

PRODUÇÃO DE ÁGUA E ADEQUAÇÃO DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

*Junior Ruiz Garcia
Ademar Ribeiro Romeiro*

De acordo com os dados do Programa de Avaliação Mundial da Água (*World Water Assessment Programme – WWAP*, 2012) das Nações Unidas, a atividade agrícola responde por 70% do consumo humano total de água. A agricultura não apenas influencia a demanda por água, mas pode ser considerada uma importante atividade no que se refere à adoção de sistemas de gestão de recursos hídricos. Assim, o tipo de sistema de manejo do solo agrícola também afetará a dinâmica hídrica. Neste sentido, o agricultor, além de produzir alimentos, poderia tornar-se um “produtor” de água, como preconizado pelo “Programa Produtor de Água” da Agência Nacional de Águas (ANA). Daí a importância de se perseguir a adequação do uso agrícola do solo para a manutenção e/ou ampliação da disponibilidade de água em quantidade e em qualidade adequada às demandas das regiões, a partir da perspectiva econômico-ecológica.

Introdução

A depleção dos recursos hídricos, quanto à sua quantidade e qualidade e sua escala tempo-espaço, tem agravado o fornecimento de água em determinadas regiões. De acordo com a OECD – *Organisation for Economic Co-Operation and Development*¹, em 2005 por volta de 2,7 bilhões de pessoas viviam em áreas que apresentavam situação de severo estresse hídrico. Este mesmo estudo estimou que, no ano de 2030, em torno de 4 bilhões de pessoas estarão vivendo em áreas com severo estresse hídrico. Essa escassez espaço-tempo dos recursos hídricos, em muitos casos, está vinculada ao uso não-racional e à adoção de práticas predatórias no uso do solo, em especial agrícola, que se materializaram na degradação do ambiente que envolve os mananciais, como, por exemplo, as matas ciliares. Mesmo no Brasil, onde existe abundância relativa e absoluta de recursos hídricos, a escassez tornou-se eminente em várias regiões.

Não se trata apenas da carência de recursos hídricos em áreas tradicionais que convivem com a estiagem, como a Região Nordeste, em especial a Região do Semiárido Brasileiro. Também em regiões que há algumas décadas apresentavam disponibilidade acima de sua demanda por recursos hídricos, nos últimos anos passaram a conviver com severos períodos de estiagens, em estados como Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná. Outro exemplo é a drástica redução da disponibilidade de recursos hídricos em áreas de Cerrado, no Centro-Oeste e Norte do Brasil, embora o regime de chuvas ainda não tenha sido alterado de maneira significativa. Essa redução decorre do intenso e rápido aumento da demanda por água para “alimentar” os sistemas de irrigação instalados nesta região. Não se pode esquecer que a expansão da atividade agrícola em regiões de Cerrado é resultado de um intenso processo de desmatamento e de degradação das nascentes e demais corpos d’água da região.

Portanto, o uso e ocupação inadequados dos solos agrícolas estão entre as principais causas da depleção dos recursos hídricos. Ao mesmo tempo, a agricultura é a atividade humana de maior demanda por água. Segundo dados do Programa de Avaliação Mundial da Água (*World Water Assessment Programme – WWAP*, 2012) das Nações Unidas, a atividade agrícola responde por 70% do consumo humano total de água. Nesse sentido, as ações que possam aumentar ou diminuir a disponibilidade de água em quantidade e qualidade nas regiões dependem profundamente da participação dos produtores agropecuários. Trata-se de uma partici-

¹ ORGANIZAÇÃO PARA A COOPERAÇÃO E DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO – OCDE (2008). *OECD Environment Outlook to 2030*. Disponível em: www.oecd.org. Acesso em: 28/05/2010.

pação decisiva que pode ser classificada como um serviço ambiental a ser prestado na recuperação de um serviço ecossistêmico fundamental dos solos, que é aquele da produção de água em quantidade e qualidade. Considere-se ainda que a agricultura representa a primeira grande intervenção no tipo de uso e ocupação das terras em zonas naturais a partir da abertura de novas áreas. Esse é o primeiro grande impacto no relativo equilíbrio dos ecossistemas e na dinâmica hídrica de qualquer fronteira agrícola. Na sequência, o tipo de sistema de manejo do solo agrícola também afetará a dinâmica hídrica da fronteira agrícola.

Desse modo, a questão a ser debatida é a seguinte: o sistema de manejo do solo agrícola adotado contribuirá para a manutenção da disponibilidade de água na região ou promoverá sua redução? Nesse contexto, este trabalho tem por objetivo principal discutir a importância da adequação do uso agrícola do solo para a manutenção e/ou ampliação da disponibilidade de água em quantidade e em qualidade adequadas às demandas das regiões, a partir de uma perspectiva econômico-ecológica.

Este trabalho está organizado em três seções. A primeira seção ocupa-se da abordagem econômico-ecológica, cujo objetivo é mostrar a importância de uma análise holística da dinâmica econômica, que inclui a consideração de seus impactos ecossistêmicos. Na seção seguinte, discute-se a relação entre agricultura e a dinâmica hídrica, procurando-se deixar claro quais os impactos do tipo de cobertura vegetal e do seu manejo no serviço ecossistêmico de provisão de água. A terceira seção apresenta recomendações para que a atividade agrícola possa contribuir para a disponibilidade de recursos hídricos em quantidade e qualidade, destacando-se também o papel da simulação dos distintos cenários de uso e ocupação que resultam dessas recomendações para a formulação de políticas públicas.

Abordagem Econômico-Ecológica

A Economia Ecológica (EE) tornou-se a principal resposta crítica à Economia do Meio Ambiente (EMA) de vertente neoclássica. A proposta da EE é resultado da inquietação “silenciosa” de um conjunto de cientistas quanto ao tratamento dado à inter-relação entre o sistema econômico e o natural, que procura o aporte de contribuições estruturais na análise da problemática ecológico-econômica. Essa abordagem integra em seu corpo teórico-analítico diversas áreas do conhecimento, tais como economia, ecologia, termodinâmica, ética e uma série de outras ciências naturais e sociais.

Tal característica proporciona a construção de uma visão integrada, holística, dinâmica e biofísica da inter-relação entre o sistema econômico e natural, cujo objetivo é fornecer contribuições estruturais para a solução de problemas ecológico-econômicos. Trata-se, portanto, de uma abordagem transdisciplinar da análise de tais problemas.²

² COSTANZA, R. Economia ecológica: uma agenda de pesquisa. In: MAY, P. H. & MOTTA, R. S. (Orgs.). *Valorando a natureza: a análise econômica para o desenvolvimento sustentável*. Rio de Janeiro: Campus, 1994.

³ COSTANZA, R. *Op. cit.*

De acordo com Costanza³, a abordagem apresentada pela EE assenta-se na amplitude de sua percepção da problemática ambiental e na importância que se atribui à inter-relação entre o sistema natural e o antropogênico. A visão de mundo é mais ampla no que se refere às variáveis que devem ser estudadas: espaço, tempo e partes do sistema. Ainda, essa abordagem é considerada pessimista, porque a análise é permeada por um elevado grau de incerteza sobre a capacidade de o desenvolvimento tecnológico superar as limitações impostas pelo ecossistema ao crescimento econômico. Para a EE, seria irracional apostar que a inovação removeria todo e qualquer limite para o crescimento físico da economia. No entanto, se essa postura mostrar-se equivocada, o resultado será uma agradável surpresa, e a sociedade ainda teria um sistema relativamente sustentável.⁴

⁴ COSTANZA, R. *Op. cit.*

⁵ CECHIN, A. & VEIGA, J. E. O fundamento central da economia ecológica. Capítulo 2. In: MAY, P. (Org.). *Economia do meio ambiente: teoria e prática*. 2ª edição. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010.

Cechin & Veiga⁵ destacam alguns elementos que caracterizariam a EE como uma real ruptura com a EMA: 1) contraste dos “pontos de partida”; 2) relevância da noção de “metabolismo”; 3) importância decisiva da primeira e da segunda lei da termodinâmica; 4) oposição cognitiva de ambas as escolas sobre o “processo produtivo”; 5) desdobramento cético da abordagem econômico-ecológica.

⁶ CECHIN, A. & VEIGA, J. E. *Op. cit.*

A EE considera o sistema econômico como um subsistema aberto e contido em um sistema maior, o ecossistema, embora este seja finito e não se expanda. O ecossistema é materialmente fechado para troca de matéria, mas aberto para troca de energia solar.⁶ Logo, o sistema econômico não pode expandir-se *ad infinitum*, porque é impossível manter um crescimento material sustentável. Qualquer aumento físico do sistema econômico necessariamente ocupará uma parcela maior do sistema natural.

A substituição do sistema natural para econômico é irreversível na maioria dos casos. Uma vez realizada, não é possível recuperar as características originais do ecossistema. Então, qualquer decisão que tenha por objetivo a expansão do sistema econômico deve levar em conta, pelo menos, seu custo de oportunidade. Caso o custo de oportunidade seja maior que o benefício social, a decisão poderá ser “antieconômica”, porque no conjunto da sociedade a decisão não estaria gerando melhoria de bem-estar.

A análise neoclássica da dinâmica econômica é baseada no fluxo circular da renda, que se resume na relação monetária entre produto e consumo. Essa análise considera o sistema econômico como isolado e ignora sua dependência do sistema natural. Neste modelo, é possível produzir um bem ou serviço sem a entrada ou a saída de matéria e energia. No limite, afirma-se que é possível produzir algo a partir do nada. “[...] se a economia não gerasse resíduo e não exigisse novas entradas de matéria e energia, então ela seria o sonhado moto-perpétuo, capaz de produzir trabalho ininterruptamente, consumindo a mesma energia e valendo-se dos mesmos materiais”.⁷

⁷ CECHIN, A. & VEIGA, J. E. *Op. cit.* p. 35.

A análise do sistema econômico realizada pela EE é sustentada pela Primeira e Segunda Lei da Termodinâmica. A Primeira Lei ou Princípio da Conservação da Energia mostra que a energia pode ser transformada de uma forma para outra. A energia não pode ser consumida ou destruída, no sentido de ser utilizada de modo a haver uma menor quantidade do que havia anteriormente; sempre haverá a mesma quantidade, mas em formas diferentes. O que se entende por consumo de energia é, na verdade, a conversão de uma forma para outra, por exemplo, trabalho e calor. A EE considera o sistema econômico como uma dinâmica metabólica semelhante à de um ser vivo, em que ocorre troca de energia e matéria com seu ambiente externo, portanto, um sistema aberto. O sistema natural é a base material e energética do econômico, sem a qual este sistema não existiria!

⁸ COMMON, M. & STAGL, S. *Ecological economics: an introduction*. New York: Cambridge University Press, 2005.

⁹ DALY, H. & FARLEY, J. *Ecological Economics: Principles and Applications*. Washington: Island Press, 2004. COMMON, M. & STAGL, S. *Op. cit.*

MULLER, C. C. *Os economistas e as relações entre o sistema econômico e o meio ambiente*. Brasília: Editora UNB/Finatec, 2007.

CECHIN, A. & VEIGA, J. E. *Op. cit.*

CECHIN, A. *A natureza como limite da economia: a contribuição de Nicholas Georgescu-Roegen*. São Paulo: Editora Senac/Edusp, 2010.

¹⁰ CECHIN, A. & VEIGA, J. E. *Op. cit.*

A Segunda Lei (Entropia) considera que a dissipação de energia tende a um máximo em um sistema isolado. Significa que a energia dissipada não poderá mais ser utilizada para gerar trabalho. De acordo com a Segunda Lei, a degradação energética tende ao máximo em um sistema isolado, e não é possível reverter esse processo.⁸ Então, qualquer transformação energética envolveria aumento da entropia, o que implica perda na capacidade de realização de trabalho.⁹

O sistema econômico é aberto para a entrada de matéria e energia de qualidade, embora também seja aberto para a saída de matéria e energia de baixa qualidade, ou seja, resíduo ou dejetos, em geral na forma de poluição. Portanto, este sistema se apropria da energia e da matéria de baixa entropia do sistema natural e, após utilizá-la, acaba por gerar produtos e subprodutos na forma de resíduos e dejetos de alta entropia. De acordo com Cechin & Veiga¹⁰, os economistas convencionais se concentraram no fluxo circular e se esqueceram do fluxo metabólico real.

A EMA ignora as diferenças qualitativas entre os fatores de produção, vigorando a perfeita substituição entre o capital natural e o manufaturado (*made human capital*). Assim, nenhum deles poderia ser considerado como fator limitante da expansão econômica.¹¹ Contudo, a EE considera que o capital natural e o produzido pelo homem são essencialmente complementares, porque sem capital natural não há capital manufaturado.

A postura assumida pela EE é caracterizada como cética ao assumir que uma parcela dos recursos naturais são finitos e insubstituíveis, e que os ganhos de eficiência proporcionados pela inovação tecnológica serão compensados de maneira negativa pelo aumento da escala da economia e pelas escolhas dos consumidores, que privilegiam bens intensivos em energia e estilos de vida material-intensiva.¹²

A escala do sistema econômico está associada à capacidade de suporte do sistema natural. A EE coloca a seguinte questão: qual a escala máxima de uso dos recursos naturais?¹³ O conceito de escala física das atividades humanas, entendido como tamanho físico do sistema econômico, ocupa um lugar central na abordagem econômico-ecológica. Conforme Andrade¹⁴, a EE considera que “o estudo da escala precede o estudo da alocação ótima”. Logo, a distribuição e o uso eficiente dos recursos naturais devem tomar por base a capacidade de suporte do sistema natural, isto é, identificar a escala sustentável para o sistema econômico.

Costanza¹⁵ destaca ainda outros aspectos que devem nortear a análise econômico-ecológica: a) sustentabilidade da atividade econômica; b) avaliação dos bens e serviços ecossistêmicos; c) contabilidade do sistema econômico-ecológico; d) modelagem econômico-ecológica em escala local, regional e global; e) instrumentos para gestão ambiental (econômico-ecológica); f) manutenção do capital natural.

A sustentabilidade do sistema econômico e ecológico passa pela definição de uma hierarquia de objetivos que considere a gestão econômico-ecológica na escala local, regional/nacional e global. Esse processo envolve a modelagem econômico-ecológica regional e global; ajuste de preços e outros incentivos locais para que de fato reflitam os custos ecológicos globais no longo prazo, incluindo a incerteza; desenvolvimento de políticas locais, nacionais e globais que não levem ao contínuo declínio do capital natural.¹⁶

Para finalizar, a evolução biológica é lenta quando comparada à evolução cultural, logo, o preço que a sociedade paga por sua rápida capacidade de adaptação é o perigo de ter-se tornado dependente demais das recompensas de

¹¹ COSTANZA, R. *Op. cit.*

¹² WORLD RESOURCES INSTITUTE – WRI. *The weight of nations: material outflows from industrial economies*. Washington, DC: World Resources Institute, 2000. Disponível em: http://pdf.wri.org/weight_of_nations.pdf. Acesso em 06/07/2010.

¹³ ANDRADE, D. C. *Economia do Meio Ambiente: Aspectos Teóricos e Metodológicos nas Visões Neoclássica e da Economia Ecológica*. *Leituras de Economia Política* (IE/Unicamp). v. 14, p. 1-31, ago/dez 2008.

¹⁴ ANDRADE, D. C. *Op. cit.* p. 17.

¹⁵ COSTANZA, R. *Op. cit.*

¹⁶ COSTANZA, R. *Op. cit.*

¹⁷ COSTANZA, R. *Op. cit.*

curto prazo, ignorando as recompensas de longo prazo.¹⁷ Desse modo, para que se torne possível assegurar a sustentabilidade da economia, talvez seja preciso reimpôr limites à dinâmica econômica por meio das instituições (regras).

A Agricultura e a Dinâmica Hídrica

O solo provê uma série de serviços ecossistêmicos, os quais resultam das funções ecossistêmicas decorrentes de suas características estruturais. O solo não pode ser considerado um recurso renovável, pois é resultado de inúmeros processos físico-químico-biológicos que levam milhares de anos. Sua formação – “pedogênese” – ocorre a partir da desintegração física e da decomposição químico-biológica de rochas da crosta terrestre. Tais processos ocorrem em função de mudanças na temperatura, forças erosivas da água, gelo, vento e por organismos vivos.

A degradação química é acelerada pela presença de oxigênio, água e seus sais dissolvidos e por ácidos provenientes da atmosfera e da degradação microbiana da flora e fauna (matéria orgânica). Os principais fatores ambientais que contribuem para a formação do solo são: clima, organismos (biota), relevo ou topografia, material de origem e tempo.¹⁸ Os principais atributos e propriedades físicas do solo são: cor, textura, estrutura, cerosidade, porosidade, densidade, consistência, retenção de água, componentes minerais e orgânicos, profundidade e aptidão agrícola.

De modo geral, em um dado volume de solo, cerca de 40 a 55% são partículas minerais; entre 1 a 10% são de matéria orgânica; o restante de espaço poroso é preenchido por água e/ou ar, onde os organismos vivos correspondem a uma pequena fração, normalmente menos de 0,1% da massa, enquanto que o número de microrganismos é enorme. Estima-se que um grama de solo possa conter um milhão de propágulos de fungo (esporos, latentes ou em fase de repouso, fragmentos de hifas etc.), mais de um bilhão de células bacterianas e um número desconhecido de espécies.¹⁹ No quadro 1 são apresentados alguns bens e serviços ecossistêmicos providos pelo solo.

Verifica-se que existem sobreposições entre os bens e serviços ecossistêmicos apresentados em cada categoria (quadro 1). Essa é uma evidência da complexidade da dinâmica ecossistêmica e da estreita interação entre os elementos que compõem o solo. A ciclagem de nutrientes pode ser considerada o serviço mais crítico, porque é essencial para a vida²⁰ e para a produção de biomassa. A ciclagem de nutrientes é realizada por organismos fixadores de nitrogê-

¹⁸ FERRAZ, R. P. D. *et al.*. Capítulo 2 – Fundamentos de morfologia, pedologia, física e químicos do solo de interesse no processo de recuperação de área degradada. In: TAVARES, S. R. L. *et al.*. *Curso de Recuperação de Áreas Degradadas: A visão da ciência do solo no contexto do diagnóstico, manejo, indicadores de monitoramento e estratégias de recuperação*. Centro de Treinamento da Petrobras, Rio de Janeiro, RJ, 22 a 26 de setembro de 2008. Embrapa Solos, Documento 103, novembro/2008.

¹⁹ JANICK *et al.*, 1974 *apud* DAILY, G. C.; MATSON, P. A. & VITOUSEK, P. M. Ecosystem services supplied by soil. Chapter 7. In: DAILY, G. C. *Nature's services: societal dependence on natural ecosystems*. Washington DC: Island Press, 1997.

²⁰ BARRIOS, E. *Op. cit.*

nio, fósforo e outros compostos e por decompositores e transformadores, fungos e bactérias, que, a partir de relações simbióticas com as raízes das plantas, entre outros elementos, atuam em conjunto, contribuindo diretamente para a capacidade de mobilização de nutrientes. A biodiversidade encontrada no solo é responsável pela manutenção de sua fertilidade.²¹

²¹ BARRIOS, E. *Op. cit.*

Quadro 1: Síntese dos Bens e Serviços Ecosistêmicos providos pelo Ecossistema Solo segundo Avaliação Ecosistêmica do Milênio

Bens e Serviços Ecosistêmicos de Suporte
Ciclagem de nutrientes (manutenção da fertilidade do solo ou resiliência)
Formação / renovação do solo ("produção" de solo)
Sustentação para o crescimento das plantas
Produção primária
Bens e Serviços Ecosistêmicos de Provisão
Infiltração e armazenagem de água (lençóis freáticos e aquífero)
Filtragem da água (purificação)
Regulação do fluxo hidrológico
Bens e Serviços Ecosistêmicos de Regulação
Controle do fluxo de água (escoamento superficial, infiltração e fluxo na estiagem)
Controle da erosão e retenção de sedimentos (associado à capacidade infiltração)
Regulação climática (estocagem de gases de efeito estufa)
Controle de pragas, pragas e doenças (desintoxicação da matéria orgânica)
Degradação da matéria orgânica "morta"
Bens e Serviços Ecosistêmicos Socioculturais
Ambiente que permite a ocupação sociocultural e econômica
Expressão artística e cultural (cerâmica)
Turismo e recreação
Prática de esportes
Beleza cênica

Fonte: Elaborado pelos autores com base em DAILY, G. C.; MATSON, P. A. & VITOUSEK, P. M.²², LAVELLE, P. *et al.*²³, BARRIOS, E.²⁴, CHAER, G. M.²⁵, ANDRADE, D. C.²⁶.

Uma importante função e serviço ecosistêmico provido pela ciclagem de nutrientes é a regulação dos ciclos elementares do planeta, como por exemplo, os relativos ao ciclo do carbono, nitrogênio, fósforo e enxofre. As alterações no ciclo do carbono e do nitrogênio podem ter grande potencial para induzir profundas mudanças nos processos químicos globais.

²² DAILY, G. C.; MATSON, P. A. & VITOUSEK, P. M. Ecosystem services supplied by soil. Chapter 7. *In: DAILY, G. C. Nature's services. Op. cit.*

²³ LAVELLE, P. *et al.* Soil invertebrates and ecosystem services. *European Journal of Soil Biology*, n° 42, October/2006, p. S3-S15. Disponível em: <http://france.elsevier.com/direct/ejsobi>. Acesso em: 10/05/2011.

²⁴ BARRIOS, E. Soil biota, ecosystem services and land productivity. *Ecological Economics*, n° 64, 2007, p. 269-285. Disponível em: www.elsevier.com/locate/ecolecon. Acesso em: 10/05/2011.

²⁵ CHAER, G. M. Métodos de integração de indicadores para avaliação da qualidade do solo. Capítulo 4. *In: PRADO, R. B.; TURETTA, A. P. & ANDRADE, A. G. Manejo e conservação do solo e da água no contexto das mudanças climáticas*. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2010. Disponível em: <http://www.cnps.embrapa.br/solosbr/publicacao2.html>. Acesso em: 09/05/2011.

²⁶ ANDRADE, D. C. *Modelagem e Valoração de Serviços Ecosistêmicos: Uma Contribuição da Economia Ecológica*. Campinas, 2010, 268 f. Tese (Doutorado em Desenvolvimento Econômico Espaço e Meio Ambiente) – Programa de Doutorado do Instituto de Economia da Universidade Estadual de Campinas – Unicamp.

Outro importante serviço ecossistêmico provido pelo solo é a capacidade de infiltração e retenção da água da chuva. Esse serviço é fundamental para o controle do fluxo superficial e do ciclo hidrológico. Estima-se que o volume global anual de precipitação alcance 119 mil km³, equivalente para cobrir a superfície terrestre com uma camada de um metro de água.²⁷ O serviço de infiltração impede o acúmulo de água na superfície. A água infiltrada será utilizada pelas plantas e para a formação e manutenção dos lençóis freáticos e aquíferos.

²⁷ BRANCO, S. M. *Água: origem, uso e preservação*. 2ª edição - 17ª impressão. São Paulo: Moderna, 2003.

A todo o momento morrem milhões de organismos vivos e seus “corpos” são depositados sobre a superfície do solo, os quais serão “consumidos” por organismos que habitam o solo, tornando inofensivos inúmeros agentes patogênicos presentes na matéria “morta”. Os decompositores produzem inúmeros compostos – potentes antibióticos – que neutralizam agentes patogênicos, tais como a penicilina e a estreptomicina, produzidas por um fungo e uma bactéria.²⁸ Os decompositores exercem a função de reciclar a matéria orgânica morta, permitindo a renovação dos nutrientes do solo e do ciclo da vida. É preciso reconhecer que a ação dos decompositores é essencial para a produção de alimentos (agricultura e atividade extrativa), forragem, madeira, algodão e outras fibras, combustíveis de biomassa, fármacos e outras fontes de matéria.

²⁸ DAILY, G. C.; MATSON, P. A. & VITOUSEK, P. M. Ecosystem services supplied by soil. Chapter 7. *In*: DAILY, G. C. *Nature's services*. *Op. cit.*

Enquanto os ecossistemas não forem perturbados pela ação antrópica, o ciclo de nutrientes tende a ser fechado, isto é, não haveria perdas significativas no processo, correspondendo à função de auto-organização do solo. Contudo, a ação antrópica pode alterar esse ciclo, fazendo com que o resultado seja a perda da capacidade de assimilação e da fertilidade do solo. Lavelle *et al.*²⁹ destacam que os serviços ecossistêmicos do solo são resultados dessa capacidade de auto-organização.

²⁹ LAVELLE, P. *et al.*. *Op. cit.*

Ainda, a presença de florestas pode ser considerada o principal componente estrutural de um ecossistema – pelo menos é o mais visível – e, também, um importante indicador do estado geral dos ecossistemas. A cobertura florestal é responsável por uma série de serviços essenciais para a manutenção de outros componentes ecológicos e do sistema humano. A sua importância relativa e o tipo de serviços que provê variam em função de sua localização e de outras características.

As florestas ripárias, por exemplo, são importantes corredores para a movimentação da fauna, contribuindo para a dispersão vegetal (biodiversidade) – criando as condi-

³⁰ SILVA, J. A. A. *et al.* O Código Florestal e a Ciência: contribuições para o diálogo. Produzido pela Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência – SBPC; Academia Brasileira de Ciências – ABC. Disponível em: www.sbpnet.org.br/site/arquivos/codigo_florestal_e_a_ciencia.pdf. Acesso em: 27/04/2011.

³¹ LIMA, W. P. & ZAKIA, M. J. Capítulo 3 – Hidrologia de matas ciliares. In: RODRIGUES, R. R. & LEITÃO FILHO, H. F. (Eds.). Matas ciliares: conservação e recuperação. 2ª edição, São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, Fapesp, 2009.

³² BRANCO, S. M. *Op. cit.*

³³ SILVA, J. A. A. *et al.* *Op. cit.*

³⁴ BRAGA, R. A. P. *Op. cit.*

³⁵ PAGANO, S. N. & DURIGAN, G. Aspectos da ciclagem de nutrientes em matas ciliares do oeste do estado de São Paulo, Brasil. In: RODRIGUES, R. R.; LEITÃO FILHO, H. F. (Eds.). *Matas ciliares: conservação e recuperação*. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2009.

ções necessárias para o fluxo gênico da flora e fauna.³⁰ Segundo Lima & Zakia,³¹ essa função deve ser considerada razão mais que suficiente para a manutenção das zonas ripárias. Deve-se acrescentar a sua função hidrológica na manutenção da integridade dos ecossistemas de uma bacia hidrográfica, o que reflete na disponibilidade de água em quantidade e qualidade suficiente para manter a dinâmica ecossistêmica e as atividades humanas em determinada região. Os ecossistemas ripários, juntamente com o restante da cobertura florestal, influenciam o ciclo hidrológico através da infiltração e percolação da água pluvial (reduzindo o escoamento superficial), bem como, através da evapotranspiração.

Segundo Branco³², em condições naturais – ecossistemas saudáveis – do volume total precipitado na superfície terrestre estima-se que por volta de 30% escoará diretamente para os corpos d'água superficiais. O restante infiltra-se no solo, formando os depósitos de água subterrânea (lençóis freáticos e aquíferos). A capacidade de infiltração do solo é amplificada pela presença de cobertura florestal, porque o sistema radicular, serrapilheira e a vegetação adensada podem reter em média 70% do volume das precipitações.³³

Estudos realizados em área de Mata Atlântica, no Parque Estadual da Serra do Mar, no Estado de São Paulo, indicaram que a interceptação da água proveniente da precipitação pela mata natural secundária alcança 18,23%, retornando à atmosfera pela evaporação direta. A maior parcela, 80,65%, atinge a superfície do solo, resultando no escoamento superficial. Uma pequena parcela, em torno de 1,12%, é escoada pelo tronco das árvores.³⁴

As matas ciliares também abrigam processos de transferência de nutrientes exclusivos. A entrada de sedimentos de áreas “externas” ao ecossistema ciliar, que podem ser transportadas pela água da chuva, é passível de redução pela mata ciliar, que atuará como um filtro.³⁵ Portanto, os sedimentos não serão depositados no corpo d'água. Outra entrada de nutrientes é através do fluxo lateral do lençol freático, que transporta os sedimentos das partes mais altas do terreno para a mata ciliar. Por sua vez, a perda de nutrientes pode ocorrer através do arraste da serrapilheira pela água dos rios em áreas inundáveis. Uma importante característica do ecossistema ripário no que se refere à ciclagem de nutrientes é que se trata de um processo totalmente aberto e imprevisível.

Do mesmo modo, a mata ciliar contribui para a potabilidade da água, porque desempenha uma função de filtra-

³⁶ LIMA, W. P. & ZAKIA, M. J. *Op. cit.*

³⁷ PAGANO, S. N. & DURIGAN, G. *Op. cit.*

³⁸ BRAGA, R. A. P. *Avaliação dos instrumentos de políticas públicas na conservação integrada de florestas e águas, com estudo de caso na bacia do Corumbataí – SP.* Tese de doutoramento (Escola de Engenharia de São Carlos – Hidráulica e Saneamento). 2005, p. 30. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses>. Acesso em: 26/04/2011.

gem superficial de sedimentos. Estudos mostram que a mata ciliar promove uma redução da concentração de substâncias químicas, tais como herbicidas e fertilizantes “artificiais”, porque, ao chegar à zona ripária, uma parcela deles fica retida por absorção pelo sistema radicular.³⁶ A função de filtragem contribui também para a ciclagem de nutrientes. Por sua vez, a produção de biomassa em florestais tropicais é elevada, tornando-se um importante reservatório de nutrientes minerais.³⁷

Ainda, Braga³⁸ apresenta um interessante modelo relacional sobre os efeitos positivos e negativos decorrentes do desmatamento sobre o sistema hídrico e o solo (figura 1).

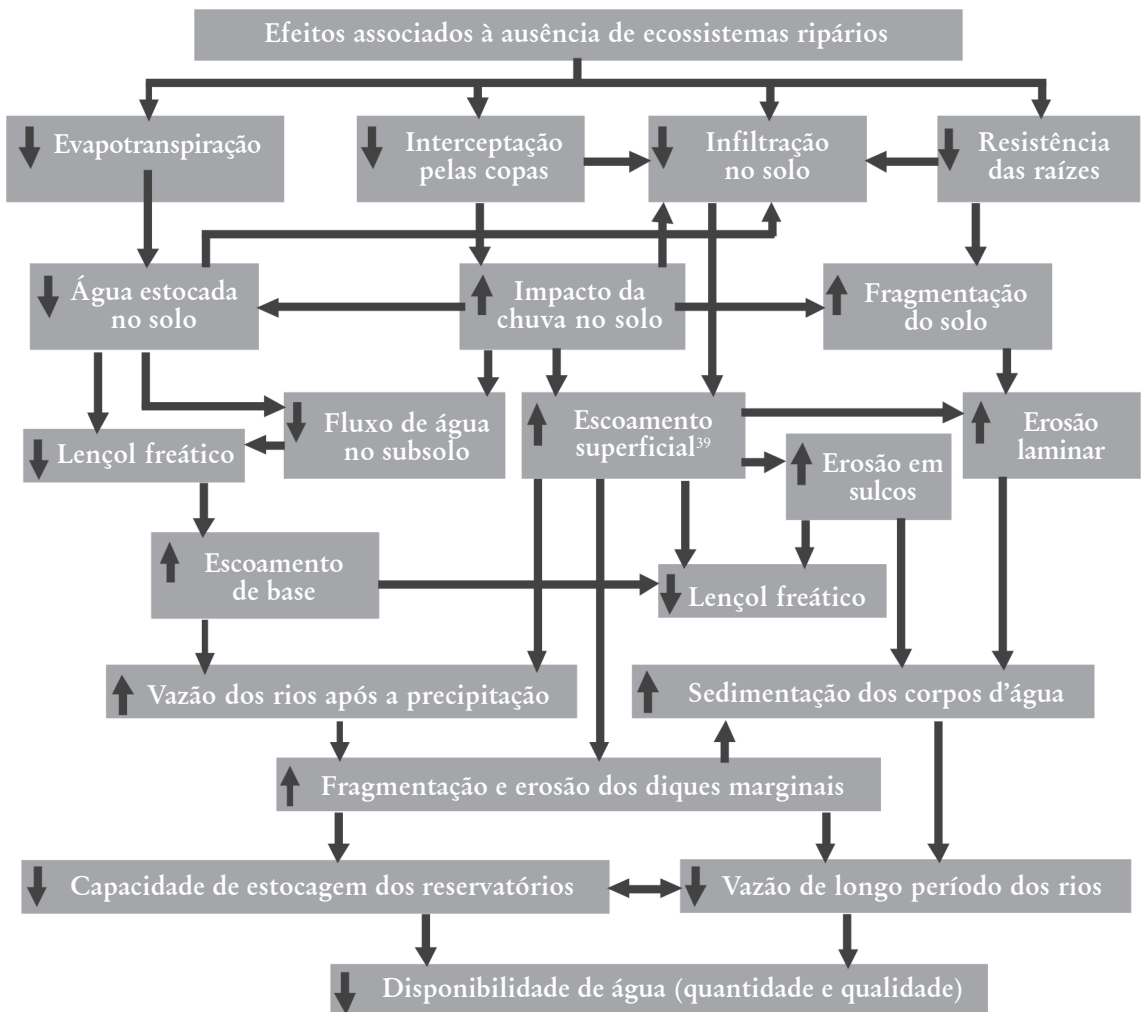


Figura 1: Síntese da Interdependência entre a ausência de Cobertura Florestal Ripária e os Componentes Ecossistêmicos (Solo e Água). Fonte: Modificada pelos autores com base em Braga⁴⁰

³⁹ Refere-se ao aumento do fluxo (volume) e da velocidade de escoamento da água de chuva, portanto, contribuindo para enxurradas.

⁴⁰ BRAGA, R. A. P. *Op. cit.* p. 31.

Em síntese, a mata ripária fornece os seguintes serviços ecossistêmicos: 1) geração do escoamento direto; 2) quantidade e qualidade dos recursos hídricos; 3) ciclagem de nutrientes; 4) interação direta com o ecossistema aquático (quadro 2). Portanto, a redução da cobertura vegetal ripária poderá reduzir o fluxo de água em períodos de estiagem, e, em períodos chuvosos, elevar o escoamento superficial. Por sua vez, a elevação do fluxo superficial significará um aumento na probabilidade de ocorrência de inundações e enchentes.

Quadro 2: Bens e Serviços Ecossistêmicos providos pelo Ecossistema Ripário segundo Avaliação Ecossistêmica do Milênio

Bens e Serviços Ecossistêmicos de Suporte
Retenção do solo no longo período (reduz o ritmo da erosão natural do solo)
Ciclagem de nutrientes (armazenamento e reciclagem de nutrientes)
Renovação do solo (provimento de matéria orgânica e de minerais)
Bens e Serviços Ecossistêmicos de Provisão
Proteção, abrigo e berçário (reprodução) - manutenção da biodiversidade
Alimentos para a espécie humana (frutos, recursos pesqueiros etc.)
Insumos para as atividades humanas (madeira, fibras, combustível etc.)
Recursos genéticos (para uso agrícola, medicinal etc.)
Recursos medicinais (medicina tradicional e homeopática)
Recursos ornamentais
Bens e Serviços Ecossistêmicos de Regulação
Captura e armazenagem de CO ₂ pela fotossíntese
Manutenção da qualidade do ar
Relativa estabilidade climática (local, regional e global) pela evapotranspiração
Prevenção de distúrbio (cheias, inundações, enchentes etc.)
Manutenção do fluxo de água (navegação)
Provimento / purificação de água (filtragem, retenção e armazenagem de água)
Controle biológico de pragas e doenças (manutenção da biodiversidade)
Manutenção da população de polinizadores (contribui para o cultivo agrícola)
Controle da erosão do solo e sedimentação
Bens e Serviços Ecossistêmicos Socioculturais
Beleza cênica (características da paisagem natural)
Recreação (ecoturismo, prática de esportes etc.)
Cultural e artística (inspiração para desenvolvimento de atividades lúdicas)
Histórica (fonte para estudo da evolução das espécies)
Espiritual e religiosa
Ciência e educação (pesquisa científica)
Contribui para as relações sociais
Contribui para o relaxamento psíquico (sensação de bem-estar ou paz de espírito)

Fonte: Elaborado pelos autores.

O Agricultor como “Produtor de Água”

A disponibilidade de água em quantidade e qualidade, como visto, está estreitamente relacionada ao tipo de manejo do solo, em especial do solo agrícola. Se o sistema de manejo não respeita os limites biofísicos, uma série de serviços ecossistêmicos providos pelo solo e pela cobertura florestal pode ter seu fluxo reduzido, ou mesmo, perdido. Os principais impactos associados ao manejo inadequado do solo agrícola são: impermeabilização, erosão, perda de nutrientes, perda de biodiversidade (biota que utiliza o solo como habitat), queda da produtividade agrícola, aumento da necessidade de insumos externos, perda da capacidade de infiltração da água, degradação de recursos hídricos (quantidade e qualidade), aumento da emissão de gases de efeito estufa, aumento dos investimentos em obras de infraestrutura, deterioração de áreas urbanas etc.

As principais práticas de manejo do solo agrícola que contribuem para a manutenção do fluxo de serviços ecossistêmicos envolvem: 1) sistema de plantio direto; 2) rotação de culturas; 3) sistemas agroflorestais; 4) sistemas agrosilvipastoris; 5) sistemas orgânicos agroecológicos; 6) controle de pragas e doenças com quantidade adequada de produtos químicos, quando possível fazer uso de compostos naturais; 7) aplicação controlada de fertilizantes e compostos para manter a fertilidade do solo, quando possível priorizar o uso de fertilizantes naturais; 8) construção de terraços; 9) plantio em curva de nível; 10) manutenção de cobertura permanente do solo; 11) monitoramento dos teores de matéria orgânica, entre outros.

Nesse sentido, a recuperação e manutenção do provimento de serviços ecossistêmicos em territórios agropecuários, em especial os serviços associados à disponibilidade de recursos hídricos, dependerão das práticas de manejo adotadas pelos agricultores. Contudo, o adequado manejo do solo não somente contribuirá para o provimento de serviços ecossistêmicos para toda a sociedade, mas também para o próprio agricultor. Esse efeito decorre da interdependência dos componentes ecossistêmicos. Assim, os benefícios auferidos pelos agricultores poderão compensar, em certa medida, uma parcela dos custos decorrentes da transição de processos intensivos em químicos e maquinários para práticas conservacionistas. A outra parcela pode ser compensada pela implantação de esquemas de Pagamentos por Serviços Ambientais (PSA's) prestados pelos agricultores à sociedade.

A importância dos serviços ambientais providos pelos agricultores que adotam práticas conservacionistas ou que respeitem as restrições biofísicas do solo, passou a ter reconhecimento na agenda política no período recente. Por exemplo, a Agência Nacional de Águas (ANA) criou o Programa “Produtor de Água” em 2001.⁴¹ O Programa tem por objetivo a melhoria da qualidade hídrica a partir do incentivo à adoção de práticas, quanto ao uso do solo agrícola, que contribuam para reduzir a sedimentação dos corpos d’água, aumento da oferta de água e conscientização dos produtores agropecuários.⁴²

O “Produtor de Água” da ANA visa à melhoria da qualidade e da quantidade de água em bacias hidrográficas a partir de incentivo financeiro direto aos produtores rurais. Desse modo, o foco central é promover uma redução da erosão e do assoreamento de mananciais nas áreas agrícolas do país. A adesão é voluntária, mas o produtor deve estar disposto a adotar práticas com vistas à conservação do solo e da água.⁴³

Outra iniciativa que pode contribuir para a manutenção ou o aumento da disponibilidade de água em quantidade e qualidade é o Programa Agricultura da Baixo Carbono (ABC), lançado em 2010, pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), cujo principal objetivo consiste em promover alterações nas práticas agrícolas a partir da adoção de processos e tecnologias que neutralizem ou minimizem a emissão e os efeitos dos gases de efeito estufa. Na safra 2012/2013, o programa disponibilizou mais de R\$ 4 bilhões em crédito para agricultores que tiveram interesse em adotar práticas conservacionistas de manejo, ou mesmo que quiseram promover a adequação das práticas de manejo do solo agrícola.⁴⁴ Foram incentivados pelo programa: o plantio direto na palha; a recuperação de pastos degradados; a integração lavoura-pecuária-floresta; o plantio de florestas comerciais; a fixação biológica de nitrogênio; o tratamento de resíduos animais.⁴⁵

Embora o objetivo das ações incentivadas pelo Programa ABC tenham por objetivo a mitigação das emissões de gases de efeito estufa gerados na atividade agrícola, tais ações também podem contribuir de maneira significativa para o aumento da disponibilidade hídrica nas propriedades e nas bacias hidrográficas. Conforme foi destacado pela abordagem econômico-ecológica, vigora na dinâmica ecossistêmica uma profunda inter-relação e interdependência entre os componentes do ecossistema, logo, a adequação do manejo do solo agrícola em prol da mitigação dos gases de

⁴¹ AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUA – ANA. *Programa Produtor de Água*. Disponível em: <http://www.ana.gov.br/produagua/>. Acesso em: 05/10/2010.

⁴² AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUA – ANA. *Programa Produtor de Água*. Op. cit.

⁴³ AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUA – ANA. *Programa Produtor de Água: Manual Operativo*. Disponível em: <http://www.ana.gov.br/produagua/>. Acesso em: 05/10/2010.

⁴⁴ MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO – MAPA. *Programa Agricultura de Baixo Carbono*. Disponível em: www.agricultura.gov.br/desenvolvimento-sustentavel/programa-abc. Acesso em: 02/06/2013.

⁴⁵ MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO – MAPA. *Programa Agricultura de Baixo Carbono*. Op. cit.

efeito estufa também contribuirá para a melhoria hídrica das regiões, ou seja, também são práticas que influenciam no fluxo de serviços ecossistêmicos relacionados à dinâmica hídrica das regiões.

No entanto, as decisões relacionadas ao uso do solo agrícola são baseadas em expectativas. Como o futuro é incerto, a construção de cenários – representações do futuro a partir de suposições – pode oferecer importantes informações para a tomada de decisão em um ambiente complexo, incontrolável e incerto, características inerentes da interação entre sistema econômico e natural. Segundo Peterson, Cumming & Carpenter⁴⁶, um cenário pode representar um relato plausível do futuro. Nesse contexto, os autores apontam três principais benefícios quanto ao uso de cenários: 1) aumento da compreensão de um ambiente incerto; 2) incorporação de alternativas no plano de gestão; 3) maior consistência das decisões tomadas.

Dessa maneira, a construção de cenários permite que os tomadores de decisão possam avaliar diferentes situações baseadas em suas expectativas (suposições), comparando-as entre si para obter um rol de soluções possíveis (alternativas) antes de tomar a decisão sobre determinada ação. Em termos da gestão dos recursos naturais, os cenários permitem aos agentes avaliar a trajetória de suas decisões antes de adotadas, contribuindo, assim, para práticas que minimizem o impacto das ações humanas no sistema natural. O uso de cenários está estreitamente vinculado a análises de longo prazo, característica inerente dos problemas ambientais.

De acordo com Verburg, Rounsevell & Veldkamp⁴⁷, os cenários também permitem o ordenamento das percepções sobre ambientes alternativos futuros, os quais seriam reflexos das decisões tomadas no presente. Os cenários podem representar um conjunto de histórias, escritas ou orais, construídas a partir de enredos criteriosamente elaborados. No entanto, autores como Shearer⁴⁸, destacam que os cenários não representam predições, mas sim uma aproximação da realidade futura construída a partir de suposições, que auxiliará na gestão de ambientes incertos e na tomada de decisão. Cabe destacar que a construção de cenários não se baseia em fatos, mas em suposições.

Considerações finais

O uso e a ocupação do solo e principalmente o sistema de manejo são fundamentais para a manutenção da disponibilidade de água. De uma perspectiva econômico-eco-

⁴⁶ PETERSON, G. D.; CUMMING, G. S. & CARPENTER, S. R. Scenario planning: a tool for conservation in an uncertain World. *Conservation Biology*, vol. 17, n° 2, abril/2003, p. 358-366.

⁴⁷ VERBURG, P. H.; ROUNSEVELL, M. D. & VELDKAMP, A. Scenario-based studies of future land use in Europe. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, vol. 114, n° 1, May/2006, p. 1-6.

⁴⁸ SHEARER, A. W. Approaching scenario-based studies: three perceptions about the future and considerations for landscape planning. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 32:67-87, 2005.

lógica, este uso e ocupação e os correspondentes sistemas de manejo devem ser articulados do modo como o recomendam os agroecólogos, isto é, como um agroecossistema onde se busca aproveitar plenamente o potencial de produção dos serviços ecossistêmicos aí presentes.

A produção de água é um desses serviços ecossistêmicos. Resulta de propriedades físico-químicas do solo, quando este é manejado adequadamente. Sob florestas naturais, essas propriedades do solo ocorrem naturalmente. Em solos cultivados, vão depender do manejo adotado. Nesse caso, o agricultor torna-se parte do agroecossistema, na medida em que as práticas adotadas poderão manter ou criar as condições para que tais propriedades existam. Quando isso ocorre, a água das chuvas não apenas infiltra-se, como também fica em parte “estocada” no solo, percolando lentamente para os lençóis freáticos. Dois serviços resultam desse processo: a) os lençóis freáticos continuam a ser alimentados de água durante períodos mais ou menos longos de estiagem, reduzindo, desse modo, a diferença de disponibilidade de água entre os períodos chuvosos e os secos; b) as lavouras beneficiam-se de maior disponibilidade de água no solo superficial, reduzindo-se significativamente sua vulnerabilidade a “veranicos” (curto período seco durante a estação chuvosa) que podem provocar perdas de safras significativas.

Cabe notar que, enquanto o primeiro serviço beneficia os usuários urbano-industriais de água, o segundo beneficia diretamente aqueles que conservam e/ou melhoram o agroecossistema, os agricultores. Nesse sentido, o custo de oportunidade de sua provisão, que seria o objeto de políticas públicas, em especial a de pagamento por serviços ambientais, é potencialmente menor do que aqueles referentes a serviços ecossistêmicos que não beneficiam diretamente seus protetores.

A simulação desses benefícios para toda a região-alvo teria um impacto bastante positivo, tanto na justificativa como na calibração de políticas públicas projetadas para melhorar a produção de água de qualidade, notadamente políticas de adequação do uso e ocupação do solo.

Junior Ruiz Garcia é graduado em Ciências Econômicas, doutor em Desenvolvimento Econômico e professor do Departamento de Economia da Universidade Federal do Paraná (UFPR).

jrgarcia1989@gmail.com

Ademar Ribeiro Romeiro é graduado em Ciências Econômicas, doutor em Economia e professor do Instituto de Economia da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP).

arromeiro@gmail.com