



ISSN:1984-2295

Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: www.ufpe.br/rbgfe



Estoques de carbono em solos de Pernambuco, Brasil

Kennedy Nascimento de Jesus¹, Eliza Rosário Gomes Marinho de Albuquerque¹, Everardo Valadares de Sá Barretto Sampaio¹, Aldo Sales¹.

¹ Grupo de energia da biomassa, Departamento de Energia Nuclear – Universidade Federal de Pernambuco, CEP 50740-540. Autor correspondente: raliza3@hotmail.com

Artigo recebido em 14/02/2019 e aceito em 25/05/2019

RESUMO

O solo é um importante reservatório de carbono e desempenha papel fundamental no balanço de gases de efeito estufa e suas possíveis contribuições para as mudanças climáticas. Estimativas de estoques de carbono nos solos do Brasil em nível regional são escassas. Dados de concentração estão mais disponíveis, mas a falta de informação sobre densidade impede o cálculo dos estoques. Usando dados de artigos científicos e levantamentos de solos, foram calculados os estoques na camada superficial (0 a 30 cm) das classes de solos de Pernambuco, sob os principais tipos de uso da terra. Os maiores estoques de carbono por unidade de área estavam nos Chernossolos, Nitossolos, Vertissolos e Gleissolos. Considerando as áreas que os solos ocupam em Pernambuco, os Argissolos, Neossolos Litólicos, Planossolos e Latossolos tiveram os maiores estoques. Os estoques decrescem com a mudança de cobertura vegetal nativa para pastagem e agricultura. O estoque total de carbono total em Pernambuco é 352,7 Tg.

Carbon stocks in soil of Pernambuco state, Brazil

ABSTRACT

Soil is an important carbon reservoir and plays a key role in the emission of greenhouse gases and climate changes. Estimates of carbon stocks in Brazil's soils at the regional level are scarce. Data on concentrations are sometimes available but lack of soil density prevents calculation of stocks. Using data from scientific articles and exploratory surveys, we quantified carbon stocks in the superficial layer (0-30 cm) of soils in Pernambuco state, under different land uses. Soil classes with the highest carbon stocks per unit of land were Chernosols, Nitosols, Vertisols, and Gleisols. Considering the area the soil classes occupy in Pernambuco, Argisols, Litholic Neosols, Planosols, and Oxisols have the highest carbon stocks. The soil stocks decrease with changes from native vegetation cover to agriculture establishment. The total soil carbon stock in Pernambuco was 352.7 Tg.

Introdução

A atual preocupação com as mudanças climáticas globais decorrentes do aumento nas concentrações de gases de efeito estufa (GEE) na atmosfera, em especial do gás carbônico (CO₂), tem despertado a atenção da comunidade científica para o ciclo biogeoquímico do carbono (C). Além da queima de combustíveis fósseis, a conversão de áreas de vegetação nativa em áreas destinadas à exploração agrícola é apontada como um dos principais fatores responsáveis pelas emissões de CO₂ para a atmosfera (Lal, 2001). No Brasil, esta conversão era a principal fonte de GEE (Cerri et al., 2009).

Nas últimas décadas, os ecossistemas terrestres vêm sendo considerados tão importantes quanto os oceanos na retirada (sequestro) e no

armazenamento (estoque) de carbono da atmosfera, fenômeno que contribui para mitigar o efeito estufa. O maior compartimento de C dos ecossistemas terrestres é a matéria orgânica acumulada nos solos (Lal, 2004; 2006; Roscoe et al., 2006) e a principal via de entrada do C para o solo é a deposição dos resíduos vegetais, formados inicialmente pela fotossíntese.

Estima-se que a quantidade de C estocada no solo até um metro de profundidade em todo o globo esteja em torno de 1.576 Pg (1 Pg = 1015g, ou um bilhão de toneladas), distribuídos em 12,8 bilhões

de hectares (Eswaran et al., 1993), o que equivale a cerca de três vezes a quantidade de C no reservatório biótico e duas vezes a quantidade

contida na atmosfera terrestre. Quando se consideram apenas os 30 cm superficiais de solo, o estoque de C está em torno de 800 Pg (Cerri et al., 2006), ou seja, quase a mesma quantidade armazenada no compartimento atmosférico. Estima-se que a metade do C estocado no solo, ou seja, cerca de 787 Pg, esteja em solos sob florestas (DIXON et al., 1994), enquanto sob pastagens há cerca de 500 Pg (Scharpenseel, 1997) e sob cultivo agrícola 170 Pg de C (Paustian et al., 2000).

Estimativas realizadas para todo o território do Brasil (8,5 milhões de km²) mostraram estoque de C em torno de $36,4 \pm 3,4$ Pg na camada de 0 a 30 cm de solo (Bernoux, 2002), o que corresponde a aproximadamente 40% de todo o C armazenado nos solos da América Latina (Bernoux e Volkoff, 2006). Se for considerada a profundidade de 0 a 100 cm, os estoques seriam da ordem de 65,9 a 67,5 Pg de C, dos quais 65% estão na região amazônica brasileira (Batjes, 2005).

Na região semiárida do Nordeste (0,982 milhões de km²), Sampaio e Costa (2011) estimaram o estoque de C na camada superficial do solo (0 a 20 cm) como sendo 2,8 Pg. Já na camada de 20 aos 100 cm, o estoque seria 6,0 Pg e este último mais o da camada de 0-20 cm totalizariam 8,8 Pg.

As atividades agropecuárias e agricultura de subsistência são as principais atividades antrópicas relacionadas com uso dos solos em Pernambuco, mudanças decorrentes de práticas de manejo inadequadas podem levar a um rápido declínio dos estoques de C do solo, acarretando danos severos, e colaborando para o aumento das emissões de CO₂ para a atmosfera (Freixo et al., 2002).

Estoques de C do solo sob diferentes usos e coberturas têm sido estimados em diversas regiões e biomas do país, mas são escassos na região Nordeste. Como forma de criar um indicador inicial, foram compiladas informações da literatura acerca das concentrações de C na camada superficial (0-30 cm) dos solos em Pernambuco, sob diferentes usos e coberturas.

Material e métodos

Um conjunto de dados de perfis de solo foi organizado a partir da compilação de dados de pesquisa reportados na literatura especializada, incluindo apenas os perfis em que a concentração de C do solo foi quantificada. Esses dados compreenderam 226 perfis (669 horizontes), coletados, entre os anos de 1973 e 2012, em 12 das 13 classes de solos existentes no atual Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2013), distribuídas por todo o território de Jesus, K. N.; Albuquerque, E. R. G. M.; Sampaio, E. S.; Sales, A. T

Pernambuco, em áreas de vegetação natural e antropizada, que para esse estudo dividiu-se em áreas de pastagem e de agricultura.

Os estoques de carbono reportados na literatura sob diferentes usos e coberturas da terra foram agrupados em três tipos principais: vegetação nativa (Mata Atlântica ou Caatinga), pastagem (nativa ou plantada) e agricultura. As áreas de Mata Atlântica e de Caatinga foram ainda subdivididas em vegetação densa e aberta. É importante ressaltar que não há uma distinção clara entre vegetação nativa, principalmente de Caatinga, e pastagem nativa, mas que foram consideradas como pastagem as áreas com vegetação predominantemente herbácea. (Sampaio e Costa 2011). Admitiu-se que a vegetação nativa densa fosse de maior porte, mais alta, mais fechada e mais arbórea que a aberta. As duas podem ser distinguidas em imagens de satélite (Accioly et al., 2017), o que é importante para a eventual

especialização dos estoques. As causas da vegetação aberta não foram pesquisadas, podendo ser antrópicas ou por limitações naturais do ambiente (solos rasos, deficiência de nutrientes, etc.).

Os solos descritos nos artigos científicos e levantamentos foram classificados até o segundo nível categórico, segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, e são apresentados de acordo com a classificação vigente (EMBRAPA, 2013), ficando no nível de ordem e, no caso dos Neossolos, no nível de subordem, por apresentarem diferenças patentes entre elas. As médias por uso e cobertura da terra foram obtidas identificando-se, para cada perfil, o uso e cobertura da terra reportada para o dado de carbono.

De 669 horizontes (226 perfis contendo concentrações de carbono, quantificadas principalmente por combustão via úmida), apenas 361 horizontes (123 perfis) incluíram a densidade do solo na descrição. Os 103 perfis do Levantamento Exploratório para reconhecimento dos Solos do Estado de Pernambuco (Jacomine et al., 1973) (Tabela 1) não incluíam dados de densidade do solo, mas apresentaram resultados de análises das características físicas e químicas. Para esses, aplicou-se a função de pedotransferência, desenvolvida por Benites et al., (2007) para estimar a densidade do solo nos horizontes:

$$D_s = 1,56 - (0,0005 \times \text{argila}) - (0,01 \times C) + (0,0075 \times SB)$$

em que D_s é a densidade do solo; argila é a proporção de argila na análise granulométrica; C é a concentração de carbono e SB é a soma de bases ($Ca^{2+} + Mg^{2+} + K + Na$).

A equação é um modelo de regressão simplificado e consegue descrever 66% da variação

da Ds para os solos do Brasil (Benites et al., 2007) e apresenta maior exatidão quando comparada com outras equações de regressão usadas para estimativa de Ds (Bernoux et al. 1998; Tomasella e Hodnett 1998).

Com base nos perfis para os quais havia informação tanto da densidade quanto das características físicas e químicas, foram comparados os valores reportados na literatura e simulados usando a equação de Benites et al. (2007). De uma forma geral, o modelo mostrou-se robusto, para as classes de solos de Pernambuco, não apresentando diferenças significativas quanto aos diversos usos da terra (Figura 1).

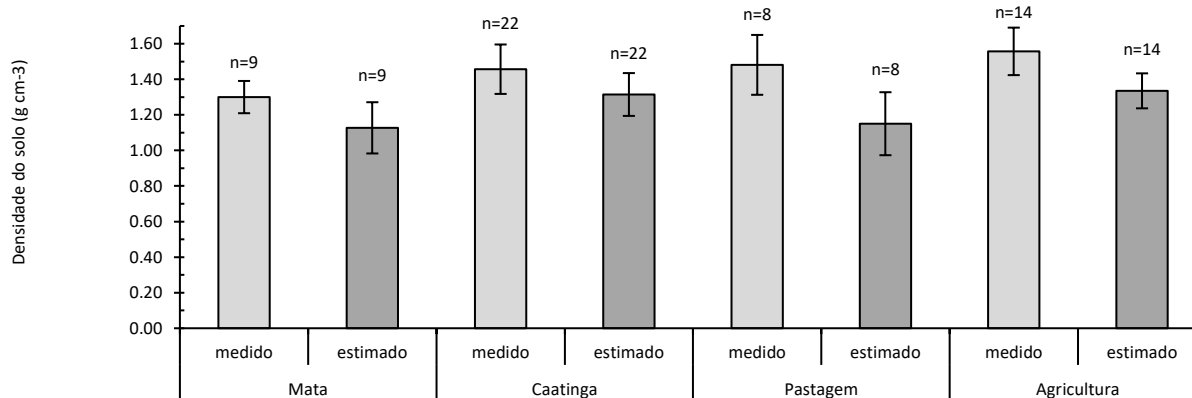


Figura 1. Valores de densidade do solo informados em trabalhos publicados entre 1997 a 2012 (medido) e estimados pela equação de Benites et al. (2007), na camada de 0-30 cm de profundidade, em áreas de Pernambuco. Barras de erro representam o erro padrão da média e n= representa o número de perfis em cada comparação.

Em seguida, a base de dados foi padronizada, de forma a estratificar o carbono total nos horizontes até a profundidade de 30 cm do solo. Para tanto, foi necessário estabelecer um conjunto de regras. Primeiramente, foram excluídos os perfis com profundidade efetiva inferior a 20 cm, e os horizontes com profundidade inicial superior a 25 cm ou com profundidade final superior a 40 cm. O carbono total na camada dos 30 cm superficiais do solo foi obtido por perfil somando a estimativa de C de cada horizonte no perfil até a profundidade máxima de 30 cm.

Depois de selecionados todos os perfis que se enquadravam nas regras estabelecidas acima, restaram 274 horizontes de 160 perfis, do total de 669 horizontes e 226 perfis do conjunto inicial de dados (Tabela 1). Muitos dos perfis descritos não vinham com a informação das coordenadas geográficas. Sendo assim, para fins de representação da localização dos perfis no mapa de Pernambuco, distribuíram-se os pontos de maneira

a ficarem o mais próximo da descrição geopolítica constante nos artigos revisados dentro da área do município onde os perfis foram coletados. Quando não reportada a localização adotou-se o centroide do município como ponto representativo (Figura 2).

Por causa da ausência de dados representativos de todos os tipos de solos, sob os diferentes usos e coberturas da terra, foram considerados dois níveis de análise de dados: o primeiro com as médias de C por classe de solo e o segundo com as médias de C dos solos sob um mesmo tipo de uso e cobertura da terra, independentemente da classe de solo, em todo o território de Pernambuco. Esses dois panoramas

foram utilizados para análise dos resultados das estimativas da quantidade de C no solo, considerando-se alguns desses fatores.

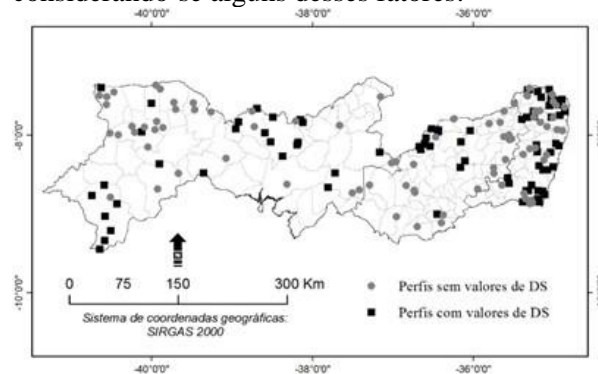


Figura 2. Mapa de Pernambuco com a localização dos perfis de solos utilizados para a estimativa dos estoques de carbono.

Os estoques de C foram calculados pela equação (EMBRAPA, 1997):

$$\text{Estoque C} = \text{COT} \times \text{Ds} \times \text{Espessura} \times (1-S).$$

Ds = densidade do solo isoladamente e, assim, obtendo amostras com um maior número de perfis. Onde COT é a concentração de carbono orgânico total, Ds é a densidade do solo, espessura é altura da camada ou horizonte considerada e S é o fator de pedregosidade, calculado como a proporção do volume da camada ocupado por pedras.

Resultados e discussão*Estoques de C por classe de solo*

Atribuindo os valores médios de carbono reportados na literatura para a camada de 0 a 30 cm

das diferentes classes de solos, e multiplicando pela área coberta pelas classes no território de Pernambuco, conclui-se que os solos de Pernambuco estocam aproximadamente 353 Tg de C (Tabela 1).

Tabela 1. Estoques médio de C (e erro padrão da média) na camada de 0 a 30 cm de profundidade do solo por unidade de área e para toda a área no território de Pernambuco coberta por cada classe de solo. n = número de perfis e erro padrão da média (s(m)), área coberta por a classes de solo e total de carbono por área para o estado de Pernambuco

Classes de solo	Estoque (Mg ha ⁻¹)	N	Área (km ²)	C (Tg)
Chernossolos	74,0 ± 12,9	4	39	0,29
Nitossolos	57,6 ± 13,21	3	10	0,06
Vertissolos	48,1 ± 6,45	6	357	1,72
Gleissolos	46,7 ± 7,17	8	1.234	5,77
Neossolos litólicos	45,1 ± 6,31	7	20.048	90,52
Espodossolos	42,8 ± 6,43	5	364	1,56
Argissolos	40,6 ± 3,25	49	24.955	101,21
Luvissolos	40,2 ± 5,04	15	8.314	33,45
Neossolos plúnticos	37,7 ± 0,32	2	58	0,22
Latossolos	37,4 ± 4,13	24	9.257	34,61
Neossolos flúvicos	36,6 ± 8,22	5	1.990	7,29
Planossolos	31,5 ± 3,45	19	15.175	47,79
Neossolos regolíticos	30,8 ± 7,64	6	4.899	15,10
Neossolos quartzarênicos	20,5 ± 6,23	3	5.186	10,62
Cambissolos	15,2 ± 7,86	4	1.622	2,47
Totais		160	93.50	352,6

Cabe ressaltar que nesse valor não estão incluídos os estoques das áreas com solos discriminados como manguezais, que correspondem a 0,19% do território do Estado (185,27 km²) (Araújo filho et al., 2000) e as classes dos Organossolos, para as quais não existem informações suficientes de perfis e da área de abrangência no Estado, sabendo-se no entanto que são menores que as de manguezais.

Os Chernossolos, seguidos pelos Nitossolos, Vertissolos e Gleissolos tinham os maiores estoques médios de carbono por unidade de área, na camada de 0 a 30 cm, com 74 e 58, Mg ha⁻¹, respectivamente. Seguidos pelos os Vertissolos e Gleissolos, com 48 e 47 Mg ha⁻¹, respectivamente. Os altos valores de carbono nestas classes podem ser parcialmente explicados pelas suas grandes proporções de argila (Araújo filho et al., 2000; EMBRAPA, 2013). A argila confere grandes áreas superficiais e quantidades de cargas, possibilitando um grande volume de interações organominerais e baixas taxas de mineralização (Dick et al., 2009). A topografia e o hidromorfismo também estão

associados aos altos estoques médios de C por hectare, mais especificamente no caso dos Gleissolos, que apresentam fortes limitações quanto a drenagem, aporte de sedimentos e resíduos orgânicos provenientes de áreas mais elevadas e lenta decomposição da matéria orgânica, associada à baixa atividade microbiana nas condições anaeróbicas comuns neste tipo de solo (Resck et al., 2008).

Dos Neossolos litólicos aos Neossolos regolíticos há um conjunto de nove classes de solos com estoques decrescentes de 47 a 30 Mg ha⁻¹ (Tabela 1). Os Neossolos Quartzarênicos e os Cambissolos fecham a lista com menores estoques para Pernambuco (20 e 15 Mg ha⁻¹). Os Neossolos Quartzarênicos são solos com textura muito arenosa, em geral areia ou areia franca assim apresenta baixa capacidade de estocar carbono, (Araújo filho et al., 2000; EMBRAPA, 2013) porém ainda superaram os dos Cambissolos. A diferenças texturais e mineralógicas existentes na classe dos Cambissolos, em segundo e terceiro nível categórico, podem ter contribuído para os baixos valores de C encontrados nesse

levantamento. Os Cambissolos também apresentam características que variam muito de um local para outro, como a grande heterogeneidade no material de origem, relevo e clima (Araújo Filho et al. 2000). Assim, a classe comporta solos em diversos relevos, desde o plano até montanhoso, de fortemente até imperfeitamente drenados, de rasos a profundos, com alta a baixa saturação por bases e alta a baixa atividade das argilas e ainda podem ocorrer com e sem pedregosidade.

Embora possa servir como um marco de referência, estas comparações entre estoques de carbono nas diferentes classes de solo obtidos nesse trabalho merecem um certo cuidado, principalmente em função da falta de padronização nos processos de amostragem realizados nos trabalhos publicados, e também pelo baixo número amostral de algumas classes de solo e pela falta de informação sobre o histórico de usos das áreas.

As estimativas dos estoques das classes de solo em Pernambuco ficaram próximas das reportadas por Fidalgo et al. (2007) para o Brasil como um todo, considerando os diferentes tipos de solos nos principais biomas: Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica e Pantanal. Mas deve-se levar em consideração que estas médias nacionais foram muito influenciadas pela amostragem na Mata Atlântica e na Amazônia, esta última ainda predominantemente ocupada por florestas.

A média geral dos estoques de C, ponderada pela proporção de área das classes de solo em Pernambuco, é 38 Mg ha⁻¹ e, como corresponde a todos os usos da terra, pode ser extrapolada para 368 Tg de C para a área total do Estado, incluindo as áreas para as quais não se tem informação (áreas indiscriminadas de mangue e Organossolos).

O valor médio de 38 Mg ha⁻¹ de carbono corrobora com os reportados por Sampaio e Costa

(2011), que estimaram o estoque médio de C por área para todo o semiárido nordestino em 28 Mg ha⁻¹, mas considerando apenas a camada de 0 a 20 cm de profundidade. Se a concentração fosse a mesma de 20 a 30 cm de profundidade, o valor seria 42 Mg ha⁻¹, mas é frequente que a concentração decresça com a profundidade. Além disso, aqueles autores calcularam a média apenas para o semiárido e este trabalho incluiu os perfis da Mata Atlântica, onde a produtividade vegetal é maior pela maior disponibilidade hídrica, o que leva a maior probabilidade de incorporação de matéria orgânica nos solos (Post et al., 1982).

Em termos dos totais de carbono acumulados pelas classes de solo, o panorama é distinto do analisado pelos estoques por unidade de área. Os maiores estoques ocorrem nos Argissolos, Neossolos litólicos e Planossolos, que juntos perfazem 68% de todo o carbono estocado no solo na camada de 0 a 30 cm, por causa de suas disseminações em Pernambuco (Tabela 2). Já os Chernossolos, Nitossolos, Vertissolos e Gleissolos são pouco representativos, apesar dos altos valores por hectare, devido às poucas superfícies ocupadas em Pernambuco.

Estoques de C no solo por uso e cobertura da terra

As áreas de vegetação nativa densa (Mata Atlântica e Caatinga) tinham os maiores estoques médios de C, 77 e 52 Mg ha⁻¹, respectivamente, enquanto as áreas com pastagem e agricultura estoques de 46 e 41 Mg ha⁻¹, respectivamente (Figura 3). As áreas de Mata Atlântica aberta tinham 60% menos C nos solos que as densas e as Caatingas abertas 51% menos que as densas. São reduções maiores que as encontradas na comparação das florestas densas com as pastagens e as áreas agrícolas (Sales *et al.* 2018).

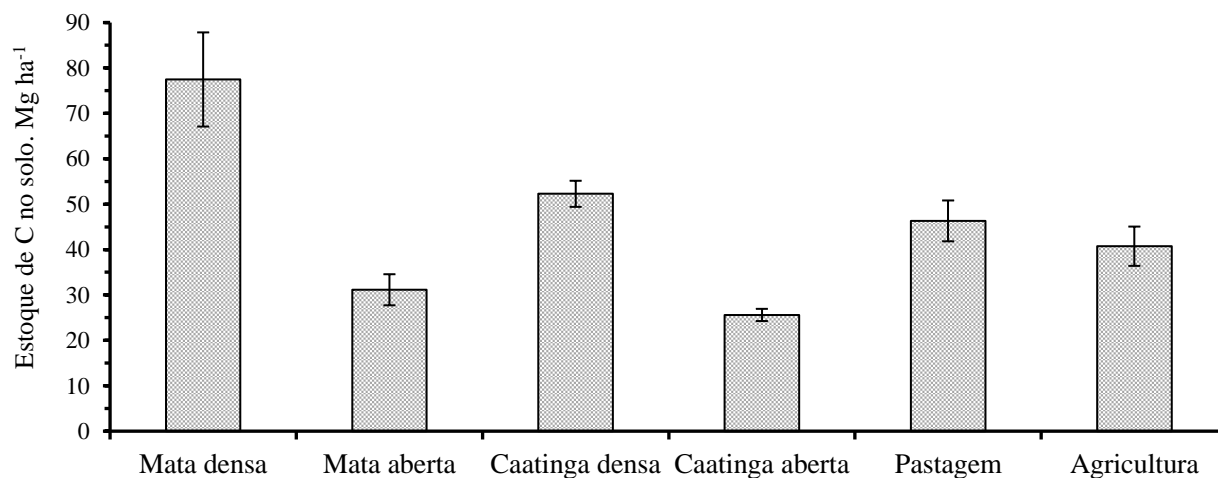


Figura 3. Estimativas dos estoques de C no solo, de 0 a 30 cm de profundidade, sob diferentes usos e coberturas da terra em Pernambuco.

É provável que os altos valores encontrados nas áreas de pastagem e agricultura, em relação às áreas de vegetação natural antropizada (Mata aberta e Caatinga aberta), estejam relacionados à profundidade de amostragem (0-30 cm) e ao padrão de crescimento das plantas que crescem nesses agroecossistemas. Segundo Santa-Ana et al. (2017), a maior contribuição das pastagens e de culturas anuais para o acúmulo de C no solo advém do seu sistema radicular. Nessas áreas, o teor de C orgânico é maior nas camadas superficiais e decresce em profundidade. Cerca de 40 a 50% do C orgânico do solo pode ser armazenado até 30 cm (Lal, 2002).

Fujisaka et al. (1998) avaliaram os efeitos da conversão de florestas nativas em áreas agrícolas e pastagens, na Amazônia, e constataram redução da ordem de 80% nos estoques C no solo. Ressaltaram que uma rápida redução no estoque de carbono foi registrada em pastagem mal manejadas, em contraste pastos bem manejadas tiveram estoques similares ou superiores aos de solos sob floresta. Já Borges e Kiehl (1996) observaram em um Latossolo na Bahia, que o estoque total de carbono (100 Mg ha⁻¹) sob vegetação nativa, até 100 cm de profundidade, foi reduzido em torno de 20% com a retirada da vegetação nativa para implantação de cultivos de banana, manga e mandioca, enquanto o cultivo de citros reduziu o estoque em torno de 10%. Tais valores são bem próximos dos encontrados na presente revisão.

Conclusões

A classes de solo com maior estoque médio de carbono por unidade de área (hectare), na camada dos 30 cm superficiais, em Pernambuco, são os Chernossolos, Nitossolos, Vertissolos e Gleissolos.

Os solos sob vegetação nativa densa têm os maiores estoques de Carbono, que se reduzem em 50 a 60% sob vegetação nativa aberta, em 40 a 47% quando a Mata Atlântica densa é convertida em pastagem ou campos cultivados e em 11 a 22% quando a conversão é de Caatinga densa.

Considerando as áreas dos solos em todo o Estado de Pernambuco, os Argissolos, Neossolos Litólicos, Planossolos e Latossolos têm os maiores estoques. O estoque total em Pernambuco é 352,7 Tg.

Referências

Antunes, P. D.; Sampaio, V. S. B.; Ferreira júnior, A. L. G.; Galindo, I. C. L.; Salcedo, I. H. 2010. Distribuição de ¹³Cs em três solos representativos do estado de Pernambuco. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 34, 935-943.

Araújo filho, J. C.; Burgos, N.; Lopes, O. F.; Silva, F. H. B. B.; Medeiros, I. A. R.; Melo Filho, H. F. R.; Parahyba, R. B. V.; Cavalcanti, A. C.; Oliveira Neto, M. B.; Silva, F. B. R.; Leite, A. P.; Santos, J. C. P.; Sousa Neto, N. C.; Silva, A. B.; Luz, L. R. Q. P.; Lima, P. C.; Reis, R. M. G.; Barros, A. H. 2000. Levantamento de reconhecimento de baixa e média intensidade dos solos do estado de Pernambuco. *Rio de Janeiro: Embrapa solos, Boletim de Pesquisa* 11, 382.

Araújo, a. M. S.; Sampaio, e. V. S. B.; Salcedo, I. H. 2001. Mineralização do C e do N em amostras de solo cultivado com Cana-de-açúcar, ao longo de dez anos com e sem fertilização nitrogenada. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 25, 43-53.

Araújo, M. S. B.; Salcedo, I. H. 1997. Formas preferenciais de acumulação de fósforo em solos cultivados com Cana-de-açúcar na região Nordeste. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 21, 643-650.

Araújo, M. S. B.; Schaefer, C. E. G. R.; Sampaio, E. V. S. B. 2004. Frações de fósforo após extrações sucessivas com resina e incubação, em Latossolos e Luvisolos do semi-árido de Pernambuco. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 28, 259-268.

Batjes, N. H. 2001. Options for increasing carbon sequestration in West African soils an exploratory study with special focus on Senegal. *Land Degradation Development* 12, 131-142.

Batjes, N. H. 2005. Organic carbono stocks in the soils of Brazil. *Soil Use and Management, Oxford* 21, 22-24.

Benites, V. M.; Machado, P. L. O. A.; Fidalgo, E. C. C.; Coelho, M. R.; Madari, B. E. 2007. Pedotransfer functions for estimating bulk density of Brazilian soils. *Geoderma* 139, 90-97.

Bernoux, M. and Volkoff, B. 2006 Soil carbon stock in soil ecoregions of Latin America. In: Lal, R.; Cerri, C.C.; Bernoux, M.; Etchevers, J. & Cerri, C.E.P. Carbon sequestration in soils of Latin America. New York, Haworth, 65-75.

Bernoux, M.; Arrouays, D.; Cerri, C.; Volkoff, B.; Jolivet, C. 1998. Bulk densities of Brazilian Amazon soils related to other soil properties. *Soil Science Society of America Journal, Madison* 62, 743-749.

Bernoux, M.; Carvalho, M. C. S.; Volkoff, B.; Cerri, C. C. 2002 Brazil's soil carbono stocks. *Soil Science Society of America Journal, Madson* 66, 888-896.

Bonfim, E. M. S.; Freire, F. J.; Santos, M. V. F.; Silva, T. J. A.; Freire, M. B. G. S. Níveis críticos

- de fósforo para *Brachiaria brizantha* e suas relações com características físicas e químicas em solos de Pernambuco. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 28, 281-288.
- Borges, A. L.; Kiehl, J. C. 1996. Alterações da matéria orgânica de um Latossolo amarelo Álico de Cruz das Almas (BA), pelo cultivo com frutíferas perenes e mandioca. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 20, 2, 313-318.
- Carter, M. R. Organic matter and sustainability. In: Rees, R. M., Ball, B. C., Campbell, C. D.; Watson, C. A. (Ed.). *Sustainable management of soil organic matter*. CABI Publishing, 9-22, 2001.
- Cerri, C.C.; Bernoux, M.; Cerri, C.E.P. & LAL, R. 2006. Challenges and opportunities of soil carbon sequestration in Latin America. In: LAL, R.; Cerri, C.C.; Bernoux, M.; Etchevers, J. & Cerri, C.E.P. *Carbon sequestration in soils of Latin America*. New York, Haworth, 41-47.
- Cerri, C.C.; Maia, S. M. F.; Galdos, M. V.; Cerri, E. P.; Feigl, B. J.; Bernoux, M. 2009. Brazilian greenhouse gas emissions: The importance of agriculture and livestock. *Science Agricultural* 66, 6, 831-843.
- Dixon, R.K.; Brown, S.; Houghton, R.A.; Solomon, A.M.; Trexler, M.C. and Wisniewski, J. 1994. Carbon pools and flux of global forest ecosystems. *Science*, 263, 185- 190.
- Embrapa. 2013. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 353.
- Eswaran, H.; van den Berg, E. & Reich, P. 1993. Organic carbon in soils of the world. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 57, 192- 194.
- Fidalgo, E. C. C.; Benites, V. M.; Machado, P. L. O. A.; Madari, B. E.; Coelho, M. R.; Moura, I. B.; Lima, C. X. 2007. *Estoque de carbono nos solos do Brasil*. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 26.
- Freixo, A. A.; Machado, P. L. O. A.; Guimarães, C. M.; Silva, C. A. Fadigas, F. S. 2002. Estoques de carbono e nitrogênio e distribuição de frações orgânicas de Latossolo do Cerrado sob diferentes sistemas de cultivo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 26, 425-434.
- Fujisaka, S.; Castilla, C.; Escobar, G.; Rodrigues, V.; Veneklass, E. J.; Thomas, R.; Fisher, M. 1998. The effects of forest conversion on annual crops and pastures: Estimates of carbon emissions and plant species loss in a Brazilian Amazon colony. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 69, 17-26.
- Galindo, I. C. L.; Ribeiro, M. R.; Santos, M. F. A. V.; Lima, J. F. W. F.; Ferreira, R. F. A. L. 2008. *Relações solo-vegetação em áreas sob processo de desertificação no município de Jataúba-PE*. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 32, 1283-1296.
- Giongo, V.; Galvão, S. R. S.; Mendes, A. M. S.; Gava, C. A. T.; Cunha, T. J. F. 2011. Soil Organic Carbon in the Brazilian Semi-arid Tropics. *Dynamic Soil, Dynamic Plant* 5, 12-20.
- Houghton, J. T.; Ding, Y.; Griggs, D. J.; Noguer, M.; Linden, P. J. Van der; Dai, X., Maskell, K.; Johnson, C. A. (Ed.). 2001. *Climate change 2001: the scientific basis*. New York: Cambridge University Press, 881.
- Howard, P. J. A.; Loveland, P. J.; Bradley, R. I.; Dry, F. T. Howard, D. M.; Howard, D. C. 1995. The carbon content of soil and its geographical distribution in Great Britain. *Soil Use and Management*, Oxford 11, 9-15.
- Jacomine, P. K. T.; Cavalcanti, A. C.; Burgos, N.; Pessoa, S. C. P.; Silveira, C. O. 1973. *Levantamento exploratório – reconhecimento de solos do Estado de Pernambuco*. Recife, SUDENE, 14.
- Lal, R. 2001. Potential of desertification control to sequester carbon and mitigate the greenhouse effect. *Climatic Change* 51, 35-72.
- Lal, R. 2002. Soil carbon dynamics in cropland and rangeland. *Environmental Pollution* 116, 353-362.
- Lal, R. 2006. Soil carbon sequestration in Latin America. In: Lal, R.; Cerri, C. C.; Bernoux, M.; Etchevers, J.; Cerri, C. E. P. *Carbon sequestration in soils of Latin America*. Binghamton: Haworth Press 49-64.
- Lal, R. 2004. Soil carbon sequestration to mitigate climate change. *Geoderma*, Amsterdam 123, 1-22.
- Oliveira, L. B.; Fontes, M. P. F.; Ribeiro, M. R.; Ker, J. C. 2009. Morfologia e classificação de Luvisolos e Planossolos desenvolvidos de rochas metamórficas do semiárido do Nordeste brasileiro. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 33, 1333-1345.
- Oliveira, L. B.; Ribeiro, M. R.; Ferraz, F. B.; Jacomine, P. K. T. 2003. Classificação de solos planossólicos do Sertão do Araripe (PE). *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 27, 685-693.
- Paustian, K.; Six, J.; Elliott, E.T. & Hunt, H.W. 2000. Management options for reducing CO2 emissions from agricultural soils. *Biogeochemistry* 48, 147-163.
- Post, W. M.; Emanuel, W. R.; Zinke, P. J.; Stangenberger, A. 1982. Soil carbon pools and world life zones. *Nature* 298, 156- 158.

- Ribeiro, M. R.; Jacomine, P. K. T.; Lima, J. F. W. F. 1999. Caracterização e classificação de solos de referência do Estado de Pernambuco. Recife, Universidade Federal Rural de Pernambuco, 140p.
- Roscoe, R.; Boddey, R. M. e Salton, J.C. 2006. Sistemas de manejo e matéria orgânica do solo. In: Roscoe, R.; Mercante, F. M. e Salton, J. C., orgs. Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas conservacionistas: Modelagem matemática e métodos auxiliares. Dourados, Embrapa Agropecuária Oeste, 17-41.
- Sampaio, E. V. S. B.; Costa, T. L. 2011. Estoques e Fluxos de Carbono no Semiárido Nordestino: Estimativas Preliminares. Revista Brasileira de Geografia Física 06, 1275-1291.
- Santa-Anna S.A.C.; Jantalia C.P.; Vilela, L.; Marchão, R.L.; Alves, B.J.R.; Urquiaga, S.; Boddey, R.M. 2017. Changes in soil organic carbon during 22 years of pastures, cropping or integrated crop/livestock systems in the Brazilian Cerrado. Nutrient Cycling Agroecosystem 45, 101-120.
- Santos, J. C. B.; Souza Júnior, V. S.; Corrêa, M. M.; Ribeiro, M. R.; Almeida, M. C.; Borges, L. E. P. 2012. Caracterização de Neossolos Regolíticos da região semiárida do estado de Pernambuco. Revista Brasileira de Ciência do Solo 36, 683-695.
- Sales, A., Silva, A. R., Veloso, C. A. C., Carvalho, E. J. M., & Miranda, B. M. 2018. Carbono orgânico e atributos físicos do solo sob manejo agropecuário sustentável na Amazônia Legal. Colloquium Agrariae 14, 1, 1-15.
- Scharpenseel, H.W. 1997. Preface to workshop 'Management of carbon in tropical soils under global change: Science, practice and policy'. Geoderma 79, 1-8.
- Simões Neto, D. E.; Oliveira, A. C.; Freire, F. J.; Freire, M. B. G. S.; Nascimento, C. W. A.; Rocha, A. T. 2009. Extração de fósforo em solos cultivados com Cana-de-açúcar e suas relações com a capacidade tampão. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental 13, 840-848.
- Simões Neto, D. E.; Oliveira, A. C.; Rocha, A. T.; Freire, F. F.; Freire, M. B. G.; Nascimento, C. W. A. 2012. Características agroindustriais da Cana-de-açúcar em função da adubação fosfatada, em solos de Pernambuco. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental 16, 347-354.
- Souza, R. V. C. C.; Ribeiro, M. R.; Souza Junior, V. S.; Corrêa, M. M.; Almeida, M. C.; Campos, M. C. C.; Ribeiro Filho, M. R.; Schulze, M. B. B. 2010. Caracterização de solos em uma topoclimossequência no maço de Triunfo – Sertão de Pernambuco. Revista Brasileira de Ciência do Solo 34, 1259-1270.
- Tomasella, J.; Hodnett, M. G. 1998. Estimating soil water retention characteristics from limited data in Brazilian Amazonia. Soil Science 163, 190-202.