



**ALISSA ALBUQUERQUE DE CARVALHO**

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE FORNECIMENTO DE  
SERVIÇOS AMBIENTAIS POR SISTEMAS  
AGROFLORESTAIS**

**LAVRAS - MG**

**2019**

**ALISSA ALBUQUERQUE DE CARVALHO**

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE FORNECIMENTO DE SERVIÇOS  
AMBIENTAIS POR SISTEMAS AGROFLORESTAIS**

**Monografia apresentada à  
Universidade Federal de Lavras, como  
parte das exigências do Curso de  
Engenharia Florestal, para a obtenção  
do título de Bacharel.**

**Prof. Dr. Otávio Camargo Campoe Orientador  
Profa. Dra. Joyce Silvestre de Sousa Coorientadora**

**LAVRAS - MG  
2019**

**ALISSA ALBUQUERQUE DE CARVALHO**

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE FORNECIMENTO DE SERVIÇOS  
AMBIENTAIS POR SISTEMAS AGROFLORESTAIS**

**ASSESSMENT OF ENVIRONMENTAL SERVICES POTENTIALLY PROVIDED  
BY AGROFORESTRY SYSTEMS**

**Monografia apresentada à  
Universidade Federal de Lavras, como  
parte das exigências do Curso de  
Engenharia Florestal, para a obtenção  
do título de Bacharel.**

**APROVADA em 25 de Junho de 2019.  
Dr. Otávio Camargo Campoe UFLA  
Dra. Joyce Silvestre de Sousa IFTM**

**Prof. Dr. Otávio Camargo Campoe Orientador  
Dra. Joyce Silvestre de Sousa Coorientadora**

**LAVRAS - MG  
2019**

## AGRADECIMENTOS

À todos aqueles que desconheço, mas que foram essenciais para a presente conquista.

Aos meus pais, Luis e Simone, por todo o amor.

Aos meus três irmãos, Arielle, Jonas e Annita, pelos quais guardo profunda admiração.

À todos os professores que se dedicam à formação e ao sucesso de seus alunos e da nossa sociedade.

Aos amigos irmãos, por todo o companheirismo e inspiração.

Aos grandiosos ensinamentos do Yoga, que me ensinam diariamente sobre a riqueza da simplicidade e do contentamento.

Agradeço sobretudo pela oportunidade à vida e pelo grande privilégio de estudar, questionar, aprender e ensinar. Que eu possa servir e retribuir ao mundo muitas vezes mais do que me foi oferecido.

*Feliz aquele que transfere o que sabe e aprende o que ensina.*

Cora Coralina

## RESUMO

Nas últimas décadas, o homem modificou os ecossistemas de maneira muito mais acelerada do que em qualquer outro período da história humana, sendo os efeitos de tais alterações cada vez mais evidentes, sendo as mudanças climáticas um reflexo direto. Neste cenário, entende-se que é um dever dos meios técnicos e científicos ligados à agricultura engajar-se no desafio fundamental desta e das próximas gerações: a conciliação do desenvolvimento econômico com a disponibilidade limitada dos recursos biológicos e minerais, assegurando a capacidade suporte do planeta. Neste contexto, questionamos: I) por que medir, modelar e avaliar os serviços ecossistêmicos? II) Os sistemas agroflorestais são potenciais ofertantes de serviços ecossistêmicos? III) Os proprietários rurais que implementam sistemas agroflorestais podem se tornar efetivos recebedores de incentivos econômicos como o pagamento por serviço ambiental? IV) Existem ferramentas que podem auxiliar neste processo? O método de pesquisa utilizado foi o bibliográfico e documental. Quantificar, avaliar e mapear os serviços ecossistêmicos confirmaram ser etapas importantes como forma de justificar a relevância das práticas de conservação, angariando reconhecimento dos benefícios gerados por aqueles que conservam. Diante do entendimento da conservação como elemento indispensável à viabilidade dos sistemas produtivos, os serviços ambientais ofertados pelos sistemas agroflorestais começam a receber mais atenção e reconhecimento devido ao papel que cumprem na regulação climática, no enriquecimento do solo, na conservação da biodiversidade, na melhoria da qualidade da água e do ar, dentre outros benefícios que fluem para a sociedade como um todo. O uso do pagamento por serviço ambiental, um instrumento econômico de gestão ambiental destinado à remuneração de atividades que geram serviços ecossistêmicos, demonstra ser um método adequado para estimular e apoiar a difusão dos Sistemas Agroflorestais. Neste contexto, o inVEST, destaca-se como uma ferramenta acessível que pode auxiliar no processo de modelagem, quantificação e valoração dos serviços ecossistêmicos e capaz de, juntamente com o instrumento econômico de pagamento por serviço ambiental, previsto em Lei desde 2012, incentivar proprietários ou empresas a se engajarem em práticas conservacionistas.

**Palavras-chave:** Integração Lavoura-Pecuária-Floresta. Pagamento por Serviço Ambiental. Serviço Ecossistêmico. Valoração ambiental.

## ***ABSTRACT***

In the past decades, man has modified ecosystems much more quickly than in any other period of human history and the effects of such changes are increasingly evident, being climate change a direct reflex. In this scenario, it is understood that it is a duty of the technical and scientific means related to agriculture to engage in the fundamental challenge of this and the next generations: the reconciliation of economic development considering the limited availability of biological and mineral resources, ensuring the planet's carrying capacity. In this context, we questioned: I) why to measure, model and evaluate ecosystem services? II) Are agroforestry systems potential providers of ecosystem services? III) Can rural landowners implementing agroforestry systems be granted with economic incentives such as payment for environmental service? IV) Are there tools to assist in this process? The research method used is bibliographical and documentary. Quantifying, evaluating and mapping ecosystem services are important steps as a way to justify the relevance of conservation practices, and to recognize the benefits generated by those who conserve. As conservation begins to be understood as an indispensable element to ensure the viability of production systems, the environmental services offered by agroforestry systems also begin to receive more attention and recognition due to their role in climate regulation, soil enrichment, biodiversity conservation, quality of water and air, among other benefits that flow to society as a whole. The use of payment for environmental service, an economic instrument of environmental management for the payment of activities that generate ecosystem services, proves to be an appropriate method to stimulate and support the diffusion of Agroforestry Systems. In this context, inVEST stands out as an accessible tool that can assist in the process of modeling, quantifying and valuing ecosystem services and, along with the economic instrument of payment for environmental services, described in Law since 2012, encourage landowners or companies to engage in conservation practices.

**Keywords:** Crop-livestock-forest integration. Payment for Environmental Service. Ecosystem Service. Environmental valuation.

## SUMÁRIO

### RESUMO

### ABSTRACT

1	INTRODUÇÃO.....	7
2	OBJETIVO.....	10
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	11
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	11
4.1	Sistemas agroflorestais e serviços ambientais.....	11
4.1.1	Mitigação das emissões de gases do efeito de estufa (GEE) a partir do sequestro de carbono atmosférico.....	13
4.1.2	Enriquecimento do solo .....	14
4.1.3	Redução da perda de solos.....	15
4.1.4	Qualidade da água .....	18
4.2	Instrumentos da gestão ambiental.....	19
4.3	Casos bem-sucedidos de PSA no Brasil e no mundo.....	23
4.3.1	O caso de Nova Iorque.....	23
4.3.2	O Programa de pagamento por serviços ambientais da Costa Rica.....	24
4.3.3	O Programa Produtor de Água (PPA) .....	25
4.4	Pagamento por serviços ambientais para sistemas agroflorestais.....	27
4.5	Por que avaliar os serviços ecossistêmicos (SE)?.....	31
4.6	O caso da China: a perda de serviços ecossistêmicos florestais.....	32
4.7	Ferramenta de valoração dos serviços ecossistêmicos.....	35
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	38
6	CONCLUSÃO.....	40
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	42

## 1 INTRODUÇÃO

As atividades humanas, especialmente a partir da Revolução Industrial, vêm acentuando a velocidade das mudanças climáticas (TOMPKINS, 2014). A magnitude e velocidade de tais transformações tem se mostrado superior ao que grande parte dos seres vivos podem suportar, evidência disso é a elevada taxa de extinção de espécies em curto período de tempo (BARNOSKY et al., 2011). Atualmente, mais de 27.000 espécies estão sob ameaçada de extinção (IUCN, 2019), e caso as taxas permaneçam constante, em cerca de 300 anos 75% de todas as espécies poderão ser extintas (BARNOSKY et al., 2011).

A *Millennium Ecosystem Assessment* (2005) afirma que nos últimos 50 anos, o homem modificou os ecossistemas de maneira muito mais acelerada do que em qualquer outro período da história humana, e isto se deve em grande parte ao crescimento populacional e à crescente demanda por alimento, água potável, fibra, biocombustíveis e produtos advindos da agricultura como um todo (BOMMARCO et al., 2013). Junto com este aumento, surge a necessidade de minimização dos impactos negativos advindos de padrões insustentáveis de consumo e desenvolvimento. Hertwich (2005) afirma que a classe consumidora está crescendo e que o desafio fundamental desta e das próximas gerações é conciliar o desenvolvimento econômico com a disponibilidade limitada dos recursos biológicos e minerais, assegurando a capacidade suporte do planeta.

Diante do cenário de mudanças climáticas, o ser humano se vê forçado a se adaptar e ajustar a maneira como maneja os recursos naturais, como é o caso da agricultura (TOMPKINS, 2014) e dos recursos florestais, adotando a abordagem da “intensificação ecológica” (UNCTAD, 2013).

Levando em consideração que o Brasil é o país com o maior potencial de suprir a demanda mundial por alimentos, que deve aumentar em 70% até 2050, e que além disso abriga uma biodiversidade que representa 20% das espécies catalogadas no mundo (VERENA, 2019), torna-se trivial desenvolver mecanismos para apoiar as atividades de desenvolvimento conservacionista.

Uma abordagem promissora para conciliar conservação e desenvolvimento rural é a dos sistemas agroflorestais (SAFs), caracterizados pelo manejo intencional de árvores associadas às culturas agrícolas (ASHLEY, 2006) e/ou animais de forma simultânea ou sequencial (MICCOLIS et al., 2016). Os SAFs são sistemas de produção milenares, desenvolvidos e praticados principalmente por populações tradicionais (MICCOLIS et al., 2016). Se assemelham em alguns aspectos ao movimento orgânico, no sentido de viabilizar

sistemas mais autossustentáveis, baseados nos mecanismos naturais de controle de pragas e doenças e de recuperação da fertilidade (KHATOUNIAN, 2001). Além disso, em alguns casos, o abastecimento agrícola é destinado para a esfera local, preferindo as espécies de melhor adaptação à região e considerando sua alternância segundo o ritmo das estações, ou seja, respeitando os princípios da sazonalidade e da regionalidade, o que pode reduzir investimentos e poupar recursos naturais (KHATOUNIAN, 2001).

Neste trabalho trataremos por SAF toda prática de manejo do solo que combine vegetação de ciclo perene de porte arbóreo, com culturas agrícolas e/ou pastoris em variados arranjos espaciais e temporais, resultando em significativas interações ecológicas e benefícios econômicos.

A agricultura extensiva, que ganhou forças principalmente após a Segunda Guerra Mundial (KHATOUNIAN, 2001), se caracteriza pela simplificação de ecossistemas antes complexos, mediante a substituição de funções biológicas, originalmente fornecidas por comunidades diversas de organismos, por agroquímicos e quantidade significativa de energia proveniente de fontes externas ao sistema (BOMMARCO, 2013). Observa-se também a intensificação do uso dos recursos naturais, a aplicação elevada de defensivos químicos (TSCHARNTKE et al., 2005), a produtividade abundante, mas fugaz, a privatização dos benefícios e a socialização dos custos (KHATOUNIAN, 2001).

A intensificação agrícola se mostra bem-sucedida quanto ao crescente suprimento de alimento e matéria prima para diversos fins, sendo notável o aumento do rendimento produtivo por área cultivada (BOMMARCO, 2013). Skinner (2019) relata aumento de 1600 para 3030 kg/ha nas safras mundiais de grãos entre 1970 e 2010, o que significa um aumento de 189% entre esses dois períodos. Entretanto, ao olhar para o cenário de forma mais abrangente, tornam-se evidentes os impactos negativos sobre a biodiversidade (TILMAN, 2001), como perda de habitats naturais, simplificação das paisagens agrícolas (TSCHARNTKE et al., 2005), desertificação, poluição generalizada do solo, das águas e do próprio homem e o esgotamento das reservas de recursos não renováveis (KHATOUNIAN, 2001).

Diante do cenário atual, o que se espera é o aumento da demanda por recursos naturais, o que tende a intensificar a degradação de muitos dos serviços ecossistêmicos (SEs) do qual o homem depende direta e indiretamente (MARON et al., 2017), acarretando assim na intensificação da crise ambiental (STANTON et al., 2014). De acordo com Patterson (2009), serviços ecossistêmicos diz respeito a “tudo que os ecossistemas fazem para as pessoas e que as pessoas geralmente não têm que pagar por elas”, ou seja, se referem aos bens e

serviços ofertados pela natureza que, apesar de estarem fora do mercado e serem de difícil valoração, são essenciais em nosso dia a dia (BISHOP, 2010).

Os serviços ecossistêmicos são frequentemente divididos em quatro categorias: serviços de provisão (diretos), culturais (diretos), de regulação (indiretos) e de suporte (indiretos), este último atuando como fundação para os três primeiros (MEA, 2005; PATTERSON, COELHO 2009).

Existe um entendimento crescente acerca da importância dos serviços ecossistêmicos de provisão, que diz respeito aos produtos ou bens tangíveis que são obtidos dos ecossistemas, e que na maioria dos casos têm um mercado formal e bem estruturado (PERALTA, 2014), como por exemplo os alimentos, água, madeira, fibra, combustíveis e recursos genéticos. Não obstante, os serviços de regulação e suporte ainda permanecem severamente desvalorizados (BOMMARCO, 2013). A *Millennium Ecosystem Assessment* (2005) define a qualidade do ar e do clima, a regulação de doenças infecciosas, o controle biológico, a regulação de desastres naturais (como enchentes e incêndios) e o processamento e desintoxicação de resíduos como serviços de regulação. Já os serviços de suporte são a formação dos solos, a fotossíntese, a produção primária, a ciclagem de nutrientes e a ciclagem da água, ou seja, serviços básicos que possibilitam a provisão de todos os demais. Mesmo os sistemas de agricultura extensiva são diretamente dependentes dos serviços ecossistêmicos de regulação e suporte (BOMMARCO, 2013). Apesar da relevância em garantir a manutenção da vida e o bem-estar econômico, social e ambiental, os serviços ecossistêmicos têm sido exauridos ou sensivelmente reduzidos em proporção jamais vista (MEA, 2005).

A partir do momento que um bem se torna escasso, seja apto a ser produzido e sua produção possa ser compensada de maneira justa, surge um produto. Para todo produtor ou provedor deve haver um usuário ou beneficiário, portanto se a sociedade necessita de um serviço adicional para garantir ou recuperar a provisão de bens e serviços ecossistêmicos, então naturalmente deve haver uma negociação (JARDIM, 2010).

É neste cenário que surgem os instrumentos econômicos de incentivo ao desenvolvimento sustentável. Dentre estes instrumentos, destacam-se os Pagamentos pelos Serviços Ambientais (PSA), que por meio da utilização de tributos, preços públicos e subsídios, incentivam a adoção voluntária de práticas que recuperem, conservem ou melhorem a provisão dos serviços ecossistêmicos (GONÇALVES, 2017). Segundo Wunder (2015), PSA são “transações voluntárias entre utilizadores de serviços e prestadores de

serviços que são condicionados a regras acordadas para a gestão dos recursos naturais para gerar um serviço externo”.

É válido mencionar ainda, o conceito de “externalidade ambiental”, que pode ser positiva ou negativa e têm origem nas falhas ou distorções do mercado. Sinteticamente, as externalidades podem ser entendidas como os efeitos causados pelos processos de produção ou de consumo que impactam positiva ou negativamente terceiros que não participam da transação. Em outras palavras:

Trata-se dos custos ou benefícios originados pelas diversas atividades econômicas que não sendo devidamente internalizados circulam externamente ao mercado. As externalidades representam um custo sempre que o agente econômico que produz os efeitos negativos ou recebe os positivos não compensa àquele que sofre o custo ou produz o benefício (PERALTA, 2014).

Neste sentido, o PSA atua como um instrumento que visa internalizar externalidades ambientais positivas (PERALTA, 2014) e diferentemente dos instrumentos de comando e controle que exigem uma profunda atuação do Estado, os instrumentos econômicos, como o PSA, induzem práticas desejadas e por isso tendem a operar de forma mais eficiente em países em desenvolvimento, como é o caso do Brasil (ENGEL; PAGIOLA; WUNDER, 2008).

O PSA está previsto na Lei Federal nº 12.651 de 2012, que instituiu a Lei de Proteção da Vegetação Nativa, e atua adequando as atividades de produção florestal e agropecuária ao desenvolvimento sustentável. Pode ser monetário ou não monetário, possuindo como principal objetivo conceder incentivos econômicos para práticas de manejo que resultem na provisão e/ou manutenção dos serviços fornecidos pelos ecossistemas para a população em geral (STANTON et al., 2014).

Neste contexto, diante da importância dos serviços ecossistêmicos, das evidências de fornecimento dos mesmos pelos SAFs e de aparato legal para implementação de programas de pagamento por serviços ambientais para apoiar cadeias produtivas sustentáveis, este trabalho avaliou as oportunidades de PSA para proprietários rurais que implementam SAFs.

## **2 OBJETIVO**

Objetivou-se responder às seguintes perguntas: I. Por que medir, modelar e avaliar os serviços ecossistêmicos? II. Os sistemas agroflorestais são potenciais ofertantes de serviços

ecossistêmicos? III. Os proprietários rurais que implementam SAFs podem se tornar efetivos recebedores de incentivos econômicos como o PSA? IV. Existem ferramentas capazes de auxiliar neste processo?

Além disso, o presente estudo pretende aprofundar a compreensão acerca dos SEs oferecidos principalmente pelos ambientes florestais e os benefícios a eles associados. Por conseguinte, espera-se colaborar com os esforços em prol da valoração ambiental, de forma a favorecer o reconhecimento desses valores nos processos de elaboração de políticas públicas e de tomada de decisão. Ademais, busca-se evidenciar o papel dos instrumentos econômicos na gestão ambiental, como ferramenta para estimular e orientar condutas que respeitem os princípios da sustentabilidade.

### **3 MATERIAL E MÉTODOS**

O presente trabalho possui um perfil investigativo na área de gestão ambiental, sendo a revisão de literatura e a análise documental as metodologias adotadas para fundamentar o estudo no tema - SE ofertados pelos SAFs, ferramentas de valoração de SE e as perspectivas de uso do PSA no Brasil.

A revisão de literatura foi realizada por meio da consulta em teses, artigos, livros e outros, para compreender e identificar o que se conhece sobre os SEs, mais especificamente sobre os SEs prestados por sistemas agroflorestais. A análise documental resumiu na interpretação de leis, projetos de leis, resoluções e deliberações com o intuito de compreender a atual situação dos instrumentos econômicos de gestão ambiental no Brasil específicos ao objetivo de estudo.

### **4 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

#### **4.1 Sistemas agroflorestais e serviços ambientais**

Existe um gradiente de SAFs que variam principalmente em relação à intensidade de manejo e à diversidade de espécies, sendo que as diferentes denominações atribuídas à cada sistema varia de acordo com os principais produtos por eles gerados (MICCOLIS et al., 2016). Os chamados “sistemas silvipastoris” focam na criação animal associada à pastagens

e árvores, enquanto que os “agrossilvipastoris” por sua vez, se caracterizam pela presença de espécies florestais e agrícolas simultânea ou sequencialmente à criação animal. Aos consórcios de culturas agrícolas anuais associadas a espécies florestais, dá-se o nome de “sistemas agrossilviculturais”. Já os sistemas com alta diversidade e similares aos ecossistemas florestais naturais da região são denominados “agroflorestas sucessionais” ou “biodiversas”, e, nesse caso, o manejo baseia-se na sucessão natural das espécies (MICCOLIS et al., 2016).

Guedes e Seehusen (2012) explicam que serviços ambientais referem-se às iniciativas antrópicas que favorecem a provisão dos SEs que, por sua vez, compreendem os benefícios gerados pelos ecossistemas, independentemente do envolvimento humano. Neste contexto, a implantação de SAFs pode ser considerada um serviço ambiental capaz de gerar SEs.

A relevância deste tema reside no fato de que praticamente todos os ecossistemas têm sofrido alterações significativas nos seus processos naturais, afetando a sua capacidade de prestar SEs (SACHS; SANTARIUS, 2007). Em contrapartida, evidências sugerem que os SAFs são uma atividade de uso da terra viável, capaz de reduzir a pobreza e oferecer uma série de SEs e benefícios ambientais (JOSE, 2009), tal como aumento da fertilidade do solo, redução dos processos de erosão, melhoria na qualidade da água, favorecimento da biodiversidade, fornecimento de benefícios estéticos e sequestro de carbono (GARRETT; MCGRAW, 2000; GARRITY, 2004; WILLIAMS-GUILLE’N et al., 2008; NAIR et al., 2009 apud JOSE, 2009). Deste modo, diferentemente do modelo hegemônico de agricultura, os SAFs são pautados na realização de uma agricultura de regeneração ambiental e social. (TSCHARNTKE et al., 2005).

Sharrow e Ismail (2004) evidenciam a notável taxa de sequestro de carbono em agroflorestas, demonstrando que esses sistemas podem aumentar a quantidade de carbono sequestrado em comparação com monoculturas. No experimento realizado, constatou-se que, ao longo de 11 anos, sistemas agroflorestais acumularam aproximadamente  $740 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  a mais do que monocultivos florestais e  $520 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  a mais do que pastagens manejadas.

Não somente os proprietários de terras e agricultores colhem os benefícios ambientais prestados pelos SAFs, mas também a sociedade como um todo, sendo notável o enriquecimento do solo, a conservação da biodiversidade, a redução da erosão e a melhoria na qualidade da água e do ar em regiões submetidas a esses sistemas de manejo (JOSE, 2009).

#### **4.1.1 Mitigação das emissões de gases do efeito de estufa (GEE) a partir do sequestro de carbono atmosférico por sistemas agroflorestais**

Árvores são consideradas drenos terrestres de carbono atmosférico (HOUGHTON et al., 1998 apud MONTAGNINI, 2004). Sendo assim, florestas manejadas podem, teoricamente, sequestrar carbono *in situ*, na biomassa vegetal e no solo, e *ex situ*, nos produtos madeireiros e não-madeireiros exportados pelas florestas (MONTAGNINI, 2004).

O fomento às práticas agroflorestais é uma oportunidade amplamente reconhecida para lidar com os problemas associados à ocupação do solo e às mudanças climáticas induzidas pela elevação das emissões de gases do efeito estufa, como CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O (ALBRECHT, 2003). Neste contexto, Dixon (1995) ressalta dois benefícios básicos provenientes de sistemas agroflorestais bem manejados: 1) o armazenamento de carbono direto e à curto prazo em árvores e solos, sendo este capaz de permanecer armazenado por décadas ou séculos e 2) o potencial em compensar as emissões imediatas de carbono atmosférico associadas ao desmatamento e subsequente alteração do uso do solo. Em regiões tropicais, estima-se que 1ha de agrossilvicultura sustentável seja capaz de fornecer bens e serviços que potencialmente compensam por 5-20 ha de desmatamento (DIXON, 1995).

Evidências sugerem que os solos agrícolas e florestais, quando submetidos às práticas adequadas de manejo, têm capacidade de operar como significativos drenos de CO<sub>2</sub> (PAUSTIAN et al., 2000). Entretanto, é importante ressaltar que esta capacidade de armazenamento é finita (PAUSTIAN et al., 2000; INGRAM; FERNANDES, 2001; ALBRECHT, 2003). Estudos estimam que o potencial de estoque de C nos solos poderia contribuir com o sequestro de aproximadamente 15% das emissões totais de GEE (DIXON, 1995), sendo assim, a adoção de práticas agroflorestais não pode, por si só, solucionar os problemas associados à alta taxa de emissão destes gases, é preciso que outras estratégias sejam adotadas de forma complementar.

Todavia, existem três motivos plausíveis que justificam a implementação de projetos agroflorestais visando o sequestro de carbono. Primeiramente, pois níveis mais elevados de carbono no solo beneficiam de maneira significativa a produtividade e a sustentabilidade agrícola (PAUSTIAN et al., 1997). Em segundo lugar, dada a improbabilidade da existência de uma única estratégia, a associação de diferentes artifícios parece ser uma maneira mais realista de alcançar as metas de redução de emissão de CO<sub>2</sub> (PAUSTIAN et al., 1997). E

finalmente, o custo financeiro para alcançar o sequestro de C através de SAFs se mostra muito inferior em comparação às opções alternativas. Além disso, análises econômicas apontam que tais custos poderiam ser facilmente compensados pelos benefícios monetários adicionados à produtividade agrícola e pela comercialização de créditos de C, antes mesmo das operações de exploração florestal (ALBRECHT, 2003).

Uma pesquisa realizada em Kerala, na Índia, demonstra que o potencial de armazenamento de carbono no solo é tanto maior quanto mais elevada for a riqueza de espécies e a densidade arbórea (SAHA et al., 2009). Neste estudo, foram comparados teores de carbono orgânico no solo (COS) em quintais agroflorestais com baixa, média e alta riqueza de espécies. Nos dois primeiros casos, observou-se respectivamente 14% e 7% menos COS do que em quintais com alta riqueza de espécies. Em relação à densidade arbórea, quintais com baixa e média densidade apresentaram respectivamente 20% e 10% menos COS em comparação aos quintais com alta densidade (SAHA et al., 2009). Todas estas pesquisas evidenciam que em comparação aos sistemas de manejo tradicionais de monocultivo, os sistemas agroflorestais apresentam um potencial superior de sequestro de carbono (JOSE, 2009).

#### **4.1.2 Enriquecimento do solo**

Existem muitas referências na literatura acerca dos efeitos dos sistemas agroflorestais sobre o solo (JOSE, 2009). Tratando-se de enriquecimento do solo pelos SAFs, a utilização de espécies arbóreas e agrícolas fixadoras de nitrogênio é relativamente comum, e mesmo as espécies que não são capazes de fixar nitrogênio apresentam grande potencial de melhorar as características físicas, químicas e biológicas do solo, a partir da incorporação de matéria orgânica e da liberação e ciclagem de nutrientes (JOSE, 2009).

Apesar da contínua exportação de produtos em cultivos agroflorestais, a diminuição da fertilidade dos solos pode ser considerada mínima. Isto ocorre devido ao elevado aporte de C e nutrientes através de podas, capinas, biomassa radicular e deposição de serrapilheira. Tais práticas frequentemente reduzem a taxa de erosão, melhorando assim a dinâmica do C no solo (ALBRECHT, 2003).

As propriedades do solo estão intimamente relacionadas à natureza perene de grande parte das espécies arbóreas, sendo o seu grau de vitalidade uma consequência da abundância, diversidade, interações e funcionamento da biota presente neste solo (BARRIOS et al., 2012). Um estudo realizado na floresta amazônica demonstra que a

biomassa de macrofauna do solo possui forte correlação com fechamento de dossel, provavelmente devido à redução da variação da temperatura do solo e a prevenção de estresse hídrico (MARTIUS et al., 2004). De forma similar, uma pesquisa realizada no Sul do México evidencia os efeitos do sombreamento do solo sobre a redução de sua temperatura e sobre a diminuição da taxa de perda de água por evaporação, mantendo a umidade do solo em níveis adequados para a agricultura (LIN, 2010). Em outros trabalhos, analisou-se a abundância média da macro, meso e microfauna do solo em dois sistemas distintos: agroflorestal e monocultivo agrícola, sendo que no primeiro sistema observou-se uma superioridade substancial na abundância de todos os organismos. Por exemplo, diplópodes, quilópodes, minhocas e nematóides não-parasitários se mostraram respectivamente seis, cinco, três e duas vezes mais abundantes em sistemas agroflorestais do que em monocultivos (DANGERFIELD, 1993; KANG et al., 1999; SILESHI; MAFONGOYA, 2006).

Estes trabalhos enfatizam a contribuição do componente arbóreo à atividade biológica saudável do solo que, por sua vez, possui relação direta com a provisão de bens e SEs, como a transformação do carbono, a ciclagem de nutrientes, a manutenção da estrutura do solo e a regulação biológica (BARRIOS et al., 2012).

#### **4.1.3 Redução da perda de solos**

As principais estratégias utilizadas na conservação do solo se baseiam em técnicas de cobertura superficial do solo, fornecendo proteção contra os impactos da chuva; de ampliação da capacidade de infiltração do solo, reduzindo assim as taxas de escoamento; de melhoria da estabilidade dos agregados do solo; e de aumento da rugosidade da superfície de forma a reduzir a velocidade de escoamento (MORGAN, 2005).

Estudos revelam que os SAFs promovem aumento da atividade de diversas espécies de organismos do solo, sendo estes responsáveis pela formação de poros e canais de diferentes tamanhos e formatos. Tal variação na porosidade exerce influência significativa na capacidade de armazenamento de água no solo, na taxa de infiltração, escoamento superficial e incidência de erosão (CASTRO et al., 2009 apud BARRIOS, 2012).

Além disso, fungos micorrízicos arbusculares contribuem para a formação e manutenção da estrutura do solo, promovendo agregação de seus constituintes e aumento da resistência à ação da água (RILLIG, 2004). A dinâmica dos processos de agregação e proteção da matéria orgânica contida no solo tem sido alvo de pesquisa científica devido à

sua importância nos processos de sequestro e retenção de carbono no solo (BARRIOS, 2007). Quando os agregados do solo se rompem em frações de menor dimensão mediante a ação da água, a taxa de erosão cresce e a matéria orgânica do solo é imediatamente exposta à ação microbiana, o que resulta em perda de carbono para a atmosfera. Sendo assim, o potencial dos SAFs no controle da perda de solo e no sequestro de carbono residem nas interações biológicas entre as árvores e o solo. Tais interações aumentam a proporção de agregação do solo, aumentam sua estabilidade em períodos chuvosos, sua capacidade de drenagem interna e de retenção de água. Estes resultados evidenciam as oportunidades existentes na implementação de práticas agroflorestais que promovam a diversidade biológica do solo e a consequente provisão de água em quantidade e qualidade (BARRIOS, 2012).

As árvores ajudam a preservar a fertilidade do solo através do retorno da matéria orgânica e da fixação do nitrogênio. Eles não só melhoram a fertilidade do solo, como também a sua estrutura, aumentando as taxas de infiltração e a capacidade de retenção de água. Como resultado, gera-se menos escoamento e mais controle sobre o processo de erosão (MORGAN, 2005). Pesquisas realizadas em diversos países demonstram que sistemas agroflorestais podem reduzir as taxas de erosão em até dez vezes comparado à sistemas onde não há medidas de conservação de solo (YOUNG 1998).

Segundo König (1992), o controle de erosão hídrica pelos sistemas agroflorestais é obtido devido aos efeitos de:

- a) redução da erosão por salpico (tipo de erosão causada pela energia cinética das gotas da chuva) em decorrência da presença de uma vegetação multiestratificada e do acúmulos de serrapilheira;
- b) aumento da capacidade de infiltração devido ao constante suprimento de matéria orgânica, resultando em uma maior atividade biológica do solo (o que significa maior quantidade de macroporos e maior estabilidade estrutural);
- c) diminuição do escoamento devido à integração de faixas de infiltração (composto por gramíneas, vegetação arbustiva e arbórea) seguindo os contornos, bem como métodos culturais, como agricultura de faixas, cultivo em curva de nível e cobertura do solo;
- d) redução de declive através da formação de terraços induzida pela sedimentação de material erodido em cerca viva ou faixas de grama;
- e) redução da perda de solo pela interceptação do dossel, levando a uma redução no risco de movimentos de massa de solo.

Em estudos realizados para medir o efeito de diferentes sistemas de cobertura vegetal do solo no controle de erosão e escoamento superficial de água, em relação a florestas tropicais úmidas, constatou-se que a maior eficiência foi obtida em sistemas com mais de um estrato de cobertura vegetal (CHEN, 1993).

Segundo Young (1997), os efeitos do manejo agroflorestal na manutenção da fertilidade do solo podem ser considerados como um fator direto no controle da erosão, além da proteção devido à cobertura do solo fornecida pelas copas das árvores e da manta orgânica e do papel das árvores como barreira ao escoamento superficial.

Young (1997) fez uma revisão dos resultados de taxas de erosão em florestas tropicais, plantios florestais e sistemas agroflorestais, classificando-as, quanto aos valores, da seguinte forma:

- a) baixa ( $< 2$  t/ha/ano): florestas naturais, fase de pousio florestal em sistemas de agricultura itinerante, sistemas agroflorestais multiestratificados (“*home garden*”), plantios de árvores com culturas anuais e, ou, cobertura morta;
- b) moderada (de 2 a 10 t/ha/ano): fase de cultivo agrícola em agricultura itinerante, fase de cultivo agrícola em sistema agroflorestal sequencial;
- c) alta ( $> 10$  t/ha/ano): plantações florestais capinadas e manejadas com queima da manta orgânica.

Franco et al., (2002) conduziram um estudo na Zona da Mata comparando perdas de solos em sistemas de cultivo convencional e agroflorestal. Constatou-se que os SAFs apresentaram perda média de solo de 217,3 kg/ha/ano, inferior à dos sistemas convencionais, que apresentaram perda média de 2.611,9 kg/ha/ano. Isto representa 91,7% menos perda em SAFs comparados aos sistemas convencionais.

Todas as pesquisas mencionadas evidenciam o potencial dos sistemas agroflorestais como estratégia para conservação dos solos, oferecendo vantagens significativas em relação aos sistemas convencionais. Além disto, os SAFs podem ajudar a diminuir a poluição dos recursos hídricos, causada pelo escoamento superficial de nutrientes e produtos químicos utilizados na agricultura (FRANCO et al., 2002; JOSE, 2009). As perdas totais de solo, carbono orgânico e nutrientes dos sistemas convencionais são significativamente maiores do que as dos sistemas agroflorestais (YOUNG 1997; PAUSTIAN et al., 2000; FRANCO et al., 2002; ALBRECHT, 2003; MORGAN, 2005; SAHA et al., 2009; JOSE, 2009), o que indica a maior resiliência e sustentabilidade ecológica dos últimos, evidenciando a

necessidade da busca de sistemas produtivos pautados na conservação dos recursos naturais (FRANCO et al., 2002).

#### 4.1.4 Qualidade da água

Evidências sugerem que os SAFs cumprem um papel importante na mitigação de problemas associados à qualidade da água, resultantes das práticas de cultivo intensivo do solo. Nos sistemas convencionais, menos da metade de todo o nitrogênio e fósforo aplicado é de fato absorvido pelas plantas, e em casos como este, a eutrofização é uma consequência típica (CASSMAN, 1999). Por isto, a implantação de SAFs, como por exemplo em regiões ripárias, têm sido proposto como forma de criação de zonas de amortecimento à este tipo de poluição, amenizando os impactos sobre os cursos d'água. Devido à presença de sistemas radiculares profundos, os sistemas agroflorestais atuam como uma “rede de segurança”, absorvendo o excesso de nutrientes lixiviados nos campos de culturas agrícolas. Isto significa que tais nutrientes permanecem no sistema e serão reciclados, retornando à superfície em algum momento futuro, promovendo assim o uso mais eficiente dos nutrientes (ALLEN et al., 2004).

Lee et al., (2003) realizaram um estudo comparando a eficiência de remoção de nutrientes em dois tipos de zonas de amortecimento ao redor de campos agrícolas. A primeira zona composta apenas por gramíneas e a segunda composta pela combinação de gramíneas e espécies arbóreas. No segundo caso, constatou-se um aumento de 20% na eficiência de remoção de nutrientes. Isto ocorre devido à redução da velocidade de escoamento da água superficial, que por sua vez aumenta a taxa de infiltração, a deposição de sedimentos e a consequente retenção de nutrientes. Em um cultivo misto de *Carya illinoensis* (noz pecã) e *Gossypium hirsutum* (algodão) na Flórida, Allen et al., (2004) observaram uma redução de 72% na concentração de nitrogênio mineral em profundidade de 0.9m quando comparado à um monocultivo de algodão. Em um sistema silvipastoril na Flórida, Nair et al., (2007) monitorou a concentração de fósforo em pastagens com e sem *Pinus elliottii* e demonstrou que a presença do componente arbóreo auxiliou na retenção de nutrientes no solo e reduziu o escoamento dos mesmos em água superficial e subsuperficial (JOSE, 2009).

## 4.2 Instrumentos da gestão ambiental

O Estado pode utilizar três tipos de instrumentos para intervir nas atividades econômicas que incidem sobre o meio ambiente: I. os instrumentos diretos, II. os instrumentos de mercado e III. os instrumentos de comunicação (MAY, 2010). Os diretos, também conhecidos como medidas de comando e controle (C&C), são de caráter normativo e regulam as ações através da determinação de padrões, limites, proibições e sanções sobre atividades que impactam negativamente na qualidade ambiental (PERALTA, 2014). Por ser um instrumento coercivo, demanda níveis fortes de governança e aparato eficiente de monitoramento e fiscalização (ENGEL; PAGIOLA; WUNDER, 2008), e por esse motivo apresentam uma série de limitações, traduzidas na crescente degradação ambiental (ALTMANN et al., 2015).

Os instrumentos de mercado são também denominados instrumentos econômicos de gestão ambiental (IEGAs) e visam a internalização das externalidades ambientais que não seriam normalmente incorridos pelo poluidor ou usuário (MAY, 2010). Tais instrumentos geralmente operam incentivando condutas desejáveis pela coletividade, orientando o mercado de forma que as atividades econômicas sejam realizadas de maneira sustentável. Para tanto, os IEGAs muitas vezes adotam mecanismos de incentivo e desincentivo, financeiros ou fiscais, visando a educação ambiental, a adoção de práticas sustentáveis, o avanço de novos conhecimentos científicos e a utilização de tecnologias mais limpas. Além disso, os IEGAs devem oferecer e permitir um conjunto de alternativas possíveis, para que, dentro dos limites da sustentabilidade ambiental, os agentes econômicos possam escolher aquela que for mais compatível com a sua realidade (PERALTA, 2014). Exemplos de instrumentos econômicos incluem taxas e tarifas, subsídios, certificados de emissão transacionáveis e sistemas de devolução de depósitos (MAY, 2010).

Atualmente, a implementação exclusiva dos mecanismos de C&C é apontada como insuficiente, impedindo uma adequada proteção ambiental em todos os casos (PERALTA, 2014). Tal abordagem expõe uma visão limitada do problema, uma vez que propõe soluções que não previnem efetivamente os riscos e danos ambientais, mas considera unicamente as suas consequências. Ou seja, por si só, os instrumentos de comando e controle acabam tendo pouca repercussão nos costumes de vida dos cidadãos e nas suas relações com o meio ambiente (PERALTA, 2014).

É neste contexto que o PSA surge como uma nova abordagem na gestão ambiental, sendo uma ferramenta de complemento e reforço aos instrumentos de C&C (ALTMANN et

al., 2015), operando como um benefício em contrapartida à implementação de práticas desejáveis, em vez de uma punição decorrente do descumprimento da lei (STANTON et al., 2014).

Enquanto os instrumentos de C&C se pautam na lógica do poluidor-pagador, o PSA é pautado no princípio do provedor-recebedor. No primeiro caso subentende-se que o poluidor deve arcar com o custo decorrente da poluição, de modo a garantir a internalização das externalidades ambientais negativas. O princípio do provedor-recebedor, por sua vez, considera que aqueles que criam condições específicas de conservação ambiental e beneficiando toda a sociedade deverão receber um reconhecimento justo por suas condutas, internalizando-se assim as externalidades ambientais positivas. Pode-se dizer, então, que os IEGAs possuem um caráter preventivo, muito mais do que repressivo (STANTON, 2015).

O PSA foi abordado pela primeira vez na legislação brasileira no artigo 41 da Lei Federal nº 12.651/2012, a Lei de Proteção da Vegetação Nativa. Entretanto, é importante esclarecer que este artigo não é uma norma legal geral sobre PSA, e sim uma autorização legal para que o Governo Federal crie programas de incentivo à proteção da vegetação nativa. Com isso, uma vez que não há ainda uma Lei Federal que determine regras gerais sobre PSA, os estados e municípios possuem competência plena para estabelecerem suas normas legais sobre esse tema. A Tabela 1 apresenta alguns exemplos de legislações estaduais que dispõem sobre a temática pagamento por serviço ambiental.

Tabela 1 – Legislações estaduais que dispõem sobre a temática pagamento por serviço ambiental.

Estado	Espécie de Norma Geral	Nº	Ano	Ementa
Acre	LEI	2.308	2001	Cria o Sistema Estadual de Incentivos a Serviços Ambientais (SISA), o Programa de Incentivos por Serviços Ambientais (ISA) Carbono e demais Programas de Serviços Ambientais e Produtos Ecosistêmicos do Estado do Acre e dá outras providências.
Amapá	LEI	1.491	2010	Estabelece a política de redução e compensação de emissões de dióxido de carbono CO <sub>2</sub> , incentiva a utilização de biocombustíveis que contribuam para a amenização do aquecimento global e melhoria da qualidade do ar.
Bahia	LEI	13.223	2015	Institui a Política Estadual de Pagamento por Serviços Ambientais, o Programa Estadual de Pagamento por Serviços Ambientais e dá outras providências.
Minas Gerais	LEI	17.727	2008	Dispõe sobre a concessão de incentivo financeiro a proprietários e posseiros rurais, sob a denominação de Bolsa Verde, para os fins que especifica, e altera as Leis nos 13.199, de 29 de janeiro de 1999, que dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos, e 14.309, de 19 de junho de 2002, que dispõe sobre as políticas florestal e de proteção à biodiversidade no Estado.
Minas Gerais	DECRETO	45.113	2009	Estabelece normas para a concessão de incentivo financeiro a proprietários e posseiros rurais, sob a denominação de Bolsa Verde, de que trata a Lei no 17.727, de 13 de agosto de 2008.
Paraná	LEI	17.134	2012	Institui o Pagamento por Serviços Ambientais, em especial os prestados pela Conservação da Biodiversidade, integrante do Programa Bioclima Paraná, bem como dispõe sobre o Biocrédito.
Paraná	RESOLUÇÃO Secretaria Est. Meio Ambiente	80	2015	Institui diretrizes e normas para a execução de projetos de Pagamento por Serviços Ambientais destinados às Reservas Particulares do Patrimônio Natural (RPPN) no Estado do Paraná.
Santa Catarina	LEI	15.133	2010	Institui a Política Estadual de Serviços Ambientais e regulamenta o Programa Estadual de Pagamento por Serviços Ambientais no Estado de Santa Catarina, instituído pela Lei no 14.675, de 2009, e estabelece outras providências.

Fonte: Adaptado de MMA (2017).

A primeira proposta de regulamentação do PSA estabelecido pelo Código Florestal foi uma iniciativa do Senado Federal. O Projeto de Lei 276/2013 instituiu a Política Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais (PNPSA), que trata de disciplinar a classificação, o inventário, o cadastramento, a avaliação e a valoração de bens e serviços ambientais e seus provedores. Entretanto, a Norma Geral nunca foi promulgada e encontra-se arquivada (Último estado: 21/12/2018 - arquivada ao final da legislatura) (SENADO FEDERAL, 2019).

Enquanto é aguardada a determinação de um instrumento nacional – por meio da regulamentação do artigo 41 da Lei de Proteção da Vegetação Nativa ou da instituição de uma Política Nacional de PSA – distintos entes federativos (estados, municípios ou um conjunto de regiões vinculadas através do Comitê de Bacias) seguem desenvolvendo e implementando suas políticas públicas de PSA, servindo de exemplo para outras regiões e contribuindo com a difusão desse instrumento (MMA, 2017).

Para permitir o pagamento pelos serviços ambientais, o Projeto de Lei do Senado nº 276/2013 (PNPSA) prevê a instituição, pelo Poder Público, de um Fundo Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais, com possibilidades diversas de fontes de recursos. Propõe-se ainda uma alteração na Lei Federal nº 12.114/2009, que criou o Fundo Nacional sobre Mudança do Clima, para que seja mais incisiva a obrigatoriedade da aplicação dos recursos deste Fundo nas atividades a que se destina, incluindo o pagamento por serviços ambientais às pessoas físicas ou jurídicas fornecedoras de serviços ambientais que resultem na estocagem de carbono. Ademais, dentre as atividades às quais a aplicação destes recursos poderá ser destinada, cabe citar:

- IV- projetos de redução de emissões de gases de efeito estufa - GEE;
- X- apoio às cadeias produtivas sustentáveis;
- XI- pagamentos por serviços ambientais às comunidades e aos indivíduos cujas atividades comprovadamente contribuam para a estocagem de carbono, atrelada a outros serviços ambientais;
- XII- sistemas agroflorestais que contribuam para redução de desmatamento e absorção de carbono por sumidouros e para geração de renda;
- XIII- recuperação de áreas degradadas e restauração florestal, priorizando áreas de Reserva Legal e Áreas de Preservação Permanente e as áreas prioritárias para a geração e garantia da qualidade dos serviços ambientais (BRASIL, 2013).

Para Wunder (2015), existem cinco critérios essenciais para que um PSA esteja devidamente caracterizado: I) a transação deve ser voluntária, partindo do princípio que potenciais provedores tem alternativas de escolha no uso da terra (WUNDER, 2015); II) o serviço ambiental, o uso da terra ou a atividade devem ser bem definidos, sendo que o estímulo ao início do desenvolvimento de um mercado de PSA é a demanda e não a oferta; III) deve haver um utilizador do serviço, ou seja, um “comprador” ou “beneficiário”, que podem ser usuários reais do serviço ambiental ou podem ser terceiros como governos, ONG’s, instituições financeiras internacionais, bancos de investimento oficiais, dentre muitos outros (ENGEL; PAGIOLA; WUNDER, 2008); IV) deve haver um provedor de

serviço, ou “vendedor”, que em geral são os proprietários de terras; V) acato ao princípio da condicionalidade, significando que o estabelecimento de um programa de PSA deve estar sujeito ao cumprimento de regras acordadas, sejam elas quanto ao fornecimento de determinado serviço ambiental ou quanto ao cumprimento dos contratos realizando os usos da terra neles especificados (ENGEL; PAGIOLA; WUNDER, 2008).

### **4.3 Casos bem-sucedidos de PSA no Brasil e no mundo**

Diversos projetos de PSA já foram executados em diferentes localidades do mundo, sendo o caso de Nova Iorque e da Costa Rica os que mais se destacam (ALTMANN et al., 2015). Na América Latina, países como Colômbia, Honduras, Venezuela, Paraguai, Panamá, México, Nicarágua, República Dominicana e Costa Rica possuem projetos e programas de PSA instituídos por disposições normativas (PERALTA, 2014). No Brasil destaca-se o Programa Produtor de Água (PPA), implementado de forma pioneira em 2005 no Município de Extrema/MG, em parceria com a Prefeitura Municipal, o Instituto Estadual de Florestas do Estado de Minas Gerais (IEF-MG) e a The Nature Conservancy (TNC) (PME, 2016; ALTMANN, 2015).

#### **4.3.1 O caso de Nova Iorque**

A cidade de Nova Iorque, em 1997, optou por investir US\$ 2 bilhões em um programa de proteção de bacia hidrográfica, para evitar o custo de, aproximadamente, US\$ 8 bilhões na construção de um novo sistema de filtragem de água (ALTMANN et al., 2015). Denominado ‘*whole-farm planning*’, o programa requer da cidade o pagamento dos custos de operação do programa e os custos de capital para o investimento em controle da poluição em cada fazenda, como forma de incentivar os proprietários rurais a aderirem ao programa. Foram criados conselhos agrícolas de bacia hidrográfica, cujo objetivo é fornecer assistência técnica acerca da escolha e implementação das melhores medidas de controle de poluição para cada propriedade (SCHERR; KHARE; WHITE, 2004). As bacias hidrográficas de interesse ocupam uma área de 830 hectares, e cinco anos após a implementação do projeto, 93% de todas as propriedades haviam aderido ao programa (SCHERR; KHARE; WHITE, 2004).

No caso de Nova Iorque, o serviço ecológico fornecido foi a purificação da água e os fundos para investimento no projeto provieram dos próprios usuários e de fundos

suplementares dos governos locais, estadual e federal. Os impactos pretendidos compreenderam a adoção de práticas de colheita de impacto reduzido, regeneração florestal e retirada de terras ambientalmente sensíveis da produção agrícola (SCHERR; KHARE; WHITE, 2004).

Em termos financeiros, os produtores de leite e silvicultores que adotaram as melhores práticas de gestão foram compensados com US\$ 40 milhões, que cobriram todos os seus custos adicionais de uso alternativo do solo. Os silvicultores que melhoraram suas práticas de manejo (como exploração madeireira de baixo impacto) receberam permissões adicionais para exploração de novas áreas. Os proprietários de terras de 20 hectares ou mais, que concordaram em se comprometer com um plano de manejo florestal de dez anos foram contemplados com 80% de redução do imposto sobre a propriedade rural (SCHERR; KHARE; WHITE, 2004).

Embora o PSA tenha tido um papel pequeno frente às demais medidas, foi fundamental pois atuou como uma análise de custo benefício onde prevaleceu a opção por investimentos em infraestrutura natural, em detrimento de infraestrutura construída (ALTMANN et al., 2015).

#### **4.3.2 O Programa de pagamento por serviços ambientais da Costa Rica**

Os primeiros incentivos florestais na América Latina foram registrados na Costa Rica, em 1979, e foram criados com o propósito de reverter a preocupante taxa de desmatamento verificada entre 1940 e 1980, responsável pela redução da sua cobertura vegetal de 75% em 1940, para 21% em 1987 (PERALTA, 2014; ALTMANN, 2015).

Em 1996 foi instituída a Lei Florestal 7.575 (de 13/02/1996), na qual o atual programa de PSA encontra fundamento. O programa foi criado com a finalidade de deter os altos índices de desmatamento, ampliar a cobertura florestal e ressaltar o valor dos serviços florestais, incentivando a cidadania ecológica. O programa da Costa Rica serviu de modelo para outros países e, embora sujeito à críticas, aliado a outras medidas de conservação atenuou o desmatamento e aumentou a cobertura florestal do país de 21% em 1987, para 52,38% em 2012 (PERALTA, 2014).

A Lei nº 7.575 considera o bosque - a floresta em pé - como um ecossistema protetor e regulador dos recursos hídricos, do solo, da biodiversidade e da atmosfera, e como uma fonte importante de recursos econômicos para o país – através do seu potencial ecoturístico e da venda de serviços ambientais. São reconhecidos em Lei 4 tipos de serviços ambientais:

(1) Mitigação das emissões de gases de efeito estufa; (2) Proteção dos recursos hídricos, para uso urbano, rural ou de hidrelétricas; (3) Conservação da biodiversidade para o uso sustentável, pesquisa científica e farmacêutica, e para a proteção dos ecossistemas e das formas de vida; e (4) Subsistência da beleza natural para o turismo e para fins científicos. O objetivo principal do programa é prestar reconhecimento financeiro aos proprietários que implantam e manejam sistemas agroflorestais e silvipastoris, gerando produtos florestais madeireiros, desenvolvimento humano, proteção e conservação do meio ambiente. Através deste importante instrumento econômico pretende-se internalizar as chamadas “externalidade ambientais positivas”, reconhecendo os custos derivados da preservação e ao mesmo tempo desincentivando práticas de degradação florestal e desmatamento (PERALTA, 2014).

De acordo com o manual de PSA da Costa Rica, para a modalidade de Sistema Agroflorestal, o valor monetário oferecido equivale à R\$13,39 por árvore (FONAFIFO, 2019). O pagamento é válido para plantios de 350 à 5.000 árvores, ou até 100.000 no caso de reserva indígena. O financiamento se dá para as atividades de implementação e manutenção durante os três primeiros anos da atividade. Desde 2003, mais de 1,2 milhões de hectares de Sistemas Agroflorestais foram contemplados pelo programa, sendo que em 2018, esse valor foi de 414,479 hectares (FONAFIFO, 2019).

### **4.3.3 O Programa Produtor de Água (PPA)**

No Brasil, a Agência Nacional de Águas (ANA) em parceria com instituições municipais, estaduais e privadas lançaram em 2001 o Programa Produtor de Água (PPA), fundamentado na Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei Federal nº 9.433/1997) (LACERDA, 2017; ALTMANN, 2015; ANA, 2018).

O PPA é hoje a maior referência de PSA relacionados a recursos hídricos no país e vem exercendo papel fundamental na difusão deste tipo de instrumento (LACERDA, 2017). O programa foi implementado de forma pioneira e piloto em 2005 no Município de Extrema/MG, em parceria com a Prefeitura Municipal, o Instituto Estadual de Florestas do Estado de Minas Gerais (IEF-MG) e a The Nature Conservancy (TNC) (PME, 2016; ALTMANN, 2015). A região de atuação do projeto está situada na parte alta das Bacias Hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá, responsáveis pelo abastecimento do Sistema Cantareira, que por sua vez abastece cerca de 10 milhões de habitantes da grande São Paulo (PME, 2016). A pequena bacia de Posses foi a primeira a ser contemplada pelo

programa, em 2009 ele se expandiu para a bacia de Salto e em 2015 havia 53 proprietários envolvidos, o que resultou em um aumento de 60% da cobertura florestal nas áreas do programa (RICHARDS et al., 2015).

O projeto tem como objetivo manter a qualidade dos mananciais de Extrema a partir da adoção de práticas de atenuação da erosão e da sedimentação e fomentar a adequação ambiental das propriedades rurais (APP e RL). Sendo assim, o PPA foi concebido como um programa voluntário, flexível, de implantação descentralizada, que visa o controle da poluição difusa em mananciais estratégicos (ANA, 2003). Ele parte da premissa que a melhoria ambiental obtida fora da propriedade pelo produtor participante é proporcional ao abatimento da erosão e, conseqüentemente da sedimentação, em função das modificações no uso e manejo do solo e dos custos de sua implantação por parte do participante (CHAVES et al., 2004a).

Uma vez atendidos os critérios técnicos e operacionais do Programa, os produtores participantes receberiam um certificado de conformidade (Selo Azul de Produtor de Água-ANA), o qual poderá ser usado para recebimento do respectivo bônus financeiro (CHAVE et al., 2004a). Os recursos do programa poderão vir dos recursos da cobrança pelo uso dos recursos hídricos; das empresas de saneamento, geração de energia elétrica e usuários; dos Fundos Estaduais de Recursos Hídricos; do Fundo Nacional de Meio Ambiente; do Orçamento Geral da União; do orçamento de Estados, Municípios e Comitês de Bacias; de Compensação financeira por parte de usuários beneficiados; de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo / Protocolo de Kyoto; Organismos Internacionais; e Financiamento de bancos de investimento oficiais (ANA, 2012).

Os incentivos financeiros aos produtores, geralmente tomados como custos de projeto, geram benefícios importantes, tais como o aumento das produtividades agrícola e pecuária, através do melhor manejo do solo e da água; aumento da renda da atividade rural; diminuição das perdas de solo nas glebas, aumentando assim a sustentabilidade da produção; e melhoria da autoestima dos produtores rurais participantes, pelo reconhecimento de seu papel na gestão dos recursos hídricos regionais (CHAVES et al., 2004b).

Os gestores do programa produtor de água em Extrema priorizaram a adoção de instrumentos indutores de práticas conservacionistas, visto que existe uma compreensão crescente acerca da ineficiência da aplicação exclusiva dos instrumentos de comando e controle, uma vez que sozinhos, eles não garantem o aumento da cobertura florestal ou a preservação dos mananciais (PME, 2016).

O programa viabiliza recursos técnicos e financeiros aos proprietários rurais, promovendo plantios de vegetação arbórea, culturas perenes, proteção de nascentes e de margens de cursos d'água, construção de terraços em curva de nível, construção de barragens ou caixas de acúmulo e infiltração de água, plantio direto para culturas anuais, reforma e bom manejo de pastagens, implantação de sistemas agrosilvipastoris, dentre outras medidas específicas e adequadas para cada caso (ANA, 2018).

O programa se baseia na adesão voluntária, havendo flexibilidade em relação às práticas de manejo adotadas, sendo o pagamento concedido mediante o cumprimento de metas pré-estabelecidas e realizados durante e após a implantação do projeto (PME, 2016). No ano de 2015 foram investidos 769.154 reais para a manutenção de 262 hectares, e atualmente o PPA opera em treze Estados brasileiros e no Distrito Federal (ANA, 2018).

Sobre o PSA no município de Extrema, a principal mensagem que fica para os gestores e técnicos é que havendo vontade política, é possível formular, implementar e dar continuidade a iniciativas de PSA. Para tanto, é preciso demonstrar que os serviços ecossistêmicos são importantes para a sociedade e que há necessidade de investimento público para tornar as cidades resilientes para o enfrentamento dos efeitos adversos das mudanças climáticas (MMA, 2017).

#### **4.4 Pagamento por serviços ambientais para sistemas agroflorestais**

As novas exigências feitas aos produtores rurais para recuperação das Áreas de Preservação Permanente (APP) e áreas de Reserva Legal (RL) abriram oportunidades para a instituição do artigo 41 no Novo Código Florestal, para autorizar o Poder Executivo Federal a instituir programas de apoio e incentivo à conservação do meio ambiente (BRASIL, 2013). Entre outras medidas, tal programa deverá proporcionar o “pagamento ou incentivo a serviços ambientais como retribuição, monetária ou não, às atividades de conservação e melhoria dos ecossistemas e que gerem serviços ambientais”, tais como:

- a) o sequestro, a conservação, a manutenção e o aumento do estoque e a diminuição do fluxo de carbono;
- b) a conservação da beleza cênica natural;
- c) a conservação da biodiversidade;
- d) a conservação das água e dos serviços hídricos;
- e) a regulação do clima;

- f) a valorização cultural e do conhecimento tradicional ecossistêmico;
- g) a conservação e o melhoramento do solo;
- h) a manutenção de Áreas de Preservação Permanente, de Reserva Legal e de uso restrito (BRASIL, 2012).

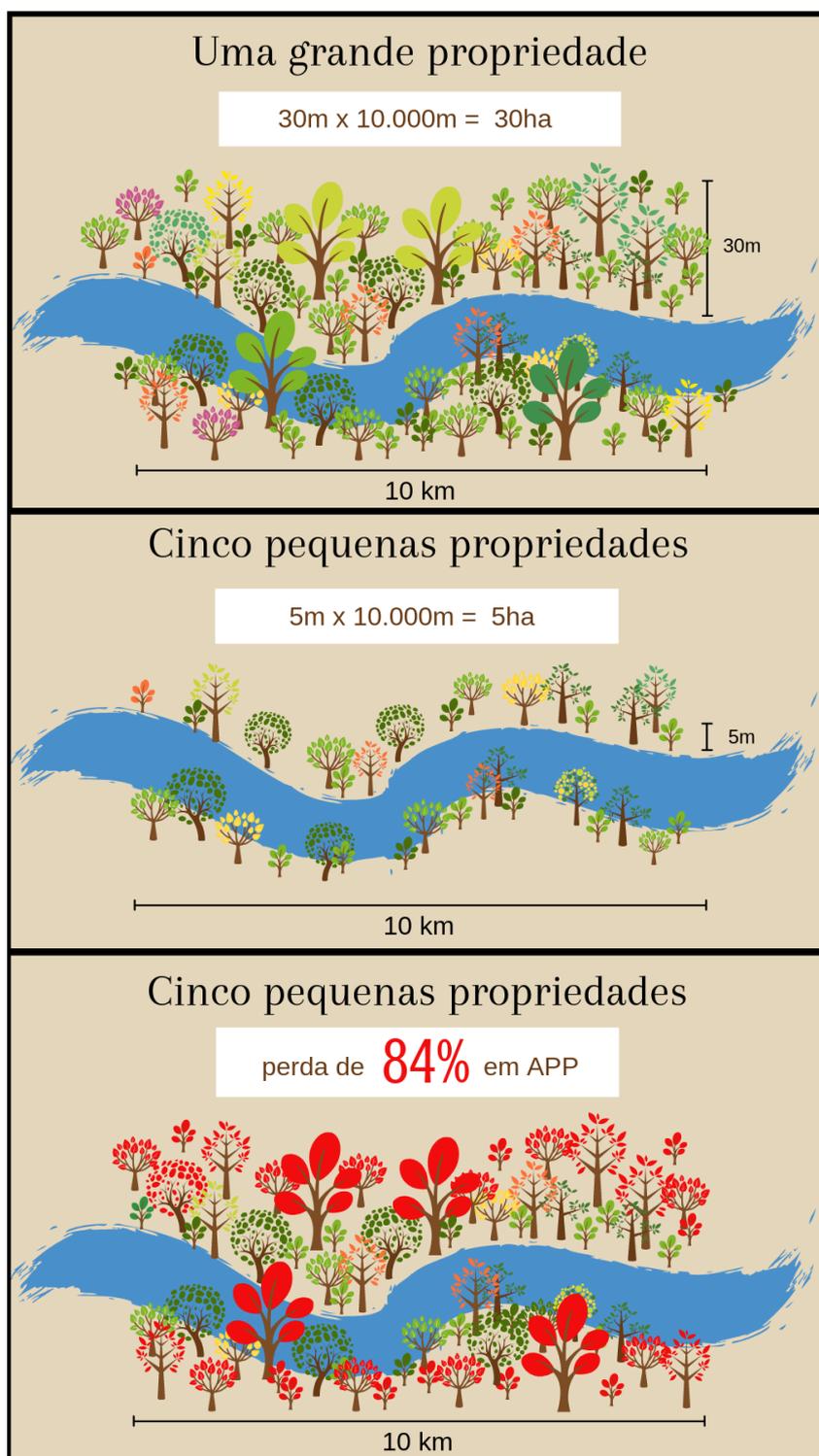
Como muitas pesquisas sugerem, sistemas agroflorestais tem o potencial de restaurar a fertilidade do solo, reduzir a erosão, melhorar a qualidade da água, conservar a biodiversidade, restaurar a paisagem e sequestrar carbono (GARRETT; MCGRAW, 2000; GARRITY, 2004; WILLIAMS-GUILLE'N et al., 2008; NAIR et al., 2009). Todos esses serviços estão relacionados direta ou indiretamente com os serviços apontados pelo artigo 41 da Lei Federal nº 12.651/2012, como serviços importantes fornecidos por atividades de conservação e melhoria dos ecossistemas aptas a serem contempladas por programas de pagamento por serviços ambientais. Neste sentido, o PSA tem potencial de atuar como instrumento de incentivo à implementação de SAFs no Brasil, inclusive como fonte de renda para manutenção de Reserva Legal, uma vez que, mediante autorização do órgão competente, admite-se o manejo florestal sustentável da vegetação nessas áreas destinadas à conservação (BRASIL, 2012).

Ademais, a atual legislação brasileira de proteção da vegetação nativa abre possibilidades ao uso de sistemas e práticas que consigam conciliar a produção de alimentos com os bens e serviços ambientais por meio de sistemas agroflorestais. A nova Lei permite que proprietários de imóveis rurais de até 4 módulos fiscais possam implantar em parte ou toda a sua RL os planos consorciados de nativas, exóticas, frutíferas, ornamentais ou madeireiras, cultivadas em sistemas agroflorestais. Donos de imóveis rurais acima de 4 módulos podem realizar a restauração da RL por meio dos SAFs, que poderá ser intercalando espécies exóticas com nativas de ocorrência regional. Nesses casos, a área a ser recuperada com exóticas não poderá exceder 50% da área total da RL. Além disso, admite a sua exploração por meio do manejo sustentável, tanto para consumo no interior da propriedade como também para utilização econômica, neste caso sendo necessário uma autorização do órgão ambiental e apresentação de um plano de manejo sustentável (MICCOLIS et al., 2016).

O fomento à implementação de práticas produtivas conservacionistas em pequenas propriedades surge como uma necessidade ainda maior após a promulgação do Novo Código Florestal, que consolidou o uso antrópico e a permissão de atividades de baixo impacto em áreas que deveriam, por lei, ser mantidas intocadas (LAUDARES et al., 2017).

As bacias hidrográficas mais afetadas pela flexibilização da legislação são aquelas onde predominam as pequenas propriedades. O artigo 61 da Lei Federal nº 12.651/2012, que dispõe sobre a recomposição de APP em torno de curso d'água em áreas rurais consolidadas, esclarece que a APP independe da largura do curso d'água, mas apenas do número de módulos fiscais da propriedade (BRASIL, 2012). Isto pode ser melhor ilustrado considerando um trecho de curso d'água com 10 km de extensão. Caso a propriedade ao redor deste curso seja uma grande propriedade, então ela deverá recompor 30 ha de APP, respeitando a faixa marginal de 30m, ao passo que se forem 5 pequenas propriedades de até um módulo fiscal, então a APP corresponderá à 5 ha, respeitando a faixa marginal de 5m. Comparando os dois valores, isto representa uma perda de 84% em APP em torno de curso d'água (FIGURA 1).

Figura 1 – Diferença nas áreas de recomposição de APP de acordo com tamanho de propriedade, segundo o artigo 61 de Lei Federal nº 12.651/2012.



Fonte: Do autor (2019).

Muito estudos têm demonstrado que pequenos proprietários podem adotar os Sistemas Agroflorestais como forma de conciliar a produção agrossilvicultural à conservação ambiental (LAUDARES et al., 2017). Amador e Viana (1998) acreditam que os SAFs podem funcionar como um método de recuperação de fragmentos florestais simultâneo ao retorno econômico nos primeiros anos da implementação, tornando o projeto viável economicamente. Neste sentido, em adição à recuperação e à promoção da conservação da água, do solo e da biodiversidade, redução da utilização de pesticidas e adequação de pequenas propriedades, os SAFs podem oferecer suporte econômico, cumprindo um importante papel de desenvolvimento social (AMADOR; VIANA, 1998).

No Programa Produtor de Água a estimativa do abatimento da erosão no campo é feita mediante a consulta de valores tabelados de uso, manejo e práticas das situações inicial e proposta. O estudo de FRANCO et al. (2002) demonstrou que os SAFs apresentam 91,7% menos perda de solo quando comparados aos sistemas convencionais. Chaves et al. (2004) afirmam que nem todos os valores de uso, manejo e práticas indicados por esta tabela são cobertos pelas possíveis situações de uso e manejo do solo do país. Neste sentido, analisando as boas experiências de implantação do PSA Produtor de Água no Brasil e acreditando-se na possibilidade de sua expansão, sugere-se que os SAFs sejam mais uma situação de uso e manejo do solo na tabela que serve de consulta para estimativa do abatimento da erosão no campo pelo programa.

#### **4.5 Por que avaliar os serviços ecossistêmicos?**

A capacidade de valorar SEs, em termos monetário e não monetários, vem aumentando em alguns países, mas ainda necessita ser fortalecida em outros (FAO, 2019). De forma geral, os indicadores de desempenho ambiental focam majoritariamente nos insumos diretos, também denominados serviços ecossistêmicos de provisão (ex.: água, energia ou materiais) e nos resultados das atividades (ex.: emissões de poluentes, resíduos sólidos). Neste sentido, a relação de dependência entre o setor produtivo e os processos biológicos intangíveis (ex. controle de pragas e doenças naturais, ciclagem de nutrientes, decomposição, produção primária) ainda permanecem pouco explorados (BISHOP, 2010).

Segundo Neugarten et al. (2018), aprofundar a compreensão acerca dos serviços ecossistêmicos é um caminho para guiar a tomada de decisão e apoiar medidas de manejo conservacionista de forma a garantir o fluxo contínuo de benefícios providos pelos serviços ecossistêmicos às gerações atuais e futuras. Quantificar e mapear estes benefícios permite

que gestores e tomadores de decisão justifiquem a relevância das práticas de manejo conservacionista, atraindo novas fontes de investimento, contribuindo para o manejo efetivo dessas áreas e para a alocação eficiente de recursos humanos e financeiros (NEUGARTEN et al., 2018).

Para além disso, os estudos e pesquisas a respeito dos SE podem garantir equidade no uso dos recursos e a distribuição justa dos benefícios entre os grupos interessados. Podem também subsidiar o desenvolvimento de novos mecanismos de compensação ambiental e fortalecer os já existentes (como o PSA), expondo fontes alternativas de financiamento e beneficiando produtores que implementam práticas de manejo acordantes com os princípios da agricultura de regeneração (NEUGARTEN et al., 2018).

Informações sobre SE podem ainda demonstrar seu papel no cumprimento das metas e acordos internacionais em conservação, salientando a contribuição das práticas de manejo conservacionista para o cumprimento dos objetivos da Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável (NEUGARTEN et al., 2018).

Conclui-se que os principais intuitos da avaliação de SE são o planejamento espacial e financeiro, a salvaguarda dos esforços direcionados ao desenvolvimento sustentável e o estabelecimento de planos de pagamento por serviços ambientais (NEUGARTEN et al., 2018). Para um entendimento mais holístico dos SE, sugere-se a combinação de métodos quantitativos e qualitativos. Análises qualitativas podem ser especialmente úteis na etapa de identificação dos serviços mais relevantes e dos principais grupos ou indivíduos beneficiários. Análises quantitativas podem ser conduzidas para medir ou modelar espacialmente o conjunto de serviços identificados em termos biofísicos ou monetários (NEUGARTEN et al., 2018).

Quando existe interesse no estabelecimento de planos de PSA, a quantificação dos benefícios ambientais se faz necessária, para que seja possível determinar precisamente quanto de um determinado serviço está sendo produzido por uma determinada área e como o fornecimento deste serviço se relaciona às práticas de manejo adotadas. Dessa forma, torna-se possível o estabelecimento de um sistema igualitário de pagamento entre beneficiários e provedores do serviço (NEUGARTEN et al., 2018).

#### **4.6 O caso da China: a perda de serviços ecossistêmicos florestais.**

Entre 1949 e 1981 a China explorou madeira de cerca de 69 milhões de hectares de florestas nativas, com a finalidade de suprir a demanda por madeira principalmente para o

setor da construção civil. Em consequência, muitos serviços ecossistêmicos florestais associados à proteção de bacias hidrográficas e à conservação de solos foram perdidos. Em 1997, o rio Amarelo, ao norte da China, permaneceu seco por 267 dias, o que afetou os usos industriais, agrícolas e residenciais da região. Em 1998, uma forte enchente atingiu o Yangtze e outras grandes bacias hidrográficas, ocasionando 4.150 mortes e deixando milhões de desabrigados. Estima-se que os danos econômicos foram em torno de US\$30 bilhões (BISHOP, 2010)

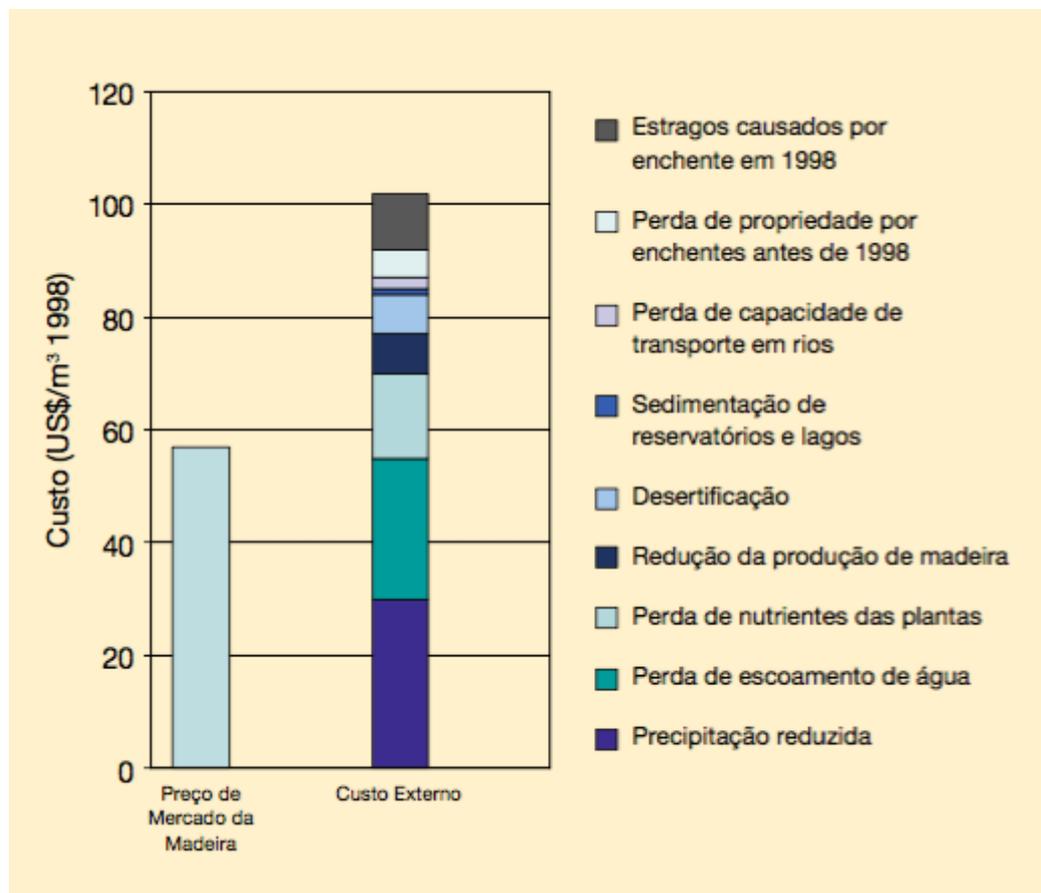
Em 1998 a extração de madeira foi proibida pelo governo, e como consequência, o preço da madeira no mercado de Pequim aumentou 30% entre 1998 e 2003 (BISHOP, 2010).

Serviços ecossistêmicos florestais tais como a ciclagem de nutrientes, prevenção de enchentes, conservação do solo, fornecimento de madeira e combustíveis, a regulação da água e do clima e a produtividade agrícola foram sensivelmente afetados devido ao desmatamento ao longo do período de 1950 a 1998, as perdas foram estimadas em cerca de US\$12 bilhões por ano (BISHOP, 2010).

O valor da perda de serviços florestais ecossistêmicos devido à exploração de madeira pode ser expresso em termos do preço de mercado da madeira (US\$/m<sup>3</sup>). Isto sugere que o ‘verdadeiro’ custo marginal da produção madeireira na China tem sido quase três vezes maior do que o preço de mercado prevalecente, e muito maior do que o modesto aumento no preço resultante da proibição da extração. Além disso, a proibição da extração da madeira resultou no aumento da importação da madeira de outros países, o que sugere que os custos ambientais do consumo deste recurso devem ter se deslocado pelo menos em parte para florestas fora da China (BISHOP, 2010).

A figura 2 expõe a estimativa do valor econômico dos serviços ecossistêmicos perdidos em decorrência da exploração madeireira, expresso nos mesmos termos que o preço de madeira. Estes valores se referem às externalidades ambientais associadas à extração de madeira que não se refletem nos preços de mercado (BISHOP, 2010).

Figura 2 – Serviços ecossistêmicos florestais e preço da madeira na China



Fonte: TREVITT (2010).

O estudo realizado por Trevitt (2010) sugere que diante de uma situação em que se deseja realizar uma comparação de viabilidade econômica entre cenários distintos de uso do solo, tal comparação será precisa somente quando forem ponderadas as externalidades ambientais negativas associadas aos respectivos processos de cada cenário. Caso contrário, os custos associados às perdas de serviços ecossistêmicos permanecerão mascarados, e ulteriormente representarão um prejuízo à toda a sociedade, como foi o caso da seca no Rio Amarelo em 1997 e da enchente que atingiu o Yangtze em 1998 na China.

Não obstante, a valoração dos serviços ecossistêmicos ainda representa um desafio, visto que não existem ferramentas suficientemente difundidas e acessíveis capazes de atender à esta necessidade (NATURAL CAPITAL PROJECT). Neste sentido, um dos entraves ao desenvolvimento efetivamente sustentável reside na tomada de decisão baseada

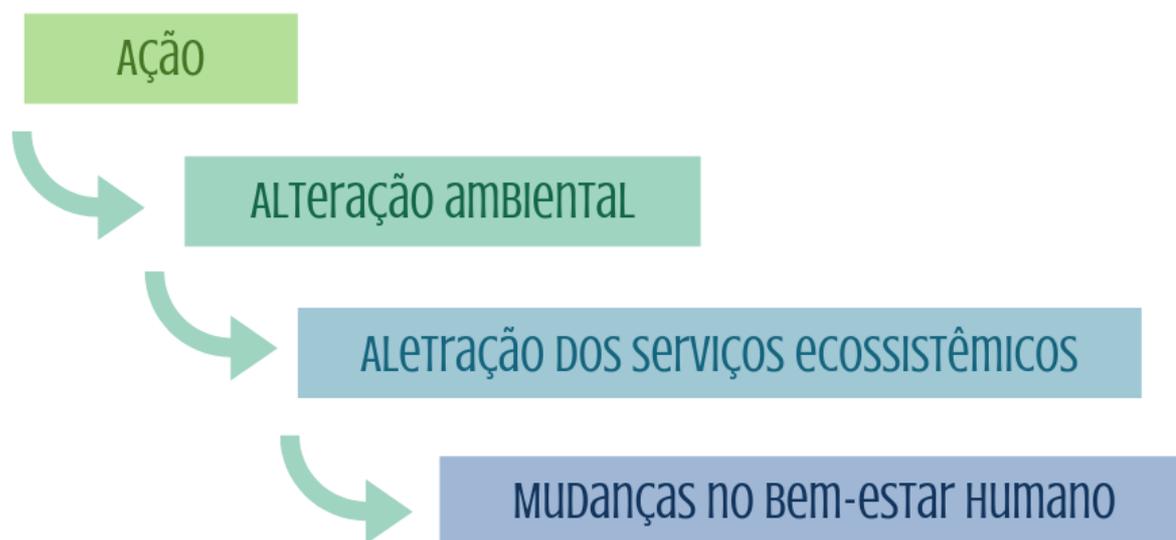
em informações incompletas acerca do papel indispensável que os ecossistemas cumprem em assegurar a viabilidade dos sistemas produtivos.

#### 4.7 Ferramenta de valoração dos serviços ecossistêmicos

Dentre as ferramentas disponíveis para a avaliação de serviços ecossistêmicos, pode-se destacar o inVEST, um software de modelagem, desenvolvido pelo projeto Natural Capital, na universidade de Stanford, capaz de modelar e quantificar SE em termos biofísicos e econômicos sob diferentes cenários de manejo (NATURAL CAPITAL PROJECT, 2019).

Os modelos do inVEST seguem a abordagem de uma função de produção, expressando a relação entre as entradas e saídas de um sistema, descrevendo de forma gráfica ou matemática os outputs obtidos da combinação de diferentes inputs. Neste contexto, buscase explorar a maneira como determinadas ações podem conduzir a mudanças ambientais, como estas mudanças podem alterar o suprimento de serviços ecossistêmicos e como estes em última instância afetam o bem-estar humano (FIGURA 3).

Figura 3 – Fluxo da relação entre as ações, alterações e o bem-estar humano.



Fonte: Do autor, adaptado do Natural Capital Project (2019).

Candiani et al. (2013), investigaram os impactos socioambientais decorrentes da implantação de uma pequena Central Hidrelétrica (PCH) no município de Queluz, estado de São Paulo, na bacia do rio Paraíba do Sul. A partir da análise do trabalho de Candiani et

al. (2013), criou-se um esquema para exemplificar a relação entre as ações e o bem-estar humano propostos pelo Natural Capital Project (2019) (FIGURA 4).

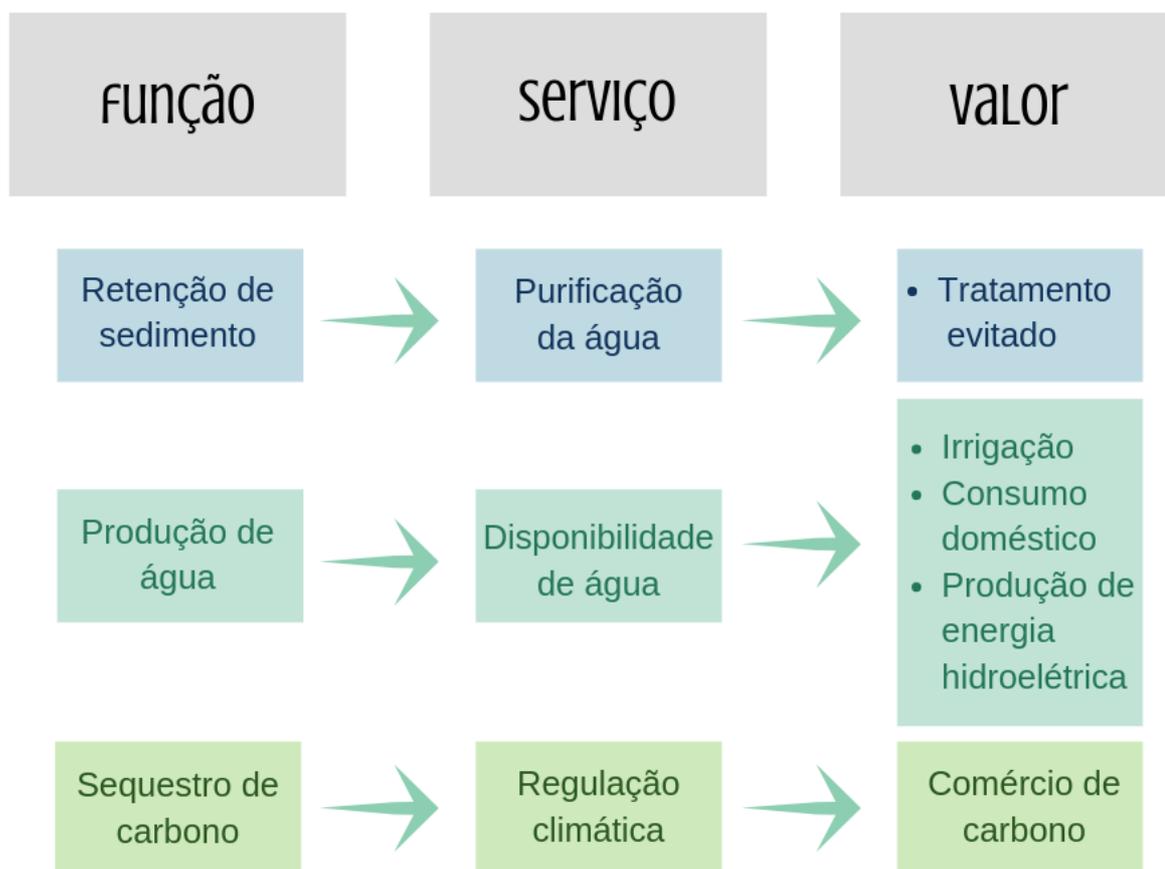
Figura 4 – Fluxograma das relações entre “ação, alteração ambiental, alteração dos serviços ecossistêmicos e bem-estar humano” para o estudo de caso da PCH de Queluz-SP.



Fonte: Do autor (2019).

O inVEST utiliza uma estrutura simples para delinear “função, serviço e valor” e associar as funções de produção aos benefícios prestados às pessoas (FIGURA 5). A função ecossistêmica diz respeito à capacidade que um ecossistema ou paisagem possui em fornecer determinada quantidade de serviço potencialmente útil ao ser humano, variando de acordo com localização, manejo, demanda e infraestrutura. Como resposta à junção das potencialidades às circunstâncias reais, obtém-se o valor, sendo este baseado em valores e preferências sociais (NATURAL CAPITAL PROJECT, 2019).

Figura 5 – Descrição dos modelos de retenção de sedimento, produção de água e sequestro de carbono em termos de fornecimento, serviço e valor (benefícios diretos).

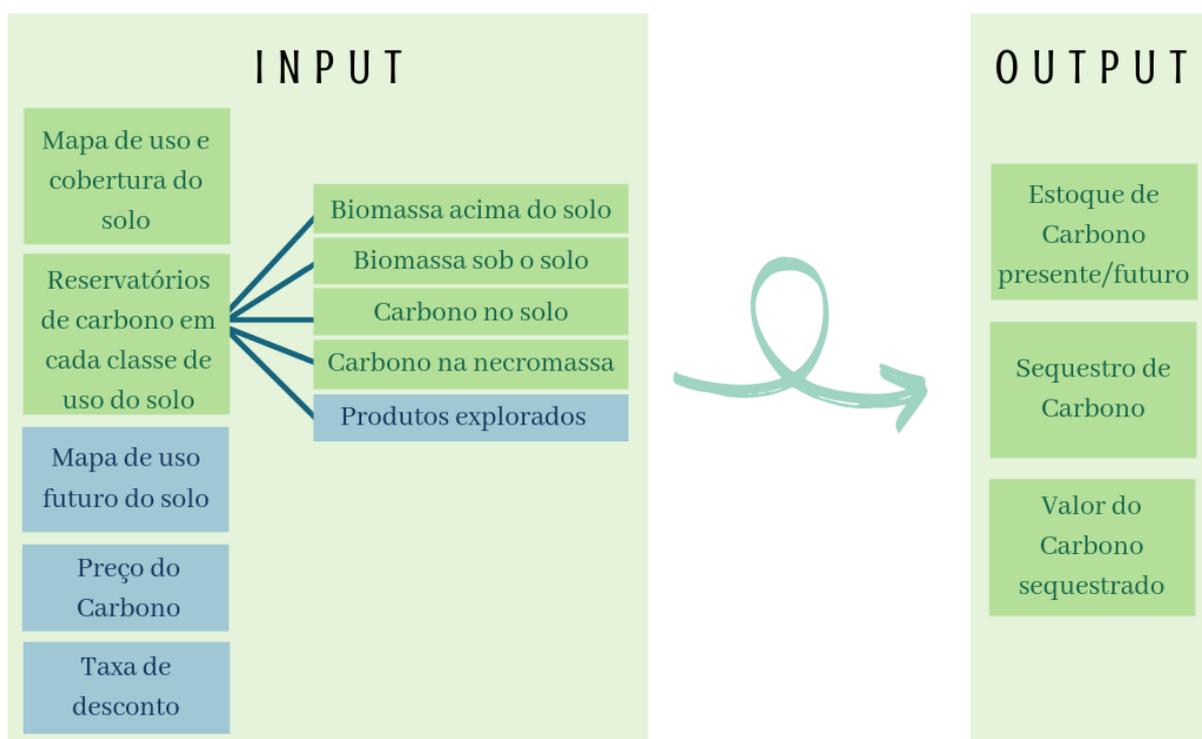


Fonte: Do autor (2019).

Os modelos do inVEST requerem dados de entrada geralmente disponíveis, tipicamente espaciais e que descrevem a estrutura dos ecossistemas, como por exemplo mapa de cobertura do solo, modelo digital de elevação, mapa de hidrografia, informações edafoclimáticas, demanda de determinado recurso, informações econômicas, dentre outros. A ferramenta exige um SIG para processar os inputs e outputs do modelo, mas não habilidades em modelagem e nem coleta de dados primários, como por exemplo pesquisa acerca da vegetação, amostragem de água e solo ou consulta pública (NEUGARTEN et al., 2018). Os outputs gerados pelos modelos são de natureza igualmente espacial, e podem portanto ser visualizados em um SIG ou manipulados e analisados a partir de uma tabela de atributos. Exemplos de outputs são abundância de organismos polinizadores, produção de água e valor de carbono sequestrado. A figura 6 exemplifica os inputs e outputs no modelo

de Carbono. No esquema, as variáveis de entrada obrigatórias estão simbolizadas em verde e as opcionais em azul. As saídas são estoque de carbono presente e futuro, sequestro de carbono (que é a diferença entre o estoque futuro e o estoque presente), e o valor do carbono sequestrado.

Figura 6 – Variáveis de entrada e de saída necessárias e opcionais para o modelo de Carbono



Fonte: Carvalho (2019).

Alguns dos serviços ecossistêmicos passíveis de serem medidos e avaliados pelo inVEST e considerados relevantes do ponto de vista deste trabalho incluem: fornecimento, produção, purificação e qualidade da água, sequestro e armazenamento de carbono, retenção de nutriente, polinização, retenção e regulação de sedimento.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A maneira como o homem maneja os recursos naturais está atrelada à crise ambiental vivida pela sociedade. Isto é evidente nos sistemas modernos agroindustriais e florestais, que se caracterizam pelo cultivo de uma ou poucas variedades, em vastas extensões de terra, em arranjos uniformes, o que conduz à vulnerabilidade da produção e dos ecossistemas.

Neste cenário, na tentativa de garantir a produtividade e suprir a crescente demanda por recursos biológicos, torna-se comum o aumento progressivo da aplicação de fertilizantes (SKINNER et al., 2019) e agrotóxicos e da propagação de organismos geneticamente modificados (GONÇALVES, 2017).

A agricultura moderna trouxe problemas ambientais e sociais complexos que estão cada vez mais evidentes, além de suscitar questionamentos até mesmo em termos de viabilidade econômica. Exemplo disso é o estudo de Skinner et al. (2019) que relata que enquanto o rendimento médio global de grãos por unidade de área aumentou em 189,3% entre os anos de 1970 e 2010, o uso de fertilizantes cresceu em 331% no mesmo período.

É nesse contexto que a agricultura sustentável e regenerativa surge como uma alternativa ao sistema hegemônico de agricultura moderna. O modelo agroecológico proposto se caracteriza pela aplicação da ciência ecológica nos sistemas agrícolas, resultando em sistemas, mais resilientes, altamente produtivos e sustentáveis (UNCTAD, 2013).

Um ponto fundamental nessa transformação é o desenvolvimento dos pequenos e médios produtores, reconhecendo que o agricultor não é um mero produtor de bens agrícolas, mas um importante gestor de sistemas agroecológicos que fornecem incontáveis serviços públicos, como ar, água, solo, paisagem, energia, biodiversidade, recreação e espiritualidade. Além disso, se faz necessário uma compreensão holística da inter-relação e interdependência entre sistemas que aparentemente concorrem entre si, como é o caso da produção e da conservação (UNCTAD, 2013).

Um dos pontos de partida para a construção desta nova racionalidade, que leva em conta a sustentabilidade ambiental, deverá ser o investimento em uma educação que vise a cidadania ecológica, de forma que as motivações para proteger o meio ambiente não sejam meramente econômicas e jurídicas, mas que estejam alicerçadas em vínculos afetivos, espirituais e de responsabilidade para com o outro – as futuras gerações, as outras espécies e a natureza (PERALTA, 2014). Outro ponto importante é promover uma reforma nos instrumentos de incentivo à conservação, orientando a sociedade a tomar decisões e desenvolver estilos de vida que respeitem a capacidade de resiliência do meio ambiente. Neste âmbito, o Direito, como modelo articulador de condutas terá um papel fundamental na construção de um novo senso de utilização dos bens e serviços naturais. A complexidade dos ecossistemas exige uma abordagem interdisciplinar e a adoção de estratégias preventivas mais do que repressivas, o que será possível a partir da implementação de normas indutoras que incentivem boas práticas ambientais. Neste cenário, um dos

instrumentos que se destacam é o Pagamento por Serviços Ambientais (PSA), que demonstra ser uma abordagem promissora, apresentando vantagens frente a outros instrumentos regulatórios e econômicos (PERALTA, 2014).

## 6 CONCLUSÃO

Medir, modelar e avaliar os serviços ecossistêmicos demonstram ser etapas importantes na compreensão da multifuncionalidade dos sistemas agrossilviculturais. Sua quantificação e mapeamento são meios de justificar a relevância das práticas de manejo conservacionista, atrair novas fontes de investimento, auxiliar no cumprimento das metas e acordos internacionais em conservação e colaborar para a implementação de planos de pagamento por serviços ambientais, promovendo assim o justo reconhecimento dos benefícios gerados por aqueles que conservam.

Devido ao crescente entendimento da conservação como elemento indispensável à viabilidade dos sistemas produtivos, os sistemas agroflorestais começam a receber mais atenção e reconhecimento. O que se observa até o momento é que os sistemas agroflorestais sob manejo adequado são potenciais ofertantes de serviços ambientais, cumprindo um papel fundamental na regulação climática, no enriquecimento do solo, na conservação da biodiversidade, na melhoria da qualidade da água e do ar, dentre outros benefícios que fluem para a sociedade como um todo.

Os proprietários rurais que implementam SAFs podem se tornar efetivos recebedores de incentivos econômicos como o PSA, visto que este tipo de instrumento se destina justamente às atividades que gerem serviços ambientais. O artigo 41 da Lei de Proteção da Vegetação Nativa deixa claro que programas de remuneração, monetária ou não, podem ser instituídos pelo Poder Executivo Federal, a fim de fomentar práticas que promovam o sequestro de carbono, a conservação da biodiversidade, a conservação das águas e dos serviços hídricos, a regulação do clima, a conservação e o melhoramento do solo e a manutenção de APP e RL.

A ferramenta InVEST pode auxiliar no processo de modelagem, quantificação e valoração dos serviços ecossistêmicos em termos biofísicos e econômicos, auxiliando assim nos processos de tomada decisão quanto à gestão dos recursos naturais. O inVEST é uma ferramenta acessível, visto que é um software gratuito, não requer habilidades em modelagem, requer dados de entrada geralmente disponíveis e exige um SIG somente para processamento dos inputs e outputs. Por demonstrar a dependência de qualquer negócio aos

serviços ecossistêmicos providos por um meio ambiente saudável, o seu uso acaba por incentivar proprietários ou empresas a se engajarem em práticas conservacionistas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBRECHT, A.; KANDJI, S. T. Carbon sequestration in tropical agroforestry systems. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 99, n.1-3, p. 15–27, 2003.

ALLEN S. et al. Safety net role of tree roots: experimental evidence from an alley cropping system. **Forest Ecology and Management**, v. 192, p. 395–407, 2004.

ALTMANN, A.; SOUZA, L. F. de; STANTON, M. S. **Manual de Apoio à Atuação do Ministério Público: Pagamento por Serviços Ambientais**, 1 ed. Porto Alegre, 2015. Disponível em: <<http://www.terrabrasil.org.br/ecotecadigital/index.php/estantes/gestao/3554-manual-de-apoio-a-atuacao-do-ministerio-publico-pagamento-por-servicos-ambientais>>. Acesso em: 09 mai. 2019.

AMADOR, D. B.; VIANA, V. M. Sistemas Agroflorestais para recuperação de fragmentos florestais. **Série técnica IPEF**, v. 12, n. 32, p. 105-110, 1998.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Manual Operativo do Programa “Produtor de Água”**. Brasília, 2012. 84 p.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Nota informativa - Programa Produtor de Água**, 2018. Disponível em: <<https://www.ana.gov.br/programas-e-projetos/programa-produtor-de-agua>>. Acesso em: 15 mai. 2019.

ASHLEY, R. et al. The policy terrain in protected area landscapes: challenges for agroforestry in integrated landscape conservation. **Biodiversity and Conservation**, v. 15, p. 663–689, 2006. Disponível em: <<https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s10531-005-2100-x.pdf>>. Acesso em: 12 mai. 2019.

BARNOSKY, A. D. et al. Has the Earth’s sixth mass extinction already arrived? **Nature**, v. 471, n. 7336, p. 51–57, 2011.

BARRIOS, E. et al. Agroforestry and Soil Health: Linking Trees, Soil Biota, and Ecosystem Services. In: WALL, D. H. et al., **Soil Ecology**. 1 ed. Oxford: Oxford University Press, 2012. cap. 5.2, p. 315-330.

BARRIOS, E. Soil biota, ecosystem services and land productivity. **Ecological Economics**, v. 64, p.269–285, 2007.

BOMMARCO, R.; KLEIJN, D.; POTTS, S. G. Ecological intensification: harnessing ecosystem services for food security. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 28, n. 4, p. 230–238, 2013.

BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de Maio de 2012. Dispões sobre a proteção da vegetação nativa e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 25 de mai. 2012. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2011-2014/2012/Lei/L12651.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12651.htm)>. Acesso em: 19 mai. 2019.

BRASIL. Projeto de Lei do Senado nº 276, de 2013. Institui a Política Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais (PNPSA). Disponível em: <<https://www25.senado.leg.br/web/atividade/materias/-/materia/113566>>. Acesso em: 19 mai. 2019.49

CANDIANI, G. et al. Estudo de caso: aspectos socioambientais da pequena central hidrelétrica (PCH)-Queluz-SP, na bacia do rio Paraíba do Sul. **Revista do Departamento de Geografia – USP**, v. 25, p. 98-119, 2013. Disponível em: <<http://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/75176>>. Acesso em: 15 mai. 2019.

CASSMAN, K. G. Ecological intensification of cereal production systems: Yield potential, soil quality, and precision agriculture. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 96, n. 11, p. 5952–5959, 1999.

CHAVES, H. M. L. et al. Quantificação dos Benefícios Ambientais e Compensações Financeiras do “Programa do Produtor de Água” (ANA): I. Teoria. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 9, n. 3, p. 05-14, 2004a.

CHAVES, H. M. L. et al. Quantificação dos Benefícios Ambientais e Compensações Financeiras do “Programa do Produtor de Água” (ANA): II. Aplicação. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 9, n. 3, p. 15-21, 2004b.

DANGERFIELD, J. M. (1993) Characterization of soil fauna communities. In: RAO, M.R.; SCHOLLES, R. J. **Report on characterization of an experimental field at KARI farm, Muguga, Kenya**, p. 51–67. ICRAF, Nairobi.

DIXON, R. K. Agroforestry Systems: sources or sinks of greenhouse gases? **Agroforestry Systems**, v. 31, p. 99 - 116, 1995.

ENGEL, S.; PAGIOLA, S.; WUNDER, S. Designing payments for environmental services in theory and practice: An overview of the issues. **Ecological Economics**, v. 65, n. 4, p. 663–674, 2008.

FONDO NACIONAL DE FINANCIAMIENTO FORESTAL. **FONAFIFO**. Costa Rica, 2018. Disponível em: <<https://www.fonafifo.go.cr/es/>>. Acesso em: 13 de maio de 2019.

FRANCO, F. S. et al. Quantificação de erosão em sistemas agroflorestais e convencionais na zona da mata de Minas Gerais. **Revista Árvore**, v. 26, n. 6, p. 751-760, 2002.

GARRETT, H. E.; MCGRAW, R. L. Alley cropping practices. In: GARRETT, H. E.; RIETVELD, W. J.; FISHER, R. F. **North American Agroforestry: na integrated Science and practice**. ASA, Madison, 2000. p. 149-188.

GARRITY, D.P. Agroforestry and the achievement of the millennium development goals. **Agroforestry Systems**, v. 61, p. 5-17, 2004.

GERBENS-LEENES, P. W.; NONHEBEL, S.; KROL, M. S. Food consumption patterns and economic growth. Increasing affluence and the use of natural resources. **Appetite**, v. 55, n. 3, p. 597–608, 2010. Disponível em:

<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0195666310005118?via%3Dihub>>. Acesso em: 28 mar. 2019.

GONÇALVES, A. P. R. **Perspectivas para o pagamento por serviços ambientais para promover a agroecologia**. 2017. 212 p. Tese (Mestrado em Direito)–Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017.

GUEDES, F. B.; SEEHUSEN, S. E. (Org.). **Pagamento Por Serviços Ambientais na Mata Atlântica: lições aprendidas e desafios**. 2 ed. Brasília: MMA, 2012.

HERTWICH E. G. Consumption and Industrial Ecology. **Journal of Industrial Ecology**, v. 9, n. 1-2, p. 1-6, 2005.

IUCN - *International Union for Conservation of Nature*. Disponível em: <<https://www.iucnredlist.org>>. Acesso em: 2 jun. 2019.

JARDIM, M. H. **Pagamento por serviços ambientais na gestão de recursos hídricos: O caso do Município de Extrema-MG**. 2010. 195 p. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Sustentável) - Centro de Desenvolvimento Sustentável, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2010.

JOSE, S. Agroforestry for ecosystem services and environmental benefits: an overview. **Agroforestry Systems**, v. 76, n. 1, p. 1-10, 2009.

KANG, B. T.; CAVENESS, F. E.; TIAN, G.; KOLAWOLE, G.O. Long-term alley cropping with four species on an Alfisol in southwest Nigeria—effect on crop performance, soil chemical properties and nematode population. **Nutrient Cycling in Agroecosystem**, v. 54, p. 145–55, 1999.

KHATOUNIAN, C. A. **A Reconstrução Ecológica da Agricultura**. Botucatu: Ed. Agroecológica, 2001.

KLEMZ, C. et al. **Guia para a formulação de políticas públicas Estaduais e Municipais de Pagamento por Serviços Ambientais**. 1 ed. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, Fundação Grupo Boticário de Proteção à Natureza, The Nature Conservancy do Brasil, Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, Agência de Comunicação Candyshop, 2017.

KONIG, D. The potential of agroforestry methods for erosion control in Rwanda. **Soil Technology**, v. 5, n. 2, p. 167–176, 1992.

LACERDA, R. C. A. O uso do PSA como Instrumento Econômico na Recuperação Ambiental da bacia do Rio Doce. 2017. 178 p. Dissertação (Mestrado em Economia)-Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2017.

LAUDARES, S. S. A. et al. Agroforestry as a sustainable alternative for environmental regularization of rural consolidated occupations. **Cerne**, v. 23, n. 2, p. 161-174, 2017.

LEE K. H.; ISENHART, T. M.; SCHULTZ, R. C. Sediment and nutrient removal in an established multi-species riparian buffer. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 58, p. 1–8, 2003.

LIN, B.B. The role of agroforestry in reducing water loss through soil evaporation and crop transpiration in coffee agroecosystems. **Agricultural and Forest Meteorology**. v. 150, p. 510–18, 2010.

MARON, M. et al. Towards a Threat Assessment Framework for Ecosystem Services. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 32, n. 4, p. 240–248, 2017.

MARTIUS, C. et al. Microclimate in agroforestry systems in central Amazonia: does canopy closure matter to soil organisms? **Agroforestry Systems**, v. 60, n. 3, p. 291-304, 2004.

MASIERO, M. et al. **Valuing forest ecosystem services: a training manual for planners and project developers**. Forestry Working Paper No. 11. Rome: FAO, 2019.

MAY, P. H. et al. **Economia do Meio Ambiente: Teoria e Prática**. 2 ed. Rio de Janeiro: Elsevier Editora Ltda, 2010.

MEA - Millennium Ecosystem Assessment. **Ecosystems and Human Well-Being**. Island Press, 2005.

MICCOLIS, A. et al. **Restauração Ecológica com Sistemas Agroflorestais: Como conciliar conservação com produção. Opções para Cerrado e Caatinga**. Brasília, Instituto Sociedade, População e Natureza – ISPN/Centro Internacional de Pesquisa Agroflorestal - ICRAF, 2016.

MONTAGNINI, F.; NAIR, P. K. R. Carbon sequestration: An underexploited environmental benefit of agroforestry systems. **Agroforestry Systems**, v. 61, n. 1-3, p. 281–295, 2004.

MORGAN, R. C. P. **Soil Erosion & Conservation**. 3 ed. Oxford: Blackwell publishing Ltd, 2005.

NAIR V. D.; NAIR P. K. R.; KALMBACHER R. S.; EZENWA I. V. Reducing nutrient loss from farms through silvopastoral practices in coarse-textured soils of Florida, USA. **Ecological Engineering**, v. 29, p. 192–199, 2007.

NAIR, P. K. R.; KUMAR, B. M.; NAIR, V. D. Agroforestry as a strategy for carbon sequestration. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 172, p. 10-23, 2009.

NATURAL CAPITAL PROJECT. **InVEST User Guide**. University of Stanford. Disponível em: <<https://naturalcapitalproject.stanford.edu>>. Acesso em: 01 mai. 2019.

NEUGARTEN, R.A. et al. **Tools for measuring, modelling, and valuing ecosystem services: Guidance for Key Biodiversity Areas, natural World Heritage Sites, and protected areas**. Gland, Switzerland: IUCN, 2018. Disponível em: <<https://www.iucn.org/resources/publications>>. Acesso em: 04 mai. 2019.

PATTERSON, T. M.; COELHO D. L. Ecosystem services: Foundations, opportunities, and challenges for the forest products sector. **Forest Ecology and Management**, v. 257, n. 8, p. 1637–1646, 2009.

PAUSTIAN, K. et al. Agricultural soils as a sink to mitigate CO<sub>2</sub> emissions. **Soil Use and Management**, v. 13, n. 4, p. 230–244, 1997.

PAUSTIAN, K. et al. Management options for reducing CO<sub>2</sub> emissions from agricultural soils. **Biogeochemistry**, v. 48, n. 1, p. 147–163, 2000.

PERALTA, C. E. O pagamento por serviços ambientais como instrumento para orientar a sustentabilidade ambiental. A experiência da Costa Rica. In: LAVRATTI, P.; TEJEIRO, S. **Direito e Mudanças Climáticas: Pagamento por Serviços Ambientais: experiências locais e latino-americanas**. São Paulo: Instituto O Direito por um Planeta Verde, 2014. v. 7, cap. 1, p. 8-53.

RICHARDS, R. C. et al. Governing a pioneer program on payment for watershed services: Stakeholder involvement, legal frameworks and early lesson from the Atlantic forest of Brazil. **Ecosystem Services**, v. 16, p. 23–32, 2015.

RICHARDS, R. C. et al. Considering farmer land use decisions in efforts to ‘scale up’ payments for watershed services. **Ecosystem Services**, v. 23, p. 238–247, 2017.

RILLIG, M. C. Arbuscular mycorrhizae and terrestrial ecosystem processes. **Ecology Letters**, v. 7, p.740–754, 2004.

SACHS, W.; SANTARIUS, T. **Un futuro justo**. Recursos limitados y justicia global. Barcelona: Icaria editorial S.A. 2005.

SAHA, S. K. et al. Soil carbon stock in relation to plant diversity of homegardens in Kerala, India. **Agroforestry Systems**, v. 76, p. 53-65, 2009.

SENADO FEDERAL. Disponível em: <<https://www25.senado.leg.br/web/atividade/materias/-/materia/113566>> . Acesso em: 20 mai. 2019.

SHARROW, S. H.; ISMAIL, S. Carbon and nitrogen storage in agroforests, tree plantations, and pastures in western Oregon, USA. **Agroforestry Systems**, v. 60, n. 2, p. 123–130, 2004.

SCHERR, S.; WHITE, A.; KHARE, A. **The current status and future potential of markets for the ecosystem services provided by tropical forests**. ITTO Technical Series n. 21. International Tropical Timber Organization, 2004. Disponível em: <<https://www.forest-trends.org/publications/for-services-rendered/>>. Acesso em: 05 mai. 2019.

SILESHI, G.; MAFONGOYA, P. L. Variation in macrofaunal communities under contrasting land-use systems in eastern Zambia. **Applied Soil Ecology**, v. 33, p. 49–60, 2006.

PME - PREFEITURA MUNICIPAL DE EXTREMA. **Conservador das Águas**. 2016. Disponível em: <<http://www.extrema.mg.gov.br/conservadordasaguas/>>. Acesso em: 15 abr. 2019.

STANTON, M. Pagamento por Serviços Ambientais. In: ALTMANN, A.; SOUZA, L. F. de; STANTON, M. **Manual de apoio à atuação do Ministério Público**: Pagamento por Serviços Ambientais. 1 ed. Porto Alegre: Andrefc.com Assessoria e Consultoria em Projetos, 2015. v. 1, cap. 3, p. 50-106. Disponível em: <<http://www.terrabrasil.org.br/ecotecadigital/index.php/estantes/gestao/3554-manual-de-apoio-a-atuacao-do-ministerio-publico-pagamento-por-servicos-ambientais>>. Acesso em: 02 abr. 2019.

SKINNER, C. et al. The impact of long-term organic farming on soil-derived greenhouse gas emissions. **Nature: Scientific Reports**, v. 9, n. 1702, p. 1-10, 2019. Disponível em: <[sci-hub.tw/10.1038/s41598-018-38207-w](https://doi.org/10.1038/s41598-018-38207-w)>. Acesso em: 07 abr. 2019.

STANTON, M.; TEJEIRO, G.; LAVRATTI, P. **Sistemas Estaduais de Pagamento por Serviços Ambientais**: Diagnóstico, lições aprendidas e desafios para a futura legislação. 1 ed. São Paulo: Instituto O Direito por um Planeta Verde, 2014.

BISHOP, J. et al. TEEB – A Economia dos Ecossistemas e da Biodiversidade. Relatório para o Setor de Negócios – Sumário Executivo, 2010.

TILMAN, D. Forecasting Agriculturally Driven Global Environmental Change. **Science**, v. 292, n. 5515, p. 281–284, 2001.

TOMPKINS, E. L.; ADGER, W. N. Does Adaptive Management of Natural Resources Enhance Resilience to Climate Change? **Ecology and Society**, v. 9, n. 2, 2014. Disponível em: <<http://www.ecologyandsociety.org/vol9/iss2/art10/>>. Acesso em: 07 abr. 2019.

TREVITT, M. **Case study for TEEB**, 2010. Disponível em: <[www.trucost.com](http://www.trucost.com)>. Acesso em: 3 jun. 2019.

TSCHARNTKE, T. et al. Landscape perspectives on agricultural intensification and biodiversity - ecosystem service management. **Ecology Letters**, v. 8, n. 8, p. 857–874, 2005.

UNCTAD “Trade and Environment Review - Make agriculture Truly Sustainable now for food security in a changing climate”, 2013. Disponível em: <<https://unctad.org/en/pages/PublicationWebflyer.aspx?publicationid=666>>. Acesso em: 23 mar. 2019.

PROJETO VERNA - Valorização Econômica do Reflorestamento com Espécies Nativas. Disponível em: <<https://wribrasil.org.br/pt/our-work/projects/projeto-verena>>. Acesso em: 15 abr. 2019

WILLIAMS-GUILLE’N, K.; PERFECTO, I.; VANDERMEER, J. Bats limit insects in a neotropical agroforestry system. **Science**, v. 320, p. 70, 2008.

WUNDER, S.; WERTZ-KANOUNNIKOFF, S. Payments for Ecosystem Services: A New Way of Conserving Biodiversity in Forests. **Journal of Sustainable Forestry**, v. 28, n. 3-5, p. 576-596, 2009.

WUNDER, S. Revisiting the concept of payments for environmental services. **Ecological Economics**, v. 117, p. 234–243, 2015. Disponível em: <sci-hub.tw/10.1016/j.ecolecon.2014.08.016>. Acesso em: 29 abr. 2019.

YOUNG, A. **Agroforestry for soil management**. 2 ed. Wallingford: ICRAF e CAB International, 1997.

Young, A. **Land resources: now and for the future**. Cambridge University Press, Cambridge, 1998.