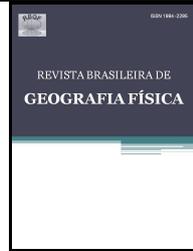




# Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: [www.ufpe.br/rbgfe](http://www.ufpe.br/rbgfe)



## Estoques e Fluxos de Carbono no Semi-Árido Nordeste: Estimativas Preliminares

Everardo Valadares de Sá Barretto Sampaio<sup>1</sup> e Tânia Lúcia da Costa<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Prof<sup>o</sup> Titular, DEN, Universidade Federal de Pernambuco. Av. Prof. Luís Freire 1000, Recife, PE. 50740-540. [esampaio@ufpe.br](mailto:esampaio@ufpe.br).

<sup>2</sup> Mestranda do PPGP, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Av. D. Manoel de Medeiros, s/n, Recife, PE. 52171-900. [tanialuciacosta@gmail.com](mailto:tanialuciacosta@gmail.com).

Artigo recebido em 12/11/2011 e aceito em 21/12/2011

### RESUMO

O aumento na concentração de CO<sub>2</sub> atmosférico e seu potencial em causar mudanças climáticas globais renovaram o interesse no ciclo de carbono e em estratégias de seqüestro de C. Balanços de C têm sido estimados para diferentes regiões e ecossistemas do mundo mas são escassos no semiárido nordestino. Este semi-árido estende-se por 1 milhão de km<sup>2</sup>, dos quais estima-se que 40, 30, 15 e 15% são ocupados com caatinga, pastos nativos, pastos plantados e lavouras, com estoques de biomassa de 47, 15, 2 e 1 Mg ha<sup>-1</sup>, totalizando cerca de 1200 Tg de C, e produzindo 9, 8, 8 e 5 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, totalizando 400 Tg de C ano<sup>-1</sup>. As concentrações de C no solo foram estimadas em 9,25 e 5 g C kg solo<sup>-1</sup>, nas profundidades de 0-20 e 20-100 cm, totalizando 8,9 Pg de C. A abertura anual de novas roças equivale a 2,4 x 10<sup>6</sup> ha, correspondendo a 48 x 10<sup>6</sup> Mg de biomassa e 24 Tg de C. O consumo anual de lenha corresponde a 17 x 10<sup>6</sup> Mg de biomassa, o de forragem a 47 x 10<sup>6</sup> Mg e a produção agrícola a 15 x 10<sup>6</sup> Mg. Não é possível fechar um balanço entre perdas e ganhos de C por falta de informação sobre o balanço na derrubada e queima da caatinga para a formação de roçados e pastos e na regeneração da vegetação nativa em áreas nas quais estas atividades foram descontinuadas. Há um potencial inaproveitado na venda de créditos de C nas áreas em regeneração.

Palavras chave: uso da terra, biomassa, raízes, C no solo, lenha, forragem

## Stocks and Fluxes of Carbon in Semiarid Northeast Brazil: Preliminary Estimates

### ABSTRACT

The increase in atmospheric CO<sub>2</sub> concentration and its potential to cause climatic changes brought a new interest in carbon cycle and C sequestration strategies. Carbon balances have been estimated for several regions and ecosystem in the world but are scarce for the semiarid northeastern region. This region covers one million km<sup>2</sup>, of which caatinga, native pastures, planted pastures and crops occupy 40, 30, 15 and 15%, with biomass stocks of 47, 15, 2 and 1 Mg ha<sup>-1</sup>, totaling about 1200 Tg of C, and producing 9, 8, 8 and 5 Mg ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup>, totaling 400 Tg of C year<sup>-1</sup>. Soil C concentrations were estimated as 9.25 and 5 g C kg soil<sup>-1</sup>, in the layers of 0-20 and 20-100 cm depth, totaling 8.9 Pg of C. The opening of new crop fields is equivalent to 2.4 x 10<sup>6</sup> ha, corresponding to 48 x 10<sup>6</sup> Mg biomass and 24 Tg of C. Firewood consumption corresponds to 17 x 10<sup>6</sup> Mg biomass, forage consumption to 47 x 10<sup>6</sup> Mg and agricultural production to 15 x 10<sup>6</sup> Mg. It is not possible to close a balance of C gains and losses due to lack of information on the balance of native vegetation slash and burn to establish new crop fields and native vegetation regrowth with the abandonment of these fields. There is an unused potential in the marketing of C credits in the areas of regenerating caatinga.

Key words: land use, biomass, soil C, firewood, forage

### 1. Introdução

O aumento comprovado na

concentração de CO<sub>2</sub> atmosférico e seu

potencial em causar mudanças climáticas

\* E-mail para correspondência: [esampaio@ufpe.br](mailto:esampaio@ufpe.br)  
(Sampaio, E. V. S. B.).

globais (IPCC, 2001) trouxeram um renovado interesse no ciclo de carbono e em estratégias para sequestrar CO<sub>2</sub> da atmosfera (Dixon et al., 1994; Kartha et al., 2001; Palumbo et al., 2004). O assunto é tema desde convenção e protocolos das Nações Unidas até a mídia do dia a dia e pouca gente desconhece o efeito estufa e o aquecimento global. Créditos de C são negociados em mercados internacionais (Marland et al., 2001) e movimentam bilhões de dólares cada ano. Toda a discussão e os negócios passam pela determinação de estoques e fluxos de C das áreas em questão.

Balanços de C têm sido estimados em escalas distintas, para diferentes regiões e ecossistemas do mundo (Dixon et al., 1994; IPCC, 2000; Jaramillo et al., 2003; Vargas et al., 2008; Mendoza-Ponce & Galicia, 2010; Gallaun et al., 2010). Procura-se determinar o tamanho dos estoques em diferentes compartimentos da área, os fluxos entre eles e com a atmosfera, se a área tem ganho ou perda líquidos e quais os efeitos de mudanças no manejo dos diferentes compartimentos. Para isto, é necessário juntar e compatibilizar informações oriundas de diversos campos de trabalho, o que não é uma tarefa simples.

Informações sobre estoques e fluxos de C no semi-árido nordestino têm sido publicadas há bastante tempo (Tissen et al., 1998), mas o esforço em reunir esta informação em estimativas mais abrangentes tem sido pequeno. Assim, o objetivo deste trabalho foi revisar esta informação, identificar lacunas, apontar formas de

preenchê-las e fazer uma estimativa preliminar do balanço de C nesta região.

#### Área e cobertura vegetal no semi-árido

O semi-árido nordestino estende-se por uma grande área, com limites variáveis em função dos critérios adotados para sua classificação (Sampaio, 2010). Ele corresponde grosseiramente à área reconhecida como do bioma caatinga, que ocupa, além do semiárido nordestino, uma parte do norte de Minas Gerais. Sua área de abrangência tem sido definida como indo de cerca de 0,6 a 1,1 milhões de quilômetros quadrados, a maioria dos textos adotando valores mais próximos ao limite superior. Neste trabalho, adotou-se o tamanho de 1 milhão de km<sup>2</sup> (Tabela 1). O erro possível deve ser de pequena magnitude e adaptações para mais ou menos são fáceis de fazer.

Os estoques de C na vegetação e no solo dependem muito das formas de manejo da área (Laurence et al., 1999; Kauffman et al., 2009; Don et al., 2011). Áreas cobertas com vegetação nativa de caatinga arbustiva e arbórea têm um estoque de biomassa vegetal maior que o de áreas cobertas com vegetação herbácea, como as pastagens abertas, e maior que as áreas plantadas com culturas de ciclo curto. O estoque de C no solo segue padrão semelhante. Assim, é necessário estimar as proporções dos diferentes usos do solo. Os usos são inúmeros e variáveis no tempo, sendo forçoso simplificar. Quatro são os principais usos da terra, que podem ser

acompanhados com os dados do IBGE: 1) mata nativa; 2) pastos nativos; 3) pastos plantados; e 4) lavouras (Tabela 1). Não há uma distinção clara entre mata nativa e pastos nativos, ambos correspondendo principalmente à vegetação de caatinga, quase toda ela ocupada eventualmente com rebanhos domésticos. Admite-se que as matas sejam vegetação de maior porte, mais alta, mais fechada e mais arbórea, que os pastos nativos. Estes podem ir desde áreas com cobertura quase exclusiva de herbáceas e subarbustos até capoeiras mais densas. Parte

deles são áreas em regeneração natural, correspondendo ao ciclo de pousio da agricultura itinerante. Parte mantém-se aberta com retiradas periódicas de lenha e queimadas. Os pastos plantados, quase exclusivamente com gramíneas, têm vegetação herbácea, mesclada com subarbustos e arbustos invasores quando o manejo é inadequado e os roços tardam. As lavouras são predominantemente culturas de ciclo curto, três a seis meses entre plantio e colheita, espalhadas em múltiplos roçados, em geral com poucos hectares cada um.

**Tabela 1.** Área, estoques e produção de biomassa e carbono na região semiárida do Nordeste brasileiro.

	Caatinga	Pasto nativo	Pasto plantado	Lavoura
Proporção do semiárido (%)	40	30	15	15
Área total (10 <sup>3</sup> km <sup>2</sup> )	400	300	150	150
Biomassa aérea (Mg ha <sup>-1</sup> )	40	10	0	0
Biomassa subterrânea (Mg ha <sup>-1</sup> )	7	5	2	1
Estoque de C na biomassa (Tg)	940	225	15	8
C no solo, 0-20 cm (g kg <sup>-1</sup> )	12,0	10,0	9,0	8,0
C no solo, 20-100 cm (g kg <sup>-1</sup> )	5,3	5,0	4,4	3,8
C no solo, 0-100 cm (Mg ha <sup>-1</sup> )	100	90	80	70
Estoque de C no solo (Tg)	4000	2700	1200	1050
Biomassa aérea (Mg ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> )	6	6	6	4
Biomassa subterrânea (Mg ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> )	3	2	2	1
Biomassa produzida (Tg ano <sup>-1</sup> )	360	240	120	75
Fixação de C na biomassa (Tg ano <sup>-1</sup> )	180	120	60	38

As proporções destes quatro usos variam no tempo e podem ser estimadas com precisões diferentes. Em geral, as áreas de pastos plantados e de lavouras têm avaliação

mais precisa nas declarações dos proprietários ao IBGE que as de matas e pastos nativos. Também podem ser monitoradas por satélite e deveriam ser objeto de atualização sistemática

pelas instituições governamentais, o que infelizmente não ocorre. Atualmente, pastos plantados e lavouras ocupam, cada categoria, cerca de 15% do semi-árido e supõe-se que os primeiros tendem a aumentar e as segundas a diminuir (Sampaio et al., 2009). A precisão de estimativa de matas e pastos nativos nas declarações dos proprietários ao IBGE é menor que as de pastos e lavouras porque a separação entre matas e pastos nativos não é nítida, as manchas nas propriedades são espacialmente mais irregulares e os proprietários não se ocupam ativamente na sua implantação. Também são mais difíceis de separar em imagens de satélite. Nos dados do IBGE, pastos nativos correspondem a cerca de 30% da área das propriedades (Sampaio et al., 2009). Estimativa da cobertura de vegetação nativa no bioma caatinga, feita por sensoriamento remoto há poucos anos pelo MMA (2007), apontou em torno de 40% de vegetação de maior porte e de 60% de cobertura de nativas incluindo vegetação mais rala. Os 40% parecem concordar com 40% de cobertura de matas, descontados 30% de pastos nativos, 15% de pastos plantados e 15% de lavouras. Os 20% de diferença entre a avaliação de 40 e 60% de nativas poderia corresponder aos 20% de capoeiras ralas, distinguíveis como vegetação nativa, que poderia ser acrescido de mais 10% de pastos nativos muito abertos e ralos.

Resumindo, adotaram-se as proporções de 40% de matas (caatingas arbustivas e arbustivo-arbóreas), 30 % de pastos nativos

(caatinga arbustiva a campos abertos), 15% de pastos plantados e 15% de lavouras (Tabela 1). São valores passíveis de erro, principalmente os dois primeiros, que podem chegar a mais ou menos 10% para um tipo ou o outro. São também variáveis no tempo e deveriam ser monitorados periodicamente.

#### Biomassas vegetais

Os estoques de biomassa em qualquer um dos quatro grandes tipos de uso do solo variam muito no espaço e no tempo. Há mais de uma centena de estimativas da biomassa aérea das caatingas, acumuladas desde os anos 60 do século passado, umas poucas medindo toda a biomassa e muitas outras medindo apenas a massa ou o volume de lenha, que podem ser convertidos usando coeficientes médios (Silva, G.C. 1998. Relações alométricas de dez espécies vegetais e estimativas de biomassas aéreas da caatinga. Recife, UFRPE. Tese de Doutorado).

Dos coeficientes usados, o com menos determinações (portanto, menos confiável) é o que transforma a biomassa de lenha em biomassa área total. As biomassas aéreas destas estimativas variam de menos de 10 Mg ha<sup>-1</sup> a 160 Mg ha<sup>-1</sup>, com valores mais freqüentes na faixa de 40 a 60 Mg ha<sup>-1</sup>. Adotou-se o valor médio de 40 Mg ha<sup>-1</sup> (Tabela 1). Apesar do número razoável de medidas já feitas, seria importante acumular mais dados e, principalmente, ligar melhor medidas das biomassas no campo com as categorias de vegetação definidas nas imagens

de satélite que permitem a extrapolação para áreas maiores.

Dados de biomassas subterrâneas são extremamente escassos na caatinga e também são menos disponíveis que os da parte aérea em outras formações, pela dificuldade de obtenção (Martínez-Yrizar, 1995; Raheison & Grouzis, 2005; Almagro et al., 2010; Mendoza-Ponce & Galicia, 2010). Além disso, são mais difíceis de comparar por causa das diferenças, entre trabalhos, de metodologia, principalmente quanto a profundidade de amostragem e tipos de raízes coletadas. Os dados da caatinga apontam para massas entre 4 e 12 Mg ha<sup>-1</sup> (Salcedo & Sampaio, 2008) mas são tão poucos que precisam de algum outro modo de validação. É comum fazer-se a estimativa como proporções das biomassas aéreas (Cairns et al., 1997; Djomo et al., 2011). Na caatinga, poucos dados não publicados (Menezes et al. inédito) indicam proporções nas raízes entre 15 e 20% da biomassa aérea. Em outras formações, as proporções podem ser bem maiores e, nas florestas tropicais secas, variam de 27 a 56%, mas os casos descritos também não chegam a uma dezena (Mokany et al., 2005). Adotou-se o valor de 7 Mg ha<sup>-1</sup>, correspondendo a 17,5% da biomassa aérea adotada (Tabela 1). É possível que este valor esteja subestimado, mas não é prudente adotar valores mais altos, na ausência de maior número de informações.

Os dados dos estoques nas pastagens nativas do semi-árido também são muito

escassos. A disponibilidade de forragem tem sido medida em alguns casos, mas não incluem as partes lenhosas e mais altas de árvores e arbustos (Tiessen et al., 1998). Nas áreas mais abertas, as biomassas vão de 1 a menos de 10 Mg ha<sup>-1</sup> e são mais sujeitas a mudanças com o consumo pelos animais que as das matas de caatinga. Nas pastagens mais arbustivas e arbóreas, as biomassas são maiores e os valores podem sobrepor-se aos das matas, mas as médias são menores. Adotou-se o valor médio de 10 Mg ha<sup>-1</sup> (Tabela 1). É possível que esteja subestimado, mas não há como definir um valor mais correto. A biomassa subterrânea é ainda mais desconhecida, sem dados publicados até onde foi possível procurar. Adotou-se o valor de 5 Mg ha<sup>-1</sup>, considerando que a massa subterrânea é mais permanente que a aérea e que mesmo as áreas abertas, predominantemente herbáceas, de menor biomassa aérea, mantêm cerca de 2 Mg ha<sup>-1</sup> de raízes. A biomassa subterrânea corresponderia a 50% da aérea. É uma proporção mais próxima, mas ainda abaixo, da registrada em savanas e campos herbáceos tropicais que variam de 64 a 190% (Mokany et al., 2005). Portanto, como as outras estimativas, pode estar subestimada.

O estoque de biomassa aérea das pastagens plantadas foi considerado como sendo nulo porque a prática generalizada, no semi-árido nordestino, dada a carência de forragem e a superlotação de animais, é deixar que eles consumam tudo o que podem e o

restante seca e desintegra-se ao longo da estação de estio (Tabela 1). Adotou-se a média de  $2 \text{ Mg ha}^{-1}$  de biomassa subterrânea. O estoque aéreo das lavouras também foi adotado como nulo porque a grande maioria delas é de culturas temporárias, plantadas no solo nu. Na verdade, o valor deveria ser um pouco acima de zero, com a inclusão da biomassa das lavouras permanentes. Entretanto, elas ocupam uma proporção pequena do semi-árido e também não acumulam muita massa, exceto nas irrigadas de porte arbóreo. A subestimativa é pequena. Com a colheita, as raízes ficam e sua decomposição é lenta o suficiente para que um novo estoque seja produzido com o plantio seguinte antes do completo desaparecimento do estoque anterior. Portanto, foi adotado o estoque subterrâneo como de  $1 \text{ Mg ha}^{-1}$ .

Para calcular-se o estoque de C na vegetação precisa-se da concentração de C na biomassa. Há poucos dados para plantas da caatinga (Vieira et al., 2009), mas, em princípio, as concentrações nestas plantas não diferem das concentrações em plantas de outras áreas ou outros ecossistemas. Em outras áreas, as concentrações variam de 400 a  $520 \text{ g kg}^{-1}$  e também não há muita diferença entre partes aérea e raízes (Zhang et al., 2009; Peri et al., 2010; Kim et al., 2010). Em geral, nos cálculos de estoque de carbono de grandes áreas tem sido adotada a concentração de  $500 \text{ g kg}^{-1}$  de biomassa (IPCC, 2003) e a mesma proporção (50%)

tem sido usada nas transações envolvendo créditos de carbono (Soares & Oliveira, 2002). Portanto, adotou-se também esta proporção nas estimativas do estoque do semiárido nordestino.

O estoque total de carbono (partes aérea e subterrânea) da caatinga, considerando a área total ( $400 \times 10^3 \text{ km}^2$ ), o estoque de biomassa por unidade de área ( $47 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) e a concentração de C na biomassa (50%), foi estimado em 940 Tg ou 0,94 Pg (Tabela 1). O estoque nos pastos nativos seria pouco mais de um quarto (225 Tg) do estoque na caatinga e o de pastos plantados e cultivos muito mais baixos (15 e 8 Tg, respectivamente). O estoque da caatinga representa menos de 2% do estoque nas florestas brasileiras (59 Pg) que, por sua vez, representa cerca de 20% do estoque das florestas mundiais, cujo estoque total, nas estimativas mais recentes e conservadoras, foi avaliado em 300 Pg (Kauppi, 2003). Acrescentando ao estoque da caatinga os estoques das pastagens e cultivos, o estoque total no semiárido sobe para 1,2 Pg. No Brasil, a Amazônia é o grande reservatório de carbono na vegetação. Em comparação com o semiárido nordestino, sua área é aproximadamente quatro vezes maior, a proporção de cobertura de floresta é o dobro e a biomassa da floresta por unidade de área é pelo menos cinco vezes maior. O fato da caatinga ficar no mesmo país da floresta amazônica leva a que seja comparada com ela e que tenha seu estoque de C pouco valorizado pela grandeza do estoque

amazônico. No entanto, numa comparação mundial, a caatinga representa a maior área remanescente de floresta tropical seca (Miles et al., 2006) e seu estoque de C é maior do que o da maioria dos países do mundo.

#### Carbono orgânico do solo

O estoque de C ou matéria orgânica no solo, na camada superficial, foi determinado em várias centenas de pontos do semiárido, distribuídos nas diversas ordens de solo (Sampaio et al., 2009). A média geral, ponderada pela proporção de área das ordens, é de 9,25 g C kg solo<sup>-1</sup> que é equivalente a cerca de 28 Mg C ha<sup>-1</sup> e, como corresponde a todos os usos do solo, pode ser extrapolada para 2,8 Pg para todo o semiárido. Dados para as camadas mais profundas são menos disponíveis e variam não só com as concentrações de C mas também com as profundidades dos solos, que vão das ordens dos muito rasos, como os Neossolos litólicos, aos que ultrapassam 1 m de profundidade, como os Latossolos. Adotou-se a profundidade de 1 m para toda a área, e a concentração média de 5 g kg solo<sup>-1</sup>, na camada que vai de 20 aos 100 cm. Os estoques de C seriam de 60 Mg ha<sup>-1</sup> e 6,0 Pg na área total do semi-árido e este último, junto ao da camada de 0-20 cm, soma 8,8 Pg.

Concentrações de C nos solos sob diferentes usos são menos disponíveis. Em caatingas mais preservadas, a média na camada de 0-20 cm fica em torno de 12 g C kg solo<sup>-1</sup> ou 36 Mg C ha<sup>-1</sup> e que equivaleria a

1,44 Pg se considerada a cobertura de 40% do semiárido (Tabela 1). Para a camada de 20-100 cm adotou-se a média de 5,3 g kg solo<sup>-1</sup>, equivalentes a 64 Mg ha<sup>-1</sup> e 2,56 Pg, dando um total por hectare de 100 Mg de C. Considerou-se que os solos nas pastagens nativas teriam 90% deste estoque, nas cultivadas 80% e nas lavouras 70%. A proporção de 70% nas lavouras foi adotada considerando-se a perda de 30% do C do solo de caatinga quando cultivado por alguns anos (Tiessen et al., 1992, 1998) e perdas semelhantes nos solos de cerrado 29% (Resck et al., 2008) e da Amazônia 27% (Cerri et al., 2008). Como as perdas com o cultivo são maiores que com a formação de pastagens justificam que as proporções adotadas para pastagens tenham sido maiores que 70% do estoque da caatinga. Na Amazônia, o estoque de C até 1 m de profundidade do solo em pastagens produtivas (Tabela 2) era de 88% do estoque na floresta (Cerri et al., 2008). Tendo adotado os estoques de C nas pastagens nativas e cultivadas e nas lavouras como 90, 80 e 70 Mg ha<sup>-1</sup> e adotando as concentrações nas camadas superficiais de 10, 9 e 8 g C kg solo<sup>-1</sup>, as concentrações na camada de 20-100 cm foram calculadas em 5, 4,4 e 3,8 g kg solo<sup>-1</sup>, respectivamente (Tabela 1). São valores que parecem razoáveis, à luz das suposições feitas, mas carecem de confirmação. A soma dos estoques nos quatro usos, calculados desta forma, dá 8,91 Tg de C, um valor semelhante ao cálculo feito, no parágrafo acima, para a área do semiárido

como um todo (8,8 Tg), reforçando a crença que as suposições feitas foram razoáveis. Ainda assim, é patente a necessidade de mais dados das concentrações no solo,

especialmente das camadas mais profundas, e das mudanças causadas com os distintos usos da terra.

**Tabela 2.** Estoque de carbono no solo sob diferentes usos (adaptado de Cerri et al., 2008 ou Fearnside & Barbosa, 1998).

<b>Profundidade</b> Cm	<b>Floresta</b>	<b>Cultivo</b> Mg ha <sup>-1</sup>	<b>Pastagem</b>
0 – 20	42,0	27,3	35,2
20 – 100	52,0	42,5	47,7
100 – 800	142,8	142,2	142,0

Comparando com outras regiões brasileiras, as concentrações de C nos solos do semiárido são pouco inferiores às da Amazônia e mais inferiores às do cerrado, assim como os estoques até 1 m de profundidade (Tabela 3). Diferenças maiores devem surgir quando são consideradas as camadas mais profundas. Na Amazônia, há dados até 8 m de profundidade (Cerri et al., 2008) e na área do cerrado até 2,1 m (Resck et al., 2008) e, embora as concentrações sejam inferiores às das camadas mais superficiais, as

quedas não são tão grandes. No semiárido, a maior parte dos solos não ultrapassa ou ultrapassa pouco 1 m, limitando os estoques. A carência de dados das profundidades reais e das concentrações nas camadas mais profundas leva a que não sejam feitas estimativas adicionais abaixo de 1 m. Considerando os estoques regionais, Amazônia e cerrado distanciam-se mais do semiárido nordestino por terem áreas aproximadamente quatro e duas vezes maiores.

**Tabela 3.** Estoque de carbono no solo em camadas de distintas profundidades no semiárido nordestino, na Amazônia (adaptado de Cerri et al., 2008 ou Fearnside & Barbosa, 1998) e no cerrado (adaptado de Resck et al., 2008).

<b>Região/profundidade</b>	<b>Por área</b> Mg ha <sup>-1</sup>	<b>Na região</b> Pg
Caatinga, 100 cm	90	9
Amazônia, 100 cm	94	41
Amazônia, 800 cm	143	62
Cerrado, 100 cm	150	25
Cerrado, 210 cm	230	42

A liberação de CO<sub>2</sub> dos solos do semiárido nordestino foi medida em poucos locais, em geral com vegetação nativa. Um único

trabalho foi publicado em periódico (Araújo et al., 2009) e os outros apenas como tese de doutorado (Souto, P.C. 2006. Acumulação e

decomposição da serapilheira e distribuição de organismos edáficos em área de caatinga na Paraíba, Brasil. Areia, UFPB. Correia, J.G. 2010. Biota do solo e atividade microbiana de áreas em diferentes estágios sucessionais e aspectos sócio-econômicos no Município de Santa Terezinha - PB. Campina Grande, UFPE.). Em local mais seco a liberação ao longo do ano variou de 80 a 150 mg CO<sub>2</sub>-C m<sup>-2</sup> hora<sup>-1</sup> (Araújo et al., 2007, 2009), enquanto em local um pouco mais úmido variou de 120 a 340- mg CO<sub>2</sub>-C m<sup>-2</sup> hora<sup>-1</sup> (Souto, 2006). Uma única medida em áreas com pastagem e com caatinga em diferentes tempos de regeneração não encontrou diferença entre elas e valores entre 80 e 200 mg CO<sub>2</sub>-C m<sup>-2</sup> hora<sup>-1</sup> (Correia, 2010). Os valores tendem a ser cerca de 20% maiores a noite que durante o dia e até duas vezes maiores na época de chuva que na época seca.

A média geral, ao longo do ano, varia de cerca de 150 a 200 mg CO<sub>2</sub>-C m<sup>-2</sup> hora<sup>-1</sup>, que são equivalentes a 9 a 12 Mg de biomassa ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>. São valores maiores que os da produção anual de biomassa e justificam-se porque incluem parte do CO<sub>2</sub> que é fotossintetizado, translocado e respirado pelas raízes ou pelos microrganismos do solo em curto espaço de tempo, que não é contabilizado como biomassa produzida, A liberação de CO<sub>2</sub>-C nos solos de cerrado (Resck et al., 2008) é da mesma ordem das de caatinga, variando de 60 a 210 mg CO<sub>2</sub>-C m<sup>-2</sup> hora<sup>-1</sup>, sem uma diferença nítida entre áreas plantadas e de vegetação nativa. Extrapolando a liberação média para todo o semiárido seriam cerca de 1000 Tg ano<sup>-1</sup> (Tabela 4) Entretanto, a estimativa é baseada em poucas medidas, principalmente em áreas com diferentes usos da terra.

**Tabela 4.** Fluxos de biomassa e de carbono na região semiárida do Nordeste brasileiro e comparações com alguns dados do Brasil.

Fluxo	Estimativa
Biomassa da produção agrícola (Tg ano <sup>-1</sup> )	15
Abertura de roças, área (10 <sup>6</sup> ha ano <sup>-1</sup> )	2,4
Abertura de roças, biomassa queimada (Tg ano <sup>-1</sup> )	48
Consumo de lenha, biomassa (Tg ano <sup>-1</sup> )	17
Biomassa consumida pelos rebanhos (Tg ano <sup>-1</sup> )	47
Biomassa de produtos animais (Tg ano <sup>-1</sup> )	<1
Produção de metano, CO <sub>2</sub> -Ce (Tg ano <sup>-1</sup> )	4
Liberação bruta total de C no solo (Tg ano <sup>-1</sup> )	1000
Liberação com agropecuária no Brasil, CO <sub>2</sub> -Ce (Tg ano <sup>-1</sup> )	481
Mudanças de uso da terra no Brasil, balanço CO <sub>2</sub> -Ce (Tg ano <sup>-1</sup> )	1268

## Produção e consumo de biomassa

A produtividade anual de biomassa do semiárido, além de toda a variabilidade espacial discutida quanto aos estoques, tem ainda uma grande variabilidade temporal, ligada principalmente à variação da disponibilidade hídrica, que é função das chuvas. Por outro lado, as produtividades médias, ao longo dos anos, das diferentes coberturas vegetais têm menos diferença que os estoques porque têm a mesma limitação da disponibilidade hídrica. Na caatinga e nos pastos nativos e plantados a produtividade média aérea foi estimada em  $6 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  (Tabela 1). Há poucas medidas diretas, mas várias de lenha produzida ao cabo de alguns anos de regeneração da caatinga e de forragem disponível em um dado ano (Tiessen et al., 1998; Sampaio & Freitas, 2008). Raramente elas ultrapassam o equivalente a  $10 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  ou são inferiores a  $2 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  (Menezes & Sampaio, 2000), justificando o valor adotado. Há muitos dados de produtividades das lavouras, incluído os dados municipais do IBGE e resultados de experimentos agrícolas em diversos locais e anos. Quase todos se referem aos produtos (grãos, tubérculos, etc) e não às biomassas aéreas totais mas podem ser transformados usando os coeficientes de cultura apropriados. Facilita a transformação o fato dos coeficientes variarem bem menos que as produtividades, dentro de condições razoáveis de produção, incluindo deficiência hídrica desde que não seja extrema (Boyer,

1996). Usando as produtividades médias e os coeficientes usuais, a produtividade das lavouras pode ser estimada em  $4 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  (Tabela 1). São menores que as da caatinga e pastagens porque vêm de culturas de ciclo curto (principalmente milho e feijão), plantadas no início das chuvas e que levam algum tempo até desenvolver uma estrutura capaz de otimizar o aproveitamento da água e da luz. Produtividades maiores que as do semi-árido nordestino, tanto da vegetação nativa quanto das lavouras, são obtidas em regiões com maiores disponibilidades dos fatores de crescimento, principalmente água.

Medidas da produtividade de raízes no semiárido nordestino são praticamente inexistentes (Salcedo & Sampaio, 2008). Em caatinga, um único trabalho mediu  $2,4 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  de raízes finas ( $<2 \text{ mm}$  de espessura). Levando em conta que há produção de raízes mais grossas e também as razões de produções aéreas e subterrâneas de outras vegetações, foi adotado o valor médio de  $3 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  (Tabela 1). Para pastagens nativas e cultivadas foi adotado um valor menor ( $2 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ) porque a retirada de parte da biomassa aérea leva à menor translocação de fotossintatos para as raízes. Não há muita segurança nestes valores, mas não devem estar sobreestimados, principalmente o último. A produtividade de raízes nas lavouras ( $1 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ), na falta de qualquer medida, foi estimada com base nas razões de produções aéreas e subterrâneas de outros locais.

Com base nestas produtividades por unidade de área, a fixação anual de carbono na caatinga como um todo foi estimada em 180 Tg e as das pastagens nativas e cultivadas e das lavouras em 120, 60 e 38 Tg, respectivamente (Tabela 4).

Anualmente, parte da vegetação nativa de caatinga é derrubada para dar lugar a novas roças e parte das roças que vinham sendo exploradas é abandonada e nela regenera-se a vegetação nativa. Fazem parte dos ciclos de cultivo e de pousio da agricultura itinerante. As durações destes ciclos são variáveis e as áreas totais envolvidas nunca foram quantificadas. Dos 15% do semiárido dedicados a lavouras, cerca de 3% são cultivados continuamente e correspondem às áreas mais favoráveis, geralmente nos vales (Sampaio et al., 2009). Admitindo um ciclo médio de cultivo de cinco anos para os outros 12%, tem-se uma abertura anual de novas roças de 2,4% do semiárido ou  $2,4 \times 10^6$  ha (Tabela 4). Com uma biomassa média de 20 Mg ha<sup>-1</sup>, significa que são derrubadas  $48 \times 10^6$  Mg de biomassa e a maior parte dos  $24 \times 10^6$  Mg de carbono (24 Tg) contidos nesta biomassa volta para a atmosfera como CO<sub>2</sub>. Este retorno se dá com a queima do que é aproveitado como lenha e a queima diretamente no campo do restante da biomassa.

Estima-se que o consumo anual de lenha no semiárido para fins comerciais e industriais alcance  $25 \times 10^6$  estéreos e para fins domésticos  $36 \times 10^6$  estéreos

(Riegelhaupt & Pareyn, 2009). Esta lenha corresponde a aproximadamente  $17 \times 10^6$  Mg de biomassa (Tabela 4); portanto, pouco mais que um terço da biomassa derrubada para abertura de novas roças. Como a lenha representa mais que 30% da biomassa da vegetação derrubada (provavelmente 70 a 80%) apenas a abertura de roças poderia suprir a demanda por lenha. Na verdade, supre grande parte, mas a enorme dispersão de pequenas roças e a demanda concentrada de lenha em alguns locais, principalmente pólos industriais, leva, por um lado, ao desperdício em muitas roças e, por outro, ao corte de vegetação sem posterior plantio e ao desnudamento no entorno dos pólos de consumo. Assim, a abertura de roças e a retirada de lenha somam uma biomassa entre  $48$  e  $65 \times 10^6$  Mg, provavelmente mais próxima do primeiro valor e abaixo de 30 Tg de carbono. Esta perda de C-CO<sub>2</sub> equivale a menos de 3% do C do estoque na vegetação e 10% da quantidade de C fixado anualmente na biomassa.

Parte da biomassa produzida nas pastagens é consumida pelos rebanhos domésticos. Não há medidas desta biomassa consumida, mas ela pode ser estimada grosseiramente a partir do tamanho dos rebanhos e do consumo diário dos animais. Com um rebanho equivalente a cerca de  $16 \times 10^6$  unidades de bovinos e um consumo diário de 8 kg de biomassa por unidade, seriam consumidas  $47 \times 10^6$  Mg de biomassa por ano (Tabela 4). Este consumo representaria apenas

um terço da produção de biomassa aérea dos pastos plantados ( $90 \times 10^6$  Mg) e mais a biomassa disponível para os animais nos pastos nativos ( $2 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , totalizando  $60 \times 10^6$  Mg no semiárido). O consumo de apenas um terço do produzido parece baixo, ainda mais considerando que os animais, além das pastagens, alimentam-se de restos de culturas ( $30 \times 10^6$  Mg  $\text{ano}^{-1}$ ) e rações importadas de fora do semiárido. Por outro lado, também sabe-se que há muito desperdício da biomassa produzida. Se a proporção real fosse maior, ou o consumo estaria subestimado ou a produção seria menor. É pouco provável que o consumo esteja muito subestimado; a produção poderia ser menor, mas é mais provável que exista mesmo um desperdício grande. A maior parte da biomassa consumida pelos animais é transformada em  $\text{CO}_2$ , uma parte pequena em metano e outra parte ainda menor ( $<1 \times 10^6$  Mg  $\text{ano}^{-1}$ ) em produtos animais retirados do campo (Tabela 4). A produção de metano, embora pequena, merece estimativa por causa de seu maior efeito estufa que o do  $\text{CO}_2$  (cerca de 21 vezes maior). Admitindo a produção de 32 g de metano por unidade animal por dia, a produção total de metano do rebanho seria de  $187 \times 10^3$  Mg  $\text{ano}^{-1}$ , equivalentes a cerca de  $4 \times 10^6$  Mg  $\text{ano}^{-1}$  de  $\text{CO}_2$ , menos de um décimo da produção de  $\text{CO}_2$  da respiração dos animais (Tabela 4).

A biomassa produzida nas lavouras e retirada com a venda e consumo dos produtos agrícolas pode ser estimada pelos dados de

produtividade e de matéria seca média dos produtos. O valor médio adotado foi de  $1 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ . É possível que o valor esteja um pouco sobreestimado em relação à produção de grãos, mas parte da palhada também é usada, não sendo incorporada à matéria orgânica dos solos. Considerando este valor e a área, o total seria de  $15 \times 10^6$  Mg  $\text{ano}^{-1}$  de biomassa (Tabela 4).

## 2. Balanço geral e considerações finais

Não é possível, com as informações atualmente disponíveis, fechar um balanço entre perdas e ganhos de C no semiárido. Os maiores fluxos dependem da derrubada e queima da caatinga para a formação de roçados e pastos e da regeneração da vegetação nativa em áreas nas quais estas atividades foram descontinuadas. Os dois processos têm ocorrido simultaneamente ao longo da colonização e exploração da região. A direção do balanço, ganho ou perda, é dada por qual deles predomine. Os dados disponíveis não permitem chegar a uma conclusão e mesmo as observações pessoais de tendências não são claras. Parece haver um maior abandono de áreas agrícolas que formação de novos roçados, mas, ao mesmo tempo, maior abertura de áreas de pasto, principalmente plantado, que abandono de pastos (Sampaio et al., 2009). Há, sem dúvida, um aumento no consumo de lenha e, provavelmente, um aumento na proporção de lenha produzida em áreas não destinadas à abertura de roças ou pastos. Entretanto, se

estas áreas forem deixadas à regeneração da caatinga, o acúmulo de biomassa pode compensar a perda inicial. Seria necessário um monitoramento dos usos das terras muito mais preciso que o atual para permitir estimativas mais aproximadas da realidade.

Apenas as saídas anuais de biomassa, convertidas em CO<sub>2</sub>-C equivalentes, somam cerca de 86 Tg ano<sup>-1</sup>, correspondendo aos 7,5 Tg com os produtos agrícolas, 28 Tg consumidos pelos animais, incluindo a produção de metano, e 50 Tg queimados junto a vegetação na abertura de novas áreas agrícolas e perdidos do solo com a passagem para a agricultura. Os 36 Tg dos produtos agrícolas e consumo animal correspondem a 7% da liberação estimada de CO<sub>2</sub>-C (Tabela 4) com a agropecuária no Brasil (481 Tg ano<sup>-1</sup>; MCT, 2009) e os 50 Tg da abertura de novas áreas a 4% da liberação líquida com as mudanças no uso da terra no Brasil (1268 Tg ano<sup>-1</sup>; MCT, 2009). Deve-se enfatizar que os valores do semiárido são apenas de saídas e não líquidos, como este último. O valor líquido, deduzindo a biomassa formada nas áreas de pousio da biomassa das saídas, corresponderia a uma proporção menor que os 4%, podendo até resultar em mais seqüestro de C que perda. A liberação total de CO<sub>2</sub>-C do solo (1000 Tg ano<sup>-1</sup>) é menor que as de cerrado e Amazônia mas a diferença é mais pelo tamanho das áreas que pela liberação por unidade de área.

Independente do balanço atual há um potencial inexplorado de obtenção de recursos

de créditos de carbono. Todas as áreas nas quais roçados e pastos são descontinuados podem vender créditos, mesmo que a vegetação de regeneração venha a ser cortada depois, desde que passado o período de carência estabelecido na convenção. Considerando o estoque médio de biomassa aérea da vegetação, 1 ha de caatinga corresponde a cerca de 20 Mg C ha<sup>-1</sup> que a um preço de R\$20 Mg<sup>-1</sup> equivalem a R\$400 ha<sup>-1</sup>. Caso fosse creditado o aumento do C na biomassa subterrânea e no solo, o valor poderia ser pelo menos 20 a 30% maior. O valor total não é muito alto mas pode ser obtido sem alteração do que já se faz, exceto pela necessidade de comercialização e certificação. Sem dúvida, uma propriedade pequena não pode incorrer nos custos destes processos, cabendo às organizações sociais e ao governo a tarefa de regulamentar e viabilizar o negócio. Se 10% da área dedicada a lavouras temporárias aproveitasse dos créditos de C, o total na região seria de R\$450 milhões. Não é uma soma enorme mas também não é desprezível. Portanto, vale um estudo mais detalhado.

### 3. Agradecimentos

Ao CNPq pela concessão de bolsa aos autores. Ao projeto Impactos de mudanças climáticas sobre a cobertura e uso da terra em Pernambuco: geração e disponibilização de informações para o subsídio a políticas públicas, e FACEPE/FAPESP/UFPE, pela demanda que

criou a oportunidade desta revisão.

#### 4. Referências

Almagro, M.; López, J.; Boix-Fayos, C.; Albaladejo, J.; Martínez-Mena, M. (2010). Belowground carbon allocation patterns in a dry Mediterranean ecosystem: A comparison of two models. *Soil Biology & Biochemistry*, v.42, p. 1549-1557.

Araújo, K.D.; Andrade, A.P.; Raposo, R.W.C.; Rosa, P.R.O.; Pazera Jr., E. (2007). Perdas de CO<sub>2</sub> do solo e variabilidade temporal das condições climáticas no semi-árido paraibano. *Revista Ra'e Ga – Espaço Geográfico em Análise*, v.13, p.99-107.

Araújo, K.D.; Parente, H.N.; Correia, K.G.; Dantas, R.T.; Andrade, P.R.O.; Pazera Jr, E. (2009). Liberação de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) em área de caatinga no semi-árido da Paraíba. *Geoambiente*, v.12, p. 42-53.

Boyer, J.S. (1996). Advances in drought tolerance in plants. *Advances in Agronomy*, v. 56, p.187-216.

Cairns, M.A.; Brown, S.; Helmer, E.H.; Baumgardner, G.A. (1997). Root biomass allocation in the world's upland forests. *Oecologia*, v.111, p.1-11.

Cerri, C.E.P.; Feigl, B.J.; Cerri, C.C. (2008). Dinâmica da matéria orgânica do solo na Amazônia. In: Santos, G.A.; Silva, L.S.; Canellas, L.P.; Camargo, F.A.O. (Eds.) *Fundamentos da matéria orgânica do solo:*

*ecossistemas tropicais e subtropicais*. Porto Alegre, Metrópole, pp.325-358.

Dixon, R.K.; Brown, S.; Houghton, R.A.; Solomon, A.M.; Trexler, M.C.; Wisniewski, J. (1994). Carbon pools and flux of global forest ecosystems. *Science*, v.263, p.185-190.

Dijomo, A.N.; Knohl, A.; Gravenhorst, G. (2011). Estimations of total ecosystem carbon pools distribution and carbon biomass current annual increment of a moist tropical forest. *Forest Ecology and Management*, v.261, p.1448-1459.

Don, A.; Schumacher, J.; Freibauer, A. (2011). Impact of tropical land-use change on soil organic carbon stocks - a meta-analysis. *Global Change Biology*, v.17, p.1658-1670.

Fearnside, P.M.; R.I. Barbosa. (1998). Soil carbon changes from conversion of forest to pasture in Brazilian Amazonia. *Forest Ecology and Management*, v.108, p.147-166.

Gallaun, H.; Zanchi, G.; Nabuurs, G.J.; Hengefeld, G.; Schardt, M.; Verkerk, P.J. (2010). EU-wide maps of growing stock and above-ground biomass in forests based on remote sensing and field measurements. *Forest Ecology and Management*, v.260, p.252-261.

Huston, M.A.; Marland, G. (2003). Carbon management and biodiversity. *Journal of Environmental Management*, v.67, p.77-86.

IPCC (2000). Summary for Policymakers:

Land use, land-use change and forestry. A special report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, 24p.

IPCC (2001). Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Houghton, J.T.Y.; Ding, D.J.; Griggs, M.; Noguer, P.J.; van der Linden, X.; Dai, K.; Maskell, and C.A.; Johnson. (Eds.) Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 881p.

IPCC (2003). Good practice guidance for land use, land-use change and forestry. Penman, J.; Gytarsky, M.; Hiraishi, T.; Kruger, D.; Pipatti, R.; Buendia, L.; Miwa, K.; Ngara, T.; Tanabe, K.; Wagner, F. (Eds.) Cambridge, UK, Cambridge University Press, IPCC/IGES, 632p.

Jaramillo, V.J.; Kauffman, J.B.; Rentería-Rodríguez, L.; Cummings, D.L.; Ellingson, L.J. (2003). Biomass, carbon, and nitrogen pools in Mexican tropical dry forest landscapes. *Ecosystems*, v.6, p. 609-629.

Kartha, S. (2001). Biomass sinks and biomass energy: key issues in using biomass to protect the global climate. *Energy for Sustainable Development*, v. 5, p. 10-14.

Kauffman, J. B.; Hughes, R. F.; Heider, C. (2009). Carbon pool and biomass dynamics

associated with deforestation, land use, and agricultural abandonment in the neotropics. *Ecological Applications*, v.19, p.1211-1222.

Kauppi, P.E. (2003). New, low estimate for carbon stock in global forest vegetation based on inventory data. *Silva Fennica*, v. 37, p.451-457.

Kim, C.; Jeong, J.; Cho, H.; Son, Y. (2010). Carbon and nitrogen status of litterfall, litter decomposition and soil in even aged larch, red pine and rigitaeda pine plantations. *Journal of Plant Research*, v.123, p. 403-409.

Laurence, W.F.; Fearnside, P.M.; Laurance, S.G.; Delamonica, P.; Lovejoy, T.E.; Merona, J.M.R.; Chambers, J.Q.; Gascon, C. (1999). Relationship between soils and Amazon forest biomass: a landscape-scale study. *Forest Ecology and Management*, v.118, p.127-138.

Marland, G.; Fruit, K.; Sedjo, R. (2001). Accounting for sequestered carbon: the question of permanence. *Environmental Science & Policy*, v.4, p.259-268.

Martínez-Yrizar, A. (1995). Biomass distribution and primary productivity of tropical dry forest. In: Stephen, H.B.; Mooney, H.A.; Medina, E. (Eds.) *Seasonally dry tropical forests*. Cambridge University, pp. 326-345.

MCT (2009). Inventário brasileiro das emissões e remoções antrópicas de gases de efeito estufa. Brasília, Ministério da Ciência e Tecnologia, 19 p.

- Mendoza-Ponce, A.; Galicia, L. (2010). Aboveground and belowground biomass and carbon pools in highland temperate forest landscape in Central Mexico. *Forestry*, v. 83, p. 497-506.
- Menezes, R.S.C.; Sampaio, E.V.S.B. Agricultura sustentável no semi-árido nordestino. (2000). In: Oliveira, T.S.; Romero, R.E.; Assis Jr., R.N.; Silva, J.R.C.S. (Eds.) Agricultura, sustentabilidade e o semi-árido. Fortaleza, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo / Universidade Federal do Ceará, pp. 20-46.
- Miles, L.; Newton, A.C.; DeFries, R.S.; Ravilious, C.; May, I.; Blyth, S.; Kapos, V.; Gordon, J.E. (2006). A global overview of the conservation status of tropical dry forests. *Journal of Biogeography*, v.33, p. 491-505.
- MMA. 2007. Mapas de cobertura vegetal dos biomas brasileiros. Brasília, Ministério do Meio Ambiente, 17 p.
- Mokany, K.; Raizon, R.J.; Prokushkin, A.S. (2005). Critical analysis of root-shoot ratios in terrestrial biomes. *Global Change Biomes*, v.12, p. 84-96.
- Palumbo, A.V.; Mccarthy, J.F.; Amonettec, J.E.; Fishera, L.S Wullschlegera, S.D.; Daniels, W.L. (2004). Prospects for enhancing carbon sequestration and reclamation of degraded lands with fossil-fuel combustion by-products. *Advances in Environmental Research*, v.8, p. 425-438.
- Peri, P.L.; Gargaglione, V.; Pastur, G.M.; Lencimas, M.V. (2010). Carbon accumulation along a stand development sequence of *Nothofagus Antarctica* forests across a gradient in site quality in Southern Patagonia. *Forest Ecology and Management*, v.260, p. 229-237.
- Raherison, S.M.; Grouzis D M. (2005). Plant biomass, nutrient concentration and nutrient storage in a tropical dry forest in the south-west of Madagascar. *Plant Ecology*, v.180, p. 33-45.
- Resck, D.V.S.; Ferreira, E.A.B.; Figueiredo, C.C.; Zinn, Y.L. (2008). Dinâmica da matéria orgânica no cerrado. In: Santos, G.A.; Silva, L.S.; Canellas, L.P.; Camargo, F.A.O. (Eds.) Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais. Porto Alegre, Metrópole, pp. 359-417.
- Riegelhaupt, E.M. & Pareyn, F.G.C. (2010). A questão energética e o manejo florestal da Caatinga. In: Gariglio, M.A.; Sampaio, E.V.S.B.; Cestaro, L.A.; Kageyama, P. (Eds.) Uso sustentável e conservação dos recursos florestais da caatinga. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, pp. 65-75.
- Salcedo, I.H.; Sampaio, E.V.S.B. (2008). Matéria orgânica do solo no bioma caatinga. In: Santos, G.A.; Silva, L.S.; Canellas, L.P.; Camargo, F.A.O. (Eds.) Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais. Porto Alegre, Metrópole, pp. 419-441.

- Sampaio, E.V.S.B.; Freitas, A.D.S. (2008). Produção de biomassa na vegetação nativa do semi-árido nordestino. In: Menezes, R.S.C.; Sampaio, E.V.S.B.; Salcedo, I.H. (Eds.) Fertilidade do solo e produção de biomassa no semi-árido. Recife, Editora UFPE. pp.11-26.
- Sampaio, E.V.S.B.; Araújo, M.S.B.; Salcedo, I.H.; Menezes, R.S.C. (2009). Manejo sustentável do semi-árido nordestino. Recife, Editora Universitária, 149p
- Sampaio, E.V.S.B. (2010). Características e potencialidades. In: Gariglio, M.A.; Sampaio, E.V.S.B.; Cestaro, L.A.; Kageyama, P. (Eds.) Uso sustentável e conservação dos recursos florestais da caatinga. 2<sup>a</sup> Ed. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, pp. 29-48.
- Soares, C.P.B.; Oliveira, M.L.R. (2002). Equações para estimar a quantidade de carbono na parte aérea de árvores de eucalipto em Viçosa, Minas Gerais. *Árvore*, v.26, p. 533-539.
- Tiessen, H.; Salcedo, I.H.; Sampaio, E.V.S.B. (1992). Nutrient and soil organic matter dynamics under shifting cultivation in semi-arid northeastern Brazil. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v.38, p.139-151.
- Tiessen, H.; Feller, C.; Sampaio, E.V.S.B.; Garin, P. (1998). Carbon sequestration and turnover in semiarid savannas and dry forests. *Climatic Change*, v.40, p.105-117.
- Vargas, R.; Allen, M.F.; Allen, E.B. (2008). Biomass and carbon accumulation in a fire chronosequence of a seasonally dry tropical forest. *Global Change Biology*, v.14, p.109-124.
- Vieira, G.; Sanquetta, C.R.; Klüppel, M.L.W.; Barbeiro, L.S.S. (2009). Teores de carbono em espécies vegetais da caatinga e do cerrado. *Revista Acadêmica: Ciências Agrárias e Ambientais*, v.7, p.145-155.
- Zhang, Q.; Wong, C.; Wong, X.; Quan, X. (2009). Carbon concentration variability of 10 Chinese tree species. *Forest Ecology and Management*, v. 258, p.722-727.