Agricultura de baixa emissão de carbono em regiões semiáridas

Experiência brasileira

Vanderlise Giongo
Francislene Angelotti

Editoras Técnicas

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Semiárido
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

Agricultura de baixa emissão de carbono em regiões semiáridas

Experiência brasileira

Vanderlise Giongo
Francislene Angelotti

Editoras Técnicas

Embrapa
Brasília, DF
2022

Embrapa Semiárido
Rodovia BR-428, Km 152, Zona Rural
CEP: 56302-970 Petrolina, PE
Fone: +55 (87) 3866-3600
www.embrapa.br
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Responsável pelo conteúdo
Embrapa Semiárido

Comitê Local de Publicações

Presidente
Natoniel Franklin de Melo

Secretária-executiva
Juliana Martins Ribeiro

Membros
Alineaurea Florentino Silva
Clarice Monteiro Rocha
Daniel Nogueira Maia
Geraldo Milanez de Resende
Gislene Feitosa Brito Gama
José Maria Pinto
Magnus Dall'Igna Deon
Paula Tereza de Souza e Silva
Pedro Martins Ribeiro Júnior
Rafaela Priscila Antônio
Sidinei Anunciação Silva

Responsável pela edição
Embrapa, Superintendência de Comunicação

Coordenação editorial
Carla Alessandra Timm
Nilda Maria da Cunha Sette

Supervisão editorial
Josmária Madalena Lopes

Revisão de texto
Francisca Elijani do Nascimento

Normalização bibliográfica
Márcia Maria Pereira de Souza

Projeto gráfico, diagramação e capa
Carlos Eduardo Felice Barbeiro

Fotos da capa
Magna Soelma Beserra de Moura

1ª edição
Publicação digital (2022): PDF

Todos os direitos reservados
A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte,
constitui violação dos direitos autorais (Lei n° 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Embrapa, Superintendência de Comunicação

Agricultura de baixa emissão de carbono em regiões semiáridas : experiência brasileira / Vanderlise Giongo, Francislene Angelotti, editoras técnicas. – Brasília, DF : Embrapa, 2022.
PDF (256 p.). : il. color.

ISBN 978-65-89957-12-6

1. Recursos naturais. 2. Agricultura sustentável. 3. Efeito estufa. 4. Políticas públicas. I. Giongo, Vanderlise. II. Angelotti, Francislene. III. Embrapa Semiárido.

CDD 551.68

Márcia Maria Pereira de Souza (CRB-1/1441) © Embrapa, 2022

Capítulo 8

Fundamentos para o desenho de agroecossistemas multifuncionais adaptados às condições de semiaridez

Vanderlise Giongo
Alessandra Monteiro Salviano
Mônica da Silva Santana
Maria do Socorro Conceição de Freitas
Tatiana Ayako Taura

Introdução

Serviços de provisionamento, como a produção de alimentos e fibra, sempre foram o foco principal da agricultura. Ao longo da história humana, os sistemas agrícolas apresentaram algum tipo de *trade-off* entre produtividade e capacidade de suporte ambiental. Desde os anos 1950, os sistemas intensivos com base no cultivo de uma única cultura ou de uma única cultivar, em rotações simplificadas ou monoculturas, com o uso intensivo de insumos e agroquímicos, têm sido preferidos aos mais diversificados, por diferentes razões, independentemente das consequências ambientais. Com isso, os *trade-offs* dos atuais sistemas agrícolas estão diminuindo a biodiversidade e excedendo os limites dos ciclos biogeoquímicos, provocando taxa de extinção sem precedentes de espécies silvestres e levando os ecossistemas globais à beira do colapso (Gaba et al., 2015; Funabashi, 2018).

A redução drástica da diversidade de plantas cultivadas tornou a produção mundial de alimentos mais vulnerável e altamente dependente de insumos externos, devido aos riscos associados à uniformidade genética das culturas. A homogeneidade ecológica na agricultura está intimamente ligada à presença de insetos-praga, doenças e plantas invasoras (Altieri; Nicholls, 2004; Nicholls; Altieri, 2017). Muitos esforços, estudos e recursos foram concentrados no tema mudanças climáticas, relacionando o sequestro de carbono e a mitigação de emissão de gases de efeitos estufa aos ecossistemas e agroecossistemas, mas poucos relacionam a eficiência do ambiente em sequestrar carbono e preservar a biodiversidade, ou encontrar na biodiversidade a resiliência ou segurança alimentar.

A agricultura e os sistemas atuais de produção de alimentos necessitam de mudanças por causa do crescimento populacional, das mudanças climáticas e da degradação do ambiente. Concomitantemente, o crescimento econômico desigual, as transformações sociais e econômicas e outros fatores estão moldando os sistemas alimentares e as dietas. Como resultado, a prevalência de sobrepeso, obesidade e doenças não transmissíveis relacionadas à alimentação está aumentando, ao mesmo tempo em que persistem os problemas relativos à fome, como a deficiências de macronutrientes e micronutrientes, e consequentemente a desnutrição.

Entre os desafios da agricultura, destaca-se a produção de alimentos, fibras e energia em bases sustentáveis, garantindo a segurança alimentar para uma população crescente e diante das mudanças climáticas, sem perder os recursos genéticos de forma irremediável, preservando o ambiente. Segundo Tilman e Clark (2014),

o trilema dieta-saúde-ambiente é um desafio global, de grande importância para a saúde pública e ambiental, que a humanidade atravessa diante dos cenários de mudanças climáticas.

A agricultura nunca esteve tão próxima da ecologia na proposição de soluções estratégicas aos desafios globais. A proposição de agroecossistemas multifuncionais compõe uma das estratégias e baseia-se em leis, fundamentos, teorias, conceitos, preceitos da ecologia e estudos relacionados ao desenvolvimento da agricultura, valorando a biodiversidade para que surjam propriedades emergentes que favoreçam o homem e a natureza.

A tarefa posta e que será discutida no presente capítulo é o desenho de agroecossistemas multifuncionais sustentáveis, adequados aos modelos de dietas alternativas que oferecem benefício à saúde, que sejam amplamente adotados, reduzindo as emissões de gases de efeito estufa, o desmatamento, a extinção de espécies e as doenças crônicas não transmissíveis.

Biodiversidade e riqueza de espécies: soluções ecológicas

Grande parte do foco da biodiversidade dentro das paisagens agrícolas tem sido a conservação de espécies raras. Mas, com o tempo, outras questões tornaram-se igualmente importantes, como o aumento da biodiversidade ou riqueza de espécies para melhorar as funções do ecossistema, destacando-se a produtividade primária, o balanço de nutrientes e outros serviços ecossistêmicos, como polinização e controle biológico (Weibull et al., 2003). Nesse contexto, a biodiversidade não está somente ligada às questões de preservação do ambiente, mas também à economia e à produtividade dos agroecossistemas.

Para medir biodiversidade, é necessário entender os seus conceitos e variáveis. Biodiversidade é o número de taxa (reinos, filos, classes, ordens, famílias, gêneros, espécies ou organismos) por área. Também, é uma medida da variedade que leva em consideração a riqueza (número de espécies) e a abundância relativa (número de indivíduos em cada espécie) (Ricklefs, 2003). A riqueza de espécies é um dos aspectos mais importantes da biodiversidade, em parte por causa de sua natureza fundamental, mas, principalmente, porque há mais dados disponíveis para essa variável do que qualquer outro aspecto da biodiversidade (Begon et al., 2006). Os autores citam parte de uma pesquisa internacional que utilizou protocolos em oito campos europeus, para investigar o efeito da riqueza de espécies sobre a produtividade primária (medida como acumulação de biomassa acima do solo) por comunidades de pastagens, com diferentes números de espécies de gramíneas, leguminosas e outras herbáceas. Embora os resultados detalhados apresentem diferença entre os sítios, houve redução global da produtividade média de biomassa em função da perda de espécies (Figura 1A). Para uma dada riqueza de espécies, houve também declínio na produtividade com redução no número de grupos funcionais (gramíneas, leguminosas, herbáceas) (Figura 1B).

Cardinale et al. (2012) destacam seis evidências gerais do impacto da biodiversidade sobre os ecossistemas, as quais servem de parâmetro para a composição de espécies de plantas e dos táxons que serão favorecidos nos desenhos de agroecossistemas:

- A perda da biodiversidade reduz a capacidade de o ecossistema captar energia luminosa e transformá-la em energia química (produção primária), decompor resíduos e ciclar nutrientes.
- A redução da biodiversidade diminui a estabilidade das funções ecossistêmicas ao longo do tempo.
- O impacto da biodiversidade sobre um único ecossistema não é linear e tende à saturação, ou seja, pequenas perdas de biodiversidade têm impactos relativamente pequenos sobre o funcionamento do ecossistema, mas

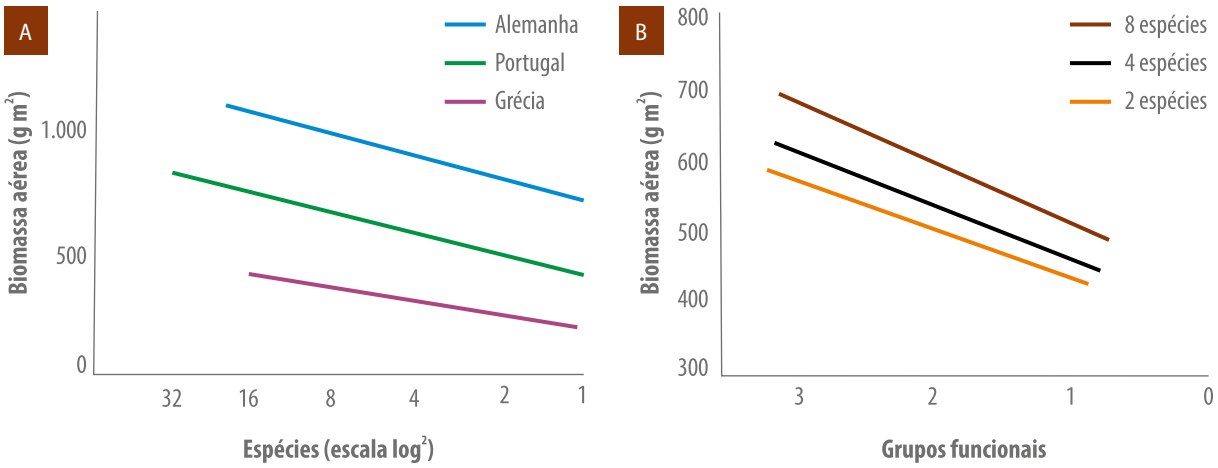

Figura 1. Decréscimo da riqueza de espécies (A) e de grupos funcionais (B) em função da biomassa aérea em pastagens simuladas na Europa.

Fonte: Adaptado de Begon et al. (2006).

as perdas crescentes levam à alteração significativa nas suas funções.

- Espécies-chave que exercem forte influência sobre a produtividade proporcionam comunidades mais produtivas, e o aumento da diversidade funcional dos organismos aumenta o uso de recursos naturais disponíveis.
- A perda de diversidade ao longo dos níveis tróficos influencia mais fortemente as funções ecossistêmicas do que os próprios níveis tróficos.
- As características funcionais dos organismos impactam a magnitude do funcionamento do ecossistema. Sendo assim, a perda de biodiversidade gera extinção de algumas funções ecossistêmicas.

O impacto da biodiversidade em agroecossistemas também pode ser observado no estudo de 12 anos de duração feito por Mueller et al. (2013). Os autores utilizaram cinco níveis diferentes de riqueza de espécies de plantas (1, 2, 4, 8 e 16 espécies), em parcelas de 9 m x 9 m. A composição de espécies de cada parcela foi determinada por sorteios aleatórios de um grupo de 18 espécies de plantas que incluiu: quatro espécies de forragens dicotiledôneas e herbáceas (não leguminosas), quatro leguminosas não lenhosas, quatro gramíneas C3, quatro gramíneas C4 e duas espécies de *Quercus*. Assim, todas as parcelas continham pelo menos duas espécies de cada um dos tipos de plantas herbáceas. A proporção observada de biomassa de raízes profundas aumentou mais do que o esperado com a riqueza de espécies e foi positivamente correlacionada com a produtividade acima do solo. A proporção de biomassa de raízes profundas explicou a variação na produtividade, mesmo após considerar a presença/abundância de leguminosas e maior disponibilidade de nitrogênio. Diversas parcelas tiveram distribuições de profundidade de raízes que foram duas vezes mais profundas do que o esperado a partir de sua composição de espécies e correspondentes características de monocultura, em parte devido a interações entre gramíneas C4 e leguminosas. Esses resultados sugerem que a produtividade de diversas comunidades de plantas foi parcialmente dependente de interações de plantas que causaram raízes distribuídas mais profundamente no solo.

Outro exemplo do impacto de biodiversidade em agroecossistemas é o estudo de Florence e colaboradores (Florence et al., 2019), no qual foi utilizada uma mistura de seis grupos funcionais pré-definidos, cada um com três espécies de plantas de cobertura. Cada espécie foi semeada em monocultura, e o tratamento mais diverso continha todas as 18 espécies. Os autores testaram simultaneamente as hipóteses diversida-

de-produtividade, diversidade-invasibilidade e diversidade-estabilidade, que propõem que o aumento da diversidade de espécies deve levar, respectivamente, ao incremento da produtividade média da biomassa, à maior resistência à invasão e à estabilidade. Os resultados do estudo evidenciaram que o acréscimo da diversidade da mistura de culturas de cobertura promoveu adição e estabilidade de biomassa média acima do solo e aumento da supressão de plantas espontâneas. Porém, os autores destacam que a supressão da vegetação espontânea pode ser um efeito da maior produção de biomassa e não da diversidade de plantas de cobertura.

É importante destacar que há estudos sobre o impacto da biodiversidade em ecossistemas e agroecossitemas em terras secas devido ao frágil equilíbrio edafoclimático e biótico, o que condiciona produções primárias menores do que as comparadas aos trópicos úmidos e quentes. Nesse sentido, o estudo de Srivastava e Singh (2005) compara a composição, densidade e diversidade de espécies entre agroecossistemas de arroz (*Oryza sativa*) de sequeiro e irrigado e de pastagem em trópicos secos. No cultivo de arroz em terras secas, faz-se baixo consumo de fertilizantes, e as plantas são cultivadas por semeadura; já no irrigado, utilizam-se altas adições de fertilizantes, faz-se o manejo da irrigação e o cultivo é feito por meio de transplantio de mudas. Enquanto na pastagem, o consumo de forragem ocorre após a estação chuvosa por meio do pastoreio. Todos os ecossistemas apresentaram número comparável de espécies no inverno (12–14), mas, na época das chuvas, maior número de espécies foi registrado na pastagem (21). A composição de espécies da pastagem foi completamente diferente de ambos os agroecossistemas (semelhança <1%). Os sistemas de cultivo de arroz de sequeiro e irrigado apresentaram apenas 25% e 38% de similaridade entre si durante as estações de inverno e chuvosa, respectivamente. Maior diversidade de espécies ocorreu no pasto em relação aos dois agroecossistemas que cultivavam arroz. As tendências sazonais de diversidade de espécies e uniformidade de espécies foram semelhantes em ambos os agroecossistemas, mas o irrigado exibiu diversidade de espécies relativamente maior. As mudanças na composição e diversidade de espécies em agroecossistemas são atribuídas principalmente a diferenças no manejo da água. A irrigação nesse estudo reduziu a diversidade de ervas daninhas, mas levou à dominância de algumas potencialmente nocivas, como a *Phalaris minor*.

Para apresentar soluções ecológicas para a segurança alimentar global, Isbell et al. (2017) discutem os benefícios de aumento da diversidade de plantas em agroecossistemas sustentáveis. Os autores destacam que, nas próximas décadas, os rendimentos de monocultura tendem a diminuir para muitas culturas – embora o melhoramento genético tenha assegurado o incremento de produtividade de outras culturas – e a demanda por serviços ecossistêmicos continuará a aumentar. Porém esses autores ponderam que promover a diversidade em cultivos agrícolas é uma tarefa difícil em razão dos desafios de origem econômica e cultural. Isso exigiria investimentos financeiros substanciais para desenvolvimento de novos equipamentos de colheita de diversas misturas de sementes. Adicionalmente, há o desafio de identificar, estabelecer e manter misturas de espécies ótimas não só para maximizar o rendimento, mas também outros serviços ecossistêmicos. Muitas vezes há um *trade-off* entre obter altos rendimentos a partir do uso de insumos e aumentar a diversidade, porque os insumos que aumentam o rendimento geralmente diminuem a diversidade. Diante desses desafios, os autores (Isbell et al., 2017) acreditam que a diversificação é alcançável e viável e recomendam duas estratégias complementares para a implementação em sistemas intensivos e extensivos (Tabela 1). A primeira é diversificar agroecossistemas intensivos ou monocultivos por meio de medidas simples como aumentar a diversidade genética das culturas comerciais e plantar cercas vivas ricas em espécies. A segunda estratégia é diversificar os sistemas extensivos como pastagens e florestas plantadas, incluindo o objetivo de superar ou

Tabela 1. Desafios e estratégias para diversificação em agroecossistemas.

Desafio	Estratégia de diversificação intensiva	Estratégia de diversificação extensiva
Identificar a composição ótima das espécies e as abundâncias relativas	Realizar experimentos de triagem para identificar as melhores culturas/misturas de plantas (Finn et al., 2013)	Semear/plantar mistura de diversas espécies e permitir que competição e adaptação selecionem as espécies mais aptas (Bullock et al., 2007)
Manter a composição ideal das espécies e as abundâncias relativas	Periodicamente, restabelecer as melhores misturas de culturas e utilizar insumos moderados para controlar ervas daninhas ou abundância de espécies (desbaste)	Adicionar periodicamente espécies raras ou apoiar a regeneração natural para permitir que elas se tornem mais abundantes, se as condições ambientais variáveis as tornarem mais adequadas
Investir em equipamentos de colheita e diversas misturas de sementes	Desenvolver novos equipamentos para colher diversas misturas de culturas	Produção de escala para reduzir custos de diversas misturas de sementes ou propágulos
Generalizar para outras condições ou serviços ambientais	Identificar misturas ótimas de cultura/plantas sob uma ampla gama de condições relevantes	Avaliar até que ponto as espécies mais adequadas são subótimas para os objetivos do serviço ecossistêmico e ajustar as taxas de semeadura adequadamente

Fonte: Adaptado de Isbell et al. (2017).

apoiar a regeneração natural de áreas remanescentes ou florestas, os quais podem otimizar os rendimentos e os cobenefícios do ecossistema simultaneamente, por exemplo, aumentando o estoque de carbono. Porém, o melhoramento genético de plantas cultivadas em mistura é uma estratégia de longo prazo, que pode ser aplicada aos sistemas intensivos, visto que muitas culturas foram selecionadas para maximizar o rendimento na monocultura, e não na mistura. Sob condições ambientais espacialmente heterogêneas e flutuantes no tempo, diferenças de nicho entre espécies de plantas são úteis para garantir a produção de biomassa e as funções do ecossistema.

A diversificação de culturas pode se tornar uma ferramenta essencial para sustentar a produção de biomassa e os serviços ecossistêmicos em áreas agrícolas, remanescentes ou em florestas plantadas. Assim, aumentar o número e o impacto das ações de conservação da biodiversidade nos mais diversos sistemas agrícolas, em diferentes partes do mundo, tem sido considerado um desafio sem precedentes para a sustentabilidade da agricultura e dos recursos naturais (Paul; Knoke, 2015) e também como medidas de adaptação e mitigação às mudanças climáticas.

Desenho de agroecossistemas

O desenho de agroecossistemas multifuncionais sustentáveis está pautado no desafio de produzir alimentos, fibras e energia em bases sustentáveis, garantindo a segurança alimentar de uma população crescente e diante das mudanças climáticas, preservando o ambiente. Quando adaptados, os agroecossistemas multifuncionais são estratégias basilares para o desenvolvimento sustentável de regiões áridas,

semiáridas e sub-húmidas e possuem uma relação direta com biodiversidade e resiliência.

A importância de se desenvolver desenhos de agroecossistemas multifuncionais sustentáveis é fortalecida por Isbell et al. (2017). Esses autores afirmam que, em vez de simplesmente se perguntar se, com a mistura de plantas, os rendimentos serão significativamente maiores do que os agroecossistemas atuais, deve-se encorajar o seu uso, mesmo em situações em que os rendimentos sejam semelhantes ou ligeiramente inferiores aos da melhor monocultura. Isso porque a mistura de plantas oferece múltiplas outras vantagens. Os autores também destacam a importância do desenvolvimento de estudos que considerem os custos e os benefícios da diversificação.

Corroborando com Isbell et al. (2017), o desenho para a sustentabilidade e o ecodesign, apresentados e discutidos nos estudos por Tischner (2010) e Vezzoli (2018), requerem a geração de soluções benéficas locais e globais para a sociedade, as comunidades, o ambiente natural e os sistemas econômicos. Nesse sentido, é fundamental transpor os conceitos de sustentabilidade, aplicando-os à agricultura e expandindo o foco técnico e epistemológico centrado no produto para mudanças de nível de sistema. Com esse enfoque, a sustentabilidade é entendida como um desafio em que o homem, as plantas e os demais organismos estão no mesmo nível categórico ou vetorial, com ligações, sobreposições e complementaridades.

Os agroecossistemas podem fornecer múltiplos serviços, tais como produção de alimentos, rações, fibras, combustíveis e produtos madeireiros, além do armazenamento de carbono, conservação da biodiversidade e bem-estar humano. Os processos subjacentes a esses serviços ocorrem em diferentes instâncias temporais e escalas espaciais, e a paisagem parece ser a escala apropriada para a avaliação global e gestão do agroecossistema de serviços. É imperativo e urgente, na visão de Poggi e colaboradores (Poggi et al., 2018), projetar paisagens agrícolas sustentáveis como uma solução crucial para garantir suprimentos futuros de alimentos, combustíveis, fibras e materiais, enquanto se preservam recursos naturais, se mitigam as mudanças climáticas globais e se adapta a elas.

O homem, como integrante da natureza e não usuário dela, tem uma relação intrínseca e multifacetada com todos os elementos que compõem o ambiente, e tem a vantagem adaptativa e evolutiva de mediar os *trade-off* estabelecidos. É importante destacar que as estratégias para desenhar agroecossistemas multifuncionais sustentáveis podem ser vistas em várias escalas: a da parcela, da propriedade, da comunidade e do âmbito da economia e sociedade, porém todos os níveis de inter-relações devem ser obrigatoriamente discutidos (Canuto, 2017), independente da magnitude da escala de planejamento.

Há correlações claras entre biodiversidade, resiliência e sustentabilidade dos sistemas agrícolas. Em relação à biodiversidade, torna-se intuitivo que riqueza é o número de táxons por área, e abundância é o número de indivíduos por área. Ademais a biodiversidade é indicador de impacto da mudança de uso da terra e do manejo adotado. A resiliência consiste na habilidade do sistema de readquirir as formas e funcionalidades presentes anteriormente a um distúrbio. Em outro sentido, a resiliência é a aptidão que tem determinado sistema em restaurar seu estado inicial, após a ação de uma perturbação que tenha provocado nele um desequilíbrio significativo. Dentre as propriedades da resiliência, estão a auto-organização do sistema e o aprendizado e adaptação do mesmo em resposta a um processo disruptivo (Vicenti, 2009).

Além disso, os desenhos ou redesenhos de agroecossistemas, dentro de um enfoque agroecológico, significam estimular a geração de benefícios advindos da biodiversidade, como a autorregularão e o fortalecimento da estabilidade dos mesmos, reduzindo expressivamente a exigência da utilização de insumos externos aos sistemas. Para adquirir graus significativos de estabilidade, a partir das relações ecológicas internas, o desenho ou redesenho dos sistemas agrícolas, baseado na incorporação de médios a

altos graus de biodiversidade, somente poderá desenvolver-se em sistemas complexos.

Uma visão que não pode ser desconsiderada é a da intensificação da agricultura sustentável como meio para superar os desafios prementes de sustentar a população em crescimento, seguindo o princípio de aumentar a produção de alimentos com responsabilidade, mantendo e melhorando os serviços ecossistêmicos (Royal Society of Londo, 2009; Godfray et al., 2010). Essa intensificação sustentável fornece os principais pontos de entrada para a redução da vulnerabilidade. No entanto, exige decisões abrangentes sobre fatores ambientais e socioeconômicos, como o potencial dos recursos naturais, a intensidade do uso de recursos, a governança, o papel dos mercados e as preferências de consumo, a fim de evitar um foco restrito do setor produtivo. Como a produção agrícola não pode ser intensificada adequadamente em todos os lugares a um custo aceitável, é essencial identificar regiões onde ela seja uma estratégia viável. É importante considerar que o potencial de intensificação é maior nos trópicos úmidos em relação às regiões áridas, semiáridas e subúmidas por causa da disponibilidade e distribuição de água. Entretanto, as terras secas apresentam outras grandes oportunidades para reduzir a vulnerabilidade e alcançar a segurança alimentar (Pretty et al., 2018).

Benefícios da implantação de modelos de agroecossistemas multifuncionais no Semiárido brasileiro

O Semiárido brasileiro, onde vivem 28 milhões de habitantes, tem uma área de aproximadamente 1.022.000 km^2 (Figura 2A). Essa região possui 1,6 milhão de estabelecimentos agropecuários, dos quais 95% são classificados como agricultura familiar (IBGE, 2012). A mudança de uso do solo, em razão da retirada da vegetação nativa – utilizada para a produção de energia – e da conversão do seu uso para a produção agrícola e instalação de pastagens, é responsável pela remoção de 46,38% da vegetação da Caatinga (Campello, 2008; Brasil, 2010). Porém essa remoção é fragmentada para abrigar uma diversidade grande de cultivos tanto anuais (Tabela 2) como perenes (Tabela 3), totalizando 30 espécies, cuja produtividade média é de aproximadademente 5 t ha^{-1}, produzidas em monocultivos, em mais de 4 milhões de hectares.

Apenas 1% do território Semiárido está preservado dentro de áreas protegidas. Com pouca prioridade na conservação e carente de estudos ambientais, se comparada a outras florestas brasileiras, a Caatinga nativa foi reduzida significativamente em relação a sua área original (Figura 2B). Além disso, 50 espécies da flora da Caatinga estão ameaçadas de extinção e uma parcela adicional está em risco (Meiado et al., 2012). Para reverter essa situação, uma das estratégias para conservar essas espécies é incorporar produtos oriundos do extrativismo aos sistemas de produção agrícola.

A base da produção de alimentos e geração de renda tem uma natureza diversa, o que facilita a implantação de diversos desenhos de agroecossistemas multifuncionais sustentáveis. Nesse contexto, o Semiárido brasileiro reúne características que o tornam único em relação às demais regiões do Brasil e do mundo.

Ao longo da última década, pesquisadores da Embrapa Semiárido vêm concentrando esforços e liderando ações de pesquisa para desenvolver modelos de agroecossistemas multifuncionais sustentáveis para áreas irrigadas, áreas dependentes de chuva e áreas de pastagens, associando ações de preservação e aumento da capacidade de suporte da Caatinga. Assim, foram instalados dois experimentos de longa duração para agricultura irrigada, desenvolvendo modelos para frutícolas, em 2008, e olerícolas, em 2011, e modelos para integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF).

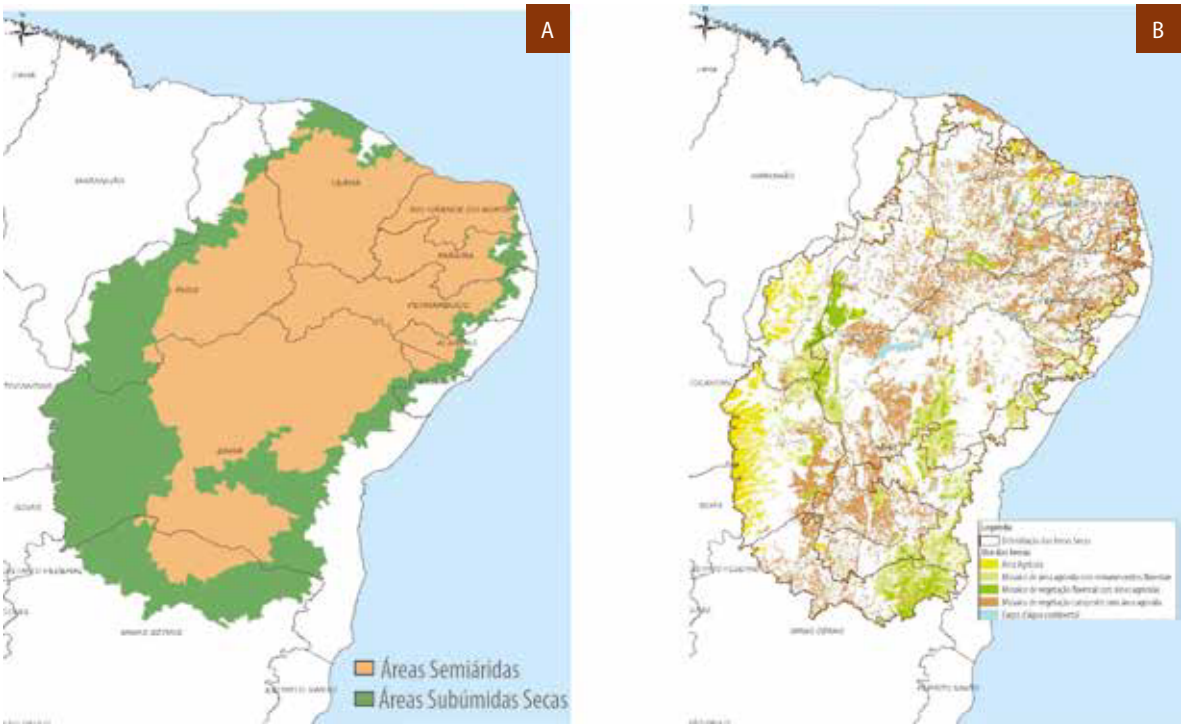

Figura 2. Delimitação das terras secas no Brasil (A) e usos e coberturas vegetais em terras secas (B).

Em relação à agricultura irrigada, foram propostos modelos de agroecossistemas para os cultivos de meloeiro e mangueira (Giongo et al., 2018) eficientes em sequestrar carbono no solo (Giongo et al., 2017b), ciclar nutrientes (Brandão et al., 2017b) e fixar nitrogênio biologicamente (Ferreira Neto et al., 2017), mitigando as emissões de óxido nitroso (N_2O) (Freitas et al., 2018) e dióxido de carbono (CO_2) (Freitas, 2018). Estudos recentes também demostraram que os agroecossistemas propostos para olerícolas e frutícolas irrigadas têm efeitos positivos na fauna edáfica (Freitas, 2018) e colonização de raízes por fungos microrrízicos. A mitigação do impacto ambiental foi demonstrada pela redução das pegadas de carbono e hídrica, eutrofização das águas, lixiviação, toxidez câncer e não câncer (Santos et al., 2018).

Muitos foram os avanços realizados na área irrigada, mas outros desafios são postos para otimização dos modelos de agroecossistemas multifuncionais sustentáveis, entre eles: ajustar a recomendação da adubação nitrogenada e de macronutrientes; fornecer tabelas de exportação dos nutrientes pelos cultivos irrigados; entender o mecanismo de estabilização da matéria orgânica e o ponto de saturação de carbono no solo; substituir a matriz energética de origem fóssil ou hidroelétrica por solar ou eólica; e avaliar os impactos ambiental e econômico das soluções tecnológicas integradas nos sistemas de produção, por meio da análise comparativa do modelo vigente e do modelo proposto, integrando as soluções tecnológicas e utilizando como ferramentas a avaliação do ciclo de vida e análise econômica.

As soluções tecnológicas e de inovação, quando analisadas conjuntamente, fornecem modelos de cadeias produtivas sustentáveis e competitivas, registrando a contribuição aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), estabelecidos pela Organização das Nações Unidas (ONU), e que compõem uma agenda mundial para a construção e implementação de políticas públicas. Adicionalmente, a visualização do impacto ambiental e econômico do conjunto das soluções tecnológicas, na forma de um modelo de cadeia produtiva alternativo ao modelo vigente, facilitará a tomada de decisão, tanto na

Tabela 2. Produto e produção no Semiárido brasileiro – cultivos anuais.

Produto	Área plantada (ha)	Área colhida (ha)	Quantidade produzida (t)	Produtividade (t ha^{-1})
Abacaxi (*Ananas comosus*) (1.000 frutos)	7.577	7.394	203.649	27,54
Algodão herbáceo (*Gossypium hirsutum*)	54.036	51.383	70.917	1,38
Alho (*Allium sativum*)	610	610	6.338	10,39
Arroz (*Oryza sativa*) (em casca)	53.523	44.251	91.367	2,06
Batata-doce (*Ipomoea batatas*)	6.745	6.498	58.855	9,06
Batata-inglesa (*Solanum tuberosum*)	6.313	6.313	245.129	38,83
Cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*)	125.525	122.378	6.884.902	56,26
Cebola (*Allium cepa*)	10.554	10.504	221.081	21,05
Fava (*Vicia faba*) (em grão)	19.430	17.670	5.493	0,31
Feijão (*Phaseolus vulgaris*) (em grão)	1.091.357	902.536	336.744	0,37
Mamona (*Ricinus communis*) (baga)	82.714	42.341	11.626	0,27
Mandioca (*Manihot esculenta*)	222.067	208.595	1.702.433	8,16
Melancia (*Citrullus lanatus*)	17.955	17.740	417.400	23,53
Melão (*Cucumis melo*)	19.231	19.196	537.299	27,99
Milho (*Zea mays*) (em grão)	1.326.895	1.013.581	1.551.446	1,53
Sorgo (*Sorghum bicolor*) (em grão)	94.502	85.738	32.694	0,38
Tomate (*Solanum lycopersicum*)	10.930	10.910	513.607	47,08
Total	**3.149.964**	**2.567.638**	**12.890.980**	**5,02**

Fonte: Adaptado de IBGE (2013).

esfera pública quanto privada, bem como a incorporação das novas tecnologias propostas.

Os avanços tecnológicos para pecuária vêm sendo desenvolvidos desde a década de 1970 e estão associados ao melhoramento de rebanhos e de plantas forrageiras, recuperação das pastagens e aumento da capacidade de suporte e preservação da Caatinga. Ações conservacionistas ex situ e in situ, como coleta e armazenamento adequado das sementes florestais, formação de pomares de sementes, replantio de árvores em áreas degradadas, fortalecem o

Tabela 3. Produto e produção no Semiárido brasileiro – cultivos permanentes.

Produto	Área destinada à colheita (ha)	Área colhida (ha)	Quantidade produzida (t)	Produtividade (t ha^{-1})
Algodão arbóreo (*Gossypium arboreum*)	34	32	7	0,22
Banana (*Musa* spp.)	116.247	115.547	1.600.260	13,85
Castanha-de-caju (*Anacardium occidentale*)	445.145	431.626	72.803	0,17
Coco-da-baía (*Cocos nucifera*)	32.522	32.423	370.362	11,42
Goiaba (*Psidium guajava*)	6.265	6.229	140.240	22,51
Laranja (*Citrus sinensis*)	27.375	27.159	376.563	13,87
Limão (*Citrus Limonium*)	6.406	6.406	133.117	20,78
Maçã (*Malus domestica*)	47	47	702	14,94
Mamão (*Carica papaya*)	8.768	8.752	382.595	43,72
Manga (*Mangifera indica*)	44.937	44.881	781.112	17,40
Maracujá (*Passiflora edulis*)	30.340	30.298	449.153	14,82
Sisal ou agave (*Agave sisalana*) (fibra)	243.759	176.739	150.584	0,85
Uva (*Vitis vinifera*)	8.824	8.824	281.620	31,92
Total	**970.669**	**888.963**	**4.739.118**	**5,33**

Fonte: Adaptado de IBGE (2013).

portfólio de estratégias e tecnologias disponíveis. A educação para comunidades locais e a pesquisa de técnicas de conservação e reflorestamento de baixo custo são necessárias para a conservação da biodiversidade da Caatinga para promover a inovação. Além disso, a combinação de pastagens com florestas em sistemas agroflorestais (SAFs) pode ser uma alternativa para recuperação de ambos os ecossistemas (Drumond et al., 2004). Também se destacam estratégias de convivência com o Semiárido, preservação da biodiversidade e sustentabilidade dos agroecossistemas e as tecnologias de armazenamento de alimentos e água.

Para algumas regiões, como no Agreste e Tabuleiros Costeiros, existem modelos de sistemas de integração, como pecuária-floresta (IPF) e lavoura-pecuária-floresta (ILPF). Entretanto, não há modelos definidos de agroecossistemas multifuncionais para o Sertão, sub-região com a menor pluviosidade. Por isso, a Embrapa Semiárido vem desenvolvendo estudos testando níveis crescentes de complexidade por meio da inserção de biodiversidade. Assim, há a necessidade de acompanhar a evolução dos modelos no tempo, bem como desenvolver soluções de inovações em alguns pontos específicos e nevrálgicos para o sucesso de modelos de agroecossistemas multifuncionais para a pecuária.

Na Embrapa Semiárido, as primeiras iniciativas com desenhos de agroecossistemas multifuncionais sustentáveis contemplando a pecuária ocorreram em 2008 e 2009, quando se iniciou um amplo estudo sobre mudança do uso da terra e estoque de carbono (Cunha et al., 2010; Almeida et al., 2014; Santana et al., 2015; Jesus et al., 2016;

Giongo et al., 2017a). Outra iniciativa foi estabelecer uma curva de fósforo para genótipos de capim-buffel (*Cenchrus* spp.) (Giongo et al., 2015). Há necessidade de se obter informações importantes para criar soluções tecnológicas robustas para o convívio produtivo e sustentável com o Semiárido, destacando-se curvas de resposta à NPK e ao cálcio (Ca) para a recuperação de pastagens, estratégias de recuperação e preservação da Caatinga por meio da adubação corretiva para aumentar a produtividade primária de espécies forrageiras nativas, banco de sementes e mudas de espécies arbóreas, estudos de cenários integrando soluções tecnológicas, entre outros.

Ações de inovação voltadas para a Caatinga, como a conservação de sementes, pesquisa com processos germinativos e fornecimento de sementes, desempenham um papel fundamental na restauração ecológica bem-sucedida. Em ecossistemas semiáridos como a Caatinga, os bancos de sementes são importantes elementos da comunidade, pois as plantas anuais representam uma grande parte da flora e suas sementes podem permanecer viáveis por muitos anos. Esses bancos são caracterizados pela alta variabilidade espacial e temporal e são, particularmente, afetados pelo padrão espacial da vegetação (Meiado et al., 2012; Meiado, 2014). O estudo da qualidade do banco de sementes no solo permite a avaliação do potencial de regeneração, que pode fornecer relevantes informações para a tomada de decisões sobre as ações mais apropriadas na restauração ecológica de uma área degradada (Tres et al., 2007).

Em relação à agricultura dependente de chuva, destaca-se que, por causa da irregularidade das chuvas, não é possível planejar um modelo de produção dependente exclusivamente das precipitações. Assim os esforços para promover a biodiversidade, a estabilidade da produção primária e os agroecossistemas multifuncionais têm se concentrado, nas últimas décadas, no desenvolvimento de estratégias e tecnologias de captação e armazenamento água da chuva (Cavalcanti et al., 1999; Lopes et al., 1999; Silva et al., 2006a; Santos et al., 2007; Brito et al., 2015), produtividade dos cultivos e programas de melhoramento, a exemplo do robusto programa de feijão-caupi (*vigna unguiculata*) (Silva, 2018; Silva; Santos, 2017).

Desenvolver modelos de agroecossistemas multifuncionais sustentáveis para ambientes dependentes de chuva no Semiárido é um desafio, por causa dos cenários de mudanças climáticas. Por isso, é imperativo que esses modelos integrem geotecnologias, modelos de previsão, melhoramento genético de plantas, utilização de biotecnologias, estratégia de manejo de solo e de água para potencializar a produtividade dos cultivos e da água. Assim, a gestão eficiente dos recursos naturais, como o solo e a água, é de grande importância para mediar favoravelmente as relações solo-planta-ambiente a fim de compor um sistema produtivo e sustentável no Semiárido, de forma que promova o aumento da biodiversidade e a segurança alimentar.

O grande desafio é sistematizar, desenvolver e implantar soluções tecnológicas para a agricultura de baixa emissão de carbono e entregar modelos de desenho de agroecossistemas multifuncionais sustentáveis, como estratégias tecnológicas para garantir o acesso a alimentos, energia e água, o bem-estar humano e a preservação do ambiente frente aos processos de degradação antrópicos e cenários de mudanças climáticas globais no Semiárido brasileiro. Nesse sentido, entende-se que o caminho a seguir é fornecer soluções tecnológicas (tecnologias, produtos, processos e conhecimentos) para que governo, agricultores e iniciativa privada possam criar estruturas e vínculos para implantar agroecossistemas sustentáveis à luz da biosfera, integrando conceitos de resiliência, adaptação, mitigação, transformação e preservação em uma abordagem única à ciência reflexiva e colaborativa.

Considerações finais

Os atuais sistemas de produção de alimentos requerem reformas fundamentais em face do crescimento populacional, das mudanças climáticas e da degradação do ambiente. Esta época é caracterizada pela atividade humana influenciando profundamente o clima e o ambiente (Antropoceno). Os pontos de inflexão

podem ser negativos ou positivos. Enquanto um ponto de inflexão negativo pode produzir uma deterioração súbita, rápida e irreversível dos sistemas sociais e ambientais, um ponto de inflexão positivo pode produzir sistemas sociais e ecológicos saudáveis e sustentáveis. A chave para promover pontos de inflexão globais positivos é uma compreensão completa da atividade humana e da história de vida em escala evolutiva, juntamente com a integração abrangente de ciência e tecnologia para produzir políticas e práticas inteligentes de produção de alimentos, particularmente no mundo em desenvolvimento.

Dessa forma, aumentar a eficiência e a escala da agricultura de monocultura intensiva dificilmente conduzirá mudanças socioecológicas em uma direção positiva e sustentável. Assim, agroecossistemas multifuncionais podem compor umas das soluções para o trilema saúde-dieta-ambiente a fim de alcançar um impacto líquido positivo sobre a biodiversidade por meio do aumento antropogênico de ecossistemas com base na fundação ecológica da saúde genética, metabólica e ecossistêmica.

Referências

ALMEIDA, L. E.; GIONGO, V.; MENDES, A. M. S.; JESUS, T. S. de; SANTOS, C. V. B. dos; CUNHA, T. J. F. Atributos físicos e químicos do solo em diferentes fitofisionomias do Bioma Caatinga e o impacto da mudança do uso da terra. In: JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA EMBRAPA SEMIÁRIDO, 9., 2014, Petrolina. **Anais** [...] Petrolina: Embrapa Semiárido, 2014. p. 147-153. (Embrapa Semiárido. Documentos, 261).

ALTIERI, M. A.; NICHOLLS, C. I. **Biodiversity and pest management in agroecosystems**. 2. ed. New York: Haworth Press, 2004. 236 p.

BEGON, M.; TOWNSEND, C. R.; HARPER, J. L. **Ecologia**: de indivíduos a ecossistemas. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2006. 752 p.

BRANDÃO, S. da S.; GIONGO, V.; OLSZEVSKI, N.; SALVIANO, A. M. Coquetéis vegetais e sistemas de manejo alterando a qualidade do solo e produtividade da mangueira. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 10, n. 4, p. 1079-1089, 2017a.

BRANDÃO, S. da S.; SALVIANO, A. M.; OLSZEVSKIA, N.; GIONGO, V. Green manure contributing for nutrients cycling in irrigated environments of the Brazilian Semi-Arid. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, v. 2, n. 4, p. 519-525, 2017b.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Monitoramento do Bioma Caatinga**. Brasília, DF, 2010. Disponível em: https://antigo.mma.gov.br/estruturas/sbf_chm_rbbio/_arquivos/relatorio_tecnico_caatinga_2008_2009_72.pdf. Acesso em: 25 mar. 2020.

BRITO, L. T. de L.; SILVA, M. S. L. da; ANJOS, J. B. dos; OLIVEIRA NETO, M. B. de; BARBOSA, A. G. Tecnologias de captação, manejo e uso da água de chuva no setor rural. In: SANTOS, D. B. dos; MEDEIROS, S. de S.; BRITO, L. T. de L.; GNADLINGER, J.; COHIM, E.; PAZ, V. P. da S.; GHEYI, H. R. (org.). **Captação, manejo e uso de água de chuva**. Campina Grande: Insa: ABCMAC, 2015. p. 241-272.

BULLOCK, J. M., PYWELL, R. F.; WALKER, K. J. Long-term enhancement of agricultural production by restoration of biodiversity. **Journal of Applied Ecology**, v. 44, p. 6-12, 2007.

CAMPELLO, B. F. O uso da energia de biomassa no Bioma Caatinga. In: SEMANA DO MEIO AMBIENTE, 5., 2008, Recife. **Mudanças climáticas e o Nordeste brasileiro**. Recife: Fundação Joaquim Nabuco, 2008. 1 CD-ROM.

CANUTO, J. C. Agroecologia : princípios e estratégias para o desenho de agroecossistemas sustentáveis. **Redes**, v. 22, n. 2, p. 137-151, 2017. DOI: 10.17058/redes.v22i2.9351.

CARDINALE, B. J.; DUFFY, J. E.; GONZALEZ, A.; HOOPER, D. U.; PERRINGS, C.; VENAIL, P.; NARWANI, A.; MACE, G. M.; TILMAN, D.; WARDLE, D. A.; KINZIG, A. P.; DAILY, G. C.; LOREAU, M.; GRACE, J. B.; LARIGAUDERIE, A.; SRIVASTAVA, D. S.; NAEEM, S. Biodiversity loss and its impacton humanity. **Nature**, v. 486, n. 7401, p. 59-67, 2012. DOI: 10.1038/nature11148.

CAVALCANTI, N. de B.; OLIVEIRA, C. A. V.; BRITO, L. T. de L.; RESENDE, G. M. de Utilização das tecnologias de captação de agua de chuva na região semi-árida do Nordeste brasileiro. In: CONFERENCIA INTERNACIONAL SOBRE SISTEMAS DE CAPTAÇÃO DE AGUA DE CHUVA, 9., 1999, Petrolina. **Anais** [...] Petrolina: Embrapa Semi-Arido: Singapura: IRCSA, 1999. 1 CD-ROM.

CUNHA, T. J. F.; PETRERE, V. G.; SILVA, D. J.; MENDES, A. M. S.; MELO, R. F. de; OLIVEIRA NETO, M. B. de; SILVA, M. S. L. da; ALVAREZ, I. A. Principais solos do semiárido tropical brasileiro: caracterização, potencialidades, limitações, fertilidade e manejo. In: SA, I. B.; SILVA, P. C. G. da. (ed.). **Semiárido brasileiro**: pesquisa, desenvolvimento e inovação. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2010. p. 50-87

DRUMOND, M. A.; KIILL, L. H. P.; LIMA, P. C. F.; OLIVEIRA, M. C. de; OLIVEIRA, V. R. de; ALBUQUERQUE, S. G. de; NASCIMENTO, C. E. de S.; CAVALCANTI, J. Estratégias para o uso sustentável da biodiversidade da caatinga. In: SILVA, J. M. C. da; TABARELLI, M.; FONSECA, M. T. da; LINS, L. V. (org.). **Biodiversidade da Caatinga**: áreas e ações prioritárias para a conservação. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente: Universidade Federal de Pernambuco, 2004. p. 329-340.

FERREIRA NETO, R. A.; FREITAS, A. D. S. de; GIONGO, V.; CAMARGO, P. B.; MENEZES, R. S. C.; SAMPAIO, E. V. de S. Nitrogen fixation of Poaceae and Leguminoseae in a green manure experiment in the Brazilian semiarid region. **Australian Journal of Crop Science**, v. 11, n. 11, p. 1474-1480, 2017.

FINN, J. A.; KIRWAN, L.; CONNOLLY, J.; SEBASTIÀ, M. T.; HELGADOTTIR, A.; BAADSHAUG, O. H.; LÜSCHER, A. Ecosystem function enhanced by combining four functional types of plant species in intensively managed grassland mixtures: a 3-year continental-scale field experiment. **Journal of Applied Ecology**, v. 50, n. 2, p. 365-375, 2013. DOI: 10.1111/1365-2664.12041.

FLORENCE, A. M.; HIGLEY, L. G.; DRIJBER, R. A.; FRANCIS, C. A.; LINDQUIST, J. L. Cover crop mixture diversity, biomass productivity, weed suppression, and stability. **PloS One**, Mar. 2019. DOI: 10.1371/journal.pone.0206195.

FREITAS, M. S. C. **Distribuição da fauna epigeica, ciclagem de nutrientes e carbono do solo em um agroecossistema de mangueira no Semiárido**. 2018. 115 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal da Paraíba, Areia.

FUNABASHI, M. Human augmentation of ecosystems: objectives for food production and science by 2045. **Nature Science of Food**, n. 2, Aug. 2018. DOI: 10.1038/s41538-018-0026-4.

GABA, S.; LESCOURRET, F.; BOUDSOCQ, S.; ENJALBERT, J.; HINSINGER, P.; JOURNET, E. P.; NAVAS, M. L.; WERY, J.; LOUARN, G.; MALÉZIEUX, E.; PELZER, E.; PRUDENT, M.; LAFONTAINE, H. O. Multiple cropping systems as drivers for providing multiple ecosystem services : from concepts to design. **Agronomy for Sustainable Develoment**, v. 35, p. 607-623, 2015. DOI: 10.1007/s13593-014-0272-z.

GIONGO, V.; SALVIANO, A. M.; ANGELOTTI, F.; TAURA, T. A.; LEITE, L. F. C.; CUNHA, T. J. F. Low carbon technologies for agriculture in dryland: Brazilian experience. In: RAO, C. S.; SHANKER, A. K.; SHANKER, C. (ed.). **Climate resilient agriculture**: strategies and perspectives. Rijeka, Croatia: InTech, 2018. p. 105-127.

GIONGO, V.; SALVIANO, A. M.; SANTOS, B. R. dos; LEAL, E. F. Phosphorus fertilization and growth of buffel grass (*Cenchrus ciliares* L.) cultivars. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, p. 34-38, 2015. DOI: 10.1111/1365-2664.12041.

GIONGO, V.; SALVIANO, A. M.; CUNHA, T. J. F.; SANTANA, M. da S. Impacto da mudança do uso da terra no estoque de carbono do Semiárido brasileiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 36., 2017, Belém, PA. **Amazônia e seus solos**: peculiaridades e potencialidades. Belém, PA: SBCS, 2017a.

GIONGO, V.; SANTANA, M. da S.; BRANDÃO, S. da S.; SALVIANO, A. M.; COSTA, N. D.; YURI, J. E.; VEZZANI, F. M. Sistema conservacionista de cultivo de melão utilizando coquetéis vegetais no Submédio São Francisco. In: FIGUEIREDO, M. C. B. de; GONDIM, R. S.; ARAGÃO, F. A. S. de. (ed.). **Produção de melão e mudanças climáticas**: sistemas conservacionistas de cultivo para redução das pegadas de carbono e hídrica. Brasília, DF: Embrapa, 2017b. p. 231-253.

GODFRAY, H. C. J.; BEDDINGTON, J. R.; CRUTE, I. R.; HADDAD, L.; LAWRENCE, D.; MUIR, J. F.; PRETTY, J.; ROBINSON, S.; THOMAS, S. M.; TOULMI, C. Food security: the challenge of feeding 9 billion people. **Science**, v. 327, n. 5967, p. 812-818, Feb. 2010. DOI: 10.1126/science.1185383.

IBGE. **Manual técnico da vegetação brasileira**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2012. 274 p. (IBGE. Manuais técnicos em geociências, 1).

IBGE. **Produção Agrícola Municipal**: culturas temporárias e permanentes. Rio de Janeiro, 2013.

ISBELL, F.; ALDER, P. R.; EISENHAUER, N.; FORNARA, D.; KIMMEL, K.; KREMEN, C.; LETOURNEAU, D. K.; LIEBMAN, M.; POLLEY, H. W.; QUIJAS, S. Benefits of increasing plant diversity in sustainable agroecosystems. **Journal of Ecology**, v. 105, p. 871-879, June 2017. DOI: 10.1111/1365-2745.12789.

JESUS, T. S. de; GIONGO, V.; GONÇALVES, M.; SANTANA, M. da S.; ALMEIDA, L. E. da S. Impacto da mudança do uso da terra nos teores de carbono do solo no Semiárido brasileiro. In: JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA EMBRAPA SEMIÁRIDO, 11., 2016, Petrolina. **Anais** [...] Petrolina: Embrapa Semiárido, 2016. p. 143-150. (Embrapa Semiárido. Documentos, 271).

LOPES, P. R. C.; ANJOS, J. B. dos; SILVA, A. de S.; PORTO, E. R.; SILVA, M. S. L. da; CORDEIRO, G. G. Conservação da capacidade produtiva do solo em sistemas de captação de água de chuva "in situ". In: CONFERENCIA INTERNACIONAL SOBRE SISTEMAS DE CAPTACAO DE AGUA DE CHUVA, 9., 1999, Petrolina. **Anais** [...] Petrolina: Embrapa Semi-Arido; Singapura: IRCSA, 1999. 1 CD-ROM.

MEIADO, M. V. Banco de sementes no solo da Caatinga, uma Floresta Tropical Seca no Nordeste do Brasil. **Informativo Abrates**, v. 24, n. 3, p. 39-43, 2014.

MEIADO, M. V.; SILVA, F. F. S.; BARBOSA, D. C. de A.; SIQUEIRA FILHO, J. A. de. Diaspore of the Caatinga: a review. In: PIRANI, J. R.; LOHMANN, L. G.; SILVA, R. de M.; SOUZA, V. C. (ed.). **Flora of the Caatingas of the São Francisco river**. Rio de Janeiro: Andrea Jakobsson Estúdio Editorial, 2012. p. 306-365.

MUELLER, K.; FORNARA, D. A.; HOBBIE, S. E. Root depth distribution and the diversity-productivity relationship in a long- term grassland experiment. **Ecology**, v. 94, n. 4, p. 787-793, Apr. 2013. DOI: 10.1890/12-1399.1.

NICHOLLS, C. I.; ALTIERI, M. A. Agroecological principles for the conversion of farming systems: principles, applications, and making the transition **Journal of Ecosystems and Ecography**, Aug. 2017. Disponível em: https://www.omicsonline. org/open-access/agroecology-principles-for-the-conversion-and-

redesign-of-farming-systems-2157-7625-S5-010.php?aid=72904. Acesso em: 5 set. 2019.

PAUL, C.; KNOKE, T. Between land sharing and land sparing–what role remains for forest management and conservation?. **International Forestry Review**, v. 17, n. 2, p. 210-230. 2015.

POGGI, S.; PAPAIX, J.; LAVIGNE, C.; ANGEVIN, F.; LE BER, F.; PARISEY, N.; RICCI, B.; VINATIER, F.; WOHLFAHRT, J. Issues and challenges in landscape models for agriculture : from the representation of agroecosystems to the design of management strategies. **Landscape Ecology**, v. 33, p. 1679-1690, 2018. DOI: 10.1007/s10980-018-0699-8.

PRETTY, J.; BENTON, T. G.; BHARUCHA, Z. P.; DICKS, L. V.; FLORA, C. B.; GODFRAY, H. C. J.; GOULSON, D.; HARTLEY, S.; LAMPKIN, N.; MORRIS, C.; PIERZYNSKI, G.; PRASAD, P. V. V.; REGANOLD, J.; ROCKSTROM J.; SMITH, P.; THORNE, P.; WRATTEN, S. Global assessment of agricultural system redesign for sustainable intensification. **Nature Sustainability**, v. 1, p. 441-446, Aug. 2018. DOI: 10.1007/s10980-018-0699-8.

RICKLEFS, R. E. **A economia da natureza**. 6. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2010. 546 p.

RICKLEFS, R. E. **A economia da natureza**. 5. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2003. 503 p.

ROYAL SOCIETY OF LONDON. **REAPING the benefits**: science and the sustainable intensification of global agriculture. London, Oct. 2009. 73 p. Disponível em: https://royalsociety.org/~/media/Royal_Society_Content/policy/publications/2009/4294967719.pdf. Acesso em: 22 set. 2019.

SANTANA. M. da S.; FERRÃO, N. G. de M.; LUCENA, E. H. L. de; ANDRADE, I. G. V. de; ALMEIDA, L. E. S.; GIONGO, V. Efeito da mudança do uso da terra nos estoques de carbono e nitrogênio em solos do Semiárido Pernambucano. In: SIMPÓSIO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS E DESERTIFICAÇÃO NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO, 4., 2015, Petrolina. **Experiências e oportunidades para o desenvolvimento**. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2015. (Embrapa Semiárido. Documentos, 262).

SANTOS, E. de O. C.; SANTOS, D. N. dos; BRITO, L. T. de L.; SILVA, A. de S. Experiência brasileira sobre captação, armazenamento, gestão e qualidade da água de chuva para consumo humano em comunidades rurais do Haiti. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CAPTAÇÃO E MANEJO DE ÁGUA DE CHUVA, 6., 2007, Belo Horizonte. Água **de chuva**: pesquisas, políticas e desenvolvimento sustentável - anais. Belo Horizonte: UFMG, 2007. 1 CD-ROM.

SANTOS, T. de L.; NUNES, A. B. A.; GIONGO, V.; BARROS, V. da S.; FIGUEIREDO, M. C. B. de. Cleaner fruit production with green manure: the case of Brazilian melons. **Journal of Cleaner Production**, v. 181, p. 260-270, Apr. 2018. DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.12.266.

SILVA, A. de S.; BRITO, L. T. de L. Captação de água de chuva: sustentabilidade ambiental no semi-árido brasileiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 35., 2006, João Pessoa. **Anais** [...] João Pessoa: SBEA, 2006. 1 CD-ROM

SILVA, D. O. M. da; SANTOS, C. A. F. Adaptability and stability parameters of iron and zinc concentrations and grain yield in cowpea lines in the Brazilian Semiarid region. **Crop Science**, v. 57, n. 6, p. 2922-2931, Oct. 2017. DOI: 10.2135/cropsci2016.06.502.

SILVA, D. O. M. da. **Parâmetros de adaptabilidade e estabilidade para produção de grãos, teores de proteínas e minerais em feijão-caupi (**vigna unguiculata **(l.) walp.) no semiárido brasileiro**. 2018. 190 f. Tese (Doutorado em Recursos Genéticos Vegetais) – Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana.

SILVA, M. M. P.; OLIVEIRA, L. A. de; DINIZ, C. R.; CEBALLOS, B. S. O. Educação Ambiental para o uso sustentável de água de cisternas em comunidades rurais da Paraíba. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 1, p. 122-136, 2006.

SRIVASTAVA, R.; SINGH, K. P. Species diversity in dryland and irrigated agroecosystems and marginal grassland ecosystem in dry tropics. **Community Ecology**, v. 6, n. 2, p. 131-141, Dec. 2005. DOI: 10.1556/comec.6.2005.2.2.

TILMAN, D.; CLARK, M. Global diets link environmental sustainability and human health. **Nature**, v. 515, p. 518-522, 2014. DOI: 10.1038/nature13959.

TISCHNER, U. Design for Sustainability: where are we and where do we need to go? In: LEARNING NETWORK ON SUSTAINABILITY (LENS) CONFERENCE, 2010, Bangalore, India, 2010. Sustainability in design: now challenges and opportunities for design research, education and practice in the XXI century - proceedings. Sheffield: Greenleaf Publishing, 2010.

TRES, D. R.; SANT'ANNA, C. S.; BASSO, S.; LANGA, R.; RIBAS JÚNIOR, U.; REIS, A. Banco e chuva de sementes como indicadores para a restauração ecológica de matas ciliares. **Revista Brasileira de Biociências**, v. 5, p. 309-311, 2007. Suplemento 1.

VEZZOLI, C. Design for sustainability: an introduction. In: VEZZOLI, C.; CESCHIN, F.; OSANJO, L.; M'RITHAA, M. K.; MOALOSI, R.; NAKAZIBWE, V.; DIEHL, J. C**. Designing sustainable energy for all**: sustainable product-service system design applied to distributed renewable energy. Cham: Springer, 2018. p. 103-124.

VINCENTI, R. D. Conceptos y relaciones entre naturaleza, ambiente, desarrollo sostenido y resiliencia. In: ENCUENTRO DE GEÓGRAFOS DE AMÉRICA LATINA, 12., 2009, Montevideo. **Anales** [...] Montevideo, [s.n.], 2009. Disponivel em: http://observatoriogeograficoamericalatina.org.mx/egal12/Teoriaymetodo/Conceptuales/21.pdf. Acesso em: 25 out. 2019.

WEIBULL, A. C.; ÖSTMAN, Ö.; GRANQVIST, Å. Species richness in agroecosystems: the effect of landscape, habitat and farm management. **Biodiversi**ty & Conservation, v. 12, n. 7, 1335-1355, 2003.