DOI 10.5418/RA2014.1014.0006

O PAPEL DA MODELAGEM ECONÔMICO-ECOLÓGICA NA GESTÃO INTEGRADA DOS ECOSSISTEMAS[1]

The role of ecological and economic modeling in integrated ecosystem management

Le rôle de la modélisation économique et écologique dans gestion integrée des ecosystèmes

Junior Ruiz Garcia

Docente no Departamento de Economia da Universidade Federal do Paraná. Doutor em Desenvolvimento Econômico Espaço e Meio Ambiente pelo Instituto de Economia da Unicamp (2012). Pesquisador do Núcleo de Economia Agrícola e Ambiental (NEEA) do IE/Unicamp e do Núcleo de Economia Empresarial do Departamento de Economia da UFPR. E.mail: jrgarcia1989@gmail.com.

Ademar Ribeiro Romeiro

Doutor em Economia na Universidade de Paris (EHESS/França - 1986). Pós-Doutorado na Universidade de Stanford (SU/EUA - 1994) e na Escola Nacional de Engenharia de Águas e Florestas (ENGREF/ França - 2007/08). Professor Titular do Instituto de Economia da Universidade Estadual de Campinas. E.mail: arromeiro@gmail.com

Resumo

A emergência do paradigma da sustentabilidade está impondo à sociedade capitalista uma atenção especial quanto à gestão dos ecossistemas. Neste processo, a ciência econômica assume um importante papel na construção de instrumentos capazes de orientar as decisões dos agentes quanto aos modelos de gestão dos ecossistemas a serem adotados. No entanto, diferentemente da dinâmica econômica, identificada por seus modelos compartimentados, a dinâmica dos ecossistemas não apresenta tal característica. Os componentes ecossistêmicos inerentemente são interdependentes, sendo impossível sua separação. Desse modo, a gestão dos ecossistemas deve ser integrada. Neste sentido, o objetivo principal deste trabalho é discutir a importância do uso da modelagem econômico-ecológica para fornecer subsídios mais adequados à gestão integrada dos ecossistemas a partir dos pressupostos da Economia Ecológica.

Palavras-chave: Paradigma da Sustentabilidade;Serviços Ecossistêmicos; Pagamento por Serviços Ambientais; Economia Ecológica.

Abstract

The emergence of the sustainability paradigm has imposed capitalist society special attention as the ecosystemsmanagement. In this process, Economic Science plays an important role in providing tools to guide the agents' decisions concerning the models

[1] Os autores agradecem ao Centro Internacional Celso Furtado e ao projeto Embrapa-MP2 nº 02.11.01.031.00.01 pelo suporte e financiamento.

Revista da Anpege ISSN 1679-768X

of ecosystem management to be adopted. However, unlike the economic dynamics that has identified by their compartmental models, ecosystem dynamics has no such feature. Ecosystem components are inherently interdependent, and their separation is impossible. Therefore, ecosystem management must be integrated. In this sense, the main goal of this paper is to discuss the importance of the use of ecological and economic modeling to provide subsidies to the most appropriate integrated ecosystems management based on assumptions of Ecological Economics.

Keywords: Sustainability Paradigm; Ecosystem Services; Payment for Environmental Services; Ecological Economics.

Résumé

L'émergence du paradigme de la durabilité est en train d'imposer à la société capitaliste une attention spéciale en ce qui concerne la gestion des écosystèmes. Et dans ce procès l'économie joue un rôle important dans la construction des outils capables d'orienter les décisions des groupes d'intérêts par rapport aux modèles de gestion des écosystèmes à être adoptés. Cependant, la dynamique des écosystèmes est différente de celle de l'économie, basée sur des modèles compartimentés. Les composants des écosystèmes sont forcément interdépendants, étant impossible sa séparation. Par conséquent la gestion des écosystèmes doit être intégrée. En ce sens, l'objectif principal de ce travail est celui de montrer l'importance de l'utilisation de la modélisation économique et écologique pour la définition des subventions les plus adéquates à la gestion intégrée d'écosystèmes ayan pour base les principes de l'économie écologique.

Mots clés: Paradigm de la Durabilité; Services Écosystémiques; Paiements pour Services Environnementaux; Économie Écologique.

Revista da Anpege
ISSN 1679-768X

INTRODUÇÃO

A degradação dos ecossistemasao longo do século XX pode ser caracterizada pela tendência ascendente e estreita relação com a escala física do sistema econômico, o qual faz uso crescente do sistema natural, seja como fonte de insumos seja para a absorção de resíduos do processo econômico (MUELLER, 2007; SACHS, 2008). Dessa forma, o que antes era considerado um bem ou serviço provido gratuitamente pelo ambiente natural, tais como água limpa, controle de enchentes e fertilidade do solo, no período recente está associado a custos crescentes (MERICO, 2002). Contudo, o estudo econômico ignorava até a década 1960 o papel do sistema natural na dinâmica econômica (MUELLER, 2007).

A Ciência Econômica tem tentado incorporar o componente ecológico em suas análises a partir da adoção de instrumentos de valoração, cujo objetivo é identificar ou captar o valor dos benefícios providos pelos ecossistemas (COSTANZA*et al.*, 1997), provendo subsídios para a adequada gestão dos ecossistemas (ANDRADE, 2010; GARCIA, 2012). Entretanto, a valoração dos recursos naturais tem se mostrado um grande desafio para a Ciência Econômica, na medida em que é preciso levar em conta à complexidade ecossistêmica (DE GROOT*et al.*, 2002) e a existência de valores ecológicos e socioculturais (MAY, 2010; ANDRADE, 2010; GARCIA, 2012), além do valor econômico. Essa perspectiva ainda se mostra distante da análise econômica tradicional, em especial aquela desenvolvida pela Economia Neoclássica, em função das suas inerentes limitações teórico-metodológicas (MUELLER, 2007; ANDRADE, 2008), conduzida a partir de uma análise fragmentada ou compartimentada dos ecossistemas.Mas os ecossistemas por natureza são complexos e interdependentes (DE GROOT*et al.*, 2002), logo, a análise deve levar em conta essas características.

Neste sentido, a análise dos ecossistemas integrada à dinâmica econômica e o processo de valoração implicam dificuldades metodológicas que representam um importante problema de pesquisa a ser enfrentado pela Ciência Econômica. Este problema metodológico possui duas dimensões: a primeira resulta da inerente complexidade dos ecossistemas e da interdependência de seus componentes, implicando na utilização de modelos econômico-ecológicos que permitam manejar as múltiplas variáveis em "jogo"; a segunda refere-se à aplicação do *mix* adequado de procedimentos de valoração para os diferentes tipos de valores e a sua integração através de análises "multicriteriais". O enfrentamento desses desafios poderá subsidiar a adoção de sistemas integrados de gestão dos ecossistemas, contribuindo para que haja uma maior compatibilidade entre atividade econômica e a manutenção da integridade da dinâmica ecossistêmica.

Revista da Anpege
ISSN 1679-768X

Nesta perspectiva, o uso da modelagem econômico-ecológica pode subsidiar de maneira mais adequada os processos de valoração dos recursos naturais, bem como contribuir de maneira significativa para uma verdadeira gestão ambiental integrada (COSTANZA*et al.*, 1989; BOCKSTAEL*et al.*, 1995; VOINOV*et al.*, 1999; BOCKSTAEL*et al.*, 2000; COSTANZA*et al.*, 2002; BOUMANS*et al.*, 2002; PORTELA, 2004; BOUMANS; COSTANZA, 2007; NELSON*et al.*, 2009; ANDRADE, 2010; TALLIS*et al.*, 2011; KAREIVA *et al.*, 2011; GARCIA, 2012). Diferentemente das atividades econômicas tradicionais, a gestão ambiental implica considerar que as dinâmicas entre o sistema econômico e o natural são interdependentes (DE GROOT*et al.*, 2002). Deste modo, a gestão dos recursos naturais deve ser integrada, no sentido, de considerar a interdependência existente entre o sistema econômico e os ecossistemas e entre os componentes do sistema natural (GARCIA, 2012). Nesta linha de pesquisa apenas a Economia Ecológica tem considerado na devida medida a interdependência ecossistêmica, no qual ganha destaque o uso da modelagem econômico-ecológica como meio capaz de subsidiar os processos de avaliação dos serviços ecossistêmicos, serviços ambientais e de gestão integrada dos ecossistemas.

Desse modo, o objetivo principal deste trabalho é discutir a importância do uso da modelagem econômico-ecológica como instrumento capaz de fornecer subsídios mais adequados à gestão integrada dos ecossistemas a partir dos pressupostos da Economia Ecológica. O desenvolvimento desse estudo será baseado na revisão e reflexão de trabalhos científicos que buscam propor alternativas e métodos mais adequados para orientar a ação humana sobre os diversos ecossistemas.

O trabalho está organizado em outras quatro seções além desta introdução. Na primeira é apresentada a abordagem econômico-ecológica, base para a construção e uso da modelagem. Na segunda é realizada uma apresentação sobre os aspectos gerais da modelagem econômico-ecológica. Na sequência é delineada uma proposta geral de gestão integrada dos ecossistemas baseada na implantação de Esquemas de Pagamento por Serviços Ambientais (PSA's) e no uso da modelagem econômico-ecológica. Na última estão as considerações finais.

Economia Ecológica: Uma Abordagem Biofísica do Sistema Econômico

Ao longo dos três últimos séculos parcela da sociedade tem vivenciado um rápido e intenso avanço tecnológico, iniciado com a Revolução Industrial, que, por um lado, tem alterado o seu estilo de vida, por outro, tem sido responsável pela destruição maciça de inúmeros hábitats naturais. Ainda, esse processo tem sido acompanhado pelo crescimento demográfico, que tem intensificado o aumento da escala de intervenção da sociedade nos

Revista da Anpege
ISSN 1679-768X

ecossistemas. A partir da década de 1970 os problemas ambientais têm se tornado mais evidentes para a sociedade, impactando de maneira significativa o seu grau de bem-estar, e ao mesmo tempo o equilíbrio de inúmeros ecossistemas. De acordo com Comune (1994, p. 45-46), "se no passado à economia condicionou a utilização do meio ambiente, sem se preocupar com a degradação e exaustão de seus recursos, atualmente parece ser o meio ambiente que deve condicionar a economia".

O tratamento da problemática ambiental na Ciência Econômica até a década de 1960/70 estava marginalizado e disperso, mas com o novo contexto, o *mainstream* econômico – Economia Neoclássica – organizou uma resposta formal à sociedade, denominada Economia Ambientalou Economia do Meio Ambiente (VAN DEN BERGH, 1998;PEARCE; TURNER; 1990;FAUCHEUX; NOËL, 1995).É importante ressaltar que a Economia Ambiental está assentada basicamente no âmbito da teoria microeconômica ortodoxa, centrada apenas na eficiência de uso dos recursos naturais (PEARCE; TURNER; 1990;FAUCHEUX; NOËL, 1995). Além disso, essa proposta considera que os recursos naturais, seja pelo provimento de insumos seja por sua capacidade assimilação de dejetos, não podem ser considerados um limite absoluto à expansão do sistema econômico (ROMEIRO, 2012). Segundo Pearce e Turner (1990), entre 1870 e 1970 os economistas neoclássicos (com raras exceções) acreditavam na crença de que o sistema econômico poderia crescer indefinidamente, pressuposto que ainda permanece no núcleo duro da Economia Neoclássica.

Em função das históricas limitações teóricas da Economia Neoclássica, mantidas em sua abordagem ambiental, alguns pesquisadores organizaram na década de 1980 uma resposta alternativa, consolidada na Economia Ecológica (EE). Esta abordagem tornou-se a principal resposta crítica àEconomia Ambiental, resultado da inquietação "silenciosa" de um conjunto de cientistas quanto ao tratamento dado à inter-relação entre o sistema econômico e natural(COSTANZA, 1994; ROPKE, 2004; ANDRADE, 2008; CHECIN, 2010; CECHIN; VEIGA, 2010; DALY; FARLEY, 2011). Uma importante característica da EEé sua pluralidade no tratamento da problemática ambiental, uma vez que seu corpo teórico-analítico é composto por pesquisadores de diversos campos do conhecimento, não restritos apenas à economia, tais como a ecologia, termodinâmica, ética e uma série de outras ciências naturais e sociais(ROPKE, 2004; MUELLER, 2007). Ou seja, não é abordagem puramente economicista e monodisciplinar, como a apresentada pela Economia Ambiental. A pluralidade proporciona a construção de uma visão mais integrada, holística, biodinâmicaebiofísica da inter-relação entre o sistema econômico e natural, cujo objetivo central é fornecer contribuições estruturais para a solução de problemas socioeconômicos e ecológicos em diversas escalas espaciais e temporais(COSTANZA, 1994). Neste sentido, aEE

Revista da Anpege ISSN 1679-768X

propõeuma abordagem transdisciplinar para tratar a relação entre o sistema natural e o sistema socioeconômico (COSTANZA, 1994).

Os principais elementos que podem caracterizar a proposta da EE como uma ruptura real com a Economia Ambiental são sintetizados no quadro 1.

Quadro 1 – Elementos que caracterizam a Economia Ambiental e a Economia Ecológica

Elementos	Economia Ambiental	Economia Ecológica
Pontos de partida	Sistema econômico é um sistema isolado e autocontido.	Sistema econômico é um subsistema aberto do sistema natural.
Noção de "metabolismo"	Fluxo circular monetário da renda e do produto.	Fluxo biofísico e químico de energia e matéria.
Abordagem epistemológica	Física mecânica	Termodinâmica (1ª e 2ª leis)
Processo produtivo	Ignora as diferenças qualitativas entre os fatores de produção.	Reconhece as diferenças qualitativas entre os fatores de produção.
Otimismo / pessimismo	Otimismo tecnológico.	Pessimismo tecnológico.

Fonte: preparado pelos autores com base em Georgescu-Roegen, 1971, 1975; Mueller (2007); Cechin (2010); Cechin e Veiga (2010).

Aabordagem da EE tem sido considerada pessimista, porque sua análise reconhece o elevado grau de incerteza sobre a capacidade de o desenvolvimento tecnológico superar as limitações absolutas impostas pelo ambiente natural ao crescimento econômico(ANDRADE, 2008; MUELLER, 2007; ROMEIRO, 2012). A incerteza também aparece na análise da dinâmica dos ecossistemas e sua relação com o sistema socioeconômico (MUELLER, 2007). A EE também é vista como cética, porque assume que parcela dos recursos naturais é finita e insubstituível, e que os ganhos de eficiência serão compensados de maneira negativa pelo aumento da escala da atividade econômica[2], efeito conhecido como "bumerangue" ou "*reboundeffect*" (MUELLER, 2007; SORREL, 2007), e pelas escolhas dos consumidores, que, normalmente, privilegiam bens intensivos em energia e estilos de vida material-intensivos (*WORLD RESOURCES INSTITUTE – WRI*, 2000; ANDRADE, 2008; CHECIN; VEIGA, 2010). Neste sentido, seria irracional considerar que a inovação removeria todo e qualquer limite imposto pelo sistema natural ao crescimento econômico (ANDRADE 2008; CHECIN; VEIGA, 2010; ROMEIRO, 2012)como tem sido considerado pela Economia Ambiental.

[2] A escala está associada à capacidade de suporte do sistema natural do sistema socioeconômico (ROMEIRO, 2012).

Revista da Anpege
ISSN 1679-768X

Por conseguinte, a EE coloca a seguinte questão: qual a escala máxima de uso dos recursos naturais? (BERKES; FORKE, 1994; FARLEY; ERICKSON; DALY, 2005; LAWN, 2005; TOSTO, 2010; ANDRADE, 2008,2010; DALY; FARLEY, 2011). O conceito de escala biofísica das atividades humanas, também entendido como tamanho biofísico do sistema socioeconômico, ocupa um lugar central na abordagem econômico-ecológica(ANDRADE, 2008, 2010; TOSTO, 2010; GARCIA, 2012; ROMEIRO, 2012). Conforme destaca Andrade (2008, p. 17), a EE considera que "o estudo da escala precede o estudo da alocação ótima". Neste sentido, 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 socioeconômico(DALY; FARLEY, 2011, ROMEIRO, 2012).

Desse modo, segundo Romeiro (2012), a abordagem proposta pela EE inverte a lógica de decisão apresentada pela Economia Ambiental. Primeiramente deve ser definida, a partir de parâmetros ecológicos de sustentabilidade, a escala disponível e sustentável de uso dosrecursos naturais(DALY; FARLEY, 2011). Uma vez definidos os limites biofísicos de uso dos recursos naturais, discutir-se-á o problema da sua distribuição entre os diversos agentes envolvidos, com base em critérios de justiça social (DALY; FARLEY, 2011). Por fim, a alocação eficiente dos investimentos ficará a cargo do mercado, mas baseada pelas restrições ecológicas e sociais(ROMEIRO, 2012).

Em resumo, a sustentabilidade e gestão do sistema econômico-ecológico passa pela definição de uma hierarquia de objetivos que considere a dimensão ecológica na escala local, regional/nacional e global. Nesse processo, a modelagem econômico-ecológica pode ser considerada um importante instrumento de apoio, uma vez que pode fornecer subsídios mais adequados para o ajuste de preços e a adoção de outros incentivos locais – avaliação e valoração dos recursos naturais – para que de fato reflitam os custos ecológicos, sociais e econômicosem diversas escalas espaciais no longo prazo, inclusa a incerteza, do que os instrumentos propostos pela Economia Ambiental. Ainda, conforme destaca Costanza (1994), esse processo pode fornecer subsídios mais adequados para a elaboração de políticas locais, nacionais e globais que não levem ao contínuo declínio do capital natural.

Modelagem Econômico-Ecológica e Avaliação Ecossistêmica

A captura dos valores e a avaliação dos recursos naturais deve ser um processo capaz de lidar com o desafio de identificar as diversas dimensões e/ou aspectos dos ecossistemas (Liu *et al.*, 2010). Além disso, o processo de valoração deve considerar na devida medida a escala sustentável, distribuição equitativa intra e intergeracional e a alocação eficiente dos recursos naturais(ANDRADE, 2010; TOSTO, 2010; GARCIA, 2012). Assim, a valo-

Revista da Anpege ISSN 1679-768X

ração dependerá de uma criteriosa Avaliação Ecossistêmica, cujo objetivo será o de identificar as funções e serviços ecossistêmicos, importantes fontes de bem-estar da sociedade e da relativa estabilidade dos ecossistemas. Ainda, a avaliação ecossistêmica contribui para compreender de maneira mais aprofundada a complexidade dos ecossistemas avaliados e suas relações com a dinâmica socioeconômica (ROMEIRO; MAIA, 2010). Os autores tambémdestacam que a avaliação ecossistêmica é o ponto central da valoração sob a perspectiva Econômico-Ecológica, porque permite a caracterização dos inúmeros atributos dos ecossistemas (BINGHAM*et al.*, 1995).

É consenso que todos os seres vivos dependem de ecossistemas saudáveis e dos serviços providos pelo capital natural, que representam parcela do estoque total de recursos naturais que compõe a biosfera (ANDRADE, 2010). O capital natural compreende o estoque de recursos e as funções ecossistêmicas (COSTANZA; DALY, 1992; CHIESURA; DE GROOT, 2003).Por conseguinte, a origem dos benefícios proporcionados pelo sistema natural está localizada nos processos ecossistêmicos. Para entender a dinâmica *intra* e *inter-ecossistemas* e deste com o sistema econômico e social é preciso identificar os componentes do capital natural e as funções ecossistêmicas,responsáveis pelo provimento dos serviços ecossistêmicos (DE GROOT*et al.*, 2002).

As funções ecossistêmicasrepresentam características intrínsecas dos ecossistemas, as quais estão relacionadas ao conjunto de condições e processos por meio dos quais um determinado ecossistema mantém sua integridade, tais como: transferências de energia, ciclagem de nutrientes, regulação dos gases atmosféricos e do clima, ciclos bioquímicos e o ciclo hidrológico (ALCAMO*et al.*, 2003; DALY; FARLEY, 2011). Pode-se referir que as funções ecossistêmicas representam no limite uma "função de produção ecológica" (KUMAR; KUMAR, 2008) responsável pela manutenção dos inúmeros processos naturais.

Vale destacar ainda que, segundo Andrade (2008, 2010), as funções ecossistêmicassão resultados das complexas interações entre os componentes dos ecossistemas, que se traduzem nos serviços ecossistêmicos, mas apenas quando trazem a implícita ideia de valor humano. Em outras palavras, apenas quando os serviços ecossistêmicos contribuem para o bem-estar humano. Para Daly e Farley (2011, p. 103), "*We call an ecosystem function that has value to human beings an ecosystem service*". Ademais, Daly e Farley(2011, p. 75), "*Living species interact to create complex ecosystems, and these ecosystems generate ecosystems functions. When functions are of use to humans, we refer to them as ecosystem services. Many of these ecosystem services are essential to our survival*".

Revista da Anpege
ISSN 1679-768X

As funções e serviços ecossistêmicos não representam resultados de uma única relação entre os componentes do ecossistema (ANDRADE, 2010).Por exemplo, um único serviço ecossistêmico pode ser resultado de duas ou mais funções, ou mesmo, uma única função pode produzir mais que um serviço (COSTANZA*et al.*, 1997; DE GROOT*et al.*, 2002, DALY; FARLEY, 2011). Conforme destacam Daly e Farley (2011), a estrutura e a função ecossistêmica são mutuamente interdependentes, assim, é preciso que a análise econômica reconheça efetivamente essa integração. Por conseguinte, a gestão dos ecossistemas deve ser integrada, não é possível agir apenas sobre um componente do sistema natura, por exemplo, sobre o recurso hídrico ou espécie de ser vivo da flora e da fauna.

Segundo De Groot *et al.*(2002, p. 394), as funções ecossistêmicasreferem-se"a capacidade que os processos e componentes naturais possuem para fornecer os bens e serviços que satisfaçam direta e indiretamente as necessidades humanas". Desse modo, a partir das funções ecossistêmicas têm-se a constituição dos serviços ecossistêmicos, dotados de valores ecológico, sociocultural e econômico uma vez que contribuem para o bem-estar humano. Por sua vez, os serviços ecossistêmicos habilitam uma tentativa para que se possam mensurar, em termos monetários ou não, seus respectivos valores, uma vez que aqueles têm valor para a sociedade, portanto, passíveis de valoração. No entanto, o processo de valoração deve utilizar a modelagem econômico-ecológica, em função da complexidade intrínseca dos ecossistemas e de sua relação não linear com o sistema econômico. Por fim, a partir do valor total dos respectivos serviços ecossistêmicos, não necessariamente expressos na métrica monetária, será possível traçar as linhas gerais que deverão nortear a tomada de decisão a respeito do uso e ocupação das terras, por exemplo.

Para Costanza *et al.* (1989), no exercício da modelagem é preciso empreender uma abordagem dinâmico-integrada para avaliar os ecossistemas, incorporando os valores dos serviços ecossistêmicos a partir de suas dimensões ecológica, social e econômica. Para os autores, os múltiplos valores são indissociáveis das funções físicas, químicas e biológicas internas de qualquer ecossistema. Desta forma, a integração entre o sistema ecológico e o econômico e social deve contar com o auxílio de modelos econômico-ecológicos. Além disso, uma abordagem mais ampla de valoração – holística – não deve estar restrita apenas à aplicação de modelos monodisciplinares, mas transdisciplinares (ANDRADE, 2010).

Nesta perspectiva, Bockstael *et al.* (2000) destacam que essa abordagem mais ampla tem por objetivo melhorar a compreensão dos sistemas naturais e econômicos e sociais para melhor avaliar os possíveis impactos futuros em relação à ação humana, desenvolvimento econômico e alternativas de políticas, inclusive fornecer subsídios para melhor avaliar o valor dos serviços ecossistêmicos. Ademais, um modelo integrado permitirá que se

Revista da Anpege ISSN 1679-768X

avaliem os efeitos indiretos no sistema natural em um horizonte de longo prazo das opções de políticas adotadas no presente.

Na construção de modelos econômico-ecológicos a proposta de avaliação e valoração dos recursos naturais da EE começou a ganhar forma a partir do *Patuxent Landscape Model* (PLM). Esse modelo é baseado em um processo espacialmente explícito e multi-escalar, projetado para simular as dinâmicas ecológicas na escala espacial da Bacia Hidrográfica de *Patuxent*[3]. O PLM incorpora a interação do sistema natural com um componente econômico que prevê padrões de uso e ocupação das terras (VOINOV*et al.*, 1999; COSTANZA*et al.*, 2002).

Um desdobramento do PLM foi o desenvolvimento do *Global Unified Metamodel of the Biosphere* (GUMBO)(BOUMANS*et al.*, 2002), projetado para simular o sistema integrado da Biosfera Global e avaliar a dinâmica e os valores dos serviços ecossistêmicos. O GUMBO é resultado de uma síntese e de uma simplificação de diversos modelos dinâmicos globais existentes. Esse modelo é considerado o primeiro modelo global que incorpora a dinâmica de *feedbacks* entre tecnologia, produção econômica e bem-estar humano e o fluxo de serviços ecossistêmicos dentro do sistema Global. Cabe destacar que os serviços ecossistêmicos são seu foco, onde se busca verificar como eles afetam a produção econômica e o bem-estar humano. A análise concentra-se na interação e nos efeitos deretroalimentaçãoentre os sistemas ecológicos e socioeconômicos. O modelo inclui o capital natural, humano, social e construído pelo homem, assim como variáveis de estado (condição) e fatores de produção.

O GUMBO contribuiu para o desenvolvimento de um modelo mais completo, o *Multiscale Integrated Models of Ecosystem Services*, conhecido como Projeto MIMES (BOUMANS; COSTANZA, 2007; BOUMANS*et al.*, 2015). Esse projeto tem por objetivo principal construir modelos participativos para coleta de dados e valoração dos serviços ecossistêmicos, que podem ser sintetizados em três objetivos específicos (BOUMANS; COSTANZA, 2007): i) construção de um conjunto de modelos computacionais econômico-ecológicos, destinados para entender o funcionamento integrado dos ecossistemas, o fluxo de serviços ecossistêmicos e o bem-estar a partir de uma gama de escalas espaciais (global, nacional, regional e local); ii) desenvolvimento e aplicação de novas técnicas de valoração adaptadas as características inerentes dos bens públicos naturais, integrando-as com a modelagem econômico-ecológica; iii) disponibilizar modelos integrados e seus resultados a todos potenciais usuários.

[3] Localizada no Estado de Maryland, EUA, com 2.352 km² de área (Costanza et al., 2002).

Revista da Anpege
ISSN 1679-768X

A construção de modelos de valoração dinâmico-integrados a partir da perspectiva econômico-ecológica, conforme destaca Andrade (2010), não deve ser considerada, *stricto sensu*, um novo método ou mesmo o desenvolvimento de novos métodos, mas uma tentativa de ampliar as técnicas utilizadas no processo de valoração e avaliação dos serviços ecossistêmicos, permitindo a incorporação de outras dimensões de valores, além da econômica. Neste sentido, vale destacar que na mesma linha de abordagem da EE existe uma série de modelos que podem contribuir para uma análise integrada dos ecossistemas.

Nesta perspectiva, merece destaque o *Natural Capital Project*, uma iniciativa conjunta da ONG *The Nature Conservancy* (TNC), WWF (*World Wildlife Fund*) e do *Woods Institute for the Environment Stanford University* que resultou no *InVEST – Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs*, cujo objetivo é subsidiar a tomada de decisão no que se refere à gestão dos ecossistemas (DAILY *et al.*, 2009; TALLIS; POLASKY, 2009 e 2011; NELSON *et al.*, 2009; YUKUAN *et al.*, 2010; TALLIS*et al.*, 2011) a partir de uma abordagem integrada.Em síntese, o *InVEST* agrega um conjunto de modelos teóricos que permitem avaliar múltiplos serviços ecossistêmicos (TALLIS; POLASKY, 2009 e 2011; NELSON*et al.*, 2009; YUKUAN*et al.*, 2010; TALLIS*et al.*, 2011).

As principais características do *InVEST*são: compilação de modelos teóricos consagrados que requerem uma quantidade relativamente pequena de dados e de informações; o foco de ação é subsidiar a tomada de decisão sobre a gestão ambiental; suporte documental(TALLIS; POLASKY, 2009 e 2011; NELSON*et al.*, 2009; YUKUAN*et al.*, 2010; TALLIS*et al.*, 2011). Outro aspecto interessante do*InVEST* é a inclusão de uma quantificação biofísica, do mapeamento e da valoração monetária dos benefícios providos por ecossistemas terrestres, *freshwater* e marinhos(TALLIS; POLASKY, 2009 e 2011; NELSON*et al.*, 2009; YUKUAN*et al.*, 2010; TALLIS*et al.*, 2011).

Vale ressaltar ainda que o *InVEST* oferece uma grande potencialidade para que se possa avançar no processo de valoraçãodos recursos naturais e de gestão dos ecossistemas (GARCIA, 2012). No entanto, o uso da modelagem disposta pelo *InVEST* ou por qualquer outra plataforma de modelagem econômico-ecológica exige o uso de geotecnologias, além de conhecimentosna área das ciências naturais, tais como agronomia, pedologia, ecologia, biologia etc. (GARCIA, 2012), o que apresenta um grande desafio para os economistas. Neste sentido, de acordo com o autor, a prática da modelagem econômico-ecológica pode ser caracterizada como uma verdadeira abordagem transdisciplinar da problemática ambiental, aspecto que dificulta sua utilização, embora seus resultados possam contribuir para um real avanço da Gestão Integrada dos Ecossistemas na busca de um modelo econômico mais adequado a realidade.

Revista da Anpege
ISSN 1679-768X

A avaliação ecossistêmica é uma tarefa particularmente difícil, porque grande parcela dos benefícios providos pelosecossistemas são externalidades positivas que em sua maioria ainda não foram identificados pela sociedade. Por conseguinte, não existe sistema de preços para esses benefícios e nem mercado para que a sociedade possa utilizar como parâmetro para tomada de decisão quanto ao seu uso ou para preservação dos ecossistemas. A avaliação ecossistêmica e o processo devaloração podem ser considerados formas práticas para que se possa tornar explícita a estreita relação existente entre os ecossistemas e o sistema socioeconômico, e como *proxy* de sua importância para o bem-estar humano.

O processo de valoração é considerado um importante instrumento para a adequada gestão dos ecossistemas e para a tomada de decisão dos agentes quanto ao uso dos ecossistemas e de seus benefícios, sem a qual se tornaria difícil elaborar políticas de gestão ambiental e de investimento. É a partir do processo de valoração dos benefícios providos pelos ecossistemas que será possível, por exemplo, a construção de sistemas de cobranças pelo direito de uso dos recursos naturais – tais como a cobrança pelo direito de uso da água –, atribuição e definição de taxas, impostos, multas, implantação de Esquemas de Pagamento por Serviços Ambientais – PSA's(WÜNSCHER; ENGEL; WUNDER, 2008; ENGEL, 2008; KEMKERS, 2010;STANTON, 2010), entre outras iniciativas de gestão. Estes instrumentos têm dois importantes objetivos: captação de recursos financeiros para financiar a manutenção e conservação dos ecossistemas; disciplinar o uso das "dádivas" gratuitas da natureza pelo sistema econômico e social.

Mesmo diante da importância da modelagem econômico-ecológica como suporte para a avaliação ecossistêmica, para o processo de valoração e, posteriormente, fornecendo subsídios mais adequados para a formulação e implantação de políticas ambientais e a tomada de decisão dos agentes econômicos, o seu uso tem-se mostrado um imenso desafio para os analistas (ANDRADE, 2010), em especial para os economistas. Na tentativa de ilustrar as inúmeras dificuldades envolvidas no uso desse instrumento, abaixo é apresentada uma breve ilustração hipotética de como seria o processo "ideal" de avaliação e valoração dos impactos ambientais associados à moderna atividade agropecuária a luz da perspectiva econômico-ecológica.

É sabido da importância da Região Centro-Oeste na expansão da atividade agrícola no Brasil. Desse modo, o governo brasileiro poderia avaliar os impactos ambientais associados à expansão da fronteira agropecuária nesta região, cujo objetivo seria levantar informações para subsidiar a elaboração de uma proposta de reordenamento do uso e ocupação das terras que mantivesse a resiliência do Bioma Cerrado. Então, como a modelagem econômico-ecológica poderia auxiliar neste processo de avaliação? Quais os desafios e as dificuldades envolvidas em tal avaliação?

O uso da modelagem econômico-ecológica deverá ser precedido por uma criteriosa avaliação ecossistêmica, cujo objetivo é identificar os serviços ecossistêmicos providos pelo território em análise, no exemplo hipotético, pelo Bioma Cerrado. Os ecossistemas presentes no Bioma Cerrado contribuem na retenção do solo (evita ou ameniza o início de processos erosivos) e de outras substâncias (evita a contaminação dos corpos d'água), na fertilidade do solo (ciclagem de nutrientes), na purificação da água e retenção de água no solo, controle de pragas e doenças, turismo, entre outros.

Na sequência recomenda-se a realização de uma avaliação quantitativa e qualitativa dos serviços ecossistêmicos providos pelo Bioma Cerrado, de tal modo que seja possível relacionar o seu estado geral com o seu aporte de amenidades para o bem-estar humano. O objetivo dessa avaliação é identificar os *tradeoffs* e mensurar na métrica biofísica e/ou monetária os benefícios providos pelo Bioma Cerrado para o bem-estar da sociedade. Neste processo, a modelagem econômico-ecológica pode ser um importante instrumento auxiliar, porque permite identificar os *tradeoffs* entre o estado do ecossistema e o fluxo dos serviços ecossistêmicos a partir da ação humana sobre os ecossistemas do território avaliado, ou seja, avaliar o impacto gerado pela expansão da atividade agropecuária no Cerrado.

As estimativas da avaliação biofísica poderão ser utilizadas para que seja possível estimar a capacidade máxima de provimento de serviços ecossistêmicos pelo Bioma Cerrado, informação fundamental para subsidiar a definição da "escala sustentável, aceitável ou possível" de uso e ocupação das terras pela atividade humana. Neste sentido, as informações geradas pela avaliação ecossistêmica e pelo processo de valoração podem fornecer subsídios mais adequados à tomada de decisão a respeito da escala de intervenção da sociedade sobre os ecossistemas, aportando, assim, informação para orientar a alocação dos recursos e o tipo de instrumentos que devam seradotados pela sociedade para internalizar no sistema econômico e social os custos envolvidos no uso dos serviços ecossistêmicos e na degradação dos ecossistemas, entre outras atividades de gestão.

Neste aspecto, vale destacar o que vem ocorrendo em regiões do Cerrado Brasileiro que foram ocupadas pela atividade agropecuária, mas que não respeitaram a resiliência dos ecossistemas. A intensa utilização de pivôs centrais de irrigação no Cerrado tem afetado a integridade ecológica dos rios. Segundo levantamentos da Embrapa (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária), existem mais de 7 mil pivôs centrais de irrigação em utilização no Cerrado[4]. O resultado dessa sobre-utilização dos recursos hídricos é redução da vazão de água dos rios da região, o que compromete o desenvolvimento da atividade agrícola. Em algumas regiões do Cerrado os produtores precisam interromper o cultivo ou os planos de expansão por causa da falta de água.

[4] Informação publicada em Correio Braziliense (2011).

Revista da Anpege ISSN 1679-768X

Em síntese, a modelagem econômico-ecológica pode contribuir para a definição da "escala sustentável" de uso dos recursos naturais ou intervenção humana nos ecossistemas, evitando a perda de importantes serviços ecossistêmicos. Uma vez conhecida essa escala, é possível definir como será realizada a alocação dos recursos entre os agentes, em termos da distribuição intrageracional e intergeracional. Esse modelo de avaliação contribuirá para que se alcance ou para que oriente a sociedade quanto ao uso mais adequado dos recursos naturais, mas respeitando os limites absolutos impostos pelo sistema natural à expansão da atividade humana e econômica.

Proposta de Gestão Integrada dos Ecossistemas a partir de Esquemas de PSA's

Ao longo desse trabalho tem sido enfatizada a importância da modelagem econômico-ecológica como uma ferramenta capaz de subsidiar a gestão integrada dos ecossistemas. A modelagem também pode contribuir para a construção de Esquemas de PSA (WUNDER, 2005; WÜNSCHER; ENGEL; WUNDER, 2008; KEMKES*et al.*, 2010) ou dos PWS (*Payments for Watershed Services*)[5], uma vez que esse instrumento de gestão ambiental tem sido difundido como uma possível solução para orientar o uso dos recursos naturais e a internalização dos custos e benefícios ambientais no sistema econômico. No entanto, é preciso reconhecer inicialmente que a implantação de um Esquema de PSA deve ser um projeto de longo prazo, que requer um intenso engajamento dos agentes envolvidos, cujo objetivo é criar laços de confiança e de comprometimento entre os agentes envolvidos. Além disso, o uso desse instrumento não deve ignorar a interdependência entre os componentes do ecossistema e o sistema socioeconômico, embora a maioria das iniciativas e experiências tenha ignorado essa característica inerente da gestão ambiental (GUEDES; SEEHUSEN, 2011; MATTOS; HERCOWITZ, 2011). Neste aspecto, vale resgatar o sistema de gestão implantado pela cidade de Nova Iorque na bacia hidrográfica de *Catskill*, que pode ser considerado um caso de sucesso na implantação de um esquema de PWS e da gestão integrada dos ecossistemas (GARCIA, 2012).

Mesmo que exista um intenso debate sobre a eficiência na adoção de esquemas de PSA para melhorar ou manter o fluxo de serviços ecossistêmicos em bacias hidrográficas, o interesse pela adoção desses instrumentos apresenta uma tendência ascendente em todo o mundo(IPEA, 2010; JARDIM, 2010; SOUZA JR., 2010; GUEDES; SEEHUSEN, 2011). Por conseguinte, os recentes avanços na modelagem econômico-ecológica (BOUMANS; COSTANZA, 2007; NELSON*et al.*, 2009; ANDRADE, 2010; TALLIS*et al.*, 2011;

[5] O PWS representa um PSA que tem como foco os serviços hidrológicos, tais como controle de cheias, regulação da oferta de água, purificação de água, controle da erosão etc. Esse tipo de mecanismo cria incentivos financeiros para a proteção, restauração ou sustentação dos serviços ecossistêmicos providos por bacias hidrográficas.

Revista da Anpege
ISSN 1679-768X

KAREIVA *et al.*, 2011; GARCIA, 2012; BOUMANS *et al.*, 2015)podem subsidiar o desenho e a implantação desses modelos de gestão dos ecossistemas, a partir da identificação de como os pagamentos possam atender a múltiplos objetivos ou serviços ecossistêmicos. Neste sentido, a modelagem econômico-ecológica permite identificar as interdependências entre o sistema socioeconômico e natural e entre os componentes do sistema natural e sua relação com a atividade econômica e humana. Ainda, a modelagem pode ser utilizada para identificar e determinar onde distribuir os pagamentos ou estabelecer novos esquemas de PSA para melhorar a eficiência dos investimentos em capital natural. Em alguns casos, esse instrumento pode subsidiar a escolha entre as opções de gestão dos ecossistemas a partir de informações sobre a variação biofísica e, quando possível monetária, no fluxo de serviços ecossistêmicos em determinado território.

Considerando a ampla possibilidade de formulação de esquemas de PSA, de políticas ambientais e do uso da modelagem econômico-ecológica como subsídio à gestão de bacias hidrográficas, o *Natural Capital Project* – conduzido desde 2006 a partir da parceria entre a *The Nature Conservancy* (TNC), a WWF (*World Wildlife Fund*) e o *Woods Institute for the Environment Stanford University*[6]– elaborou uma estrutura metodológica que pode ilustrar o potencial da modelagem integrada a Sistemas de Informação Geográfica (SIG's) no desenho e implantação de esquemas de PSA e de modelos de gestão integrada dos ecossistemas em diversas escalas (Figura 1).

Figura 1 – A Modelagem Econômico-Ecológica e o Desenho e Implantação de Esquemas de PSA

Etapas	Contribuição da Modelagem Econômico-Ecológica
1. Suporte Institucional	Demonstrar o potencial econômico e a eficiência e benefícios sociais do PSA.
2. Avaliação Ecossistêmica	i) Verificação os serviços ecossistêmicos; ii) identificar onde distribuir os pagamentos; iii) predizer as mudanças nos serviços ecossistêmicos; iv) priorizar as alternativas de gestão mais
3. Desenvolver a governança	Subsídio de informações sobre os agentes envolvidos e sua relação com o provimento e o uso dos serviços ecossistêmicos.
4. Identificação dos beneficiários	Identifica onde os serviços ecossistêmicos são "utilizados" e a quantidade disponível.
5. Identificação dos provedores	i) Identifica as áreas geográficas da provisão corrente; ii) identifica o potencial de provisão de cada área geográfica; iii) avalia as variações na provisão para cada alternativa de gestão.
6. Preços e Valores	Subsidia o processo de valoração dos serviços ecossistêmicos.
7. Verificação do	Permite informar as metas do provimento de serviços ecossistêmicos na métrica biofísica.
8. Monitoramento	Subsidia a construção de um plano de monitoramento e de avaliação.
9. Adaptar e Ampliar	i) Avaliar planos alternativos de gestão; ii) identificar as novas áreas de PSA.

Fonte: Preparado pelos autores com base em **Natural Capital Project**, *2010.*
NOTA: Existem outras etapas para implantar esquemas de PSA ou PWS, mas que não necessariamente utilizam as informações geradas pela modelagem econômico-ecológica tais como avaliação institucional, capacidade da estrutura de gestão e a determinação e o tipo de contrato e de pagamento.

[6] Ver http://www.naturalcapitalproject.org/.

Revista da Anpege ISSN 1679-768X

A maioria dos esquemas de PSA adotados no mundo é baseada no apoio direto do setor público(JARDIM, 2010; GUEDES; SEEHUSEN, 2011; GARCIA, 2012), seja para suporte político-administrativo na criação de arranjos institucionais seja para o financiamento dos pagamentos. No entanto, a base de financiamento dos esquemas de PSA deveria ser o setor privado, isto é, os beneficiários diretos do provimento de serviços ecossistêmicos (GARCIA; ROMEIRO, 2011). Desse modo, para subsidiar a tomada de decisão dos agentes públicos e privados que desejam apoiar um esquema de PSA é necessário demonstrar que os benefícios líquidos para a sociedade são maiores do que as alternativas disponíveis de gestão ou de uso e ocupação das terras (etapa 1) (Figura 1). A simulação de mudanças no uso das terras e nas práticas de manejo do solo pode demonstrar como a implantação de um esquema de PSA afetaria o fluxo de serviços ecossistêmicos em determinada região. As informações geradas também poderiam contribuir para o desenvolvimento da estrutura de governança (etapa 3)(Figura 1).

Neste sentido, a modelagem poderia ser utilizada para simular como mudanças no uso e manejo do solo, encorajadas pela adoção de esquemas de PSA, afetaria o fluxo de serviços ecossistêmicos em determinado território. Além disso, a modelagem econômico-ecológica quando integrada a Sistemas de Informações Geográficas (SIG's) possibilita a construção de mapas que mostram a variação espacial no fluxo de serviços ecossistêmicos. Esse tipo de informação pode aumentar a conscientização sobre a importância dos serviços ecossistêmicos para o bem-estar humano, especialmente em âmbito local, além de subsidiar o diálogo entre as partes envolvidas, permitindo um impulso político para a implantação em larga escala de esquemas de PSA e a adoção de métodos de valoração participativos para subsidiar a gestão integrada dos ecossistemas.

Conforme já destacado ao longo deste trabalho, a modelagem pode ser utilizada na avaliação ecossistêmica (etapa 2)(Figura 1), fundamental para qualquer proposta de gestão integrada dos ecossistemas. Essa avaliação contribui de maneira significativa para uma maior compreensão do estado corrente dos serviços ecossistêmicos, do potencial dos serviços a serem restaurados e mantidos e como as práticas de manejo do solo poderiam aumentar a eficiência no fluxo de serviços ecossistêmicos em determinadas áreas. Integrando ainda a modelagem a Sistemas de Informações Geográficas (SIG's) é possível identificar como será distribuído no espaço o pagamento, baseado evidentemente na contribuição relativa de cada parcela no provimento dos serviços ecossistêmicos.

A avaliação ecossistêmica também poderia contribuir na determinação dos potenciais "compradores ou beneficiários" e dos provedores de serviços ecossistêmicos (etapas 4 e 5) (Figura 1). Essa informação poderia subsidiar a verificação do sucesso de um esquema de PSA ou do modelo de gestão adotado - monitoramento, tais como a equidade e a eficiência das ações de gestão ambiental (etapa 7)(Figura 1). Embora os critérios sejam normalmentedeterminados pelos agen-

Revista da Anpege
ISSN 1679-768X

tes envolvidos, mas a informação proporcionada pela avaliação ecossistêmica poderia ajudar na identificação e mensuração dos critérios a serem utilizados.

A determinação do conjunto de preços e valores dos benefícios ou serviços providos pelos ecossistemas é resultado da negociação entre beneficiários e provedores de serviços ambientais (etapa 6) (Figura 1). Todavia, a modelagem econômico-ecológica pode fornecer estimativas dos "valores" econômicos dos serviços ecossistêmicos para a sociedade. Essas informações poderiam ser utilizadas para capturar a disposição a pagar dos usuários a partir de métodos deliberativos ou participativos (GARCIA, 2012).

Conforme destaca o *Natural Capital Project* (2010), a sustentabilidade de um esquema de PSA está amparada no pagamento dos serviços "providos" pelos ecossistemas, resultantes das práticas de gestão adotadas pelos proprietários das terras, os serviços ambientais. A determinação da "prestação" dos serviços ambientais pelos produtores rurais requer um acompanhamento de indicadores relevantes, confiáveis e mensuráveis, que permitirão avaliar a eficácia do PSA (etapa 8) ou da gestão(Figura 1). Entretanto, em função da dificuldade de se obterem os dados de entrada dos modelos em tempo real, a modelagem poderia contribuir parcialmente com essa etapa. Logo, o monitoramento apresentará um período de defasagem em relação ao andamento do PSA, embora a modelagem ainda tenha um papel central nesta fase.

Os resultados verificados na avaliação e no monitoramento dos esquemas de PSA e da gestão ambiental podem ser utilizados para adaptar ou melhorar o desempenho do modelo de gestão adotado segundo as condições econômicas, sociais, culturais e ambientais verificadas na região (etapa 9)(Figura 1) quase que em tempo real. Essa etapa seria baseada nos resultados proporcionados pela avaliação ecossistêmica, que, por sua vez, poderia subsidiar a determinação dos potenciais beneficiários e provedores dos serviços ambientais e ecossistêmicos, além de seus respectivos preços e valores.

Neste contexto, a modelagem pode ser considerada um importante instrumento para subsidiar a gestão integrada dos ecossistemas, em especial, na implantação de esquemas de PSA. No entanto, a gestão integrada deve considerar na devida medida algumas das características fundamentais e inerentes ao sistema natural: irreversibilidade da degradação dos ecossistemas, ou seja, uma vez degradado apenas parcela do ecossistema poderá ser recuperada, mas a custos crescentes; incerteza quanto aos resultados da intervenção humana no relativo equilíbrio (termo)dinâmico dos ecossistemas; escala biofísica de uso antrópico dos ecossistemas; estreita interdependência entre os componentes do ecossistema e deste com o sistema antrópico. Por exemplo, a disponibilidade de água limpa requer a presença de ecossistemas saudáveis cujas interações entre solo, água, vegetação e clima asseguram importantes serviços ecossistêmicos para o bem-estar huma-

Revista da Anpege
ISSN 1679-768X

no e para a manutenção da relativa estabilidade ecossistêmica. Estes serviços incluem a purificação da água, controle do fluxo, infiltração e armazenagem de água e a manutenção de ecossistemas aquáticos (STANTON*et al.*, 2010).

Os mercados de serviços ambientais e os mecanismos de mercado como pagamentos ou compensações têm demonstrado potencial para contribuir na resolução dos problemas ambientais uma vez que se apresentam como soluções custo-efetivas quando comparados com outros mecanismos regulatórios. Ademais, esses instrumentos têm um importante papel na proteção e restauração dos serviços providos por bacias hidrográficas, por exemplo, onde os aparatos regulatórios são relativamente escassos (STANTON*et al.*, 2010).

A sociedade está começando a reconhecer que o ecossistema é responsável por parcela importante de seu bem-estar. A partir dessa observação, existe um relativo consenso sobre a importância de se incorporar os "serviços ecossistêmicos" nas decisõesde produção e consumo dos agentes econômicos. Entretanto, a quantificação dos níveis e valores desses serviços têm se mostrado um grande desafio para a sociedade (NELSON*et al.*, 2009; MAY, 2010).A partir dessa perspectiva, por exemplo, a gestão de bacias hidrográficas não deveria ter como foco apenas a melhoria da qualidade hídrica, mas o objetivo deveria ser apenas a melhoria da qualidade do ecossistema como um todo e, não apenas suas partes, ou seja, uma verdadeira gestão integrada dos ecossistemas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Na perspectiva econômico-ecológica a decisão sobre a alocação eficiente dos recursos naturais e econômicos deve ser precedida pela definição da escala do ecossistema e do subsistema antrópico, a economia. De acordo com Tosto (2010), a escala representa a dimensão biofísica do subsistema antrópico analisado em relação ao ecossistema, este definido pelo solo e por sua aptidão agrícola ou capacidade de uso do solo (suporte). As informações sobre a escala podem fornecer subsídios mais adequados para orientar a gestão integrada dos ecossistemas, cujo objetivo seria encontrar a "escala aceitável ou sustentável" de intervenção da economia e da sociedade nos ecossistemas, da alocação eficiente e da definição dos valores dos recursos naturais. A definição da escala biofísica do sistema natural e do sistema socioeconômico contribui para manter o fluxo de serviços ecossistêmicos dentro de uma "escala aceitável". Esse seria um modelo mais adequado às restrições impostas pelo sistema natural ao desenvolvimento econômico.

Revista da Anpege
ISSN 1679-768X

Vale destacar também que a dinâmica ecossistêmica gera um conjunto de serviços ecossistêmicos que contribuem direta e indiretamente para o bem-estar humano. Entretanto, a maior parcela desses bens tem característica de bem público, dificultando a instalação de mercados privados. Logo, os custos e benefícios envolvidos na apropriação e uso desses serviços na maioria das situações não são expressos em valores de mercado, mesmo aqueles transacionados no mercado, tais como petróleo e *commodities* agrícolas, refletem apenas parcela de seus custos e benefícios. Essa distorção é explicada pelo fato de que existem externalidades que são difíceis de serem identificadas e mensuradas na métrica monetária, sendo necessária uma abordagem transdisciplinar.

Desse modo, para a Economia Ecológica, o processo de valoração deve incluir uma criteriosa avaliação ecossistêmica, a qual permitirá a identificação e a mensuração biofísica dos serviços providos, por exemplo, por uma bacia hidrográfica ou território. Assim, esse esquema teórico-metodológico poderia subsidiar a institucionalização de uma gestão integrada dos ecossistemas, permitindo até mesmo a consolidação de mercados de serviços ambientais mais adequados, tornando possível a recuperação e conservação da qualidade dos ecossistemas uma fonte de rendimento complementar para os agricultores.Desse modo, essa perspectiva de avaliação da relação entre o sistema socioeconômico e natural contribuirá para que a sociedade adote um modelo de gestão realmente integrado, que busque o uso mais adequado dos recursos naturais, mas respeitando os limites absolutos impostos pelo sistema natural.

REFERÊNCIAS

1. ALCAMO, J.*et al.* (2003)[7]. **Ecosystems and human well-being: a framework for assessment**. Disponível em: <http://goo.gl/oepfvO>. Acesso em: 03/06/2015.
2. 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.
3. ANDRADE, D. C. **Modelagem e Valoração de Serviços Ecossistêmicos: 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.
4. BERKES, F., FOLKE, C. **Investing in cultural capital for sustainable use of natural capital**. In: JANSSON, A.M.; HAMMER, M.; Folke, C.; COSTANZA, R. (eds.). Investing in Natural Capital: the Ecological Economics Approach to Sustainability. Washington DC: Island Press, 1994, p. 22-37.

[7] Ao todo são 51 autores.

Revista da Anpege ISSN 1679-768X

5. BINGHAM, G. *et al.*[8]. Analysis – Issues in ecosystem valuation: improving information for decision making. **Ecological Economics**, nº 14, 1995, p. 73-90.

6. BOCKSTAEL, N.; FREEMAN, A. M.; KOPP, R. J.; PORTNEY, P. R.; SMITH, V. K. On measuring economic values for nature. **Environmental and Science Technology**, nº 34, 2000, p. 1384-1389.

7. BOCKSTAEL, N.; COSTANZA, R.; STRAND, I.; BOYNTON, W.; BELL, K.; WAINGER, L. Ecological economic modeling and valuation of ecosystems. Analysis, **Ecological Economics**, nº 14, 1995, p. 143-159.

8. BOUMANS, R.; COSTANZA, R.; FARLEY, J.; WILSON, M. A.; PORTELA, R.; ROTMANS, J.; VILLA, F.; GRASSO, M. Modeling the dynamics of the integrated earth system and the value of global ecosystem services using the GUMBO model. Special Issue: The dynamics and value ecosystem services: integrating economic and ecological perspectives, **Ecological Economics**, nº 41, 2002, p. 529-560.

9. BOUMANS, R.; ROMAN, J.; ALTMAN, I.; KAUFMAN, L. (2015). The Multiscale Integrated Model of Ecosystem Services (MIMES): simulating the interactions of coupled human and natural systems. **Ecosystem Services**, nº 12, 2015, p. 30-41.

10. BOUMANS, R.; R. COSTANZA.**The multiscale integrated Earth Systems model (MIMES): the dynamics, modeling and valuation of ecosystem services**. In: Van Bers, C.; Petry, D.; Pahl-Wostl, C. (Editors) (2007), nº. 2. GWSP IPO, Bonn. 2:102-106.

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

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

13. CHIESURA, A.; DE GROOT, R. Critical natural capital: a socio-cultural perspective. Methods. **Ecological Economics**, nº 44, 2003, p. 219-231.

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

15. COSTANZA, R.;VOINOV, A.; BOUMANS, R.; MAXWELL, T.; VILLA, F.; WAINGER, L.; VOINOV, H. Integrated ecological economic modeling of the Patuxent River watershed, Maryland. **Ecological Monographs**, 72 (2), 2002, p. 203-231.

16. COSTANZA, R. Social Goals and the Valuation of Ecosystem Services. **Ecosystems**, 3, 2000, p. 4-10.

17. COSTANZA, R., DALY, H. E. Natural Capital and Sustainable Development. **Conservation Biology**, 6, 1992, p. 37-46.

[8] Ao todo são 15 autores.

Revista da Anpege
ISSN 1679-768X

18. COSTANZA, R.; D'ARGE, R.; DE GROOT, R.; FARBER, S.; GRASSO, M.; HANNON, B.; LIMBURG, K.; NAEEM, S.; O'NEIL, R. V.; PARUELO, J.; RASKIN, R. G.; SUTTON, P.; VAN DEN BELT, M. The value of the world's ecosystem services and natural capital. **Nature**, vol. 387, maio/1997.

19. COSTANZA, R; FARBER, S. C.; MAXWELL, J. Valuation and management of wetland ecosystems. **Ecological Economics**, nº 1, 1989. p. 335-361.

20. DALY, H.; FARLEY, J. **Ecological Economics: Principles and Applications**. Island Press, Washington, 2011.

21. DE GROOT, R. S.; WILSON, M. A.; BOUMANS, R. M. J.A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. **Ecological Economics**, Special Issue: The Dynamics and Value of Ecosystem Services: Integrating Economic and Ecological Perspectives, nº 41, 2002, p. 393-408.

22. FARLEY, J; ERICKSON, J. D.; DALY, H. (2005).**Ecological economics: a workbook for problem-based learning**. Island Press: Washington-DC, 2005.

23. FAUCHEUX, S.; NOËL, J. (1995). **Economia dos recursos naturais e do meio ambiente**. Lisboa: Instituto Piaget, 1995.

24. GARCIA, J. R. (2012). **Valoração, cobrança pelo uso da água e a gestão das bacias hidrográficas do Alto Iguaçu e afluentes do Alto Ribeira**: uma abordagem econômico-ecológica. 2012. Tese (Doutorado em Desenvolvimento Econômico, Espaço e Meio Ambiente) – Instituto de Economia, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, São Paulo, 2012.

25. GARCIA, J. R.; ROMEIRO, A. R. **O financiamento do pagamento por serviços ecossistêmicos e o Projeto Conservador de água**. In: IX Encontro da Sociedade Brasileira de Economia Ecológica - EcoEco, 2011, Brasília-DF. IX Encontro da Sociedade Brasileira de Economia Ecológica - Políticas Públicas e a Perspectiva da Economia Ecológica. Brasília-DF: UNB/CDS, 2011.

26. GEORGESCU-ROEGEN, N ([1975], 1999). **The entropy law and the economics process**. Harvard University Press: Lincoln, 1999.

27. GEORGESCU-ROEGEN, N. Energy and Economic Myths. **Southern Economic Journal**, vol. 41, nº 3, Jan. /1975, p. 347-381. Disponível em: <http://www.jstor.org/stable/1056148>. Acesso em: 07/07/2013.

28. GUEDES, F. B.; SEEHUSEN, S. E. (orgs.). **Pagamentos por serviços ambientais na Mata Atlântica: lições aprendidas e desafios**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente – MMA, 2011.

29. INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA – IPEA (2010). **Relatório de Pesquisa sobre Pagamento por Serviços Ambientais Urbanos para Gestão de Resíduos Sólidos**. Brasília, 2010. Disponível em: <www.portalodm.com.br>. Acesso em: 24/06/2011.

30. JARDIM, M. H. **Pagamentos por serviços ambientais na gestão de recursos hídricos: o caso de Extrema-MG**. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Sustentável), Centro de Desenvolvimento Sustentável, Universidade de Brasília, Brasília-DF, 2010,195 fls.

Revista da Anpege
ISSN 1679-768X

31. KAREIVA, P; TALLIS, H.; RICKETTS, T. H.; DAILY, G.; POLASKY, S.**Natural capital: theory and practice of mapping ecosystem services**. 1st edition, New York: Oxford University Press, 2011.

32. KUMAR, M.; KUMAR, P. Valuation of the ecosystem services: a psycho-cultural perspective. **Ecological Economics**, nº 64, 2008, p. 808-819.

33. LAWN, P. A. (2005). Scale, prices, and biophysical assessments. **Ecological Economics**, v. 38, issue 3, September/2001, p. 369-382.

34. LIU, S.; COSTANZA, R.; FARBER, S.; TROY, A. Valuing ecosystem services: theory, practice, and the need for a transdisciplinary synthesis. **Annals of the New York Academy of Sciences**, nº 1185, Jan/2010, p. 54-78.

35. *MAY, P.* **Apresentação da segunda edição**. MAY, P. (org.). **Economia do meio ambiente: teoria e prática**. 2ª edição, Rio de Janeiro: Elsevier, 2010.

36. MERICO, L. F. K. **Introdução à Economia Ecológica**. 2ª edição, edifurb, Blumenau, Santa Catarina, 2002.

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

38. NATURAL CAPITAL PROJECT (2010). **InVEST Practice: A guindance series on Applying InVEST to policy and planning**. Issue nº 3, janeiro/2010. Disponível em: <www.naturalcapitalproject.org>. Acesso em: 12/12/2012.

39. NELSON, E.; MENDOZA, G.; REGETZ, J.; POLASKY, S.; TALLIS, H.; CAMERON, D.; CHAN, K. M.; DAILY, G. C.; GOLDSTEIN, J.; KAREIVA, P. M.; LONSDORF, E.; NAIDOO, R.; RICKETTS, T. H.; SHAW, R.Modeling multiple ecosystem services, biodiversity conservation, commodity production, and tradeoffs at landscape scales. **Frontiers in Ecology and the Environment**, nº 7, 2009, p. 4-11.

40. PEARCE, D. W.; TURNER, R. K. (1990). **Economics of natural resources and the environment**. Harvester Wheatsheaf, Great Britain, 1990.

41. PORTELA, R. G. **Integrated ecological economic modeling of ecosystem services from the Brazilian Amazon Rainforest**. Dissertation (Faculty of the Graduate School of the University of the Maryland), Maryland, 2004, p. 462.

42. ROMEIRO, A. R. Desenvolvimento sustentável: uma perspectiva econômico-ecológica. **Estudos Avançados**, v. 26, nº 74, p. 65-92, 2012.

43. ROMEIRO, A. R. E MAIA, A. G. **Apostila – Avaliação de Custos e Benefícios Ambientais**. Enap – Cursos: Programa de Avaliação Socioeconômica de Projetos, Brasília, junho de 2010.

44. ROPKE, I. The early history of modern ecological economics. **Ecological Economics**, 50, 2004, p. 293-314.

45. *SACHS, J. (2008).* **A riqueza de todos**. *1ª edição, Nova Fronteira: São Paulo, 2008.*

46. *SORREL, S. (2007).* **The rebound effect: an assessment of the evidence for economy-wide energy savings from improved energy efficiency**. *Sussex Energy Group for the Technology and Policy Assessment Report. Disponível em : <http://goo.gl/aQob7c>. Acesso em: 03/06/2015.*

47. SOUZA JR., W. C. **Pagamento por serviços ecossistêmicos: mata ciliar, erosão, turbidez e qualidade de água**. Projeto de Recuperação de Matas Ciliares – Produtos Técnicos, nº 01, junho/2010. Disponível em: <www.ambiente.sp.gov.br/mataciliar>. Acesso em: 29/09/2011.

48. STANTON, T.; ECHAVARRIA, M.; HAMILTON, K.; OTT, C. (2010). **State of watershed payments: an emerging marketplace**. Disponível em: <http://goo.gl/1rbsKS>. Acesso em: 03/06/2015.

49. TALLIS, H. T.; RICKETTS, T. ; GUERRY, A.(2011). **InVEST 2.1 Beta User's Guide:Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs**. Disponível em: <http://goo.gl/RLr4Py>. *Acesso em: 03/06/2015.*

50. TALLIS, H.; POLASKY, S. (2009). **Mapping and valuing ecosystem services as an approach for conservation and natural-resource management**. Annals of the New York Academy of Sciences, 1.162, 2009, p. 265-283.

51. TALLIS, H.; POLASKY, S. (2011). **Chapter 3: assessing multiple ecosystem services – an integrated tool for the real world**. In: KAREIVA, P; TALLIS, H.; RICKETTS, T. H.; DAILY, G.; POLASKY, S. Natural capital: theory and practice of mapping ecosystem services. 1st edition, New York: Oxford University Press, 2011.

52. TOSTO, S. G. (2010). **Sustentabilidade e valoração de serviços ecossistêmicos no espaço rural do município de Araras, SP**. Disponível em: <www.bibliotecadigital.unicamp.br>. Acesso em: 29/06/2013.

53. VAN DEN BERGH, J. C. J. M. (ed.) (1998). **Handbook of environmental and resource economics**. Massachusetts: Edward Elgar, 1998.

54. VOINOV, A.; COSTANZA, R.; WAINGER, L.; BOUMANS, R.; VILLA, F.; MAXWELL, T.; VOINOV, H. Patuxent Landscape Model: integrated ecological economic modeling of a watershed. **Environmental Modelling & Software**, nº 14, 1999, p. 473-491.

55. *WORLD RESOURCES INSTITUTE* – WRI (2000). **The weight of nations: material outflows from industrial economies**. World Resources Institute, Washington, DC. Disponível em: <http://pdf.wri.org/weight_of_nations.pdf> Acesso em: 06/04/2013.

56. YUKUAN, W.; BIN, F.; COLVIN, C.; ENNAANAY, D.; MCKENZIE, E.; MIN, C. (2010). **Mapping ecosystem function conservation areas to integrate ecosystem services into land use plans in Baoxing County, China**. TEEBcase. Disponível em: *<http://goo.gl/t7IGoj>. Acesso em: 03/06/2015.*

Revista da Anpege
ISSN 1679-768X