

VALORAÇÃO DE SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS NA BACIA HIDROGRÁFICA DOS RIOS MOGI-GUAÇU E PARDO (SP) E AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS DA DINÂMICA DE USO DO SOLO

caixetaandrade@ie.ufu.br

APRESENTAÇÃO ORAL-Agropecuária, Meio-Ambiente, e Desenvolvimento Sustentável
DANIEL CAIXETA ANDRADE¹; ADEMAR RIBEIRO ROMEIRO²; MARIA DO CARMO RAMOS FASIABEN³.

1. UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA (UFU), UBERLÂNDIA - MG - BRASIL;
2. UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS (UNICAMP), CAMPINAS - SP - BRASIL;
3. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA), CAMPINAS - SP - BRASIL.

Valoração de Serviços Ecosistêmicos na Bacia Hidrográfica dos Rios Mogi-Guaçu e Pardo (SP) e Avaliação dos Impactos da Dinâmica de Uso do Solo

Ecosystem Services Valuation in Mogi-Guaçu and Pardo Rivers Watershed and Assessment of Land-Use Dynamics Impacts

Grupo de Pesquisa: Agropecuária, Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável

Resumo:

O principal objetivo deste trabalho foi avaliar os impactos da dinâmica de uso dos solos sobre os valores dos serviços ecossistêmicos gerados pela bacia hidrográfica dos Rios Mogi-Guaçu e Pardo (estado de São Paulo). Os resultados encontrados mostram que a dinâmica do uso da terra na região entre os anos de 1988 e 2002 teve um impacto negativo no valor total de serviços gerados (perda líquida de 2,78% no valor dos serviços ecossistêmicos providos, sendo as pastagens e culturas anuais as categorias de uso do solo que mais contribuíram para essa redução). Demonstrou-se também os impactos sobre os serviços ecossistêmicos sob a hipótese de cumprimento da legislação ambiental. Através de estimativas do déficit de APP e RL (Área de Proteção Permanente e Reserva Legal, respectivamente) para o ano de 2002 (110.359,93 ha), simularam-se dois cenários nos quais, respectivamente, o déficit fosse liquidado exclusivamente em áreas de uso agrícola e em áreas agrícolas e de pastagens. Os resultados mostraram que em ambos os casos haveria ganho líquido no valor dos serviços ecossistêmicos (8,84 e 8,38% de aumento no valor em relação a 1988 para os dois cenários, respectivamente). Por fim, a análise permitiu demonstrar que o valor gerado em termos de serviços ecossistêmicos por unidade de área florestada é maior que o valor gerado caso essa mesma unidade estivesse sendo utilizada com outros tipos de uso, como cana e/ou pastagem. Ao produtor, esse resultado não tem interesse imediato, já que ele não se apropria de todo o valor gerado pelos serviços ecossistêmicos. A comparação feita apenas comprova o fato de que a conversão de terras para florestas deve ser incentivada via política de compensação, dado o maior valor social gerado em relação ao valor privado.

Palavras-chave: bacia hidrográfica, serviços ecossistêmicos, dinâmica de uso do solo, valoração de serviços ecossistêmicos.

Abstract:

This paper is aimed at assessing the impacts of land-use dynamics on the ecosystem services values provided by the Mogi-Guaçu and Pardo Rivers Watershed (São Paulo State). Between the years 1988 and 2002 the land-use dynamics in the region had a negative impact on the total value of services generated (net loss of 2.78% in the value of ecosystem services provided with pastures and annual crops performing the largest shrinkage). We have also demonstrated the impacts on ecosystem services under the hypothesis of environmental compliance. By estimating the deficit of APP and RL (Permanent Protection Area and Legal Reserve, respectively) for the year 2002 (110,359.93 ha) we have simulated two scenarios in which the deficit was only liquidated in agricultural areas and in agricultural areas and pastures respectively. It is possible to notice that in both cases there would be net gain in the value of ecosystem services (8.84 and 8.38% increase in value for 1988 for both scenarios, respectively). Finally, the analysis allowed demonstrating that the value generated in terms of ecosystem services per unit of forest area is greater than the value generated when this same unit is used with other land use categories such as sugarcane and/or pasture. This kind of result is not interesting to the farmers immediately because they do not appropriate all the value generated by ecosystem services. This result is useful to confirm the fact that the conversion of land to forests should be encouraged via compensation policy due to the greater social value generated over the private value.

Keywords: watershed, ecosystem services, land-use dynamics, ecosystem services valuation.

1 Introdução

O presente artigo tem como principal objetivo mostrar de que forma a dinâmica do uso da terra em bacias hidrográficas pode afetar os valores dos serviços ecossistêmicos prestados. A região analisada foi a bacia hidrográfica dos rios Mogi-Guaçu e Pardo (bacia do MP), localizada região nordeste do estado de São Paulo. O artigo também mostra as dificuldades da valoração de serviços ecossistêmicos, em especial aquelas decorrentes dos problemas de se levar na devida conta a dinâmica ecológica subjacente. Ademais, procura-se evidenciar também os desafios para a valoração no que diz respeito à necessidade de informações detalhadas sobre os processos ecológicos que suportam os serviços ecossistêmicos.

A segunda seção do trabalho traz uma discussão sobre serviços ecossistêmicos em bacias hidrográficas e evidências sobre os benefícios gerados pelas florestas em termos de oferta de serviços. A terceira seção inicialmente caracteriza a região de estudo e apresenta uma discussão sobre os principais *drivers* de mudança que explicam a dinâmica observada na cobertura das terras da região estudada. Posteriormente, são descritos os procedimentos utilizados, as hipóteses assumidas e as estimativas feitas para os valores dos serviços

ecossistêmicos na bacia do MP para os anos de 1988 e 2002, para os quais se tem informações sobre o tipo de uso do solo na área de análise.

Por fim, as notas conclusivas sistematizam os resultados encontrados e discutem as principais insuficiências do exercício valorativo realizado.

2 Serviços ecossistêmicos em Bacias Hidrográficas

Além de serem consideradas espaços físico-territoriais estratégicos para a gestão ambiental (com ênfase nos recursos hídricos), as bacias hidrográficas são importantes como unidade de análise dos impactos da ação antrópica sobre as paisagens naturais, seus rebatimentos sobre a dinâmica dos fluxos de serviços ecossistêmicos e seus efeitos finais sobre o bem-estar humano. Em termos do jargão econômico-ecológico, as bacias hidrográficas podem ser consideradas como ativos naturais que geram bens e serviços para a sociedade (serviços ecossistêmicos) (Postel & Thompson Jr., 2005).

Entre os serviços prestados, especial importância deve ser dada aos chamados serviços hidrológicos, os quais compreendem os serviços de purificação e filtragem da água, a regulação dos fluxos estacionais, o controle da erosão e dos sedimentos e a preservação de habitats naturais. Bacias hidrográficas com alta proporção de áreas florestadas possuem uma maior capacidade de moderação de escoamento superficial, bem como de purificação de recursos hídricos (Postel & Thompson Jr., 2005).

Os benefícios gerados por bacias hidrográficas florestadas podem ser evidenciados pelos resultados do estudo realizado por Ernst (2004). Este autor analisou 27 regiões americanas fornecedoras de água e concluiu que os custos de tratamento em bacias com pelo menos 60% de suas áreas cobertas por florestas foram metade dos mesmos custos verificados em bacias com 30% de florestas, e um terço do custo identificado em bacias com 10% de áreas florestadas.

O crescimento da população e pressões para o desenvolvimento industrial têm se tornado os principais fatores de ameaça de perda das funções ecológicas das bacias hidrográficas. Enquanto que outros tipos de uso da terra fornecem os bens necessários para a satisfação das necessidades humanas, eles comprometem uma série de processos ecológicos que ocorrem dentro das bacias. As respostas do ecossistema às intervenções no âmbito das mudanças de cobertura dependerão do contexto ecológico e da dinâmica de uso da terra, gerando efeitos locais e globais de curto e longo prazo (DeFries *et al.*, 2004).

Apesar da importância de se considerar as bacias hidrográficas como unidades básicas de análise e elaboração de políticas ambientais, ainda não é frequente o estudo das trajetórias dos fluxos de serviços ecossistêmicos utilizando esta escala como referência. Menos comum ainda é a análise da provisão de serviços ecossistêmicos em bacias hidrográficas em função das mudanças no tipo de cobertura de suas terras. Como sugerido anteriormente, a conversão de áreas de florestas para áreas cobertas com uso agrícola – tendência que se acentua nas regiões tropicais úmidas (DeFries & Bounoua, 2004) – tem um efeito negativo sobre a capacidade de provisão de serviços. Mesmo a dinâmica intra classes agrícolas pode afetar os fluxos de serviços gerados, dadas as peculiaridades das diversas culturas (sistema de raízes, por exemplo).

Em termos de valor dos serviços ecossistêmicos, novamente são poucos os estudos que tentaram captar a relação entre a dinâmica do uso do solo em bacias hidrográficas e a trajetória dos serviços ecossistêmicos. Um exercício realizado nesse sentido pode ser retirado de Kreuter *et al.* (2001), que avaliaram as mudanças nos valores dos serviços ecossistêmicos em três bacias hidrográficas do condado de Bexar (Leon Creek, Salado Creek e San Antonio River), estado americano do Texas (próximo à região metropolitana da cidade de Santo Antônio) em função das mudanças no uso do solo entre os anos de 1976 e 1991.

A metodologia utilizada por Kreuter *et al.* (2001) valeu-se dos valores por hectare dos serviços ecossistêmicos (US\$.ha⁻¹.ano⁻¹) por tipo de uso do solo (chamados de coeficientes de valores dos serviços ecossistêmicos) calculados por Costanza *et al.* (1997)¹. Os resultados obtidos mostram que a variação estimada para o valor dos serviços ecossistêmicos nas três bacias analisadas foi pequena devido ao fato de que o declínio das áreas de pastagens (*rangelands*), cujo coeficiente é de US\$ 232 por hectare por ano, foi contrabalançado pelo aumento nas áreas de bosques (*woodlands*), cujo coeficiente é de US\$ 302 por hectare por ano.

Além dos vieses que podem ser identificados do estudo de Costanza *et al.* (1997), cujos valores foram utilizados na metodologia aplicada por Kreuter *et al.* (2001), há que se mencionar também o problema de transferência de valores. Uma transferência aceitável deve ser baseada numa análise das semelhanças físicas dos locais de valoração, bem como nas especificidades dos ecossistemas em estudo. Apesar dessas limitações, considera-se que a aplicação desta metodologia é um exercício ilustrativo do impacto das mudanças de uso do solo sobre os fluxos de serviços ecossistêmicos (e seus valores).

A discussão acima evidencia que a dinâmica do uso das terras é o principal vetor de mudanças nos fluxos de serviços ecossistêmicos providos pelas bacias hidrográficas. Esforços no sentido de se protegê-las não devem prescindir de se conhecer a trajetória de mudança da cobertura da terra e seus impactos sobre suas funções ecológicas e capacidade de geração de serviços.

A falta de informação científica e econômica sobre a relação acima (dinâmica do uso das terras e serviços ecossistêmicos) obstaculiza o desenho de mecanismos institucionais adequados para a proteção das bacias hidrográficas. Isto porque a compreensão da dinâmica ecológica de uma determinada bacia requer um nível de conhecimento que frequentemente transcende a ótica de uma única disciplina, sendo necessária a junção de habilidades e *expetises* de pesquisadores de várias áreas numa tentativa de se mapear as funções ecológicas presentes, sua trajetória em função da dinâmica do uso do solo e as alterações nos fluxos de serviços ecossistêmicos.

Importante também seria a demonstração dos benefícios econômicos de longo prazo da preservação/restauração de áreas de florestas como mecanismos de aumento da provisão de serviços ecossistêmicos pelas bacias hidrográficas. Em outras palavras, uma informação valiosa para elaboração de políticas de gestão é a elucidação do *trade-off* existente entre

¹ A mesma metodologia de cálculo que utiliza coeficientes de valores calculados por Costanza *et al.* (1997) foi aplicada por Zhao *et al.* (2004), Wang *et al.* (2006), Li *et al.* (2007) e Hu *et al.* (2008). Este também será o método utilizado na próxima seção para estimar as mudanças nos valores dos serviços ecossistêmicos em função das mudanças dos tipos de uso do solo na bacia do MP.

expansão de áreas agrícolas e urbanas e preservação/restauração de áreas de florestas em termos de serviços gerados.

No Brasil, uma das regiões agrícolas mais dinâmicas está localizada na região nordeste do estado de São Paulo, compreendendo a área da bacia do MP. Dada as características socioeconômicas da região, percebe-se uma dinâmica no uso do solo que favorece a expansão de áreas de culturas altamente demandadas no mercado (como a cana-de-açúcar) em detrimento de culturas menos atrativas economicamente. Tal dinâmica choca-se com os esforços do estado no sentido de proteger remanescentes naturais (bioma Mata Atlântica), os quais, por sua vez, são dificultados pela característica de alto custo de oportunidade das terras.

Dada a importância da área, é necessário conhecer quais são os impactos da dinâmica do uso do solo sobre os serviços ecossistêmicos providos pela bacia. Outra pergunta que se pode fazer é quais são os conflitos existentes entre geração de serviços ecossistêmicos e expansão agrícola, num cenário *business as usual*, e quais são os benefícios a serem alcançados pela sua recomposição florestal.

3 Dinâmica do uso da terra na Bacia Hidrográfica dos Rios Mogi-Guaçu e Pardo (SP) e os impactos sobre seus serviços ecossistêmicos

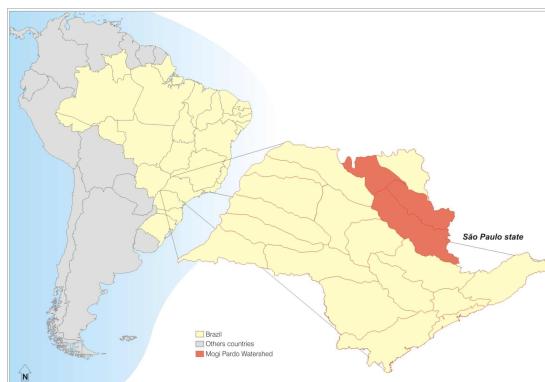
Essa seção tem por objetivo ilustrar o impacto das mudanças na cobertura das terras da bacia do MP sobre os serviços ecossistêmicos providos pela área. Em primeiro lugar, apresentam-se as informações relativas ao uso do solo na região em dois períodos (1988 e 2002) e uma breve discussão sobre a dinâmica percebida. Em seguida, apresentam-se os cálculos sobre as mudanças nos valores dos serviços ecossistêmicos.

3.1 Uso e cobertura das terras em 1988 e 2002

A bacia dos Rios Mogi-Guaçu e Pardo, localizada no nordeste do estado de São Paulo (figura 1), compreende 94 municípios paulistas², numa área total de pouco mais de 3 milhões de ha. Trata-se de uma das regiões agrícolas mais dinâmicas do país, com a presença de cultivos que apresentam altos níveis de produtividade e tecnificação. Os biomas originais encontrados são Mata Atlântica e Cerrado.

Figura 1: A Bacia Hidrográfica dos Rios Mogi-Guaçu e Pardo

² O município paulista de Miguelópolis possui apenas 0,01% de sua área dentro da bacia do MP e foi desconsiderado em todos os cálculos e estimativas feitas.



Fonte: ECOAGRI (2006)

Em 2009, a bacia do MP contava com uma população total de aproximadamente 3,102 milhões de habitantes, sendo que 94,34% residiam em áreas urbanas e apenas 5,66% em áreas rurais. Para o ano de 2006, o Produto Interno Bruto (PIB) gerado pela área foi de cerca de R\$ 29.317 milhões (6,15% do total do estado de São Paulo), aproximadamente a soma dos PIB's gerados pelos estados do Amazonas e Tocantins no mesmo ano³.

As informações e os mapas sobre configuração do uso do solo na bacia do MP referente aos anos de 1988 e 2002 (tabela 1; figuras 2 e 3) foram produzidos pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), unidade de Monitoramento por Satélite, dentro do âmbito do Projeto ECOAGRI⁴ (ECOAGRI, 2006).

Tabela 1: Uso do solo na bacia hidrográfica dos Rios Mogi-Guaçu e Pardo nos anos de 1988 e 2002 (em hectares).

	1988		2002	
	Área (ha)	%	Área (ha)	%
Agricultura e Pastagem	2.418.297	79,39	2.395.867	78,65
Pastagem	751.617	24,67	391.730	12,86
Cana-de-açúcar	760.921	24,98	1.535.058	50,39
Culturas anuais	529.537	17,38	76.794	2,52
Fruticultura	228.621	7,51	232.393	7,63
Silvicultura	104.912	3,44	101.123	3,32
Culturas anuais irrigadas	16.194	0,53	33.098	1,09
Seringueira	175	0,01	3.141	0,10
Cafeicultura	26.319	0,86	22.529	0,74
Áreas Antrópicas	59.025	1,94	79.398	2,61
Áreas Urbanas	55.411	1,82	74.352	2,44
Outros	2.971	0,10	4.390	0,14
Áreas de mineração	643	0,02	656	0,02
Vegetação Natural	519.933	17,07	521.636	17,12

³ As informações sobre população na bacia do MP foram retiradas da Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados (SEADE) e as informações sobre PIB foram retiradas do IPEADATA (preços constantes de 2000). As duas variáveis referem-se ao somatório dos 94 municípios, ponderadas pelas respectivas áreas contidas dentro dos limites da bacia.

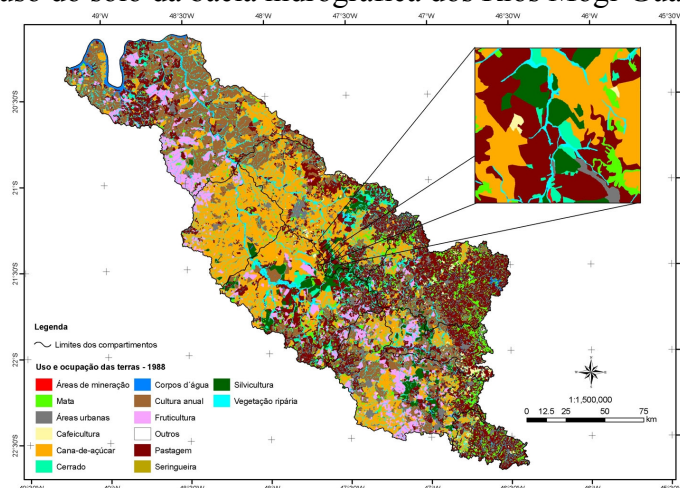
⁴ Projeto ECOAGRI – Diagnóstico da Agricultura no Estado de São Paulo: bases para um Desenvolvimento Rural Sustentável, financiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP, processo número 2002/06685-0).

Vegetação ripária	311.858	10,24	318.701	10,46
Vegetação natural	208.075	6,83	202.935	6,66
Corpos d'água	48.910	1,61	49.264	1,62
Corpos d'água	48.910	1,61	49.264	1,62
TOTAL	3.046.165	100,00	3.046.165	100,00

Fonte: ECOAGRI (2006).

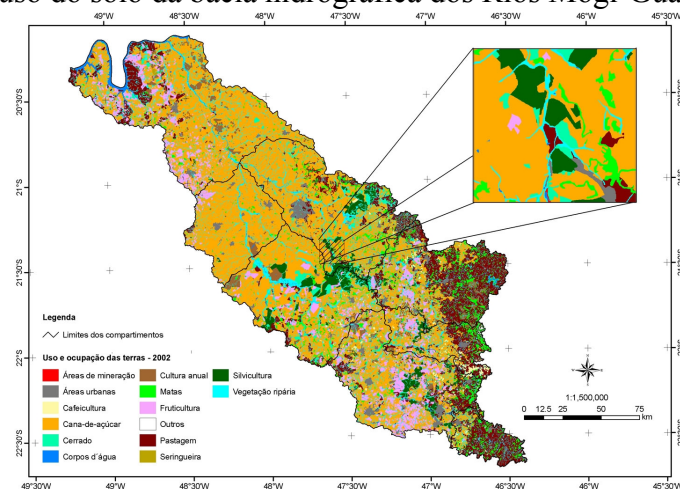
Embora as áreas destinadas à agricultura e pastagem tenham apresentado uma pequena redução de cerca de 0,93%, passando de 79,39% da área total da bacia em 1988 para 78,65% em 2002, houve uma expressiva expansão das áreas destinadas à cultura de cana-de-açúcar (aumento de 101,74%), as quais correspondiam em 2002 a 50,39% de toda a área total. Ao mesmo tempo, verificou-se uma redução significativa das áreas de culturas anuais (cerca de 85,5%), pastagens (aproximadamente 47,88%) e um incremento nas áreas de culturas anuais irrigadas e seringueira.

Figura 2: Mapa de uso do solo da bacia hidrográfica dos Rios Mogi-Guaçu e Pardo em 1988.



Fonte: ECOAGRI (2006).

Figura 3: Mapa de uso do solo da bacia hidrográfica dos Rios Mogi-Guaçu e Pardo em 2002.





Fonte: ECOAGRI (2006).

Com relação às áreas antrópicas, houve aumento de área em todas as categorias citadas (áreas urbanas, áreas de mineração e outros), perfazendo um incremento total de cerca de 34,51%. Houve também um aumento líquido nas áreas de vegetação natural (0,33%), destacando-se o aumento da vegetação ripária (2,19%). Este último, embora aparentemente seja um aumento de pouca magnitude, representa uma importante tendência no estado de São Paulo, que é o crescente aumento da capacidade de *enforcement* das autoridades ambientais no estado⁵.

De maneira geral, pode-se dizer que as respostas dos agentes a oportunidades econômicas – sendo tais respostas mediadas por fatores institucionais – explicam majoritariamente a dinâmica da ocupação dos diferentes territórios (Lambin *et al.*, 2001). No estado de São Paulo, Gonçalves *et al.* (2007) discutem as causas das principais transformações ocorridas na agricultura paulista a partir de 1970. Para os autores, o desempenho da agricultura no estado de São Paulo está diretamente relacionado à complementação do padrão produtivo da Segunda Revolução Industrial, que se concretiza no final dos anos 1970 e que altera decisivamente a dinâmica da agricultura.

Nos anos de 1990 tem-se a redução de áreas e o movimento de substituição de culturas, com grande destaque para a cana industrial. Nesta década, a laranja já não expande suas áreas e o milho tem ligeira expansão em função do crescimento da produção avícola. As pastagens apresentam as maiores reduções de superfície, seguidas pelo café, algodão, trigo e feijão. A expansão da cana responderia, segundo os autores, à solidez da cadeia de produção, imprimindo dinâmica própria à sua expansão e ao mercado externo.

Cabe destacar, entretanto, o grande aumento de produtividade observado em todas as culturas, fruto do progresso técnico. O rebanho de corte paulista cresce apesar da drástica redução das áreas de pastagens. No caso do café, aumentam os plantios adensados de maior qualidade, o que compensa as perdas de áreas, o mesmo ocorrendo com a laranja, também plantada de modo adensado. Quanto ao algodão, este migrou para regiões nas quais se pode obter maiores ganhos de escala e clima mais propício (Brasil Central e oeste da Bahia). A produção de feijão no estado de São Paulo se circunscreve a regiões mais especializadas (sudoeste do estado), com grandes ganhos de produtividade dada a irrigação e mecanização.

Também no tocante às alterações na composição de culturas, a demanda internacional teve papel predominante. No caso da cana-de-açúcar, contribuíram para a vertiginosa expansão de área: i. os seguidos ciclos de bons preços no mercado internacional; ii. políticas internas – como a expansão do uso do álcool como combustível após o segundo choque do petróleo em meados da década de 1970; iii. recentemente, ao aumento da frota de veículos bicomcombustíveis e à ampliação das exportações de álcool; iv. avanço tecnológico, que vem aumentando a produtividade das principais culturas e criações – compensando as reduções de área –, além da superação de obstáculos tecnológicos como o uso dos resíduos agropecuários e agroindustriais.

Quanto aos aspectos legais que devem (ou deveriam) ser observados, a legislação ambiental brasileira determina que as bacias hidrográficas devem ter três tipos de

⁵ Ver discussão adiante sobre aspectos legais para a utilização das terras em bacias hidrográficas.

uso/cobertura dos solos: i. Áreas de Proteção Permanente (APP's), que são áreas que devem ser mantidas intactas para proteger os serviços ecossistêmicos, de acordo com determinação do IBAMA (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis); ii.. Reserva Legal (RL), que determina que cada propriedade agrícola deve manter uma proporção de sua área para uso sustentável⁶; e iii. outras áreas, com diferentes tipos de uso, os quais devem usar sistemas de produção de conservação.

Além das APP's, o Código Florestal determina que todos os estabelecimentos agrícolas devem ter uma proporção de sua área coberta por floresta natural, que pode chegar até 80% na Amazônia e 20% na maioria das regiões do país. De maneira genérica, as áreas de RL devem ser contabilizadas separadamente das áreas de APP's, sendo que em alguns casos a lei permite a soma das duas áreas. Isto se dá quando a soma da vegetação nativa em APP e RL exceder a 80% da propriedade rural localizada na Amazônia Legal, 50% da propriedade rural localizada nas demais regiões do país e 25% da pequena propriedade. Esses aspectos serão considerados desde que não haja conversão de novas áreas para usos alternativos do solo.

De 2001 em diante, os proprietários têm trinta anos para restaurar as áreas de RL degradadas com vegetação natural, a um ritmo de plantio de 1/10 a cada 3 anos da área total atribuída, seguindo projeto aprovado pelo IBAMA ou pelo Departamento de Estado de Proteção dos Recursos Naturais⁷.

Quanto aos 20% de RL mandatórios no estado de São Paulo, há processos de negociação que preveem mecanismos de compensação de RL em áreas fora da própria propriedade agrícola, observando-se critérios ecológicos mínimos. Em termos da dinâmica de uso do solo na bacia do MP, tais mecanismos podem significar uma redução de áreas florestadas na região, uma vez que ela engloba terras com custos de oportunidade mais elevados.

Especulando sobre o cumprimento da legislação ambiental na bacia do MP, pode-se dizer que, mesmo com o aumento das áreas de vegetação natural, muito provavelmente a área coberta com vegetação natural em 2002 (521.636 ha) não foi suficiente para atender aos requisitos de APP e RL. Essa afirmação pode ser embasada por um exercício simples que é o de calcular o percentual de averbação obrigatória sobre a área da bacia, excetuando-se as áreas antrópicas e de corpos d'água, e somando-se uma estimativa para a área de APP na bacia do MP.

⁶ O inciso III, § 2º do art. 1º da Lei nº 4.771 de 15/09/1965 (Código Florestal), modificada pela Medida Provisória nº 2.166-67/01 de 24/08/2001, estabelece que Reserva Legal é a “área localizada no interior de uma propriedade ou posse rural, excetuada a de preservação permanente, necessária ao uso sustentável dos recursos naturais, à conservação e reabilitação dos processos ecológicos, à conservação da biodiversidade e ao abrigo e proteção de fauna e flora nativas”. O inciso I do art. 16 dessa mesma lei estabelece ainda que devem ser mantidos no mínimo 80% da propriedade rural situada em áreas de floresta da Amazônia Legal, 35% da propriedade rural localizada no bioma cerrado dentro dos estados que compõem a região da Amazônia Legal, 20% das propriedades rurais localizadas em áreas de floresta ou outras vegetações nativas nas demais regiões do país e 20% das propriedades rurais em áreas de campos gerais localizadas em qualquer região do país.

⁷ Em dezembro de 2009 foi promulgado o Decreto n. 7.029 (10/12/2009), o qual estende o prazo para a averbação compulsória de áreas de RL para 11 de junho de 2011. Além disso, o decreto também instituiu o Programa Federal de Apoio à Regularização Ambiental de Imóveis Rurais (Programa Mais Ambiente), com o objetivo de promover e apoiar a regularização ambiental de imóveis.

Considerando-se apenas o ano de 2002, tem-se que área total da bacia menos as áreas antrópicas e de corpos d'água perfazem 2.917.503 ha. Essa área resultante teoricamente pode ser utilizada para fins de cálculo para averbação das áreas de RL, cujo percentual na bacia do MP é de 20%, conforme o Código Florestal. Calculando-se, pois, 20% sobre a área anterior, tem-se um total de 583.500,6 ha (19,15% da área da bacia) que deveriam ser destinados somente à RL. Some-se a isto a área que deveria ser mantida sob APP na bacia, cuja estimativa para o ano de 2002 é de 48.495,33 ha (Ambrósio *et al.*, 2008), o que gera um total de 631.995,93 ha (20,75% da área total da bacia ou 26,38% da área destinada à agricultura e pastagem).

A área encontrada acima teoricamente deveria ser destinada às áreas de APP e RL na bacia do MP. O percentual de 26,38% em relação à área destinada à agricultura e pastagem no ano de 2002 aproxima-se da estimativa de que o cumprimento do Código Florestal representaria uma perda média de 30% de toda a área agricultável no estado de SP, segundo alguns especialistas. Portanto, apesar de algumas desconsiderações feitas, como é o caso em que a legislação permite a soma das áreas de APP e RL, a área acima pode servir como parâmetro para se estimar o déficit de APP e RL na bacia do MP. Isto é, se no ano de 2002 a área total de vegetação natural foi de 521.636 ha, tem-se que 110.359,93 ha (631.995,93 menos 521.636) deveriam ter sido destinados às áreas de APP ou RL na bacia do MP, no ano de 2002.

Aplicando-se o mesmo raciocínio acima para o ano de 1998, encontra-se um déficit de área de APP e RL igual a 116.208,33 ha, 5,3% superior ao valor encontrado para o ano de 2002. Isto sugere que no período analisado (1988-2002) houve um maior cumprimento das normas no que diz respeito à regularização ambiental dos imóveis rurais.

3.2 Mudanças estimadas nos valores dos serviços ecossistêmicos

Para atribuir valores dos serviços ecossistêmicos às classes de uso do solo identificadas na bacia do MP foram utilizadas as estimativas calculadas por Costanza *et al.* (1997). Embora os tipos de uso presentes no trabalho citado não correspondam às categorias presentes na tabela 1, os biomas mais representativos foram utilizados como *proxy* para o valor de cada categoria de cobertura do solo. A tabela 2 a seguir apresenta as equivalências utilizadas e o valor dos serviços ecossistêmicos gerados por cada categoria de uso do solo.

Pelas informações da tabela, percebe-se que a categoria corpos d'água gera um maior valor agregado de serviços ecossistêmicos, seguida pela categoria de vegetação ripária e natural, seringueira e silvicultura, pastagem e terras ocupadas com usos agrícolas (cana, culturas anuais, fruticultura e cafeicultura). Uso urbanos não apresentam valor dos serviços ecossistêmicos devido ao fato de que a maioria dos serviços ecossistêmicos (17 no total) considerada nas estimativas originais é negligenciável nesta categoria e/ou não existem informações disponíveis.

Dados os coeficientes dos valores dos serviços ecossistêmicos por categoria de uso, seu valor total na bacia do MP para os anos de 1988 e 2002 foi obtido através da seguinte equação:

$$VSE_{total} = \sum (A_k * VC_k) \quad (1)$$

Em que:

VSE_{total} = valor total dos serviços ecossistêmicos (em US\$)⁸;

A_k = área total da categoria de uso do solo k (em ha);

VC_k = coeficiente de valor dos serviços ecossistêmicos para categoria de uso k (em US\$.ha⁻¹.a⁻¹).

A variação no valor dos serviços ecossistêmicos foi dada pela diferença entre os valores estimados para cada categoria de uso nos anos de 2002 e 1988. Isto é,

$$\Delta VSE_{abs_k} = VSE_{2002_k} - VSE_{1988_k} \quad \text{e} \quad \Delta VSE_{rel_k} = \left(\frac{VSE_{2002_k}}{VSE_{1988_k}} - 1 \right) * 100, \quad \text{em que}$$

ΔVSE_{abs_k} e ΔVSE_{rel_k} são, respectivamente, a variação absoluta no valor dos serviços ecossistêmicos providos pela categoria de uso do solo k (em dólares) e a variação relativa (%).

Tabela 2: Biomas equivalentes para as 14 classes de uso do solo na bacia hidrográfica dos Rios Mogi-Guaçu e Pardo baseados em Costanza *et al.* (1997) e valores correspondentes dos serviços ecossistêmicos (US\$.ha⁻¹.ano⁻¹).

Categorias de uso do solo	Bioma equivalente ^a	Coefficiente dos serviços ecossistêmicos ^b
Pastagem	<i>Grass/rangelands</i>	244,00
Cana-de-açúcar	<i>Cropland</i>	92,00
Culturas anuais	<i>Cropland</i>	92,00
Fruticultura	<i>Cropland</i>	92,00
Silvicultura	<i>Raw material/tropical forest</i>	315,00
Culturas anuais irrigadas	<i>Cropland</i>	92,00
Seringueira	<i>Raw material/tropical forest</i>	315,00
Cafeicultura	<i>Cropland</i>	92,00
Áreas Urbanas	<i>Urban</i>	0,00
Outros	<i>Urban</i>	0,00
Áreas de mineração	<i>Urban</i>	0,00
Vegetação ripária	<i>Tropical forest</i>	2.008,00
Vegetação natural	<i>Tropical forest</i>	2.008,00
Corpos d'água	<i>Lakes/Rivers</i>	8.498,00

Fonte: elaborado pelos autores com base em Costanza *et al.* (1997).

^a nomenclatura original utilizada em Costanza *et al.* (1997);

^b em US\$ por hectare por ano (dólares de 1994). Corresponde ao valor agregado dos serviços ecossistêmicos gerados pela respectiva categoria de uso do solo, dadas as informações disponíveis (tabela 2 de Costanza *et al.* (1997, p. 256));

^c para as classes silvicultura e seringueira foram utilizados valores referentes ao serviço de matérias-primas obtidos em florestas tropicais, tal como feito em Hu *et al.* (2008).

Obteve-se também o valor agregado dos 17 serviços ecossistêmicos listados por Costanza *et al.* (1997), os quais forneceram estimativas monetárias individuais por tipo de cobertura do solo. A equação utilizada para este cálculo é a seguinte:

$$VSE_f = \sum (A_k * VC_{f_k}) \quad (2)$$

Em que:

VSE_f = valor estimado do serviço ecossistêmico f (em dólares);

⁸ Esse valor estimado engloba todos os 17 serviços ecossistêmicos considerados por Costanza *et al.* (1997).

A_k = área da categoria de uso do solo k (em ha);

VC_{f_k} = coeficiente para o serviço ecossistêmico f na categoria k (em US\$.ha⁻¹.a⁻¹).

Antes de serem apresentadas as estimativas de variação nos valores dos serviços ecossistêmicos prestados, é importante notar que os coeficientes de valores são estáticos, o que indica que a suposição implícita é que as variações nos valores totais dos serviços ecossistêmicos foram resultantes de variações nos fluxos “físicos” de serviços ecossistêmicos gerados por categoria de uso do solo. Embora tais variações sejam desconhecidas, certamente a relação entre as variações das áreas das diversas categorias de uso do solo e variações dos fluxos de serviços ecossistêmicos não é linear. A falta de informações sobre a quantidade física de serviços gerados por cobertura do solo configura-se como uma séria lacuna para estudos de valoração/avaliação dos serviços ecossistêmicos⁹.

Tabela 3: Estimativa do valor total dos serviços ecossistêmicos providos pela bacia hidrográfica dos Rios Mogi-Guaçu e Pardo por categoria de uso do solo nos anos de 1988 e 2002 (em mil US\$).

Categorias de Uso do Solo	Valores dos Serviços Ecossistêmicos (US\$ x 10 ³)				Variações		
	1988	%	2002	%	ΔVSE_{absk}	ΔVSE_{relk}	CCV ^a (%)
Pastagem	183.394,55	10,08	95.582,12	5,40	-87.812,43	-47,88	-4,83
Cana-de-açúcar	70.004,73	3,85	141.225,34	7,98	71.220,60	101,74	3,91
Culturas anuais	48.717,40	2,68	7.065,05	0,40	-41.652,36	-85,50	-2,29
Fruticultura	21.033,13	1,16	21.380,16	1,21	347,02	1,65	0,02
Silvicultura	33.047,28	1,82	31.853,75	1,80	-1.193,54	-3,61	-0,07
Cult. anuais irrigadas	1.489,85	0,08	3.045,02	0,17	1.555,17	104,38	0,09
Seringueira	55,13	0,00	989,42	0,06	934,29	1.694,86	0,05
Cafeicultura	2.421,35	0,13	2.072,67	0,12	-348,68	-14,40	-0,02
Áreas Urbanas	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Outros	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Áreas de mineração	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Vegetação ripária	626.210,86	34,41	639.951,61	36,17	13.740,74	2,19	0,76
Vegetação natural	417.814,60	22,96	407.493,48	23,03	-10.321,12	-2,47	-0,57
Corpos d'água	415.637,18	22,84	418.645,47	23,66	3.008,29	0,72	0,17
Total	1.819.826,06	100,00	1.769.304,06	100,00	-50.522,00	-2,78	-2,78

Fonte: elaborado pelos autores.

^a Coeficiente de Contribuição da Variação, dado por $CCV_K = (VSE_{2002_k} - VSE_{1988_k}) / \sum VSE_{1988}$.

A tabela 3 acima apresenta os valores estimados dos serviços ecossistêmicos na bacia do MP para cada categoria de uso e as respectivas mudanças absolutas e relativas. Como por suposto, as categorias de uso do solo em que houve maiores variações nos valores dos serviços foram aquelas que tiveram maiores incrementos/reduções em suas áreas¹⁰. Especial destaque para a categoria de seringueira, culturas anuais irrigadas e cana-de-açúcar, as quais

⁹Para alguns serviços podem existir variáveis *proxy* para a oferta do serviço prestado. É o caso, por exemplo, da regulação climática, que pode ser mensurada pela quantidade de carbono sequestrado em diferentes coberturas.

¹⁰ Novamente, deve-se alertar para o comportamento não linear dos serviços ecossistêmicos. Uma determinada categoria de uso do solo pode apresentar um aumento menos pronunciado em sua área em relação à outra categoria, mas os serviços prestados teoricamente podem aumentar mais do que na segunda categoria. Isso pode ser dar em função da dinâmica específica de cada classe de uso do solo.

apresentaram aumento no valor dos serviços prestados em um intervalo de 101,74–1.694,86%, enquanto que as maiores reduções percentuais verificadas foram nas categorias de culturas anuais e pastagem.

As estimativas apontam para uma perda líquida de aproximadamente 2,78% no valor dos serviços ecossistêmicos em toda a bacia do MP, o que em termos absolutos foi igual a cerca de US\$ 50.522 mil no período analisado (14 anos). O coeficiente de contribuição da variação mostra que as pastagens e culturas anuais foram as categorias que mais contribuíram para a perda de valor dos serviços ecossistêmicos gerados pela bacia.

Ao considerar a estimativa de déficit de áreas de APP e RL, cujo cálculo foi feito na subseção anterior, seria interessante conhecer qual seria o impacto do ponto de vista dos valores dos serviços ecossistêmicos se todos os 110.359,93 ha estimados fossem reconvertidos para áreas de florestas. É de se esperar que o valor total de serviços ecossistêmicos aumente para toda a bacia, visto que o bioma florestas apresenta o segundo maior coeficiente de valor dos serviços ecossistêmicos.

Admitindo-se que toda a recomposição de APP e RL se desse em detrimento dos usos agrícolas (cana-de-açúcar, culturas anuais, cafeicultura, etc.) em 2002, o montante do valor dos serviços ecossistêmicos gerados pela bacia do MP neste ano chegaria a US\$ 1.980,75 milhões, 11,95% superior ao encontrado para o mesmo ano com base no comportamento real observado.

No cenário acima, haveria um aumento de 8,84% no valor total dos serviços ecossistêmicos gerados pela bacia do MP no período 1988-2002. Ou seja, ao invés de uma queda no valor dos serviços prestados ao longo dos 14 anos de análise (2,78%, conforme cálculos anteriores), a liquidação integral do déficit de APP e RL em 2002 geraria um aumento significativo no valor total dos serviços ecossistêmicos da bacia. Esse resultado corrobora a discussão feita na seção anterior de que bacias hidrográficas com maior proporção de áreas florestadas têm uma maior capacidade de geração de serviços ecossistêmicos, aumentando o bem-estar da população que deles dependem.

Em um outro cenário, no qual se admite que as áreas de APP e RL são recompostas em detrimento das terras de uso agrícola e pastagem (50% para cada categoria), tem-se que o valor total dos serviços ecossistêmicos gerados é um pouco menor com relação ao primeiro cenário (US\$ 1.972,37 milhões em 2002, 11,48% superior ao valor encontrado para 2002, e uma taxa de mudança em relação a 1988 igual a 8,38%). Percebe-se, portanto, que nos dois cenários simulados há aumento no valor dos serviços ecossistêmicos, sendo que esse aumento é levemente superior se as áreas de APP e RL fossem reconvertidas exclusivamente em áreas de uso agrícola (neste caso, é irrelevante considerar a natureza do uso agrícola – cana-de-açúcar ou culturas anuais, por exemplo – já que a suposição implícita é que o mesmo valor de serviços ecossistêmicos é gerado independente do tipo de cultura). Isto porque o valor dos serviços ecossistêmicos prestados pelas áreas de pastagem é maior do que aqueles prestados pelas áreas de uso agrícola (US\$ 244 por ha/ano e US\$ 92 por ha/ano, respectivamente)¹¹.

É interessante, ainda, comparar o valor dos serviços ecossistêmicos obtidos em áreas de florestas (APP e RL) com o custo de oportunidade associado. De acordo com os dados do Projeto ECOAGRI (ECOAGRI, 2006), no ano agrícola de 2002/2003 a renda bruta média gerada por hectare por ano na cultura de cana-de-açúcar foi de R\$ 2.445 e a renda máxima de

¹¹ Para maiores detalhes sobre os cenários simulados ver Andrade (2010).

R\$ 3.448 (preços correntes de 2002/2003). Para a pastagem, esses valores são R\$ 400 e R\$ 500 por hectare por ano, respectivamente. Considerando que o valor dos serviços ecossistêmicos gerados em áreas de florestas por hectare/ano é de US\$ 2.008 (dólares de 1994), que correspondiam a R\$ 3.543,10¹² em 2002, percebe-se que o valor dos serviços ecossistêmicos gerados é maior do que a renda sacrificada, considerando os dois tipos de uso mencionados. Particularmente, para a cana-de-açúcar, que apresenta uma alta rentabilidade, nota-se que o valor dos serviços prestados por um hectare de florestas ainda é levemente superior, conforme estimativas acima.

Em termos do total do déficit das áreas de APP e RL estimado para a bacia do MP (110.359,93 ha), o valor dos serviços ecossistêmicos gerados nesta extensão seria – em 2002 – igual a R\$ 391,35 milhões, ao mesmo tempo em que a renda sacrificada caso a liquidação de todo o déficit se desse em áreas de cana-de-açúcar seria de R\$ 269,83 milhões, considerando a estimativa de renda bruta média. Considerando-se, ainda, o cenário alternativo (metade do déficit é “zerado” utilizando-se áreas de cana e a outra metade áreas de pastagem), tem-se uma renda sacrificada de R\$ 156,99 milhões. Conclui-se, portanto, que nos dois cenários simulados, o valor total dos serviços ecossistêmicos gerados caso fossem reconvertidas as áreas faltantes de APP e RL na bacia do MP é maior que os custos de oportunidade envolvidos¹³.

Os resultados acima não são suficientes para naturalmente incentivarem os produtores agrícolas a converterem suas terras para o uso florestal, já que eles não se apropriam integralmente de todo o valor dos serviços gerados pela área. As comparações acima demonstram que o valor “social” de um hectare de floresta em termos de serviços ecossistêmicos gerados é maior que o valor “privado” da terra sob os usos de cana e/ou pastagem, o que indica uma fonte de ineficiência que não pode ser solucionada via mercado. Tal conflito entre valor social e valor privado só será resolvido mediante uma política de compensação, cujos valores mínimos de referência sejam os custos de oportunidades existentes.

Tomando-se o valor do PIB gerado pela bacia do MP nos anos de 1985¹⁴ e 2002 (R\$ 18.513,14 milhões e 28.480,08 milhões, respectivamente, a preços constantes de 2000) e comparando-os com valor total de serviços ecossistêmicos prestados em ambos os anos, tem-se que a participação relativa do valor total dos serviços ecossistêmicos gerados pela bacia em relação ao PIB da região recuou de 14,33% para 9,05% nos anos de 1988 e 2002, respectivamente. Esta informação ratifica a conclusão de que no período de análise as mudanças ocorridas na ocupação das terras da bacia do MP tiveram impacto negativo em termos dos valores de serviços prestados¹⁵.

¹² Estimativa obtida pela conversão do valor original em reais de 1994 pela taxa de câmbio média deste ano (R\$ 0,88 por dólar, após a implementação do Plano Real) e posterior atualização monetária pela inflação acumulada no período 1994-2002 (100,68%), dada pela variação anual do IPCA.

¹³ Mesmo considerando os valores máximos de renda bruta para a cana e pastagem, as estimativas de renda sacrificada para o primeiro e segundo cenários continuam sendo menores que o total do valor dos serviços ecossistêmicos gerados (R\$ 380,52 e R\$ 156,99 milhões, respectivamente).

¹⁴ Não foram encontrados dados disponíveis para o PIB dos municípios da bacia do MP para o ano de 1988, utilizando-se o ano de 1985 como *proxy*. Novamente, as informações se referem ao agregado dos municípios que fazem parte da bacia do MP, ponderadas pelo percentual das respectivas áreas dentro dos limites da bacia.

Além das estimativas de valor agregado dos serviços ecossistêmicos por categoria de uso do solo, é útil conhecer a dinâmica individual dos serviços ecossistêmicos. Aplicando-se a equação 2, cujos coeficientes para cada serviço por categoria de uso do solo encontram-se na tabela 4, foi possível conhecer o valor individual dos serviços ecossistêmicos prestados pela bacia do MP (tabela 5).

Importante lembrar que nem todos os serviços listados estão presentes em todas as categorias apresentadas, havendo também o problema de informações inexistentes – que combinado com o fato anterior – representa uma severa fonte de subestimação dos valores encontrados.

Tabela 4: Coeficientes de valores individuais dos serviços ecossistêmicos por categoria de uso do solo, baseado em Costanza *et al.* (1997) – em US\$.ha⁻¹.ano⁻¹.

Serviços ecossistêmicos	Categorias de Uso do Solo													
	1	2	3	4	5 ^a	6	7 ^a	8	9	10	11	12	13	14
Regulação de gás	7	...	...	...	...	...	...	...	n.a.	n.a.	n.a.	...	...	...
Reg. climática	0	...	...	...	24	...	24	...	n.a.	n.a.	n.a.	223	223	...
Reg. de distúrbios	...	...	...	...	24	...	24	...	n.a.	n.a.	n.a.	5	5	...
Regulação de água	3	...	...	...	24	...	24	...	n.a.	n.a.	n.a.	6	6	5.445
Oferta de água	...	...	...	...	24	...	24	...	n.a.	n.a.	n.a.	8	8	2.117
Controle da erosão	29	...	...	...	24	...	24	...	n.a.	n.a.	n.a.	245	245	...
Formação do solo	1	...	...	...	24	...	24	...	n.a.	n.a.	n.a.	10	10	...
Cicl.de nutrientes	...	...	...	...	24	...	24	...	n.a.	n.a.	n.a.	922	922	665
Trat.de resíduos	87	...	...	...	24	...	24	...	n.a.	n.a.	n.a.	87	87	...
Polinização	25	14	14	14	...	14	...	14	n.a.	n.a.	n.a.	...	...	...
Controle biológico	23	24	24	24	...	24	...	24	n.a.	n.a.	n.a.	...	...	...
Habitat/refúgio	...	n.a.	n.a.	n.a.	...	n.a.	...	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	...	...	41
Prod.de alimentos	67	54	54	54	24	54	24	54	n.a.	n.a.	n.a.	32	32	...
Matérias-primas	...	...	...	...	24	...	24	...	n.a.	n.a.	n.a.	315	315	...
Rec. genéticos	0	...	...	...	24	...	24	...	n.a.	n.a.	n.a.	41	41	230
Recreação	2	n.a.	n.a.	n.a.	24	n.a.	24	n.a.	...	...	...	112	112	...
Serviços culturais	...	...	...	...	24	...	24	...	...	...	...	2	2	...
	24													
Total	4	92	92	92	315	92	315	92	0	0	0	2.008	2.008	8.498

Fonte: elaborado pelos autores com base em Costanza *et al.* (1997) e na equivalência de biomas dada pela tabela 5.

^a Dada a suposição de que o valor dos serviços ecossistêmicos nas áreas de silvicultura e seringueira é dado pelo valor dos serviços de matérias-primas no bioma floresta tropical, os coeficientes individuais representam a média do valor total para os serviços relevantes.

Notas: (1) Para as categorias de uso do solo, utilizar a seguinte legenda: 1- pastagens; 2-cana-de-açúcar, 3-culturas anuais, 4-fruticultura; 5-silvicultura; 6-culturas anuais irrigadas; 7-seringueira; 8-cafeicultura; 9-áreas urbanas; 10-outros; 11- áreas de mineração; 12-vegetação ripária; 13-vegetação natural; 14-corpos d'água;

(2) Para os serviços ecossistêmicos, Reg. climática = regulação climática; Reg. de distúrbios = regulação de distúrbios; Cicl.de nutrientes = ciclagem de nutrientes; Trat.de resíduos = tratamento de resíduos; Prod.de alimentos = produção de alimentos; Rec. Genéticos = recursos genéticos.

(3) ... indica inexistência de informação disponível e n.a. indica que o serviço ecossistêmico não é prestado pela respectiva categoria de uso do solo ou é negligenciável.

Das estimativas individuais calculadas para cada serviço ecossistêmico prestado pela bacia do MP, observa-se que os cinco serviços mais relevantes em termos de valor são, na

¹⁵ O procedimento utilizado para tornar os resultados comparáveis foi a conversão dos valores dos serviços ecossistêmicos para reais de 1994 e posterior atualização monetária para o ano de 2000 (inflação acumulada no período 1994-2000 foi de 65,62% dada pela variação anual do IPCA).

ordem, a ciclagem de nutrientes, a regulação de água, o fornecimento de matérias-primas, a produção de alimentos e o controle da erosão, considerando-se os dois anos da análise. Já o menos relevante do ponto de vista monetário em ambos os anos foi o serviço de habitat/refúgio.

Interessante observar, ainda, que dentre os cinco serviços mais valiosos, os três primeiros (ciclagem de nutrientes, regulação de água e fornecimento de matérias-primas) apresentaram uma pequena elevação no seu valor em 2002 na comparação com 1998. Os outros dois (produção de alimentos e controle da erosão) sofreram redução de valor no mesmo período.

Tabela 5: Estimativa do valor individual dos serviços ecossistêmicos prestados pela bacia hidrográfica dos Rios Mogi-Guaçu e Pardo nos anos de 1988 e 2002 (em mil US\$).

Serviços ecossistêmicos	Valores dos Serviços Ecossistêmicos (US\$ x 10 ³)						Variações	
	1988	%	Relevância ^b	2002	%	Relevância ^b	% ^a	CCV (%)
Regulação de gás	5.261,32	0,29	14	2.742,11	0,15	16	47,88	-0,14
Reg. climática	118.491,40	6,51	6	118.851,22	6,72	6	0,30	0,02
Reg. de distúrbios	5.146,00	0,28	15	5.134,58	0,29	14	-0,22	0,00
Regulação de água	274.235,74	15,07	2	275.073,88	15,55	2	0,31	0,05
Oferta de água	110.248,27	6,06	8	110.991,37	6,27	7	0,67	0,04
Controle da erosão	151.726,82	8,34	5	141.687,39	8,01	5	-6,62	-0,55
Formação do solo	8.497,29	0,47	13	8.134,49	0,46	13	-4,27	-0,02
Cicl.de nutrientes	514.449,71	28,27	1	516.235,35	29,18	1	0,35	0,10
Trat.de resíduos	113.171,19	6,22	7	81.989,24	4,63	8	27,55	-1,71
Polinização	40.652,71	2,23	11	36.391,46	2,06	11	10,48	-0,23
Controle biológico	54.765,40	3,01	10	54.606,72	3,09	10	-0,29	-0,01
Habitat/refúgio	2.005,31	0,11	17	2.019,82	0,11	17	0,72	0,00
Prod.de alimentos	153.868,50	8,46	4	148.057,75	8,37	4	-3,78	-0,32
Matérias-primas	166.325,23	9,14	3	166.841,74	9,43	3	0,31	0,03
Rec. genéticos	35.112,89	1,93	12	35.244,19	1,99	12	0,37	0,01
Recreação	62.282,07	3,42	9	61.733,09	3,49	9	-0,88	-0,03
Serviços culturais	3.586,20	0,20	16	3.569,67	0,20	15	-0,46	0,00
Total	1.819.826,06	100,00		1.769.304,06	100,00		-2,78	-2,78

Fonte: elaborado pelos autores.

^a variação relativa entre os anos de 2002 e 1988.

^b refere-se apenas à relevância econômica e não diz respeito à relevância ecológica.

Supondo novamente que houvesse a total liquidação do déficit de áreas de APP e RL na bacia em 2002, e que esta se desse em detrimento das áreas ocupadas com usos agrícolas, ter-se-ia incrementos significativos na geração de todos os serviços ecossistêmicos, à exceção dos serviços de polinização, controle biológico e produção de alimentos. Este resultado pode ser explicado pela ausência de coeficientes de valor para os dois primeiros serviços para as florestas (ver tabela 4). Certamente, se fossem conhecidos ou estivessem disponíveis, tais coeficientes seriam maiores do que aqueles apresentados para as áreas de uso agrícola. Quanto à produção de alimentos, este resultado está de acordo com o esperado, uma vez que se espera uma maior quantidade desse serviço em áreas agrícolas em comparação com áreas de florestas.

Interessante notar, ainda, que a suposição acima de que todas as áreas devidas de APP e RL fossem recompostas em 2002 provoca pequena mudança na escala de relevância dos serviços ecossistêmicos. Antes, baseado na configuração observada no uso da terra da bacia em 2002, o serviço de controle da erosão era o quinto mais relevante do ponto de vista dos valores. No cenário considerado, este serviço ultrapassa o de produção de alimentos e passa a ser o quarto mais valioso. Este resultado está de acordo com o esperado, uma vez que o processo de desprendimento e carreamento dos solos é menor em áreas mais florestadas. Os serviços de ciclagem de nutrientes e regulação da água continuam a ser os mais relevantes, sendo que o primeiro passa a ser ainda mais potencializado, apresentando um aumento de 19,7% no seu valor em relação ao cenário base (manutenção do déficit de áreas de APP e RL). Já o serviço menos relevante do ponto de vista monetário continua sendo de hábitat/refúgio, o que não significa que o aumento de áreas florestadas não aumenta sua provisão (e seu valor). Este resultado se deve à ausência de informações, já que é apresentado um único coeficiente de valor para este serviço (corpos d'água).

Na simulação de que as áreas de APP e RL seriam recompostas nas áreas de usos agrícolas e também nas de pastagem (50% para cada cobertura), os resultados encontrados são parecidos, sendo que a única diferença é a perda de valor para o serviço de regulação de gás, uma vez que o único coeficiente de valor para este serviço é apresentado para as pastagens. Em termos da relevância, mantiveram-se os resultados obtidos para o primeiro cenário¹⁶.

4 Notas conclusivas

Este trabalho teve como um dos seus objetivos avaliar os impactos da dinâmica de uso dos solos sobre os valores dos serviços ecossistêmicos gerados pela bacia do MP. Como já citado, é crescente o interesse pelas bacias como áreas estratégicas para gestão ambiental, sendo sua capacidade de provisão de serviços ecossistêmicos uma variável chave para determinar a sustentabilidade e o bem-estar da população que dependem direta e indiretamente de seus serviços.

O principal vetor de mudança no potencial de geração de serviços ecossistêmicos pelas bacias é a dinâmica de ocupação de suas terras. Todavia, análises que correlacionam a dinâmica do uso do solo e os fluxos de serviços ecossistêmicos ainda são pouco disseminadas, principalmente quando se leva em consideração as bacias hidrográficas brasileiras.

Os resultados encontrados mostram que na bacia do MP a dinâmica do uso da terra entre os anos de 1988 e 2002 teve um impacto negativo no valor total de serviços gerados. As mudanças na configuração da cobertura das terras gerou uma perda líquida de 2,78%, sendo as pastagens e culturas anuais as categorias de uso do solo que mais contribuíram para essa redução.

Em termos individuais, os resultados encontrados permitiram identificar quais são os 5 serviços mais relevantes do ponto de vista monetário: ciclagem de nutrientes, regulação de água, matérias-primas, produção de alimentos e controle da erosão. Tomando por base as categorias de serviços, os serviços de regulação e de suporte, seguidos pelos de provisão e serviços culturais, foram as classes que apresentaram valor econômico mais significativo.

¹⁶ Os detalhes dos resultados encontrados podem ser vistos em Andrade (2010).

No que se refere ao conjunto dos 17 serviços ecossistêmicos considerados, houve perda de valor em 10 deles, com a maior perda registrada pelo serviço de tratamento de resíduos. Isso significa que a dinâmica do uso da terra na bacia do MP entre os anos de 1988 e 2002 gerou uma redução de valor em mais da metade dos serviços prestados.

A análise empreendida trouxe duas importantes contribuições: Em primeiro lugar, demonstrou-se os impactos sobre os serviços ecossistêmicos sob a hipótese de cumprimento da legislação ambiental. Através de estimativas do déficit de APP e RL para o ano de 2002 (110.359,93 ha ou 3,62% de toda a área da bacia), simularam-se dois cenários nos quais, respectivamente, o déficit fosse liquidado exclusivamente em áreas de uso agrícola (categorias de culturas) e em áreas agrícolas e de pastagens. Os resultados mostraram que em ambos os casos haveria ganho líquido no valor dos serviços ecossistêmicos (8,84 e 8,38% de aumento no valor em relação a 1988 para os dois cenários, respectivamente).

Em segundo lugar, mostrou-se que o valor gerado em termos de serviços ecossistêmicos por unidade de área florestada é maior que o valor gerado caso essa mesma unidade estivesse sendo utilizada com outros tipos de uso, como cana e/ou pastagem. Ao produtor, esse resultado não tem interesse imediato, já que ele não se apropria de todo o valor gerado pelos serviços ecossistêmicos. A comparação feita apenas comprova numericamente o fato de que a conversão de terras para florestas deve ser incentivada via política de compensação, dado o maior valor social gerado em relação ao valor privado.

Apesar da relevância da análise empreendida, é justo que se faça algumas observações sobre as limitações do método utilizado para obter as estimativas de valores dos serviços ecossistêmicos. Em primeiro lugar, vale destacar o já mencionado problema da transferência de valores. O cenário ideal para valoração de serviços ecossistêmicos é a obtenção de coeficientes específicos para o local estudado, o que nem sempre é possível devido à ausência de informações. Ademais, a prática da transferência de valores deve ser feita com parcimônia, dada as diferenças inerentes aos ecossistemas.

Em segundo lugar, as variações nos valores estimados entre os dois da análise devem ser vistas com cautela. A hipótese inicial implícita é de que as variações nos valores dos serviços ecossistêmicos refletem mudanças nos seus fluxos “físicos” gerados. Todavia, deve-se lembrar que a dinâmica das funções ecossistêmicas é não linear e sua compreensão requer um nível profundo de conhecimento ecológico, nem sempre palatável aos economistas.

Em terceiro lugar, há que se mencionar a hipótese de coeficientes dos valores ecossistêmicos iguais para as diferentes culturas (cana-de-açúcar, culturas anuais, cafeicultura, etc.). Como se sabe, a dinâmica ecológica específica de cada classe sugere que as quantidades de serviços (e valores) sejam diferentes. Entretanto, informações tão específicas com relação à provisão de serviços ecossistêmicos ainda são extremamente escassas ou mesmo inexistentes e representam um importante desafio para pesquisas envolvendo essa temática.

Em se tratando dos coeficientes de valores dos serviços ecossistêmicos, estes também não podem ser considerados estáticos, dado que sua dinâmica deve refletir as trajetórias de escassez e abundância dos serviços. Isto é, à medida que um serviço se torna mais escasso, aproximando-se do seu nível crítico, seu preço tende a aumentar, elevando também seu valor agregado. A necessidade de se considerar simultaneamente as dinâmicas ecológica (referenciada no parágrafo anterior) e econômica sugere que um processo de valoração sem o uso de ferramentas capazes de integrá-las certamente não reflete fielmente a trajetória dos

fluxos físicos de serviços ecossistêmicos e de seus valores em função das intervenções antrópicas.

Apesar das muitas suposições feitas e das ressalvas levantadas, o exercício feito acima é válido no sentido de exemplificar os efeitos da dinâmica do solo da bacia sobre os serviços prestados em uma região específica, contribuindo para subsidiar políticas de gestão em nível local e regional. Além disso, a análise empreendida tem o mérito de realçar algumas lacunas que devem ser trabalhadas para o refinamento do processo de valoração.

5 Referências Bibliográficas

- AMBRÓSIO, L.A., FASIABEN, M.C.R, MORAES, J.F.L, 2008. Dinâmica dos usos e coberturas da terra em áreas de preservação permanente na bacia hidrográfica dos rios Mogi Guaçu e Pardo, no período entre 1988 e 2002. In: XLVI Congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural (SOBER), 2008, Rio Branco. Amazônia, mudanças globais e agronegócio: o desenvolvimento em questão,
- ANDRADE, D.C., 2010. Modelagem e valoração de serviços ecossistêmicos: uma contribuição da Economia Ecológica. Tese de Doutorado – Instituto de Economia da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Campinas-SP, 268p.
- BRASIL, 1965. Lei nº 4.771, que institui o Código Florestal Brasileiro. Disponível em: <<http://www.planalto.gov.br/ccivil>>. Acesso em: jan. de 2010.
- COSTANZA, R., D'ARGE, R., DE GROOT, R.S., FARBER, S., GRASSO, M., HANNON, B., LIMBURG, K., NAEEM, S., O'NEILL, R.V., PARUELO, J., RASKIN, R.G., SUTTON, P., VAN DEN BELT, M., 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature* 387, 253-260.
- DEFRIES, R.S., FOLEY, J.A., ASNER, G.P., 2004. Land-Use choices: balancing human needs and ecosystem function. *Frontiers in Ecology and the Environment* 2(5), 249-257.
- ECOAGRI, 2006. Diagnóstico Ambiental da Agricultura no estado de São Paulo: Bases para um desenvolvimento rural sustentável. III Relatório Técnico. Maio de 2006. Disponível em <<http://ecoagri.cnptia.embrapa.br/>>. Acesso em: jan. de 2010.
- ERNST, C., 2004. Protecting the Source: Land Conservation and the Future of America's Drinking Water. Trust for Public Land, Washington D.C.
- FUNDAÇÃO SEADE, 2010. População total, população urbana e população rural dos municípios paulistas – 2009. Disponível em: <<http://www.seade.gov.br/>>. Acesso em: jan. de 2010.
- GONÇALVES, J.S., SOUZA, S.A.M., ANGELO, J.A., COELHO, P.J., 2007. Agropecuária paulista: transformações do período de 1969-1971 a 2002-2004. In: CANO, W., BRANDÃO, C.A., MACIEL, C.S., MACEDO, F.C. (org), 2007. *Economia Paulista: dinâmica socioeconômica entre 1980 e 2005*. Campinas: Alínea.

- HU, H., LIU, W., CAO, M., 2008. Impact of land use and land cover changes on ecosystem service in Menglun, Xishuangbanna, Southwest China. *Environmental Monitoring and Assessment* 146, 147-156.
- IPEADATA, 2010a. Índice de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA) – 1994-2007. Disponível em: <www.ipeadata.gov.br>. Acesso em: jan. de 2010.
- IPEADATA, 2010b. Produto Interno Bruto (PIB) dos municípios paulistas – 1985-2006. Disponível em: <www.ipeadata.gov.br>. Acesso em: jan. de 2010.
- KREUTER, U.P., HARRIS, H.G., MATLOCK, M., LACEY, R.E., 2001. Change in ecosystem service values in San Antonio area, Texas. *Ecological Economics* 39, 333-346.
- LAMBIN, E. F., TURNER, B. L., GEIST, H. J., AGBOLA, S. B., ANGELSEN, A., BRUCE, J. W., COOMES, O.T., DIRZO, R., FISCHER, G., FOLKE, C., GEORGE, P.S., HOMEWOOD, K., IMBERNON, J., LEEMANS, R., LI, X., MORAN, E.F., MORTIMORE, M., RAMAKRISHNAN, P.S., RICHARD, J.F., SKANES, H., STEFFEN, W., STONE, G.D., SVEDIN, U., VELDKAMP, T.A., VOGEL, C., XU, J., 2001. The causes of land-use and land-cover change: Moving beyond the myths. *Global Environmental Change* 11, 261–269.
- LI, R Q., DONG, M., CUI, J.Y., ZHANG, L.L., CUI, G.Q., HE, W.M., 2007. Quantification of the impact of land use and land cover changes on ecosystem services: A case study in Pingbian county, China. *Environmental Monitoring and Assessment* 128, 503–510.
- POSTEL, S.L, THOMPSON JR., B.H., 2005. Watershed protection: capturing the benefits of nature's water supply services. *Natural Resources Forum* 29, p. 98-108.
- ZHAO, B., KREUTER, U., LI, B., MA, H., CHEN, J., NAKAGOSHI, N., 2004. An ecosystem service value assessment of landuse change on Chongming Island, China. *Land Use Policy* 21, p. 139–148.