

*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**

# Capítulo 1

---

## SOLO E O COMPLEXO DESAFIO DA SEGURANÇA ALIMENTAR

*Eloísa Benazzi*

*Luiz Fernando Carvalho Leite*

### Introdução

---

Diversas questões complexas, inter-relacionadas e abordadas com foco na manutenção da população mundial são reconhecidas como desafios ambientais ao desenvolvimento sustentável, como a segurança alimentar, hídrica e energética, a redução das alterações climáticas, a proteção da biodiversidade e a prestação de serviços ecossistêmicos (Bouma; Mcbratney, 2013). A Declaração da Cúpula Mundial sobre Segurança Alimentar estabelece que:

[...] a segurança alimentar existe quando todas as pessoas têm, a qualquer momento, acesso físico, social e econômico a alimentos seguros, nutritivos e em quantidades suficientes, que atendam às suas necessidades e preferências alimentares por uma vida ativa e saudável (FAO, 2010).

Há um consenso de que solos saudáveis são o pilar para a segurança alimentar, a segurança nutricional e a mitigação das mudanças climáticas. Em 2015, a Organização das Nações Unidas (ONU) instituiu o Ano Internacional dos Solos, escolha amparada nos múltiplos serviços ecológicos, sociais e econômicos desse recurso natural e também no incremento das discussões e negociações pautadas nos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU. De maneira direta ou indireta, os ODS envolvem o manejo sustentável do solo e demais recursos naturais, para que a segurança alimentar e o

crescimento econômico sejam atingidos, em consonância com a proteção e o aprimoramento da prestação de serviços ecossistêmicos, manutenção da biodiversidade e mitigação de mudanças climáticas (Hurni et al., 2015).

A produção de alimentos saudáveis e nutritivos é um dos principais serviços ecossistêmicos prestados pelos solos e, portanto, dependente de seu bom funcionamento. A maneira como os solos são manejados, especialmente por pessoas em situações de insegurança alimentar e vulnerabilidade populacional, relaciona-se intrinsecamente com as quatro dimensões da segurança alimentar (Zanella et al., 2015): a) produção e disponibilidade de alimentos por meio do manejo e conservação do solo; b) estabilidade da produção e disponibilidade a qualquer momento; c) acesso à alimentação dentro das possibilidades financeiras e físicas da população; d) segurança e utilização dos alimentos pela qualidade nutritiva, química, física e biológica (FAO, 2011).

A disponibilidade de alimentos se refere ao fornecimento suficiente e está atrelada à produção. O acesso aos alimentos refere-se ao acesso físico e sociocultural, bem como à capacidade econômica de aquisição. A utilização de alimentos tem associação com o estado nutricional de cada indivíduo e é entendida como a obtenção de energia e dos nutrientes requeridos para uma dieta saudável, envolvendo o preparo dos alimentos, a diversificação da alimentação, as práticas alimentares, a distribuição local de alimentos e o acesso à água limpa. A estabilidade alimentar se relaciona com a garantia de que os demais pilares sejam alcançados ao longo do tempo, por exemplo, em períodos de instabilidade ambiental, política ou econômica (FAO, 2008a). Logo, a ausência ou insuficiência de qualquer desses componentes resulta de maneira inexorável em um processo de insegurança alimentar (Rojas et al., 2016).

A manutenção do abastecimento de alimentos e água para uma população mundial prevista em mais de 9 bilhões até 2050 (Godfray et al., 2010; Foresight, 2011; FAO, 2017) exigirá uma provisão em quantidades suficientes e de qualidade. O fornecimento de energia, minimizando o impacto sobre o clima, dependerá de alternativas que não resultem em aumento das emissões de gases de efeito estufa (Janzen et al., 2011). Tais atividades impactarão sobre os serviços ecossistêmicos e representarão um desafio contínuo à preservação da biodiversidade.

De fato, aumentos globais na produção de alimentos foram obtidos à custa de serviços ecossistêmicos essenciais e consequente perda de biodiversidade, como mudanças no uso da terra para implementação da produção agrícola, coleta indiscriminada de recursos florestais (Richardson, 2010; Thiaw et al., 2011) ou ainda comprometimento da diversidade alimentar (Khoury et al., 2014). Ademais, os crescentes avanços na produção de alimentos e na produtividade agrícola não garantiram que grupos vulneráveis tivessem o acesso facilitado à alimentação, o que comprometeu a estabilidade alimentar, considerada a dimensão que nas últimas décadas se encontra estagnada, devido à volatilidade dos preços internacionais dos recursos alimentares, instabilidades políticas (FAO, 2014), alterações climáticas com eventos extremos, incidência de pragas e doenças nos cultivos e escassez hídrica (Cruz-Garcia et al., 2016).

## O recurso solo: aspectos globais e importância

Os solos são definidos como corpos naturais tridimensionais resultantes das interações de clima, organismos, relevo e material de origem, atuando em maior ou menor intensidade durante determinado tempo (Mendonça-Santos et al., 2008) e são constituídos de mistura das fases sólida, líquida e gasosa, formados por minerais, matéria orgânica viva e em decomposição.

São considerados saudáveis quando têm a capacidade de, em ecossistemas naturais ou manejados, sustentarem as produtividades vegetal e animal, manterem e melhorarem a qualidade da água e do ar e promoverem a saúde vegetal e animal (Doran, 2002), sendo um dos fatores de produção que determinam a estabilidade da produção de alimentos, a qualidade nutricional e a produtividade (FAO, 2008b, 2013). Além de estratégicos para a produção alimentar e fundamentais em processos e ciclos ecológicos, os solos acolhem mais de um quarto da biodiversidade do planeta Terra.

O conhecimento do status mundial do recurso solo é primordial para projeções da segurança alimentar, o que pode ser obtido pela determinação da saúde do solo. Entretanto avaliar a saúde do solo não é um processo fácil, pois, além da necessidade de ser determinada por indicadores quantificáveis e mapeáveis, é variável no tempo e no espaço e é influenciada pelos sistemas de manejo adotados pelos produtores. É fato que a produtividade agrícola

das terras duplicou nos últimos anos, contudo tais aumentos levaram à perda da capacidade produtiva pelo esgotamento do solo e da água e, conseqüentemente, à degradação dos ecossistemas (Rojas et al., 2016).

A degradação ambiental, a escassez de recursos, os padrões de consumo mundiais, as perdas e desperdícios de alimentos e sua distribuição irregular são desafios a serem enfrentados pelos sistemas de produção atuais para o fornecimento adequado de alimentos seguros, diversificados e ricos em nutrientes requeridos para uma dieta saudável (International Conference..., 2014). Conceitualmente, qualquer perda ou redução na capacidade produtiva biológica ou econômica da terra, quantitativa e qualitativamente, por meio de processos como erosão hídrica e eólica, salinização, especialmente em regiões costeiras, áridas e semiáridas, acidificação, poluição e contaminação, compactação, perda de carbono do solo e empobrecimento de nutrientes, torna os solos agrícolas degradados, afetando direta ou indiretamente a segurança alimentar (United Nations Convention..., 2013).

No combate à degradação, do solo têm-se empregado soluções tecnológicas que impulsionam as funções do solo e privilegiam o ciclo da água, os ciclos de biomassa, o carbono e os nutrientes do solo, minimizam a poluição, a contaminação e a erosão do solo, incrementando ou mantendo a produtividade e a saúde do solo. Isso pode ser alcançado pela adoção de práticas como a manutenção da cobertura do solo, a redução da compactação, o consórcio e/ou rotação de culturas, a integração do sistema lavoura-pecuária-floresta, pelo aumento da diversidade de plantas e animais e pelo equilíbrio entre as entradas e saídas de nutrientes do solo (Mueller et al., 2012; Branca et al., 2013; Köhl et al., 2014; Domenech et al., 2019), ou seja, um manejo sustentável do solo, cuja tomada de decisão seja dependente de informações que relacionem propriedades e funções do solo à sua saúde (Doran, 2002; Rojas et al., 2016).

## **Ameaças à saúde do solo e à segurança alimentar**

O aumento populacional, o desenvolvimento agrícola e industrial e a tentativa de suprir as crescentes demandas energéticas geraram uma série de entraves que comprometem a saúde do solo, limitam a produção de alimentos (quantidade e qualidade) e determinam que o modelo de agricultura

atual seja substituído por sistemas de produção sustentáveis. As principais ameaças à segurança alimentar são as mudanças climáticas, as mudanças no uso da terra e a erosão, compactação e salinização do solo, todas impactando negativamente a disponibilidade, a estabilidade, o acesso, a segurança e o uso de alimentos.

As mudanças no clima influenciam a saúde do solo ao alterarem os ciclos do carbono e da água, tornando assim o atendimento às demandas alimentar e nutricional da população um grande desafio. Além disso, interferem diretamente na produção de alimentos ao comprometerem o crescimento e o desenvolvimento das culturas ou, indiretamente, por modificarem o lençol freático e a incidência de pragas e doenças (Gregory et al., 2005; Miao et al., 2011; Newton et al., 2011; Lal, 2014). O impacto dessas mudanças varia de acordo com a região, com o status socioeconômico de um país e com as tecnologias empregadas pelos agricultores para suplantar os extremos de temperatura e variações no padrão pluviométrico, refletindo na capacidade produtiva e de mineralização dos solos.

As mudanças climáticas alteram ainda, como resultado da ação antropogênica, o tempo de retorno de eventos naturais como enchentes e secas, podendo provocar perdas na produção agropecuária, variação dos preços de mercado, reestruturação do calendário agrícola, que deve adequar-se à nova realidade climatológica, com alteração dos hábitos de cultivo e dietas locais, restrição da oferta de alimentos. Algumas correntes de pesquisa sugerem que as mudanças climáticas beneficiarão a produção de alimentos ao transformarem áreas improdutivas em áreas agricultáveis (Ferranti, 2016). Em regiões áridas e semiáridas, a variação climática reduzirá a estabilidade alimentar.

Nos ecossistemas terrestres, os solos atuam como filtros naturais, eficazes no sequestro de carbono e na mitigação das mudanças climáticas, minimizando as emissões globais de dióxido de carbono; ademais, a absorção de dióxido de carbono é benéfica para a produtividade agrônômica das culturas e para a segurança alimentar por elevar a produção primária líquida e, conseqüentemente, os índices de colheita por meio da fotossíntese. Aumentos dos teores de carbono orgânico do solo relacionam-se diretamente com maior disponibilidade de macro e micronutrientes no solo para as culturas, implicando maiores rendimentos (FAO, 2013; Jahangir, 2016; Rojas et al., 2016).

As mudanças do uso da terra também estão fortemente envolvidas com impactos sobre a sustentabilidade do solo. O crescimento populacional está atrelado à urbanização, que promove mudanças drásticas no uso da terra ao transformar terras agricultáveis em áreas residenciais ou industriais, aumentando assim a extensão de superfícies artificiais que cobrem permanentemente o solo com uma camada de material resistente. Esse processo compromete a estrutura do solo, suas funções e a saúde do solo, especialmente, pela contaminação por deposição atmosférica e disposição de resíduos sólidos. A urbanização obriga que os produtores rurais se desloquem para áreas marginais, aumentando as despesas com o transporte de insumos, com o escoamento da produção e com a irrigação, além do fato de os ganhos em produtividades não compensarem as perdas em extensão de terras ou perdas globais na produção (Prokop et al., 2011; Gardi et al., 2015).

A expansão das fronteiras agrícolas também está associada às mudanças do uso da terra que afetam a integridade do solo, dos ecossistemas e da biodiversidade. A remoção da vegetação nativa para implantação de culturas de interesses agrícola e econômico, principalmente regida por sistemas não sustentáveis, afeta funções e serviços ecossistêmicos do solo e do próprio meio ambiente. Além disso, contribui para a perda de qualidades química, física e biológica por favorecer maior taxa de decomposição da matéria orgânica e a consequente emissão de carbono, além de alterar o ciclo da água. A conversão de florestas em pastagens, por exemplo, promove alterações não apenas na vegetação, mas também em propriedades do solo (Moraes et al., 2008). A remoção da vegetação nativa leva à deficiência de nutrientes (Badejo, 1998) e à perda de matéria orgânica do solo (Srivastava; Singh, 1991; Leite et al., 2014), o que é prejudicial quando se considera o seu papel na estabilização dos agregados do solo, como fonte de energia para os organismos decompositores e a sua participação na capacidade de retenção de água no solo (Guariguata; Ostertag, 2001), além da sua influência na fertilidade do solo ao reter formas orgânicas de nutrientes e ter elevada capacidade de troca catiônica (Moraes et al., 2008).

A erosão é um processo natural que, assim como outros, como a redução de fertilidade, a salinização, a acidificação, a compactação e a perda de carbono, pode ser intensificado pelo uso excessivo do solo e de práticas

agrícolas inadequadas (Jahangir, 2016). Quando o solo é exposto à chuva ou à energia eólica, ocorre a remoção do *topsoil* – camada de maior conteúdo orgânico que afeta a produção de plantas e alimentos. Se malmanejados, os solos dos agroecossistemas sofrem erosão, havendo redução da produtividade ou, em casos extremos como o surgimento de voçorocas, o abandono da terra. A cobertura vegetal, a matéria orgânica do solo (agente cimentante) e o tipo de solo relacionam-se fortemente com a resistência à erosão (Gomiero, 2016; Rojas et al., 2016).

Quando concentrações elevadas de agroquímicos, elementos traço, xenobióticos, resíduos urbanos e industriais são encontrados no solo por aplicação direta, deposição atmosférica, disposição de resíduos ou efluentes industriais, ocorre a contaminação. Ela é responsável por diminuir a biodiversidade, a fertilidade e a saúde do solo por impedir a decomposição da matéria orgânica, impedindo a reciclagem de nutrientes (Edwards, 2002; Chen, 2007). Quando ocorre a magnificação trófica, a segurança alimentar e a segurança nutricional são comprometidas. A absorção dos contaminantes pelas plantas ocorre via sistema radicular ou via foliar; o consumo prolongado de alimentos contaminados é prejudicial e promove doenças que podem, inclusive, causar a morte de seres humanos e animais (Edwards, 2002; Liu et al., 2005).

Quando há no solo o acúmulo de elementos hidrossolúveis como o sódio, o cálcio, o magnésio e o ferro, que podem ser originários de deposições atmosféricas, de chuvas e do intemperismo da rocha matriz, redistribuídos por águas superficiais e subterrâneas, ocorre o processo de salinização. Irrigações executadas com água de baixa qualidade, uso excessivo de fertilizantes e intrusão de água do mar no solo, especialmente em zonas costeiras, também contribuem para a salinização dos solos. As ações antrópicas, a posição na paisagem e as condições climáticas determinam o acúmulo de sais nos solos; quando em excesso na rizosfera, geram desequilíbrios nutricionais que impedem o crescimento vegetal e a absorção de água pelas plantas. Apesar de ser um problema relacionado a regiões áridas e semiáridas, a salinização pode ocorrer, em maior ou menor extensão, em qualquer zona climática mundial. Ao comprometer a produção agrícola e a saúde do solo a ponto de haver perdas financeiras, a salinização é considerada uma forma de degradação (Rengasamany, 2006; Rojas et al., 2016).

Esses processos são extremamente associados à manutenção da matéria orgânica do solo e da biodiversidade. A matéria orgânica do solo compreende os organismos vivos e os resíduos orgânicos em diferentes estádios de decomposição. Atua como reservatório de nutrientes e serve de recurso alimentar para a fauna edáfica e epígea, contribuindo para o aumento da biodiversidade; o carbono orgânico atua na estruturação do solo, sendo importante agente cimentante. Solos submetidos a manejos intensivos têm seus teores de matéria orgânica e seus estoques de carbono reduzidos e, conseqüentemente, não atuam no sequestro de carbono. Com isso, há menor resistência aos agentes erosivos (vento e água, por exemplo), menor capacidade de retenção hídrica e comprometimento da saúde geral dos solos e da produtividade das culturas, afetando a segurança alimentar e exigindo irrigação e fertilizações constantes, o que transforma os solos em fontes de emissão de dióxido de carbono (Gomiero et al., 2011b; Karlen; Rice, 2015; Lal, 2015).

A resistência do solo à erosão tem relação com a ação de estabilização e agregação desempenhada pela matéria orgânica do solo e com a ação estabilizadora da cobertura vegetal. Grande parte da matéria orgânica do solo está na camada superficial, sendo fundamental para a fertilidade do solo (Tilman et al., 2002; Lal et al., 2004; Guareschi et al., 2012). Solos agrícolas férteis podem conter até 100 Mg de matéria orgânica por hectare. Práticas agrícolas convencionais, que deixam o solo descoberto por longos períodos do ano, contribuem para a erosão do solo e redução dos estoques de matéria orgânica (Lal et al., 2004; Lal, 2010a; Leite et al., 2014). Em alguns estudos, tem sido realçado o papel da matéria orgânica do solo na produtividade agrícola, estimando que, para cada 1% de conteúdo orgânico no solo, este seja capaz de armazenar, aproximadamente, 11 mil litros de água disponível por planta por hectare de solo até 30 centímetros de profundidade (Gomiero et al., 2011a; Gomiero, 2013).

Estratégias para o manejo sustentável do solo, como o plantio direto ou o cultivo mínimo e o sistema orgânico de produção, podem auxiliar na redução de perda de solo, no aumento da matéria orgânica do solo e na restauração da fertilidade e biodiversidade do solo (Karlen et al., 2001; Lal, 2007; Montgomery, 2007; Lal, 2010a; Gomiero et al., 2011a; Gomiero et al.,

2011b; Campos et al., 2013). Em diversos trabalhos, tem sido relatado que, em condições de seca, sistemas orgânicos de produção obtêm maiores rendimentos. Embora a adoção do plantio direto reduza as entradas de energia no sistema agrícola em até 70%, o que significa reduzir as emissões de carbono, o uso de herbicidas/pesticidas e, conseqüentemente, a deriva de produtos químicos nocivos (Friedrich; Kassam, 2012), o mesmo não protege adequadamente o solo sem a associação com práticas complementares, como a rotação de culturas (Domínguez et al., 2010; Domínguez; Bedano, 2016).

Assim como para matéria orgânica, o solo sustenta a biodiversidade indispensável aos ciclos biogeoquímicos e à vida (Moreira et al., 2008). A erosão da biodiversidade decorre do uso excessivo do solo e outros recursos naturais, da eliminação direta ou da fragmentação de habitats, da poluição ou contaminação, das mudanças climáticas; da introdução de espécies e doenças exóticas e do uso de híbridos e monocultivos. A redução de espécies ameaça a segurança alimentar ao aumentar a fragilidade dos ecossistemas às mudanças ambientais. Esse cenário compromete as pesquisas científicas que buscam alimentos alternativos ou espécies adaptadas às alterações ambientais, bem como fármacos. Ancestrais silvestres, plantas cultivadas e espécies alimentícias subutilizadas correm risco de extinção, sem que haja pleno conhecimento sobre seus fatores genéticos de resistência e a formação de um banco genético, o que asseguraria a segurança alimentar (FAO, 2013). Delimita-se assim que a manutenção da biodiversidade está intrinsecamente relacionada a uma agropecuária sustentável, à segurança alimentar e nutricional.

## **Biodiversidade e serviços ecossistêmicos: auxiliares na segurança alimentar**

---

Elementos pouco explorados na agricultura, os serviços ecossistêmicos têm a capacidade de melhorar e estabilizar a produção, impactando positivamente o meio ambiente pela redução da aplicação de insumos externos. Para tanto, é necessário aliar o conhecimento em ecologia e socioeconomia dos serviços ecossistêmicos, especialmente os baseados em biodiversidade,

à pesquisa e inovação agrícola de modo a garantir a eficiência no uso de recursos, a estabilidade produtiva, a adaptação às condições locais; minimizar o impacto ambiental; e proteger o meio ambiente de eventos extremos (Bommarco et al., 2018).

Surge assim o conceito de intensificação ecológica na agricultura (Pywell et al., 2015; Liang et al., 2016; Simons; Weisser, 2017), que nada mais é que o aumento da produtividade ou a substituição de insumos externos pelo manejo dos serviços ecossistêmicos, como estratégia para superar os desafios da segurança alimentar. O conceito caminha para relacionar organismos cujas atividades evitem as perdas de rendimento e melhorem a fertilidade do solo e a utilização dos recursos naturais (Bender et al., 2016). Comparativamente à agricultura convencional, os cultivos ecologicamente intensificados representam ganhos nas colheitas (Garbach et al., 2017) e, ao reduzirem a lacuna de rendimento, (diferença entre o que foi produzido em uma região e a produção primária potencial de acordo com as condições edáficas e climáticas daquela região) e a lacuna de eficiência no uso de recursos (aumentos de produção em relação ao insumo), a intensificação ecológica tem potencial para, em longo prazo, contribuir com a segurança alimentar mundial (Bommarco et al., 2018).

Para tanto, a intensificação ecológica deve explorar diferentes serviços ecossistêmicos, principalmente os relacionados à biota do solo, ao controle de pragas e doenças e à polinização. Os solos são pontos centrais para a intensificação ecológica e, conseqüentemente, para a segurança alimentar (Smith et al., 2016). O manejo da fertilidade e a eficiência no uso dos nutrientes são pilares das boas práticas agrônômicas que implicam benefícios econômicos e ambientais. A fertilidade do solo está intimamente relacionada com a biota do solo e suas funções (Bender et al., 2016), mas ainda são pouco explorados os mecanismos pelos quais os organismos sustentam os serviços ecossistêmicos, devido ao fato de as pesquisas sobre o manejo da biota do solo, que contribuem para a fertilidade e outros serviços ecossistêmicos relevantes para a promoção da produção agrícola, serem incipientes, especialmente quando se busca padronizar técnicas de estimulação para um nicho ecológico específico do solo (Busby et al., 2017; Hartman et al., 2018). Ainda assim, o uso sustentável da biodiversidade é elementar para a reinvenção de sistemas agrícolas mais eficientes, resilientes e adaptativos (Bender et al., 2016), que assegurem a saúde do solo e a segurança alimentar.

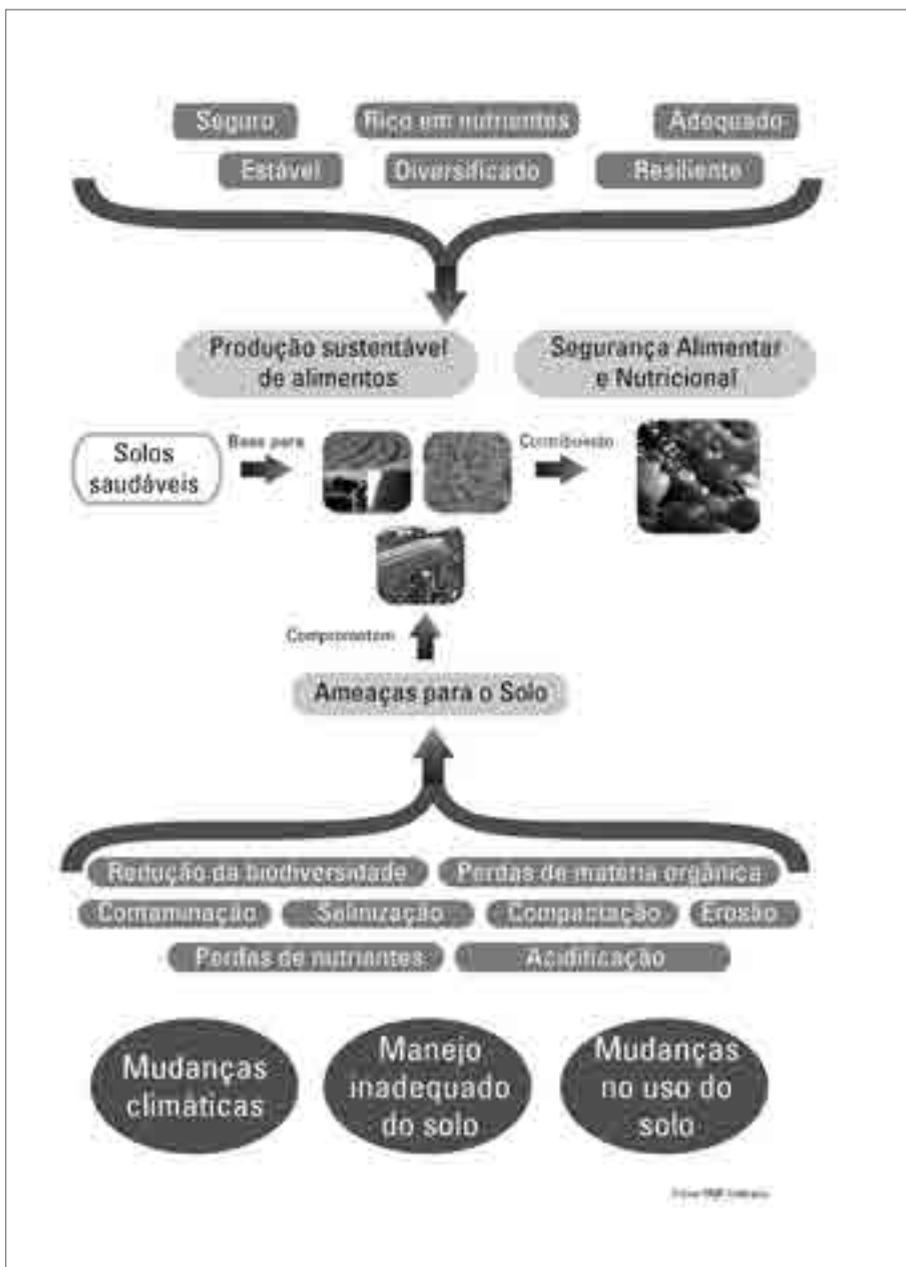
Uma pergunta recorrente acerca da relação entre a biodiversidade do solo e a segurança alimentar é: como manejar a biodiversidade do solo de modo a manter a disponibilidade e a estabilidade, quando se enfrentam estresses bióticos e abióticos, além das mudanças climáticas globais? Para sanar essa questão, é preciso diferenciar os efeitos diretos e indiretos da biodiversidade do solo na produtividade agrícola e na disponibilidade de alimentos. Os impactos diretos se relacionam com as interações solo-planta, em que organismos específicos influenciam o crescimento ou a saúde do vegetal, enquanto os impactos indiretos ocorrem via processos do solo que envolvem a biota, como a dinâmica da matéria orgânica, a ciclagem de carbono e nutrientes e a agregação do solo (El Mujtar et al., 2019).

A saúde do solo foi, durante muito tempo, analisada quanto à produtividade. No entanto, atualmente, um foco mais amplo foi dado ao tema que abrange discussões globais, pois a saúde do solo se tornou uma questão de qualidade e preservação ambiental, de saúde humana e de políticas públicas (Haney et al., 2018).

## **Solo saudável para a produção de alimentos**

---

Conhecer os desafios associados à saúde do solo e à segurança alimentar (Figura 1) transcende o aumento da produtividade, requerendo mudanças nos sistemas agrícolas que promovam uma produção sustentável e resiliente de alimentos, suprimindo as necessidades nutricionais de populações locais e globais. Assim, uma abordagem que considere o manejo do solo e a diversificação das culturas e dos sistemas de produção, é essencial para se alcançar uma agricultura sustentável e adequada aos ecossistemas locais (Massawe et al., 2016). Um dos objetivos da agricultura sustentável deve ser a preservação dos recursos naturais, sendo ambiental, econômica e socialmente viável, minimizando as emissões de gases do efeito estufa, além de ampliar o sequestro de carbono (Gliessman, 2007; Gomiero et al., 2011a; Sustainable Development..., 2013; Crowder; Reganold, 2015). Práticas como desmatamento, preparo convencional do solo, monocultivos e remoção e queima de biomassa e restos culturais podem ser substituídas pelo reflorestamento, cultivo mínimo ou plantio direto, integração lavoura-pecuária-floresta e reciclagem de resíduos, construindo-se a matéria orgânica e incrementando o sequestro de carbono (Lal, 2013; Leite et al., 2014).



**Figura 1.** Importância da saúde do solo para a segurança alimentar.  
 Fonte: Adaptado de Rojas et al. (2016).

Diante do quadro mundial de insegurança alimentar, há incentivo ao consumo de fontes alimentares não convencionais que atuem no combate à desnutrição. Das cerca de 50 mil espécies de plantas identificadas como próprias ao consumo humano, menos de 300 são comercializadas. Grande parte das culturas subutilizadas tem características importantes como rusticidade e plasticidade, elementos-chave na resiliência, tornando-as capazes de tolerar seca, inundações, extremos de temperatura, pragas e doenças. Desse modo, a diversificação dos sistemas alimentares no Brasil e no mundo, pela implantação dessas culturas, é uma boa ferramenta para superar eventos climáticos extremos e seus efeitos em curto, médio e longo prazos no que se refere à insegurança alimentar, principalmente por suas propriedades nutricionais (Mayes et al., 2012; Houry et al., 2014; Cheng et al., 2017). Porém é, ao mesmo tempo, dependente de políticas agrícolas e agrárias (Tabela 1) que privilegiem a conservação dos recursos naturais e o resgate cultural dos pequenos produtores, que dominam o conhecimento sobre alimentos nativos e subutilizados. Para a agricultura familiar, as leguminosas são importantes por fornecerem níveis elevados de proteína na semente, como no caso do feijão-bambara (*Vigna subterranea*), nativo da África, que tem merecido destaque por se desenvolver em clima quente e em solos pobres em nutrientes, além de contribuir com a fixação biológica de nitrogênio (Massawe et al., 2016).

Além disso, estratégias que reduzam as emissões de gases do efeito estufa devem ser adotadas, coincidentes com práticas que aumentem a eficiência do uso de insumos, como a agroecologia, a agricultura orgânica e a agricultura de precisão, ou que aumentem os estoques de carbono no solo (Lal, 2010b). A adequação a esse novo cenário pode ser conseguida por meio do gerenciamento de riscos e da redução da vulnerabilidade; pela manutenção da cobertura no solo; pelo ciclo adequado de rotação de culturas; pelo manejo da semeadura, de resíduos e da adubação; pelo manejo integrado de pragas e doenças; pelo sistema de integração lavoura-pecuária-floresta; entre outros (Tabela 2). Ressalta-se que a restauração e a remediação do solo são adaptações em longo prazo que também contribuem para a mitigação das mudanças climáticas (Jahangir, 2016).

Nesse panorama, o sistema Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF - agrossilvipastoril) é uma alternativa viável de produção e recuperação de

áreas degradadas, cujos componentes do sistema (lavoura, pecuária e floresta) são integrados em rotação, consórcio ou sucessão, em uma mesma área, de modo a otimizar os ciclos biológicos, o uso de insumos e o gerenciamento de resíduos. Logo, a ILPF visa a mudanças no uso da terra de forma a alcançar níveis elevados de qualidade do produto, ambiental e de competitividade. Além disso, objetiva a recuperação e manutenção da cobertura florestal, a recuperação de áreas degradadas, a adoção de boas práticas agropecuárias (BPAs) e o aumento da eficiência do uso de implementos agrícolas e mão de obra, gerando emprego e renda, melhorando as condições sociais no meio rural e reduzindo danos ambientais (Balbino et al., 2011; Embrapa, 2014?; Brasil, 2016).

**Tabela 1.** Medidas sociopolíticas para a agricultura sustentável.

Nível nacional
Reconhecer os problemas; aceitar que os mesmos não se resolverão sozinhos; implementar medidas para saná-los
Integrar incrementos de produtividade com a conservação de recursos
Executar levantamento detalhado do recurso solo e seus usos
Implementar programas de manejo e projetos de extensão que integrem o conhecimento científico e o conhecimento local (empírico), que se beneficiem da cultura dos produtores e da troca de saberes
Trabalhar questões sociais como o crescimento populacional e as migrações que afetam a disponibilidade e o acesso aos alimentos
Valorizar e integrar ao trabalho de pesquisa noções dos produtores locais sobre o meio ambiente e a gestão de recursos naturais
Amparar a transição do setor agrícola atual para o desenvolvimento sustentável por meio de políticas agroambientais ou agroecológicas
Responsabilização do Estado por suas ações

Fonte: Adaptado de Gomiero (2016)

**Tabela 2.** Inovações para a sustentabilidade e segurança alimentar

Alternativa	Princípios
Agricultura de precisão	<p>Alia tecnologia da informação, imagens e sensores, equipamentos apropriados à otimização da produção e à aplicação de insumos de forma precisa e localizada. Minimiza danos ambientais e monitora cada etapa da produção, garantindo a rastreabilidade do produto</p> <p>Exemplos: o uso de drones e veículos aéreos não tripulados (VANT), internet das coisas (IoT)</p>
Agricultura Urbana	<p>Sistema alimentar localizado (nicho de produção) em centros urbanos, que contribui para a segurança ecológica e alimentar. Excelente estratégia de reciclagem de resíduos urbanos</p> <p>Exemplos: fazendas verticais e telhados verdes</p>
Manejo Sustentável	<p>O manejo sustentável, que une os ganhos na produção de alimentos, a preocupação ambiental e o retorno financeiro, é conseguido a partir do investimento em métodos e práticas sustentáveis na propriedade</p> <p>Exemplo: o manejo integrado de pragas e doenças, a diversificação da produção, o manejo integrado de nutrientes, a fixação biológica de nitrogênio</p>

Fonte: Baseado em Lal (2014).

Entre as vantagens do sistema, destaca-se a redução do desmatamento, tanto na expansão das fronteiras agrícolas, quanto na busca por madeira, e o consequente bem-estar animal. São muitas as possibilidades de integração dos componentes do sistema, sendo requeridos ajustes em função do interesse do produtor e das características edafoclimáticas da região. Diante dessa complexidade, o planejamento adequado e uma gestão eficiente da propriedade rural são primordiais para o sucesso do empreendimento. No Brasil, especificamente na região do bioma Caatinga, o sistema de ILPF mais difundido é o agrossilvipastoril, recomendado em função da pressão por produção de alimentos para os consumos humano e animal (Alvarenga; Gontijo Neto, 2009; Embrapa, 2014?).

Em alguns estudos, tem-se relatado que o sistema ILPF promove melhoria da qualidade do solo, quando comparado aos outros sistemas de uso e manejo, como as pastagens degradadas, a floresta plantada, os cultivos solteiros ou mesmo a mata nativa. Em Mato Grosso e Goiás, Assis et al. (2015) determinaram alterações nos atributos físicos do solo como resultado da implantação do sistema ILPF e observaram que, em relação à pastagem degradada, os sistemas ILPF com uma e três linhas de eucalipto melhoraram a qualidade física do solo, cujos fatores discriminantes foram a densidade e o arranjo poroso do solo na camada de 0,10-1,20 metros. Em um sistema ILPF localizado em Andradina, SP, Bonini et al. (2016) observaram que, após 2 anos de implantação do sistema, os teores de matéria orgânica, cálcio, magnésio e fósforo aumentaram na camada de 0,00 - 0,20 metros. Em uma Unidade de Referência Tecnológica (URT) no Mato Grosso, Oliveira et al. (2017) verificaram que a introdução do sistema ILPF melhorou atributos físicos do solo, quando comparado com a pastagem convencional.

Tais melhorias decorrem do aporte de nutrientes por meio da adubação mineral ou pelo aproveitamento dos benefícios do sistema ILPF, como a produção de palhada que, mantida sobre o solo, decompõe-se e libera nutrientes, elevando os teores de matéria orgânica, o que influi na qualidade química e física do solo (Spera et al., 2009, 2010). De acordo com Franzluebbbers (2007), em sistemas diversificados, observa-se maior capacidade de retenção de água, com consequente disponibilidade para as culturas; maior taxa de infiltração de água das chuvas; redução do escoamento superficial, minimizando processos erosivos, a poluição e o assoreamento dos corpos

d'água; melhor penetração de raízes, o que maximiza o volume de solo explorado e a eficiência do uso de água e nutrientes.

Outros estudos ainda precisam ser realizados para que sistemas integrados de controle de pragas, que minimizem o uso de defensivos agrícolas, bem como os sistemas de cultivo mínimo, que reduzam ou descartem o uso de herbicidas e otimizem a eficiência do uso de nutrientes, sejam desenvolvidos atenuando o impacto ambiental dos agroquímicos. Todavia, a adoção de tecnologias sustentáveis para o manejo agrícola é uma questão complexa, visto que as soluções devem ser moldadas para cada especificidade e a carência de estrutura e políticas públicas eficazes, que facilitem a adoção de práticas sustentáveis e se preocupem com a segurança alimentar, ainda é extremamente elevada (Gomiero, 2016). Nesses termos, a região Nordeste do Brasil apresenta exemplos de superação e sucesso na busca de tecnologias de produção sustentável e efetivas, que contribuam para a segurança alimentar.

## **Estudo de caso: o Nordeste brasileiro**

---

A região Nordeste do Brasil, e seus distintos biomas, destaca-se pela produção de cana-de-açúcar, frutíferas e grãos em sistemas de produção diversificados e altamente tecnificados por meio da agricultura empresarial. No entanto a agricultura familiar é a grande responsável pela produção dos principais alimentos de consumo interno, respondendo por 83% da produção nacional de mandioca, 70% da produção de feijão, 33% do arroz e 46% do milho. Esse segmento de agricultura, caracterizada como uma relação entre trabalho, propriedade e família, é difusora de conhecimentos que são transmitidos de geração para geração, representando também uma forma de manifestação cultural. Tradicionalmente, os sistemas de produção familiar utilizam diversos recursos locais para a geração de produtos e serviços que supram as necessidades das famílias (Oliveira; Leite, 2009; Oliveira et al., 2013).

Entretanto, como em escala global, a preocupação ambiental trouxe para a região a necessidade de um crescimento econômico sustentável. Assim, muitas alternativas foram implementadas, como a agroecologia, fortemente conectada com a realidade do Semiárido, o extrativismo controlado de matérias-primas regionais e o turismo ecológico. A agroecologia, além

de despertar os pequenos produtores para aspectos econômicos, sociais, culturais e políticos (Brasileiro, 2009), prioriza a conservação dos recursos naturais. É, portanto, um sistema de produção que busca reproduzir processos ecossistêmicos naturais, para que sejam mantidos o equilíbrio ecológico e a estabilidade ambiental, além de entender e assegurar que todos os componentes da unidade de produção sejam interdependentes e sinérgicos (Santos, 2006).

Um caso de sucesso, que assegura uma agricultura sustentável, resiliente e significativa para a segurança alimentar, é relatado por Oliveira et al. (2013) e compreende um plano de desenvolvimento implementado pelas famílias de agricultores, que envolve inovações na produção de frutíferas, especificamente na produção orgânica de melancias, no município de Jatobá do Piauí, no território de Carnaubais. Em um panorama de incertezas políticas e institucionais, a iniciativa refletiu tanto a necessidade, quanto a adaptabilidade dos agricultores dentro de suas realidades produtivas. Ao aplicar tecnologias agroecológicas de produção, os agricultores agregaram a bagana de carnaúba (Figura 2) ao sistema produtivo, integrado com atividade extrativista e de produção animal. Desse modo, a melancia passou a ser cultivada sobre a “cama de matéria seca” resultante da extração de cera de carnaúba (*Copernicia cerifera* Miller) e de esterco de caprinos/ovinos em um processo de rotação de culturas alimentícias (milho, feijão-caupi, mandioca, etc.). Essa prática, além de melhorar a qualidade do solo, é o fio condutor para que a agricultura local enfrente as crises econômica, social e ambiental que se abatem sobre a região.



**Figura 2.** Aspecto da bagana de carnaúba.

Fonte: Carnaúba... (2011).

O estudo considerou estratégias tradicionais e inovadoras utilizadas pelas famílias na manutenção da fertilidade do sistema e na introdução da nova cultura comercial (melancia) em dois sistemas de manejo: o sistema inovador de produção agroecológica, em que o solo é mantido coberto pela bagana de carnaúba e o esterco caprino é empregado na fertilização, após 15 anos de plantio; e o sistema tradicional de cultivo usando-se o método de corte e queima no preparo do solo, com 4 anos sob vegetação secundária. A avaliação foi realizada por meio de dados sobre indicadores previamente selecionados e obtidos por observações de campo, monitoramento de unidades de produção e entrevistas diretas semestrais com agricultores. Os autores concluíram que o novo sistema de manejo do solo conduziu a um uso mais sustentável da terra por meio da melhoria das propriedades químicas, físicas e biológicas do solo; gerou aumento de rendimentos e manutenção do emprego familiar, beneficiando também a sustentabilidade econômica e social (Tabela 3).

**Tabela 3.** Análise do modelo orgânico de produção adotado em Jatobá do Piauí, PI.

<b>Principais benefícios</b>
Aumentos de produtividade, peso, diâmetro e comprimento de fruto
Melhor custo/benefício, trazendo rentabilidade ao sistema
Redução do tempo gasto com tratamentos culturais
Manutenção dos recursos naturais; melhoria dos serviços ambientais e conservação da biodiversidade; redução da perda de solo e nutrientes
Melhoria da agregação e porosidade do solo, bem como da capacidade de retenção hídrica pela manutenção da cobertura do solo
Ganhos em fertilidade em longo prazo pelo aporte de material orgânico no sistema
Aumento do teor de matéria orgânica, impactando positivamente na biomassa microbiana do solo
Aumento do sequestro de carbono e mitigação dos efeitos do dióxido de carbono
Melhoria da subsistência dos agricultores

Fonte: Oliveira et al. (2013).

Recentemente, a região denominada de Matopiba, uma referência aos estados do Maranhão, do Tocantins, do Piauí e da Bahia, foi alçada ao status de principal fronteira agrícola brasileira. Essencial ao desenvolvimento agrícola e à segurança alimentar do Nordeste e do País, a região busca implementar uma agricultura tecnificada, de alta produtividade e sustentável. Trata-se de uma região complexa (transição entre os biomas Caatinga e Cerrado), com limitações edafoclimáticas a serem suplantadas. A maior parte da ocupação resulta de mudanças no uso do solo, cuja vegetação nativa foi substituída por cultivos irrigados e agricultura de precisão.

A expansão agropecuária no Matopiba é resguardada por políticas públicas e soluções tecnológicas que visam ao desenvolvimento econômico por meio de atividades que tragam melhorias na qualidade de vida da população, a conservação dos recursos naturais e a obtenção de materiais genéticos resistentes e produtivos, isto é, adaptados às condições locais, especialmente no que diz respeito à incidência de pragas e doenças. A maior fronteira agrícola nacional tem um crescimento diferenciado, comprovado por dados econômicos, com destaque para a evolução do agronegócio (Brasil, 2015). Ainda, a produção de grãos constitui um fator de segurança alimentar e será essencial na manutenção da produção animal de ovos, frangos, suínos e leite; a região ganha com o desenvolvimento equilibrado e com a geração de emprego e renda para os seus habitantes (Lorensini et al., 2015).

Os casos descritos só puderam ser bem-sucedidos ao integrarem as inovações e soluções viáveis recomendadas para atingir o desenvolvimento ambiental, econômico e social sustentável, manter a saúde do solo e mitigar as mudanças climáticas. Houve profunda transformação nos sistemas produtivos e na forma de pensar dos envolvidos, que compreenderam a importância do respaldo político-tecnológico para o aprimoramento de suas unidades de produção. Casos como esses demonstram que é possível remodelar todas as esferas que se relacionam com a produção alimentar, para que se adequem ao objetivo maior de garantir a segurança alimentar às futuras gerações, bem como ecossistemas conservados e regenerados quanto a sua biodiversidade e capazes de desempenhar serviços e funções ecossistêmicas primordiais para a manutenção da vida.

## Referências

---

- ALVARENGA, R. C.; GONTIJO NETO, M. M. Integração Lavoura-Pecuária-Floresta. **Cultivar**, 13 ago. 2009. Disponível em: <http://www.grupocultivar.com.br/artigos/integracao-lavoura-pecuaria-floresta>. Acesso em: 12 nov. 2017.
- ASSIS, P. C. R.; STONE, L. F.; MEDEIROS, J. C.; MADARI, B. E.; OLIVEIRA, J. de M.; WRUCK, F. J. Atributos físicos do solo em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 9, p. 309-316, 2015. DOI: 0.1590/1807-1929/agriambi.v19n4p309-316.
- BADEJO, M. A. Agroecological restoration of savanna ecosystems. **Ecological Engineering**, v. 10, n. 2, p. 209-219, 1998. DOI: 10.1016/S0925-8574(98)00012-3.
- BALBINO, L. C.; CORDEIRO, L. A. M.; PORFIRIO-DA-SILVA, V.; MORAES, A. de; MARTINEZ, G. B.; ALVARENGA, R. C.; KICHEL, A. N.; FONTANELI, R. S.; SANTOS, H. P. dos; FRANCHINI, J. C.; GALERANI, P. R. Evolução tecnológica e arranjos produtivos de sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 10, p. i-xii, out. 2011. Prefácio. DOI: 10.1590/S0100-204X2011001000001.
- BENDER, S. F.; WAGG, C.; HEIJDEN, M. G. van der. An underground revolution: biodiversity and soil ecological engineering for agricultural sustainability. **Trends in Ecology and Evolution**, v. 31, n. 6, p. 440-452, 2016. DOI: 10.1016/j.tree.2016.02.016.
- BOMMARCO, R.; VICO, G.; HALLIN, S. Exploiting ecosystem services in agriculture for increased food security. **Global Food Security**, v. 17, p. 57-63, 2018. DOI: 10.1016/j.gfs.2018.04.001.
- BONINI, C. dos S. B.; LUPATINI, G. C.; ANDRIGHETTO, C.; MATEUS, G. P.; HEINRICH, R.; ARANHA, A. S.; SANTANA, E. A. R. de; MEIRELLES, G. C. Produção de forragem e atributos químicos e físicos do solo em sistemas integrados de produção agropecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 9, p. 1695-1698, set. 2016. Notas científicas. Título em inglês: Forage production and soil chemical and physical attributes in integrated agricultural systems. DOI: 10.1590/s0100-204x2016000900070.
- BOUMA, J.; MCBRATNEY, A. Farming soils as an actor when dealing with wicked environmental problems. **Geoderma**, v. 200-201, p. 130-139, June 2013. DOI: 10.1016/j.geoderma.2013.02.011.
- BRANCA, G.; LIPPER, L.; MCCARTHY, N.; JOLEJOLE, M. C. Food security, climate change, and sustainable land management. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 33, n. 4, p. 635-660, 2013. DOI: 10.1007/s13593-013-0133-1.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Integração Lavoura, Pecuária e Floresta – ILPF**. Brasília, DF, dez. 2016. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/assuntos/sustentabilidade/plano-abc/integracao-lavoura-pecuaria-e-floresta-ilpf>. Acesso em: 12 nov. 2017.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Projeções do agronegócio: Brasil 2014/2015 a 2024/2025**. Brasília, DF: Assessoria de Gestão Estratégica, 2015. 133 p.

BRASILEIRO, R. S. Alternativas ao desenvolvimento sustentável no semiárido nordestino: da degradação à conservação. **Scientia Plena**, v. 5, n. 5, p. 1-12, 2009.

BUSBY, P. E.; SOMAN, C.; WAGNER, M. R.; FRIESEN, M. L.; KREMER, J.; BENNETT, A.; MORSY, M.; EISEN, J. A.; LEACH, J. E.; DANGL, J. L. Research priorities for harnessing plant microbiomes in sustainable agriculture. **PLOS Biology**, v. 15, n. 3, p. e2001793, 2017. DOI: 10.1371/journal.pbio.2001793.

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.

CARNAÚBA - Copernicia prunifera. **Natureza Bela**, 4 nov. 2011. Disponível em: <http://www.naturezabela.com.br/2011/11/carnauba-copernicia-prunifera.html>. Acesso em: 20 jul. 2017.

CHEN, J. Rapid urbanization in China: a real challenge to soil protection and food security. **Catena**, v. 69, n. 1, p. 1-15, 2007. DOI: 10.1016/j.catena.2006.04.019.

CHENG, A.; MAYES, S.; DALLE, G.; DEMISSEW, S.; MASSAWE, F. Diversifying crops for food and nutrition security: a case of teff. **Biological Reviews**, v. 92, n. 1, p. 188-198, 2017. DOI: 10.1111/brv.12225.

CROWDER, D. W.; REGANOLD, J. P. Financial competitiveness of organic agriculture on a global scale. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 112, n. 24, p. 7611-7616, 2015. DOI: 10.1073/pnas.1423674112.

CRUZ-GARCIA, G. S.; SANCHET, E.; VANEGAS, M.; PIISPANEN, K. Are the major imperatives of food security missing in ecosystem services research? **Ecosystem Services**, v. 19, p. 19-31, June 2016. DOI: 10.1016/j.ecoser.2016.04.001.

DOMENECH, L.; TESFATSION, S.; RINGLER C.; THEIS, S. Resilience building in Ethiopia: analysis of key informant interviews. In: KOO, J.; THURLOW, J.; ELDIDI, H.; RINGLER, C.; de PINTO, A. (ed.). **Building resilience to climate shocks in Ethiopia**. Washington, DC: International Food Policy Research Institute: United Nations Development Programme, 2019. Chapter 2, p. 26-41. DOI: 10.2499/9780896293595.

DOMÍNGUEZ, A.; BEDANO, J. C. The adoption of no-till instead of reduced tillage does not improve some soil quality parameters in Argentinean Pampas. **Applied Soil Ecology**, v. 98, p. 166-176, Feb. 2016. DOI: 10.1016/j.apsoil.2015.10.014.

DOMÍNGUEZ, A.; BEDANO, J. C.; BECKER, A. R. Negative effects of no-till on soil macrofauna and litter decomposition in Argentina as compared with natural grasslands. **Soil and Tillage Research**, v. 110, n. 1, p. 51-59, Sep. 2010. DOI: 10.1016/j.still.2010.06.008.

DORAN, J. W. Soil health and global sustainability: translating science into practice. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 88, n. 2, p. 119-127, Feb. 2002. DOI: 10.1016/S0167-8809(01)00246-8.

EDWARDS, C. A. Assessing the effects of environmental pollutants on soil organisms, communities, processes and ecosystems. **European Journal of Soil Biology**, v. 38, n. 3-4, p. 225-231, June/Dec. 2002. DOI: 10.1016/S1164-5563(02)01150-0.

EL MUJTAR, V.; MUÑOZ, N.; MCCORMICK, B. P.; PULLEMAN, M.; TITTONELL, P. Role and management of soil biodiversity for food security and nutrition; where do we stand? **Global Food Security**, v. 20, p. 132-144, Mar. 2019. DOI: 10.1016/j.gfs.2019.01.007.

EMBRAPA. Espaço temático. **Integração Lavoura Pecuária Floresta - ILPF**. Brasília, DF, 2014? Nota técnica. Disponível em: <https://www.embrapa.br/tema-integracao-lavoura-pecuaria-floresta-ilpf/nota-tecnica>. Acesso em: 12 nov. 2017.

FAO. **An introduction to the basic concepts of food security**. Rome, 2008a. 3 p. (Food Security Information for Action. Practical Guides). Disponível em: <http://www.fao.org/3/al936e/al936e00.pdf>. Acesso em: 15 set. 2017.

FAO. **Climate-smart agriculture: sourcebook**. Rome, 2013. 557 p. Disponível em: <http://www.fao.org/docrep/018/i3325e/i3325e.pdf>. Acesso: 15 set. 2017.

FAO. **FAO statistical yearbook 2007-2008**. Rome, 2008b. Disponível em: <http://www.fao.org/economic/ess/ess-publications/ess-yearbook/fao-statistical-yearbook-2007-2008/pt/>. Acesso em: 15 set. 2017.

FAO. **The state of food insecurity in the world 2010: addressing food insecurity in protracted crisis**. Rome, 2010. 57 p. Disponível em: <http://www.fao.org/3/a-i1683e.pdf>. Acesso em: 15 set. 2017

FAO. **The state of the world's land and water resources for food and agriculture: managing systems at risk**. Rome: FAO; London: Earthscan, 2011. 285 p. Disponível em: <http://www.fao.org/3/a-i1688e.pdf>. Acesso em: 15 set. 2017.

FAO. **The state of food insecurity in the world 2014: strengthening the enabling environment for food security and nutrition**. Rome: FAO; IFAD; WFP, 2014. 53 p. Disponível em: <http://www.fao.org/3/a-i4030e.pdf>. Acesso em: 15 set. 2017.

FERRANTI, P. Food sustainability, security, and effects of global change. In: REFERENCE module in food science. Amsterdam: Elsevier, 2016. 5 p. DOI: 10.1016/B978-0-08-100596-5.03332-1.

FORESIGHT. **The future of food and farming: challenges and choices for global sustainability**. London: The Government Office of Science, 2011. 208 p. Final Project Report. Disponível em: [https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/288329/11-546-future-of-food-and-farming-report.pdf](https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/288329/11-546-future-of-food-and-farming-report.pdf). Acesso em: 20 set. 2017.

FRANZLUEBBERS, A. J. Integrated crop-livestock systems in the southeastern USA. **Agronomy Journal**, v. 99, n. 2, p. 361-372, Mar. 2007. DOI: 10.2134/agronj2006.0076.

FRIEDRICH, T.; KASSAM, A. No-till farming and the environment: do no-till systems require more chemicals. **Outlooks on Pest Management**, v. 23, n. 4, p. 153-157, 2012. DOI: 10.1564/23aug02

GARBACH, K.; MILDER, J. C.; DECLERCK, F. A. J.; MONTENEGRO DE WIT, M.; DRISCOLL, L.; GEMMILL-HERREN, B. Examining multi-functionality for crop yield and ecosystem services in five systems of agroecological intensification. **International Journal of Agricultural Sustainability**, v. 15, n. 1, p. 11-28, 2017. DOI: 10.1080/14735903.2016.1174810.

- GARDI, C.; PANAGOS, P.; LIEDEKERKE, M. van; BOSCO, C.; BROGNIEZ, D. de. Land take and food security: assessment of land take on the agricultural production in Europe. **Journal of Environmental Planning and Management**, v. 58, n. 5, p. 898-912, 2015. DOI: 10.1080/09640568.2014.899490.
- GLIESSMAN, S. R. **Agroecology: the ecology of sustainable food system**. 2nd ed. Boca Raton: CRC Press, 2007. 384 p.
- GODFRAY, H. C. J.; BEDDINGTON, J. R.; CRUTE, I. R.; HADDAD, L.; LAWRENCE, D.; MUIR, J. F.; PRETTY, J.; ROBINSON, S.; THOMAS, S. M.; TOULMIN, C. Food security: the challenge of feeding 9 billion people. **Science**, v. 327, n. 5967, p. 812-818, 2010. DOI: 10.1126/science.1185383.
- GOMIERO, T. Alternative land management strategies and their impact on soil conservation. **Agriculture**, v. 3, n. 3, p. 464-483, 2013. DOI: 10.3390/agriculture3030464.
- GOMIERO, T. Soil degradation, land scarcity and food security: reviewing a complex challenge. **Sustainability**, v. 8, n. 3, p. 281, 2016. DOI: 10.3390/su8030281.
- GOMIERO, T.; PIMENTEL, D.; PAOLETTI, M. G. Environmental impact of different agricultural management practices: conventional vs. organic agriculture. **Critical Reviews in Plant Sciences**, v. 30, n. 1-2, p. 95-124, 2011a. DOI: 10.1080/07352689.2011.554355.
- GOMIERO, T.; PIMENTEL, D.; PAOLETTI, M. G. Is there a need for a more sustainable agriculture? **Critical Reviews in Plant Sciences**, v. 30, n. 1-2, p. 6-23, 2011b. DOI: 10.1080/07352689.2011.553515.
- GREGORY, P. J.; INGRAM, J. S. I.; BRKLACICH, M. Climate change and food security. **Philosophical Transactions of the Royal Society B**, v. 360, n. 1463, p. 2139-2148, Oct. 2005. DOI: 10.1098/rstb.2005.1745.
- GUARESCHI, R. F.; PEREIRA, M. G.; PERIN, A. Deposição de resíduos vegetais, matéria orgânica leve, estoques de Carbono e Nitrogênio e Fósforo remanescente sob diferentes sistemas de manejo no cerrado Goiano. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 3, p. 909-920, 2012. DOI: 10.1590/S0100-06832012000300021.
- GUARIGUATA, M. R.; OSTERTAG, R. Neotropical secondary forest succession: changes in structural and functional characteristics. **Forest Ecology and Management**, v. 148, n. 1-3, p. 185-206, 2001.
- HANEY, R. L.; HANEY, E. B.; SMITH, D. R.; HARMEL, R. D.; WHITE, M. J. The soil health tool – theory and initial broad-scale application. **Applied Soil Ecology**, v. 125, p. 162-168, Apr. 2018. DOI: 10.1016/j.apsoil.2017.07.035.
- HARTMAN, K.; HEIJDEN, M. G. A. van der; WITTWER, R. A.; BANERJEE, S.; WALSER, J. C.; SCHLAEPPI, K. Cropping practices manipulate abundance patterns of root and soil microbiome members paving the way to smart farming. **Microbiome**, v. 6, n. 1, p. 74, 2018. DOI: 10.1186/s40168-017-0389-9.
- HURNI, H.; GIGER, M.; LINIGER, H.; STUDER, R. M.; MESSERLI, P.; PORTNER, B.; SCHWILCH, G.; WOLFGRAMM, B.; BREU, T. Soils, agriculture and food security: the interplay between ecosys-

tem functioning and human well-being. **Current Opinion in Environmental Sustainability**, v. 15, p. 25-34, Aug. 2015. DOI: 10.1016/j.cosust.2015.07.009.

INTERNATIONAL CONFERENCE ON NUTRITION, 2., 2014, Rome. **Committing to a future free of malnutrition: better nutrition, better lives**. Rome: FAO: WHO, 2014. 23 p. Disponível em: <http://www.fao.org/3/a-i4465e.pdf>. Acesso em: 15 set. 2017.

JAHANGIR, M. M. R. Soil: a weapon for food security and climate change adaptation and mitigation. **Advances in Plants and Agriculture Research**, v. 3, n. 2, p. 00095, 2016. DOI: 10.15406/apar.2016.03.00095.

JANZEN, H. H.; FIXEN, P. E.; FRANZLUEBBERS, A. J.; HATTEY, J.; IZAURRALDE, E. C.; KETTERINGS, Q. M.; LOBB, D. A.; SCHLESINGER, W. H. Global prospects rooted in soil science. **Soil Science Society of America Journal**, v. 75, n. 1, p. 1-8, 2011. DOI: 10.2136/sssaj2009.0216.

KARLEN, D. L.; ANDREWS, S. S.; DORAN, J. W. Soil quality: current concepts and applications. **Advances in Agronomy**, v. 74, p. 1-40, Dec. 2001. DOI: 10.1016/S0065-2113(01)74029-1.

KARLEN, D. L.; RICE, C. W. Soil degradation: will humankind ever learn? **Sustainability**, v. 7, n. 9, p. 12490-12501, 2015. DOI: 10.3390/su70912490.

KHOURY, C. K.; BJORKMAN, A. D.; DEMPEWOLF, H.; RAMIREZ-VILLEGAS, J.; GUARINO, L.; JARVIS, A.; RIESEBERG, L. H.; STRUIK, P. C. Increasing homogeneity in global food supplies and the implications for food security. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 111, n. 11, p. 4001-4006, 2014. DOI: 10.1073/pnas.1313490111.

KÖHL, L.; OEHL, F.; HEIJDEN, M. G. A. van der. Agricultural practices indirectly influence plant productivity and ecosystem services through effects on soil biota. **Ecological Applications**, v. 24, n. 7, p. 1842-1853, 2014. DOI: 10.1890/13-1821.1.

LAL, R. Climate strategic soil management. **Challenges**, v. 5, n. 1, p. 43-74, 2014. DOI: 10.3390/challe5010043.

LAL, R. Enhancing eco-efficiency in agro-ecosystems through soil carbon sequestration. **Crop Science Society of America**, v. 50, supl. 1, p. S120-S131, Mar./Apr. 2010a. DOI: 10.2135/cropsci2010.01.0012.

LAL, R. Evolution of the plow over 10,000 years and the rationale for no-till farming. **Soil and Tillage Research**, v. 93, n. 1, p1-12, 2007. DOI:10.1016/j.still.2006.11.004.

LAL, R. Food security in a changing climate. **Ecohydrology and Hydrobiology**, v. 13, n. 1, p. 8-21, 2013. DOI: 10.1016/j.ecohyd.2013.03.006.

LAL, R. Managing soils and ecosystems for mitigating anthropogenic carbon emissions and advancing global food security. **BioScience**, v. 60, n. 9, p. 708-721, 2010b. DOI: 10.1525/bio.2010.60.9.8.

LAL, R. Restoring soil quality to mitigate soil degradation. **Sustainability**, v. 7, n. 5, p. 5875-5895, 2015. DOI: 10.3390/su7055875.

LAL, R.; GRIFFIN, M.; APT, J.; LAVE, L.; MORGAN, M. G. Managing soil carbon. **Science**, v. 304, n. 5669, p. 393, 2004. DOI: 10.1126/science.1093079.

LEITE, L. F. C.; IWATA, B. F.; ARAUJO, 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, Jul./Aug. 2014. DOI: 10.1590/S0100-67622014000400014.

LIANG, J.; CROWTHER, T. W.; PICARD, N.; WISER, S.; ZHOU, M.; ALBERTI, G.; SCHULZE, E. D.; MCGUIRE, A. D.; BOZZATO, F.; PRETZSCH, H.; MIGUEL, S. de; PAQUETTE, A.; HÉRAULT, B.; SCHERER-LORENZEN, M.; BARRET, C. B.; GLICK, H. B.; HENGEVELD, G. M.; NABUURS, G. J.; PFAUTSCH, S.; VIANA, H.; VIBRANS, A. C.; AMMER, C.; SCHALL, P.; VERBYLA, D.; TCHEBAKOVA, N.; FISCHER, M.; WATSON, J. V.; CHEN, H. Y. H.; LEI, X.; SCHELHAAS, M. J.; LU, H.; GIANELLE, D.; PARFENOVA, E. I.; SALAS, C.; LEE, E.; LEE, B.; KIM, H. S.; BRUELHEIDE, H.; COOMES, D. A.; PIOTTO, D.; SUNDERLAND, T.; SCHMID, B.; GOURLET-FLEURY, S.; SONKÉ, B.; TAVANI, R.; ZHU, J.; BRANDL, S.; VAYREDA, J.; KITAHARA, F.; SEARLE, E. B.; NELDNER, V. J.; NGUGI, M. R.; BARALOTO, C.; FRIZZERA, L.; BALAZY, R.; OLEKSYN, J.; ZAWILA-NIEDŹWIECKI, T.; BOURIAUD, O.; BUSSOTTI, F.; FINÉR, L.; JAROSZEWICZ, B.; JUCKER, T.; VALLADARES, F.; JAGODZINSKI, A. M.; PERI, P. L.; GONMADJE, C.; MARTHY, W.; O'BRIEN, T.; MARTIN, E. H.; MARSHALL, A. R.; ROVERO, F.; BITARIHO, R.; NIKLAUS, P. A.; ALVAREZ-LOAYZA, P.; CHAMUYA, N.; VALENCIA, R.; MORTIER, F.; WORTEL, V.; ENGONE-OBIANG, N. L.; FERREIRA, L. V.; ODEKE, D. E.; VASQUEZ, R. M.; LEWIS, S. L.; REICH, P. B. Positive biodiversity-productivity relationship predominant in global forests. **Science**, v. 354, n. 6309, p. 196-300, 2016. DOI: 10.1126/science.aaf8957.

LIU, H.; PROBST, A.; LIAO, B. Metal contamination of soils and crops affected by the Chenzhou lead/zinc mine spill (Human China). **Science of the Total Environment**, v. 339, n. 1-3, p. 153-166, 2005. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2004.07.030.

LORENSINI, C. L.; VICTORIA, D. de C.; VICENTE, L. E.; MAÇORANO, R. P. Mapeamento e identificação da época de desmatamento das áreas de expansão da agricultura no MATOPIBA. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 17., 2015, João Pessoa. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2015. p. 3542-3548.

MASSAWE, F.; MAYES, S.; CHENG, A. Crop diversity: an unexploited treasure trove for food security. **Trends in Plant Science**, v. 21, n. 5, p. 365-368, 2016. DOI: 10.1016/j.tplants.2016.02.006.

MAYES, S.; MASSAWE, F. J.; ALDERSON, P. G.; ROBERTS, J. A.; AZAM-ALI, S. N.; HERMANN, M. The potential of underutilized crops to improve food security of food production. **Journal of Experimental Botany**, v. 63, n. 3, p. 1075-1079, 2012. DOI: 10.1093/jxb/err396.

MENDONÇA-SANTOS, M. L.; SANTOS, H. G.; COELHO, M. R.; BERNARDI, A. C. C.; MACHADO, P. L. O. A.; MANZATTO, C. V.; FIDALGO, E. C. C. Solos e ocupação de terras na Amazônia brasileira. In: MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O.; BRUSSAARD, L. (ed.). **Biodiversidade do solo em ecossistemas brasileiros**. Lavras: UFLA, 2008. cap. 3, p. 67-116.

MIAO, Y.; STEWART, R. A.; ZHANG, F. Long-term experiments for sustainable nutrient management in China: a review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 32, n. 2, p. 397-414, 2011. DOI: 10.1051/agro/2010034.

MONTGOMERY, D. R. Soil erosion and agricultural sustainability. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 104, n. 33, p. 13268-13272, 2007. DOI: 10.1073/pnas.0611508104.

MORAES, L. F. D.; CAMPELLO, E. F. C.; PEREIRA, M. G.; LOSS, A. Características do solo na restauração de áreas degradadas na reserva biológica de Poço das Antas, RJ. **Ciência Florestal**, v. 18, n. 2, p. 193-206, abr./jun. 2008. DOI: 10.5902/19805098457.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O.; BRUSSAARD, L. (ed.). **Biodiversidade do solo em ecossistemas brasileiros**. Lavras: UFLA, 2008. 768 p.

MUELLER, N. D.; GERBER, J. S.; JOHNSTON, M.; RAY, D. K.; RAMANKUTTY, N.; FOLEY, J. A. Closing yield gaps through nutrient and water management. **Nature**, v. 490, n. 7419, p. 254-257, 2012. DOI: 10.1038/nature11420.

NEWTON, A. C.; JOHNSON, S. N.; GREGORY, P. J. Implications of climate change for diseases, crop yields and food security. **Euphytica**, v. 179, n. 1, p. 3-18, 2011. DOI: 10.1007/s10681-011-0359-4.

OLIVEIRA, B. S.; CARVALHO, M. A. C.; LANGE, A.; WRUCK, F. J.; DALLACORT, R.; SILVA, V. P.; BAREIA, M. Atributos físicos do solo em Sistema integração lavoura-pecuária-floresta, na Região Amazônica. **Revista Espacios**, v. 38, n. 41, p. 8, 2017.

OLIVEIRA, F. C.; COLLADO, A. C.; LEITE, L. F. C. Autonomy and sustainability: an integrated analysis of the development of new approaches to agrosystem management in family-based farming in Carnaubais Territory, Piauí, Brazil. **Agricultural Systems**, v. 115, p. 1-9, Feb. 2013. DOI: 10.1016/j.agsy.2012.09.005.

OLIVEIRA, F. C.; LEITE, L. F. C. Evaluación de innovaciones em el manejo de los agroecosistemas agrícolas campesinos como subsidio al processo de transición agroecológica em el território de Carnaubais, Región Medio-Norte de Brasil. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 4, n. 2, p. 2144-2148, 2009.

PROKOP, G.; JOBSTMANN, H.; SCHÖNBAUER, A. **Overview of best practices for limiting soil sealing or mitigating its effects in EU-27: final report**. Brussels: European Communities, 2011. 227 p. (Technical Report, 050).

PYWELL, R. F.; HEARD, M. S.; WOODCOCK, B. A.; HINSLEY, S.; RIDDING, L.; NOWAKOWSKI, M.; BULLOCK, J. M. Wildlife-friendly farming increases crop yield: evidence for ecological intensification. **Proceedings of the Royal Society B**, v. 282, n. 1816, p. 1-8, 2015. DOI: 10.1098/rspb.2015.1740.

RENGASAMANY, P. World salinization with emphasis on Australia. **Journal of Experimental Botany**, v. 57, n. 5, p. 1017-1023, 2006. DOI: 10.1093/jxb/erj108.

RICHARDSON, R. B. Ecosystem services and food security: economic perspectives on environmental sustainability. **Sustainability**, v. 2, n. 12, p. 3520-3548, 2010. DOI: 10.3390/su2113520.

ROJAS, R. V.; ACHOURI, M.; MAROULIS, J.; CAON, L. Healthy soils: a prerequisite for sustainable food security. **Environmental Earth Sciences**, v. 75, n. 3, p. 1-10, 2016. DOI: 10.1007/s12665-015-5099-7.

SANTOS, A. E. N. **Agroecologia: respeito à terra**. 2006. Disponível em: [http://www.terrazul.m2014.net/article.php?id\\_article=297](http://www.terrazul.m2014.net/article.php?id_article=297). Acesso em: 08 nov. 2017.

SIMONS, N. K.; WEISSER, W. W. Agricultural intensification without biodiversity loss is possible in grassland landscapes. **Nature Ecology and Evolution**, v. 1, n. 8, p. 1136-1145, 2017. DOI: 10.1038/s41559-017-0227-2.

SMITH, P.; HOUSE, J. I.; BUSTAMANTE, M.; SOBOCKÁ, J.; HARPER, R.; PAN, G.; WEST, P. C.; CLARK, J. M.; ADHYA, T.; RUMPEL, C.; PAUSTIAN, K.; KUIKMAN, P.; COTRUFO, M. F.; ELLIOTT, J. A.; MCDOWELL, R.; GRIFFITHS, R. I.; ASAKAWA, S.; BONDEAU, A.; JAIN, A. K.; MEERSMANS, J.; PUGH, T. A. M. Global change pressures on soils from land use and management. **Global Change Biology**, v. 22, n. 3, p. 1008-1028, 2016. DOI: 10.1111/gcb.13068.

SPERA, S. T.; SANTOS, H. P.; FONTANELI, R. S.; TOMM, G. O. Efeito de integração entre lavoura e pecuária, sob plantio direto, em alguns atributos físicos do solo após dez anos. **Bragantia**, v. 69, n. 3, p. 695-704, 2010.

SPERA, S. T.; SANTOS, H. P.; FONTANELI, R. S.; TOMM, G. O. Integração lavoura e pecuária e os atributos físicos de solo manejado sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Solo**, v. 33, n. 1, p. 129-136, 2009. DOI: 10.1590/S0100-06832009000100014.

SRIVASTAVA, S. C.; SINGH, J. S. Microbial C, N and P in dry tropical forest soils: effects of alternate land-uses and nutrient flux. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 23, n. 2, p. 117-124, 1991. DOI: 10.1016/0038-0717(91)90122-Z.

SUSTAINABLE DEVELOPMENT SOLUTIONS NETWORK. Thematic Group on Sustainable Agriculture and Food Systems. **Solutions for sustainable agriculture and food systems**: technical report for the post 2015 development agenda. Geneva: Nutrition Connect, 2013. 108 p. Disponível em: <http://unsdsn.org/wp-content/uploads/2014/02/130919-TG07-Agriculture-Report-WEB.pdf>. Acesso em: 8 nov. 2017.

TILMAN, D.; CASSMAN, K. G.; MATSON, P. A.; NAYLOR, R.; POLASKY, S. Agricultural sustainability and intensive production practices. **Nature**, v. 418, n. 6898, p. 671-677, 2002. DOI: 10.1038/nature01014.

THIAW, I.; KUMAR, P.; YASHIRO, M.; MOLINERO, C. **Food and ecological security**: identifying synergy and trade-offs. Nairobi: UNEP, 2011. 11 p. (UNEP Policy Series. Ecosystem Management, n. 4).

UNITED NATIONS CONVENTION TO COMBAT DESERTIFICATION. **A stronger UNCCD for a land-degradation neutral world**: issue brief. Boon: UNCCD secretariat, 2013. 15 p. Disponível em: [http://catalogue.unccd.int/225\\_Stronger\\_UNCCD\\_LDNWorld\\_web.pdf](http://catalogue.unccd.int/225_Stronger_UNCCD_LDNWorld_web.pdf). Acesso em: 8 no. 2017.

ZANELLA, M. A.; RAHMANIAN, M.; PERCH, L. N.; CALLENIUS, C.; RUBIO, J. L.; VUNINGOMA, F.; RIST, S.; MAPFUMO, P. Discussion: food security and sustainable food systems: the role of soil. **International Soil and Water Conservation Research**, v. 3, n. 2, p. 154-159, 2015. DOI: 10.1016/j.iswcr.2015.06.001.