

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
Embrapa Meio-Norte  
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

# **Solos Sustentáveis** para a Agricultura no Nordeste

*Henrique Antunes de Souza  
Luiz Fernando Carvalho Leite  
João Carlos Medeiros*

Editores Técnicos

**Embrapa**  
Brasília, DF  
2021

# Parte I

---

**Retrospectiva, caracterização e  
conservação do solo na região  
Nordeste do Brasil**

## **MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO INTEGRADOS NO NORDESTE BRASILEIRO**

*Vanderlise Giongo*

*Maria do Socorro Conceição de Freitas*

*Rita de Cássia Alves de Freitas*

*Ana Dolores Santiago de Freitas*

*Tatiana Ayako Taura*

*Luiz Fernando Carvalho Leite*

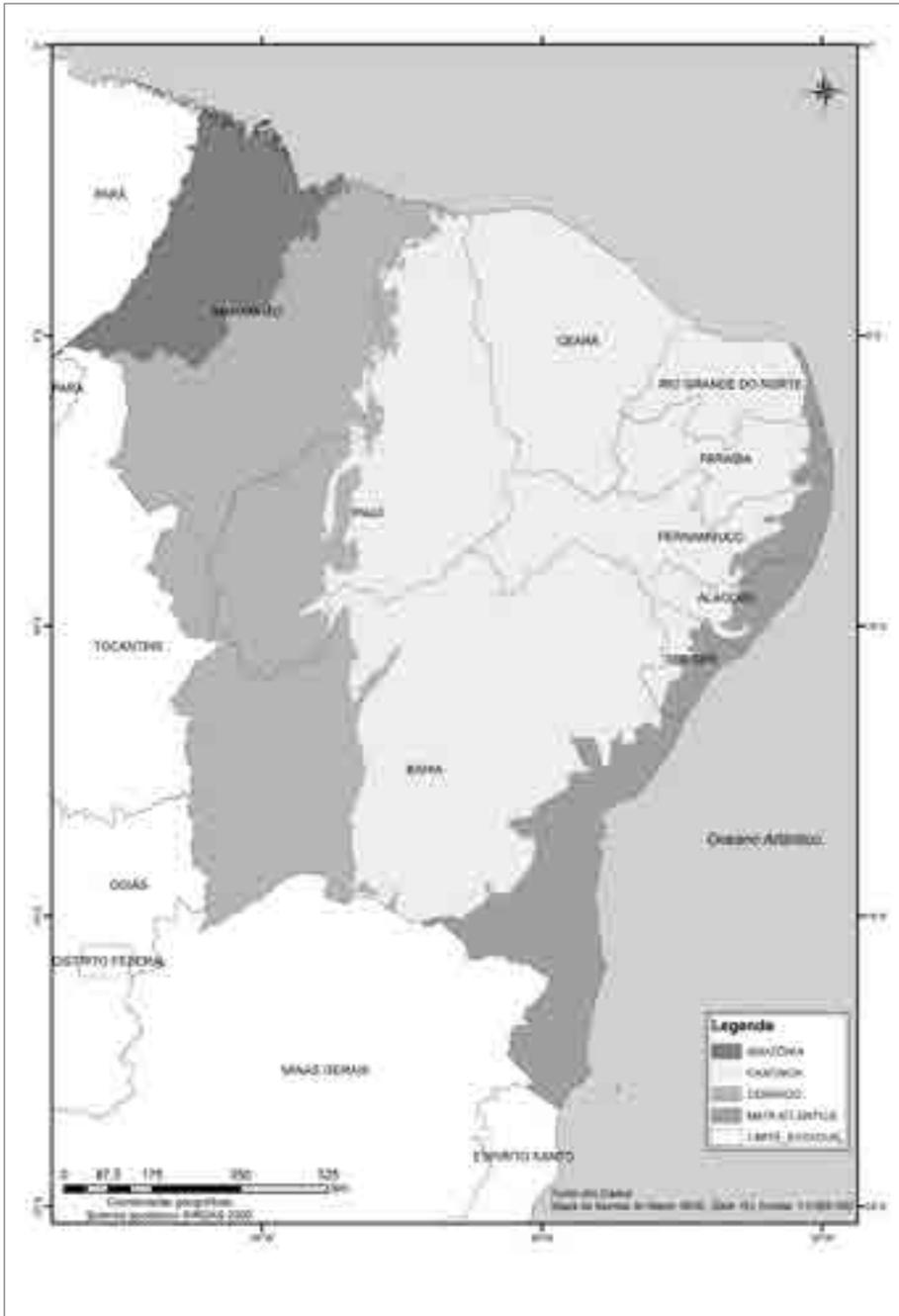
### **Introdução**

---

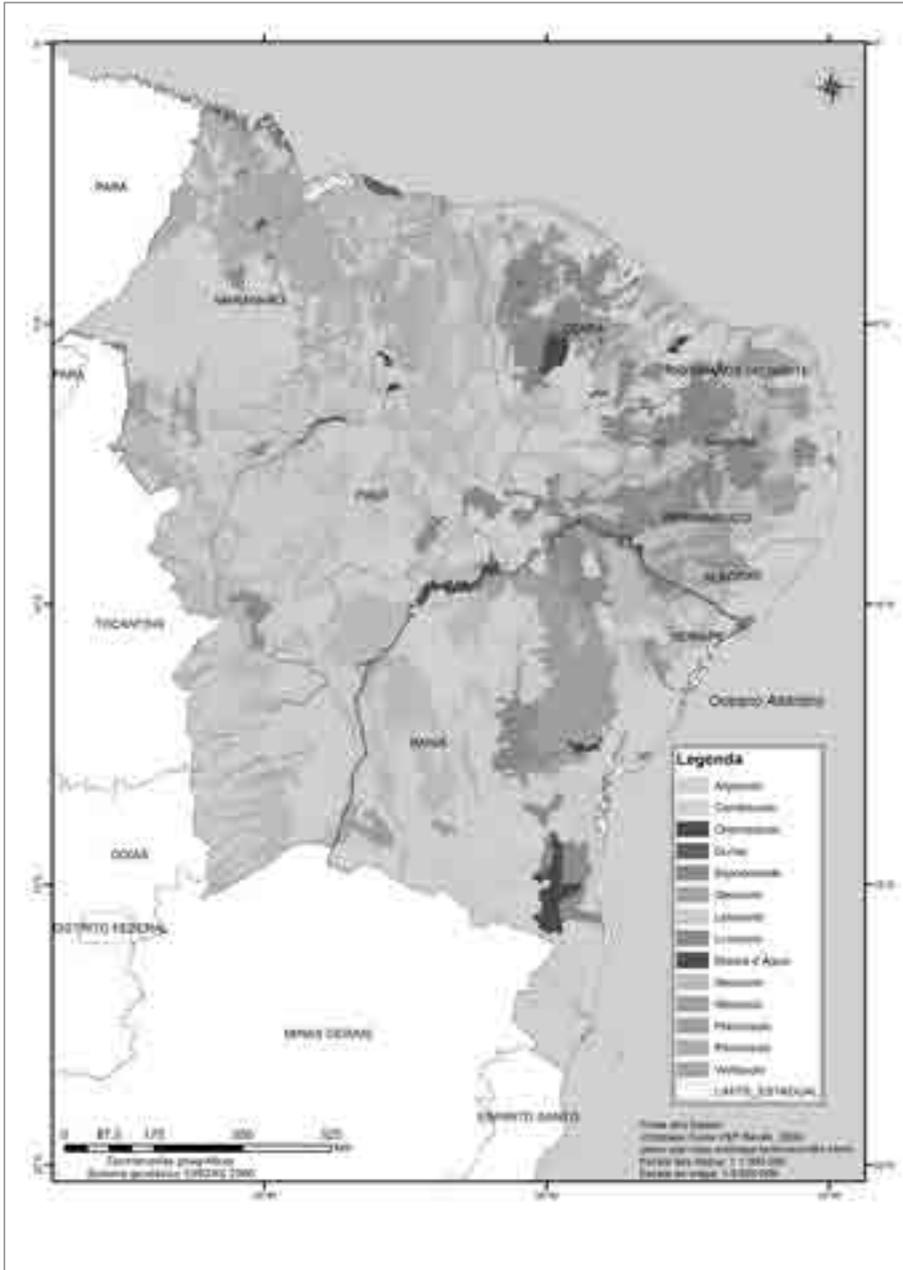
A região Nordeste, com 1,56 milhão de quilômetros quadrados, cobre 18,2% da superfície do País e tem a maior variabilidade de solos do Brasil e um mosaico de áreas de agricultura, pastagens e vegetação remanescente com diferentes tempos de regeneração. Assim, para descrever a importância e o manejo da matéria orgânica nos solos do Nordeste, inicialmente é preciso compreender como todos os elementos da diversidade impactam sobre a dinâmica desse atributo de solo.

Devido à diversidade edafoclimática, essa região pode ser subdividida em quatro subregiões (Agreste, Sertão, Meio-Norte e Zona da Mata) ou quatro biomas [Caatinga (817.510,51 km<sup>2</sup>), Cerrado (461.788,93 km<sup>2</sup>), Mata Atlântica (164.439,23 km<sup>2</sup>) e Amazônia (117.232,93 km<sup>2</sup>)], que ocupam, respectivamente, 52,4%, 29,6%, 10,5% e 7,5% do território nordestino (Figura 1) (IBGE, 2004).

Os biomas da região Nordeste têm significativa variabilidade, como pode ser observado por meio dos diferentes tipos de solo (Figura 2), clima (Figura 3) e tipologias de vegetação remanescente (Figura 4), o que se reflete nos teores e estoques de matéria orgânica do solo (MOS). Além disso, as diferentes possibilidades de uso e ocupação da terra (Figura 5) tornam os manejos do solo e da matéria orgânica um fator complexo e relevante para a sustentabilidade da agricultura no Nordeste.



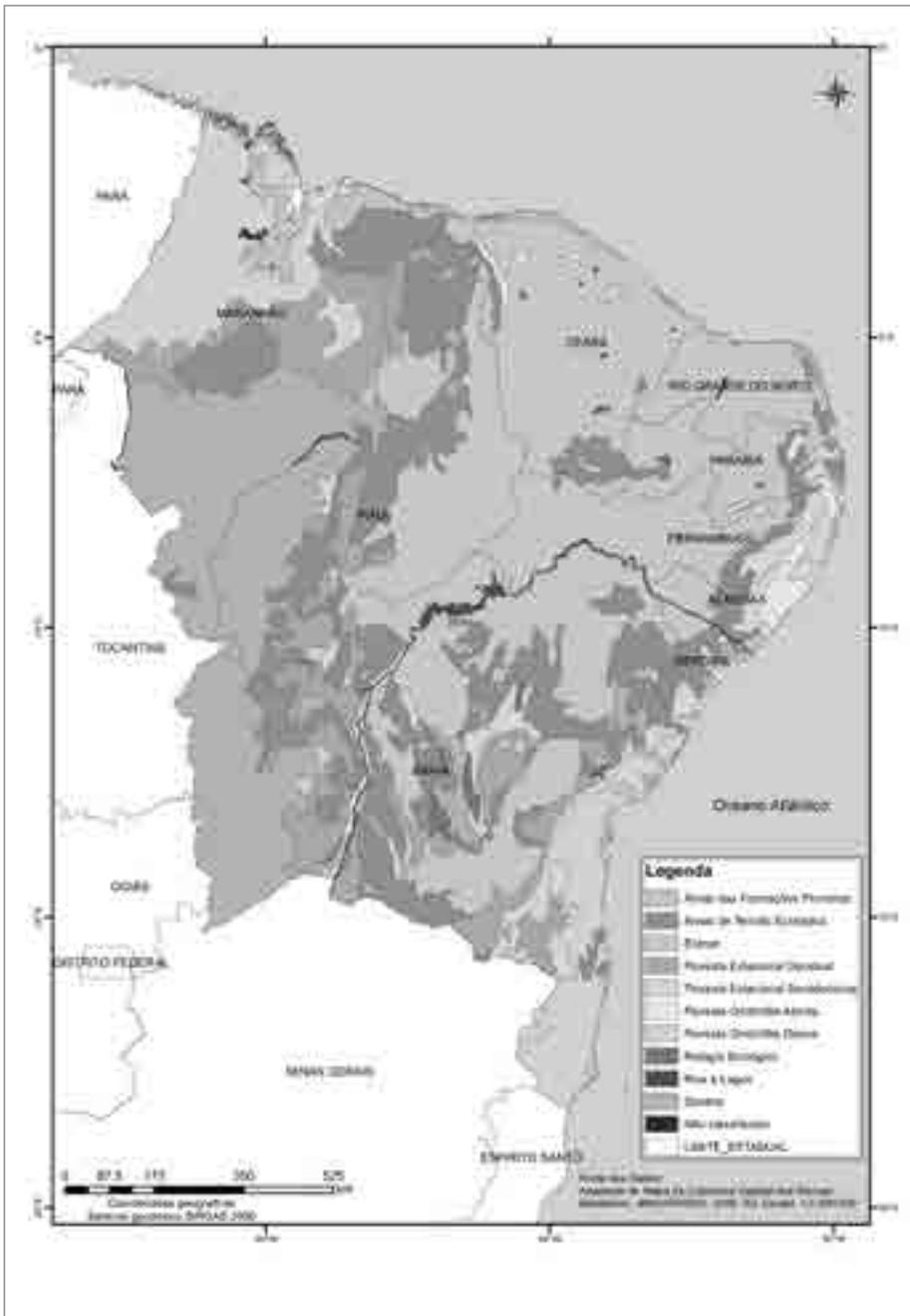
**Figura 1.** Mapa de biomas da região Nordeste.  
 Fonte: IBGE (2004).



**Figura 2.** Mapa de solos da região Nordeste.

Fonte: Barros (2006).





**Figura 4.** Mapa de vegetação da região Nordeste.

Fonte: Adaptado de Brasil (2006).



Grande parte das áreas tem sido convertida em agricultura ou utilizada com práticas extrativistas, o que está associado à perda de biodiversidade e a processos de degradação ambiental. Nesse contexto, a mudança do uso da terra, que envolve alterar ecossistemas remanescentes para fins agrícolas (o que inclui agricultura e pecuária), tem demonstrado diminuir o teor de MOS.

Os cenários relativos à mudança climática global alteram o balanço de carbono (C) e nitrogênio (N) dos sistemas, o que causa mudanças nos estoques desses elementos no solo e, conseqüentemente, afeta diretamente o manejo da matéria orgânica. Assim, tanto o tipo de uso e o manejo do solo como as alterações de temperatura e de regime de chuvas podem influenciar os ganhos ou perdas da matéria orgânica, que é governada pelo balanço de C e N.

Os solos do Nordeste, de um modo geral, têm baixa fertilidade e podem ser facilmente degradados pelas atividades agrícolas e extrativistas, o que faz diminuir o teor de matéria orgânica e aumentar as quantidades de dióxido de carbono e de óxido nitroso liberadas para a atmosfera. Por isso, para discutir o manejo da MOS no Nordeste brasileiro, é necessário verificar a diversidade edafoclimática abrigada nessa região, o histórico de ocupação e de uso da terra, os modelos agrícolas vigentes, as propostas de manejo de solo e sistemas integrados de produção e os processos associados à degradação, como salinização, erosão e desertificação.

O uso sustentável dos solos do Nordeste pode mitigar as emissões de C e os processos de degradação e adaptar os sistemas produtivos aos impactos das mudanças climáticas globais, o que, em última análise, seria um meio para promover a segurança alimentar e a proteção da biodiversidade.

Pesquisas direcionadas à determinação do impacto da mudança do uso da terra e das mudanças climáticas sobre a MOS são realizadas nos diferentes biomas que compõem o Nordeste brasileiro, principalmente devido à grande variabilidade e distribuição em mosaicos de solos, vegetação e clima. Nesse contexto, o presente capítulo apresentará a caracterização, a importância e a dinâmica da MOS em áreas remanescentes e alteradas pela ação antrópica e os modelos tecnológicos agrícolas que promovem a sua manutenção ou o seu aumento nos dois principais biomas que compõem o Nordeste (Caatinga e Cerrado), os quais ocupam 82% do seu território.

## Caracterização e importância da matéria orgânica

Evidencia-se a importância do ciclo biogeoquímico do C e da própria matéria orgânica, quando se considera a Terra como um “sistema fechado” com suprimento finito de elementos essenciais à vida, tais como, hidrogênio (H), oxigênio (O), C, N, enxofre (S) e fósforo (P). A ciclagem desses elementos e sua disponibilização em níveis considerados ótimos à manutenção da vida, como se conhece, perpassam, em algum momento, pelo compartimento orgânico do solo.

Todo material orgânico encontrado no solo, de origem vegetal ou animal, incluindo toda a fauna edáfica e o sistema radicular, vivo ou em diferentes fases de decomposição e com tamanho inferior a 2 mm, poderá ser determinado como MOS.

Embora se saiba que a MOS é composta, em maior proporção, por C, H, O, N, P e S, é difícil medir diretamente o seu conteúdo. A maioria dos métodos analíticos mede compostos orgânicos ou C orgânico partindo do pressuposto de que a matéria orgânica é constituída por 50% a 58% de C (SPARKS, 2003). Consequentemente, estima-se o teor de MOS por meio da multiplicação direta do teor de C por um fator de conversão que pode variar de 1,72 a 2. Assim, alterações no ciclo biogeoquímico do C podem alterar diretamente o conteúdo de MOS, visto que o compartimento “solo” contém mais C orgânico do que a soma dos compartimentos “atmosfera” e “vegetação”. A relevância dessa magnitude faz com que as previsões da dinâmica da MOS influenciem diretamente as previsões de mudanças climáticas globais e vice-versa (Lal, 2004; Ciais; Sabine, 2013).

Diversas classificações e métodos de fracionamento foram propostos para melhor compreender os processos que integram a dinâmica da MOS. Ao longo do tempo, também foram desenvolvidos alguns modelos conceituais para melhor compreender a complexidade da matéria orgânica e os processos de sua formação e decomposição. Entre esses modelos, destacam-se os de humificação, preservação seletiva e decomposição progressiva. Entretanto as modernas técnicas analíticas suportam a ideia de que a MOS é um *continuum* de compostos orgânicos em decomposição progressiva (Lehmann; Kleber, 2015) em detrimento, por exemplo, da teoria da humificação.

Por meio de estudos, ao longo do tempo, consolidou-se a grande importância da matéria orgânica para manter a produtividade e a sustentabilidade dos cultivos e a saúde do solo e dos agroecossistemas ou ecossistemas (Lal, 2004). Assim a matéria orgânica assume grande importância para o sistema solo por integrar processos químicos, físicos e biológicos que promovem a vida, a biodiversidade e o equilíbrio dos sistemas agrícolas ou remanescentes.

Com o início das discussões sobre o impacto da atividade antrópica sobre o sistema climático da Terra na década de 1970, durante a primeira *Conferência das Nações Unidas sobre o Ambiente Humano*, realizada em Estocolmo, na Suécia, e posteriormente com a efetiva incorporação do tema nas agendas de pesquisa da comunidade científica brasileira em 1992, após a *Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento* (CNUMAD), também denominada *Eco 92* ou *Rio 92*, identificou-se rapidamente que o solo é um grande reservatório de C e que sua fração orgânica poderia mediar o equilíbrio entre as taxas de emissão e de sequestro de elementos como C e N constituintes de gases de efeito estufa (como CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O e CH<sub>4</sub>). Paralelamente, desenvolveram-se estudos contendo desenhos de sistemas agrícolas e práticas de manejo, que poderiam colaborar no processo de mitigação dos impactos das mudanças climáticas por meio do aumento das taxas de adição e diminuição das taxas de perda, de modo a aumentar os estoques de C e N no solo.

No Brasil, as ações ligadas ao sistema solo e a importância dada à matéria orgânica no contexto das mudanças climáticas intensificaram-se quando o País instituiu, por meio da Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009, a Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC) e estabeleceu “ações de mitigação das emissões de gases de efeito estufa, com vistas em reduzir entre 36,1% e 38,9% suas emissões projetadas até 2020” (Brasil, 2009). Para fortalecer as ações, em 2013, foi lançado o Plano Setorial ABC, também denominado Agricultura de Baixa Emissão de Carbono, cujas diretrizes estimulam o sistema de plantio direto, a recuperação de pastagens, a implantação de sistemas integrados de lavoura-pecuária-floresta (ILPF) e pecuária-floresta (IPF), entre outros sistemas e práticas, que, em última análise, promoverão o

incremento do teor de MOS ou diminuirão as perdas, para que sejam equivalentes ao equilíbrio dinâmico das vegetações remanescentes (Brasil, 2012).

As pesquisas atuais estão mais voltadas ao sequestro de C e à dinâmica da matéria orgânica do que às suas funções e provisões de serviços essenciais ao ecossistema. Nesse sentido, Hartemink et al. (2014) destacaram a importância e as funções da matéria orgânica nos processos da rizosfera e salientaram sua influência sobre a adsorção, transferência e armazenamento de água e energia, sobre a ciclagem, absorção e liberação de nutrientes e sobre a agregação e cor do solo, entre outros. Sumarizam ainda que as principais áreas a serem abordadas pela pesquisa são: variabilidade do C no espaço e no tempo; propriedades e processos do C do solo; e uso e manejo do C do solo.

Avançando os estudos sobre as relações entre o aumento do teor de MOS, o aumento da produtividade dos cultivos, as funções ecossistêmicas do solo e a mitigação das mudanças climáticas, Wood et al. (2016) realizaram um estudo em 48 locais no Quênia, África, no qual correlacionaram a produtividade dos cultivos com frações físicas da matéria orgânica (matéria orgânica particulada, - MOP e matéria orgânica associada a minerais - MOAM). Os autores observaram uma relação negativa entre produtividade e estabilidade da matéria orgânica e sugeriram que será essencial para o manejo da MOS entender e direcionar os mecanismos que promovem os aumentos de C e N em cada compartimento dessa fração de solo (por exemplo, MOP e MOAM) e quantificar seus impactos em diferentes propriedades do ecossistema, relacionando-as com os serviços ecossistêmicos prestados pelo solo.

## **Matéria orgânica nos biomas do Nordeste**

---

Solos sob vegetação remanescente contêm teores de MOS que se mantêm estáveis ao longo do tempo, pois se pressupõe que a adição de C orgânico (via deposição de resíduos de vegetais e animais) e a sua conversão em MOS são da mesma magnitude que as perdas causadas pela sua mine-

ralização, erosão e lixiviação (Sanchez, 1976). Porém, à medida que ocorre a mudança do uso da terra, as taxas de acúmulo ou perda de MOS modificam o equilíbrio (Olson, 2013) e podem variar de acordo com as características de cada tipo de solo, dos sistemas de cultivo, das culturas utilizadas e das condições climáticas, tendo a precipitação e a temperatura como fatores de destaque (Austin et al., 2004; Collins et al., 2008; Wu et al., 2011).

Na região Nordeste, devido às sazonalidades climáticas e à distribuição espacial do solo e do tipo de vegetação, há microclimas que podem gerar resultados muito variados com relação à MOS.

## **Bioma Caatinga**

O bioma Caatinga está distribuído em uma área aproximada de 52% da região Nordeste. Nele, predominam o clima semiárido, as temperaturas relativamente altas e um regime de chuvas marcado pelas estiagens longas e pela irregularidade e concentração das precipitações pluviométricas em um curto período do ano. Os solos, em geral, são rasos, pouco férteis e susceptíveis a perdas por erosão. O relevo apresenta depressões, com chapadas, que são planaltos sedimentares residuais. A vegetação da Caatinga é bastante heterogênea: apresenta grande variedade de espécies, parte delas endêmicas e adaptadas às condições de semiaridez.

A Caatinga teve sua ocupação baseada no pastoreio extensivo e está entre as formações vegetais mais degradadas pela atividade humana, com casos de desertificação e de degradação dos solos que são acelerados pelos processos erosivos, de decomposição e mineralização da matéria orgânica, salinização e/ou sodificação devido às mudanças do uso da terra.

### **Processos de formação, estabilização e perda da MOS no bioma Caatinga**

No solo, a serapilheira acumulada representa o reservatório potencial de C e de nutrientes, cuja liberação depende da taxa de decomposição e mineralização do material aportado (Gama-Rodrigues; Gama-Rodrigues, 2008), que, por sua vez, depende da quantidade e da qualidade do ma-

terial aportado ao solo, da atividade dos organismos do solo, das características do solo (física e química) e, principalmente, dos fatores climáticos (precipitação pluviométrica e temperatura).

As florestas em áreas semiáridas são frequentemente caracterizadas por vegetação “agrupada”, separada por grandes áreas abertas com pouco ou nenhum crescimento de plantas (Tongway; Ludwig, 1994), também conhecida como “vegetação irregular”. No Semiárido brasileiro, as florestas tropicais secas, denominadas de Caatinga, estão submetidas à sazonalidade climática marcante (precipitação pluviométrica concentrada em uma única época do ano e período seco de 5 a 8 meses), pelas temperaturas elevadas e pelo balanço hídrico deficitário, promovendo descontinuação dos processos de decomposição e renovação da serapilheira (Pereira Júnior et al., 2016). Essas características, associadas às características de solo, contribuem para uma produção primária baixa, quando comparada àquela de regiões tropicais úmidas. Isso influencia diretamente os reservatórios da MOS.

Devido à alta variabilidade espacial, não existe um consenso com relação aos dados anuais da produção de biomassa (tanto da parte aérea, quanto da radicular) que é adicionada ao solo no bioma Caatinga, de modo que os valores obtidos ficam concentrados em alguns locais. Na floresta tropical seca do Açú, RN, Costa et al. (2007) estimaram a produção de serapilheira em  $2,98 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , destacando a baixa produção em relação a outras regiões de florestas no Brasil. Souto (2006), em uma reserva particular do patrimônio natural (RPPN) situada na Fazenda Tamanduá, no município de Santa Terezinha, PB, que não era explorada há 30 anos, estimou a produção da serapilheira em  $3,24 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ . Em área sob vegetação de caatinga, em diferentes períodos de regeneração (1, 15, 37 e 57 anos), Moura et al. (2016) observaram durante 2 anos fluxos de C na serapilheira que variavam de 115,7 a  $1.726,7 \text{ kg C ha}^{-1}$ , e mais de 50% deste C estava associado à adição pelas folhas

Salcedo e Sampaio (2008) destacaram que no bioma Caatinga, além da variabilidade espacial e temporal de disponibilidade hídrica, a

produção de biomassa e a formação da serapilheira são afetadas pela baixa fertilidade dos solos. Embora se afirme frequentemente que no Semiárido brasileiro os solos são férteis, existem muitas diferenças dentro das regiões, inclusive com solos de baixa fertilidade (Fraga; Salcedo, 2004). Além disso, ocorrem solos rasos que dificultam o desenvolvimento vegetal e têm predominância de areia, o que limita a formação e o acúmulo de MOS (Giongo et al., 2011).

Com relação aos processos de decomposição, mineralização e ciclagem do C no bioma Caatinga, destaca-se que na época seca os resíduos adicionados ao solo praticamente não sofrem ataque microbiano devido ao déficit hídrico que limita a atividade desses organismos. Quando se inicia o período de chuvas, os compartimentos de resíduos orgânicos e as concentrações de MOS são mantidos em níveis inferiores aos detectados durante a estação seca, pois os resíduos orgânicos adicionados ao solo são rapidamente decompostos. Isso ocorre porque a disponibilidade de água no solo, combinada com as altas temperaturas, favorece a atividade dos microrganismos decompositores e a rápida decomposição do material orgânico no solo (Cuevas et al., 2013). Assim a decomposição acelerada favorece uma rápida perda de C para a atmosfera.

No bioma Caatinga, a dinâmica da MOS também pode ser influenciada pela fotodegradação, como resultado da combinação de incidência de radiação solar e altas temperaturas (Parton et al., 2007). Austin e Vivanco (2006) apontaram que a perda por degradação fotoquímica de resíduos orgânicos é um processo importante no ciclo do C em regiões semiáridas, pois uma fração substancial desse elemento fixado pelas plantas e depositado na superfície do solo (via deposição dos resíduos da parte aérea) é perdida diretamente para a atmosfera por fotodegradação, sem passar pela ciclagem no solo. Esses autores destacaram que, na época seca, podem ser mais representativas as perdas de C pela fotodegradação do que pela decomposição.

Os solos do bioma Caatinga, geralmente, pouco intemperizados, com reduzida presença de óxidos de ferro (Fe) e de alumínio (Al) e com predominância de areia, também dificultam a proteção física do C. Com isso, há redução da estabilização da MOS, o que limita o tempo médio de residência do C no solo (Giongo et al., 2011).

A Caatinga também é um dos biomas brasileiros mais ameaçados pelos efeitos das mudanças climáticas, pois o aumento da temperatura e a baixa precipitação pluvial afetam fortemente os processos biogeoquímicos naturais de seus ambientes (Santos et al., 2014). Além disso, a intensificação das ações antrópicas, como a remoção da vegetação nativa, que aumenta a pressão sobre os solos e a biota das regiões semiáridas, aumenta os riscos de desertificação (Nobre, 2011).

Estima-se que, até 2009, 54% das áreas de Caatinga tenham sido desmatadas (Manual..., 2012). A mudança do uso da terra, na qual a vegetação nativa é retirada para a instalação de um sistema agrícola, pode diminuir a taxa de adição de biomassa no sistema ou intensificar o processo de mineralização da matéria orgânica, provocando modificações nos estoques de C e degradação dos solos (Barreto et al., 2006).

Santana (2015) observou o impacto da mudança do uso da terra em diferentes solos do estado de Pernambuco e verificou que as diferenças no teor e estoque de C entre os tipos de solos são decorrentes da estrutura específica de cada um. Solos jovens contêm argilas (que interagem mais com a matéria orgânica) e, por isso, tendem a ser mais sensíveis às mudanças dos usos na primeira camada (até 0,1 m), quando comparados aos solos mais arenosos. Também destacou que, de modo geral, ao comparar diferentes usos da terra, não houve diferenças nos estoques de C e N nas camadas de solo avaliadas. A baixa pluviosidade, aliada à extração de biomassa disponível pelos animais que pastejam por toda a área, faz com que os estoques sejam semelhantes em todos os usos (Tabela 1).

Nesse contexto, demonstra-se a necessidade de ampliar o conhecimento sobre os mecanismos e processos que envolvem a MOS no bioma Caatinga e, sobretudo, buscar estratégias para o manejo e a conservação do solo e da MOS nesse ambiente.

**Tabela 1.** Estoques de carbono ( $t\ ha^{-1}$ ) no perfil do solo até 60 cm de profundidade, em classes de solo com diferentes coberturas vegetais, na região semiárida de Pernambuco.

Cobertura vegetal	Classe de solo			
	Argissolo	Latossolo	Neossolo	Planossolo
Caatinga densa	63,8(5,5) <sup>(1)</sup>	47,2(6,8)	54,5(11,8)	26,2(4,2)
Caatinga aberta	45,9(4,6)	39,7(6,7)	39,1(4,5)	26,2(3,1)
Pastagem	51,3(10,4)	39,4(4,6)	51,4(0,7)	17,6(2,8)
Agricultura	56,0(5,7)	34,4(5,6)	22,2(1,5)	13,3(0,7)

<sup>(1)</sup> Os valores entre parênteses indicam o erro-padrão da média.

Fonte: Adaptado de Santana (2015).

## Bioma Cerrado

O Cerrado da região Nordeste do Brasil (Cerrado nordestino) ganhou destaque no cenário agropecuário brasileiro nos últimos anos. Com área de 46,2 milhões de hectares distribuída em três estados (Maranhão, Piauí e Bahia), o Cerrado nordestino inclui 248 municípios, representa 5,4% do território nacional, 22,7% do bioma Cerrado brasileiro e tornou-se a grande fronteira agrícola do Brasil (Garcia; Buainain, 2016).

A topografia plana, os solos profundos e o clima favorável ao cultivo das principais culturas de grãos e fibras possibilitaram o crescimento vertiginoso da região (Borghi et al., 2014). Em 1990, a área plantada de algodão (*Gossipium hirsutum* L.), milho (*Zea mays* L.) e soja (*Glicine max* L.) nas microrregiões que compõem o Cerrado nordestino era de 1.773.387 ha. Em 2000, passou para 2.074.088 ha; em 2010, aumentou para 3.446.078 ha; e em 2015, foram plantados 4.720.236 ha (IBGE, 2015), o que indica um crescimento intenso (de 270%) em 25 anos.

A transformação desses ambientes naturais em sistemas agrícolas (sobretudo nos casos de exploração inadequada com sistemas convencionais) tem provocado a degradação das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, como a desestruturação e a compactação, a redução da fertilidade, a oxidação acelerada da matéria orgânica e a diminuição da quantidade e diversidade de organismos do solo (Sá; Lal, 2009; Leite et al., 2014). Nesse

contexto, o sequestro de C no solo passa a ser muito importante em razão da necessidade de recuperar solos e ecossistemas degradados e aumentar a biodiversidade e a produtividade agrícola para alcançar níveis adequados de segurança alimentar (Lal, 2006; Leite et al., 2015).

A conversão da vegetação nativa em agrossistemas (o que implica derrubada das árvores, queima do material vegetal e preparo do solo) e, principalmente, o uso e manejo subsequentes são fatores que controlam a redução, a manutenção ou o aumento do C no solo (Murty et al., 2002; Carvalho et al., 2014). Os sistemas produtivos convencionais atualmente em uso frequentemente contribuem com menos C ao solo em relação aos sistemas naturais, uma vez que o revolvimento do solo estimula a degradação da MOS e a liberação do C do solo na forma de CO<sub>2</sub>. Entretanto, em áreas de Cerrado, a fertilidade natural do solo é baixa e a produção primária vegetal é limitada de tal forma que, após a aplicação adequada de calcário e adubos minerais aos sistemas agrícolas, pastagens ou florestas plantadas, a produção primária pode superar significativamente aquela da vegetação nativa (Jantalia et al., 2007; Boddey et al., 2012).

## **Tecnologias e desafios para manutenção e aumento da MOS**

---

A agricultura e a pecuária são atividades de grande importância para a economia e segurança alimentar do Nordeste. Contudo, a pecuária extrativista, os monocultivos, o preparo excessivo do solo e a ausência de cobertura do solo, promovidos pela mudança do uso da terra, favorecem os processos erosivos, de decomposição e mineralização da matéria orgânica, salinização e/ou sodificação, ou seja, a degradação do solo. Os impactos previstos nos cenários de mudanças climáticas podem potencializar a perda de MOS. Assim, tecnologias e sistemas agropecuários, como o sistema de plantio direto associado à adubação verde, os sistemas agroflorestais e os sistemas integrados (ILPF, IPF e lavoura-pecuária – ILP), são alternativas que podem aumentar o teor de MOS, a segurança alimentar, a provisão dos serviços ecossistêmicos, a mitigação das emissões de gases de efeito estufa e o impacto das mudanças climáticas.

## Caatinga

### Sistemas integrados para a pecuária e agricultura dependentes de chuva

Os sistemas ILPF, ILP e IPF são eficientes para a melhoria da qualidade do solo, aumento do teor de matéria orgânica, segurança alimentar e promoção da sustentabilidade do sistema produtivo.

Campanha et al. (2009) observaram que o índice de manejo de C (IMC), calculado a partir do índice de estoque de C e do índice de labilidade com base em sistema de referência (Blair et al., 1995), é maior em sistema agrossilvipastoril (de 120% a 200%) do que em silvipastoril (de 0% a 60%) e em sistema tradicional (de 100% a 160%). O estudo permitiu inferir que o sistema agrossilvipastoril tem maior proporção de matéria orgânica estável. Entretanto Wood et al. (2016) afirmaram que o fato de aumentar o compartimento de matéria orgânica estável não garante a segurança alimentar, porque a produtividade tem correlação inversa com a fração “matéria orgânica”.

Em estudo realizado no Semiárido de Pernambuco por Santana (2015) para verificação de estoques semelhantes de C em diferentes usos da terra, observou-se que o fator “tipo de solo” foi mais importante do que o fator “mudança de uso da terra” para explicar alterações no estoque desse elemento. Esse estudo refletiu as características edafoclimáticas do Semiárido e as condições vigentes de pastagens degradadas e agricultura dependente de chuva, sem adoção de práticas conservacionistas, nas quais as taxas de adição de material orgânico são naturalmente baixas, o que não promove alterações nos estoques de C. Entretanto, em cultivo de cajueiro (*Anacardium occidentale* L.) dependente de chuva no município de Pacajus, CE (bioma Caatinga), cuja pluviosidade média anual é de 930 mm, Xavier et al. (2013) observaram que o uso de adubos verdes e sistemas de manejo de solo favoreceram sua cobertura e, desse modo, contribuíram para o aumento da matéria orgânica e dos nutrientes no solo. Assim é possível inferir que intervenções por meio de práticas conservacionistas têm potencial de aumentar o teor de matéria orgânica numa condição edafoclimática de semiaridez.

Aguiar et al. (2014) verificaram que, quando comparados aos sistemas convencionais ou tradicionais, o ILPF e IPF são eficientes em acumular C nos

compartimentos “solo, planta e serapilheira”; entretanto sua eficiência é inferior à da vegetação natural de Caatinga (Tabela 2). Analisando somente o estoque de C no solo, verifica-se que o sistema silvipastoril tem o maior estoque de C, ultrapassando inclusive a quantidade armazenada no solo de Caatinga. Em relação ao impacto global, Assis et al. (2011) destacaram a potencialidade do sistema silvipastoril de sequestrar C e sua importância para mitigar os impactos das mudanças climáticas.

**Tabela 2.** Estoque de carbono ( $t\ ha^{-1}$ ) nos “compartimentos solo, serapilheira” e planta nos sistemas agrossilvipastoril, silvipastoril e cultivo tradicional e no bioma Caatinga, em Luvissole, Sobral, CE.

Compartimento	Sistema / bioma			
	Agrossilvipastoril	Silvipastoril	Cultivo tradicional	Caatinga
Solo (0-20 cm)	24,58	46,01	32,13	32,48
Serapilheira	0,98	0,92	0,18	1,21
Planta	17,04	10,57	3,59	67,51
Total	42,60	57,58	35,9	101,20

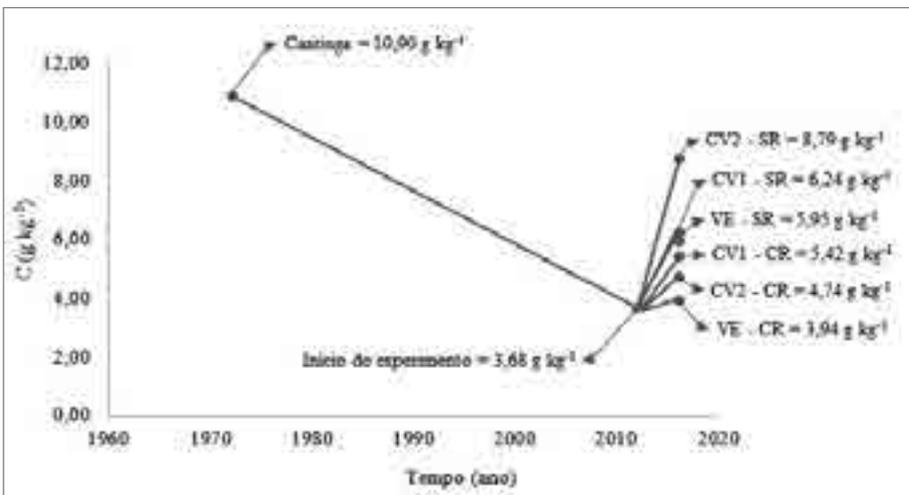
Fonte: Adaptado de Aguiar et al. (2014).

### Sistemas integrados para a agricultura irrigada

Aumentar os estoques de MOS pelo aumento das adições e redução das perdas é uma estratégia importante para o desenvolvimento sustentável. A redução da perturbação do solo associada a uma maior ciclagem de resíduos orgânicos, tende a aumentar os teores de MOS e afetar diretamente os diferentes reservatórios desse atributo do solo (Corbeels et al., 2006; Sainju et al., 2008). Revela-se, assim, o impacto da ação humana sobre as fitofisionomias da Caatinga ou sobre os sistemas de produção (irrigados ou dependentes de chuva).

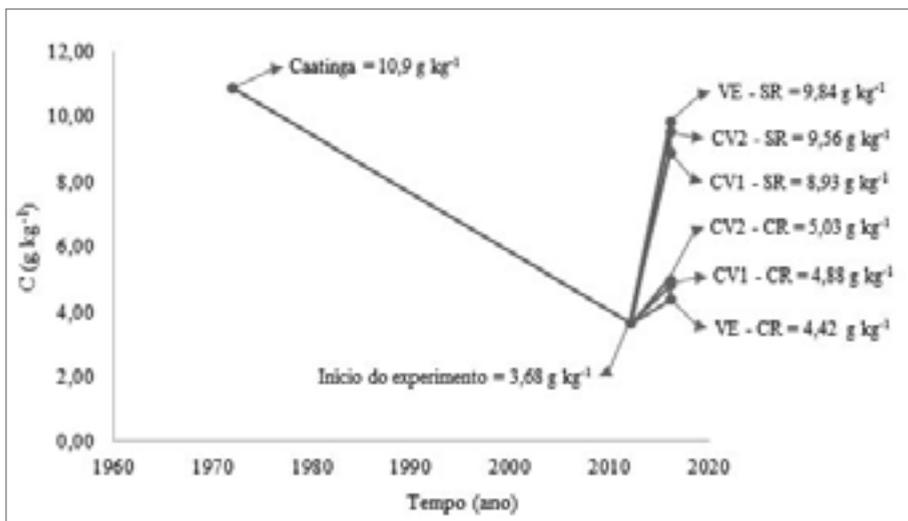
Nesse sentido, destacam-se os estudos de Brandão (2016) e Gonçalves et al. (2016), que avaliaram o cultivo simultâneo de diferentes adubos verdes

(chamado de coquetéis vegetais) e de dois sistemas de preparo do solo (fitomassa aérea deixada na superfície ou incorporada ao solo) em experimentos de longa duração. O primeiro utilizou a mangueira (*Mangifera indica* L.) (Figura 6) como modelo para frutícolas e o segundo, o meloeiro (*Cucumis melo* L.) (Figura 7) como modelo para hortícolas. Em as ambas condições, observou-se que, em relação à condição inicial do experimento, os sistemas de manejo adotados contribuíram para o aumento dos teores de C do solo na camada de 0 cm a 5 cm, principalmente no caso de sistemas em que se adotou o cultivo sem revolvimento do solo. Além desses aportes de C, a adoção da tecnologia propicia uma importante entrada de N no sistema por meio da fixação biológica mediada por microrganismos em associação com as leguminosas presentes nesses coquetéis.



**Figura 6.** Carbono total do solo na camada de 0 cm a 5 cm na entrelinha de cultivo de manga (*Mangifera indica* L.), em dois sistemas de preparo do solo (SR = sem revolvimento do solo; CR = com revolvimento do solo) e três tipos de coquetéis vegetais (CV1 = coquetel vegetal com 75% de leguminosas + 25% de gramíneas e oleaginosas; CV2 = coquetel vegetal com 25% de leguminosas + 75% de gramíneas e oleaginosas; VE = vegetação espontânea), em um Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico plíntico, na região de Petrolina, PE, submetido a manejo convencional durante 32 anos.

Fonte: Adaptado de Brandão (2016).



**Figura 7.** Carbono total do solo na camada de 0 cm a 5 cm, em cultivo de meloeiro (*Cucumis melo* L.), dois sistemas de preparo do solo (SR = sem revolvimento do solo; CR = com revolvimento do solo) e três tipos de coquetéis vegetais (CV1 = coquetel vegetal com 75% de leguminosas + 25% de gramíneas e oleaginosas; CV2 = coquetel vegetal com 25% de leguminosas + 75% de gramíneas e oleaginosas; VE = vegetação espontânea) em um Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico plintico, na região de Petrolina, PE, submetido a manejo convencional durante 32 anos.

Fonte: Adaptado de Gonçalves et al. (2016).

## Cerrado

### Sistema plantio direto

A adoção de tecnologias fundamentadas em bases conservacionistas, como o sistema plantio direto (SPD), tem-se tornado essencial à recuperação e manutenção da qualidade dos solos do Cerrado. A manutenção da palha na superfície do solo e a rotação de cultura, somadas à ausência de revolvimento do solo, são princípios básicos da adoção do SPD, os quais, além de reduzirem a emissão de CO<sub>2</sub> para a atmosfera, atuam no aumento do estoque de C no solo, o que traz ainda outros benefícios às culturas, como: aumento da diversidade microbiana, melhoria da fertilidade e dos atributos físicos do solo (Six et al., 2002; Foley et al., 2005; Araújo et al., 2016) e uma expressiva redução da erosão hídrica (Almeida et al., 2016).

Na região do Cerrado do Piauí, Leite et al. (2010) avaliaram o estoque de C no solo em diferentes sistemas de manejo, numa área de Latossolo Vermelho-Amarelo de textura argiloarenosa ( $430 \text{ g kg}^{-1}$  de argila). Amostras de solo (camadas entre 0 m e 0,40 m de profundidade) foram retiradas de dois sistemas de preparo do solo (convencional, com uso de uma grade pesada e duas grades leves, e plantio direto, com 2, 4 e 6 anos de implantação) em uma área de Cerrado nativo. Os autores verificaram que a adoção do SPD aumentou o estoque de C em relação ao estoque do Cerrado nativo. O SPD com 6 anos de implantação apresentou estoque de C de aproximadamente  $110 \text{ t ha}^{-1}$ , sendo 39% e 57% superior aos estoques de C no plantio convencional e no Cerrado nativo, respectivamente. A taxa de acúmulo de C foi, em média,  $5 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  durante os 6 anos desde o estabelecimento do SPD. Os aumentos foram em razão da maior taxa de adição de C ao solo, que resultou no aumento de produtividade primária do ecossistema causado pelo menor revolvimento do solo.

Em estudo similar, realizado por Campos et al. (2013) em um Latossolo Amarelo Distrófico com textura franco-argilo-arenosa ( $288 \text{ g kg}^{-1}$  de argila), foi verificado que, após 9 anos de implantação do SPD, na camada de 0 m a 0,40 m de profundidade, o estoque de C aumentou a uma taxa de  $0,88 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , superando em 9,8% e 11,6% os estoques de C do Cerrado nativo e do plantio convencional, respectivamente. Os autores ainda observaram maiores teores de C nas substâncias húmicas e maiores índices de humificação nos solos em SPD. Assim afirmaram que o SPD, associado ao uso de forrageira, tem capacidade de estocar e sequestrar C em profundidade e pode ser considerado como alternativa sustentável para a mitigação das emissões de  $\text{CO}_2$ .

O acúmulo de C pode variar regionalmente devido às condições climáticas, ao tipo de solo, ao manejo aplicado e, principalmente, ao tempo de implantação do SPD (Carvalho et al., 2010). Matias et al. (2009) observaram que a substituição do Cerrado nativo por culturas anuais em SPD promoveu alterações nos estoques de C na camada superficial do solo (entre 0 m e 0,05 m). Já a comparação entre o SPD e o plantio convencional revelou valores de C em profundidade semelhantes, o que pode estar relacionado ao tempo de adoção do SPD (apenas 4 anos), que não foi suficiente para promover alte-

rações positivas no estoque de C em profundidade. Pragana et al. (2012), ao avaliarem a dinâmica da matéria orgânica em Latossolos Amarelos Distróficos típicos cultivados com soja, em função de diferentes tempos de implantação do SPD, constataram que tempo de implantação inferior a 4 anos é insuficiente para melhorar a qualidade da MOS.

Além do conteúdo total de C, várias ferramentas podem ser usadas para avaliar alterações na MOS. Um exemplo é o C associado à biomassa microbiana (Cmic), que representa de 2% a 4% do C orgânico total do solo, porém por ser uma fração ativa da MOS, é mais sensível do que os teores de C orgânico total para aferir alterações causadas por práticas de manejo ou usos do solo (Gama-Rodrigues; Gama-Rodrigues, 2008). Em áreas de Cerrado nordestino, Matias et al. (2009) relataram incrementos de 41% e 85% no Cmic em áreas com SPD em relação aos índices encontrados na vegetação nativa e no preparo convencional, respectivamente, na profundidade de 0 m a 0,10 m.

Resultados semelhantes foram obtidos por Leite et al. (2010) que, ao avaliarem áreas em SPD com diferentes tempos de implantação, relataram valores de Cmic superiores em 16% e 104% em relação aos da vegetação nativa e do plantio convencional, respectivamente. Já Pragana et al. (2012) observaram reduções de 50% nos valores de Cmic dos solos cultivados em SPD em relação aos do Cerrado nativo na camada de 0 a 0,10 m. Essas reduções foram superiores às observadas nos estoques de C, o que realça o Cmic como medida mais sensível às alterações da matéria orgânica relacionadas com o manejo.

A rotação de culturas, outro princípio básico do SPD, aumenta a biodiversidade do solo devido à adição de diversos materiais orgânicos e permite a absorção e o acúmulo de mais C em relação a ambientes com menor biodiversidade (Lal, 2004). Santos et al. (2016) caracterizaram a macrofauna edáfica em sistemas de produção de grãos em plantios direto e convencional no sudoeste do Piauí, na região do Cerrado nordestino, e concluíram que os sistemas de manejo do solo alteram a estrutura da comunidade de macroinvertebrados edáficos em relação à condição natural de Cerrado. Nas quatro áreas avaliadas, os autores verificaram que o SPD proporciona maior abundância e riqueza de espécies do que o preparo convencional e minimiza o impacto de sistemas agrícolas sobre a biodiversidade da macrofauna edáfica.

## Integração lavoura-pecuária-floresta

A ILPF é uma estratégia de produção sustentável, que integra atividades agrícolas, pecuárias e florestais realizadas na mesma área, em cultivo consorciado, sequencial ou rotacionado, que busca efeitos sinérgicos entre os componentes do sistema produtivo, de modo a contemplar a adequação ambiental e a viabilidade econômica da atividade agropecuária (Balbino et al., 2011).

Em virtude do papel reconhecido das árvores para sequestrar C e, conseqüentemente, mitigar a emissão de gases do efeito estufa, os sistemas de ILPF são considerados relevantes para a produção sustentável. Estudos com diferentes arranjos de sistemas de ILPF demonstraram que o componente florestal propicia muitos benefícios que se refletem em melhoria na eficiência de uso do solo (Macedo, 2009; Lisboa et al., 2014). Entretanto são os impactos positivos sobre variáveis microclimáticas e sobre o sequestro de C que ampliam as possibilidades de seu uso em cenários de mudanças climáticas. Em solos do bioma Cerrado, observou-se que o plantio de eucalipto (*Eucalyptus*) por várias décadas, em solos anteriormente sob pastagens degradadas, resultou em maior estoque de C em várias frações da MOS (Lima et al., 2008). Esse incremento, realçado com a associação do SPD, conforme estabelecido por alguns autores (Carvalho et al., 2010; Balbino et al., 2012), chega a taxas de acúmulo no solo que variam de 0,6 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> a 2,8 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, que são superiores às observadas em lavouras de SPD. Carvalho et al. (2014) mostraram que, após 11 anos de implantação, a ILP promoveu um aumento de 0,6 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de C e uma taxa de sequestro (que considera todas as emissões de gases de efeito estufa na ILP) de 0,24 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de C. Além disso, a diversificação das espécies vegetais em sistemas de ILPF promove maior diversidade de espécies de fungos micorrízicos arbusculares (Miranda et al., 2005) e de grupos da macrofauna invertebrada do solo (Marchão et al., 2009).

No Cerrado nordestino, Leite et al. (2014) quantificaram o estoque de C e suas frações em um Argissolo Vermelho-Amarelo, em sistemas agroflorestais com 6 e 13 anos de implantação, agricultura de corte e queima, e vegetação nativa. As maiores reservas de C total, C da fração lábil, substâncias húmicas e conteúdo de C microbiano foram observadas no sistema

agroflorestal com 13 anos de implantação em todas as profundidades. Em média, os estoques de C no sistema agroflorestal com 13 anos de implantação, foram 53% e 64% superiores aos apresentados na vegetação nativa nos períodos seco e chuvoso, respectivamente, na profundidade de 0 m a 0,40 m. No mesmo estudo, os autores verificaram um incremento do IMC nas áreas de integração em função do tempo de cultivo. O IMC foi maior no sistema agroflorestal com 13 anos (IMC de 158 e 86 na camada de 0 m a 0,05 m e de 171 e 67 na camada de 0,05 m a 0,10 m, nas estações seca e chuvosa, respectivamente), especialmente quando comparado com os índices da agricultura de corte e queima (IMC de 5,6 e 5,4 na camada de 0 m a 0,05 m e de 5,3 e 5,8 na camada de 0,05 m a 0,10 m, nas estações seca e chuvosa, respectivamente). Os sistemas de manejo mais conservacionistas, que apresentam IMC igual ou superior ao da área de referência (100), são responsáveis pela sustentabilidade do agroecossistema em regiões tropicais devido à manutenção do C no sistema agrícola (Silva et al., 2011). Assim o fato de o sistema agroflorestal aumentar o IMC em função do tempo de implantação da cultura evidencia seu potencial de melhorar a qualidade da MOS em longo prazo pela manutenção da labilidade da MOS em forma semelhante ou superior à da área referência.

Assim os resultados obtidos com a ILPF apontam que ela é uma alternativa economicamente viável, ambientalmente correta e socialmente justa para o aumento da produção de alimentos seguros, fibras e agroenergia, de modo a possibilitar a diversificação de atividades na propriedade, a redução dos riscos climáticos e de mercado e a contribuir para a mitigação do desmatamento, para a redução da erosão e para o sequestro de C, com vistas a uma produção sustentável. Entretanto os diferentes sistemas de ILPF podem ser constituídos de grande diversidade de plantas de lavouras e de pastagens e de arranjos e densidades arbóreas. Assim o sequestro, o fluxo e o estoque de C dão-se de formas variáveis nos diferentes agrossistemas, ecorregiões e formas de manejo dos componentes dos sistemas. Embora haja exemplos de utilização da ILPF no Brasil, a diversidade de condições regionais do País indica a necessidade de estudos regionalizados para, assim, diminuir o grau de incertezas na estimativa do potencial de sequestro de C na fitomassa e no solo dos diferentes sistemas.

## Considerações finais

---

Diante da necessidade de intensificar a produção agropecuária e preservar o ambiente, a pesquisa agropecuária deve atuar no sentido do desenvolvimento de modelos de produção que sejam eficientes em alcançar maiores produtividades, gerar produtos de boa qualidade e contribuir para a preservação ambiental.

Porém, apesar dos esforços das pesquisas de várias instituições, no Nordeste brasileiro, ainda são escassos os estudos que quantificam o acúmulo e sequestro de C nos solos dos biomas Caatinga e Cerrado, especialmente em sistemas integrados, SPD e outros modelos baseados na diversidade estrutural de um agroecossistema sustentável.

Nesse sentido, o presente capítulo apresentou a importância da MOS nos dois principais biomas que compõem o Nordeste brasileiro, com destaque para o impacto da mudança do uso da terra e dos modelos tecnológicos agrícolas que promovem aumento do estoque de MOS. Foram apresentados os principais processos de degradação dos biomas Caatinga e Cerrado, os impactos da mudança do uso da terra, o potencial de sequestro de C de sistemas integrados (como SPD, sistemas ILPF e IPF) e a utilização de adubos verdes, frutícolas e olerícolas. Considerando a atual fase de expansão agrícola nos biomas do Nordeste, essas informações são relevantes, pois podem ser utilizadas para minimizar impactos ambientais da mudança de uso e manejo do solo.

## Referências

---

AGUIAR, M. I.; FIALHO, J. S.; CAMPANHA, M. M.; OLIVEIRA, T. S. Carbon sequestration and nutrient reserves under different land use systems. *Revista Árvore*, v. 38, n. 1, p. 81-93, jan./fev. 2014. DOI: 10.1590/S0100-67622014000100008.

ALMEIDA, W. S. de; CARVALHO, D. F. de; PANACHUKI, E.; VALIM, W. C.; RODRIGUES, S. A.; VARELLA, C. A. A. Erosão hídrica em diferentes sistemas de cultivo e níveis de cobertura do solo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 51, n. 9, p. 1110-1119, set. 2016. DOI: 10.1590/s0100-204x2016000900010.

ARAÚJO, A. S. F. de; LEITE, L. F. C.; MIRANDA, A. R. L.; NUNES, L. A. P. L.; SOUSA, R. S. de; ARAÚJO, F. F. de; MELO, W. J. de. Different soil tillage systems influence accumulation of soil organic matter in organic agriculture. *African Journal of Agricultural Research*, v. 11, n. 51, p. 5109-5115, Dec. 2016. DOI: 10.5897/AJAR2016.11598.

ASSIS, C. P. de; XAVIER, F. A. da S.; MAIA, S. M. F.; NOGUEIRA, R. S.; ALENCAR, G. V. de; OLIVEIRA, T. S. de. Soil organic matter changes in agroforestry and organic farming in the semi-arid region of northeastern Brazil. **Dynamic Soil, Dynamic Plant**, v. 5, n. 1, p. 36-44, Apr. 2011. Special issue.

AUSTIN, A. T.; VIVANCO, L. Plant litter decomposition in a semiarid ecosystem controlled by photodegradation. **Nature**, v. 442, n. 7102, p. 555-558, Aug. 2006. DOI: 10.1038/nature05038.

AUSTIN, A. T.; YAHDJIAN, L.; STARK, J. M.; BELNAP, J.; PORPORATO, A.; RAVETTA, D. A.; SCHAEFFER, S. M. Water pulses and biogeochemical cycles in arid and semiarid ecosystems. **Oecologia**, v. 142, n. 2, p. 221-235, Oct. 2004. DOI: 10.1007/s00442-004-1519-1.

BALBINO, L. C.; BARCELLOS, A. de O.; STONE, L. F. (ed.). **Marco referencial: integração lavoura-pecuária-floresta = Reference document crop-livestock-forestry integration**. Brasília, DF: Embrapa, 2011. 130 p.

BALBINO, L. C.; KICHEL, A. N.; BUNGENSTAB, D. J.; ALMEIDA, R. G. de. Sistemas de integração: o que são, suas vantagens e limitações. In: BUNGENSTAB, D. J. (ed.). **Sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta: a produção sustentável**. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2012. Cap. 2, p. 11-18.

BARRETO, A. C.; LIMA, F. H. S.; FREIRE, M. B. G. dos S.; ARAÚJO, Q. R.; FREIRE, F. J. Características químicas e físicas de um solo sob floresta, sistema agroflorestal e pastagem no sul da Bahia. **Caatinga**, v. 19, n. 4, p. 415-425, out./dez. 2006.

BARROS, A. H. C. (Coord.). **Solos do Nordeste**. Recife: Embrapa Solos-UEP Recife, 2006. Disponível em: <http://solos.uep.cnps.embrapa.br>. Acesso em: 14 abr. 2015.

BLAIR, G. J.; LEFROY, R. D. B.; LISLE, L. Soil carbon fractions based on their degree of oxidation, and the development of a carbon management index for agricultural systems. **Australian Journal of Agricultural Research**, v. 46, n. 7, p. 1459-1466, 1995. DOI: 10.1071/AR9951459.

BODDEY, R. M.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S.; JANTALIA, C. P.; MARTIN-NETO, L.; MADDARI, B. E.; MILORI, D. M. B. P.; MACHADO, P. L. O. de A. Estoques de carbono nos solos do Brasil: quantidade e mecanismos de acúmulo e preservação. In: LIMA, M. A.; BODDEY, R. M.; ALVES, B. J. R.; MACHADO, P. L. O. de A.; URQUIAGA, S. (ed.). **Estoques de carbono e emissões de gases de efeito estufa na agropecuária brasileira**. Brasília, DF: Embrapa, 2012. p. 33-82.

BORGHI, E.; BORTOLON, L.; AVANZI, J. C.; BORTOLON, E. S. O.; UMMUS, M. E.; GONTIJO NETO, M. M.; COSTA, R. V. da. Desafios das novas fronteiras agrícolas de produção de milho e sorgo no Brasil: desafios da região do Matopiba. In: KARAM, D.; MAGALHÃES, P. C. (ed.). **Eficiência nas cadeias produtivas e o abastecimento global**. Sete Lagoas: Associação Brasileira de Milho e Sorgo, 2014. p. 263-278.

BRANDÃO, S. da S. **Coquetéis vegetais no cultivo de mangueira no Semiárido**: alterações nas propriedades químicas e físicas do solo e impactos na produção de manga. 2016. 76 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal do Vale do São Francisco, Juazeiro, BA.

BRASIL. Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009. Institui a política nacional sobre mudança do clima - PNMC e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, 29 dez. 2009. p. 109. Edição extra.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Plano setorial de mitigação e de adaptação às mudanças climáticas para a consolidação de uma economia de baixa emissão de carbono na agricultura**: Plano ABC (Agricultura de Baixa Emissão de Carbono). Brasília, DF, 2012. 172 p.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Mapa de cobertura vegetal dos biomas brasileiros**. Brasília, DF: Probio, 2006. 1 mapa, color. Escala 1:5.000.000.

CAMPANHA, M. M.; NOGUEIRA, R. da S.; OLIVEIRA, T. S. de; TEIXEIRA, A. dos S.; ROMERO, R. E. **Teores e estoques de carbono no solo de sistemas agroflorestais e tradicionais no semiárido brasileiro**. Sobral: Embrapa Caprinos e Ovinos, 2009. 13 p. (Embrapa Caprinos e Ovinos. Circular Técnica, 42).

CAMPOS, L. P.; LEITE, L. F. C.; MACIEL, G. A.; BRASIL, E. L.; IWATA, B. de F. Estoques e frações de carbono orgânico em Latossolo Amarelo submetido a diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 48, n. 3, p. 304-312, mar. 2013. DOI: 10.1590/S0100-204X2013000300009.

CARVALHO, J. L. N.; AVANZI, J. C.; SILVA, M. L. N.; MELLO, C. R. de; CERRI, C. E. P. Potencial de sequestro de carbono em diferentes biomas do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 2, p. 277-289, mar./abr. 2010. DOI: 10.1590/S0100-06832010000200001.

CARVALHO, J. L. N.; RAUCCI, G. S.; FRAZÃO, L. A.; CERRI, C. E. P.; BERNOUX, M.; CERRI, C. C. Crop-pasture rotation: a strategy to reduce soil greenhouse gas emissions in the Brazilian Cerrado. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 183, p. 167-175, Jan. 2014. DOI: 10.1016/j.agee.2013.11.014.

CIAIS, P.; SABINE, C. Carbon and other biogeochemical cycles. In: STOCKER, T. F.; QIN, D.; PLATTNER, G. K.; TIGNOR, M.; ALLEN, S. K.; BOSCHUNG, J.; NAUELS, A.; XIA, Y.; BEX, V.; MIDGLEY, P. M. (ed.). **Climate change 2013: the physical science basis**. Cambridge: IPCC: Cambridge University Press, 2013. p. 465-570.

COLLINS, S. L.; SINSABAUGH, R. L.; CRENSHAW, C.; GREEN, L.; PORRAS-ALFARO, A.; STURSOVA, M.; ZGLIN, L. H. Pulse dynamics and microbial processes in aridland ecosystems. **Journal of Ecology**, v. 96, n. 3, p. 413-420, May 2008. DOI: 10.1111/j.1365-2745.2008.01362.x.

CORBEELS, M.; SCOPEL, E.; CARDOSO, A.; BERNOUX, M.; DOUZET, J. M.; SIQUEIRA NETO, M. Soil carbon storage potential of direct seeding mulch-based cropping systems in the Cerrados of Brazil. **Global Change Biology**, v. 12, n. 9, p. 1773-1787, Sept. 2006. DOI: 10.1111/j.1365-2486.2006.01233.x.

COSTA, C. C. A.; SOUZA, A. M.; SILVA, N. F. da; CAMACHO, R. G. V.; DANTAS, I. M. Produção de serapilheira na Caatinga da Floresta Nacional do Açu-RN. **Revista Brasileira de Biociências**, v. 5, supl. 1, p. 246-248, jul. 2007.

CUEVAS, R. M.; HIDALGO, C.; PAYÁN, F.; ETCHEVERS, J. D.; CAMPO, J. Precipitation influences on active fractions of soil organic matter in karstic soils of the Yucatan: regional and seasonal patterns. **European Journal of Forest Research**, v. 132, n. 5-6, p. 667-677, Nov. 2013. DOI: 10.1007/s10342-013-0703-4.

FOLEY, J. A.; DEFRIES, R.; ASNER, G. P.; BARFORD, C.; BONAN, G.; CARPENTER, S. R.; CHAPIN, F. S.; COE, M. T.; DAILY, G. C.; GIBBS, H. K.; HELKOWSKI, J. H.; HOLLOWAY, T.; HOWARD, E. A.; KUCHARIK, C. J.; MONFREDA, C.; PATZ, J. A.; PRENTICE, I. C.; RAMANKUTTY, N.; SNYDER, P. K. Global consequences of land use. **Science**, v. 309, n. 5734, p. 570-574, July 2005. DOI: 10.1126/science.1111772.

FRAGA, V. da S.; SALCEDO, I. H. Declines of organic nutrient pools in tropical semi-arid soils under subsistence farming. **Soil Science Society of America Journal**, v. 68, n. 1, p. 215-224, 2004. DOI: 10.2136/sssaj2004.2150.

GAMA-RODRIGUES, E. F.; GAMA-RODRIGUES, A. C. Biomassa microbiana e ciclagem de nutrientes. In: SANTOS, G. de A.; SILVA, L. S. da; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. de O. (ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2. ed. rev. atual. Porto Alegre: Metrópole, 2008. p. 159-170.

GARCIA, J. R.; BUAINAIN, A.M. Dinâmica de ocupação do Cerrado Nordestino pela agricultura: 1990 e 2012. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 54, n. 2, p. 319-338, abr./jun. 2016. DOI: 10.1590/1234.56781806-947900540207.

GIONGO, V.; GALVÃO, S. R. da S.; MENDES, A. M. S.; GAVA, C. A. T.; CUNHA, T. J. F. Soil organic carbon in the Brazilian semi-arid tropics. **Dynamic Soil, Dynamic Plant**, v. 5, n. 1, p. 12-20, 2011. Special issue.

GONÇALVES, M.; GIONGO, V.; JESUS, T. S. de; FREITAS, M. do S. C. de; ALMEIDA, L. E. da S. Carbono total do solo em área de cultivo de meloeiro sob diferentes sistemas de preparo do solo e coberturas vegetais. In: JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA EMBRAPA SEMIÁRIDO, 11., 2016, Petrolina. **Anais...** Petrolina: Embrapa Semiárido, 2016. p. 81-87. (Embrapa Semiárido. Documentos, 271).

HARTEMINK, A. E.; GERZABEK, M. H.; LAL, R.; MCSWEENEY, K. Soil carbon research priorities. In: HARTEMINK, A. E.; MCSWEENEY, K. (ed.). **Soil carbon**. Berlin: Springer, 2014. p. 483-490. (Progress in soil science). DOI: 10.1007/978-3-319-04084-4\_48.

IBGE. **Mapa de biomas do Brasil**: primeira aproximação. Rio de Janeiro: Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 2004. 1 mapa, color. Escala 1:500.000.

IBGE. **Mudanças na cobertura e uso da terra 2000 – 2010 – 2012**. Rio de Janeiro, 2015. 44 p.

IBGE. **Produção agrícola municipal**, 2015. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br>>. Acesso em: 14 abr. 2015.

JANTALIA, C. P.; IBGERESCK, D. V. S.; ALVES, B. J. R.; ZOTARELLI, L.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. Tillage effect on C stocks of a clayey Oxisol under a soybean-based crop rotation in the Brazilian Cerrado region. **Soil and Tillage Research**, v. 95, n. 1-2, p. 97-109, Sept. 2007. DOI: 10.1016/j.still.2006.11.005.

LAL, R. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. **Science**, v. 304, n. 5677, p. 1623-1627, June 2004. DOI: 10.1126/science.1097396.

LAL, R. Soil carbon sequestration in Latin America. In: LAL, R.; CERRI, C. C.; BERNOUX, M.; ETCHEVERS, J.; CERRI, C. E. P. (ed.). **Carbon sequestration in soils of Latin America**. New York: Haworth, 2006. p. 49-64.

LEHMANN, J.; KLEBER, M. The contentious nature of soil organic matter. **Nature**, v. 528, n. 7580, p. 60-68, 2015. DOI: 10.1038/nature16069.

LEITE, L. F. C.; FERREIRA, J. da S.; VELOSO, M. E. da C.; MOUSINHO, F. E. P.; ROCHA JUNIOR, A. F. R. Variabilidade espacial das frações da matéria orgânica do solo em área degradada sob recuperação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 4, p. 394-401, mar. 2015. DOI: 10.1590/1807-1929/agriambi.v19n4p394-401.

LEITE, L. F. C.; GALVÃO, S. R. S.; HOLANDA NETO, M. R.; ARAÚJO, F. S.; IWATA, B. F. Atributos químicos e estoques de carbono em Latossolo sob plantio direto no cerrado do Piauí. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 12, p. 1273-1280, dec. 2010. DOI: 10.1590/S1415-43662010001200004.

LEITE, L. F. C.; IWATA, B. de F.; ARAÚJO, A. S. F. Soil organic matter pools in a tropical savanna under agroforestry system in Northeastern Brazil. **Revista Árvore**, v. 38, n. 4, p. 711-723, July/Ago. 2014. DOI: 10.1590/S0100-67622014000400014.

LIMA, A. M. N.; SILVA, I. R. da; NEVES, J. C. L.; NOVAIS, R. F. de; BARROS, N. F. de; MENDONÇA, E. de S.; DEMOLINARI, M. de S. M.; LEITE, F. P. Frações da matéria orgânica do solo após três décadas de cultivo de eucalipto no Vale do Rio Doce, MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 3, p. 1053-1063, maio/jun. 2008. DOI: 10.1590/S0100-06832008000300014.

LISBOA, F. J. G.; CHAER, G. M.; FERNANDES, M. F.; BERBARA, R. L. L.; MADARI, B. E. The match between microbial community structure and soil properties is modulated by

land use types and sample origin within an integrated agroecosystem. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 78, p. 97-108, Nov. 2014. DOI: 10.1016/j.soilbio.2014.07.017.

MACEDO, M. C. M. Integração lavoura e pecuária: o estado da arte e inovações tecnológicas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, nesp., p. 133-146, Jul. 2009. DOI: 10.1590/S1516-35982009001300015.

MANUAL técnico da vegetação brasileira. 2. ed. rev. ampl. Rio de Janeiro: IBGE, 2012. 274 p. il. color. Acompanha CD-ROM. (Manuais técnicos em geociências, n. 1).

MARCHÃO, R. L.; LAVELLE, P.; CELINE, L.; BALBINO, L. C.; VILELA, L.; BECQUER, T. Soil macrofauna under integrated crop-livestock systems in a Brazilian Cerrado Ferralsol. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 8, p. 1011-1020, ago. 2009. DOI: 10.1590/S0100-204X2009000800033.

MATIAS, M. da C. B. da S.; SALVIANO, A. A. C.; LEITE, L. F. de C.; ARAÚJO, A. S. F. de. Biomassa microbiana e estoques de C e N do solo em diferentes sistemas de manejo, no cerrado do estado do Piauí. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 31, n. 3, p. 517-521, 2009. DOI: 10.4025/actasciagron.v31i3.687.

MIRANDA, J. C. C. de; VILELA, L.; MIRANDA, L. N. de. Dinâmica e contribuição da micorriza arbuscular em sistemas de produção com rotação de culturas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, n. 10, p. 1005-1014, out. 2005. DOI: 10.1590/S0100-204X2005001000009.

MOURA, P. M.; ALTHOFF, T. D.; OLIVEIRA, R. A.; SOUTO, J. S.; SOUTO, P. C.; MENEZES, R. S. C.; SAMPAIO, E. V. S. B. Carbon and nutrient fluxes through litterfall at four succession stages of Caatinga dry forest in Northeastern Brazil. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 105, n. 1, p. 25-38, Mar. 2016. DOI: 10.1007/s10705-016-9771-4.

MURTY, D.; KIRSCHBAUM, M. U. F.; MCMURTRIE, R. E.; MCGILVRAY, H. Does conversion of forest to agricultural land change soil carbon and nitrogen? A review of the literature. **Global Change Biology**, v. 8, n. 2, p. 105-123, Feb. 2002. DOI: 10.1046/j.1354-1013.2001.00459.x.

NOBRE, P. Mudanças climáticas e desertificação: os desafios para o Estado brasileiro. In: LIMA, R. C. C.; CAVALCANTE, A. de M. B.; MARIN, A. M. P. (ed.). **Desertificação e mudanças climáticas no Semiárido brasileiro**. Campina Grande: INSA, 2011. p. 25-34.

OLSON, K. R. Soil organic carbon, storage, retention and loss in U.S. croplands: issues paper for protocol development. **Geoderma**, v. 195-196, p. 201-206, Mar. 2013. DOI: 10.1016/j.geoderma.2012.12.004.

PARTON, W.; SILVER, W. L.; BURKE, I. C.; GRASSENS, L.; HARMON, M. E.; CURRE, W. S.; KING, J. Y.; ADAIR, E. C.; BRANDT, L. A.; HART, S. C.; FASTH, B. Global-scale simila-

rities in nitrogen release patterns during long-term decomposition. **Science**, v. 315, n. 5810, p. 361-364, Jan. 2007. DOI: 10.1126/science.1134853.

PEREIRA JÚNIOR, L. R.; ANDRADE, E. M. de; PALÁCIO, H. A. de Q.; RAYMER, P. C. L.; RIBEIRO FILHO, J. C.; PEREIRA, F. J. S. Carbon stocks in a tropical dry forest in Brazil. **Revista Ciência Agronômica**, v. 47, n. 1, p. 32-40, jan./mar. 2016. DOI: 10.5935/1806-6690.20160004.

PRAGANA, R. B.; NÓBREGA, R. S. A.; RIBEIRO, M. R.; LUSTOSA FILHO, J. F. Atributos biológicos e dinâmica da matéria orgânica em Latossolos Amarelos na região do Cerrado piauiense sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 3, p. 851-858, maio/jun. 2012. DOI: 10.1590/S0100-06832012000300015.

RAMOS, A. M.; SANTOS, L. A. R. dos; FORTES, L. T. G. (Org.). **Normais climatológicas do Brasil 1961-1990**. rev. e ampl. Brasília, DF: INMET, 2009. 465 p.

SÁ, J. C. M.; LAL, R. Stratification ratio of soil organic matter pools as an indicator of carbon sequestration in a tillage chronosequence on a Brazilian Oxisol. **Soil and Tillage Research**, v. 103, n. 1, p. 46-56, Apr. 2009. DOI: 10.1016/j.still.2008.09.003.

SAINJU, U. M.; JABRO, J. D.; STEVENS, W. B. Soil carbon dioxide emission and carbon content as affected by irrigation, tillage, cropping system, and nitrogen fertilization. **Journal of Environmental Quality**, v. 37, n. 1, p. 98-106, 2008. DOI: 10.2134/jeq2006.0392.

SALCEDO, I. H.; SAMPAIO, E. V. S. B. Matéria orgânica do solo no bioma caatinga. In: SANTOS, G. de A.; SILVA, L. S. da; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. de O. (ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2. ed. rev. atual. Porto Alegre: Metrópole, 2008. v. 2, p. 419-441.

SANCHEZ, P. A. **Properties and management of soils in the tropics**. New York: J. Wiley, 1976. 618 p.

SANTANA, M. **Estoque de carbono e nitrogênio estoques de carbono e nitrogênio em solos do sertão Pernambuco sob diferentes usos**. 2015. 61 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologias Energéticas e Nucleares) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife.

SANTOS, D. P.; SANTOS, G. G.; SANTOS, I. L. dos; SCHOSSLER, T. R.; NIVA, C. C.; MARCHÃO, R. L. Caracterização da macrofauna edáfica em sistemas de produção de grãos no Sudoeste do Piauí. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 9, p. 1466-1475, set. 2016. DOI: 10.1590/s0100-204x2016000900045.

SANTOS, M. G.; OLIVEIRA, M. T.; FIGUEIREDO, K. V.; FALCAO, H. M.; ARRUDA, E.; ALMEIDA-CORTEZ, J.; SAMPAIO, E. V. S. B.; OMETTO, J. P. H. B.; MENEZES, R. S. C.; OLIVEIRA, A. F. M.; POMPELLI, M. F.; ANTONINO, A. C. D. Caatinga, the Brazilian dry tropical fo-

rest: can it tolerate climate changes?. **Theoretical and Experimental Plant Physiology**, v. 26, n. 1, p. 83-99, Feb. 2014. DOI: 10.1007/s40626-014-0008-0.

SILVA, E. F. da; LOURENTE, E. P. R.; MARCHETTI, M. E.; MERCANTE, F. M.; FERREIRA, A. K. T.; FUJII, G. C. Frações lábeis e recalcitrantes da matéria orgânica em solos sob integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 10, p. 1321-1331, out. 2011. DOI: 10.1590/S0100-204X2011001000028.

SIX, J.; FELLER, C.; DENEFF, K.; OGLE, S. M.; SA, J. C. de M.; ALBRECHT, A. Soil organic matter, biota and aggregation in temperate and tropical soils: effects of no-tillage. **Agronomie**, v. 22, n. 7-8, p. 755-775, Nov./Dec. 2002. DOI: 10.1051/agro:2002043.

SOUTO, P. C. **Acumulação e decomposição da serrapilheira e distribuição de organismos edáficos em área de Caatinga na Paraíba, Brasil**. 2006. 150 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal da Paraíba, Areia, PB.

SPARKS, D. L. The chemistry of soil acidity. In: SPARKS, D. L. **Environmental soil chemistry**. 2nd ed. San Diego: Elsevier, 2003. Cap. 9, p. 267-283. DOI: 10.1016/B978-012656446-4/50009-8.

TONGWAY, D. J.; LUDWIG, J. A. Small-scale resource heterogeneity in semi-arid landscapes. **Pacific Conservation Biology**, v. 1, n. 3, p. 201-208, 1994. DOI: 10.1071/PC940201.

WOOD, S. A.; SOKOL, N.; BELL, C. W.; BRADFORD, M. A.; NAEEM, S.; WALLESTEIN, M. D.; PALM, C. A. Opposing effects of different soil organic matter fractions on crop yields. **Ecological Applications**, v. 26, n. 7, p. 2072-2085, Oct. 2016. DOI: 10.1890/16-0024.1.

WU, Z.; DIJKSTRA, P.; KOCH, G. W.; PEÑUELAS, J.; HUNGATE, B. A. Responses of terrestrial ecosystems to temperature and precipitation change: a meta-analysis of experimental manipulation. **Global Change Biology**, v. 17, n. 2, p. 927-942, Feb. 2011. DOI: 10.1111/j.1365-2486.2010.02302.x.

XAVIER, F. A. da S.; MAIA, S. M. F.; RIBEIRO, K. A.; MENDONÇA, E. de S.; OLIVEIRA, T. S. de. Effect of cover plants on soil C and N dynamics in different soil management systems in dwarf cashew culture. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 165, p. 173-183, Jan. 2013. DOI: 10.1016/j.agee.2012.12.003.