

## USO DA ECOHIDROLOGIA PARA MONITORAMENTO DO PSA- ÁGUA NO ESTADO DE SÃO PAULO

*Carolina Mazzocato<sup>1\*</sup>; Denise Taffarello<sup>2</sup> & Eduardo Mario Mendiondo<sup>3</sup>*

**RESUMO:** O pagamento por serviços ambientais busca não apenas a conservação e a restauração de fragmentos florestais, mas também a proteção de bacias hidrográficas e a regulação da disponibilidade hídrica. Apesar de o PSA ser um importante instrumento econômico, são encontradas algumas dificuldades para a sua execução, tais como a ausência ou deficiência do monitoramento. Este estudo analisou projetos de PSA de proteção aos recursos hídricos (PSA-Água) no estado de São Paulo e enumerou variáveis ecohidrológicas que podem contribuir para uma melhor definição dos projetos. Para investigar a eficiência do PSA, foram estabelecidos critérios ecohidrológicos úteis na padronização e comparação do potencial de recuperação ambiental de bacias hidrográficas previsto nos projetos. Apresentamos um exemplo de matriz de relações empíricas entre variáveis ecohidrológicas e variáveis quali-quantitativas de monitoramento em rios. Destas, quase dois terços podem (a) apresentar comportamentos heterogêneos (correlações positivas e/ou negativas), (b) ser quantificadas através de curvas de permanência e (c) indicar a necessidade de se aprofundar os planos de monitoramento e aprimorar a valoração dos serviços ambientais hidrológicos, de forma a garantir a sustentabilidade dos serviços ambientais no longo prazo.

**PALAVRAS-CHAVE:** serviços ambientais hidrológicos; monitoramento ecohidrológico

## USE OF ECOHYDROLOGY FOR MONITORING WATER-PES IN THE STATE OF SÃO PAULO

**ABSTRACT:** Payment for environmental services (PES) seeks for, not only forest conservation and restoration, but also watershed protection and water availability. Although PES is an important economic instrument, PES implementation faces some difficulties, such as absence or poor monitoring. This study analyzed ongoing watershed protection PES projects (Water-PES) in the state of São Paulo and enumerated ecohydrological yardsticks that may contribute to a better projects' definition. To investigate the PES efficiency, useful ecohydrological yardsticks were established to compare the potential environmental recovery of river basins. We present an example of empirical relationships matrix between ecohydrological variables and monitoring qualitative and quantitative variables in rivers. Among these, almost two-thirds can (a) present heterogeneous behavior (positives and/or negatives correlations), (b) be quantified through cumulative frequency curves and (c) indicates the needs for robust monitoring plans and improvement of hydrological services valuation to ensure the long term environmental services sustainability.

**KEYWORDS:** hydrological ecosystem services; ecohydrological monitoring

<sup>1</sup>Universidade Federal de São Carlos, Centro de Ciências Biológicas e Saúde, carolina.mazzocato@gmail.com;

<sup>2</sup>Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, detaffarello@yahoo.com.br;

<sup>3</sup>Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, emm@sc.usp.br.

## INTRODUÇÃO

A vegetação exerce papel fundamental nos fluxos hidrológicos. Vegetações em margens de rios, encostas e topos de morros reduzem os riscos de inundações e deslizamentos por extremos climáticos, protegem solos contra erosão e evitam que os sedimentos escorram diretamente aos rios, além de amenizarem a perda de água. A sustentabilidade das bacias hidrográficas depende da conciliação entre modificações espaciais e sazonais dos aspectos quali-quantitativos dos recursos hídricos (Cunha *et al.*, 2012), do equilíbrio do balanço hídrico, isto é, da relação entre disponibilidade e demanda hídrica, variável em função de oscilações naturais e atividades antrópicas que influenciam a geração dos serviços ambientais.

A Avaliação Ecológica do Milênio classificou os serviços ambientais nas categorias de provisão, regulação, cultural e suporte. Alterações em seu fornecimento afetam o bem-estar humano (MEA, 2005). A polinização, regularização das vazões, filtração de água e provisão de habitat para a biodiversidade também são reconhecidos como *capital natural* (Tallis *et al.*, 2008), por gerarem serviços ambientais que devem ser quantificados e valorados (Goulder Kennedy, 2011). O pagamento por serviços ambientais hidrológicos (PSA-Água) promove a melhoria da qualidade da água, a regulação dos fluxos, a redução da carga de sedimentos (Pagiola *et al.*, 2013), e a adoção de sistemas produtivos sustentáveis nas propriedades rurais.

A América Latina é pioneira no desenvolvimento de projetos de PSA. A Costa Rica foi o primeiro país a estabelecer um programa em 1997 (Balvanera *et al.*, 2012). Desde então, o governo subsidia usuários, como companhias hidrelétricas e postos de combustíveis, no pagamento aos provedores, a fim de que mantenham a cobertura florestal nas bacias hidrográficas. Na América Latina, até 2010, havia mais de 150 programas de PSA, hoje há projetos de PSA nos 20 países (Lin *et al.*, 2013). Similarmente, no Brasil, o maior foco do PSA é a conservação/revitalização de bacias hidrográficas, com o programa do governo federal “Produtor de Água” (ANA, 2008) e projetos de governos estaduais e municipais, além de iniciativas locais.

Recentemente, pesquisas são realizadas visando aprimorar metodologias, ferramentas e políticas para valoração dos serviços ambientais e revitalização de bacias (Taffarello & Mendiondo, 2011 e 2013; Muradian e Rival, 2012;). Um dos principais questionamentos é como desenvolver uma metodologia com base em variáveis ecohidrológicas que possam ser monitoradas nos projetos de PSA-Água de modo a facilitar a padronização, a comparação e a hierarquização dos projetos. Apesar dos recentes avanços, faltam demonstrações de como utilizar a ecohidrologia para padronizar critérios e definições de serviços ambientais na escala de bacia hidrográfica. Assim, os objetivos desse estudo são: (i) analisar projetos de pagamento por serviços ambientais hidrológicos em execução no estado de São Paulo, Brasil; e (ii) dar diretrizes para o monitoramento com base em variáveis ecohidrológicas que contribua para o aprimorar o PSA-Água.

## METODOLOGIA

O levantamento de informações foi realizado por buscas na literatura nacional e internacional desde 1997 até 2012 e com base na experiência profissional dos autores. Nós limitamos a busca ao ano de 1997, pois foi a primeira vez em que o conceito de

“serviços ambientais” foi introduzido na literatura (Daily, 2011). Para complementar as informações sobre os projetos de PSA-Água, enviamos um questionário aos gestores dos projetos. Assim, fizemos o levantamento de dados sobre 73 projetos de PSA no Brasil, classificados nas seguintes modalidades de serviços ambientais: (a) proteção das bacias hidrográficas; (b) sequestro de carbono; e (c) proteção da biodiversidade - dados não publicados. Apesar do volume de informações reunidas, este estudo focou apenas nos projetos de proteção aos recursos hídricos em execução no estado de São Paulo.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A produção, transporte e deposição de sedimentos em função do uso e ocupação do solo em bacias hidrográficas onde são implantados os projetos de PSA são alterados em função de suas ações conservacionistas. A Tabela 1 apresenta características dos projetos de PSA-Água em execução no estado de São Paulo. A seguir, como exemplo, faremos uma breve análise de um desses projetos, o Produtor de Água / PCJ.

**Tabela 1.** Projetos de PSA em execução no estado de São Paulo.

Projeto	Início	Área envolvida (ha)	Beneficiários (milhões de habitantes)	Investimento (milhões R\$)	Valor do Pagamento (R\$/ano)	Fonte
Oasis / São Paulo	2006	748	3.7	1.40	75 a 370/ha	Sovacool, 2011; Nunes <i>et al.</i> , no prelo;
Produtor de Água / PCJ	2009	1258	8.8 (ISA, 2006)	3.60	125/ha	Taffarello <i>et al.</i> , 2011; Padovezi <i>et al.</i> , no prelo.
Mina d'Água	2010	20 municípios	0.88 (IBGE, 2010)	3.15	75 a 300/nascente (máx. 4/propr.)	von Glehn <i>et al.</i> , no prelo; Resol. SMA/SP nº 123/10.
Produtor Água/Guaratinguetá	2011	880	0.11 (IBGE, 2010)	2.28	193.70 a 387.40 /ha	Agueda <i>et al.</i> , no prelo

### Projeto Produtor de Água nas Bacias PCJ

O “Produtor de Água na bacia hidrográfica dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá” ou “Produtor de Água/PCJ”, é um projeto piloto criado em 2009, a partir das parcerias público-privadas: Secretaria de Estado do Meio Ambiente de São Paulo, Secretaria de Agricultura e Abastecimento, *The Nature Conservancy* (TNC), Agência Nacional de Águas (ANA), Prefeitura de Extrema – MG, Joanópolis – SP, Nazaré Paulista-SP, Comitês das Bacias PCJ, Associação Mata Ciliar, WWF e Fundação Banco do Brasil (Programa Água Brasil). Desde 2012, a Universidade de São Paulo - Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP) atua como parceira no monitoramento.

O objetivo é estimular ações de restauração florestal, conservação de fragmentos e práticas de conservação de solo em propriedades particulares, prevendo a remuneração aos agricultores por geração e/ou manutenção de serviços ambientais. Para tanto, concentra esforços nos problemas de regularidade de fluxos e qualidade da água nas microbacias do ribeirão Cancã (11,4 km<sup>2</sup>) e Cachoeira dos Pretos, ambas em Joanópolis – SP, e Moinho (30,7 km<sup>2</sup>) em Nazaré Paulista – SP. Abrange os mananciais do Sistema Cantareira, responsável pelo abastecimento de 50% da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), quase 10 milhões de habitantes.

Segundo TNC (2013), até fevereiro do corrente ano, a conservação de florestas foi a modalidade com maior área trabalhada (262,6 ha) e maior valor de PSA despendido (R\$ 85.967,91), seguida pela restauração ecológica em APP (R\$ 19.495,44) e pela conservação de solos (R\$ 11.441,25). A Tabela 2 apresenta resultados comparativos entre os primeiros seis meses do projeto (agosto/2011) e atuais (fevereiro/2013).

**Tabela 2.** Área abrangida (ha) e valores (R\$) por modalidade no projeto Produtor de Água / PCJ.

Modalidade Conservacionista	2011		2013	
	Área (ha)	Valor PSA (R\$)	Área (ha)	Valor PSA (R\$)
Conservação de solos	36,11	9.541,28	51,91	11.441,25
Restauração em APP	50,40	18.775,20	50,72	19.495,44
Conservação de florestas	165,57	58.537,36	262,62	85.967,91

Embora os avanços do PSA-Água sejam inegáveis, há desafios a serem superados para o ganho de escala. Segundo Veiga & Galvão (2011), apesar dos benefícios gerados, são encontradas dificuldades econômicas, técnicas, institucionais e legais para a execução do PSA, quais sejam **A-** econômicas (incertezas quanto aos recursos futuros para a manutenção dos projetos; alto custo da restauração florestal; incertezas no custo total do projeto, etc.); **B-** técnicas (baixa capacidade técnica e de gestão de projetos, além de monitoramento ausente ou deficiente); **C-** institucional (dificuldade na execução de recursos públicos e desconhecimento do produtor quanto às obrigações ambientais) e **D-** legal (inexistência de respaldo e tributação indefinida).

### Novos critérios para projetos de PSA-Água a partir da ecidrologia

Rios são sistemas dinâmicos. Através de alterações em sua diversidade, resiliência, profundidade e sinuosidade decorrente dos processos ecológicos (Rosgen, 1994; Smith *et al.*, 2008) eles constantemente se ajustam aos acréscimos/retirada de água e sedimentos em busca do equilíbrio e menor vulnerabilidade<sup>4</sup>. Essas alterações indicam a saúde hidrológica dos rios e são respostas à conversão do uso do solo e às alterações climáticas (Palmer *et al.*, 2009), decorrentes da antropização de bacias hidrográficas. Em função disso, é necessário fortalecer o monitoramento no longo prazo dos projetos de PSA-Água, devido a fatores como a disponibilidade, para que não haja stress hídrico, e resiliência, pois a capacidade do recurso se regenerar e retomar suas condições originais são inversamente proporcionais à velocidade com a qual ele é consumido (Veiga e Galvão, 2011). Somente o monitoramento hidrológico de longo prazo dos projetos de PSA-Água possibilitará a elaboração de cenários, previsões e opções de adaptação (Taffarello & Mendiondo, 2011) em um gerenciamento proativo de recursos hídricos.

Assim, variáveis ecidrologicas (Zalewski *et al.*, 2005) devem ser incorporadas no monitoramento hidrológico, de modo a contribuir para uma melhor definição dos projetos de PSA-Água e consolidar a crescente valorização dos serviços ambientais hidrológicos no estado de São Paulo.

Alguns exemplos aparecem nas Tabelas 3 e 4. A Tabela 3 apresenta as definições das variáveis que incluem categorias de continuidade, diversidade, resiliência, dinâmica e

<sup>4</sup> Vulnerabilidade é o estado de um sistema exposto a riscos, condicionado por fatores biofísicos e socioculturais, em diferentes escalas temporais e espaciais, combinado com sua capacidade de resposta (INCLINE/USP, 2013).

vulnerabilidade (p.ex. X1-X18). A Tabela 4 mostra as relações esperadas de correlação dessas variáveis ecohidrológicas com variáveis quali-quantitativas dos programas de monitoramento de bacias hidrográficas: curva de permanência de vazões (p.ex. Q1%, Q5%, Q50%, Q95%) e variáveis de qualidade de água (p.ex. DBO, DQO, N-Total, P-Total, e Sólidos Suspensos Totais, entre outras).

Na Tabela 4, a matriz indica relações empíricas e os sinais indicam correlações esperadas, a partir do coeficiente de determinação estatístico das amostras testadas ( $R^2$ ) para cada par de variáveis, conforme um critério de: “++ : correlação positiva, com  $R^2 > 0,8$ ”, “+ : correlação positiva, com  $R^2 < 0,8$ ”, “+/- : sem correlação ou comportamento heterogêneo”, “- : correlação negativa, com  $R^2 < 0,8$ ”, “- - : correlação negativa, com  $R^2 > 0,8$ ”; “+ ; - : correlação positiva durante a fase de crescimento de pulsos de cheia, seguido de correlação negativa durante a fase de recessão do pulso de cheia”.

No entanto, as hipóteses de comportamento ecohidrológico devem ser testadas para cada situação, e dependem, dentre outros fatores: (a) do número de amostras e qualidade de informação nos bancos de dados de bacias hidrográficas, (b) para variáveis temporais, da extensão e da discretização da série temporal das variáveis, (c) para variáveis espaciais, do georeferenciamento e precisão da classificação de uso e ocupação dos solos, (d) para variáveis geomorfológicas, da sistematização e atualização das campanhas batimétricas e medições de vazões e variáveis de qualidade da água.

Outra característica da Tabela 4 indica que, para uma combinação de, nesse caso, das 13 (linhas) x 18 (colunas) de variáveis, 84 relações empíricas podem ter correlações baixas ou comportamentos heterogêneos. Isto é, que das relações empíricas apresentadas, os planos de monitoramento dos projetos de PSA podem ser beneficiados para valorização de serviços ambientais desde que existam programas de pesquisas de longa duração (por exemplo, Programa de Pesquisa Ecológica de Longa Duração – PELD/CNPQ). Disto sobressai que a inferência sobre serviços ambientais quantificados por variáveis ecohidrológicas e suas relações empíricas com variáveis de monitoramento é uma área ainda a se desenvolver para aprimorar as ferramentas de valoração. Assim, será possível fortalecer e aperfeiçoar futuros projetos de pagamentos por serviços ambientais hidrológicos.

**Tabela 3.** Indicadores da ecoidrologia de pulsos sobre várzeas. Adaptado de Mendiondo (2008).

	CONTINUIDADE	DIVERSIDADE	DINÂMICA	RESILIÊNCIA	VULNERABILIDADE
<b>Descrição do indicador</b>	<b>Bacia-Rio:</b> Indicador associado ao número e extensão de canais da rede de drenagem e da frequência de inundações máximas da várzea, responsáveis pela manutenção do regime dos rios, ciclos biogeoquímicos subterrâneos e autodepuração de cargas.	<b>Bacia-Várzea :</b> Quantificação de áreas alagadas permanentes em relação ao total de áreas alagadas da várzea, como indicativo de proporção de sistemas lânticos internos com potencial de intercâmbio de nutrientes, energia e/ou informação com o leito principal.	<b>Bacia-Várzea:</b> Mecanismo não-linear de processos multivariados de nutrientes, de informação e de energia, transferidos entre a bacia de drenagem e a várzea, sob situações de limnofase e de potamofase dos pulsos.	<b>Várzea-Rio:</b> Capacidade de recuperação potencial do indicador e/ou de alcançar um novo equilíbrio em face à ocorrência de entradas de matéria, energia e/ou informação	<b>Várzea-Rio:</b> Análise de risco e gestão de várzeas, usando três fatores: ameaça (tempo de retorno), vulnerabilidade (custos indiretos de falta ou excesso de um serviço ambiental) e exposição (localização relativa dentro da várzea, em relação ao rio principal).
<b>Variável do indicador [unidade]</b>	<b>X1:</b> número de sub-bacias afluentes laterais por unidade de comprimento longitudinal do rio principal [Nº/km] <b>X2:</b> densidade de afluentes na drenagem [km/km <sup>2</sup> ] <b>X3:</b> frequência de ocorrência de completa inundação da várzea por pulsos extremos [Nº/décadas] <b>X4:</b> fração de áreas de lagoas perenes dentro das várzeas [km <sup>2</sup> /km <sup>2</sup> , %] <b>X5:</b> quociente de perímetro molhado da seção potencial máxima de várzea e canal, relativo ao perímetro do canal principal [m/m, %]	<b>X6:</b> valor relativo, quociente das áreas com potencial de alagamento, perenes e intermitentes, com relação à área total de várzeas disponíveis para alagamento [km <sup>2</sup> /km <sup>2</sup> , %] <b>X7:</b> valor relativo, ou quociente, do total de áreas de várzeas com relação à área total da bacia de contribuição de montante [km <sup>2</sup> /km <sup>2</sup> , %] <b>X8:</b> número de usos e ocupações diferentes por unidade de área de várzea [Nº /km <sup>2</sup> ]	<b>X9:</b> valor relativo, quociente, do tempo de manutenção de áreas alagadas nas várzeas após ocorrência de alturas máximas, pela duração do pulso respectivo [dias/dias, %] <b>X10:</b> valor relativo, quociente do tempo de extravasamento de pulso, acima de cota de conexão rio-várzea, sobre o tempo de duração de pulso total [dias/dias, %]	<b>X11:</b> taxa da diferença de indicadores de produção primária em áreas preservadas e em áreas degradadas da várzea [g PS/dia] <b>X12:</b> gradiente da vazão com cota hidrométrica (a) antes, e (b) depois do extravasamento [m <sup>3</sup> /s/m] <b>X13:</b> superfície dimensional de “loops” do indicador de produção primária versus altura hidrométrica <b>X14:</b> superfície dimensional de “loops” do indicador de produção primária versus área alagada	<b>X15:</b> fração de produção primária durante e após inundação máxima, em relação ao valor existente antes da inundação [gPS/gPS, %] <b>X16:</b> mudança das vazões Q5% e Q95%, na curva de permanência, devido a impactos antrópicas e uso do solo [m <sup>3</sup> /s] <b>X17:</b> mudança de probabilidade da vazão original de Q <sub>95%</sub> , como impactos diretos de ações antrópicas e/ou do uso [Probabilidade], <b>X18:</b> produto de velocidade média vezes profundidade média [m <sup>2</sup> /s]

**Tabela 4.** Matriz de variáveis ecohidrológicas (colunas) e variáveis indicadas para planos de monitoramento (linhas) dos projetos PSA-Água.

Variável monitorada (unidades)	Categorias de ecohidrologia divididos em: macro-indicadores (sub-categorias) e variáveis (colunas)																	
	Continuidade					Diversidade			Dinâmica		Resiliência				Vulnerabilidade			
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>	X <sub>6</sub>	X <sub>7</sub>	X <sub>8</sub>	X <sub>9</sub>	X <sub>10</sub>	X <sub>11</sub>	X <sub>12</sub>	X <sub>13</sub>	X <sub>14</sub>	X <sub>15</sub>	X <sub>16</sub>	X <sub>17</sub>	X <sub>18</sub>
<i>Q</i> <sub>95%</sub> (m <sup>3</sup> /s)	++	++	+/-	+	+	++	+	+/-	++	--	++	+/-	+/-	+/-	+/-	-	--	-
<i>Q</i> <sub>50%</sub> (m <sup>3</sup> /s)	+	+	+/-	+/-	+/-	+	+	+/-	+	-	+	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-
<i>Q</i> <sub>5%</sub> (m <sup>3</sup> /s)	+/-	+	++	+/-	-	+/-	-	+/-	+/-	+	+/-	+;-	+/-	+/-	-	+/-	+/-	+
<i>Q</i> <sub>1%</sub> (m <sup>3</sup> /s)	+/-	+/-	+	-	--	-	--	+/-	-	++	-	++;-	-	-	--	+	+	++
<i>CE</i> (µS/cm)	-	-	-	+/-	+/-	+/-	-	++	+/-	+/-	-	- ; +	-	-	-	-	+	-
<i>DQO</i> (mg/L)	-	-	-	+/-	-	-	-	+	-	+/-	+/-	- ; +	-	-	+/-	-	+	-
<i>DBO</i> (mg/L)	-	-	-	+/-	+/-	+/-	-	+	+/-	+/-	-	- ; +	-	-	-	-	+	-
<i>N-tot</i> (mg/L)	+/-	+	-	+/-	+	+/-	+/-	+	+	-	+	+ ; -	+/-	+/-	+/-	+	++	+/-
<i>P-tot</i> (mg/L)	+	+/-	-	+/-	+	+/-	+/-	+	+	-	+/-	+ ; -	+/-	+/-	+/-	++	++	+/-
<i>IB</i> (gPS/m <sup>2</sup> )	+/-	+/-	-	+	+	+/-	+	+/-	+	-	+	+ ; +	+	+/-	-	--	-	-
<i>SSI</i> (mg/L)	+	+	+	-	-	+	-	+	-	+	-	+ ; +	?	+/-	+/-	+	++	+
<i>SSO</i> (mg/L)	+	+	+	+/-	-	-	-	+	-	+	-	+ ; +	+/-	+/-	+	+	+	+/-
<i>SST</i> (mg/L)	+	+	+	-	--	+/-	--	++	--	++	--	+ ; +	+/-	+/-	+/-	++	++	+

Legenda: “++: correlação positiva, com R<sup>2</sup> > 0,8”, “+ : correlação positiva, com R<sup>2</sup> < 0,8”, “+/-: sem correlação ou comportamento heterogêneo”, “- : correlação negativa, com R<sup>2</sup> < 0,8”, “- - : correlação negativa, com R<sup>2</sup> > 0,8”; “+ ; - : correlação positiva durante a fase de crescimento de pulsos de cheia, seguido de uma correlação negativa durante a fase de recessão do pulso de cheia”. Adaptado de Mendiondo (2008).

Em ambientes aquáticos, vazões referenciais são estabelecidas com o objetivo de garantir o bom funcionamento dos processos naturais, entretanto, abordagens mais modernas utilizam as curvas de permanência (Cunha *et al.* 2012) integradas à ecoidrologia (Mendiondo, 2008). As curvas de permanência, ferramenta bastante útil em estudos ambientais, também poderiam ser usadas no monitoramento dos projetos de PSA-Água, uma vez que são curvas de frequência acumulada empregadas para descrever a carga poluidora em função das vazões de determinado sistema aquático, facilitando a visualização do impacto causado na quantidade e qualidade dos recursos hídricos (Taffarello *et al.*, 2013). Além disso, as curvas de permanência apresentam a vantajosa possibilidade de incorporar as alterações climáticas e de uso e ocupação do solo nas bacias hidrográficas (Taffarello & Mendiondo, 2013). Assim, representariam o monitoramento quantitativo e qualitativo integrados, sendo mais efetivo e confiável.

## CONCLUSÕES

Diante da crescente preocupação ambiental, várias instituições, empresas e governo têm criado incentivos à conservação dos recursos hídricos. Em São Paulo, a cobrança “federal” e a “estadual” pelo uso dos recursos hídricos em vigor, respectivamente, desde 2003 e 2007 fornecem recursos para o PSA, consolidando-o como promissor instrumento econômico de conservação ambiental. Os serviços hidrológicos tendem a impactar positivamente outros serviços, como conservação e recuperação da biodiversidade, e sequestro de carbono. O PSA pode se fortalecer com maior eficiência da extensão rural, fomentando a participação do usuário agrícola na gestão dos recursos hídricos, e com a apropriação do assunto pelos educadores ambientais. Além de ressaltar a importância dos projetos PSA para a conservação ambiental do estado de São Paulo, nosso estudo propõe diretrizes para uma nova metodologia de monitoramento, com base em variáveis ecoidrológicas que podem ser quantificadas através de curvas de permanência. Assim, espera-se aprimorar o gerenciamento dos recursos hídricos, de forma a garantir a valoração e a sustentabilidade do serviço ambiental no longo prazo.

## AGRADECIMENTOS

“Assessment of Impacts and Vulnerability to Climate Change in Brazil and Strategies for Adaptation Options”, FAPESP 2008/58161-1.

“A pegada hídrica como ferramenta para a valoração dos serviços ambientais em bacias hidrográficas no contexto de mudanças climáticas”, FAPESP 2012/22013-4.

## REFERÊNCIAS

- AGUEDA, W. L.; *et al.*, (no prelo). Produtor de Água de Guaratinguetá. In: Experiências de Pagamentos por Serviços Ambientais no Brasil. Org. por Pagiola, S., von Glehn, H.C.Q. Taffarello, D. Secretaria de Estado do Meio Ambiente, São Paulo-SP, pp. 153-166.
- ANA- Agência Nacional de Águas (2008). Manual Operativo do Programa Produtor de Água. Brasília: Superintendência de Usos Múltiplos <<http://produtordeagua.ana.gov.br>> Acesso em abril de 2013
- BALVANERA, P.; *et al.* (2012). Ecosystem services research in Latin America: The state of the art. *Ecosystem Service: Science, Practice and Policy* (2), pp.56–70.
- CUNHA, D. G. F.; *et al.* (2012). Integração entre curvas de permanência de quantidade e qualidade da água como uma ferramenta para a gestão eficiente dos recursos hídricos. (17) pp. 369-376.
- DAILY, G.C.; *et al.* (2011), Mainstreaming natural capital into decisions. In: Kareiva, P., Tallis, H., Ricketts, T.H., Daily, G. C., *et al.* Natural capital: theory and practice of mapping ecosystem services. Oxford University Press. Inc. New York. 365.
- GOULDER, L.H.; KENNEDY, D. (2011). Interpreting and estimating the value of ecosystem services. In: Kareiva, P.; Tallis, H.; Ricketts, T.H.; Daily, G. C. *Natural capital: theory and practice of mapping ecosystem services*. Oxford University Press. Inc., New York, pp. 365.

- IBGE -Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2010). Disponível em: [www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br) Acesso em fevereiro de 2013.
- INCLINE - Interdisciplinary Climate Investigation Center (2013) Conceito de Vulnerabilidade, In: Oficina Interdisciplinar Incline discussão e construção conjunta do conceito de vulnerabilidade, IAG / USP, São Paulo, Abril 2013. Disponível em [www.incline.iag.usp.br](http://www.incline.iag.usp.br). Acesso em maio de 2013.
- ISA. Cantareira 2006: Um olhar sobre o maior manancial de água da região metropolitana de São Paulo. Instituto Socioambiental, 2006.
- LIN, R. H.; *et al.* (2012). Biogeochemistry of nutrients in an estuary affected by human activities: The Wanquan River estuary, eastern Hainan Island, China, *Continental Shelf Research*.
- MENDIONDO, E. M. (2008). Challenging issues of urban biodiversity related to ecohydrology, *Brazilian Journal of Biology*, 68 (4), pp.983-1002.
- MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT. (2005). Ecosystems and human well-being: synthesis. Island Press, Washington, DC.
- MURADIAN, R. & RIVAL, L. (2012) Between markets and hierarchies: The challenge of governing ecosystem services. *Ecosystem Services: Science, Policy and Practice*, (1), pp. 93–100.
- NUNES, M. L. S.; *et al.* (no prelo). Projeto Oásis São Paulo e Apucarana. In: *Experiências de Pagamentos por Serviços Ambientais no Brasil*. Orgs. Pagiola, S.; von Glehn, H. C. Q.; Taffarello, D. Secretaria de Estado do Meio Ambiente, São Paulo, pp. 49-66.
- PADOVEZI, A.; *et al.* (no prelo). Produtor de Água na Bacia Hidrográfica PCJ. In: *Experiências de Pagamentos por Serviços Ambientais no Brasil*. Orgs. Pagiola, S.; von Glehn, H.C.Q.; Taffarello, D. Secretaria de Estado do Meio Ambiente, São Paulo, p. 99-114.
- PAGIOLA, S.; *et al.* (2013). Brazil's Experience with Payments for Environmental Services. In: *PES Lessons for REDD+ Workshop, San José, Costa Rica*.
- PALMER, M. A.; *et al.* (2009). Climate Change and River Ecosystems: Protection and Adaptation Options. *Environmental Management* (44), pp. 1053-1068.
- ROSGEN, D.L. 1994. A Classification of Natural Rivers. *Catena*, (22), pp.169-199
- SMITH, M. P.; *et al.* (2008). The River Active Area: A Conservation Framework for Protecting Rivers and Streams. Arlington: The Nature Conservancy (TNC).
- TAFFARELLO, D. & MENDIONDO, E. M. (2011). Adaptation Options from Ecohydrology and Water Footprint to the Payment for Ecosystem Services in the Context of River Restoration Projects in Brazil. In: *World Conference on Ecological Restoration. Mérida, México*.
- TAFFARELLO, D.; *et al.* Project Produtor de Água/PCJ: one of the first PES experiences in Brazil. In: *World Conference on Ecological Restoration, Mérida, México, 2011*.
- TAFFARELLO, D. & MENDIONDO, E.M. (2013). A new perspective on environmental flows of Brazilian catchment under change: multidimensional approach of qualiquantitative frequency curves for hydrological ecosystem services assessment. In: *Water in the Anthropocene - GWSP, Conference, Bonn, Alemanha*.
- TAFFARELLO, D.; MENDIONDO, E.M.; *et al.* (2013). Integrating water quantity and quality for environmental regimes based on adaptive water resources management and planning under change. In: *Water in the Anthropocene - GWSP, Conference, Bonn, Alemanha*.
- TALLIS, H.; *et al.* (2008). An ecosystem services framework to support both practical conservation and economic development. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105(28), pp. 9457-9464.
- THE NATURE CONSERVANCY (TNC), 2013. III Relatório Executivo do projeto “Difusão e Experimentação de um Sistema de Pagamentos por Serviços Ambientais para restauração da saúde ecossistêmica de microbacias hidrográficas dos mananciais do Cantareira”, pp.25.
- VEIGA, F. & GALVADÃO, M. (2011). Serviços Ambientais Hidrológicos. In: GUEDES, F. B. & SEEHUSEN, S. E. *Pagamentos por Serviços Ambientais na Mata Atlântica: Lições Aprendidas e Desafios*. Brasília: MMA.
- von GLEHN, H. Q. C.; *et al.* (no prelo). Projeto Mina d'Água. In: *Experiências de Pagamentos por Serviços Ambientais no Brasil*. Orgs. Pagiola, S., von Glehn, H. C.Q.; Taffarello, D. Secretaria de Estado do Meio Ambiente, São Paulo, pp. 299-320.
- ZALEWSKI, M.; *et al.* (2005). *Ecohydrology & Hydrobiology*. 5(4). Łódz, Poland.