sobretudo no ciclo hidrológico. Citam estimativas recentes de um acréscimo líquido de 3,2 Gt ano<sup>-1</sup> de carbono na atmosfera, sendo que emissões líquidas de CO<sub>2</sub> em 1980, pelo desmatamento, foram da ordem de 1,8 Gt ano<sup>-1</sup>, e que a queima de combustíveis fósseis liberou 5,0 Gt

ano<sup>-1</sup>.

Assim sendo, em ecossistemas formados por florestas tropicais, no Suriname, a quantidade total chega a um valor de 549 t ha<sup>-1</sup>, distribuídas nas seguintes partes: folhas 10 t ha<sup>-1</sup>, ramos 105 t ha<sup>-1</sup>, tronco 231 t ha<sup>-1</sup>, raízes 26 t ha<sup>-1</sup>, vegetação inferior 48 t ha<sup>-1</sup>, serrapilheira 129 t ha<sup>-1</sup> (Wadsworth, 2000). Estes valores se contrastam com 149,65 t ha<sup>-1</sup> de biomassa, encontrados para um povoamento equiâneo de *Acacia mearnsii* de 6 anos de idade (Calill, 2003).

A concentração de carbono na parte aérea em diferentes tipos de vegetação no mundo é bastante variável, chegando a valores próximos de: 120 t ha<sup>-1</sup> em florestas tropicais, 64 t ha<sup>-1</sup> em florestas boreais, 55 t ha<sup>-1</sup> em florestas temperadas, 24 t ha<sup>-1</sup> em savanas tropicais, 5 t ha<sup>-1</sup> em pradarias de zonas temperadas e 4 t ha<sup>-1</sup> em terras agrícolas (IPCC, 2000).

Schroeder (1991) também menciona que a média de estoque de carbono, em algumas florestas tropicais plantadas, varia consideravelmente com a espécie, idade, e em consequência do crescimento e capacidade produtiva do sítio. O estoque de carbono em povoamentos de *Pinus caribaea* alcança 59 t ha<sup>-1</sup> aos 15 anos, 72 t ha<sup>-1</sup> em *Pinus patula*, aos 20 anos, e 57 t ha<sup>-1</sup> em *Cupressus lusitanica*, aos 20 anos.

## MATERIAL E MÉTODO

### Características da espécie

A *Acacia mearnsii* De Wild. pertence à família Leguminosae, subfamília Mimosoideae, sendo conhecida no Brasil por acácia-negra, na Argentina por acácia-centenário (Kannegiesser, 1990) e, na Austrália, por “black wattle” (Sherry, 1971).

Segundo Schonau (1969), a *Acacia mearnsii* é natural da Austrália e caracteriza-se por ser uma árvore de folhagem verde escura de 10 a 30 metros de altura. A casca de árvores velhas possui cor café-escuro, fissurada e dura, mas em indivíduos mais jovens e nas partes altas do fuste, em povoamentos mais velhos, a casca possui cor café-acinzentado, mas fina e lisa.

### Caracterização da área de estudo

As informações dendrométricas utilizadas neste trabalho têm origem de povoamentos de acácia-negra, encontra-se na região fisionômica denominada Serra do Sudeste, do estado do Rio Grande do Sul.

A Serra do Sudeste abrange a parte montanhosa do estado do Rio Grande do Sul, tendo altitude média de 300 metros, subindo ocasionalmente até 600 metros em relação ao nível médio do mar.

O clima da região é do tipo Cfa, subtropical, segundo o sistema de classificação de Koeppen, que se caracteriza pela não-ocorrência de déficit hídrico, com chuvas uniformemente distribuídas durante todo o ano. A precipitação média anual é de 1.537 mm, com geadas frequentes nos meses mais frios podendo atingir 11 ocorrências anuais. A temperatura média anual é de 19,7°C (Moreno, 1961).

Os solos da região pertencem à Unidade de Mapeamento São Jerônimo. Esse solo se caracteriza como Argissolo Vermelho-Escuro, textura argilosa, relevo ondulado e substrato granito. É formada na sua maior parte por solos profundos, bem-drenados, de coloração avermelhada, textura franco-argilosa, a argilosa com cascalhos, porosos e desenvolvidos partindo de granitos. Ainda, normalmente, os solos dessa unidade são fortemente ácidos, com saturação de bases baixas e com teores de matéria orgânica baixos (Embrapa, 1973).

### Base de dados

Neste estudos foram utilizadas duas fontes de dados obtidas na mesma região: uma originada de inventários florestais de povoamentos de *Acacia mearnsii* estratificados por idade; e a outra de parcelas permanentes de diferentes tipos de investigações.

O primeiro grupo de dados se originou de inventário florestal estratificado por idade, com as parcelas amostrais distribuídas ao acaso por idade, de 3,5 a 7,5 anos. Essas unidades amostrais foram localizadas sobre um mapa das áreas com talhões selecionados para a coleta de informações, tendo sido levados em consideração o local e a idade.

O número de unidades por amostra foi definido em razão do coeficiente de variação, sendo que o povoamento com maior coeficiente de variação, no caso o com idade de 7,5 anos, foi tomado como base para determinar o número de amostras por talhão. Para os povoamentos de 7,5 anos, foram tomadas 15 unidades amostrais e, nas demais idades, de 3,5 a 6,5 anos, foram tomadas 12 unidades amostrais, o que totalizaram 150 unidades amostrais, conforme Schneider (1978).

Os dados coletados nas árvores das unidades amostrais foram a circunferência com casca, altura total e comercial. A altura comercial foi definida pelo diâmetro comercial de 5 cm com casca. Para medir a circunferência, foi utilizada a fita métrica e as medições de altura total e comercial foram feitas com o hipsômetro Blume-Leiss.

Para a cubagem, adotou-se, como critério, o abate de cinco árvores localizadas dentro de cada unidade amostral. Essas árvores foram abatidas, num total de 750, distribuídas por classe de idade de 3,5 a 7,5 anos, e de diâmetro e altura.

As medidas de circunferência sem casca foram tomadas, após o descascamento das árvores abatidas, nas seguintes secções: 0,1; 0,3; 0,5; 0,8; 1,30; 2,00; 4,00 m;..... até a altura total. A determinação do volume das árvores foi feita utilizando-se a fórmula de Smalian.

O peso de casca verde foi obtido pela pesagem do volume de casca das árvores cubadas. Para isso, foi utilizada uma balança de precisão, tendo sido realizado logo após o abate das árvores cubadas.

O segundo grupo de dados usado de forma complementar forneceu: O volume total, biomassa das partes aéreas e subterrâneas, conteúdo de carbono das partes e total da *Acacia mearnsii*, foi obtido em estudos realizados por Freddo (1997), Caldeira (1998), Schumacher *et al.* (2001), Calill (2003), Barichello (2003). Estas informações foram utilizadas para determinar o fator de conversão do estoque de carbono da vegetação pelo volume da floresta, assim como, para obter a proporção do volume total para biomassa.

### Estimativa do estoque de carbono

O estoque de carbono foi calculado por meio do volume inventariado em cada idade da floresta, usando a método de derivação do volume em biomassa e carbono que utiliza o fator de conversão do estoque de carbono, densidade básica da madeira e proporção de biomassa, sendo expresso por (Wang *et al.*, 2001):

$$C_i = \sum_{i=1}^n \{(V_i \cdot Db_i \cdot C_c) / P_{bi}\}$$

Em que:  $C_i$  = carbono estocado no  $i$ -ésima idade ou tipo florestal;  $V_i$  = estoque real inventariado no  $i$ -ésima idade ou tipo florestal, em  $m^3 \text{ ha}^{-1}$ ;  $Db_i$  = densidade básica da madeira do  $i$ -ésima idade da ou florestal, em  $g/cm^3$ ;  $P_{bi}$  = proporção de biomassa do tronco com casca em relação à biomassa total no  $i$ -ésima idade ou tipo florestal;  $C_c$  = concentração de carbono;  $n$  = número de idades ou tipos florestais.

A proporção de biomassa do tronco com casca em relação à biomassa total no  $i$ -ésima idade ou tipo florestal foi obtida por:

$$P_{bi} = \sum_{i=1}^n (V_{t_i} / B_t)$$

Em que:  $P_{bi}$  = proporção de biomassa do tronco com casca em relação à biomassa total no  $i$ -ésima idade ou tipo florestal;  $V_{t_i}$  = volume total com casca inventariado por unidade de área da  $i$ -ésima idade ou tipo florestal;  $B_t$  = biomassa total dos componentes das partes subterrâneas e aérea, incluindo folhas, ramos, fuste, casca, serrapilheira, raízes, grama e arbustos;  $n$  = número de idades ou tipos florestais.

A densidade básica da madeira da espécie considerada foi determinada pela fórmula (Durlo e Marchiori, 1992):

$$Db_i = \frac{PS}{(PU - PI)}$$

Em que:  $PS$  = peso seco em estufa da amostra;  $PU$  = peso úmido da amostra;  $PI$  = peso imerso da amostra;  $PU - PI$  = volume saturado da amostra.

A densidade de carbono armazenada foi obtida pelo produto do estoque de carbono por unidade de área pela área da *i*-éssima idade ou tipo florestal, ou seja:

$$Dc = \sum_{i=1}^n (C_i \cdot A_i)$$

Em que:  $Dc$  = densidade de carbono armazenado;  $C_i$  = carbono armazenado no *i*-éssima idade ou tipo florestal;  $A_i$  = área florestal da *i*-éssima idade ou tipo florestal;  $n$  = número de idades ou tipos florestais.

### Diferença relativa do estoque de carbono obtido pelo método de derivação do volume em biomassa e carbono e o obtido por determinação laboratorial

A diferença relativa da biomassa e do estoque de carbono obtida pelo método de derivação do volume em biomassa e carbono, foi realizada em relação ao estoque de carbono obtido por análise laboratorial, por diferentes autores: Caldeira (1998); Schumacher *et al.* (2001); Barichello (2003); Calill (2003).

Essa diferença relativa do estoque de carbono por idade e qualidade do sítio foi obtida pela seguinte fórmula:

$$ER_i = \frac{ECE_i - ECR_i}{ECE_i} \cdot 100$$

Em que:  $ER_i$  = diferença relativa para a *i*-éssima idade;  $ECE_i$  = estoque de carbono estimado pelo método de derivação do volume em biomassa e carbono para a *i*-éssima idade;  $ECR_i$  = estoque de carbono real na *i*-éssima idade, determinado via laboratório.

A diferença relativa do método de derivação do volume em biomassa e carbono para o total da amostragem, independente da idade, foi obtido pela seguinte fórmula:

$$ERT = \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (ECE_i - ECR_i)}{\sum_{i=1}^n ECE_i} \right] \cdot 100$$

Em que:  $ERT$  = diferença relativa do total da amostragem;  $ECE_i$  = estoque de carbono estimado pelo método de derivação do volume em biomassa e carbono para a idade *i*;  $ECR_i$  = estoque de carbono real para a idade *i*, determinado via laboratório;  $n$  = número total de amostras.

### Processamento dos dados

Os cálculos de volume, biomassa, estoque e densidade de carbono foram efetuados por meio de planilha eletrônica, desenvolvida no Microsoft Excel.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

### Densidade básica

A densidade básica média da madeira de acácia-negra encontrada, considerando as variações de idade, sítio e espaçamento dos povoamentos, foi de  $0,60 \text{ g cm}^{-3}$ , com um coeficiente de variação de apenas 3,8%, quando consideradas todas as idades. Por isso, este valor de  $0,60 \text{ g cm}^{-3}$  foi utilizado no presente caso para todas as idades. Esse valor encontrado aproxima-se muito dos encontrados por Freddo (1967) de  $0,566 \text{ g cm}^{-3}$ , Carvalho (s.d.) de  $0,62$ , e o indicado por Bootle (1984) de  $0,62$  a  $0,63 \text{ g cm}^{-3}$ . No entanto, deve-se considerar que, nesses estudos, a situação dos povoamentos eram diferentes, quanto à idade, qualidade do sítio e provavelmente do espaçamento dos povoamentos amostrados.

### Proporção de biomassa

Na determinação da proporção de biomassa, foram utilizados dados publicados por Schumacher *et al.* (2001) e Barichello (2003) cujos resultados parciais se encontram nas Tabelas 1 a 3 e possibilitaram a determinação da concentração de  $C$  e a proporção de biomassa.

TABELA 1: Proporção de biomassa e carbono em *Acacia mearnsii*, aos 4 anos de idade.TABLE 1: Proportion of biomass and carbon in 4-year-old *Acacia mearnsii* stands.

Componente	Biomassa <sup>1</sup> (t ha <sup>-1</sup> )	C <sup>1</sup> (t ha <sup>-1</sup> )	Concentração (C)
Madeira	41,06	17,13	0,42
Casca	5,66	2,15	0,38
Folhas	2,55	1,10	0,43
Galhos	13,05	4,95	0,38
Raízes	8,62	3,45	0,40
Serapilheira	7,94	2,26	0,28
Total	88,88	31,04	0,35
Proporção de biomassa	0,53	-	-

Fonte: <sup>1</sup> Schumacher *et al.* (2001).

Conforme os dados das Tabelas 1 a 3, os valores encontrados para a proporção de biomassa variaram de 0,53, aos 4 anos, a 0,65, aos 6 anos de idade. Enquanto que o valor médio da proporção de biomassa, independente da idade dos povoamentos, foi de 0,59 numericamente igual ao encontrado aos 8 anos de idade. Esse valor médio de proporção de biomassa de 0,59, encontrado para povoamentos equiâneos de

TABELA 2: Proporção de biomassa e carbono em *Acacia mearnsii*, aos 6 anos de idade.TABLE 2: Proportion of biomass and carbon in 6-year-old *Acacia mearnsii* stands.

Componente	Biomassa <sup>1</sup> (t ha <sup>-1</sup> )	C <sup>1</sup> (t ha <sup>-1</sup> )	Concentração (C)
Madeira	90,98	36,13	0,40
Casca	7,85	3,01	0,38
Folhas	7,58	3,43	0,45
Galhos	19,58	7,66	0,38
Raízes	12,66	5,02	0,40
Serapilheira	13,47	4,53	0,34
Total	152,12	60,28	0,40
Proporção de biomassa	0,64	-	-

Fonte: <sup>1</sup> Schumacher *et al.* (2001).

TABELA 3: Proporção de biomassa e carbono em *Acacia mearnsii*, aos 8 anos de idade.TABLE 3: Proportion of biomass and carbon in 8-year-old *Acacia mearnsii* stands.

Componente	Biomassa <sup>1</sup> (t ha <sup>-1</sup> )	C <sup>1</sup> (t ha <sup>-1</sup> )	Concentração (C)
Madeira	82,35	34,33	0,42
Casca	10,93	4,49	0,41
Folhas	3,92	1,70	0,43
Galhos	18,44	7,51	0,40
Raízes	16,46	6,85	0,41
Serapilheira	25,73	8,88	0,35
Total	157,83	63,76	0,40
Proporção de biomassa	0,59	-	-

Fonte: <sup>1</sup> Barichello (2003).

acácia-negra, coincide com o obtido com os dados determinados por Calill (2003) para a mesma espécie, aos 6 anos de idade. E, assemelha-se ao valor de 0,61, para a mesma espécie determinado com base nos resultados de Caldeira (1998). Porém, esse valor contrasta significativamente com obtido por Wadsworth (2000) para floresta tropical de Suriname cujo valor deduzido foi de 0,42. Essa diferença pode ser considerada natural, pois se trata de dois ecossistemas florestais distintos.

### Concentração de carbono

A concentração de carbono, também calculada com os dados publicados por Schumacher *et al.* (2001) e Barichello (2003) apresentados nas Tabelas 1 a 3, mostram que existe uma pequena variação da

concentração entre os diferentes componentes das partes aéreas e subterrâneas das árvores de acácia-negra. Entretanto, deve-se considerar que existe uma diferença de idade entre os povoamentos amostrados.

Ao se tomar a média da concentração de carbono, de forma independente da idade, das partes aéreas e subterrâneas, verifica-se uma variação entre 0,35 a 0,40, ou seja, 12,5 %. No entanto, a partir de 6 anos de idade, as árvores apresentaram concentração de carbono igual a 0,40, mostrando o aumento da concentração de carbono e sua estabilização na amplitude das idades estudadas. Esse valor pode ser considerado baixo se comparado com as concentrações de carbono determinadas para outras espécies como: *Pinus sylvestri* de  $0,499 \pm 0,145$ ; *Pinus radiata* de  $0,497 \pm 0,119$ ; *Quercus suber* de  $0,481 \pm 0,174$ ; *Populus nigra* de  $0,483 \pm 0,026$ , todos na Espanha (Ibañez *et al.*, 2002); para todas as espécies na Áustria de 0,5 (Schöne e Schulte, 1999); para todas as espécies na China de 0,45 (Wang *et al.*, 2001).

#### Diferença relativa do estoque de carbono obtido pelo método de derivação do volume em biomassa e carbono e o obtido por determinação laboratorial

Na Tabela 4, são apresentados os resultados da determinação do estoque de carbono estimado pelo método de derivação do volume em biomassa e carbono comparados aos determinados em laboratório por Schumacher *et al.* (2001) e Barichello (2003) bem como a diferença relativa. Esses resultados são apresentados por idade do povoamento de acácia-negra, considerando a densidade básica média da madeira de 0,6, concentração de carbono média de 0,40 e proporção de biomassa média de 0,59.

Os resultados indicam que a maior diferença relativa entre as duas estimativas, 16,5%, ocorreu nos povoamentos jovens, de 4 anos, seguido de 3,1%, aos 6 anos, e de 6,9% aos 8 anos de idade. A maior diferença encontrada em povoamentos de 4 anos, provavelmente, decorre do valor utilizado para densidade básica da madeira, 0,60, que pode ser menor nas idades mais jovens, em decorrência da maior proporção de lenho juvenil na madeira.

TABELA 4: Determinação da diferença relativa do método de derivação do volume em biomassa e carbono.  
TABLE 4: Determination of the relative difference of the method of derivation of volume into biomass and carbon.

Idade (ano)	Biomassa (t ha <sup>-1</sup> )	Carbono (t ha <sup>-1</sup> )	Carbono estimado (t ha <sup>-1</sup> )	Diferença (%)
4	88,88 <sup>1</sup>	31,04 <sup>1</sup>	36,15	16,5
6	152,12 <sup>1</sup>	60,28 <sup>1</sup>	61,88	3,1
8	157,83 <sup>2</sup>	63,76 <sup>2</sup>	64,20	6,9

Fonte: <sup>1</sup> Schumacher *et al.* (2001); <sup>2</sup> Barichello (2003).

Para a amostragem total, independente da idade dos povoamentos, o método de derivação do volume em biomassa e carbono apresentou alta eficiência, pois o erro obtido foi de apenas 4,4%. Esse valor pode ser considerado muito pequeno, dado a excelente precisão e eficiência do método na estimativa do estoque de carbono, demonstrando ser possível seu uso, com segurança e boa precisão em povoamentos equiâneos de acácia-negra.

#### Estoque de carbono por classe de diâmetro

De acordo com os dados da Tabela 5, a variação do estoque de carbono por unidade está diretamente relacionada à frequência de indivíduos por hectare e a dimensão da classe de diâmetro. A maior densidade de carbono de 16,39 t ha<sup>-1</sup> concentra-se em torno do diâmetro médio do povoamento de 15,5 cm, no qual, igualmente, ocorre a maior frequência de 245 árvores/ha e volume de 40,3 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, o que biometricamente já era esperado, pela alta correlação existente entre estas variáveis.



TABELA 5: Estoque de carbono por classe de diâmetro de um povoamento de acácia-negra de 8 anos de idade.

TABLE 5: Carbon storage per diameter class in an 8-year-old black wattle stand.

Centro de Classe DAP	Frequência (ha <sup>-1</sup> )	Volume (m <sup>3</sup> c/c ha <sup>-1</sup> )	Estoque C (t ha <sup>-1</sup> )
6,5	76	1,4208	0,5779
9,5	274	13,9786	5,6862
12,5	347	34,6600	14,0989
15,5	245	40,3098	16,3972
18,5	146	35,5475	14,4600
21,5	40	14,0086	5,6984
24,5	7	3,1418	1,2780
-	1135	143,0671	58,1966

Fonte: Dados parciais de Barichello (2003).

### Estoque de carbono por idade e sítio

Nas Tabelas 6 a 8, encontram-se os resultados da determinação do estoque de carbono e incremento médio anual em carbono por idade e qualidade do sítio, considerando um espaço vital médio inicial com 4 m<sup>2</sup>.

Os dados da Tabela 6 mostram que, para o índice de sítio de qualidade ruim (IS=12), o estoque de carbono tende a aumentar com o aumento da idade, em decorrência do aumento do volume por unidade de área. Nesse sítio, de baixa capacidade produtiva, o estoque de carbono alcançou a 51,58 t ha<sup>-1</sup>, aos 8 anos de idade, no qual o volume com casca foi de 126,8 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>.

TABELA 6: Estoque de carbono por idade, índice de sítio ruim (IS = 12), para um espaçamento inicial com 4 m<sup>2</sup>.

TABLE 6: Carbon storage by age, bad site index (IS = 12), for an initial spacing of 4 m<sup>2</sup>.

Idade (ano)	Volume <sup>1</sup> (m <sup>3</sup> c/c ha <sup>-1</sup> )	Estoque Carbono (t ha <sup>-1</sup> )	IMA Carbono (t ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> )
1	15,4	6,26	6,26
2	30,8	12,53	6,26
3	46,2	18,79	6,27
4	67,3	27,37	6,84
5	82,3	33,48	6,70
6	98,9	40,23	6,70
7	113,4	46,13	6,59
8	126,8	51,58	6,45

Fonte: <sup>1</sup>Schneider *et al.* (2000).

As mesmas tendências foram observadas nos sítios de capacidade produtiva média (IS = 16) e boa (IS = 20), como mostram as Tabelas 7 e 8. O máximo estoque de carbono foi observado nos sítios bons, que atingiu 99,46 t ha<sup>-1</sup>, aos 7 anos de idade. O máximo incremento médio anual (IMA) em carbono foi de 20,56 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, que ocorreu aos 4 anos de idade.

TABELA 7: Estoque de carbono por idade, índice de sítio médio (IS = 16), para um espaçamento inicial com 4 m<sup>2</sup>.TABLE 7: Carbon storage by age, medium site index (IS = 16), for an initial spacing of 4 m<sup>2</sup>.

Idade (ano)	Volume <sup>1</sup> (m <sup>3</sup> c/c ha <sup>-1</sup> )	Estoque Carbono (t ha <sup>-1</sup> )	IMA Carbono (t ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> )
1	29,5	12,00	12,00
2	59,0	24,00	12,00
3	88,6	36,04	12,01
4	128,8	52,39	13,09
5	157,0	63,86	12,77
6	183,3	74,56	12,43
7	204,0	82,98	11,85
8	218,8	89,00	11,12

Fonte: <sup>1</sup> Schneider *et al.* (2000).

TABELA 8: Estoque de carbono por idade, índice de sítio bom (IS = 20), para um espaçamento inicial com 4 m<sup>2</sup>.TABLE 8: Carbon storage by age, good site index (IS = 20), for an initial spacing of 4 m<sup>2</sup>.

Idade (ano)	Volume <sup>1</sup> (m <sup>3</sup> c/c ha <sup>-1</sup> )	Estoque Carbono (t ha <sup>-1</sup> )	IMA Carbono (t ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> )
1	48,9	19,89	19,89
2	97,8	39,78	19,89
3	146,8	59,71	19,91
4	202,2	82,25	20,56
5	228,5	92,95	18,59
6	242,7	98,72	16,45
7	244,5	99,46	14,21
8	238,8	97,14	12,14

Fonte: <sup>1</sup> Schneider *et al.* (2000).

O desenvolvimento dessas relações por unidade de área, no tempo e em sítio de diferentes qualidades, pode ser analisado na Figura 1. Verifica-se que a idade e qualidade do sítio influem diretamente na quantidade de carbono armazenado na biomassa, apresentando tendência semelhante à gerada pela produção volumétrica de um povoamento. No índice de sítio 20, a partir do 7 ano, ocorreu um declínio do estoque de carbono pela acentuada mortalidade de indivíduos do povoamento em decorrência da severa competição e em decorrência do próprio processo natural, relacionado ao curto ciclo vital da espécie.

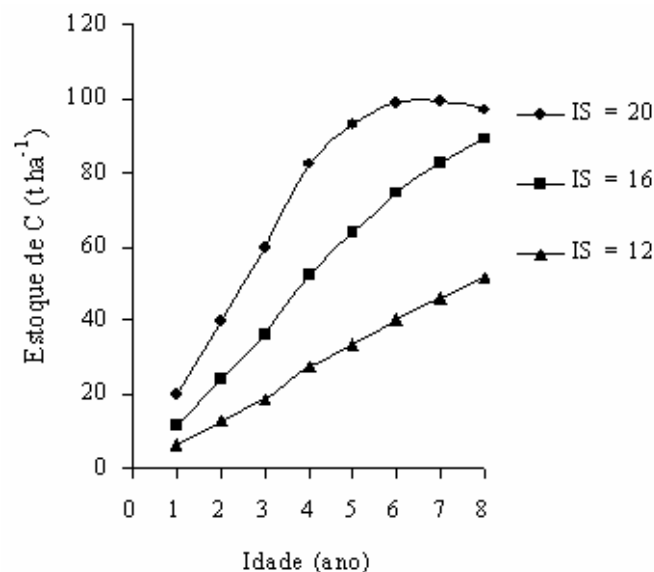


FIGURA 1: Estoque de carbono por idade e qualidade do sítio.

FIGURE 1: Carbon storage by age and site quality.

### Estoque de carbono no globo

A densidade de carbono encontrada no presente estudo, quando considerados os sítios de média capacidade produtiva alcançou um valor de 83 t ha<sup>-1</sup>, aos 7 anos de idade.

De forma comparativa com o potencial de armazenamento de carbono publicado para outros países, o Brasil detém uma expressiva vantagem em conseqüência ao maior crescimento de suas florestas. Conforme os dados da Tabela 9, dentre os países considerados, a China tem estocado 3,25 Pg de carbono, correspondente a apenas 0,9 %, do total do globo, para uma densidade de carbono por hectare de 36 t ha<sup>-1</sup> (Wang *et al.*, 2001), valor igual ao da Rússia ( Alexeyev *et al.*, 1995), inferior aos dos Estados Unidos de 61 t ha<sup>-1</sup> e do presente estudo para acácia-negra de 83 t ha<sup>-1</sup>.

TABELA 9: Comparação do estoque e densidade de carbono em alguns países.

TABLE 9: Comparison of carbon storage and density in several countries.

Países	Carbono estocado (Pg)	Porcentagem do globo (%)	Densidade de Carbono (t ha <sup>-1</sup> )	Fonte
Brasil <sup>1)</sup>	-	-	83	Presente estudo
China	3,25	0,9	36	Wang <i>et al.</i> (2001)
Canadá	12,0	3,3	28	Dixon <i>et al.</i> (1994)
Estados Unidos	12,1	3,4	61	Turner <i>et al.</i> (1995)
Rússia	28,0	7,8	36	Alexeyev <i>et al.</i> (1995)

Em que: <sup>1)</sup> Valor para o Índice de sítio médio (IS = 16) de acácia-negra, aos 7 anos de idade.

### CONCLUSÕES

Os resultados encontrados no presente trabalho permitiram concluir que:

- A densidade básica média da madeira, independente da idade dos povoamentos de acácia-negra foi de 0,6 g cm<sup>-3</sup>, para um coeficiente de variação de 3,8%.
- O valor médio da proporção de biomassa, independente da idade dos povoamentos, foi de 0,59.
- O valor médio da concentração de carbono, independente da idade dos povoamentos, foi igual a 0,40.
- O estoque estimado de carbono, pelo método de derivação de volume em biomassa e carbono, em povoamentos de 7 anos de idade, foi de 99,46 t ha<sup>-1</sup> no índice de sítio 20, de 82,98 t ha<sup>-1</sup> no índice de sítio 16, e de 46,13 t ha<sup>-1</sup> no índice de sítio 12.
- O método de derivação do volume em biomassa e carbono mostrou-se eficiente, pois o erro relativo médio foi de apenas 4,4%, quando considerado o total da amostragem, estratificada por sítios e idade, indicando ser uma boa opção para obter com baixo custo o estoque de biomassa e carbono das florestas, bastando conhecer o volume, a densidade básica da madeira, a proporção de biomassa e a concentração de carbono.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALEXEYEV, V.; BIRDSEY, R.; STAKANOV, V.; KOROTKOV, I. Carbon in vegetation of Russian forests: methods to estimate storage and geographical distribution. **Water Air Soil**. v. 82, p. 271-382. 1995.
- APPS, M. J., KURZ, W. A. The role of Canadian forests in the global carbon budget. In: Kanninen, M. (Ed.), **Carbon Balance of World's Forested Ecosystems: Towards a Global Assessment**. SILMU, Finland, 1994. p. 14-39.
- ARAÚJO, T. M.; CARVALHO, Jr., J. A.; HIGUCHI, N.; BRASIL, Jr., A. C. P.; MESQUITA, A. L. A. A tropical rain Forest clearing experiment by biomass burning in the state of Pará, Brazil. **Atmospheric Environment**, v. 33, p. 1991-1998, 1999.
- BARICHELLO, L. R. **Quantificação da biomassa e dos nutrientes em floresta de *Acacia mearnsii* De Wild. na região sul do Brasil**. 2003. 58p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2003.
- CALDEIRA, M. V. W. **Quantificação da biomassa e do conteúdo de nutrientes em diferentes procedências de acácia-negra (*Acacia mearnsii* De Wild.)**. 1998. 96p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 1998.
- CALILL, F. N. **Aspectos da ciclagem de nutrientes em um sistema silvopastoril na região de Tupanciretã**. 2003.

- 77p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2003.
- CARVALHO, E. R. P. Espécies arbóreas não tradicionais: silvicultura e usos. In: Disponível em : <<http://www.sindimadeira.org.br/3simader/silvicultura.htm>>.
- DIXON, R. K.; BROWN, S.; HOUGHTON, R. A.; SOLOMON, A. M. ; TREXLER, M. C. ; WISNIEWSKI, J. Carbon pools and flux of global forest ecosystems. **Science**, v. 262, p. 185-190, 1994.
- DURLO, M.A.; MARCHIORI, J.N.C. **Tecnologia da madeira**: reutilização. Santa Maria: CEPEF/ FATEC, 1992. 33p.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Rio Grande do Sul**. Recife, 1973. (Boletim Técnico, 30).
- FANG, J.; WANG, G. G.; LIU, G.; XU, S. Forest biomass of Masson pine in Huitong, Human Province. **For. Res.** v.1, p. 117-134, 1998.
- FEARNSIDE, P. M.; GUIMARÃES, W. M. Carbon uptake by secondary forests in Brazilian Amazonia. **Forest Ecology and Management**, v. 80, p. 35-46, 1996.
- FREDDO, A. **Elementos minerais em madeiras de Eucaliptos e Acácia-negra e sua influência na indústria de celulose Kraft branqueada**. 1967. 69p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 1967
- HARMON, M.; FERRELL, W.; FRANKLIN, J. F. Effects on carbon storage of conversion of old-growth forests to young forests. **Science**, v. 247, p. 699-702, 1990.
- IBAÑEZ, J. J.; VAYREDA, J.; GRACIA, C. Metodologia complementaria al Inventario Forestal Nacional en Catalunya. In: \_\_\_\_\_. **El Inventario Forestal Nacional: elemento clave para la Gestión Forestal Sostenible**. Fundación General de la Universidad de Valladolid, 2002. p. 67-77.
- IPCC. The 2000 IPCC Supplement, WMO/UNEP, 2000. 77p.
- KANNEGIESSER, U. Apuntes sobre algunas acacias australianas. 1.- *Acacia mearnsii* De Willd. **Ciencia e Investigación Forestal**, v. 4, n. 2, p. 198-202, 1990.
- KRAMER, R. J.; KOZLOWSKI, T. T. **Fisiologia das Árvores**. Lisboa: Fundação Kalouste Goulbenkian, 1972. 745p.
- KRAPFENBAUER, A. ; ANDRAE, F. **Pesquisas Áustro-Brasileiras 1973-1982 sobre *Araucaria angustifolia*, *Podocarpus lambertii* e *Eucalyptus saligna***. Santa Maria : Universidade Federal de Santa Maria, 1982. p. 16-29
- LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Paulo: EPU, 1986. 319p.
- MORENO, J. A. **Clima do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura, 1961. 42p.
- SALOMÃO, R. P.; NEPSTAD, D. C.; VIEIRA, I. C. G. **Biomassa e estoque de carbono de florestas tropicais primárias e secundárias**. Disponível em : <<http://www.agrisustentavel.com/doc/biomassa>>. RAS.>
- SCHNEIDER, P. R. **Modelos de equação e tabelas para avaliar o peso de casca de acácia negra, *Acacia mearnsii* De Wild**. 1978. 137p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1978.
- SCHNEIDER, P. R.; FINGER, C. A. G.; SCHNEIDER, P. S. P. S.; FLEIG, F. D. **Subsídios para o manejo de acácia-negra, *Acacia mearnsii* De Wild**. Santa Maria: CEPEF/ FATEC/UFMS, 2000.71p.
- SCHONAU, A. P. G. A site evaluation study in Black Wattle (*Acacia mearnsii* De Wild.). **Ann. Univ. Von Stellenbosch**, v.44, n.2, p.1-214, 1969.
- SCHÖNE, D.; SCHULTE, A. Forstwirtschaft nach Kyoto: Ansätze zur Quantifizierung und betrieblichen Nutzung von Kohlenstoffsenken. **Forstarchiv**, 70 Jahrgang, p. 167-176. 1999
- SCHROEDER, P. **Carbon storage potencial of short rotation tropical tree plantations**. 1991. 19p.
- SCHUMACHER, M. V.; VOGEL, H. L. M.; BARICHELLO, L. R.; CALDEIRA, M. V. W. Quantificação do carbono orgânico em floresta de *Acacia mearnsii* De Wild. Em diferentes idades. In: SIMPÓSIO LATINO-AMERICANO SOBRE MANEJO FLORESTAL, 2. Santa Maria, 2001. **Anais ...** 2001. p. 387-399.
- SHERRY, S. P. **The Black Wattle (*Acacia mearnsii*)**. Pietermoritzburg: University of Natal Press, 1971. 402 p.
- TURNER, D. P.; HOEPPER, G. J.; HARMON, M. E.; LEE, J. J. A carbon budget for forests of the conterminous United States. **Ecol. Appl.** v. 5, p. 421-436. 1995.
- WADSWORTH, F. H. Producción Forestal para América Tropical. Washington: U. S. Dept. of Agriculture, **Forest Service**. p. 1-603, 2000.
- WANG, X.; FENG, Z.; OUYANG, Z. The impact of human disturbance on vegetative carbon storage in forest ecosystems in China. **Forest Ecology and Management**, v. 148, p. 117-123.